

12.

SIMPOZIJ

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

ZAGREB, 23. I 24. LIPNJA 2025.



Akademik Josip Lončar
(1891.–1973.)

Urednik: FRANJO JOVIĆ

ISSN 2939-0710



9 772939 071000



POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE
12. simpozij PIFT 2025.

Urednik:

prof. dr. sc. Franjo Jović

Recenzent:

prof. dr. sc. Franjo Jović

Likovna i tehnička oprema:

Luka Gusić

Nakladnik:

HRO CIGRE, Zagreb

ISSN 2939-0710

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

12. simpozij PIFT 2025.

Franjo Jović
urednik

HRO CIGRE
Zagreb, 2025.

Organizator

Hrvatski ogranak Međunarodnog vijeća za velike elektroenergetske sustave –
HRO CIGRE

Pokrovitelji

Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu
Hrvatska sekcija IEEE
Interesna skupina doživotnih članova Hrvatske sekcije IEEE

Programski odbor

Predsjednik Programskog odbora

Prof. dr. sc. Franjo Jović

Članovi

Doc. dr. sc. Ivan Bahun

Prof. dr. sc. Vedran Bilas

Akad. prof. dr. sc. Leo Budin

Prof. dr. sc. Ivan Flegar

Dr. sc. Iva Kurelac

Prof. emer. dr. sc. Nedjeljko Perić

Prof. dr. sc. Krunoslav Pisk

Dr. sc. Goran Slipac

Dr. sc. Ivica Toljan

Prof. dr. sc. Alfredo Višković

Doc. dr. sc. Mladen Zeljko

Davorin Brkić, mag. ing.

Dr. sc. Božidar Filipović-Grčić

Dr. sc. Branko Hanžek

Mr. sc. Ernst Mihalek

Prof. dr. sc. Dubravko Rogale

Prof. dr. sc. Viktor Šunde

Prof. dr. sc. Siniša Fajt

Božidar Borevković dipl. ing.

Organizacijski odbor:

Prof. dr. sc. Franjo Jović; FERIT

Davorin Brkić, mag. ing.; HERA

Dr. sc. Božidar Filipović-Grčić; HRO CIGRE

Dr. sc. Branko Hanžek; HAZU

Mr. sc. Ernst Mihalek; EDZ

Prof. dr. sc. Dubravko Rogale; TTF

Prof. dr. sc. Viktor Šunde; FER, HRO CIGRE

Tumač kratica

EDZ	Elektrotehničko društvo Zagreb
EI HP	Energetski institut Hrvoje Požar
FER	Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
FERIT	Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija
HAZU	Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
HERA	Hrvatska energetska regulatorna agencija
HRO CIGRÉ	Hrvatski ogranak Međunarodnog vijeća za velike elektroenergetske sustave
ICENT	Inovacijski centar Nikola Tesla
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering
TVZ	Tehničko veleučilište u Zagrebu
VERN	Sveučilište VERN

Sadržaj

II

Franjo Jović
PREDGOVOR

13

Branko Hanžek, Dubravko Horvat ¹
KVANTNA RAČUNALA I UMJETNA INTELIGENCIJA

43

Ivan Flegar
OSNOVNA ENERGETSKA SVOJSTVA STATIČKIH PRETVARAČA

75

Dragan Poljak, Mirko Jakić
MATEMATIČKE ANALOGIJE U MODELIMA KLASIČNE FIZIKE

93

Dragan Poljak, Mirko Jakić
OD KLASIČNOG DO KVANTNOG INŽENJERSKOG
ELEKTROMAGNETIZMA

115

Ivan Šimatović
USPOREDBA VEKTORSKIH I KVATERNIJSKIH JEDNADŽBI OSNIH
POLJA HIPERDINAMIČKIH VALOVA

129

Ivan Šimatović
ETER U FIZICI: DA, NE, ILI IPAK – DA!

153

Ivan Šimatović
NIKOLA TESLA – NEPOKOLEBLJIVI POBORNIK ETERA

163

Miroslav Plohl

RAZVOJ TEHNIKA SEKVENCIRANJA I ISTRAŽIVANJE SATELITNIH DNK

187

Darko Fischer

ANALITIČKA I NUMERIČKA RJEŠENJA KAO PEDAGOŠKI ALATI

203

Igor Fischer, Katharina A. Faust

HISTORY AND APPLICATIONS OF LOGISTIC FUNCTION: FROM
POPULATION GROWTH TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE

221

Franjo Jović

INFORMACIJSKA TEHNIKA I OSVJEŠTENJE CILJNOSTI

249

Arijana Kolak Bošnjak

OTON KUČERA O POLITIČKIM PRILIKAMA U HRVATSKOJ

259

Marijana Borić

MARKO ANTUN DE DOMINIS – HRVATSKI GALILEO GALILEI
VIZIONARSKA PERSPEKTIVA

299

Roman Malarić, Melita Turković, Petar Mostarac

LABORATORIJSKE VJEŽBE IZ PREDMETA ELEKTRIČNA MJERENJA
KOD JOSIPA LONČARA

317

Roman Malarić, Melita Turković, Petar Mostarac

UNIVERZALNI GALVANOMETAR SIEMENS&HALSKE – PRVI
INSTRUMENT AKADEMIKA LONČARA

333

Roman Malarić, Melita Turković, Petar Mostarac

MJERNA JEDINICA ZA MAGNETSKU INDUKCIJU IMENOVANA PO
NIKOLI TESLI – KRONOLOGIJA, ZASLUŽNI ZNANSTVENICI I LONČAREV
DOPRINOS

367

Darko Žubrinić

DRAMA OKO IZBORA MJERNE JEDINICE “TESLA” 1960. U PARIZU

387

Davorin Brkić

MEĐUDRŽAVNE, MEĐUREPUBLIČKE I MEĐUPODRUČNE RAZMJENE
ELEKTRIČNE ENERGIJE DO 1990.
U HRVATSKOME KONTEKSTU

453

Marijan Andrašec, Vilko Žiljak, Žarko Prnić

MODELIRANJE PROCESA KAO POTPORA GRADNJI I PUŠTANJU U RAD
TVORNICE UMJETNIH GNOJIVA U KUTINI I RAFINERIJE NAFTE U
BOSANSKOM BRODU; 1967. – 1973.

475

Boris Halasz

LABUĐI PJEV ANALOGNIH RAČUNALA

519

Željko Vrzan

CIJEVNI RADIO APARATI RADIOINDUSTRIJE ZAGREB

551

Željko Vrzan

POVIJEST RADIJA NA PODRUČJU BIVŠE JUGOSLAVIJE

593

Dubravko Rogale, Martin Rogale

ŠPIJUNSKA RADIO STANICE IZ DOBA DRUGOG SVJETSKOG I HLADNOG
RATA PRONAĐENE U HRVATSKOJ

625

Zlatko Đurić, Božidar Jančiković

POVIJESNI RAZVOJ I PRIMJENA INFORMATIKE U OBRADI
BUŠOTINSKIH PODATAKA

651

Marijan Andrašec

STRATEŠKI PROJEKTI TVORNICE INA RAFINERIJA ZAGREB U PERIODU
1991.–2005.

679

Branko Hanžek

FIZIČAR PROF. DR. DUŠAN PEJNOVIĆ – ŽIVOT I DJELO¹

Predgovor

Poštovani sudionici simpozija, dragi autori i autorice,

12. simpozij Povijest i filozofija tehnike već brojnošću, kvalitetom, opsegom radova i raznolikošću tema raduje organizatora, HRO CIGRE. No dodatno je radovima prostrujao ‘duh filozofije tehnike’.

O čemu je tu riječ?

Slijedimo li pažljivo, a citiram svrhu i cilj našeg simpozija, kako ih je definirao Zvonko Benčić:

„Martin Heidegger (1889. –1976.) njemački filozof, kaže da bit tehnike nije ništa tehničko. Kaže da je isključiva svrha artefakata da služe čovjeku pri čemu je i sam čovjek podvrgnut toj svrsi. Tako je čovjek postao slugom tehnike, a tehnika postala samoj sebi svrha. Odgovori na ta pitanja jedna su od žurnih zadaća modernog neoliberalnog doba.“

onda i u radovima zamjećujemo neke elemente toga duha filozofije tehnike. To su npr. razlučivanje matematike kao duhovne discipline od fizike, propitivanjem je li baš samo sitno ono kvantno, je li prostor ‘prazan’, može li postojati informacija koja nema cilj, nije li umjetna inteligencija u konačnici tek speerovska disciplina¹, promišljanjem sukoba duha konstruktivizma i destruktivizma u onodobnoj industrijskoj praksi nakon 2. Svjetskog rata u Hrvatskoj, istraživanju svojstava elektrotehničkih uređaja bez ulaska u njihovu strukturu, prikazivanjem humane dimenzije ljudi i događaja u opusima Markantuna de Dominisa, Nikole Tesle, Franceta Avčina, Josipa Lončara, Otona Kučere,...

Splet događaja u tehnici vodi k osnovnom prijedoru: istine i laži, etike i nadmenosti. Zaobilazeći etiku i informaciju uporaba tehnike kao alata društvene dominacije pojedinaca i interesnih skupina postaje evidentno bojno polje manipulativnih filozofija i zastrašujućih političkih praksi, poput onih koje su dovele npr. von Bertalanffy-ja da sakrije 1936. godine rukopis svoje knjige „Opća teorija sustava“.

Mogu postaviti pitanje: “Je li nam sada vrijeme da opet počinjemo sakrivati svoje radove?”

¹ U smislu neodgovornosti za učinjeno

Srećom smijemo postavljati pitanja poput ovih:

Je li tehnikom opremljena biologija još uvijek znanost o živim bićima ili samo o nakupini molekula u DNA?

Postavlja li se fizika ispravno prema matematičkim formama poput diferencijalnih jednažbi?

Što bi u duhovnoj stvarnosti bile primarne konstante fizike, njih 20, zapravo?

Postoji li samodosljedno polje, engl. *selfconsistent field*, u sportu, povijesti i jeziku? Postoji li dakle ono što je intuitivno i tako gorljivo zastupao von Bertalanffy?

Želim vam ugodan doživljaj povijesti filozofije i tehnike dok slijedite radove i rasprave s ovog simpozija...

Srdačno
Franjo Jović

Branko Hanžek, Dubravko Horvat¹

KVANTNA RAČUNALA I UMJETNA INTELIGENCIJA

Sažetak: Dvije sintagme iz naslova počele su dominirati (reklamnim) tekstovima popularne znanosti, medicine, kozmetike, odgoja, obrazovanja, umjetnosti, tehnologije pa čak i popularne glazbe. Takva neselektivna uporaba jasno pokazuje da postoji veliko nerazumijevanje jedne i druge sintagme, a posebno kada se one povezu u neku (nesuvislu) rečenicu koja prividno djeluje vrlo učeno, ali koja sadržajno pokazuje da iza “sjajne terminološke površine” sjedi potpuna praznina sadržaja i razumijevanja. U ovom tekstu ukratko ćemo dati neke semantičke okvire jedne i druge sinteze i pogledati kako one postaju povezane u pristupu koji će se njihovom sintagmom proizvesti ‘kvantni skok’ u modernoj inflaciji podataka kao i njihov utjecaj na naš svakodnevni život. Ta sintagma ponekad nosi ime kvantna umjetna inteligencija (engl. *Quantum Artificial Intelligence*) gdje paralelizam kvantnog računarstva omogućuje ubrzanje algoritama strojnog učenja, kao bitne grane umjetne inteligencija. I upravo ta sintagma ili nadopunjavanje tih elitnih računarskih disciplina središnja je tema ovog izlaganja.

Ključne riječi: inflacija podataka, kvantni skok, kvantna umjetna inteligencija, kvantna generativna umjetna inteligencija

Uvod

Kvantna teorija, iz koje izvire kvantna računala (QC) odnosno kvantno računarstvo (QC), jedna je od velikih teorija fizike koje čine konceptualnu strukturu fizike. Richard Feynman, jedan od prominentnih teoretičara kvantne teorije je 1982. godine opisao način kako bi se kvantna fizika mogla ujediniti s logikom i računar-

¹ Stavovi izneseni u referatu su osobna mišljenja autora

skom tehnikom i stvoriti jednu novu disciplinu koja bi ujedinila osnovne postavke kvantne teorije i osnovne tehnike računarstva [1]. Ta bi nova disciplina, možda i znatnost, sadržavala niz novih mogućnosti koje bi mogle omogućiti računarski pristup prirodnim procesima ali i računarskim problemima nedostupnim klasičnim računarskim metodama.

Kvantna fizika je od svoje pune fizičke i matematičke formulacije prošla dug put popločen mnogim kontroverzama i nesporazumima posebno u području njenog razumijevanja i njene interpretacije. Zato ovdje počinjemo s citatom jednog od najvećih teoretskih fizičara XX stoljeća Stevena Weinberga, ‘tvorca’ Standardnog modela elementarnih čestica, Nobelovog laureata (1971. godine) i autora stotine znanstvenih članaka te niza knjiga i eseja ali i stručnih knjiga iz kvantne mehanika, kvantne teorije polja i kozmologije:

“Kvantnu mehaniku smatramo danas univerzalnim matematičkim okvirom za zakone prirode. Fizičari se svi slažu s načinima primjene kvantne mehanike u računanima, a oni su doista pružili zapanjujuće rezultate proračuna svojstava atoma, molekula, atomske jezgre, elementarnih čestica i još mnogo drugog. Međutim, nastavljaju se kontroverze vezane uz neka svojstva, prije svega formulacije i opravdanja njenih postulata vezanih uz mjerenja i vjerojatnost.” [2]

Za puno razumijevanje kvantne fizike i njene snage pri računu fundamentalnih procesa valja se okrenuti nekim knjigama (poput [3-7]), a ovdje želimo samo pogledati koje su osnovne komponenta kvantne fizike prenesene kao konceptualno nasljeđe u kvantno računarstvo (QC). Pri tome je u golemoj literaturi dobro odabrati knjige koje sistematiziraju okvire kvantne fizike pomoću kvantno mehaničkih postulata ([8,9,10] primjerice). Kvantno mehanički postulati daju skicu sadržaja i metoda kvantne mehanike, a oni su formirani *a posteriori*, kada se kvantna mehanika već etablirala kao teorija mikroskopskih procesa i čija je uloga bila sistematizirati golemo područje kvantnih principa. Možemo kazati da kvantno mehanički postulati služe danas prvenstveno kao dobar uvod i vodič pri savladavanju i razumijevanju osnovnih principa kvantne teorije

1. Kvantnomehanički principi kvantnih računala (QC)

- (1) *Superpozicija* - Klasični proračuni (klasičnih računala) provode se bitovima koji se mogu nalaziti u samo jednom od mogućih stanja, tj. ili 0 ili 1. Qubit ili kvantni bit nalazi se u (kvantnomehaničkoj) superpoziji stanja 0 i 1, tj. qubit poprima istovremeno potencijalnu vrijednost 0 i 1. Time se omogućuje velik broj operacija istovremeno, posebno kada se uvede višekubitno stanje (dvoqubitno, troqubitno itd.). Qubit bismo po analogiji s kvantnom mehanikom mogli nazvati valnom funkcijom koja je superpozicija mogućih stanja s različitim vjerojatnostima.

- (2) *Kvantna interferencija* - Kvantni bitovi - qubiti - mogu interferirati kao (klasični) valovi i pri tome se prilikom izvođenja kvantnih algoritama može povećati vjerojatnost istinitih ishoda konstruktivnom interferencijom, odnosno smanjiti vjerojatnost lažnih (negativnih) ishoda destruktivnom interferencijom.
- (3) *Spletenost - spregnutost* - Spregnutost je kvantni fenomen pri kojem su dvije kvantnomehaničke čestice povezane na taj način da promjene na stanju jedne čestice istovremeno dovode do promjene stanja druge čestice, bez obzira na (možda i golemu) prostornu udaljenost između čestica. Spregnutost višequbitnih stanja rabi se pri izvođenju određenih algoritama npr. teleportacije i prisutna je u mnogim procesima.
- (4) *Kvantnomehaničko mjerenje* - Mjerenje u kvantnomehaničkom sustavu proizvodi kolaps valne funkcije u jedno od mogućih stanja koje je prije procesa mjerenja u koherentnoj superpoziciji s drugim stanjima. Taj proces se doslovno preslikava i u qubitno stanje kao superpoziciju mogućih stanja. Klasični bit uvijek ostaje u jednom, dobro definiranom stanju, dok mjerenja qubita proizvodi spektar vjerojatnosti nalaženja u pojedinom stanju u superpoziciji te odgovara vjerojatnostnoj interpretaciji kvantne mehanike.
- (5) *Kvantna vrata* - Logičke operacije kod klasičnih računala provode se 'prolaskom' kroz logička vrata. U kvantno mehaničkom računu promjene se odvijaju djelovanjem unitarnih operatora, a u kvantnom računalnom stanju promjene se izvode u kvantnim vratima koja su konstruirana od unitarnih operacija na (multi)qubitima. Time se postiže reverzibilnost kvantnih procedura što je još jedna velika prednost kvantnih algoritama jer se iz konačnog rezultata može rekonstruirati početno stanje odnosno u svakom se trenutku računa može rekonstruirati prethodni korak inverznim unitarnim operatorom kojim se provodi račun.
- (6) *Kvantni paralelizam* - Superpozicija bitova kod kvantnih računala (QC) omogućuje da se istovremeno obrađuju problemi koji se rješavaju brže, a mjera brzine određena je oblikom funkcije brzine procesiranja. Paralelizam procedura vodi na eksponencijalni porast brzine što vodi na mogućnost, primjerice, faktoriziranja velikih brojeva ili brzog pretraživanja. Tako su realizirani i odgovarajući kvantni algoritmi kod kvantnih računala - Shorov algoritam za faktoriziranje i Groverov algoritam za pretraživanje.
- (7) *Kvantna dekoherencija* - Za proces kvantnog računanja važno je da su stanja s kojima se ulazi u kvantnu mrežu ili koja prolaze kvantnom mrežom s odgovarajućim procedurama, stabilna, odnosno da se početna superpozicija stanja održi da bi se postigao određeni računalni cilj. Upravo ta stabilnost, ili kako je ovdje zovemo kvantna koherencija, jedan je od glavnih problema kvantnog računarstva, jer je održavanje kvantne koherencije vrlo težak i zahtjevan problem. Dekoherencija je

glavni protivnik stabilnog kvantnog računarstva odnosno konstrukcije kvantnog računala, a posljedica je vanjskih utjecaja ili nekontrolirane promjene uvjeta u i oko područja gdje se nalaze qubitovi.

Treba se također sjetiti da je Nobelova nagrada za fiziku godine 2022. dodeljena trojici fizičara, Alain Aspect, John F. Clauser i Anton Zeilinger, koji se bave upravo fundamentalnim problemima naznačenim u citatu S. Weinberga, što također pokazuje da postoji još golem prostor istraživanja u svim aspektima kvantnih pojava. Njihova istraživanja su također bitno vezana i uz našu temu veze kvantne fizike, kvantnog računarstva i umjetne inteligencije, o čemu govorimo u zadnjim odjeljcima ovog teksta. Stoga citiramo originalni tekst razloga dodjeljivanja Nobelove nagrade:

“ ... for experiments with entangled photons, establishing violation of Bell inequalities and pioneering quantum information science.”²

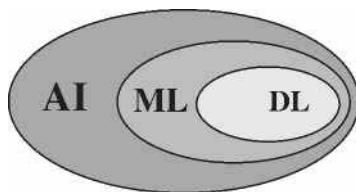
U pregledu povezivanja kvantne fizike i računarstva u novu disciplinu (ili znanost) zanimljivo je pogledati sliku strukture knjige autora Nielsena i Chuanga [12], koja se ponekad naziva “Biblijom” kvantnog računarstva. Vidimo da je najčešće poznati termin iz (klasičnog) računarstva jednostavno “proširen” riječju *kvantni/kvantno*.

2. Sadržaj kvantnog računarstva (QC)

Prema do sada iznesenom možemo prihvatiti sljedeća područja djelovanja i istraživanja u (novoj) disciplini kvantnom računarstvu, slika 1.:

- kvantna računala
- kvantna komunikacija
- kvantna simulacija
- kvantna teorija informacija
- kvantna metrologija
- kvantna kontrola

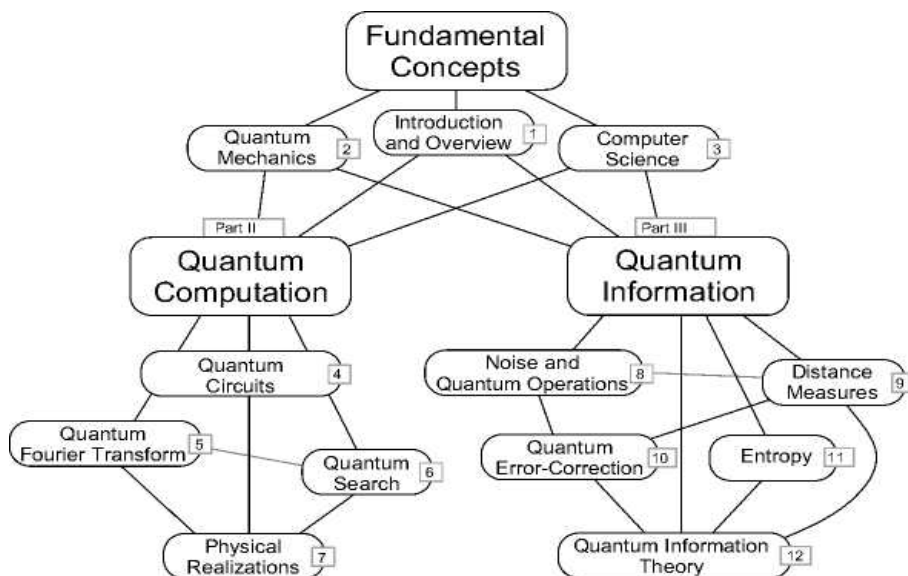
² „... za pokuse sa zapletenim fotonima, tvoreći izuzetak Bellove nejednakosti i predvođeci kvantnu informacijsku znanost.“



Sl. 2. - Odnos AI, ML (machine learning - strojno učenje) i DL (deep learning - duboko učenje).

3. Umjetna inteligencija (AI) - uvod

U ovom drugom dijelu teksta razmatramo umjetnu inteligenciju (za koju ćemo u daljem tekstu rabiti kraticu AI, uz izgovor [*ei-aj*] prema engleskoj verziji naziva ‘Artificial Intelligence’).



Sl. 3. - Ilustrativni pregled sadržaja knjige smatrane ‘Biblijom kvantnog računarstva’ [12].

Bez ulaska u povijesni pregled razvoja umjetne inteligencije, valja spomenuti da je kroz povijest ljudskog okretanja pomoći od strojeva, uvijek tinjala nada da će se moći postići da strojevi samostalno obavljaju neke poslove tako da imitiraju ljude pri obavljanju tih poslova. Ograničene tehničke mogućnosti ostavile su takve nade neostvarenim pa je tek razvoj računalnih strojeva pokazao da je to područje gdje se

najbrže može (možda) ostvariti onaj dugo sanjani san. Razmišljanja o strojevima pomagачima ili (čak) suradnicima, pa i 'samostalnim poduzetnicima' doveo je do definicije takve 'umjetne inteligencije' koja se danas može definirati, ili bar opisno prikazati ovako: AI je tehnologija koja omogućuje strojevima/uređajima da oponašaju ljudski um - ljudsku inteligenciju u izvođenju procesa prepoznavanja oblika, odlučivanja, vizualne percepcije, prepoznavanja govora, procesuiranje informacija, optimizacije postupaka itd. Ili, kraće kazano, cilj AI je da omogući strojevima da oponašaju ljudsko razmišljanje i ponašanje uključujući učenje, razmišljanje, razmatranje, predviđanje itd. Dakle, želimo postići da naš stroj (ovdje će to biti očigledno računalo) percipira, razumije, razmišlja i djeluje (odgovori), a pri tome se mora ponašati racionalno.

4. Prirodna inteligencija (NI)

Sintagma AI vodi na pitanje: stvarno stanje prirodne inteligencije ili NI prema engleskom '*natural intelligence*'? Definicije prirodne inteligencije dolaze nam iz područja psihologije. Tako neki autori uvode osam različitih vrsta prirodne inteligencije:

- (1) *Lingvistička inteligencija* povezana s vještinom govora i pisanja
- (2) *Logičko-matematička inteligencija* opisuje vještinu baratanja brojevima;
- (3) *Glazbena inteligencija* govori o izvedbi i komponiranju glazbe;
- (4) *Prostorna inteligencija* odnosi se na sposobnost procjenjivanja i analize vidljivog svijeta;
- (5) *Tjelesno-kinetička inteligencija* govori o vještini kretanja (ples, atletika);
- (6) *Međuljudska inteligencija* opisuje vještinu razumijevanja i komunikacije s drugima;
- (7) *Osobna inteligencija* govori o vještini i sposobnosti razumijevanja samog sebe;
- (8) *Prirodna inteligencija* govori o vještini razumijevanja svijeta prirode.

Intuitivno se možemo složiti s tako pažljivo raščlanjenom definicijom inteligencije. No, sažetiji opis inteligencije je trodomna teorija inteligencije:

- (I) *Komponentna inteligencija* koja opisuje sposobnost rješavanja testova inteligencije;
- (II) *Eksperimentalna inteligencija* govori o sposobnostima prilagodbe novim situacijama i stvaranju novih ideja;
- (III) *Kontekstualna inteligencija* odgovara sposobnosti kvalitetnog funkcioniranja u

svakodnevnom životu.

Neke od gornjih definicija pomalo kreću prema cirkularnim definicijama (“inteligentan čovjek je onaj koji posjeduje inteligenciju”) no to je područje u koje nije uputno ulaziti s previše skepse. To nas vodi na definiciju iz rječnika stranih riječi gdje stoji: *inteligencija je sposobnost otkrivanja zakonitosti u odnosima među činjenicama i, dalje, to je ukupnost sposobnosti shvaćanja i uočavanja činjenica u neposrednom snalaženju i borbi za opstanak živih bića.*

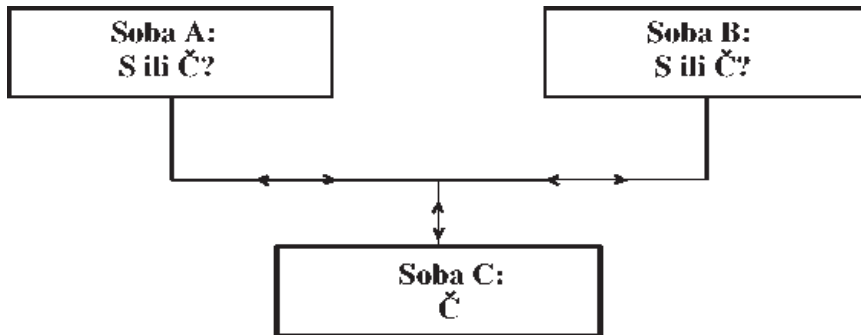
5. Uloga i ciljevi AI

Iz ranijih razmatranja možemo jednostavno kazati da je uloga AI naučiti stroj da slijedi ono što je ranije opisano kao prirodna inteligencija. Bitne komponente AI, prema prikazu na slici su strojno učenje ML i duboko učenje DL kao dio ML. Duboko učenje slijedi prirodnu neuronsku mrežnu strukturu i pomoću umjetnih neurona organiziranih u slojevima uči ih da obrađuju podatke po slojevima koji ulazeći u sve dublje neuronske slojeve postaju sve specifičniji. Na taj način priređuje i omogućuje ML učenje - treniranje na poznatim podacima i tako naučene podatke ML rabi da ostvaruje novo, nenaučeno znanje.

I u jednom i drugom opisu disciplina AI očigledno je da za AI, preko ML odnosno DL, rezultat koji se prezentira korisniku na neki upit i zahtjev, bitno ovisi o podacima koji su uzeti ili od DL ili ML, što vodi na bitan zaključak da je vjerodostojnost i kvaliteta odgovora AI na upit toliko dobra koliko su dobri podatci koje je AI imala. Svakako, algoritmi koji čine osnovnu, nevidljivu strukturu AI određuju kako će biti podatci koji su na raspolaganju interpretirani i složeni i to ili tako da su oni samo izabrani, sistematizirani i uobličeni bez stvaranja nekog novog, ranije nepoznatog ishoda ili će, općenitije, proizvesti novo znanje. Dakle, uvode se algoritmi koji stvaraju - generiraju, na osnovu naučenih – ‘treningom postignutih’ procedura dobivenih ML, neka nova znanja, koja nisu bila poznata pri proceduri treniranja te se takva AI zove generativna AI koja, prema tome pokazuje određenu neovisnost i inventivnost. Rezultat generativne AI mogu biti i novi podatci koji su izvedeni iz onih koje je AI ili ML rabila pri treningu.

Turingov test AI

Legendarni matematičar i računalni znanstvenik Alan Turing značajno je doprinio konceptualnom razvoju računala ali i koncepciji AI. Zbog ranije opisanih svojstava AI, on je postavio pitanje, kako možemo znati ili proglasiti da je stroj - računalno postiglo razinu inteligencije, prema ranijim opisima i definicijama prirodne inteligencije - NI. On nam je ponudio test [13], poznat danas po nazivu Turingov test, kojim bi se moglo pokazati da je stroj postigao željenu razinu imitacije ljudske inteligencije, slika 4.



Sl. 4 - Prikaz Turingovog testa: u sobi A i u sobi B nalaze se ili čovjek (C) ili stroj (S). U sobi C nalazi se čovjek - ispitivač koji ne zna tko ili što je u pojedinoj sobi, a čiji je zadatak da u pet minuta postavlja pitanja sobi A i sobi B i na osnovu odgovora na pitanja, on daje odgovor o tome da li je u sobi A čovjek i u sobi B stroj ili obrnuto. Ako to ne uspije zaključiti, tada se može kazati da je stroj postigao stupanj imitiranja čovjeka, tj. imamo stroj s umjetnom inteligencijom AI.

Turingov test, koji se ponekad naziva 'igre oponašanja' (engl. *The Imitation Games*) je u novije vrijeme izložen mnogim kritikama od strane računalnih znanstvenika i filozofa. Smatra se da su današnja računala kao nosioci AI postala dovoljno napredna da je u pet minuta (prema Turingu) nemoguće "razlučiti" stroj od čovjeka. Nadalje, metode i sadržaji ispitivanja te ocjenjivanje odgovora često se smatraju nedovoljno dorađenim da bi se mogao izvesti siguran zaključak o sposobnosti i mogućnosti razmišljanja stroja. Zato se uvode drugačiji testovi koji pokušavaju doskočiti i razotkriti eventualne slabosti modernih izvedbi strojeva - računala AI.

Programski jezici AI

Gornje skice rada ili pristupa AI pokazuju da je baratanje podacima, točnije - pretraživanje podataka, ili baza podataka, nužna komponenta zadovoljavajućeg funkcioniranja AI. Tu se mogu ili moraju, 'susresti' kvantna računala u okviru kojih kvantni algoritam (Shorov algoritam, primjerice) pretraživanja baza podataka omogućuje višestruko veću brzinu pretraživanja. Od gore opisanih svojstava kvantnih računala pri pretraživanju se javlja svojstvo paralelizma baratanjem qubitima i svojstvo spregnutosti. Nadalje, AI mora imati bitnu komponentu komunikacije, što otvara problem percepcije kojim 'osjeća, čuje i vidi' vanjski svijet, koji zatim interpretira i uklapa u postojeći izbor baza podataka. Povratnu informaciju AI formira ili vizualno ili tekстом - pisanim ili izgovorenim. Svaki taj korak rezultat je niza programa koji sadrže algoritme pisane odgovarajućim programskim jezikom.

Sigurno je da je ideja ili želja za uvođenjem stroja koji bi zamjenjivao čovjeka u nekoj mentalnoj aktivnosti vrlo je stara, no sama AI formalno je uvedena na poznatoj konferenciji u Dartmouth Collegeu, gdje je 1956. godine John McCarty predstavio

računalni program koji je rabio riječi engleskog jezika i rješavao algebarske probleme zadane riječima i dokazivao logičke teoreme. Isti je autor par godina kasnije predstavio program LISP (LISt Processing). Na taj su način na početku razvoja AI dominirali su programski jezici LISP (LISt Processing) i, nešto kasnije PROLOG³. Ta su dva jezika dominirali algoritmima AI do novijeg vremena kada se nameće programski jezik Python, koji posjeduje niz modula (NumPy, Pandas, SciPy, Matplotlib) koji prekrivaju gotovo sva područja znanosti, a ujedno su razvijeni moduli za matematičke, grafičke, podatkovne i druge probleme. Postoji već bogata moderna literatura koja programski pristupa AI preko Pythona ([15-19]).

Jedno veliko područje ostat će još uvijek relativno nepoznato, a koje je u stvari nužno za provedbenu AI jest područje istraživanja mozga, jer mi smo sposobni prepoznati predmete, razumjeti jezike, učiti nove stvari, izvoditi niz sofisticiranih pokreta, zaključivati na osnovu nekih sjećanja i ('nesvjesnih') znanja. Naš mozak je fantastičan primjer inteligentnog sustava i sve što u okviru AI možemo pokušati jest oponašati ga vjerujući i nadajući se da mu se postepeno (ipak samo) približavamo.

Zašto trebamo AI?

Mi očigledno živimo u vremenu kada smo uronjeni u golemu količinu podataka koje naš mozak jednostavno ne može kontrolirati. Također se svakim trenutkom novi podaci javljaju iz različitih izvora, a ti su podaci često kaotični i nesistematizirani. Bez obzira na kvalitetu podataka, znanje koje se formira na osnovu novih podataka neprestano se mora obnavljati. U takvoj situaciji nužno je uvesti inteligentne sustave (AI, očigledno) koji mogu gornje probleme obuzdati.

U novije vrijeme važna pogodnost jest uvođenje 'oblaka' (Cloud Computing) koji omogućuje pohranu goleme količine podataka pa AI ima na taj način prirodno okruženje djelovanja. Osim prikupljanja podataka koji dolaze istovremeno iz različitih izvora, njih je potrebno obraditi - usporediti, procijeniti, sistematizirati i tako ih učiniti izvorom novih spoznaja. Te podatke valja zatim 'provući' kroz algoritme treninga i na osnovu toga otvoriti mogućnost, kao što je ranije pokazano, proširivanja postojećih ili stvaranja novih znanja. Očigledno je da je brzina obrade i brzina izvođenja algoritama nužan preduvjet za ispunjenje gornjih zadataka.

Prednosti AI

Nema sumnje da AI treba popuniti ona mjesta i teme ljudske aktivnosti koja ljudi ili skupine ljudi ne mogu pokriti svojim angažiranjem bez obzira na vrijeme i

³ Vidjeti vrlo dobar prikaz tih jezika u knjizi [14], u zanimljivom tekstu naših autora, koji je napisan prije više od 30 godina i koji predstavlja vrlo zanimljiv opis umjetne inteligencije i njezinih lingvističkih, programskih i računalnih problema.

trud posvećen tim temama. Ranije smo opisali o kakvim se problemima radi: ukratko, inflacija informacija, njihovo istovremeno javljanje iz mnogih izvora i njihova procjena i klasifikacija te njihovo uvođenje u pojedine teme ili pojedina područja. Prednosti koje ima (ili će imati u bliskoj budućnosti?) AI možemo ovdje kratko nabrojati, bez ideje da budemo u potpunosti cjeloviti:

- AI strojevi (čitaj, računala) se ne razbolijevaju, oni ne trebaju osam satni san, oni rade i rade i rade...
- AI uzima 'sve' podatke iz jednog područja neke discipline ili aktivnosti te ih tako sistematizira i prezentira da se pojavljuju korelacije koje ljudski um ne može percipirati izložen istovremenoj lavini podataka i njihovom neselektivnom javljanju. Takve se situacije javljaju u medicini pri povezivanju simptoma, stanja i medicinske obrade (lijekova, invazivne ili neinvazivne intervencije) pojedinog složenijeg medicinskog slučaja, u posebnim medicinskim terapijama, ili u analitičkoj kemiji, u astronomiji i astrofizici, u fizici visokih energija itd.
- AI procjenjuje i upućuje na najbolji put između dva mjesta pomoću GPS-a, uzimajući u obzir duljinu puta, potrošnju goriva, vremensko stanje na cesti, gustoću prometa, prohodnost cesta, vremensku prognozu itd. i sve te parametre optimizira, uz moguće preferencije korisnika.
- AI može provoditi proračune čiji je tijek provedbe nedostupan ljudskim sposobnostima. Tu je posebno važno područje vremenskih prognoza gdje u velike sustave obrade trenutačnih meteoroloških podataka neprestano ulaze vremenski promjenljivi parametri, a pri čemu važna komponenta predikcije jest ranije ponašanje atmosfere i ishoda odgovarajuće ranije prognoze s istim ili vrlo sličnim atmosferskim parametrima.
- AI svojim algoritmima prepoznaje fizionomije, povezuje lica, pomaže pri nalaženju osoba pregledom fotografija, stvara albume prema osobama na fotografijama i nalazi korelacije između frekvencije pojavljivanja istih lica na različitim fotografijama napravljenim u različitim vremenima i različitim mjestima. Tako AI postaje vrlo moćno oružje za borbu protiv kriminala i terorizma. Avionske fotografije AI analizira i prepoznaje najsitnije detalje snimljenih oblika i interpretira ih, odnosno predlaže njihovu interpretaciju. Posebni pokusi čiji se rezultati snimaju i tako proizvode velik broj fotografija poput snimaka procesa u, primjerice, CERN-u, vode uz pomoć AI do interpretacije onih procesa koje je u milionima fotografije nemoguće prepoznati kao one zbog kojih je taj pokus i dizajniran. Tako je otkriven i Higgsov bozon, bitna komponenta *Standardnog modela elementarnih čestica*. Slična je situacija u astronomiji gdje se, primjerice, snimke pojedinih segmenata neba prepustaju selekciji AI.

- AI čak i na našim pametnim telefonima prepoznaje glas vlasnika, a izgovoreni tekst pretvara u digitalni zapis. Tako raniji zapisnici, diktiranja i slušanje izlaganja postaju trenutno dostupni u digitalnom zapisu kroz samo jednostavno slušanje stroja s AI.
- AI ne radi greške, uz odgovarajući skup ulaznih podataka. U složenijim jezicima, čija je sintaksa složenija (kao što je hrvatski jezik) mogu se dogoditi pogreške koje su međutim, lako uočljive i lako ih je popraviti.

Prema osobnom iskustvu (DH), na jedno pitanje programu ChatGPT, u odgovoru se javila rečenica s “... *umjetnička inteligencija* ...” što je izazvalo dosta zanimljivu raspravu u obitelji u kojoj postoje i umjetnici...

- AI može preuzeti poslove ili probleme za čije rješenje treba više vremena i više (mentalne) energije koja je kod AI neiscrpna, a kod ljudskog uma dovode do zasićenja, umora i odustajanja.

6. Područja primjene AI

Iz prethodnih razmatranja nazire se složenost uloge AI. Uloga AI manifestira se duž niza područja mnogih djelatnosti, ona je ušla u radne procese, u stvaralačke procese, u upravljanje industrijskim procesima, u medicinu, u financije, u znanstvene procese te je zanimljivo pogledati gdje se i kako se ona manifestira, ponekad i prikriveno u našoj svakodnevici.

Računarsko gledanje - percepcija je važan dio AI koji se bavi vizualnim podacima - slikama ili video zapisima koji ih prepoznaje te ih analizira, uspoređuje i u njima prepoznaje pojedine elemente na osnovu njihove uloge. Nadalje, AI pretražuje web i pronalazi slične slike ili video zapise i povezuje međusobno.

Obrada prirodnih jezika je spomenuta već ranije. U hrvatskom jeziku problem je sintaksa (u odnosu na engleski) pa je AI ovdje pred većim izazovom, a postojeći otvoreno dostupni AI program ChatGPT vrlo često načini gramatičku pogrešku (u rodu ili licu). No, bez obzira na specifičnost hrvatskog jezika, rezultat aktiviranja AI ChatGPT u području generiranja teksta na neku zadanu temu je impresivan, uz poneku nespretnost ili sitniju gramatičku pogrešku. Također je pri obradi tekstova važno prilagoditi jezik razini korisnika, pri čitanju tekstova prilagoditi se računalu i pri AI generiranju tekstova prilagoditi se čovjeku-korisniku.

Prepoznavanje glasa je stari problem koji se našao i u podlozi zanimljivih književnih djela (Solženicin). Niz pametnih telefona otvara se na glas ili poziv vlasnika, a svjedoci smo da se pri pozivu na neki broj povezan s (tehničkim) problemom javlja sugovornik/sugovornica- AI - koji vrlo razumno komunicira s nama (iako se sve to na kraju pokazuje najčešće vrlo beskorisnim bez ‘živog’ sugovornika). Također, dik-

tiranje teksta i njegovo pretvaranje u tekstualni zapis je postala standardna procedura pametnih telefona.

Ekspertni sustavi su povezani s obradom podataka i njihove selekcije za potrebe pojedinih znanstvenih ili stručnih aktivnosti kod kojih se javlja golem broj podataka koje za određenu situaciju valja selekcionirati te ih povezati na više razina. Već je ranije spomenuta medicinska dijagnostika, pojava novih lijekova, problem alergijskih reakcija i proširenje dijagnoza na slične bolesti. Jednako tako se javlja velik broj podataka u financijskim transakcijama, ali i u prirodnim znanostima, posebno u analitičkoj kemiji. Važan je i primjer astrofizičkih podataka i njihovoj obradi (vidjeti zanimljiv tekst [20] i osvrt na njega u dodatku D3).

Robotika se može definirati kao studij i tehnološke primjene robota, njihovog dizajna, proizvodnje i primjene. Roboti su uvedeni u svjetski vokabular od Karela Čapeka, Čeha koji je pisao o robovima - kmetovima (na češkom jeziku), a taj se pojam od njegovog formiranja (1920. godine) postepeno semantički mijenjao pa bismo danas, uz pomoć AI, prije robota nazvali suradnikom nego robom. Granica između proizvodnih automata (koji, primjerice utiskuju čepove u boce vina) i robota - suradnika postaje sve izrazitija simbiozom s AI, tako da roboti mogu obavljati za ljude opasne poslove (razminiranje, demontaža eksplozivnih naprava)⁴ ili interveniraju u ekstremnim uvjetima (dubina, hladnoća, radioaktivnost), ili pomažu ili čak vode kirurške operacije koje zahtijevaju mikroskopsku preciznost, da ne govorimo o automobilima bez vozača. Najnužnije komponente robota su *manipulator* - ruka (najčešće) koja obavlja neki složeni posao koji joj je povjeren od *centralne jedinice*. *Centralna jedinica* prenosi ili generira upute manipulatoru i prima podatke od senzora o vanjskim uvjetima koje povratno ugrađuje u upute manipulators. Treći dio jest *energijski izvor* koji omogućava robotu njegovu aktivnost, a on se sastoji od baterija koje su tako prilagođene da prestano vode računa o kapacitetu, sigurnosti, vremenskom ciklusu i težini.

7. Komponente AI

Svaki sustav AI sastoji se od nekoliko bitnih komponenata koje ukratko opisujemo redom.

- *Učenje* - Učenje (i ovdje) znači dodavanje novih znanja postojećim i produbljivanje i rafiniranje postojećeg znanja. Korisnost AI ovisi o postojećem znanju i frekvenciji obnavljanja tog znanja. Ovdje srećemo četiri glavne komponente

Element učenja je dio koji je odgovoran za poticaj na obnovu znanja.

Izvedbeni element - je dio koji kontrolira koji korak treba poduzeti pri obnovi znanja.

⁴ Vrlo zanimljiv i zabavan prikaz robotike može se naći u knjizi [21] i u zborniku [22]

Kritičar - je dio koji procjenjuje kako se odvija proces obnove.

Generator problema - je dio koji sugerira postupke koji mogu dovesti do novih spoznaja.

- *Programski jezici* - O programskim jezicima govorili smo i ranije. LISP i PROLOG i dalje su dva najčešća AI jezika, no Python se ubrzano širi programima AI. Najstariji od njih je LISP (1950.) dok je PROLOG 20 godina mlađi. Python predstavlja relativnu novost u galeriji programa, a posebna je njegova bogata pozadinska podrška u vidu modula koji su već standardizirani, a postoji i niz individualno uvedenih modula koji rješavaju specifične problema (astronomija, astrofizika, financijske aktivnosti, umjetnost, grafički dizajn itd.), a uvode se zato što je sintaksa Pythona vrlo jednostavna i vrlo slična govornom jeziku. Python se pojavio krajem osamdesetih godina kao 'izum' računarca Guida van Rossuma koji je, očekivano, bio zaljubljenik britanske TV serije Monty Python (Flying Circus). On je postavio neke principe konstrukcije programskog jezika koje je nazvao "Zen Pythona" (The Zen of Python), a koji sadrži, primjerice načela poput *Lijepo je bolje nego ružno* ili *Jednostavno je bolje nego zamršeno* itd. Za instalaciju Pythona (koji je besplatan) pogodna je platforma Anaconda koja omogućuje brzu instalaciju nove verzije Pythona zajedno s najvažnijim modulima.
- *Prikaz znanja* - Kvaliteta rezultata AI ovisi o tome koliko je znanje sustav posjedovao, a to je znanje povezano s kakvoćom baza podataka iz kojih je AI crpila znanje. Postignuto znanje postupcima AI valja na najbolji mogući način prikazati, prenijeti korisnicima. Načini prezentacije znanja vrlo su dinamička kategorija, vrlo brzo se mijenjaju i prilagođavaju temama, a jedan česti način su skripta i okviri (frames) koji predstavljaju tipično, svakodnevno znanje o nekom problemu i ono je spremljeno u mapi u računalu u vidu datoteke, koja nadalje sadrži podatke na još dubljoj razini.[21, str. 50]
- *Rješavanje problema* - Taj dio AI predstavlja one postupke koji slijede načine kojima ljudi rješavaju probleme i zadatke. Pri tome su važni parametri koji utječu na rješenje ako postoji cijeli skup rješenja koja sva zadovoljavaju početne (ili rubne) uvjete. Primjerice, put od Zagreba do Rijeke može se realizirati na niz načina, a svi oni spadaju u skup rješenja, no tek jedan od njih će zadovoljiti sve uvjete ili zahtjeve koji su dodani općem problemu (rubnim uvjetima Zg-Ri).
- *Tehnički okviri AI (hardware)* - Taj dio AI predstavlja neprestanu borbu za više računalnih kapaciteta i za veću brzinu obrade, jer oduvijek znamo da je kvaliteta podataka pruženih AI najvažniji uvjet da su rezultati vjerodostojni.

Svi gore opisani elementi AI posjeduju i dalja raščlanjenja koja se razlikuju od tehničke provedbe AI pa se tako i terminološki ali i semantički razlikuju. Sve te

niže kategorije (u smislu algoritamske dubine) ovise o tvorcima algoritama različitih realizacija AI i njih nije moguće predstaviti u formi ovog teksta. Nužno je konzultirati posebne tekstove iz goleme literature o AI, koji se najčešće međusobno razlikuju upravo po tim nižim (dubljim) kategorijama algoritama.

8. Generativna (stvaralačka) AI (GAI)

Nakon opisa glavnine sadržaja AI logičan korak opisa je već ranije na određeni način najavljena verzija AI, a to je generativna - stvaralačka AI (GAI), kao korak dalje u razvoju AI. Dvije opisne definicije GAI mogu se sažeti ovako: GAI znači da stroj (računalo) može generirati (stvoriti) nešto novo, novo znanje (ili novi skup podataka), umjesto da 'samo' analizira i povezuje postojeće podatke i time (samo) iskazuje ono što već postoji. Dakle, s GAI računala mogu pokazati stvaralačke mogućnosti. Time GAI slijedi put kojim postaje ne samo brza i jeftinija, nego postaje nadmoćnija od ljudskih rezultata. Prema tome, GAI je novi dio ML tehnologije koji uči kako stvarati nove podatke iz podataka izloženih na treningu. U GAI mnogi će uključiti sustave poput ChatGPT, GitHub Copilot, GPT-3, GPT-4, Jurassic i Bloom čiji se rezultati javljaju u formi teksta, audio snimaka, slika i/ili videozapisa. Opći je stav da su rezultati impresivni. GAI je, prema autorima takvih sustava, nužno povezati s golemim bazama podataka, inteligentno organizirati računarske algoritme, uvesti višestruki paralelizam i slijediti rezultate istraživanja ljudskog mozga.

Godine 2013. (na poticaj američkog predsjednika B. Obame) pokrenut je projekt BRAIN (engl. *Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*) čiji je cilj bolje razumijevanje funkcioniranja ljudskog mozga, što je u mnogome slično projektu ljudskog genoma.

Sam GAI sustav daje definiciju samog sebe poput: *GAI se odnosi na klasu sustava AI koji mogu stvarati/generirati nov, originalan sadržaj. Ti sustavi su trenirani na velikim bazama podataka i kao rezultat takvog treninga koji ih je naučio o strukturama, pravilnostima i odnosima među podacima, oni mogu generirati nov, ranije nepoznat sadržaj uz prateće nove podatke, a sve to je slično onom na kojem su oni trenirani.*

Rezultati GAI mogu se podvesti na sljedeće:

- generiranje novog teksta - članaka ili objava na društvenim mrežama;
- generiranje slika, fotografija ili umjetničkih artefakata;
- generiranje glazbe ili glazbenih snimaka;
- generiranje trodimenzionalnih modela i drugih vrsta digitalnih zapisa.

Rezultate GAI moguće je dalje preuzeti i mijenjati ih, uređivati i prilagođavati standardnim alatima (MS Word, TEX, Photoshop, itd.).

9. Kvantna generativna AI (QGAI)

Na osnovu prethodnih tekstova o kvantnim računalima i AI nije teško zaključiti da je njihova konvergencija gotovo neminovna i da će takva nova spregnutost proizvesti nešto što je i za svaku od tih komponenata iznenađujuće, jer su se one same po sebi razvijale ne hajući jedna za drugu. Međutim, nakon njihovog susreta (negdje tamo, možda ne u tako dalekoj budućnosti) i jedna i druga komponenta postižu svaka za sebe novu kvalitetu, a uzete zajedno postaju moćan alat u golemoj, slobodno možemo kazati kaotičnoj, šumi podataka različitih 'razina istine', nabacanih često bez selekcije i reda, a ipak vrijednih toliko da možemo kazati da se u filtriranim, probranim podacima kriju otisci razvoja naše civilizacije, dakle, njene prošlosti ali i nagovještaji njene budućnosti.

Vidjeli smo da AI djeluje (slično) kao ljudski mozak te tako omogućuje da pri aktivnostima u određenim djelatnostima rezultati budu učenje, razmišljanje, procjenjivanje i prilagođavanje trenutnim promjenama okvira aktivnosti. QC je tehnologija koja barata podacima na nezamislivo efikasan način dok, međutim, QC ne pruža njihovu analizu, klasifikaciju, interpretaciju i evaluaciju. Također, QC je u ovom trenutku još nezavršena tehnologija, bez mogućnosti da u potpunosti postigne stanje u kojem bi se mogla usporediti s AI na istoj razini razvijenosti. Dakle, u današnjoj situaciji usporedbe razina razvijenosti, AI pobjeđuje jer se vide njena primjene u zdravstvu, obrazovanju, financijama, istraživanju materijala, u kemiji, fizici, astronomiji itd. Ipak, vjeruje se da će u jednom trenutku QC djelovati kao katalizator za AI.

Rezultati buduće simbioze mogu se predvidjeti i opisati ovako:

- (1) Glavni rezultat uvođenja QC u AI je veća brzina procesiranja odnosno izvedbe računa i baratanja podacima. To će zahtijevati veće računalne kapacitete i značajno povećanje potrošnje (električne) energije.
- (2) Višestruke mogućnosti traženja rješenja su prisutne u velikom broju problema, a današnja praksa najčešće intuitivno izabire jednu mogućnost dok će QC uz pomoć AI moći, i zbog brzine ali i zbog uputa od AI, istražiti paralelno više aspekata i više izglednih mogućnosti i možda ih zajednički utočiti za bolje konačno rješenje.
- (3) Analiza složenih problema (najčešće u tehničkim i znanstvenim disciplinama) koji sadrže, primjerice, intrinzičke nelinearnosti vode često do nužnog pojednostavljenja (npr. linearizacije) zbog velikog broja uvjeta i parametara. Uvođenjem QC u AI (ili obrnuto) vrijeme proračuna će se bitno smanjiti, a neće biti potrebno pojednostavljenje koje je često dovodilo do manje općenitog rješenja. To će biti rezultat brzine izvođenja i paralelizma (QC) i analize uvjeta i parametara (AI).

Nakon što se QC dovede do funkcionalnog statusa, puna suradnja AI i QC morat će uključiti algoritme za njihovu suradnju. Jasno, u ovom ih trenutku još nema, iako se može anticipirati način na koji će se moći postići puna suradnja QC i AI.

Možemo još jednom pokušati dati pregled mogućih područja konvergencije dviju tehnologija kojima se bavimo u ovom tekstu. Iz toga pregleda će biti vidljivo da bi ta buduća konvergencija QC i AI trebala (barem u ovom, početnom stadiju suradnje) trebala biti nazvana '*kvantno potpomognuta AI*' (QAAI) jer postojeći kvantni algoritmi (uglavnom) 'ne vide' AI kao mogućeg suigrača, partnera, i pomagača, kao što ni AI algoritmi - ML prije svega, još ne znaju kako iskoristiti postojeće kvantne algoritme za sustizanje prirodne inteligencije. Ipak, moguće je ovdje anticipirati neka sigurna područja gdje će se QC i AI naći na zajedničkom terenu:

- (1) *Matematičke operacije* - Kvantni algoritmi za, primjerice, nalaženje vlastitih vrijednosti (eigenvalues) VQE (Variational Quantum Eigensolver), ili za rješavanje sustava linearnih jednadžbi HHL (Harrow-Hasidim-Lloyd) nisu za sada aktivni dio strojnog učenja (ML) ali dijelovi ML algoritama i modela imat će golem utjecaj na ubrzanje ML odnosno AI.
- (2) *Tradicionalno strojno učenje - ML* - Algoritmi strojnog učenja konstruirani su prije više desetljeća, u vrijeme kada su QC bila još teoretska ideja. Treniranje na (strukturiranoj) bazi podataka može se uz postojeće kvantne algoritme (Shor, Grover, QFT - kvantni Fourierov transform) bitno poboljšati većom brzinom i dosegom baza podataka za generirajuću AI (GAI).
- (3) *Optimizacija* - Algoritmi optimizacije - nalaženje uvjetnog maksimuma ili minimuma bazirani na metodi Lagrangeovih multiplikatora zamjenjuje se kvantnim verzijama (QAOA – engl. *quantum approximate optimization algorithm*) koji garantiraju nalaženje optimuma (svakako u stohastičkom smislu) u izvedbi QC koja je formulirana kvantnim vratima i mrežama. Uz te algoritme postoje algoritmi koji su bazirani na adijabatskoj verziji QC koja je izvedena iz adijabatskog kvantno mehaničkog računa smetnje, a koji nalaze optimum metodama kvantnog tuneliranja kroz potencijalne barijere [23,24].
- (4) *Neuronsko strojno učenje* - Algoritmi koji su bazirani na modelima neuronskih mreža imaju u svojoj kvantnoj verziji određenih slabosti (u ovom trenutku) - netransparentnost, odnosno nemogućnost potpune provjere rezultata, no prilagodbe postojećih algoritama moguća je, vjeruje se, u verziji adijabatskog QC. [24].

Gore skicirana područja i verzije konvergencije QC i AI predstavljaju velike izazove na programere koji moraju moći istovremeno kontrolirati dva golemo područ-

ja znanstvenog računarstva, a koji u ovom trenutku ne žive na istoj razini zrelosti ali za koje se vjeruje da ih se može spojiti u ono što zovemo u prvoj, adolescentskog fazi QAAI - kvantno potpomognuta AI, a zatim, sazrijevanjem kroz tehnološki napredak QC, puna realizacija QAI - kvantna umjetna inteligencija.

AI i potrošnja energije

Ubrzo nakon uvođenja AI modela (poput ChatGPT u studenom 2022. godine, kompanije OpenAI) došlo je do prave eksplozije broja korisnika što je i rezultiralo analizom potrošnje električne energije jer je sve usavršenije modele AI valjalo 'nahriniti', a tu posebnu ulogu pri potrošnji imaju centri pohrane podataka. Za očekivati je da bi sinteza QC i AI u QAI dovela do dodatnih zahtjeva za energijom, o kojima u ovom trenutku nitko ne može dati ocjenu. No već se ranije došlo do nekih predviđanja da bi ukupna potrošnja centara pohrane podataka bila usporediva s godišnjom potrošnjom električne energije zemlje poput Argentine [25]. To je (izgleda) ponukalo velike igrače u biznisu s AI poput OpenAI (s ChatGPT), Googlea s Bardom ili Microsofta s Copilotom da uvide niz protokola kojima bi se povećala učinkovitost modela AI i time se smanjila potreba za električnom energijom. Međutim, skeptici tvrde da se svakim danom javljaju nova, bolja, naprednija rješenja pri čijem se dizajniranju ne može zbog utrke u postizanju dominacije na tržištu voditi računa i o učinkovitosti pri potrošnji energije. Odgovor kompanija (Google, primjerice) vodi na tvrdnje da sve noviji AI modeli konzistentno smanjuju potrošnju energije, te daju usporedne podatke da su (neki) novi modeli za trećinu manji potrošači energije nego stariji (konkurentski) modeli. Nadalje, razmišlja se i o pohranom odgovora na najčešća pitanja, kako bi se izbjegla aktivacija cijelog modela koja vodi na veću potrošnju energije. Također se razmišlja i o fragmentaciji baze podataka koja bi ograničila vrijeme konstrukcije odgovora i time izbjegla aktiviranje cijelog modela.

Problem potrošnje energije skiciran ovdje pokrenuo je i zakonodavce (u SAD) da zatraže osnivanje kongresnog povjerenstva koje bi trebalo dati uvid u tvrdnje jedne i druge strane o mogućem eksplozivnom rastu potrošnje električne energije zbog rasta interesa za AI odnosno za QAI.

Strah od AI ili QGAI?

Dobro je na kraju istaknuti da postoji određena bojazan prema rezultatima AI, koja bi, prema nekim razmišljanjima, mogla zamijeniti (u potpunosti?) ljude - radnike - stvaraocce. Tu je sigurno važno odrediti koje su to aktivnosti u ljudskom društvu potencijalno 'ugrožene' rezultatima AI? Znanstvena istraživanja koja uključuju uzimanje u obzir postojeće podatke kojih može biti golem broj, sigurno mogu iskoristiti AI u selekciji tih podataka, no iz takvih selektiranih podataka teško je povjerovati da će AI moći, bez obzira na 'kvalitetan trening' intuitivno izvesti ili provesti novi, fundamentalni korak. Uostalom, prepoznavanje oblika selektiranjem zanimljivih fo-

tografija procesa u CERN-u, u akceleratoru LHC, dovelo je do potvrde, već ranije spomenutog postojanja Higgsove čestice, u standardnom modelu elementarnih čestica bitne komponente te teorije. S druge strane, ako bi AI 'ispunila želju' i proizvela Beethovenovu 10. simfoniju, imitirajući prvih devet, tada bi to mnogima izgledalo vrlo privlačno pa bi to pokušali i s G. Mahlerom i njegovom 10. ili čak i J. S. Bachom i njegovim Goldbergovim varijacijama kojih 'za sada' ima samo 30, a rado bismo čuli i 31. i 32. I književnost bi mogla biti obogaćena novim doživljajima šegrta Hlapića ili Melkiora Tresića. Robotizacija upravljana AI može reducirati potrebu za radnim mjestima određene razine, no to otvara druge mogućnosti poput skraćivanja duljine radnog vremena uz pretpostavku da se učinkovitost robota koja se prelije u profit djelomično preusmjeri na zaposlene koji u toj novoj situaciji mogu imati više slobodnog vremena.

Ta se razmišljanja možda mogu sažeti u riječi jednog poznatog fizičara D. Mermina, koautora izuzetne knjige iz fizike čvrstog stanja [26] ali i niza lekcija i izvrsne knjige iz kvantnog računarstva [27] koji je dao interview fizikalnom časopisu ne tako davne 2021. godine. On je bio upitan kojih bi on deset pitanja rado postavio svojim kolegama u godini 2100. Neki od njegovih odgovora sjajno opisuju sadašnju situaciju koja se, moglo bi se naslutiti, prepoznaju u današnjem trendu istraživanja u fizici i njenoj vezi s tehnologijom. Dakle, jedno pitanje je (otprilike): koja su imena glavnih razvojnih grana znanosti? Dalje (nama ovdje posebno zanimljivo) pitanje je: da li su fundamentalne teorije još uvijek postavljene na principima superpozicije stanja koja se vremenski odvijaju djelovanjem unitarnih operatora, ili su osnovni principi kvantne fizike (bili) zamijenjeni? Da li je kvantna mehanika preživjela svo to vrijeme, da li su istraživači postigli konsenzus o problemima interpretacije ili su se prestali time baviti kao problemom? Da li se pojavila neka alternativna teorija koja ne pati od istih nedoumica i da li je teorija koja ju je zamijenila razjasnila stare probleme ili i ona nosi sa sobom nešto slično? Nadalje, da li problem prostora i vremena koji muči ljude - istraživače od 20. i u 21. stoljeću i dalje predstavlja zagonetku? I, konačno njegovo 'novo' područje interesa: da li je netko sagradio kvantno računalo koje može faktorizirati 1000 bitni cijeli broj? Da li se ono rabi za još nešto? Da li ga ima svako kućanstvo?

Sva ova pitanja nisu nam iznenađujuća, ali s obzirom da još nije godina 2100. mi se za sada ne brinemo oko odgovora na ta uznemiravajuća pitanja, iako radimo u smjeru njihovih razrješenja.

10. Epilog

U tekstu su obrađena dva smjera modernih istraživanja iz područja ‘poznatih’ disciplina - kvantne mehanike i računarske tehnike. Svaka od njih nezavisno predstavlja golemo područje neprestanog istraživanja, a razvoj tehnologije, a time i novih ideja, doveo je do njihovih novih aspekata koji su poprimili oblik kvantnog računarstva (QC) i umjetne inteligencije (AI) koja je bitno vezana uz računalnu tehnologiju. Početni tekst tretira te dvije discipline odvojeno u više odjeljaka, obradivši tek njihove skice, no kroz obadva tematska dijela naslućuje se da je gotovo neminovna njihova sinteza koja nosi ime kvantna generativna umjetna inteligencija - QGAI. U dodatcima su dana tehnička objašnjenja nekih tema, uz osvrt na zanimljivu ulogu AI u SETI uz jednako važna razmišljanja o prednostima ali i mogućim opasnostima uvođenja AI. Dodan je i pregled niza kratica koje se javljaju u QC i AI u hrvatskim i engleskim tekstovima koji obrađuju slične teme.

Zahvala

Zahvaljujemo se recenzentima ovog teksta koji su ga svojim primjedbama i zahtjevima bitno unaprijedili te popravili niz manjkavosti koje su se pojavile u prvoj verziji teksta. Nadalje, jedan od autora (D.H.) želi se zahvaliti kolegi i prijatelju dr. Zoranu Narančiću na nizu zanimljivih, ponekad i žučnih rasprava o temama koje prožimaju ovaj tekst. Također, zahvaljujem mu se na nizu referenci i izvora koji su bitno utjecali na kvalitetu ovog teksta.

DODATAK D_I - Postulati kvantne mehanike

Postulati kvantne mehanike ne mogu se izvesti iz klasične mehanike, već su oni opći principi sadržaja i odvijanja mikroskopskih procesa koji su aposteriori uvedeni, nakon što su fizičari naučili strukturu i sadržaj kvantne mehanike. Oni, dakle, služe za sistematiziranje i organiziranje znanja o kvantnomehničkom formalizmu. U literaturi možemo naći različit broj postulata, formuliranih na različite načine. Mi ćemo ovdje pokušati minimalnim brojem postulata dati okvire kvantnoj mehanici i sadržaj kvantne mehanike, a to će nam pomoći da razumijemo njenu dinamiku i interpretaciju. Vidjet ćemo kako se formalizam kvantne mehanike prirodno povezuje s matematičkim formalizmom uvedenim kasnije.

Prema tome, postulati kvantne mehanike daju:

- (1) pravila za određivanje *valne funkcije* $\psi(x, y, z, t)$,
- (2) interpretaciju valne funkcije,
- (3) načine uvođenja fizikalnih veličina - opservabli u kvantnomehnički formalizam,
- (4) pravila za računanje očekivanih (srednjih) vrijednosti opservabilnih veličina pomoću valnih funkcija.

POSTULAT 1

Svakom fizikalnom stanju kvantnomehničkog sustava pripada *valna funkcija* (u jednoj dimenziji $\psi(x, t)$, a u tri dimenzije $\psi(\mathbf{r}, t)$) koja sadrži sve podatke o stanju fizikalnog sustava odnosno u potpunosti određuju kvantni sustav. Valna funkcija pripada beskonačno dimenzionalnom Hilbertovom prostoru H^∞ funkcija i ona je kvadratno integrabilna kompleksna funkcija svojih argumenata.

POSTULAT 2

Svakoj fizikalnoj veličini pridružujemo operator. Operatori fizikalnih veličina su linearni i Hermitski. Fizikalne jednadžbe u kojima se nalaze te fizikalne veličine postaju operatorske jednadžbe (diferencijalne jednadžbe) najčešće vlastitih vrijednosti. Vlastite vrijednosti Hermitskih operatora koji pripadaju fizikalnim veličinama su mogući rezultati mjerenja tih fizikalnih veličina. Odmah nakon mjerenja fizikalne veličine, sustav će biti u stanju koje je opisano vlastitom valnom funkcijom koja odgovara izmjerenoj vlastitoj vrijednosti.

POSTULAT 3

Srednja ili očekivana vrijednost neke fizikalne veličine A u nekom stanju fizikalnog sustava ψ dobije se tako da se izračuna srednja vrijednost pripadnog Hermit-

skog operatora A , tj.

$$\langle A \rangle = \bar{A} = \int \psi^* \hat{A} \psi dV \quad (\text{DI-1})$$

gdje se integral proteže preko područja u kojem promatramo fizikalni sustav.

POSTULAT 4

Vremensko odvijanje fizikalnog sustava opisanog valnom funkcijom (napisanoj u jednoj dimenziji) $\psi(x, t)$ dano je rješenjem Schrödingerove jednačbe

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(x, t) = \hat{H}(x, t) \Psi(x, t) \quad (\text{DI-2})$$

gdje je $H(x, t)$ ukupna energija - *hamiltonijan* sustava, a H je odgovarajući Hermitski operator.

DODATAK D2 - Kvantne tehnologije

Kvantna mehanika je teorija mikroskopskih pojava i struktura dok nam neposredna slika tehnologije najčešće nameće slike makroskopskih objekata poput kosilica, strojeva za pranje rublja, automobila, aviona i sličnog. Svakome je jasno da kroz stoljeća razvoja civilizacije postoji stalna (ponekad i spora) difuzija znanstvenih spoznaja i rezultata u praktičnu primjenu, tj. simbioza znanosti i tehnike - tehnologije nije nikad bila upitna. U takvim je već postojećim situacijama teško razlučiti gdje prestaje (čista) znanost, a gdje počinje tehnologija. I nedavna otkrića mikroskopske - kvantne razine dovela su do tehnoloških rješenja koja su u vidu lasera, nuklearne magnetske rezonancije, supravodljivosti, tranzistora i kompleksnijih poluvodičkih struktura ugrađena u naš svakodnevni život. Ipak, današnja situacija, odnosno naslov ovog odjeljka 'kvantne tehnologije' ne slijedi taj skoro neosjetni proces difuzije već se radi o jednom gotovo 'kvantnom skoku' od fizikalno- matematičke strukture kvantne fizike (skicirane u prošlom odjeljku) do neposrednih tehnoloških rješenja.

Kvantne tehnologije su područja preklapanja kvantne fizike i tehnologije u kojem se kvantni principi i svojstva, poput superpozicije i spletenosti primjenjuju na tehnološka područja poput računarstva, informacijske tehnologije, komunikacija, umjetne inteligencije, robotike, medicine, farmacije, pa sve do istraživanja svemira. Niz zemalja stvara centre kvantne tehnologije koji zatim, izdašno financirani, djeluju u nekim glavnim smjerovima koje ovdje navodimo:

1. Kvantno računarstvo;
2. Kvantna kriptografija;
3. Kvantna simulacija;

4. Kvantna metrologija;
5. Kvantne informacije;
6. Kvantna kontrola.

Valja ovdje naglasiti da gornja podjela ima i područja preklapanja, ali i da nedostaju neka uža područja koja su utopljena u neko od gornjih.

Jednostavnim pretraživanjem interneta uz pojam ‘Quantum technologies’ ili ‘Quantum Information Centre’ dolazimo do milijuna ‘pogodaka’ koji pokazuju da je, posebno u zadnjih dvadesetak godina, došlo do nedvosmislenog približavanja nekoć nespojivih područja. Već afirmirana nanotehnologija u stvari nije ništa drugo nego kvantna mehanika, koja ‘radi’ upravo na nano-razini, tako da i u drugim po nazivu manje evidentnim područjima, postoji takva primjena kvantnog u tehnološke namjene. Osim državnih subvencija za kvantne tehnologije, javlja se niz golemih tehnoloških kompanija poput Googlea, IBMa, Microsofta, DWavea, TOSHIBA itd. koji izdvajaju goleme iznose za istraživanja kvantnih tehnologija, a i realizaciju postojećih kvantnih komponenti uređaja koji pripadaju gornjim područjima. Europska Unija je alocirala golemu sredstva upravo na gore navedene teme i stimulira stvaranje centara za kvantne tehnologije. Tražilice interneta pronaći će dokumente pod nazivom *Quantum Roadmap* koji opisuju korake učinjene u tom smjeru. Koraci opisani u popisu glavnih smjerova istraživanja ponekad se zove i ‘druga kvantna revolucija’, dok je ona prva, pretpostavljamo, bila pri stvaranju ‘prave’ kvantne mehanike Heisenberga, Schrödingera, Paulija i Diraca.

Kvantno računarstvo ostavljamo za kraj ovog odjeljka, dok spominjemo primjerice kriptografiju koja bi u svojoj kvantnoj verziji omogućila sigurnost informacijskih sustava uvođenjem algoritama koji se izučavaju u okviru kvantnog računarstva.

Kvantna simulacija prije svega se odnosi na procese u okviru velikih dinamičkih sustava poput zračnog i automobilskeg prometa, raspodjele i upravljanja (telekomunikacijskim) satelitima, ali posebno je zanimljivo alociranje lijekova organizmima i njihova ciljana primjena te simulacija ishoda liječenja. Za ostvarivanje kvantne simulacije važno je konstruirati kvantni generator slučajnih brojeva (QRNG), a tu se odmah nameće i umjetna inteligencija (AI) koja svojom sveobuhvatnošću mora biti prije njenog uvođenja temeljito istražena upravo kvantnom simulacijom. Kvantne simulacije povezane su i s vremenskim prognozama za koje se danas rabe golemi klasični računalni resursi koji bi u kvantnim protokolima mogli davati pouzdane rezultate.

Kvantna kriptografija predstavlja važnu komponentu zaštite podataka, a akronim QKG znači kvantnu generaciju kodova, engl. *Quantum Key Generation*, jer bi stvaranje kvantnih računala upravo moglo omogućiti ‘razbijanje’ sigurnosnih kodova generiranih klasičnim metodama.

Kvantne informacije i kvantne komunikacije imaju između ostalog oformiti kvantni internet koji bi zajedno s umjetnom inteligencijom omogućio pristup i istovremenu obradu golemog broja informacija. Tu svakako treba spomenuti dosad nespomenutu kvantnu optiku koja se oslanja na istraživanje materijala za kvantne komunikacije.

Kvantna metrologija povezana je s najvažnijim dijelom fizikalnih i tehničkih istraživanja, a to je mjerenje. Postoji niz ograničenja modernih mjernih instrumenata koji bi primjenom kvantnih verzija povećali preciznost, brzinu odaziva i mjerenja doveli u područja koja su danas nedostižna - ekstremno visoke ili ekstremno niske temperature, tlakovi i sl.. Nadalje, u kvantnoj metrologiji bi se izbjeglo međudjelovanje mjerenog sustava i instrumenta koje na osjetljivim režimima mjerenja mijenja uvjete mjerenja te daje tako manje pouzdane rezultate. Na klasične senzore postavlja se limit preciznosti zvan *standardni kvantni limit* - *SQL* koji pokazuje promjene preciznosti proporcionalno korijenu iz broj čestica u senzoru, dok se vjeruje da bi se kod kvantnih senzora u Heisenbergovom limesu preciznost senzora ponašala proporcionalno broju čestica.

Kvantno računarstvo

Kvantna računala su posebno zanimljivo područje kvantnih tehnologija [12,28,29].

Kvantna računala provode račune s klasičnim bitovima 1 i 0, ali ti su bitovi uklopljeni u qubit - superpoziciju klasičnih bitova i unitarni procesi baratanja qubitima obećavaju ostvarenja niza prednosti nad klasičnim računalima. Unitarnost kvantnih procesa koji tvore kvantne mreže i kvantne algoritme jest u tome da je, upravo zbog unitarnosti, moguće provoditi procese u jednom i drugom smjeru (početak→kraj, ili kraj→početak). Zato je sinonim kvantnom računarstvu (bio) reverzibilno računarstvo. Princip unitarnosti poznat je u kvantnoj fizici i jedan je od bitnih kriterija niza procesa koji su prihvaćeni ili odbačeni upravo zbog njihove ne-unitarnosti ili unitarnosti, što je nadalje povezano s renormalizacijom u kvantnoj teoriji polja.

Jedan od ciljeva kvantnog računarstva je 'kvantna nadmoćnost', engl. *Quantum Supremacy* – QC', koja bi značila nadmašivanje klasičnog računala kvantnim, i u brzini i u pouzdanosti i u širini primjena, ali prije svega u brzini.

Za realizaciju kvantnog računala rukovodi se kriterijima danim od poznatog istraživača kvantnih računala i kvantnog računarstva, po kome se zove i jedan kvantni algoritam, a to je Di Vincenzo. On je postavio kriterije koji daju smjernice razvoja kvantnog računala. Prvi je postojanje skupa qubita, čiji se broj može umnažati po potrebi. Qubit je moguće na više načina ostvariti - spin fermiona, foton dane polarizacije, ion itd. - no najvažnije je vrijeme koherencije, tj. vrijeme kroz koje se qubit održava u stabilnom jednom definiranom stanju. Po drugom kriteriju to vrijeme koherencije

mora biti dulje od procesa u kojem qubit aktivno sudjeluje. Qubit priređen u željenom početnom stanju mora proći kroz kvantne mreže, univerzalna kvantna vrata i kvantne algoritme te mora na kraju biti izmjeren. Mora biti omogućen prijenos qubita, a kao i kod klasičnih računala potrebno je uvesti protokole o ispravljanju grešaka kojih bi moglo biti s obzirom na dekoherenciju koja rezultira većem broja grešaka od klasičnih računala.

Danas se broj qubita u realizacijama kvantnih računala, a koji ulaze u kvantne algoritme neprestano povećava, a smatra se da računalo koje bi moglo ući u utrku za QC (Quantum Supremacy) mora moći kontrolirati više od 1000 qubita, što za sada još nije postignuto. Ipak, usprkos tome, već je konstruiran niz kvantnih algoritama koji u ovom trenutku rade s malim brojem qubita, ali njihov unitarni hod nije ograničen na određen broj qubita tako da je za niz primjena algoritamska strana kvantnog računarstva već pripremljena.

Navedimo ovdje samo neke algoritme koji isključivo nose imena svojih tvoraca:

Deutschev ili Deutsch-Jozsa algoritam koji pokazuje kako je moguće odrediti vrijednost nekog bivalentnog ishoda uz najmanji broj provjera (pismo-glava i sl.).

Shorov algoritam kojim se faktorizira (neprost) broj i koji ima posebnu važnost u kriptografiji. Pri tome se javlja i *kvantni Fourierov transformat* kao dio metode Shorovog algoritma.

Groverov algoritam kojim se istražuje baza podataka koja sadrži određeni niz qubita.

Simonov algoritam, Bernstein - Vazirani algoritam, itd.

Vrlo je zanimljiv u kvantnom računarstvu *teorem o ne-kloniranju* koji pokazuje da nije moguće jedan qubit "umnožiti" - klonirati. Nadalje, problem *teleportacije* riješen je kvantnom računarstvu kroz niz algoritama koji pokazuje kako je moguće jedan qubit prenijeti (teleportirati) tako da se, uz kvantni reverzibilni proces, uspostavi klasična komunikacija između pošiljaoca i primaoca, a da klasična komunikacija nikako ne može otkriti vrstu teleportiranog qubita.

Razvoj kvantnog računarstva vezan je uz konstrukciju kvantnog računala. U ovom je trenutku moguće pristupiti nekim adresama na internetu koje omogućavaju 'igranje' s qubitima i provođenje nekih kvantnih procedura uz primjenu univerzalnih kvantnih vrata i kvantnih algoritama. Vjeruje se da će ubrzo biti konstruirano kvantno računalo koje bi moglo krenuti u smjeru postizanja 'svetog grala' kvantnog računarstva, a to je 'kvantna nadmoćnost'.

DODATAK D3 - Osvrt na članak SETI i umjetnoj inteligenciji

U ovom dodatku bit će dan osvrt na zanimljiv članak autorice R. Charbonneau: *SETI, artificial intelligence, and existential projection*, Physics Today, 37-42, February 2024, u kojem se razmatraju različiti aspekti uloge AI u astronomiji ali i u širem društvenom kontekstu.

SETI - Search for ExtraTerrestrial Intelligence - je kratica koja je rezultat susreta znanstvenika - uglavnom astronoma 1971. godine koji su raspravljali o ugrozi ljudske vrste od vanzemaljske inteligencije, ali i mogućih komunikacija s njom. Pri tome je velik dio rasprave posvećen umjetnoj inteligenciji i kako ona može unaprijediti ili razoriti naš svijet. I prije 1971. godine je poznati astronom Frank Drake (1930.-2022.) počeo planirati projekt pronalaženja dokaza o vanzemaljskoj umjetnoj inteligenciji.

Uz sve prednosti AI pojavila su se, međutim i razmišljanja o lošim stranama uvođenja i prisutnosti AI. Grupa znanstvenika, političara i poslovnih ljudi u jednom je proglasu, odnosno otvorenom pismu javnosti, predložila zaustavljanje opsežnih AI eksperimenata, a nešto kasnije u časopisu Time objavljen je članak kojem je teoretičar AI Eliezer Yudkowsky dao naslov "*Zaustavljanje razvoja AI nije dovoljno! Moramo AI zaustaviti u potpunosti!*" i dalje kaže: *Ako nastavimo, svi će umrijeti, čak i djeca*".

Tehnolozi spominju riječ *singularitet* koji je u ovo područje uveo matematičar i znanstvenik V. Vinge koja označava trenutak kada će AI nadmašiti ljudsku, prirodnu inteligenciju.

Strah ili strepnja od utjecaja AI na svakodnevni život nije u potpunosti novost, jer je poznat Luditski pokret s početka agresivnog kapitalizma (koji je i danas, izgleda, prisutan) kada su u XIX stoljeću u Velikoj Britaniji tekstilni radnici, u strahu od uvođenja strojeva u tvornice, počeli razbijati strojeve i tvornice u strahu da će ih strojevi u potpunosti zamijeniti i da će tako ostati bez posla. Cijela slika Luditskog pokreta ima, međutim i širu dimenziju: luditi su se borili za veća radnička prava, tako da su u okviru tehnološkog napretka oni tražili više pravde i više razumijevanja ili, kako bismo modernije kazali, za pravednije koeficijente.

AI u tom kontekstu može, prema sociolozima i političkim planerima, proizvesti niz društvenih i moralnih problema ako se bez opreza uvede u politiku zapošljavanja, stanovanja, socijalne pomoći, posebno ako se manipulira bazama podataka na kojima AI djeluje, odnosno ako se u AI uvedu parametri koji nisu u skladu s moralnim načelima.

Jedan od autora ovog teksta (D.H.) prisjeća se jedne davne priče iz znanstvene fantastike, a ta je priča izronila i u razgovoru s kolegom prof. dr. Z. Narančićem, koji se također nje sjetio, u kojoj su se svi svjetski znanstvenici udružili (znanstvena fan-

tastika, očigledno) i izgradili golemo računalo u kojem su bila pohranjena sva znanja i svi raspoloživi podatci (AI, rekli bismo danas). To je super-računalo valjalo svečano pokrenuti. Nakon uključanja, razmišljali su koje bi fundamentalno pitanje postavili i krenuli su s pitanjem: "Postoji li Bog?". U istom trenutku bljesnula je munja, zapečatila je prekidače upravljanja i došao je odgovor: "Sada postoji Bog!".

DODATAK D4 - Pregled kratica

U ovom tekstu, a i u sličnim tekstovima na engleskom jeziku, javlja se niz kratica koje dolaze ili iz engleskog jezika ili su prevedene na hrvatski jezik, a teško je pratiti u tekstu gdje se one prvi puta javljaju uz objašnjenje njihovog značenja. Zato ovdje popisujemo niz takvih kratica uz tek poneko objašnjenje njihovog značenja jer je najčešće jasan njihov sadržaj odnosno značenje.

AI - Artificial intelligence - umjetna inteligencija

DL - Deep Learning

GHZ - Greenberger, Horn, Zeilinger

GPT - Generative Pre-training Transformer

GPU - Graphic Processing Unit

GUI - Graphic User Interface

HHL - Harrow, Hasidin, Lloyd

HPC - High Performance Computing

IT - Information Technology

KI - Künstliche Intelligenz - umjetna inteligencija

LAI - Logic Artificial Intelligence

LHC - Large Hadron Collider

LISP - List Processing

LLM - Large Language Model - digitalni lingvist

ML - Machine Learning - strojno učenje

NI - Natural Intelligence - prirodna inteligencija

NISQ - Noisy Intermediate-scale Quantum device

NLP - Natural Language Processing

OCR - Optical Character Recognition

QAAI - Quantum Assisted AI

QAOA - The Quantum Approximate Optimization Algorithm

QC - Quantum computing, quantum computer

SETI - Search for Extra Terrestrial Intelligence - potraga za vanzemaljskom inteligencijom

SVMs - Support Vector Machines

VQE - Variational Quantum Eigensolver

Literatura i reference

- [1] R. P. Feynman, Simulating Physics with Computers, *International Journal of Theoretical Physics* 21 (6/7), 467-488 (1982);
- [2] S. Weinberg, *Third Thoughts*, Belknap Press, London (2018);
- [3] E.S. Abers, *Quantum Mechanics*, Pearson Education, Upper Saddle River (2004).
- [4] R.H. Dicke, J.P. Wittke, *Introduction to Quantum Mechanics*, Addison Wesley Publ. Comp., Reading (1960);
- [5] E.S. Abers, *Quantum Mechanics*, Pearson Education, Upper Saddle River (2004).
- [6] J.J. Sakurai, *Modern Quantum Mechanics*, Addison-Wesley Publ. Comp. New York (1985);
- [7] S. Weinberg, *Lectures on Quantum Mechanics*, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge (2022);
- [8] S. Wieder, *The Foundations of Quantum Theory*, Academic Press, New York (1973).
- [9] R. Shankar, *Principles of Quantum Mechanics*, Prentice Hall, New York (1981).
- [10] M. S. Rogalski, S. B. Palmer, *Quantum Physics*, CRC Press, Boca Raton (1999).
- [11] A. Steane, Quantum Computing, *Rep.Prog.Phys.* **61**, 117-173 (1998).
- [12] M.A. Nielsen i L.L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge University Press, Cambridge (2000);
- [13] A. Turing, *Computing Machinery and Intelligence*, *Mind*, 59 (236), 433-460 (1950);
- [14] D. Mišljenčević, I. Marsić, *Umjetna inteligencija*, Školska knjiga, Zagreb (1991).
- [15] D. L. Poole, A. K. Mackworth, *Python Code for Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents*, Independently Published (2024).
- [16] P. Joshi, *Artificial Intelligence with Python*, Packt Publishing, Birmingham (2024).
- [17] H. M. Elsherif: *Python for Artificial Intelligence: A Comprehensive Guide*, Independently Published (2024).
- [18] S. Lynch, *Python for Scientific Computation and Artificial Intelligence*, CRC Press, New York (2023).
- [19] P. Gupta, A. Bagchi, *Essentials of Python for Artificial Intelligence and Machine Learning*, Springer, New York (2023).
- [20] R. Charbonneau, SETI, artificial intelligence, and existential projection, *Physics Today*, 37-42, February 2024.
- [21] K. Warwick, *Artificial Intelligence, the basics*, Routledge, Oxon (2012).
- [22] S. Lucci, D. Kopec, *Artificial Intelligence in the 21st Century*, 2. izd., Mercury Learning and Information, Dulles (2016).
- [23] Catherine C. McGeoch, *Adiabatic Quantum Computation and Quantum Annealing: Theory and Practice*, Synthesis Lectures on Quantum Computing 5.2, 1-93 (2014).
- [24] N. Wiebe and L. Wossing, *Generative training of quantum Boltzman machines with hidden units*, arXiv: 1905.09902 (2019).
- [25] D. Kramer, Will AI's Growth Create an explosion of Energy Consumption?, *Physics Today*, 28-29, April 2024.;
- [26] N.W. Ashcroft i N.D. Mermin, *Solid State Physics*, Saunders College Publishing, Fort Worth (1976);
- [27] N.D. Mermin, *Quantum Computer Science: An Introduction*, Cambridge University Press, Cambridge (2007);
- [28] N.S. Yanofsky i M.A. Mannucci, *Quantum Computing for Computer Scientists*, Cambridge University Press, Cambridge (2008);
- [29] V. Kasirajan, *Fundamentals of Quantum Computing*, Springer, Cham (2020);

Branko Hanžek, Dubravko Horvat

QUANTUM COMPUTERS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Summary: Two phrases from the title began to dominate even advertising texts of popular science, medicine, cosmetics, upbringing, education, art, technology and even popular music. Such indiscriminate use clearly shows that there is a great misunderstanding of both phrases, especially when they are connected into an incoherent sentence that seems to be very learned, but which shows that behind the ‘shiny terminological surface’ there is a complete emptiness of content and understanding. In this text, we will briefly give some semantic frameworks of both phrases and look at how they become connected in an approach that will produce a ‘quantum leap’ in modern data inflation as well as their impact on our daily lives. This phrase is sometimes called quantum artificial intelligence, where the parallelism of quantum computing enables the acceleration of machine learning algorithms, as an important branch of the artificial intelligence. And it is precisely this phrase or synergy of these elite computer disciplines that is the central theme of this presentation.

Keywords: data inflation, quantum leap, quantum artificial intelligence, quantum generative artificial intelligence

Ivan Flegar

OSNOVNA ENERGETSKA SVOJSTVA STATIČKIH PRETVARAČA

Sažetak: Rastavom djelatne snage na frekvencijske članove i primjenom načela ravnoteže djelatnih snaga na frekvenciji pokazano je da se energetska mreža bilo kojeg statičkog pretvarača može promatrati kao transformator djelatne snage na frekvenciji. Polazeći od tih postavki neposredno proizlaze uvjeti opstojnosti procesa pretvorbe za sve vrste statičkih pretvarača. Uzimajući u obzir i opće načelo minimaliziranja gubitaka snage u energetskim mrežama, definiran je pojam pretvaračke komponente i opisana su pretvaračka svojstva svih konstitutivnih komponenata (periodički sklapanih sklopki i reaktivnih komponenata) energetskih mreža statičkih pretvarača. Sva energetska svojstva statičkih pretvarača izvedena su ne razmatrajući strukture energetskih mreža pojedinačnih statičkih pretvarača. Također, objašnjeno je zašto pretvaračka mreža (lančani spoj pojne mreže, energetske mreže statičkog pretvarača i trošila) mora biti dobro definirana mreža. Na primjeru istosmjernog pretvarača za povezivanje istosmjernog naponskog izvora s istosmjernim naponskim uvo-rom pokazano je da taj zahtjev određuje strukturu energetske mreže istosmjernog pretvarača.

Ključne riječi: djelatna snaga na frekvenciji, dobro definirana mreža, pretvaračka komponenta, pretvaračka mreža, statički pretvarač, uvjeti opstojnosti

Uvod

Električne energetske mreže grade se da bi se riješio neki elektrotehnički problem vezan uz prijenos električne energije od pojne mreže do trošila. Izravan priključak trošila na pojnu mrežu moguć je samo ako se električne karakteristike pojne mreže podudaraju s električkim karakteristikama trošila. Pri tome se među osnovne

električke karakteristike pojnih mreža i trošila ubrajaju frekvencija, valni oblik i amplituda napona, broj faza i galvanska (ne)odvojenost.

Ako se električke karakteristike pojnih mreža i trošila ne podudaraju potrebno je između pojnih mreža i trošila ugraditi uređaje za promjenu zadanih električkih karakteristika pojnih mreža u željene električke karakteristike trošila uz uvjet da ta promjena bude ostvarena uz najmanji mogući gubitak snage ugrađenih uređaja. Ti se uređaji mogu sastojati od samo jedne električke naprave (komponente), primjerice, transformatora, no najčešće su ti uređaji električke energetske mreže sastavljene od većeg broja naprava i nazivaju se jednim imenom 'energetski pretvarači'. Proces promjene električkih karakteristika pojne mreže u električke karakteristike trošila naziva se 'proces pretvorbe'¹, a grana elektrotehnike koja se bavi izgradnjom tih uređaja te izučavanjem njihovog međudjelovanja s pojnim mrežama i trošilima 'pretvaračka tehnika'.

Među energetske pretvarače ubrajaju se transformatori, električki rotacijski strojevi i statički pretvarači. Osnove rada transformatora i električkih rotacijskih strojeva bitno su različite od osnova rada statičkih pretvarača te se oni ne proučavaju u okviru pretvaračke tehnike. Statički pretvarači su pasivne električke mreže u kojima se proces pretvorbe ostvaruje s pomoću periodički sklapanih sklopki i te se naprave uobičajeno nazivaju 'pretvaračke komponente'.

Izuzetno uspješan razvoj poluvodičkih komponenata u sklopnom načinu rada (poluvodičkih ventila), koje po svojim sklopnim svojstvima nadmašuju sve ostale vrste periodički sklapanih sklopki, učinio je da se danas svi statički pretvarači grade s pomoću poluvodičkih ventila. Ti se statički pretvarači nazivaju 'elektronički energetski pretvarači', a grana elektrotehnike koja se bavi tim statičkim pretvaračima 'energetska elektronika'. Nazivi pretvaračka tehnika i energetska elektronika smatraju se danas sinonimima.

Energetska elektronika je danas etablirano područje elektrotehnike o kojem postoji veliki broj udžbenika. No, unatoč različitim sadržajima i različitim pristupima u svim se udžbenicima prešutno pretpostavlja da se s pomoću mreža s poluvodičkim ventilima mogu ostvariti svi željeni procesi pretvorbe. Ta se pretpostavka smatra očiglednom i samorazumljivom činjenicom i ima status postulata energetske elektronike.

¹ Uočimo da se tako definiran proces pretvorbe bitno razlikuje od uobičajene definicije u fizici, gdje se pod procesom pretvorbe razumijeva svaki proces u kojem se energija održava u kvantitativnom smislu, a mijenja u kvalitativnom smislu, dakle, kad energija prelazi iz jednog oblika u drugi. Promjena električkih karakteristika pojnih mreža u električke karakteristike trošila to nije. Štoviše, svaka pretvorba energije u energetskim pretvaračima, primjerice, električne energije u toplinsku energiju je neželjena. Proizlazi da je naziv 'proces pretvorbe' neispravno usmjeren naziv kao i sâm naziv 'pretvarač'. No, ti su nazivi u elektrotehničkoj praksi općeprihvaćeni, pa su zadržani i u ovom tekstu.

Prema mišljenju autora to nije samorazumljiva činjenica, posebno ne za početnike u struci. Da bi se njima kao i onima zainteresiranim za to područje olakšalo uvođenje u svijet energetske elektronike trebalo bi tu činjenicu objasniti a ne postulirati. To je autor i učinio, a rezultate istraživanja objavio u radovima [1 – 4] te u udžbeniku [5]. Analizirajući rastave djelatnih snaga pasivnih komponenata energetskih mreža statičkih pretvarača na frekvencijske članove, u tim je radovima odgovoreno na neka od temeljnih pitanja energetske elektronike, kao što su: Što je pretvaračka komponenta? Pod kojim uvjetima opstoje pojedine vrste procesa pretvorbe? Što je zajedničko raznovrsnim procesima pretvorbe?

Članak je podijeljen u dva dijela. Prvi dio članka bavi se onim dijelom analize energetskih procesa koji vrijedi za sve električke mreže. Pri tome je temeljni pojam analize pojam djelatne snage pasivnog jednogprilaza na frekvenciji. Pokazano je da u svakoj električkoj mreži vrijedi načelo ravnoteže djelatnih snaga na frekvenciji kao i da se u nelinearnim pasivnim mrežama, kao što su to energetske mreže statičkih pretvarača, osim procesa pretvorbe električne energije u toplinsku energiju događa i transformacija djelatne snage na frekvenciji. U drugom dijelu članka opisana su energetska svojstva statičkih pretvarača koja proizlaze iz poimanja statičkih pretvarača kao transformatora djelatne snage na frekvenciji. Također, objašnjeno je zašto statički pretvarač mora u zajednici s pojnom mrežom i trošilom tvoriti dobro definiranu mrežu.

1. O pojmu djelatne snage u električkim mrežama

1.1 Trenutačna snaga i djelatna snaga fizičkog sustava

Za analizu energetskih procesa u svim električkim mrežama u ustaljenom stanju ključan je pojam djelatne snage, čija ispravna primjena proizlazi iz razumijevanja značenja općenitijeg pojma snage fizičkog sustava. Pri tome se pod fizičkim sustavom smatra pojedinačni fizički objekt ili njih više odvojenih stvarnom ili zamišljenom zatvorenom plohom od ostatka fizičkog svijeta, tj. okoline. Definicija snage fizičkog sustava temelji se na metafori o energiji kao fluidu [6], tj. tvari koja struji, prema kojoj je snaga fizičkog sustava $P(t, t + \Delta t)$ na intervalu $(t, t + \Delta t)$ jednaka količini energije ΔE koja u jedinici vremena Δt prostruji kroz zatvorenu plohu okomitu na smjer protjecanja u okolinu ili obratno²

² U inženjerskoj praksi bitno je znati količinu energije prenesene u jedinici vremena u ili iz fizičkog sustava u okolinu jer taj podatak određuju dimenzije objekata fizičkog sustava. Zbog toga se u tehničkim znanostima analiza energetskih procesa u fizičkim sustavima provodi u terminima snage.

$$P(t, t + \Delta t) = \frac{\mathcal{E}(t + \Delta t) - \mathcal{E}(t)}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta t} \quad (1)$$

U tehnici i fizici količina tvari koja u jedinici vremena prostruji kroz plohu okomitu na smjer protjecanja naziva se 'tok tvari', tako da riječ 'snaga' valja shvatiti kao sinonim za sintagmu 'tok energije' ili preciznije za sintagmu 'jakost toka energije'³.

Snaga je fizikalna veličina pridružena nekom fizičkom sustavu te nema smisla govoriti o snazi ako se ne navede fizički sustav na koji se ona odnosi. Zbog toga se u analizi energetske procesa nužno pojavljuje sintagma 'snaga X-a', gdje je X analizirani fizički sustav, recimo, elektromotor, otpornik ili dio električne mreže. 'Snaga X-a' ustvari znači 'jakost toka energije na zatvorenoj plohi koja odvaja X od okoline', te je praktičnost upotrebe kraće sintagme očigledna.

Graničnim prijelazom, kad $\Delta t \rightarrow 0$, dobiva se iz (1) da je trenutačna snaga fizičkog sustava $p(t)$ jednaka brzini promjene funkcije energije $\mathcal{E}(t)$ u trenutku t

$$p(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta t} \right) = \frac{d\mathcal{E}(t)}{dt}$$

Za analizu energetske međudjelovanja između fizičkog sustava i okoline u periodičkom ustaljenom stanju s periodom T koristi se srednja vrijednost trenutačne snage na periodu,

$$P = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} p(\tau) d\tau = \frac{1}{T} [\mathcal{E}(t + T) - \mathcal{E}(t)] \gtrless 0 \quad (2)$$

i naziva se djelatna snaga fizičkog sustava. Ako je $P > 0$, fizički sustav unutar periode T prima energiju iz okoline, tj. ponaša se kao trošilo (uvor energije), a ako je $P < 0$, fizički sustav unutar periode T predaje energiju okolini, tj. ponaša se kao izvor energije. Ako je $P = 0$, fizički sustav i okolina ili razmjenjuju unutar periode T jednaku količinu energije ili ju uopće ne razmjenjuju.

³ U elektrotehnici, posebno u elektroenergetici, često se upotrebljavaju sintagme, kao što su "prenese-na snaga, predana snaga, tok snage" i sl., da bi se naglasilo da je snaga fizičkog sustava fizikalna veličina kojom se kvantificira prolaz energije kroz granicu koja dijeli fizički sustav od okoline. Doslovno shvaćene, te su sintagme besmislene jer impliciraju da preko granice koja dijeli fizički sustav od okoline ne struji energija nego energija u jedinici vremena! No, te sintagme treba shvaćati kao metaforične iskaze u kojima se metafora o energiji kao fluidu proširuje i na snagu fizičkog sustava. Zbog toga su te sintagme komunikacijski svrsishodne, uvriježene u praksi, pa će se koristiti i u ovom tekstu.

1.2 Djelatna snaga električke mreže

U elektrotehnici se pod fizičkim sustavom razumijeva električka mreža – skup fizičkih naprava (komponenata) međusobno povezanih vodičima – ili dio električke mreže ili samo jedna naprava električke mreže koja je za potrebe analize odvojena od okoline stvarnom ili zamišljenom zatvorenom plohom. Izraz za trenutačnu snagu električke mreže a time i za djelatnu snagu električke mreže ovisi o tome unutar kojeg se teorijskog sustava elektrotehnike promatra analizirana električka mreža.

U elektrotehnici postoje dva teorijska sustava: teorija elektromagnetskog polja i teorija električkih mreža. Teorija elektromagnetskog polja preuzeta je iz klasične fizike i omogućuje analizu i objašnjenje elektromagnetskih pojava u bilo kojoj električkoj mreži. Temelji se na skupu eksperimentalnih zakona elektriciteta i magnetizma (Faradayev zakon elektromagnetske indukcije, Amperéov zakon struje, Gaussovi zakoni za električno i magnetsko polje) i izrazu za elektromagnetsku silu. Varijable teorije elektromagnetskog polja su vektorske veličine jakosti električnog polja, električnog pomaka, magnetskog polja i magnetske indukcije te skalarna veličina gustoće naboja. U okviru tog teorijskog sustava proizlazi iz zakona o lokalnom očuvanju energije, eksperimentalnih zakona elektriciteta i magnetizma i izraza za elektromagnetsku silu da je za svaku električku mrežu ili njezin dio odvojen od okoline zatvorenom plohom površine S trenutačna snaga električke mreže jednaka [7]

$$p_{el}(t) = \frac{d\varepsilon_{el}(t)}{dt} = \oiint_S \mathbf{P}_v \cdot \mathbf{n} ds$$

Pri tome je

$$\mathbf{P}_v = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

tzv. Poyntingov vektor, definiran vektorskim produktom jakosti električnog polja $\mathbf{E}$ i jakosti magnetskog polja $\mathbf{H}$ na zatvorenoj plohi površine S koja obuhvaća promatrani fizički sustav, dok je $\mathbf{n}$ jedinični vektor okomit na diferencijal plohe ds . Djelatna snaga električke mreže u periodičkom ustaljenom stanju s periodom T jednaka je, prema (2)

$$P_{el} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} p_{el}(\tau) d\tau$$

Drugi teorijski sustav – teorija električkih mreža – poseban je slučaj teorije elektromagnetskog polja i daje pojmovni okvir za izgradnju matematičkih modela svih električkih mreža kod kojih se može zanemariti valni karakter elektromagnetskih

pojava. Te se mreže uobičajeno nazivaju 'električno malene mreže'⁴. Teorija električnih mreža temelji se na Kirchhoffovim zakonima čije su varijable skalarne veličine napona i struja na prilazima⁵ modela naprava električke mreže, tzv. elemenata mreže, i zakonu o očuvanju energije. Važnost teorije električnih mreža proizlazi iz činjenice da se velika većina svih električnih mreža koje se koriste u praksi u analizi energetske procesa može s dovoljnom točnošću smatrati električno malenim mrežama. Među te mreže ubrajaju se i energetske mreže statičkih pretvarača. U nastavku teksta analizirat će se samo električno malene mreže.

1.3 Djelatna snaga jednoprilaza (grane)

U električno malenim mrežama vektor jakosti električnog polja $\mathbf{E}$ i vektor jakosti magnetskog polja $\mathbf{H}$ određeni na zatvorenoj plohi S , koja obuhvaća promatranu mrežu, međusobno su nezavisne veličine⁶. U tom slučaju Poyntingov vektor na zatvorenoj plohi S ima nenultu vrijednost samo na mjestima gdje kroz tu plohu prolaze vodiči s pomoću kojih je promatrana električno malena mreža povezana s okolinom [8].

Obuhvati li se zatvorenim plohom S samo područje u kojem se nalazi k -ti jednoprilaz (k -ta grana), dobiva se da je trenutačna snaga k -tog jednoprilaza električno malene mreže jednaka

⁴ Električno malena mreža je svaka mreža za koju vrijedi da $d_m \ll c/2\pi f_M$, gdje je d_m je , najmanji dijamentar zamišljene zatvorene sferne plohe koja obuhvaća mrežu, je najviša frekvencija bitna za rad mreže, a c je brzina svjetlosti u zraku.

⁵ Neki osnovni pojmovi teorije električnih mreža:

Prilaz je par priključaka kojim se pristupa u neko omeđeno (zatvoreno) područje električke mreže ili kojim se povezuje električka mreža s okolinom sa svojstvom da je u svakom trenutku struja koja ulazi u jedan od priključaka jednaka struji koja izlazi iz drugog priključka. Prilaz je mjesto prijenosa električne energije iz preostalog dijela mreže u to omeđeno područje ili obratno kao i iz okoline u električku mrežu ili obratno. Dio električke mreže koji je sa dva priključka spojen s preostalim dijelom električke mreže kao i električka mreža koja je sa dva priključka spojena s okolinom naziva se 'jedno-prilaz', a s više pari priključaka 'višeprilaz'.

Grana je jednoprilaz spojen između dva čvora električke mreže

Element mreže je model (teorijski objekt) kojim je predodređen jedan fizikalni proces u modeliranoj napravi. Dije se na **reaktivne** elemente mreže (induktiviteti, kapaciteti), kojima je predodređen proces uskladištenja magnetske energije odnosno elektrostatičke energije i **disipativne** elemente mreže (otpori), kojima je predodređena pretvorba električne energije u druge oblike energije kao i obratan proces.

⁶ Vektori $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ međusobno su nezavisni ako se a) može zanemariti pomaćna struja kroz zatvorenu plohu S jer tada, prema Amperéovom zakonu struje, jakost magnetskog polja $\mathbf{H}$ na toj plohi ne ovisi o brzini promjene električnog polja $\delta\mathbf{E}/\delta t$ i b) ako se može zanemariti vremenski promjenljivo magnetsko polje na zatvorenoj plohi S jer tada, prema Faradayevom zakonu elektromagnetske indukcije, jakost električnog polja $\mathbf{E}$ na toj plohi ne ovisi o brzini promjene jakosti magnetskog polja $\delta\mathbf{H}/\delta t$. Oba su uvjeta zadovoljena u električno malenim mrežama.

$$p_k(t) = u_k(t) \cdot i_k(t)$$

gdje su $u_k(t)$ i $i_k(t)$ trenutačne vrijednosti napona i struje k -tog jednoprilaza. Djelatna snaga k -tog jednoprilaza dana je izrazom

$$P_k = \frac{1}{T} \int_t u_k(\tau) \cdot i_k(\tau) d\tau, \quad (3)$$

i jednaka je srednjoj vrijednosti jakosti toka električne energije koja u periodu T prođe k -tim parom priključaka kroz zatvorenu plohu koja dijeli k -ti jednoprilaz od preostalog dijela električne mreže.

1.4 Energetski procesi u pasivnom jednoprilazu

Električne mreže sastavljene su od fizičkih objekata – komponenata (naprava) – međusobno spojenih vodičima u čvorovima, tvoreći između svaka dva čvora jednoprilaz (granu) i priključenih preko jednog ili više prilaza na izvor(e) električne energije. S energetskog stajališta te su komponente pasivne, tj. ne mogu pretvarati neelektričnu energiju u električnu energiju. Pretpostavi li se dodatno da sve komponente električne mreže miruju, to na razini modela znači da se sve pasivne komponente električnih mreža mogu prikazati pasivnim elementima mreže, u kojima je moguća jedino pretvorba električne energije u toplinsku energiju.

U pasivne elemente mreže ubrajaju se linearni i nelinearni vremenski nepromjenljivi reaktivni elementi (induktiviteti, kapaciteti) i pasivni disipativni elementi (otpori). Pasivni vremenski nepromjenljivi reaktivni elementi mreže mjesta su usklađivanja elektrostatičke odnosno magnetske energije; ne sudjeluju u energetskim pretvorbama te je njihova djelatna snaga jednaka nuli. Djelatna snaga pasivnih disipativnih elemenata mreže nenegativne je vrijednosti te za djelatnu snagu k -tog pasivnog jednoprilaza vrijedi da je u općem slučaju

$$P_k \geq 0$$

Uobičajeno se smatra da je u pasivnom jednoprilazu moguć samo proces pretvorbe električne energije u toplinsku energiju. Ta je tvrdnja točna, ali jedino ako je jednoprilaz sastavljen od linearnih i vremenski nepromjenljivih elemenata mreže. No, ako je mreža nelinearna i/ili vremenski promjenljiva u njoj se u periodičkom ustaljenom stanju pojavljuju valni oblici napona i struja u čijim frekvencijskim spektrima postoje frekvencije koje ne postoje u frekvencijskom spektru napona izvora električne energije koji djeluju u tim mrežama. To znači da u općem slučaju mogu postojati i djelatne snage pasivnih jednoprilaza na tim frekvencijama i ti se jednoprilazi tada ne mogu interpretirati samo kao mjesta pretvorbe električne energije u toplinsku energiju. Za razumijevanje energetskih procesa u takvim mrežama temeljan je pojam djelatne snage pasivnog jednoprilaza (grane) na frekvenciji kao i načelo ravnoteže djelatnih snaga na frekvenciji.

1.5 Djelatna snaga pasivnog jednoprilaza (grane) na frekvenciji

Promatrajmo k -ti pasivni jednoprilaz (električno malene) nelinearne mreže u periodičkom ustaljenom stanju s periodom T . Napon i struja k -tog jednoprilaza mogu se prikazati Fourierovim redovima

$$u_k(t) = U_k(0) + \sum_{n=1}^{\infty} [\hat{U}_k(nf) \cos(2\pi nft) + \hat{V}_k(nf) \sin(2\pi nft)] \quad (4a)$$

$$i_k(t) = I_k(0) + \sum_{n=1}^{\infty} [\hat{I}_k(nf) \cos(2\pi nft) + \hat{J}_k(nf) \sin(2\pi nft)] \quad (4b)$$

pri čemu je perioda $T = 1/f$. Članovi rastava $U_k(0)$ i $I_k(0)$ su srednje vrijednosti napona i struje jednoprilaza, dok su $\hat{U}_k(nf)$ i $\hat{V}_k(nf)$ amplitude ortogonalnih komponenata napona k -tog jednoprilaza na frekvenciji nf , a $\hat{I}_k(nf)$ i $\hat{J}_k(nf)$ amplitude ortogonalnih komponenata struje k -tog jednoprilaza na frekvenciji nf .

Djelatna snaga k -tog (pasivnog) jednoprilaza je, prema (3), jednaka srednjoj vrijednosti trenutačne snage te se nakon uvrštenja izraza (4) u (3), dobiva da je

$$P_k = P_k(0) + \tilde{P}_k \geq 0 \quad (5)$$

pri čemu je djelatna snaga k -tog jednoprilaza rastavljena na dva osnovna člana. To su:

a) istosmjerna snaga odnosno djelatna snaga k -tog jednoprilaza na frekvenciji $f = 0$

$$P_k(0) = U_k(0) \cdot I_k(0) \quad (6)$$

b) izmjenična djelatna snaga koja je jednaka zbroju djelatnih snaga k -tog jednoprilaza na svim frekvencijama $nf \neq 0$

$$\tilde{P}_k = \sum_{n=1}^{\infty} P_k(nf) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} [\hat{U}_k(nf) \hat{I}_k(nf) + \hat{V}_k(nf) \hat{J}_k(nf)] \quad (7)$$

gdje je sa $P_k(nf)$ označena djelatna snaga k -tog jednoprilaza na frekvenciji nf , $n = 1, 2, \dots$

Rastav djelatne snage pasivnog jednoprilaza na frekvencijske članove, prema izrazima (5 – 7), ukazuje na važnost pojma djelatne snage pasivnog jednoprilaza na frekvenciji⁷ za razumijevanje energetskih procesa u nelinearnim mrežama. Naime, iz tih izraza ne proizlazi nikakvo ograničenje na predznake članova rastava. Zbog toga je moguće da se neki pasivni element mreže u k -toj grani ponaša na nekim frekvencijama kao izvor, tj. da mu je djelatna snaga na tim frekvencijama negativna, a da se na ostalim frekvencijama ponaša kao trošilo, tj. da mu je djelatna snaga na tim frekvencijama pozitivna.

To se ne može dogoditi jedino ako je promatrani pasivni element mreže linearan i vremenski nepromjenljiv. Tako za linearni vremenski nepromjenljivi otpor konstitutivne relacije vrijedi da je

$$P_R = RI^2(0) + R \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} [\hat{I}^2(nf) + \hat{I}^2(nf)] > 0$$

što znači da je svaki član rastava pozitivan i sudjeluje jedino u pretvorbi električne energije u toplinsku energiju. Za bilo koji linearni i vremenski nepromjenljivi reaktivni element mreže (induktivitet ili kapacitet), ne samo da je djelatna snaga tog elementa mreže jednaka nuli nego i djelatna snaga na svakoj frekvenciji $n\omega$,

$$P_L(nf) = P_C(nf) = 0, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

⁷ Izuzev uskog kruga projektanata parametarskih pojačala, pojam djelatne snage pasivnog jednoprilaza na frekvenciji slabo je poznat u elektroinženjskoj zajednici. U svijet elektrotehnike uveo ga je američki profesor Paul Penfield [9]. Rastav djelatne snage pasivnog jednoprilaza na istosmjernu i izmjeničnu djelatnu snagu, ali bez uvođenja pojma djelatne snage na frekvenciji, prvi je upotrijebio njemački fizičar Heinrich Barkhausen u svojoj doktorskoj disertaciji [10].

1.6 Načela ravnoteže snaga u električno malenim mrežama

Teorija električkih mreža temelji se na tri osnovna zakona. To su: Kirchhoffov zakon napona, koji izriče da je algebarski zbroj napona grana duž bilo koje petlje u mreži jednak nuli, Kirchhoffov zakon struje, koji izriče da je algebarski zbroj struja grana u bilo kojem čvoru mreže jednak nuli, i zakon o očuvanju energije, iskazan u terminima snage kao načelo ravnoteže trenutačnih snaga, koji izriče da je uz pridružene referentne smjerove⁸ napona i struja grana algebarski zbroj trenutačnih snaga svih b grana mreže jednak nuli

$$\sum_{k=1}^b p_k(t) = \sum_{k=1}^b u_k(t) i_k(t) = 0 \quad (8)$$

Kirchhoffovi zakoni i zakon o očuvanju energije iskazan kao načelo ravnoteže trenutačnih snaga nisu međusobno nezavisni zakoni. Bilo koja kombinacija dvaju osnovnih zakona implicira treći zakon. Primjerice, ako je algebarski zbroj trenutačnih snaga u nekoj mreži jednak nuli za sve napone grana koji zadovoljavaju Kirchhoffov zakon napona, tada to znači i da sve struje grana u toj mreži zadovoljavaju Kirchhoffov zakon struje.

Da Kirchhoffovi zakoni impliciraju zakon o očuvanju energije poznato je elektrotehničkoj zajednici još od rada engleskog fizičara Olivera Heavisidea objavljenog 1883. godine [11]. Manje je poznato da je nizozemski inženjer Bernard Tellegen u svom radu objavljenom 1952. godine pokazao da zakon o očuvanju energije, ne vrijedi samo za trenutačne snage grana nego i za sve napone i struje grana koji zadovoljavaju Kirchhoffove zakone. Prema Tellegenu, uz načelo ravnoteže stvarnih snaga, izraz (8), vrijedi i načelo ravnoteže kvazisnaga, tj. da je zbroj svih b umnožaka napona grana i struja grana jednak nuli i ako se tvore umnošci napona grana uzetih u jednom trenutku sa strujama grana iste mreže uzetim u drugom trenutku kao i ako se promatraju dvije različite mreže istog grafa i tvore umnošci napona grana jedne mreže sa strujama grana druge mreže. Taj poopćeni oblik zakona o očuvanju energije danas se uobičajeno naziva Tellegenov teorem [11].

Kirchhoffovi zakoni imaju oblik linearne homogene algebarske jednadžbe. Zbog toga oni vrijede ne samo za trenutačne vrijednosti napona i struja grana nego i za sve linearne transformacije tih varijabli. Tellegenov teorem u najopćenitijem obliku

⁸ Referentni smjerovi napona $u_k(t)$ i struje $i_k(t)$ k -te grane spojene između čvorova A i B su pridruženi, odnosno oba su pozitivna, ako se pretpostavi da je električni potencijal čvora A $v_a(t)$ veći od električnog potencijala čvora B $v_b(t)$ tj. da je $u_k(t) = v_a(t) - v_b(t)$, kada struja k -te grane $i_k(t)$ teče od čvora A prema čvoru B.

izriče da za dvije mreže istog grafa sa b grana vrijedi da je

$$\sum_{k=1}^b [\Lambda_u u_{k,1}(t)] [\Lambda_i i_{k,2}(t')] = 0 \quad (9)$$

gdje je Λ_u linearni operator koji djeluje na sve napone grana $u_{k,1}(t)$ jedne mreže u trenutku t , a Λ_i linearni operator koji djeluje na sve struje grana $i_{k,2}(t')$ druge mreže u trenutku t' .

Tipični linearni operatori su množenje s konstantom, množenje sa zadanom vremenskom funkcijom $f(t)$, deriviranje i integriranje. Uzastopnom primjenom linearnih operatora dobiva se ponovno linearni operator. To znači da će, ograničimo li se na promatranje jedne mreže u istom trenutku $t = t'$, tj. ako se u izraz (9) uvrsti da je $u_{k,1}(t) = u_k(t)$ odnosno $i_{k,2}(t') = i_k(t)$ te uz $\Lambda_u = \Lambda_i$, primjenom Tellegenovog teorema proizaći da vrijedi i načelo ravnoteže djelatnih snaga

$$\sum_{k=1}^b P_k = \sum_{k=1}^b \frac{1}{T} \int_0^T u_k(t) i_k(t) dt = 0 \quad (10)$$

Među linearne operatore pripada i određivanje sinusnih odnosno kosinusnih Fourierovih koeficijenata napona i struja grana. Zbog toga Tellegenov teorem vrijedi posebno za sinusne odnosno kosinusne koeficijente napona i struja grana

$$\sum_{k=1}^b \hat{U}_k(nf) \hat{I}_k(nf) = 0 \quad \sum_{k=1}^b \hat{V}_k(nf) \hat{J}_k(nf) = 0$$

Odatle, uzevši u obzir izraz (7), proizlazi i načelo ravnoteže djelatnih snaga na frekvenciji

$$\sum_{k=1}^b P_k(nf) = 0 \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (11)$$

i za nastavak analize važan zaključak: Ako se neki element mreže u mreži ponaša kao izvor na frekvenciji nf , neki drugi element mreže ili elementi mreže u toj mreži moraju biti trošila na toj istoj frekvenciji.

1.7 Pasivni jednoprilaz kao transformator djelatne snage na frekvenciji

Promatrajmo električku mrežu koja se sastoji od b pasivnih jednoprilaza (grana) i u kojoj je j -ti jednoprilaz modeliran nelinearnim elementom mreže, dok su svi ostali jednoprilazi modelirani linearnim vremenski nepromjenljivim elementima mreže. Pretpostavimo da u mreži djeluje izvor električne energije modeliran idealnim naponskim izvorom frekvencije f_{iz} te da se mreža nalazi u periodičkom ustaljenom stanju.

Nelinearnost j -tog jednoprilaza uzrokuje da se u harmonijskom spektru napona i struja svih jednoprilaza u toj mreži pojavljuju i frekvencije različite od frekvencije izvora. Zbog toga se u svakom jednoprilazu te mreže mogu pojaviti djelatne snage na frekvencijama $f \neq f_{iz}$. Linearni vremenski nepromjenljivi elementi mreže ne mogu stvarati nove frekvencije, tj. frekvencije različite od frekvencije izvora, te se svi linearni jednoprilazi mreže, u skladu s načelom ravnoteže djelatnih snaga na frekvenciji, izraz (11), ponašaju kao trošila djelatne snage na svim frekvencijama koje postoje u mreži. Vrijedi da je

$$P_k(f_{iz}) \geq 0, \quad P_k(f \neq f_{iz}) \geq 0, \quad k \neq j, \quad k = 1, 2, \dots, b$$

Nelinearni j -ti jednoprilaz se na svakoj frekvenciji različitij od frekvencije izvora ponaša kao izvor djelatne snage

$$P_j(f \neq f_{iz}) < 0$$

a zbog pasivnosti kao trošilo djelatne snage na frekvenciji izvora

$$P_j(f_{iz}) > 0$$

tako da vrijedi relacija

$$P_j = P_j(f_{iz}) + P_j(f \neq f_{iz}) \geq 0$$

To znači da se u j -tom jednoprilazu osim pretvorbe električne energije u toplinsku energiju događa i transformacija⁹ djelatne snage na frekvenciji izvora u djelatnu snagu na svim frekvencijama različitim od frekvencije izvora.

⁹ U znanstvenoj i stručnoj literaturi vrlo se često riječi ‘pretvorba’, ‘konverzija’ i ‘transformacija’ smatraju sinonimima. U ovom se tekstu riječ ‘transformacija’ upotrebljava za opis procesa promjene frekvencije na kojoj se električna energija prenosi mrežom, a riječ ‘pretvorba’ za proces promjene oblika energije. Kao što je istaknuto u prvoj fusnoti, termini ‘proces pretvorbe’ i ‘pretvarač’ upotrebljavaju se u značenju uobičajenom u elektrotehničkoj praksi.

Proizlazi važan zaključak da je svaki pasivni jednoprilaz, koji nije linearan i vremenski nepromjenljiv, transformator djelatne snage na frekvenciji. On preuzima iz električke mreže djelatnu snagu na frekvenciji izvora, $P(f_{iz}) > 0$, predaje dio te djelatne snage toj istoj mreži na frekvencijama različitim od frekvencije izvora, $P(f \neq f_{iz}) < 0$, a ostatak preuzete djelatne snage predstavlja gubitak djelatne snage, $P \geq 0$, tj. jednak je količini električne energije koja se u jedinici vremena u jednoprilazu pretvara u toplinsku energiju.

2. Statički pretvarač kao transformator djelatne snage na frekvenciji

2.1 Vrste statičkih pretvarača

U analizi energetske procesa u električkim mrežama ograničit ćemo se na analizu električkih energetske mreže statičkih pretvarača – posrednika – spojenih između pojne mreže (izvora električne energije) i trošila sa svrhom da raspoložive (zadane) električke karakteristike pojne mreže promijene u željene (zahtijevane) električke karakteristike trošila. Kao što je u uvodu navedeno među osnovne karakteristike neke električke energetske mreže ili njezinog funkcionalnog dijela ubrajaju se frekvencija, valni oblik napona odnosno struje, broj faza i galvanska (ne)odvojenost. Valni oblik napona odnosno struje povezan je s frekvencijom, dok je broj faza povezan s ekonomičnošću prijenosa i distribucije električne energije te ekonomičnošću pretvorbe električne energije u druge prijelazne oblike energije. Zbog toga su sa stajališta procesa pretvorbe najvažnije električke karakteristike frekvencija i galvanska (ne)odvojenost.

Galvanska odvojenost pojmih mreža od trošila postiže se upotrebom transformatora. Transformatori pripadaju među energetske pretvarače jer skaliraju valne oblike napona i struje pri nepromijenjenoj frekvenciji, no, kao što je u uvodu istaknuto, ne proučavaju se u okviru pretvaračke tehnike.

Proizlazi da je, sa stajališta pretvaračke tehnike, frekvencija najvažnija električka karakteristika statičkih pretvarača. S obzirom na taj kriterij statički pretvarači dijele se na pretvarače frekvencije i pretvarače napona.

Pretvarači frekvencije povezuju sustave pojmih mreža sa sustavima trošila različitih frekvencija i dijele se na a) ispravljače – pretvarače izmjeničnog sustava pojne mreže frekvencije izvora u pojnoj mreži f_{iz} u istosmjerni sustav trošila – b) izmjenjivače – pretvarače istosmjernog sustava pojne mreže u izmjenični sustav trošila frekvencije f_{tr} – i c) izmjenične pretvarače frekvencije – pretvarače izmjeničnog sustava pojne mreže frekvencije f_{iz} u izmjenični sustav trošila frekvencije $f_{tr} \neq f_{iz}$.

Pretvarači napona povezuju sustave pojmih mreža i trošila jednakih frekvencija i dijele se na izmjenične pretvarače napona i istosmjerne pretvarače.

2.2 Pretpostavke analize

Za potrebe analize odabrat ćemo najjednostavnije matematičke modele pojmih mreža, statičkih pretvarača i trošila. Za model energetske mreže statičkog pretvarača koristit ćemo naziv ‘pretvarač’, a za mrežu koju tvore modeli pojne mreže, energetske mreže statičkog pretvarača i trošila naziv ‘pretvaračka mreža’.

a) Pretvarač tvori sklop komponenata u kojima se odvija proces pretvorbe, tzv. pretvarački sklop i sklopovi za prilagodbu pretvaračkog sklopa pojnoj mreži i trošilu (ulazni i izlazni filtri). Sve komponente pretvarača, osim transformatora, modeliraju se pasivnim jednoprilazima. Transformator se modelira kao pasivni višeprilaz.

b) Pojnu mrežu tvore komponente koje pretvaraju neelektričnu energiju u električnu energiju – izvori električne energije – i komponente koje omogućuju prijenos električne energije od izvora do mjesta priključka pretvarača. Izmjenična pojna mreža modelira se kao višeprilaz (M-fazna pojna mreža) sastavljen od M idealnih izmjeničnih monoharmonijskih nezavisnih naponskih izvora zadane frekvencije f_{iz} . Istosmjerna pojna mreža modelira se idealnim istosmjernim nezavisnim naponskim izvorom.

c) Trošilo tvore komponente koje pretvaraju električnu energiju u neelektričnu energiju. U trošilu se mogu nalaziti i aktivne komponente, tj. komponente koje omogućuju reverzibilni tok električne energije (motori, akumulatorske baterije). Trošilo se modelira kao višeprilaz (N-fazno trošilo) sastavljen od pasivnih i/ili aktivnih elemenata mreže¹⁰. Trošilo preuzima djelatnu snagu samo na željenoj frekvenciji – frekvenciji trošila f_{tr} .¹¹

d) Pretvaračka mreža promatra se u periodičkom ustaljenom stanju, što znači da su zadana frekvencija izvora i željena frekvencija trošila sumjerljive [5].

2.3 Pojam pretvaračke komponente

Pretvaračka mreža je lančani spoj triju višeprilaza – izvora, pretvarača i trošila – te će u skladu s načelom ravnoteže djelatnih snaga (10), vrijediti da je

¹⁰ Aktivni element (mreže) je model kojim je predložena pretvorba neelektrične energije u električnu energiju. U aktivne elemente ubrajaju se vremenski promjenljivi reaktivni elementi i aktivni disipativni elementi (nezavisni i zavisni naponski ili strujni izvori).

¹¹ Odabirom načina upravljanja pretvaračkim sklopom kao i ugradnjom prikladnih filtara između pretvaračkog sklopa i trošila mogu se na prihvatljivu mjeru smanjiti iznosi djelatnih snaga prenesenih u trošilo na frekvencijama različitim od frekvencije trošila.

$$P_{iz} + P_{pr} + P_{tr} = 0 \quad (12)$$

gdje je $P_{iz} = P_{iz}(f_{iz}) < 0$ djelatna snaga izvora električne energije, $P_{pr} \geq 0$ je djelatna snaga pretvarača, tj. količina električne energije koja se u jedinici vremena pretvara u toplinsku energiju i uobičajeno se naziva 'gubitci snage pretvarača', dok je $P_{tr} = P_{tr}(f_{tr}) > 0$ djelatna snaga trošila.

Načelo ravnoteže djelatnih snaga vrijedi ne samo globalno za djelatne snage izvora, pretvarača i trošila nego i za djelatne snage na svakoj frekvenciji koja postoji u pretvaračkoj mreži uključujući i frekvenciju izraz (11). U pretvaračkoj mreži postoje dvije frekvencije f_{iz} i f_{tr} te vrijedi da je

$$P_{iz}(f_{iz}) + P_{pr}(f_{iz}) = 0 \quad (13a)$$

$$P_{pr}(f_{tr}) + P_{tr}(f_{tr}) = 0 \quad (13b)$$

što znači da svaki pretvarač djeluje kao trošilo na frekvenciji izvora jer je $P_{pr}(f_{iz}) > 0$, odnosno kao izvor na frekvenciji trošila jer je $P_{pr}(f_{tr}) < 0$. Iz jednadžbi (13) proizlazi da se načelo ravnoteže djelatnih snaga, izraz (12), može napisati u obliku

$$P_{pr} = P_{pr}(f_{iz}) + P_{pr}(f_{tr}) \geq 0$$

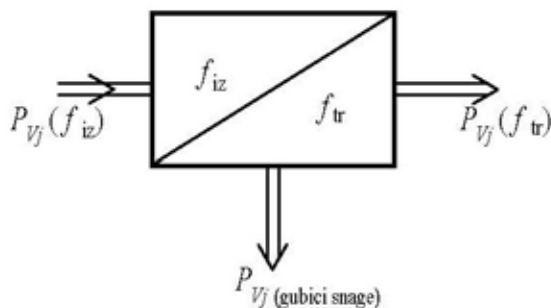
ili kao nejednadžba u obliku

$$P_{pr}(f_{iz}) > P_{pr} \geq 0 \quad (14)$$

Izraz (14) valja shvatiti kao uvjet opstojnosti bilo kojeg pretvarača. To znači da u svakom pretvaraču mora postojati skup komponenata $\{V_j\}$ za koji vrijedi da je

$$P_{V_j}(f_{iz}) > P_{V_j} \geq 0 \quad (15)$$

Svaka komponenta V_j za koju to vrijedi naziva se pretvaračka komponenta. Pretvaračka komponenta preuzima iz mreže djelatnu snagu na frekvenciji izvora i predaje joj istoj mreži djelatnu snagu na frekvenciji trošila, slika 1.



Sl. 1 Pretvaračka komponenta je transformator djelatne snage na frekvenciji

Razmatranje je, jednostavnosti radi, provedeno samo za dvije frekvencije u pretvaračkoj mreži. Proširenje razmatranja na više od dvije frekvencije je trivijalno ako se pod frekvencijom trošila shvati skup svih frekvencija na kojima se pretvarač ponaša kao izvor, odnosno ako se pod frekvencijom izvora shvati skup svih frekvencija na kojima se pretvarač ponaša kao trošilo.

2.4 Uvjet opstojnosti pojedinih vrsta procesa pretvorbe

Rastav djelatne snage pretvaračke komponente na istosmjernu snagu i izmjeničnu djelatnu snagu omogućuje nam da odredimo uvjete opstojnosti za sve vrste procesa pretvorbe.

Ispravljanje je proces transformacije izmjenične djelatne snage u istosmjernu snagu i ostvaren je ako ispravljač kao cjelina djeluje kao izvor istosmjerne snage. To znači da u bilo kojem ispravljaču zbroj istosmjernih snaga svih pretvaračkih komponenata mora biti negativan, tj. da je

$$\sum_{j=1}^k P_{V_j}(0) < 0 \quad (16)$$

gdje je k ukupni broj pretvaračkih komponenata ispravljača.

Izmjenjivanje je proces transformacije istosmjerne snage u izmjeničnu djelatnu snagu i ostvaren je ako izmjenjivač kao cjelina djeluje kao izvor izmjenične djelatne snage odnosno kao trošilo istosmjerne snage. To znači da u bilo kojem izmjenjivaču zbroj istosmjernih snaga svih pretvaračkih komponenata mora biti pozitivan, tj. da je

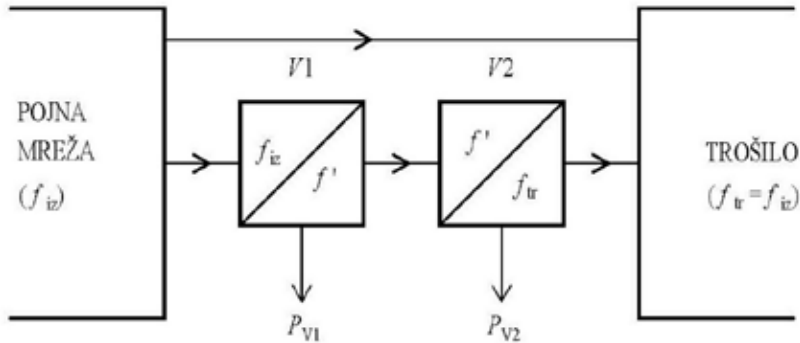
$$\sum_{j=1}^k P_{V_j}(0) > 0 \quad (17)$$

Izmjenična pretvorba frekvencija je proces transformacije izmjenične djelatne snage na jednoj frekvenciji u izmjeničnu djelatnu snagu na nekoj drugoj frekvenciji. Tijekom procesa pretvorbe ne smije se pojaviti istosmjerna snaga. Zbog toga u bilo kojem izmjeničnom pretvaraču frekvencije ukupna istosmjerna snaga svih pretvaračkih komponenata mora biti jednaka nuli, tj.

$$\sum_{j=1}^k P_{V_j}(0) = 0 \quad (18)$$

Istosmjerna i izmjenična pretvorba napona su procesi skaliranja integralnih veličina napona/struja trošila u odnosu na integralne veličine napona/struje pojne mreže. Za istosmjerna trošila to su srednje vrijednosti napona/struje, a za izmjenična trošila efektivne vrijednosti napona/struje. S obzirom na to da su pretvaračke komponente transformatori djelatne snage na frekvenciji, jednakost frekvencije izvora i frekvencije trošila uvjetuje da u svakom pretvaraču napona moraju postojati minimalno dvije pretvaračke komponente suprotnih predznaka djelatne snage na frekvenciji izvora (trošila). Proces pretvorbe odvija se u dva koraka. U prvom se koraku dio djelatne snage ili, ovisno o strukturi pretvarača, sva djelatna snaga preuzeta na frekvenciji izvora f_{iz} transformira u djelatnu snagu na nekoj, načelno po volji odabranoj frekvenciji $f' \neq f_{iz}$. Kod izmjeničnih pretvarača napona ta frekvencija najčešće je jednaka nuli, dok je kod istosmjernih pretvarača napona najčešće jednaka frekvenciji sklapanja pretvaračkih komponenata (sklopnoj frekvenciji) f_s . U drugom se koraku tako transformirana djelatna snaga još jednom transformira, sada u djelatnu snagu na željenoj frekvenciji trošila $f_{tr} = f_{iz} \neq 0$ u izmjeničnim pretvaračima napona odnosno u istosmjernu snagu u istosmjernim pretvaračima napona, slika 2.¹²

¹² Važan izuzetak je posebna vrsta izmjeničnih pretvarača napona, tzv. podešavači (engl. *ac regulators*) koji služe za upravljanje efektivnom vrijednošću struje izmjeničnih trošila. Za njihovu realizaciju dovoljna je jedna pretvaračka komponenta jer su sve frekvencije stvorene radom te pretvaračke komponente ujedno i željene frekvencije trošila.



Sl. 2 Tok djelatne snage u pretvaračima napona

Zaključujemo da su ispravljanje, izmjenjivanje i izmjenična pretvorba frekvencije temeljni procesi pretvorbe. Istosmjerna i izmjenična pretvorba napona to nisu jer se mogu ostvariti jedino kao kombinacija temeljnih procesa pretvorbe.

2.5 Konstitutivne komponente pretvarača

Minimaliziranje gubitaka snage pretvarača bitan je zahtjev na svaki dobro projektirani pretvarač. To u praksi znači da u svakom pretvaraču moraju postojati pretvaračke komponente za koje vrijedi stroža varijanta uvjeta (15),

$$P_{V_j}(f_{iz}) \gg P_{V_j} \geq 0$$

a zahtjev za minimaliziranjem gubitaka snage proteže se i na sve ostale energetske komponente pretvarača. Zbog toga se u pretvaraču kao njegove konstitutivne komponente mogu upotrebljavati samo tzv. 'nazivno nedisipativne komponente'. Pri tome je nazivno nedisipativna svaka komponenta α za koju na razini najjednostavnijeg matematičkog modela vrijedi da je djelatna snaga jednaka nuli,

$$P_\alpha = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} u_\alpha(\tau) \cdot i_\alpha(\tau) d\tau = 0$$

Taj uvjet zadovoljavaju vremenski nepromjenljive reaktivne komponente (kondenzatori i prigušnice), dok je za disipativne komponente to moguće jedino ako je trenutačna snaga komponente u svakom trenutku t jednaka nuli, tj. da je

$$u_\alpha(t) \cdot i_\alpha(t) = 0 \quad (19)$$

Uvjet (19) zadovoljavaju jedino nelinearne disipativne komponente u sklopnom načinu rada (poluvodički ventili, elektromehaničke periodički sklapane sklopke i rotacijski kontakti).

To znači da se u pretvaraču kao konstitutivne komponente ne mogu koristiti sve ostale disipativne komponente, bilo da su linearne ili nelinearne, vremenski promjenljive ili vremenski nepromjenljive. Također, kao konstitutivne komponente pretvarača ne mogu se koristiti niti vremenski promjenljive reaktivne komponente. Te komponente, naime, nisu nazivno nedisipativne komponente jer fizikalni mehanizam kojim je ostvarena vremenska promjenljivost njihovog induktiviteta ili kapaciteta valja shvatiti kao izvor ili uvor djelatne snage [12]. Karakterističan primjer vremenski promjenljivih reaktivnih komponenata u elektroenergetici su rotacijski strojevi.

U najvećem broju primjena potrebno je da pretvaračke komponente budu upravljive, tj. da mogu mijenjati iznose transformirane djelatne snage pri nepromijenjenim parametrima pojne mreže i trošila. Da bi pri nepromijenjenim parametrima pojne mreže i trošila došlo do promjene integralnih veličina napona i struje trošila a time i do promjene iznosa transformirane djelatne snage prenesene trošilu, barem jedna pretvaračka komponenta u pretvaraču mora biti vremenski promjenljiva. Ta činjenica odmah eliminira reaktivne komponente kao pretvaračke komponente u svim vrstama upravljivih pretvarača, što znači da su vremenski promjenljive disipativne komponente u sklopnom načinu rada jedine pretvaračke komponente upravljivih pretvarača.

Proizlazi da konstitutivne komponente pretvarača čine nelinearne vremenski nepromjenljive reaktivne komponente i/ili nelinearne vremenski nepromjenljive disipativne komponente u sklopnom načinu rada kao pretvaračke komponente neupravljivih pretvarača, odnosno nelinearne vremenski promjenljive disipativne komponente u sklopnom načinu rada kao pretvaračke komponente upravljivih pretvarača

3. Pretvaračka svojstva konstitutivnih komponenata pretvarača

3.1 Pretvaračka svojstva nelinearnih vremenski nepromjenljivih reaktivnih komponenata

Za reaktivne komponente pretvarača (prigušnice i kondenzatore), modelirane linearnim ili nelinearnim vremenski nepromjenljivim reaktivnim elementima mreže, induktivitetima i kapacitetima, djelatna snaga jednaka je nuli. U periodičkom stanju srednja vrijednost napona induktiviteta jednaka je nuli kao i srednja vrijednost struje kapaciteta, te je, prema izrazu (6), istosmjerna snaga svakog reaktivnog elementa mreže jednaka nuli. To znači da se nelinearne reaktivne komponente ne mogu upotrebljavati kao pretvaračke komponente u pretvaračima u kojima je tijekom procesa pretvorbe nužna nenulta istosmjerna snaga, kao što su ispravljači, izmjenjivači i istosmjerni pretvarači napona.

S obzirom na to da je djelatna snaga svakog (vremenski nepromjenljivog) reaktivnog elementa mreže jednaka nuli, proizlazi i da je izmjenična djelatna snaga svakog reaktivnog elementa mreže α jednaka nuli

$$\tilde{P}_\alpha = \sum_{n=1}^{\infty} P_\alpha(nf) = 0 \quad (20)$$

Ako je reaktivni element mreže nelinearan, svi članovi rastava izmjenične snage na frekvencijske članove – djelatne snage na frekvenciji nf – nisu jednaki nuli. To znači da, prema izrazu (20), zbroj pozitivnih djelatnih snaga na frekvenciji mora biti jednak zbroju negativnih djelatnih snaga na frekvenciji. Drugim riječima, nelinearne reaktivne komponente mogu se upotrijebiti kao pretvaračke komponente u izmjeničnim pretvaračima frekvencije. No, s pomoću njih nije moguće upravljati transformiranim djelatnom snagom, a frekvencija trošila ovisi o obliku nelinearne karakteristike reaktivne komponente i višekratnik je frekvencije izvora električne energije u pojnoj mreži. Zbog tih se razloga nelinearne reaktivne komponente ne ubrajaju među pretvaračke komponente.

3.2 Pretvaračka svojstva nelinearnih disipativnih komponenata u sklopnom načinu rada

Disipativne komponente u sklopnom načinu rada gotovo su isključivo ostvarene s pomoću poluvodičkih ventila. Danas su sklopna svojstva poluvodičkih ventila takva da se energetske procesi u pretvaračkim mrežama mogu bez veće pogreške analizirati ako se poluvodički ventili modeliraju kao idealne periodički sklapane sklopke. Zbog toga će se u nastavku teksta pod pretvaračkom komponentom smatrati idealna periodički sklapana sklopka V , za koju prema (5) vrijedi da j

$$P_V(0) + \tilde{P}_V = 0$$

što znači da će se smatrati idealnim transformatorom djelatne snage na frekvenciji.

Iz $u - i$ karakteristike neke pretvaračke komponente može se lako odrediti predznak njezine istosmjerne snage kao i mogućnost da ta istosmjerna snaga bude jednaka nuli. To je koristeći se uvjetima opstojnosti pojedinih vrsta procesa pretvorbe, izrazi (16 – 18), dovoljno da se odredi u kojim se vrstama pretvarača može upotrijebiti promatrana pretvaračka komponenta.

Zbog toga je važno odrediti sve moguće $u - i$ karakteristike idealnih periodički sklapanih sklopki i tako odrediti sve moguće različite pretvaračke komponente. Pri

tome treba uzeti u obzir da je svaka (idealna periodički sklapana) sklopka pasivna, nedisipativna i nelinearna komponenta. Zbog pasivnosti karakteristika svake sklopke nalazi se u prvom i trećem kvadrantu $u_v - i_v$ ravnine, što znači i da mora proći kroz njezino ishodište. Sklopka je nedisipativna, što znači da se svaki od odsječaka njezine karakteristike mora nalaziti ili na osi i_v ili na osi u_v da bi djelatna snaga sklopke u svakom trenutku bila jednaka nuli. Sklopka je nelinearna, što znači da se njezina karakteristika ne smije nalaziti samo na osi i_v niti samo na osi u_v .

Za daljnju analizu označimo odsječke $u - i$ karakteristike koji pripadaju stanju vođenja sklopke, tj. one odsječke koji se nalaze na osi i_v , na sljedeći način: vođenje u prvom kvadrantu ($i_v \geq 0$) sa I_v^+ , vođenje u trećem kvadrantu ($i_v \leq 0$) sa I_v^- a vođenje u prvom i trećem kvadrantu ($i_v \lessgtr 0$) sa $I_v^\pm$. Na analogan način označimo odsječke koji pripadaju stanju nevođenja, tj. one odsječke koji se nalaze na osi u_v : nevođenje u prvom kvadrantu – blokiranje – ($u_v \geq 0$) sa U_v^+ , nevođenje u trećem kvadrantu – zapiranje – ($u_v \leq 0$) sa U_v^- , a nevođenje u prvom i trećem kvadrantu ($u_v \lessgtr 0$) sa $U_v^\pm$.

Svaka $u - i$ karakteristika unija je jednog odsječaka na osi i_v i jednog odsječaka na osi u_v . Lako se vidi da je moguće devet različitih kombinacija, no samo pet od njih su uistinu različite. To su četiri asimetrične kombinacije

$$I_v^+ \cup U_v^-, \quad I_v^+ \cup U_v^\pm, \quad I_v^\pm \cup U_v^+, \quad I_v^+ \cup U_v^+ \quad (21)$$

a jedna je simetrična

$$I_v^\pm \cup U_v^\pm$$

Preostale četiri kombinacije također su asimetrične

$$I_v^- \cup U_v^+, \quad I_v^- \cup U_v^\pm, \quad I_v^\pm \cup U_v^-, \quad I_v^- \cup U_v^-$$

pri čemu je zbog dvije jednakovrijedne mogućnosti pridjeljivanja pozitivnog odnosno negativnog predznaka referentnih smjerova napona i struja očigledno da su te karakteristike funkcionalno jednake prethodno navedenim četirima karakteristikama, danim izrazima (21).

Proizlazi da postoji samo pet različitih (idealnih periodički sklapanih) sklopki. To su neupravljiva sklopka, strujno jednosmjerna sklopka, naponski jednosmjerna sklopka i dvosmjerna sklopka¹³, čije su $u - i$ karakteristike prikazane na slici 3, te jed-

¹³ Realizacija svih vrsta sklopki s pomoću poluvodičkih ventila opisana je u svim udžbenicima energetske elektronike.

nokvadrantna sklopka $u - i$ karakteristike prikazane na slici 4.

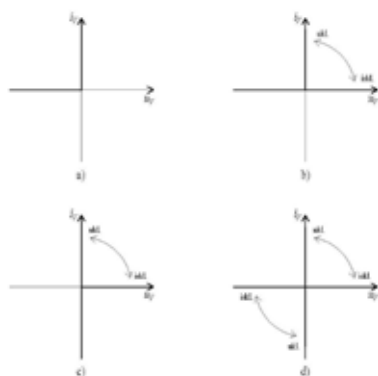
Sklopka karakteristike $I_V^+ U_V^-$ prikazane na slici 3a, ima svojstvo da vodi neneativnu struju ($i_V \geq 0$) (i da blokira nepozitivni napon ($u_V \geq 0$)). Sklopka ili vodi struju ili blokira napon ovisno o trenutnom stanju na njezinim priključcima te je zbog toga neupravljiva. Iz $u - i$ karakteristike proizlazi da je u netrivialnim režimima rada¹⁴ srednja vrijednost napona neupravljive sklopke uvijek negativna, srednja vrijednost struje uvijek pozitivna, što znači da je istosmjerna snaga neupravljive sklopke negativna, a izmjenična djelatna snaga pozitivna, tj.

$$P_V(0) < 0, \quad \tilde{P}_V > 0 \quad (22)$$

Proizlazi da je neupravljiva sklopka element mreže u kojem se izmjenična djelatna snaga preuzeta iz izmjenične mreže transformira u istosmjernu snagu. Obrat nije moguć. Ako u pretvaračkoj mreži postoje samo neupravljive sklopke, moguć je jedino ispravljački proces pretvorbe bez mogućnosti upravljanja iznosom transformirane djelatne snage trošila.

Analognim razmatranjima lako je zaključiti da su strujno jednosmjerna sklopka karakteristike $I_V^+ \cup U_V^\pm$, prikazane na slici 3b, i naponski jednosmjerna sklopka karakteristike $I_V^\pm \cup U_V^+$, prikazane na slici 3c, pretvaračke komponente za koje je u netrivialnim režimima rada predznak istosmjerne snage po volji

$$P_V(0) \leq 0, \quad \tilde{P}_V \geq 0 \quad (23)$$



Sl. 3 $U - i$ karakteristika a) neupravljive sklopke, b) strujno jednosmjerne sklopke, c) naponski jednosmjerne sklopke i d) dvosmjerne sklopke

¹⁴ Trivialne režime rada karakterizira ili trajno vođenje sklopke (kratki spoj grane u mreži) ili trajno nevođenje sklopke (prekid grane u mreži), što znači da u tim režimima rada ne postoji transformacija djelatne snage na frekvenciji.

To znači da se tim sklopkama istosmjerna snaga može transformirati u izmjeničnu djelatnu snagu i obratno, dakle, moguć je ispravljački i izmjenjivački proces pretvorbe. U prvom kvadrantu $u_v - i_v$ ravnine strujno jednosmjerna sklopka i naponski jednosmjerna sklopka imaju dvije različite karakteristike, što znači da mogu biti ili uklopljene (vode pozitivnu struju) ili mogu biti isklopljene (blokiraju pozitivni napon). Zbog toga te sklopke osim dva energetska priključka imaju i treći priključak – upravljački priključak – kao i sklop koji djelujući na upravljački priključak, upravljačkim signalom, odlučuje o tome hoće li sklopka voditi pozitivnu struju ili blokirati pozitivni napon. Proizlazi da su te sklopke vremenski promjenljive komponente jer mogu uklopiti neovisno o vrijednosti pozitivnog napona između energetske priključke odnosno isklopiti neovisno o vrijednosti pozitivne struje kroz energetske priključke. Dakle, ne samo da mogu transformirati istosmjernu snagu u izmjeničnu djelatnu snagu i obratno, nego mogu i upravljati iznosom transformirane djelatne snage trošila.

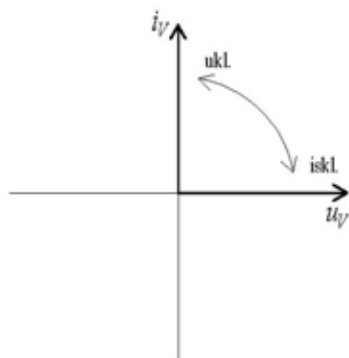
S pomoću tih komponenata mogu se izgraditi upravljivi ispravljači i izmjenjivači. Također, mogu se izgraditi i istosmjerni i izmjenični pretvarači napona jer se njihov rad zasniva na kombinaciji ispravljačkog i izmjenjivačkog procesa pretvorbe.

Iz $u - i$ karakteristike dvosmjerne sklopke prikazane na slici 3d, vidljivo je da je dvosmjerna sklopka upravljiva pretvaračka komponenta, a za razliku od svih ostalih pretvaračkih komponenata, njezina je $u - i$ karakteristika simetrična (bilateralna). To znači da se izborom načina upravljanja u netrivialnim režimima rada može postići ne samo da je predznak istosmjerne snage dvosmjerne sklopke po volji nego i da istosmjerna snaga sklopke bude jednaka nuli

$$P_V(0) \leq 0, \quad \tilde{P}_V \geq 0 \quad (24)$$

Proizlazi da je dvosmjerna sklopka pretvaračka komponenta koja ne samo da može transformirati izmjeničnu djelatnu snagu u istosmjernu snagu i obratno, nego i izmjeničnu djelatnu snagu jedne frekvencije u izmjeničnu djelatnu snagu druge frekvencije, a da se tijekom procesa pretvorbe ne stvori neželjena istosmjerna snaga. To znači da se dvosmjerna sklopka može upotrijebiti u svim vrstama upravljivih pretvarača.

Proizlazi da je dvosmjerna sklopka pretvaračka komponenta koja ne samo da može transformirati izmjeničnu djelatnu snagu u istosmjernu snagu i obratno, nego i izmjeničnu djelatnu snagu jedne frekvencije u izmjeničnu djelatnu snagu druge frekvencije, a da se tijekom procesa pretvorbe ne stvori neželjena istosmjerna snaga. To znači da se dvosmjerna sklopka može upotrijebiti u svim vrstama upravljivih pretvarača.



Sl. 4 $U - i$ karakteristika jednokvadrantne sklopke

Jednokvadrantna sklopka karakteristike $I_V^+ \cup U_V^+$, prikazane na slici 4, upravljiva je pretvaračka komponenta čija je istosmjerna snaga pozitivna te predstavlja transformator istosmjerne snage u izmjeničnu djelatnu snagu. No, $u - i$ karakteristika jednokvadrantne sklopke nije definirana u trećem kvadrantu. Trivijalna je činjenica da za svaki jednoprilaz postoje u stvarnom svijetu dva jednakovrijedna smjera napona prilaza odnosno struje prilaza. Zbog toga je nedefiniranje $u - i$ karakteristike u trećem kvadrantu fizikalno neispravno, a jednokvadrantna sklopka u stvarnom svijetu ne postoji niti može postojati.

Nepostojanje jednokvadrantne sklopke kao fizičkog entiteta ne predstavlja u praksi nikakvu poteškoću jer se njezino pretvaračko svojstvo transformatora istosmjerne snage u izmjeničnu djelatnu snagu jednostavno realizira s pomoću strujno jednosmjerne sklopke ili naponski jednosmjerne sklopke. Zbog toga nije potrebno ni u teorijskim razmatranjima među pretvaračke komponente ubrojiti jednokvadrantnu sklopku, čime se broj međusobno različitih pretvaračkih komponenata svodi na četiri komponente $u - i$ karakteristika prikazanih na slici 3.

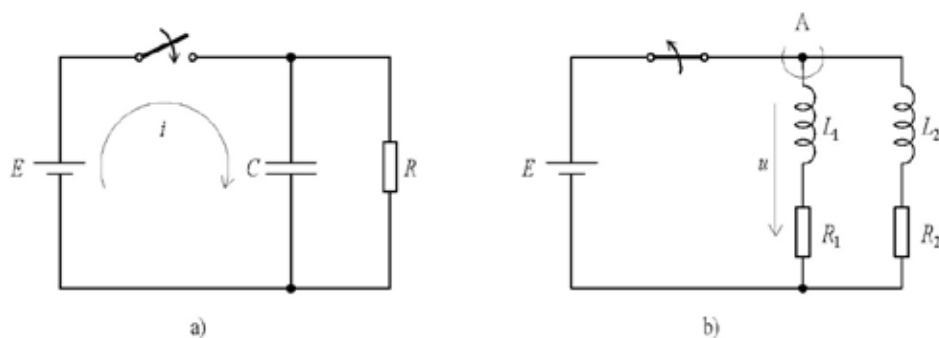
4. Struktura statičkih pretvarača

4.1 Pretvaračka mreža kao dobro definirana mreža

Struktura pretvarača kao i način spoja pretvarača s izvorom i trošilom mora biti takav da se pretvaračka mreža može modelirati dobro definiranom mrežom. Pri tome se pod dobro definiranom mrežom smatra svaka mreža u kojoj se promjenom stanja sklopki ne mogu na razini najjednostavnijeg modela komponenta mreže stvoriti niti kapacitivne petlje niti induktivni čvorovi. U protivnom mreža je loše definirana [13].

Kapacitivna petlja je petlja koju tvore samo kapaciteti i/ili nezavisni naponski izvori/uvori u kojoj je u trenutku uklopa sklopke prekršen Kirchhoffov zakon napona. Tako je u električkom krugu prikazanom na slici 5a u trenutku uklopa sklopke stvorena kapacitivna petlja ako se napon kapaciteta C neposredno prije uklopa sklopke razlikuje od napona izvora E . Struja kapacitivne petlje neposredno nakon uklopa sklopke je beskonačna jer je došlo do trenutačne promjene elektrostatičke energije u kapacitetu C . U stvarnosti struja petlje bit će ograničena parazitnim parametrima petlje, kao što su otpornost naponskog izvora i spojnih vodiča, serijska otpornost kondenzatora, neidealnost sklopke i induktivnost ožičenja.

Induktivni čvor je čvor na koji su spojeni samo induktiviteti i/ili nezavisni strujni izvori/uvori u kojem je u trenutku isklopa sklopke prekršen Kirchhoffov zakon struje. Tako je u električkom krugu prikazanom na slici 5b u trenutku isklopa sklopke stvoren induktivni čvor A. Napon induktivnog čvora neposredno nakon isklopa sklopke je beskonačan jer je došlo do trenutačne preraspodjele magnetske energije između induktiviteta L_1 i L_2 . U stvarnosti napon induktivnog čvora bit će ograničen jedino parazitnim parametrima komponenta spojenih na čvor, kao što su neidealnost sklopke i kapacitivnosti prigušnica.



Sl. 5 Dva jednostavna “školska” primjera loše definirane mreže

U potpoglavlju 1.6 istaknuto je da važenje Kirchhoffovih zakona implicira važenje zakona o očuvanju energije. Ali nevaženje Kirchhoffovih zakona u trenutku sklapanja sklopki u loše definiranim mrežama ne implicira nevaženje zakona o očuvanju energije. Razlika između energije uskladištene u reaktivnim komponentama neposredno prije i neposredno poslije sklapanja sklopki pretvara se u loše definiranoj mreži u toplinsku energiju i/ili energiju elektromagnetskog zračenja, što znači da se u takvoj mreži pojavljuju i dodatni gubitci snage.

Već iz razmatranja ovih jednostavnih primjera postaje očigledno zašto svaka pretvaračka mreža mora biti dobro definirana. U loše definiranoj pretvaračkoj mreži stvaranjem kapacitivnih petlji i/ili induktivnih čvorova forsira se trenutačna preraspodjela elektrostatičke i/ili magnetske energije u reaktivnim komponentama pretvarača. U stvarnosti brzina kojom se preraspodjeljuje uskladištena energija u reaktivnim komponentama pretvarača ovisi o parazitnim parametrima svih komponenata koje tvore kapacitivne petlje i/ili induktivne čvorove pretvaračke mreže. Ti parametri najčešće nisu pouzdano poznati ili čak nisu uopće deklarirani tako da preraspodjelu uskladištene energije prate nepredvidljiva naponska i strujna opterećenja komponenata pretvarača kao i dodatni gubitci snage, što u praksi može ugroziti funkcionalnost pretvarača.

4.2 Primjer određivanja strukture pretvarača

Poznavanje uvjeta opstojnosti procesa pretvorbe (16 – 18) te predznaka istosmjernih snaga pretvaračkih komponenata (22 – 24) omogućuje, uz uvjet da je pretvaračka mreža dobro definirana mreža, da se pronađu strukture pretvarača kojima se s minimalnim brojem konstitutivnih komponenata može ostvariti zahtijevani proces pretvorbe. Pokažimo to na primjeru određivanja strukture (scheme spoja) istosmjernog pretvarača napona za povezivanje istosmjernog naponskog izvora s trošilom modeliranim istosmjernim naponskim uvorom¹⁵.

Minimalnu strukturu istosmjernog pretvarača napona čine dvije sklopke. No, odmah se vidi da bi se s pomoću samo dvije sklopke, neovisno o tome sklapaju li one protutaktno ili kako drugačije, uvijek dobila ili loše definirana mreža ili ne bi bio moguć prijenos energije. Zbog toga je nužno dodati jednu reaktivnu komponentu, a sklopke trebaju sklapati protutaktno. Potrebna reaktivna komponenta nije kondenzator jer bi se u svim mogućim spojevima dviju sklopki i kondenzatora sklapanjem sklopki stvarale kapacitivne petlje. Proizlazi da (istosmjerni) pretvarač (napona) mora u strukturi s minimalnim brojem konstitutivnih komponenata sadržavati dvije sklopke i prigušnicu.

¹⁵ Trošilo se ponaša kao istosmjerni naponski uvor, ako se na izlaz istosmjernog pretvarača napona spoji kondenzator tolike kapacitivnosti C_d da je $R_d C_d \gg T_s$, gdje je R_d nadomjesna otpornost trošila a T_s sklopna perioda pretvarača [5].

Naponski izvor napona E i naponski uvor napona U_d ne smiju ni u jednom trenutku biti kratko spojeni. Zbog toga je potrebno da je jedna od sklopki spojena u seriju s naponskim izvorom, a druga sklopka u seriju s naponskim uvorom. Jedina struktura pretvaračke mreže koja u svakom trenutku rada omogućuje da je ta mreža dobro definirana prikazana je na slici 6.

Uočimo da su referentni smjerovi napona i struja izvora i uvora naznačeni na slici 6 jednaki stvarnim smjerovima napona i struja izvora i uvora, što znači da su iznosi napona izvora i uvora te srednje vrijednosti struja izvora i uvora pozitivne vrijednosti. Zbog protutaktnog sklapanja sklopki $V1$ i $V2$ stvarni smjer struje kroz pri-gušnicu je od čvora 1 prema čvoru 2. Time su određeni i stvarni smjerovi srednjih vrijednosti napona sklopki $V1$ i $V2$.

U periodičkom stanju srednja vrijednost napona induktiviteta L jednaka je nuli te iz jednadžbi Kirchhoffova zakona napona za srednje vrijednosti

$$E - U_{V1}(0) = 0, \quad U_d + U_{V2}(0) = 0$$

proizlazi da je zbog $E > 0$ i $U_d > 0$

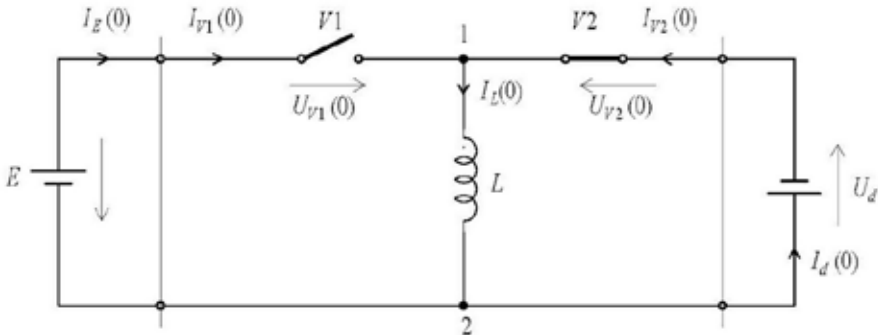
$$U_{V1}(0) = E > 0, \quad U_{V2}(0) = -U_d < 0$$

dok za srednje vrijednosti struja vrijedi da je

$$I_{V1}(0) = I_E(0), \quad I_{V2}(0) = I_d(0)$$

Zbog toga je istosmjerna snaga sklopke $V1$ pozitivna i jednaka ulaznoj djelatnoj snazi pretvarača

$$P_{V1}(0) = U_{V1}(0)I_{V1}(0) = EI_E(0) > 0$$



Sl. 6 Dobro definirana pretvaračka mreža koju tvore izvor, istosmjerni pretvarač napona i trošilo

dok je istosmjerna snaga sklopke V_2 negativna i jednaka izlaznoj djelatnoj snazi pretvarača

$$P_{V_2}(0) = U_{V_2}(0)I_{V_2}(0) = U_d I_d(0) < 0$$

Ulazna istosmjerna snaga pretvarača transformirana je sklopkom V_1 u izmjeničnu djelatnu snagu i zatim ponovno transformirana sklopkom V_2 u istosmjernu snagu i prenesena u trošilo.

Budući da je istosmjerna snaga sklopke V_1 pozitivna, ona je upravljiva i može biti realizirana kao strujno jednosmjerna sklopka ili naponski jednosmjerna sklopka. Istosmjerna snaga sklopke V_2 je negativna te se može realizirati ne samo strujno ili naponski jednosmjernom sklopkom nego i neupravljivom sklopkom. S obzirom na to da iznosom djelatne snage upravlja sklopka V_1 , a sklopka V_2 tu djelatnu snagu samo transformira, dovoljno je da sklopka V_2 bude neupravljiva.

Činjenica da ni u jednom trenutku ne postoji izravan spoj izvora i trošila zbog čega je sva istosmjerna snaga preuzeta iz izvora transformirana u izmjeničnu djelatnu snagu, omogućuje da se na jednostavan način, ako je to potrebno, ostvari galvansko odvajanje istosmjernog izvora od istosmjernog trošila. Dovoljno je samo da se umjesto prigušnice induktivnosti L na njezino mjesto spoji primarni namot transformatora induktivnosti magnetiziranja L a da se na sekundarni namot spoje u seriju spojene sklopka V_2 i trošilo.

Istaknimo još da izravan spoj sklopkom izvora i trošila unutar dijela sklopne periode ne stvara loše definiranu mrežu jedino ako su izvor i trošilo različitog karaktera, primjerice, pri povezivanju naponskog izvora sa strujnim uvorom. U tim je slučajevima u minimalnoj strukturi pretvarača dovoljno upotrijebiti samo dvije protutaktno sklapane sklopke. Očigledno, zbog izravnog spoja između izvora i trošila galvansko odvajanje nije ostvarivo i moguće je tek znatnijim usložnjavanjem strukture pretvarača [5].

Zaključna razmatranja

Statički pretvarači su električki energetske uređaji spojeni između pojne mreže i trošila sa svrhom da prilagode električke karakteristike pojne mreže električkim karakteristikama trošila. Nužni dio svakog statičkog pretvarača jest pretvarački sklop, tj. električka mreža koja preuzima djelatnu snagu raspoloživu na frekvenciji izvora električne energije u pojnoj mreži, transformira ju u djelatnu snagu na željenoj frekvenciji trošila i predaje trošilu. Zbog toga u pretvaračkom sklopu svakog statičkog pretvarača moraju postojati pasivne komponente koje djeluju kao transformatori djelatne snage na frekvenciji. Te se komponente nazivaju pretvaračke komponente.

Električka mreža mora biti nelinearna da bi bila pretvarački sklop nekog statičkog pretvarača. Naime, u svakoj nelinearnoj električkoj mreži pojavljuju se u periodičkom ustaljenom stanju u valnim oblicima napona i struje svih komponenata harmonijski članovi na frekvencijama različitim od frekvencije izvora. Zbog toga se, u općem slučaju, pojavljuju na tim frekvencijama i djelatne snage komponenata promatrane električke mreže. Nelinearne komponente u toj električkoj mreži ponašaju se kao izvori djelatne snage na frekvencijama različitim od frekvencije izvora odnosno kao trošila na frekvenciji izvora. U skladu s načelom ravnoteže djelatnih snaga na frekvenciji sve ostale komponente statičkog pretvarača uključujući i trošila ponašaju se kao trošila koja preuzimaju djelatnu snagu stvorenu nelinearnim komponentama. U nelinearnim komponentama događa se transformacija djelatne snage na frekvenciji.

Iako je svaka nelinearna komponenta transformator djelatne snage na frekvenciji, ona nije ujedno i pretvaračka komponenta. Naime, kao i u svakom energetskom uređaju bitno je da u statičkom pretvaraču budu minimalizirani gubici snage. To znači da sve komponente koje tvore električku energetsku mrežu nekog statičkog pretvarača moraju biti nazivno nedisipativne komponente. Zbog toga su jedine dopuštene konstitutivne komponente svakog statičkog pretvarača reaktivne komponente (kondenzatori, prigušnice, transformatori), a od disipativnih komponenata jedino periodički sklopke.

U većini primjena traži se da statički pretvarač upravlja iznosom transformirane djelatne snage. Zbog toga u upravljivim statičkim pretvaračima barem jedna pretvaračka komponenta mora biti vremenski promjenljiva. Taj zahtjev odmah eliminira vremenski promjenljive reaktivne komponente jer one zbog svog načina rada nisu nazivno nedisipativne komponente. Vremenski nepromjenljive nelinearne reaktivne komponente to jesu, no njihova je primjena kao pretvaračkih komponenata moguća jedino u neupravljivim izmjeničnim pretvaračima frekvencije fiksnog cjelobrojnog odnosa između frekvencije izvora i frekvencije trošila. Potrebe za tom vrstom statičkih pretvarača praktički ne postoje, tako da se ni vremenski nepromjenljive nelinearne

reaktivne komponente ne ubrajaju među pretvaračke komponente.

Proizlazi da se među pretvaračke komponente ubrajaju samo disipativne komponente u sklopnom načinu rada – periodički sklapane sklopke – relizirane u praksi isključivo s pomoću poluvodičkih ventila. Sa stajališta transformacije djelatne snage na frekvenciji, velika je raznovrsnost poluvodičkih ventila koji se upotrebljavaju u praksi samo prividna. Stvarno postoje samo četiri različite vrste pretvaračkih komponenta. To su neupravljiva sklopka, strujno jednosmjerna sklopka, naponski jednosmjerna sklopka i dvosmjerna sklopka, pretvaračka svojstva kojih se lako određuju uvidom u njihove $u - i$ karakteristike.

Da bi statički pretvarač ispravno radio nužno je da u svakom trenutku rada pretvaračka mreža, tj. lančani spoj, pojne mreže, energetske mreže statičkog pretvarača i trošila, bude dobro definirana mreža. Pretvaračka mreža je dobro definirana ako se sklapanjem sklopki ne mogu stvoriti kapacitivne petlje odnosno induktivni čvorovi. U protivnom, u statičkom pretvaraču stvaraju se dodatni gubici snage, a rad mu ovisi o parazitnim parametrima energetskih komponenata pretvarača.

Promatrajući statičke pretvarače sa stajališta njihovih osnovnih energetskih svojstava proizlazi da je svaki statički pretvarač **električka mreža s periodički sklapanim sklopkama** kojom je ostvarena **nazivno nedisipativna transformacija djelatne snage** preuzete iz pojne mreže na skupu frekvencija izvora u djelatnu snagu predanu trošilu na skupu frekvencija trošila i koja zajedno s pojnom mrežom i trošilom tvori **dobro definiranu mrežu**.

Istaknimo još da se, u ovome radu, pri razmatranju energetskih svojstava statičkih pretvarača uopće ne spominju dva važna tehnička pojma: jalova snaga i prividna snaga. U nelinearnim električkim mrežama, kao što su to mreže s periodički sklapanim sklopkama, ti pojmovi, za razliku od pojma djelatne snage, nemaju fizikalno značenje tako da njihovo nespominjanje ne utječe nimalo na objašnjenje rada statičkih pretvarača i njihovih osnovnih energetskih svojstava. Za elektrotehničara ti su pojmovi itekako važni, no njihova interpretacija kao i utjecaj na izbor struktura statičkih pretvarača zahtijeva posebnu analizu izvan dosega ovoga rada.

Literatura

- [1] Flegar, I., Some general properties of power electronic conversion networks, *Archiv für Elektrotechnik*, Bd. 68, 1985., S. 365 – 372
- [2] Flegar, I., Proces pretvorbe u statičkim pretvaračima, *Automatika*, 1 – 2, 1992., str. 13 – 20
- [3] Flegar, I., Pretvaračka svojstva komponenata statičkih pretvarača, *Automatika*, 1 – 2, 1993., str. 11 – 18
- [4] Flegar, I., Some circuit theory based concepts of power electronics, *9th International Conference on Power Electronics and Motion Control*, Košice, 2000., str. 7–194 do 7–199
- [5] Flegar, I., *Elektronički energetski pretvarači*, Kigen, Zagreb, 2010.
- [6] Flegar, I., Energija kao kvazimaterijalna veličina, 10. simpozij: *Povijest i filozofija tehnike*, Hrvatski ogranak CIGRE, 2021., str. 67 – 86
- [7] Griffiths, D. J., *Introduction to Electrodynamics*, Pearson Education Inc., Glenview, USA, 2013.
- [8] Haus, H. A., Melcher, J. R., *Electromagnetic Fields and Energy*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1989.
- [9] Penfield, P., *Power – frequency formulas*, The Technology Press of the M.I.T and John Wiley & Sons, Inc., New York – London, 1960.
- [10] Barkhausen, H., *Das Problem der Schwingungserzeugung*, Verlag von S. Hirzel, Leipzig, 1907.
- [11] Penfield, P. Jr., Spence, R., Duinker, S., *Tellegen's Theorem and Electrical Networks*, Research Monograph No. 58, The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts and London, England, 1970
- [12] Desoer, C. A., Kuh, E. S., *Basic circuit theory*, Tokio, Mc Graw Hill – Kogakusha, 1969.
- [13] Flegar, I. *Osnove projektiranja električkih uređaja*, 3. izdanje, Element, Zagreb, 2020.

Ivan Flegar

BASIC POWER PROPERTIES OF STATIC CONVERTERS

Abstract: By decomposition of the active power into frequency components and by applying the principle of balance of active power at frequency, it has been shown that the power network of any static converter can be considered as a transformer of the active power at frequency. Starting from these premises, the existence conditions of conversion process for all types of static converters are directly derived. Taking into account the general principle of minimizing power losses in power networks, the concept of conversion device is defined and the conversion properties of all constituent power devices (periodically operated switches and reactive devices) of static converter power networks are described. All the power properties of static converters are derived disregarding the power network structures of particular static converters. Also, it is explained why the conversion network, i.e. the cascade connection of the power supply, the static converter power network and the load, has to be a well-defined network. It is shown on the example of a dc converter for connecting a dc voltage source with a dc voltage sink that this requirement determines the structure of the dc converter's power network.

Key words: active power at frequency, conversion device, conversion network, existence conditions, static converter, well-defined network

Dragan Poljak, Mirko Jakić

MATEMATIČKE ANALOGIJE U MODELIMA KLASIČNE FIZIKE

Sažetak: U radu se razmatraju poveznice između matematičkih apstraktnih pojmova i zakona klasične fizike. Na isti matematički zapis u vidu istog tipa diferencijalnih jednažbi nailazi se u svim područjima klasične fizike, odnosno analogije su prisutne u mehanici čvrstih tijela, termodinamici, mehanici fluida, mehaničkim i električnim titrajima, akustičnim i elektromagnetskim valovima. U filozofskom smislu postavlja se pitanje postoji li dublja poveznica između apstraktnih matematičkih pojmova i fizikalnih veličina

Ključne riječi: Matematičke analogije, zakoni klasične fizike, povezanost matematičkih operatora i fizikalnih pojmova, filozofski aspekti

Uvodna razmatranja

Čudo pogodnosti jezika matematike u formulaciji zakona fizike je prekrasan dar koji niti razumijemo niti zaslužujemo [1].

Eugene Wigner

Prirodni zakoni u različitim područjima klasične fizike imaju matematički zapis u vidu istih tipova diferencijalnih jednažbi, Ovakve analogije nemaju samo teorijski značaj već su desetljima i temelj nekih važnih inženjerskih disciplina, primjerice temelj automatske regulacije. U nastavku se ukratko navode neke analogije u prijenosu topline, mehanici čvrstih tijela, mehanici fluida, akustici i elektromagnetizmu. Jedna od bitnih kategorija podvlači se i kroz filozofiju znanosti kroz poznato pitanje zašto je svijet apstraktnih matematičkih objekata tako efikasno primjenjiv u fizikalnim modelima klasične fizike koji predstavljaju realni svijet [2].

U ovom radu proširena je problematika koja se donekle razmatra u [3]. Prvo se iznose analogni matematički zapisi u područjima prijenosa topline, elektromagnetiz-

mu, mehanici čvrstih tijela i mehanici fluida, titranjima i valovima. Potom se razmatra povezanost između matematičkih operatora i fizikalnih pojmova, nakon čega slijedi analiza filozofskih aspekata dublje povezanosti matematike i fizike. Razmatra se pitanje stvarne egzistencije matematičkih struktura, postavlja se pitanje o svijetu realnosti opisanom matematikom ili o svijetu realnosti koji jest matematika. Konačno, slijede i završna razmatranja.

.I. Analogije u prijenosu topline, elektromagnetizmu, mehanici čvrstih tijela, hidromehanici, titranjima i valovima

I.I. Prijenos topline

Temelji teorije toplinskih polja nastaju u 19. stoljeću klasičnim radovima Fouriera.

Prijenos topline kroz neku sredinu opisuje se Fourierovim zakonom:

$$\vec{q} = -\lambda \nabla T \quad (1)$$

gdje je $\vec{q}$ gustoća toplinskog toka, T označava temperaturu dok je λ toplinska vodljivost sredine.

Količina topline $\bar{Q}$ koja se prenese kroz infinitezimalni element izotermne plohe $d\vec{S}$ u diferencijalu vremena dt dana je izrazom:

$$\bar{Q} = \int_t \int_S \vec{q} \cdot d\vec{S} dt - \int_t \int_S \lambda \nabla T d\vec{S} dt \quad (2)$$

Pri tome veličina Q predstavlja toplinski tok

$$Q = \int_S \vec{q} \cdot d\vec{S} = - \int_S \lambda \nabla T d\vec{S} \quad (3)$$

Iz općeg zakona održanja difuzijskog prijenosa topline dade se izvesti *Fourierova jednadžba provođenja topline* oblika [4]

$$C_V \rho \frac{\partial T}{\partial t} = Q_i + \nabla(\lambda \nabla T) \quad (4)$$

gdje Q_i predstavlja volumnu gustoću unutarnjih toplinskih izvora, C_V je specifični toplinski kapacitet pri konstantnom volumenu po jedinici mase, a ρ gustoća tvari.

Jednadžba (4) vrijedi uz pretpostavku homogenog i izotropnog tijela, pri čemu su parametri vremenski konstantni, a promjena volumena u ovisnosti o temperaturi se zanemaruje.

U slučaju razmatranja stacionarnih procesa jednadžba prijenosa topline (4) prelazi u *Poissonovu* jednadžbu oblika:

$$\nabla(\lambda \nabla T) = -Q_i \quad (5)$$

Ukoliko unutar promatranog volumena nema izvora topline *Poissonova* jednadžba prelazi u *Laplaceovu* jednadžbu:

$$\nabla(\lambda \nabla T) = 0 \quad (6)$$

Jednadžba (4) daje se riješiti ukoliko su zadani početni i rubni uvjeti, dok je za rješavanje jednadžbe (5), odnosno (6) nužno poznavati rubne uvjete.

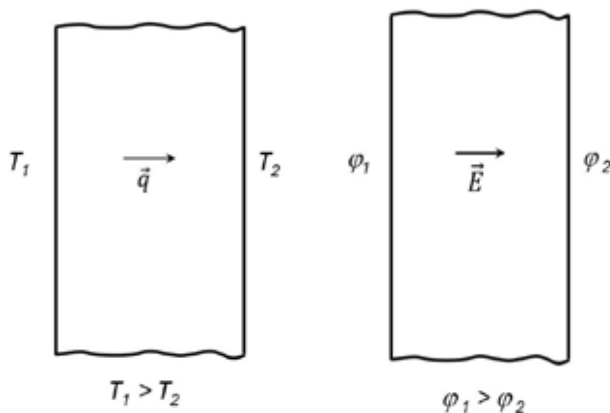
1.2. Elektromagnetizam

Matematički zapis konstitutivne jednadžbe u elektrostatici

$$\vec{D} = -\varepsilon \nabla \varphi \quad (7)$$

gdje je gustoća električnog toka, ε permitivnost, a φ električni skalarni potencijal u potpunosti je analogan gustoći toplinskog toka q u (1).

Dakle gustoća toplinskog toka izražena je gradijentom skalarnog temperaturnog polja dok se gustoća električnog toka izražava preko gradijenta skalarnog električnog potencijala, kako je prikazano na slikama 1a i 1b.



Sl. 1a: Širenje gustoće toplinskog toka

Sl. 1b: Širenje električnog polja

Gustoća toplinskog toka slijedi negativni gradijent temperature, odnosno gustoća toka širi se u smjeru najveće promjene temperature, uvijek od više prema nižoj. Analogno, električno polje, jednako kao i gustoća električnog toka usmjerena je od višeg prema nižem potencijalu, dakle, u smjeru negativnog gradijenta.

Matematička forma ovih zakona je, dakle, identična.

Očita je analogija između gustoće toplinskog i električnog toka izraženih preko gradijenta temperature, odnosno skalarnog električnog potencijala.

Električni tok je tada definiran plošnim integralom

$$\psi_{el} = \int_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = - \int_S \epsilon \nabla \varphi d\vec{S} \quad (8)$$

dok je Poissonova jednačba u elektrostatici oblika

$$\nabla(\epsilon \nabla \varphi) = -\rho \quad (9)$$

gdje je ρ gustoća volumnog naboja.

Laplaceova jednačba za elektrostaticko polje u prostoru bez naboja je oblika

$$\nabla(\epsilon \nabla \varphi) = 0 \quad (10)$$

Očita je analogija među diferencijalnim jednačbama (5) i (9), kao i među jednačbama (6) i (10). Kad se razmatra strujno polje, odnosno električno polje naboja u gibanju u vodljivoj sredini, treba istaknuti kako je jedan od temeljnih zakona električnih krugova, Ohmov zakon, povijesno gledano nastao upravo razmatranjem ponašanja temperaturnih polja te povlačenjem određene analogije.

Tako se u svojoj diferencijalnoj formi Ohmov zakon može pisati u obliku

$$\vec{J} = -\sigma \nabla \varphi \quad (11)$$

gdje je gustoća električne struje, σ specifična vodljivost, a φ električni skalarni potencijal.

Električna struja je tada definirana plošnim integralom

$$I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S} = - \int_S \sigma \nabla \varphi d\vec{S} \quad (12)$$

Lako je vidljiva potpuna analogija između relacija (12) i (3).

Integralni oblik Ohmovog zakona (11) uključuje integralne veličine; struju, napon i električni otpor, a Laplaceova jednačba za stacionarno strujno polje je oblika

$$\nabla(\sigma \nabla \varphi) = 0 \quad (13)$$

Jednačba (13) analogna je jednačbi vođenja topline u stacionarnom stanju(6).

Konačno, vrijedi istaknuti kako je difuzijska jednačba za magnetski vektorski

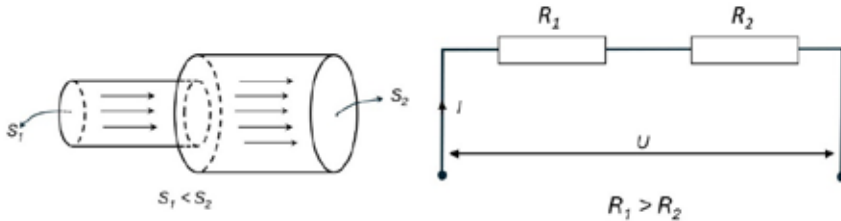
potencijal A kod kvazistacionarnih polja, koja se koristi za proračun vrtložnih struja, oblika

$$\nabla^2 \vec{A} - \mu\sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\mu \vec{J} \quad (14)$$

u matematičkom smislu analogna jednadžbi provođenja topline (4).

13. Mehanika fluida

Brojne su matematičke poveznice u mehanici fluida i elektromagnetizmu. Naime, početkom 20. stoljeća elektromagnetizam, kao najmlađa disciplina klasične fizike, na sveučilištima širom Europe uglavnom se podučavao primjenom raznih analogija iz mehanike fluida u smislu lakše vizualizacije elektromagnetskih fenomena. Kao jedna od najčešćih analogija koristi se pojam nestlačivosti fluida, odnosno električnog naboja, slika 2, a očita matematička analogija onda je dana u vidu jednadžbe kontinuiteta,



Sl. 2a: Tok fluida

Sl. 2b: Tok električne struje

Na slici 2a prikazan je tok fluida kroz dvije cijevi različitog poprečnog presjeka. Analogna slika u elektrodinamici svodi se na tok struje kroz dva različita otpornika. Otpornik većeg otpora R_1 sa slike 2b onda odgovara cijevi manjeg poprečnog presjeka na slici 2a.

U mehanici fluida jednadžba kontinuiteta je oblika

$$\nabla(\rho \vec{v}) + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (15)$$

gdje je ρ gustoća, a $\vec{v}$ brzina gibanja fluida.

Tok fluida je oblika

$$Q = \int_S \rho \vec{v} \cdot d\vec{S} = - \int_S \nabla \phi d\vec{S} \quad (16)$$

gdje ϕ predstavlja potencijal brzine.

U elektrodinamici pak jednadžba kontinuiteta povezuje izvore elektromagnet-skog polja u vidu gustoće volumnog naboja ρ i gustoće struje

$$\nabla \cdot \vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (17)$$

Konačno, jakost električne struje I daje se izraziti integralom gustoće struje (12) pa je opet jasno vidljiv analogija u izrazima (12) i (16).

1.4. Gravitacijsko polje

Znanost o elektricitetu kao egzaktna, rigorozna disciplina u smislu matematičkog zapisa uočenih pojava započinje Coulombovim istraživanjima sredinom osamdesetih godina 18. stoljeća.

Sam izraz za Coulombovu električnu silu između dva naboja

$$|\vec{F}_{el}| = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (18)$$

gdje je K odgovarajuća konstanta proporcionalnosti, q_1 i q_2 dane količine naboja, a r je udaljenost između dva naboja, je analogija na Newtonovu gravitacijsku silu između dva tijela mase m_1 , odnosno m_2

$$|\vec{F}_G| = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (19)$$

pri čemu je G odgovarajuća konstanta proporcionalnosti, a r udaljenost između tijela.

Treba napomenuti da, dok je gravitacijska sila uvijek privlačna, Coulombova sila može biti i privlačna i odbojna, ovisno o polaritetu naboja.

1.5. Konzervativna polja

Nadalje, analogija Newtonove gravitacijske i Coulombove elektrostatske sile očituje se u konzervativnom karakteru ovih sila; tj. rad ovih sila ne ovisi u putanji već o početnoj i krajnjoj točki.

Tako je gravitacijska sila izražena negativnim gradijentom potencijalne energije

$$\vec{F} = -\nabla W_{pot} = -m\nabla V \quad (20)$$

pri čemu je m masa tijela na nekoj visini z iznad zemlje, a V gravitacijski potencijal

$$V = \frac{W_{pot}}{m} = g \cdot z \quad (21)$$

gdje je g gravitacijska konstanta.

S druge strane, sila na naboj q koji se nalazi u elektrostatskom polju je oblika

$$\vec{F} = -\nabla W_{pot} = -q\nabla\varphi \quad (22)$$

gdje je φ elektrostatski potencijal

$$\varphi = \frac{W_{pot}}{q} \quad (23)$$

Jasno je vidljiva analogija između gravitacijskog i elektrostatskog potencijala te mase i naboja u (21) i (23).

U oba slučaja rad A koji se izvrši pomicanjem mase m , odnosno naboja q od neke točke r_A do točke r_B jednak je razlici energije u krajnjoj i početnoj točki

$$A = \int_{r_A}^{r_B} \vec{F} \cdot d\vec{s} = - \int_{r_A}^{r_B} \nabla W_{pot} \cdot d\vec{s} = W_{pot}(r_A) - W_{pot}(r_B) \quad (24)$$

U elektromagnetizmu se može pisati

$$A = \int_{r_A}^{r_B} q\vec{E} \cdot d\vec{s} = -q \int_{r_A}^{r_B} \nabla\varphi \cdot d\vec{s} = q[\varphi(r_A) - \varphi(r_B)] = qU_{AB} \quad (25)$$

gdje je E električno polje, a U_{AB} predstavlja napon između točaka A i B.

Na isti način, kao i u slučaju gustoće toplinskog toka, odnosno električnog polja ponaša se i gravitacijska sila (20) koja djeluje u smjeru najveće promjene te slijedi negativni gradijent.

1.6. Funkcional energije

Jedna od značajnih analogija u mehanici i elektromagnetizmu tiče se pitanja energije u nekom sustavu što vodi na varijacijski račun. Vrijedi napomenuti i da veliki broj numeričkih metoda za rješavanje problema u matematičkoj fizici i inženjerstvu nalazi korijene u varijacijskom računu, odnosno problemu minimizacije funkcionala energije.

Zahtjev ponašanja sustava u skladu s principom minimuma energije prema računu varijacija svodi se na minimizaciju funkcionala

$$F = \int_{t_1}^{t_2} (W_{kin} - W_{pot})dt = \min \quad (26)$$

gdje je W_{kin} i W_{pot} kinetička, odnosno potencijalna energije, odnosno izraza

$$F = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{1}{2}mv^2 - W_{pot} \right) dt = \min \quad (27)$$

pri čemu je m masa, a W_{pot} odgovarajuća potencijalna energija tijela u određenom položaju.

S druge strane, funkcional elektromagnetske energije F koji odgovara izrazu (26) je oblika

$$F = \int_{t_1}^{t_2} (W_{mag} - W_{el})dt = \min \quad (28)$$

Za slučaj slobodnog prostora, ukoliko područje od interesa ne sadrži izvore, funkcional (28) je oblika

$$F = \int_{t_1}^{t_2} \int_V \frac{1}{2} (\vec{B} \cdot \vec{H} - \vec{D} \cdot \vec{E}) dV dt = \min \quad (29)$$

Uspoređujući izraze (27) i (29) jasna je analogija potencijalne energije i energije pohranjene u električnom polju, odnosno kinetičke energije i energije pohranjene u magnetskom polju.

Prema računu varijacija funkcionali (27), odnosno (29), poprimaju minimalnu vrijednost kada njegova varijacija iščezava

$$\delta F = 0 \quad (30)$$

tj. može se pisati:

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} L dt = 0 \quad (31)$$

pri čemu je L odgovarajući lagrangian u mehanici, odnosno u elektromagnetizmu.

Relacija (31) implicira zahtjev za pronalaženjem funkcija koja će integral (27), odnosno (29), tj. pripadni funkcional minimizirati.

1.7. Mehanički i električni titraji

Sljedeća značajna analogija odnosi se na mehaničke i električne titraje.

Mehanički titraji mase m obješene o oprugu u slobodnom prostoru, dadu se opisati preko diferencijalne jednačbe oblika

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad (32)$$

gdje je x pomak mase m od ravnotežnog položaja, a ω kružna frekvencija titranja

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (33)$$

pri čemu je k konstanta krutosti opruge.

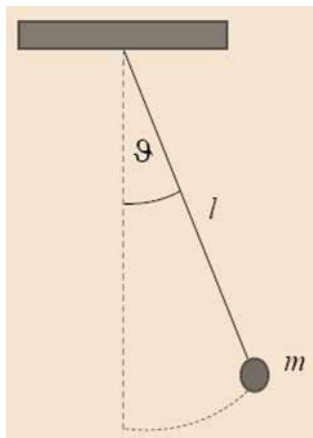
Također, mehanički titraji mase m obješene o nit duljine l , odnosno njihalo, slika 3 mogu se opisati preko diferencijalne jednačbe

$$\frac{d^2\vartheta}{dt^2} + \omega^2 \vartheta = 0 \quad (34)$$

gdje je ϑ pomak mase m od ravnotežnog položaja, a ω je tada

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (35)$$

pri čemu je g gravitacijska konstanta.



Sl. 3.: Njihalo

Ukupna energija opruge čije titranje je opisano diferencijalnom jednačbom (32) u svakom trenutku predstavlja sumu potencijalne i kinetičke energije:

$$W_{tot} = W_{pot} + W_{kin} \quad (36)$$

gdje je potencijalna energija opruge oblika:

$$W_{pot} = \frac{1}{2} kx^2 \quad (37)$$

dok je njena kinetička energija:

$$W_{pot} = \frac{1}{2} mv^2 \quad (38)$$

pri čemu je v brzina gibanja.

Električki titraji naboja q u strujnom krugu s kondenzatorom i zavojnicom (idealni titrajni krug bez gubitaka) dadu se opisati preko istog tipa diferencijalne jednačbe

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0 \quad (39)$$

gdje je ω vlastita kružna frekvencija titrajnog kruga dana izrazom

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (40)$$

pri čemu je L induktivitet zavojnice, a C kapacitet kondenzatora.

Ukupna energija titrajnog kruga može se pisati:

$$W_{tot} = W_{el} + W_{mag} \quad (41)$$

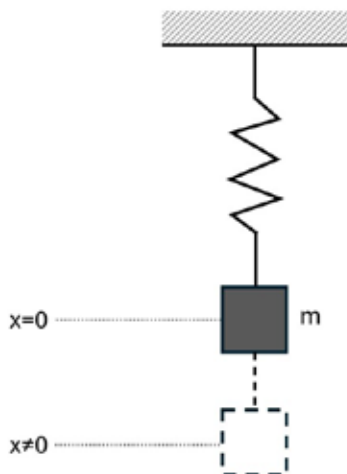
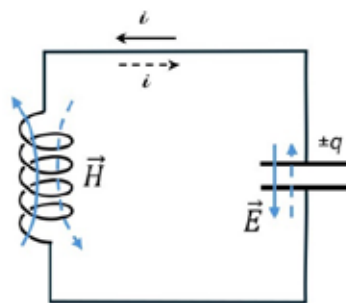
gdje je W_{el} energija pohranjena u električnom polju kondenzatora kapaciteta C nabijenog na naboj q :

$$W_{el} = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \quad (42)$$

a W_{mag} energija pohranjena u magnetskom polju zavojnice induktiviteta L kojom teče struja i :

$$W_{mag} = \frac{1}{2} Li^2 \quad (43)$$

Razmatrani mehanički i titrajući električni sustav koji titra prikazani su na slici 4a, odnosno 4b.

Sl. 4a.: Masa m okačena o oprugu

Sl. 4b.: Električni titrajni krug

Očite su analogije između mase i naboja, ali isto tako i mase i induktiviteta u smislu mjere tromosti sustava. Nadalje, ponovo je jasno vidljiva analogija između potencijalne energije i energije električnog polja te kinetičke energije i energije magnetskog polja.

Opruga s okačenom masom m izbačena iz položaja ravnoteže (tako da se opruga rastegne na neku udaljenost od $x=0$) ima potencijalnu energiju dok ju se ne pusti da slobodno titra. Ukoliko nema gubitaka u sustavu potencijalna energija ciklički prelazi u kinetičku i obrnuto. Potpuna analogija postoji u električnom titrajnom krugu. U ovom slučaju analog potencijalne energije je energija pohranjena u električnom polju kondenzatora nabijenog na neki naboj q . Pražnjenjem kondenzatora u krugu teče struja i , a energija električnog polja kondenzatora prelazi u energiju magnetskog polja zavojnice. Ponovo, ukoliko nema gubitaka u sustavu transformacija energije električnog polja u energiju magnetskog polja (i obrnuto) odvija se periodički u beskonačnost.

Vrijedi napomenuti da su općenito u razvoju klasične fizike analogije s pojavama u mehanici išle toliko daleko da se od svake nove grane fizike očekivalo da se u potpunosti uklopi u koncept Newtonove mehanike. Ponekad je ovakav, donekle ipak radikalni pristup, imao i negativne posljedice u vidu odbijanja prihvatanja novih ideja, kao što je to bio slučaj s Faradayevom idejom egzistencije fizičkog polja i odbacivanjem newtonovskog koncepta djelovanja na daljinu.

1.8. Mehanički i elektromagnetski valovi

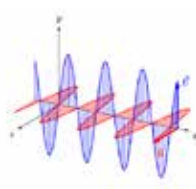
Val se općenito poima kao prijenos deformacije kroz prostor određenom brzinom, a u fizici se zapravo razlikuju tri vrste valova: mehanički valovi (poput valova zvuka ili valova na vodi, slika 5a i 5b), koji putuju samo unutar medija, elektromagnetski valovi, slika 5c, koji predstavljaju samoodržavajuća titranja u vakuumu i valovi materije, koji također mogu egzistirati u vakuumu, a proučavaju se u kvantnoj fizici.



Sl. 5a.: Val na vodi



Sl. 5b.: Val zvuka



Sl. 5c.: Elektromagnetski val

Jednadžba akustičnog vala je oblika

$$\nabla^2 p = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (44)$$

gdje je p tlak, a v brzina propagacije vala.

U slobodnom prostoru valna jednadžba za magnetsko polje je oblika

$$\nabla^2 \vec{H} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (45)$$

pri čemu je brzina propagacije vala jednaka brzina svjetlosti c

$$\nabla^2 \vec{H} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (45)$$

Vektorsku jednadžbu (45) moguće je raspisati po komponentama i prikazati preko tri skalarne jednadžbe po obliku analogne relaciji (44).

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (46)$$

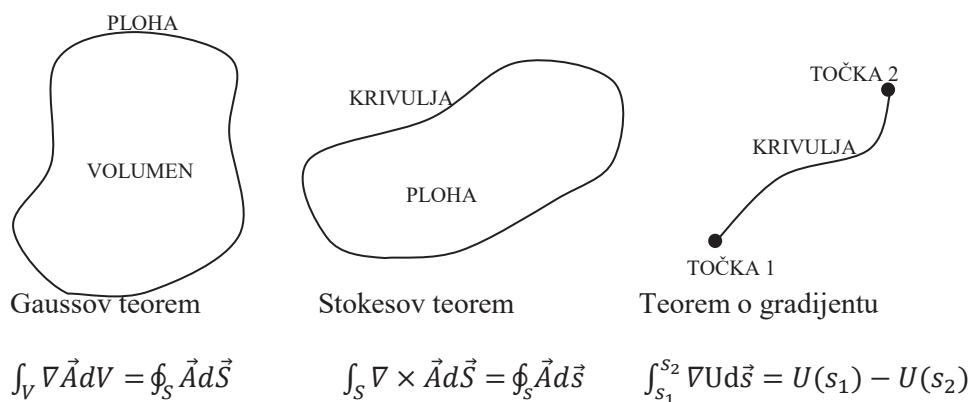
2. Povezanost matematičkih operatora i fizikalnih pojmova

Povijesno gledano jedna od najznačajnijih poveznica matematike i fizike vezana je za Newtonovo i Leibnizovo doba te razvoj diferencijalnog i integralnog računa. Tako je pojam brzine jasno povezan s pojmom derivacije odnosno promjene funkcije u točki dok je pojam integrala vezan za prevaljeni put. Općenito, derivacija predstavlja

mjeru za brzinu promjene dakle, daje informaciju koliko se brzo određena veličina mijenja. S druge strane, integral daje informaciju koliko se određena veličina mijenja s vremenom.

Nadalje, može se kazati da je cjeloviti matematički aparat vektorske analize veoma prilagođen pojmovima matematičke fizike, a njihova definicija usko je povezana s fizikalnim pojmovima iz mehanike fluida, mehanike, topline i elektromagnetizma.

Operatori vektorske analize gradijent, divergencija i rotor imaju jasan fizikalni smisao u vidu prirode potencijalnih polja, postojanja monopolnih izvora i vrtložnih polja. Uz operator divergencije, rotora i gradijenta vezana su tri već spomenuta integralna teorema vektorske analize čijom primjenom je moguće sniziti dimenzionalnost problema, što je zorno prikazano na slici 6 [5].



Sl. 6.: Integralni teoremi vektorske analize

Primjenom ovih teorema razmatranje se s domene proračuna pomiče na granicu područja. Tako Gaussov teorem omogućava zamjenu operacija po volumenu s odgovarajućim matematičkim operacijama po površini koja taj volumen zatvara. Stokesovim teoremom operacije po plohi zamjenjuju se odgovarajućim proračunima po krivulji koja tu površinu zatvara. Konačno, teorem o gradijentu integraciju po krivulji zamjenjuje razlikom vrijednosti neke skalarne funkcije u početnoj i krajnjoj točki krivulje. Očito, u sva tri slučaja integral više dimenzionalnosti sadrži određeni operator vektorske analize koji djeluje na vektorsku ili skalarnu funkciju dok je s desne strane izraz niže dimenzionalnosti koji sadrži vektorsku ili skalarnu funkciju bez dotičnog operatora.

Vektorska polja složenija su od skalarnih polja, a jednoznačno su definirana ako su poznati i rotor i divergencija dane vektorske funkcije, što vrlo često stvara probleme u numeričkim postupcima rješavanja.

Analogije su očite, pitanje je samo ima li analogni matematički zapis dublju konotaciju, ili mi različite pojave samo opisujemo istim matematičkim alatima koje smo razvili.

3. Neki filozofski aspekti povezanosti matematike i fizike

Odnos matematike i fizike na fundamentalnom nivou, odnosno dubinska povezanost ove dvije discipline kao ideja nije novijeg datuma i, s različitog stanovišta razmatrali su je brojni filozofi znanosti, fizičari i matematičari. Postavlja se pitanje kako se matematika kao apstraktna, logičko-formalna disciplina koja nema direktnu poveznicu sa stvarnim svijetom može koristiti u svrhu opisivanja i razumijevanja tog svijeta te predikcije prirodnih pojava. Matematika je, naravno, od pomoći jer pojednostavljuje probleme, odnosno složene strukture predstavlja jednostavnijim modelima što, na neki način, ukazuje na postojanje sličnosti, analogije između matematičkih struktura i stvarnog svijeta. Sasvim općenito, u svjetlu filozofije matematike platonisti tvrde da je svijet brojeva i matematičkih objekata (jedino)stvaran dok nominalisti odbacuju postojanje takvog svijeta. Za nominaliste svijet matematičkih struktura nije stvaran. Ovo pitanje razmatraju i brojni suvremeni teorijski fizičari poput Maxa Tegmarka koji u svojoj knjizi *Mathematical Universe* iz 2014. iznosi prilično radikalnu ideju da realni svijet nije samo opisan matematikom, već da *jest* matematika [6]. Nadalje, teorijski fizičar, Roland Omnès kroz razmišljanja u svojoj knjizi iz 2002. *Converging Realities* [7] iznosi poveznice između prirodnih zakona i matematike te ide ka zajedničkom filozofskom pogledu na fiziku i matematiku. Polazeći od, na prvi pogled, 'čudesne' efikasnosti u primjenjivosti matematike u prirodnim znanostima Omnès zastupa stav da su same matematičke strukture zapravo destilat zakona prirode. Za Emmy Noether, pak, su zakoni sačuvanja u fizici (sačuvanje energije, linearnog i angularnog momenta te sačuvanje naboja) posljedica matematičkih simetrija. Kako bilo, činjenica je da se, za razliku od fizike (u smislu Popperove ili Kuhnove filozofije o razvoju znanosti) zakoni matematike, jednom postavljeni (izumljeni ili otkriveni...?) ne mijenjaju niti nadopunjuju. Brojne su rasprave vezane za pitanje postoje li uopće Kuhnovske revolucije u matematici [8].

U suvremenoj filozofiji matematike vrlo utjecajna teorija naziva se *platonizmom*, a tiče se nepromjenjivog znanja te promjenjivog svijeta realnosti. Nepromjenjivo znanje o promjenjivom svijetu realnosti je matematičko znanje. Svijet realnosti sastoji se od činjenica opažajnoi/ili tehnološki zamjetljive naravi čiji su međusobni odnosi u svom temelju matematički strukturirani. Matematičke strukture stvarne su u onoj istoj mjeri u kojoj su stvarne činjenice opažajne empirije. Uspješnost primjene matematike na fiziku uspješnost je otkrivanja matematički strukturiranih strukturiranih

odnosa među empirijskim činjenicama. U suvremenoj platonističkoj orijentiranoj filozofiji matematičke strukture dio su fizikalno istraženog svijeta realnosti. Ove strukture su stvarne budući da svijet realnosti u svom temelju ima matematički strukturirane fizikalne zakone. Stoga je tvrdnju o matematičkim strukturama kao destilatu zakona prirode moguće nedvojbeno uklopiti u platonističku orijentiranu filozofiju. Tako je tvrdnju o fizikalnim zakonima sačuvanja kao posljedici matematičkih simetrija također moguće platonistički orijentirati; matematička simetrija sama je bit (*essentia*) fizikalnih zakona sačuvanja. No, u ovoj platonistički harmonično uspostavljenoj ontologiji svijeta realnosti postoje i neka otvorena zagonetna pitanja. Platonistički orijentirana filozofija matematike susreće se s naime s poteškoćom nedvojbenog objašnjenja fizikalne realnosti jednog dijela skupova apstraktnih matematičkih entiteta – skupova koji su neotklonjivo opstojeći u teorijskoj matematici. Neizvjesnost objašnjenja pojavljuje se već na razini razmatranja fizikalne realnosti beskonačnog skupa negativnih brojeva. Zaokruživanje na apsolutne N količinske vrijednosti rezultatnih fizikalnih proračuna ne može otkloniti ovu poteškoću. Pitanje je na što se zapravo u svijetu realnosti nekonvencionalnosti referiraju članovi čisto matematički utemeljenog Z skupa. Istovrsno pitanje vrijedi i za članove skupa C . Platonizam teško da na ova pitanja ima nedvojbeno neredukcionističke i ujedno referentno izvjesne odgovore. Naime, ako apstraktni matematički entiteti izražavaju samo kvantitet, onda postoji opasnost redukcije matematike na fiziku. Vrijedi, također, i redukcionistički obrat. No ako apstraktni matematički entiteti ne izražavaju samo kvantitet, onda njihova fizikalna entitetna referentnost postaje neizvjesnom.

Mogući prijedlog pomoću kojeg se daje otkloniti neke prethodno spomenute poteškoće na koje nailazi platonizam je onaj o urođenosti matematičkih struktura. Ovu ideju povijesno se može dovesti u vezu s *adequatio intellectus et rei* Tome Akvinskog te s Kantovim *Die Architektonik der reinen Vernunft*. Matematičke strukture su, dakle, obilježje ljudskog uma te su dio naših sposobnosti istraživanja svijeta realnosti. Baveći se matematikom otkrivamo urođene nam strukture (lat. *nostra rationalitate*) iz čega bi proizašlo da je matematika utoliko otkriće. Matematičke strukture su onda konstruktivna potencijalnost uma te su stvarne u istoj mjeri u kojoj je stvarno ljudsko biće kao dio svijeta realnost. Može se kazati da ljudsko biće spoznaje svijet realnosti matematički ga opisujući, no istovremeno spoznaje i vlastiti um, tj. njegov racionalni dio.

Matematika je, dakle, u ontologijsko spoznajnom smislu istovremeno i izum i otkriće. Naime, kao otkriće ona spoznajno uključuje ontologiju živih bića dok kao izum spoznajno uključuje ontologiju univerzuma.

Zaključna razmatranja

Znanost, odnosno ono što danas podrazumijevamo pod znanstvenom metodom, postoji nekih četiri stotine godina. Početak sedamnaestog stoljeća donosi novi pogled na svijet koji karakterizira prijelaz s aristotelovske na galilejevsku fiziku.

Naime, s Galileom, Descartesom i Newtonom kristalizira se i hijerarhija koncepata, odnosno javlja se ideja da se opis fizikalnog svijeta dade iskazati preko nekoliko osnovnih pojmova zajedno povezanih kvantitativnim zakonima.

B. d'Espagnat [9]

U radu se analiziraju poveznice između matematičkih apstraktnih pojmova i zakona klasične fizike. Naime, isti matematički zapis u vidu istog tipa diferencijalnih jednadžbi nailazi se u raznim područjima klasične fizike, odnosno postoje analogije koje su zastupljene u prijenosu topline, elektromagnetizmu, mehanici čvrstih tijela, prijenosu topline, mehanici fluida, mehaničkim i električnim titrajima te mehaničkim i elektromagnetskim valovima. Također, u radu se propituje poveznica između operatora i integralnih teorema vektorske analize i fizikalnih pojmova. Konačno, u radu se razmatraju i neka filozofska pitanja postojanja fundamentalnih poveznica između matematičkih i fizikalnih pojmova, odnosno između matematičkog svijeta apstraktnih entiteta i stvarnog svijeta. Dade se ustvrditi kako ideje platonizma i urođenosti matematičkih struktura nisu sasvim suprotstavljene filozofske ideje, već prije zajednički dijele tvrdnju o spoznajnim mogućnostima intelekta, kao i pitanje o fundamentalnoj poveznici između matematičkih inteligibilnih konstrukata i fizikalno istražnog ustrojstva svijeta.

Literatura

- [1] E. Vigner, E. Wigner, the unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences, *Communications in Pure and Applied Mathematics*, Vol. 13, No. I, Feb. 1960
- [2] D. Poljak, M. Jakić, A Note on the Character of Physical Models Representing Natural Phenomena *Int. Journ. of Design & Nature and Ecodynamics*, Vol. 12, No 2, 2017., pp. 254-263.
- [3] D. Poljak, Ograničenja matematičkih modela u fizici i tehnici s osvrtom na klasični inženjerski elektromagnetizam, *Zbornik radova: 9. simpozija Povijest i filozofija tehnike*, Zagreb, Hrvatska, 2020. str. 509-545.
- [4] D. Poljak, M. Cvetković, *Human Interaction with electromagnetic Fields, Computational Methods in Dosimetry*, Elsevier, Eastbourne, UK, 2019.
- [5] D. Poljak, *Teorija elektromagnetskih polja s primjenama u inženjerstvu*, Školska knjiga, Zagreb 2014.
- [6] M. Tegmark, *Mathematical Universe*, Penguin: New York, 2014.
- [7] R. Omnès, *Converging Realities: Toward a Common Philosophy of Physics and Mathematics*, Princeton University Press, 2004.
- [8] M. Mizarhi (Ed), *The Kuhnian Image of Science: Time for a Decisive Transformation?* Rowman & Littlefield, London, UK, 2018.
- [9] B. d'Espagnat, *On Physics and Philosophy*, Princeton University Press, New York, USA 2006.

Dragan Poljak Mirko Jakić

MATHEMATICAL ANALOGIES IN MODELS OF CLASSICAL PHYSICS

Abstract: The paper deals with links between mathematical abstract notions and laws of classical physics. One finds the same mathematical description in the form of same type of differential equations in all areas of classical physics, i.e. analogies are present in mechanics of solid bodies, thermodynamics, fluid mechanics, mechanical and electrical oscillations, acoustic and electromagnetic waves. In philosophical sense there is a question whether there exists a deeper link between abstract mathematical notions and physical quantities.

Keywords: Mathematical analogies, laws of classical physics, link between mathematical operators and physical notions, philosophical aspects

Dragan Poljak, Mirko Jakić

OD KLASIČNOG DO KVANTNOG INŽENJERSKOG ELEKTROMAGNETIZMA

Sažetak: Klasični elektromagnetizam je iznimno značajan i koristan alat u brojnim područjima suvremene tehnologije, poput elektroenergetike, elektronike, projektiranja integriranih krugova i bežičnih komunikacija. Međutim, neke primjene, primjerice detekcija i lociranje svjetla, prepoznavanje slike ili sustavi temeljeni na kvantnoj tehnologiji zahtijevaju uporabu koncepata kvantnog elektromagnetizma. Kvantna fizika je najuspješnija teorija u povijesti znanosti, ali traži dramatično drugačiji način razmišljanja u usporedbi s klasičnim pristupom. U ovom radu dan je prikaz osnovnih jednadžbi kvantnog elektromagnetizma također s naglaskom i na neke poveznice s pojmovima u klasičnoj elektromagnetskoj teoriji. Konačno, dana su i neka filozofska razmatranja u okviru usporedbe klasične i kvantne fizike.

Ključne riječi: Maxwelllove jednadžbe, klasični elektromagnetizam, kvantni elektromagnetizam, Hamiltonian, filozofski aspekti

Uvodna razmatranja

Vrijeme i prostor su modeli kojima mislimo, a ne uvjeti u kojima živimo.

James Gleick

U svijetu klasične fizike opservabilna fizikalna veličina je mjerljiva i predstavlja determinističku varijablu dok u okviru kvantne fizike ova veličina postaje slučajna varijabla predočena pridjeljenim statističkim momentima primjerice očekivanjem i varijancom [1]. Da bi se matematički opisalo kvantne opservable slučajnim svojstvima nužno ih je predočiti kvantnim operatorom uparenim s vektorom stanja [2]. Njihov zapis daje se u onda vidu bekonačno dimenzionalne matrice i vektora, a kvantni operator ponaša se kao *vektor stanja* koji definira stanje kvantnog sustava.

Principi kvantne fizike i usporedbe s klasičnom fizikom obrađeni su u velikom broju knjiga i znanstvenih radova pisanih uglavnom za fizičare. Tek odnedavno kvantna fizika, a posebno kvantni elektromagnetizam, postaju discipline od sve većeg interesa za inženjere pa se ova problematika obrađuje i sa stajališta inženjerskog elektromagnetizma u prestižnim časopisima iz područja elektrotehnike, primjerice [2-5].

I dalje, međutim, čitavo stoljeće nakon ustoličenja kvantne mehanike postoje značajne dvojbe oko interpretacije kvantne teorije, a i danas je uglavnom dominantna tzv. *kopenhagenska interpretacija* [1].

Stanovište kopenhagenske interpretacije kvantne mehanike, često popularno nazvane: ‘Ušuti i računaj!’ (*eng.* Shut up and calculate!) je da kvantno stanje sustava nije određeno dok ne nastupi mjerenje. Po Einsteinu je, pak, kvantno stanje određeno prije provedbe mjerenja, a kvantni teorijski okvir, stoga do kraja svog života, smatra nepotpunim.

Meni izgleda izvjesno da je fundamentalno statistički karakter teorije jednostavno posljedica nepotpunosti opisa.

Albert Einstein

U ovom radu razmatra se jednostavan, uvelike intuitivan, prijelaz s klasičnog na kvantni elektromagnetizam po principu homomorfizma Maxwellovih jednažbi [2]. Također, navode se neke usporedbe te filozofski aspekti u pojmovima klasične i kvantne fizike.

1. Usporedbe klasične i kvantne fizike

Iako kvantna fizika daje izrazito upotrebljive rezultate u smislu predviđanja vjerojatnosti određenih događaja, nakon gotovo stoljeća od njenog rađanja, ovaj konstrukt i dalje ne daje pojašnjenja zašto su vjerojatnosti u terminima kojim se kvantna fizika izražava ispravne.

Tako i današnja ‘hit metoda’ rješavanja brojnih problema - strojno učenje (*eng.* *Machine Learning* – ML) također pruža predviđanja o događajima nekih fenomena bez da se uopće upušta u iznalaženje fundamentalnih principa [6].

Kvantna fizika, za razliku od klasične, nema čvrsta uporišta u pojmovima *realizma* i *lokalnosti*.

U klasičnoj fizici pod realizmom se podrazumijeva stajalište da čestica ima inherentna svojstva koja se ne mijenjaju uslijed postupka mjerenja ili opservacija. Naime, čestica ima određena svojstva neovisno o tome opažamo li je (provodimo na njoj

mjerenja) ili ne. Jednostavno rečeno, svojstva čestice objektivno postoje a da ih se ne mjeri.

Nadalje, *lokalnost* implicira da se bilo kakvo djelovanje ne može ostvariti brzinom većom od brzine svjetlosti.

... ukoliko ste realist, morate vjerovati da je kvantna mehanika pogrešna.

Lee Smolin

Gotovo u maniri Wittgensteina kvantna fizika nam ne omogućava da govorimo o fenomenima koje ne možemo, makar u principu, opažati. Štoviše, otklanja se čak i mogućnost poimanja tih fenomena. Dakle, funkcija ove teorije nije opis realnosti već puko postavljanje statističkih korelacija između opažanja.

Ja sam uvjeren da je teorijska fizika zapravo filozofija.

Max Born

Sa sigurnošću se može kazati da je veliki problem fizičarima i inženjerima, koji su navikli na kategorije klasične fizike, izostanak mogućnosti zornog prikaza fenomena u kvantnoj fizici. Drugim riječima, nema vizualnog modela pojave. Pod modelom se u prirodnim i tehničkim znanostima podrazumjeva mentalna predodžba koja se koristi za opis događaja u stvarnom svijetu. Karakter modela prirodne pojave je kontinuirano tema u filozofiji znanosti, primjerice [7-10]. Različiti modeli, mada različite razine točnosti, uvijek predstavljaju grubi, manjkavi, približni model neke prirodne pojave.

Svi modeli su pogrešni, ali neki su korisni.

George E.P. Box

S obzirom na izostanak zornog prikaza kvantna teorija onda umjesto fizikalne slike koristi matematičku apstrakciju pa bi je se čak moglo okarakterizirati prije kao „kvantnu matematiku“ nego kao kvantnu fiziku.

U kvantnoj fizici stanje kvantnog sustava je neodređeno dok se nad njim ne provede postupak mjerenja.

Kvantno stanje je reprezentacija svega što je moguće znati o nekom kvantnom objektu, a omogućava proračun vjerojatnosti za fundamentalno slučajne ishode u izabranoj shemi mjerenja.

Može se kazati da je kvantni sustav u superpoziciji višestrukih stanja prije provedbe mjerenja. Odgovarajuće mjerenje onda određuje stanje u kojem se kvantni sustav nalazi, tj. postupkom mjerenja superpozicija višestrukih stanja sustava kolabira u jedno stanje, ono koje proizlazi iz mjerenja, odnosno dolazi do *kolapsa valne funkcije*.

Pod valnom funkcijom podrazumijeva se prostorno-vremenska evolucija mogućih kvantnih ishoda povezanih s kvantnom česticom.

Valna funkcija ne predstavlja izravno kvantnu česticu već prije *informaciju* (u vidu mogućih kvantnih događaja) koja se koristi za predviđanja ishoda kvantnih mjerenja provedenih na kvantnoj čestici.

Kvantna čestica kojoj se pridjeljuje odgovarajuća valna funkcija nema određeni položaj u prostoru i može se nalaziti u bilo kojoj točki prostora u kojoj je amplituda valne funkcije različita od nule.

Opservacija po sebi mijenja valnu funkciju na diskontinuirani način, jer se od svih mogućih ishoda izabire jedan. Drugim riječima, prijelaz iz mogućeg u aktualno događa se prilikom opserviranja.

Dakle, za razliku od klasične fizike kod koje je pozicija čestice poznata u svakom trenutku, u kvantnoj je teoriji čestica u linearnoj superpoziciji stanja prije mjerenja. Čin mjerenja uzrokuje *kolaps valne funkcije*, odnosno čestica se trenutno nađe u jednom stanju.

Još jedan bitan pojam kvantne fizike ne postoji u klasičnoj fizici, a naziva se *kvantna spregnutost* ili *kvantna isprepletenost* (*engl.* quantum entanglement). Primjerice, uslijed zakona sačuvanja momenta dva fotona koje je stvorio isti izvor imaju totalni angularni moment nula, neovisno koliko su međusobno udaljeni. Stanje sustava dva fotona je neodređeno dok se ne provede mjerenje, odnosno kvantni sustav je u linearnoj superpoziciji dva stanja fotona od kojih je jedan desne, a drugi lijeve kružne polarizacije. U trenutku mjerenja obavljenog na jednom od dva fotona polarizacija drugog (koja mora biti obrnuta od prvog) je trenutno poznata, neovisno o međusobnoj udaljenosti dvaju fotona. Ovaj fenomen je ilustracija nelokalnog karaktera kvantne superpozicije.

Za razliku od klasične fizike u kojoj postoji jasna distinkcija između pojma čestice i vala u kvantnoj fizici govori se o *valno-čestičnom dualizmu*.

Dualnost val-čestica najčešće se ilustrira kod eksperimenta prolaska fotona kroz prepreku s dva proreza. Naime, kvantna čestica ponaša se kao val kad ju se ne opservira, a kao čestica kad ju se promatra, pošto čin opservacije (mjerenja) uzrokuje kolaps valne funkcije u točno određenoj lokaciji.

Ne gledaj: val, gledaj: čestica.

Jim Holt

Što se događa prilikom mjerenja kvantnog sustava? Je li moguće, makar u principu, znati što se događa s česticom kad je se ne promatra?

U kvantnoj fizici govori se o tzv. *problemu mjerenja*, odnosno što se točno podrazumijeva pod mjerenjem. Mjerenjem kvantnog sustava uzrokuje se slučajni kolaps višestrukih mogućih stanja sustava u jedno definitivno stanje. U matematičkom smislu postoji jasna distinkcija između kontinuiranih vremenski simetričnih kvantno-mehaničkih jednadžbi gibanja i diskontinuiranog vremenski-asimetričnog procesa mjerenja.

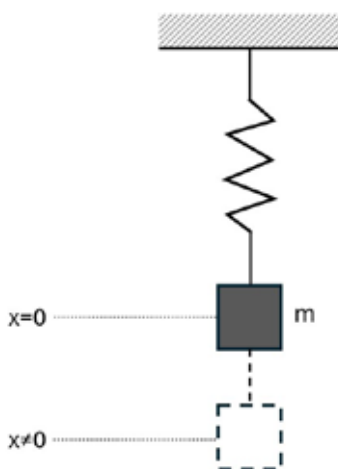
2. Klasične Maxwelllove jednadžbe

Klasične Maxwelllove jednadžbe daju se izvesti iz Hamiltonove teorije, odnosno iz funkcionala elektromagnetske energije.

1.1 Harmonijski oscilator u mehanici

Prilikom prelaska s klasičnog na kvantni elektromagnetizam uputno je koristiti se analogijama koje postoje između klasične mehanike i klasičnog elektromagnetizma.

Tipični harmonijski oscilator u klasičnoj mehanici je sustav žičane opruge konstantne krutosti k i krutog tijela mase m .



Slika 1. Klasični harmonijski oscilator u mehanici – čvrsto tijelo mase obješeno o oprugu krutosti k

Sila naprezanja F opruge prema Hooke-ovom zakonu je:

$$F = -kx \quad (1)$$

gdje je k konstanta krutosti, a x pomak u odnosu na stanje mirovanja opruge.

S obzirom da je sila negativni gradijent potencijalne energije W , za jednod-

menzionalni slučaj može se pisati

$$F = -\frac{dW}{dx} \quad (2)$$

pa dalje jednostavno slijedi

$$\frac{dW}{dx} = kx \quad (3)$$

Nadalje, rad A se može dobiti kao razlika potencijalnih energija u početnoj i krajnjoj točki odnosno vrijedi

$$A = -\int_{W_{pot}}^{W_{kon}} dW = W_{pot} - W_{kon} \quad (4)$$

Iz relacije (3) i (4) slijedi

$$A = -\int_{x_1}^{x_2} kx dx = \frac{k}{2}(x_1^2 - x_2^2) \quad (5)$$

gdje su x_1 početni polazište opruge i x_2 ravnotežno položaj.

Ako se izabere da je ravnotežni položaj $x_2=0$ onda je općenito potencijalna energija opruge

$$W_{pot} = \frac{k}{2}x^2 \quad (6)$$

Jednadžba gibanja za klasični harmonijski oscilator je oblika

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \omega_0^2 x(t) = 0 \quad (7)$$

gdje je kružna frekvencija:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (8)$$

Rješenje diferencijalne jednadžbe uz početni uvjet $x(0)=X_0$ je:

$$x(t) = X_0 \cos(\omega_0 t + \phi) \quad (9)$$

Umjesto varijable položaja $x(t)$ uobičajeno je uzeti notaciju kanonskog položaja $q(t)$ [3].

Energija klasičnog oscilatora, odnosno Hamiltonian H se može napisati kao suma potencijalne i kinetičke energije; W_{pot} i W_{kin} .

$$H = W_{kin}(x) + W_{pot}(x) \quad (10)$$

gdje je kinetička energija

$$W_{kin}(x) = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \quad (11)$$

a potencijalna energija je dana izrazom (6).

Sada, prelaskom na notaciju preko impulsa (količine gibanja) p i položaja q :

$$p = mv = m\dot{x} = m\dot{q} \quad (12)$$

gdje točka iznad q ukazuje na derivaciju dane veličine po vremenu, slijedi

$$H = \frac{p(t)^2}{2m} + \frac{1}{2} m \omega_0^2 q(t)^2 \quad (13)$$

Nadalje, ukupna energija oscilatora je onda:

$$H = \frac{1}{2} m \omega_0^2 X_0^2 \quad (14)$$

pri čemu, u skladu s konceptom klasične fizike, amplituda X_0 može poprimiti proizvoljnu, odnosno kontinuiranu vrijednost.

1.2 Elektromagnetsko polje u rezonatoru

Elektromagnetski ekvivalent mehaničkog harmonijskog oscilatora je elektromagnetsko polje u šupljini (rezonatoru). Ovaj problem daje se opisati skupom, Maxwellovih jednažbi za područje bez izvora:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (15)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (16)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad (17)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (18)$$

gdje je E električno polje, a B magnetska indukcija.

Za jednodimenzionalnu šupljinu uzduž osi z od $z=0$ do $z=L$ uz idealne električne zidove, pretpostavljena je polarizacija električnog polja E uzduž osi x , a magnetsko polje B je uzduž osi y , tj, vrijedi:

$$\vec{E} = E_x \vec{e}_x \quad (19)$$

$$\vec{B} = B_y \vec{e}_y \quad (20)$$

Rubni uvjeti su dakle:

$$E_x(z = 0) = E_x(z = L) = 0 \quad (21)$$

Iz dvije rotorske Maxwellove jednadžbe (15) i (16) lako je dobiti valnu jednadžbu za električno, odnosno magnetsko polje.

Primjenom operatora rotacije na (15) uz kombiniranje s relacijom (16) slijedi

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (22)$$

S obzirom da vrijedi:

$$\nabla^2 \vec{E} = \nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla \times \nabla \times \vec{E} \quad (23)$$

uz (17) jednadžba (22) postaje:

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (24)$$

Za jednodimenzionalni slučaj uz danu polarizaciju električnog polja (19), valna jednadžba (24) prelazi u jednostavniji oblik

$$\frac{\partial^2 E_x(z,t)}{\partial z^2} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 E_x(z,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (25)$$

Valna jednadžba (25) standardno se rješava primjenom separacije varijabli pa se rješenje parcijalne diferencijalne jednadžbe (25) daje napisati

$$E_x(z, t) = E(z)p(t) \quad (26)$$

Sada parcijalna diferencijalna jednačba (25) poprima oblik:

$$\frac{1}{E(z)} \frac{\partial^2 E(z)}{\partial z^2} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{1}{p(t)} \frac{\partial^2 p(t)}{\partial t^2} = 0 \quad (27)$$

odnosno razbija se na dvije linearno nezavisne obične diferencijalne jednačbe

$$\frac{1}{E(z)} \frac{d^2 E(z)}{dz^2} = -k^2 \quad (28)$$

$$\mu_0 \varepsilon_0 \frac{1}{p(t)} \frac{d^2 p(t)}{dt^2} = -\beta^2 \quad (29)$$

pri čemu onda vrijedi:

$$-k^2 + \beta^2 = 0 \quad (30)$$

Nadalje, opće rješenje jednodimenzionalne Helmholtzove diferencijalne jednačbe

$$\frac{d^2 E(z)}{dz^2} + k^2 E(z) = 0 \quad (31)$$

je oblika

$$E(z) = C \sin k z + D \cos k z \quad (32)$$

Rubni uvjeti daju: $D=0$ i $\sin k L = 0$, odnosno slijedi: $kL = m\pi$ pa je

$$E_m(z) = C \sin \frac{m\pi}{L} z \quad (33)$$

Konačno, primjena ortogonalnosti [3]

$$\int_0^L E_m(z) E_n(z) dz = \delta_{mn} \quad (34)$$

gdje je δ_{mn} Kroneckerov simbol, daje

$$C^2 \int_0^L \sin^2 \frac{n\pi}{L} z \cdot dz = 1 \quad (35)$$

Dalje je

$$C^2 \cdot \frac{1}{2} \int_0^L \left(1 - \cos \frac{2n\pi}{L} z\right) dz = 1 \quad (36)$$

odakle jednostavno slijedi

$$C^2 = \frac{2}{L} \quad (37)$$

pa se konačno dobije:

$$E_k(z) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin k z, \quad k = k_m = \frac{m\pi}{L} \quad (38)$$

gdje k predstavlja indeks moda pa se onda može pisati [3]

$$E_k(z, t) = -\sqrt{\frac{1}{\varepsilon_0}} p(t) E_k(z) \quad (39)$$

$$B_k(z, t) = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_0}} q(t) \frac{\partial}{\partial z} E_k(z) \quad (40)$$

pri čemu je

$$p(t) = \dot{q}(t) \quad (41)$$

Odgovarajući Hamiltonia za dani problem je oblika:

$$H_k = \frac{1}{2} \int_0^L \left[\varepsilon_0 E_k^2(z, t) + \frac{1}{\mu_0} B_k^2(z, t) \right] \cdot dz = \frac{1}{2} [p_k^2(t) + \omega_k^2 q_k^2(t)] \quad (42)$$

gdje je

$$\omega_k = \frac{k}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \quad (43)$$

Očito je da je mod elektromagnetske šupljine ekvivalentan klasičnom oscilatoru jedinične mase.

3. Kvantne Maxwelllove jednadžbe

Kvantne Maxwelllove jednadžbe mogu se dobiti postupno. Prvo se provodi kvantizacija harmonijskog oscilatora, a potom se po analogiji na klasične provodi prijelaz na operatorske Maxwelllove jednadžbe.

2.1 Kvantizacija harmonijskog oscilatora

U svrhu prelaska s klasičnog na kvantnomehanički Hamiltonian provodi se kanonska kvantizacija, tj. veličine koje se pojavljuju u klasičnim jednadžbama zamjenjuju se kvantno-mehaničkim operatorima.

Dakle, klasični moment $p(t)$ i položaj $q(t)$ postaju operatori za moment i kanonski položaj pa relacija (13) postaje

$$H = \frac{\hat{p}(t)^2}{2m} + \frac{1}{2} m \omega_0^2 \hat{q}(t)(t)^2 \quad (44)$$

Budući da su opservable u kvantnoj fizici opisane operatorima zamjenjivost (komutabilnost) ovih operatora je od iznimnog značaja.

Komutator dva operatora je oblika

$$[\hat{q}, \hat{p}] = \hat{q}\hat{p} - \hat{p}\hat{q} = i\hbar \hat{I} \quad (45)$$

gdje je $\hbar$ reducirana Planckova konstanta, a $\hat{I}$ operator identiteta.

Nadalje, kvantni operatori električnog i magnetskog polja su [3]:

$$\hat{E}_k(z, t) = -\sqrt{\frac{1}{\epsilon_0}} \hat{p}(t) E_k(z) \quad (46)$$

$$\hat{B}_k(z, t) = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0}} \hat{q}(t) \frac{\partial}{\partial z} E_k(z) \quad (47)$$

Vrijedi istaknuti da su $\hat{p}$ i $\hat{q}$ Hermitski operatori i odgovaraju opservabilnim veličinama.

Dok je energija klasičnog harmonijskog oscilatora kontinuirana veličina u slučaju kvantnog harmonijskog oscilatora svojstvene (vlastite) funkcije energije, koje su Hermiteovi polinomi, i svojstvene vrijednosti energije su diskretne, odnosno vrijedi [3]

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega_0 \quad (48)$$

Najniža moguća energija je onda stanje vakuuma [3]

$$E_0 = \frac{1}{2} \hbar \omega_0 \quad (49)$$

i evidentno je različita od nule što nije slučaj kod klasičnog oscilatora.

Ova energija nulte točke proizlazi iz nekomutativnosti operatora $\hat{q}$ i $\hat{p}$.

Za klasični oscilator u odsutnosti fotona elektromagnetsko polje ima nultu energiju $E_n=0$. Za kvantni slučaj ovakva situacija odgovarala bi stanju $q=0, p=0$ koje nije dozvoljeno *principom neodređenosti* koji odgovara nekomutativnim operatorima. Dakle, stanje vakuuma je nužno za očuvanje komutatora i samodosljednosti kvantne fizike.

2.2 Operatorske Maxwellove jednadžbe

Operatorske Maxwellove jednadžbe za područje bez izvora, po principu homomorfizma (analogije) s klasičnim slučajem, su oblika [2]:

$$\nabla \times \hat{\mathbf{E}} = -\frac{\partial \hat{\mathbf{B}}}{\partial t} \quad (50)$$

$$\nabla \times \hat{\mathbf{B}} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \hat{\mathbf{E}}}{\partial t} \quad (51)$$

$$\nabla \cdot \hat{\mathbf{E}} = 0 \quad (52)$$

$$\nabla \cdot \hat{\mathbf{B}} = 0 \quad (53)$$

U ovoj notaciji klasična polja postaju operatori polja, dakle radi se o kvantnim operatorima koji su definirani u svakoj prostorno-vremenskoj točki. Naravno, u slučajevima kad je valna duljina elektromagnetskog polja puno veća od dimenzija atoma može se koristiti makroskopska (klasična) elektromagnetska teorija.

Uz skup Maxwellovih jednadžbi (50) – (53) potrebno je riješiti i operatorsku Schrödingerovu jednadžbu oblika

$$\hat{H}|\psi\rangle = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi\rangle \quad (54)$$

kojom je određena vremenska evolucija *kvantnog stanja* $|\psi\rangle$ potrebna da bi se potpuno karakteriziralo kvantni sustav [2], pri čemu je operator u Hilbertovom prostoru $\hat{H}$ Hamiltonian koji odgovara sustavu Maxwellovih jednadžbi (50) – (53).

Kvantno stanje $|\psi\rangle$ je veličina koja potpuno opisuje stanje kvantnog sustava i predstavlja alternativu valnoj funkciji ψ koja u skladu s prvim postulatom kvantne mehanike potpuno opisuje stanje razmatranog kvantnog sustava.

Rješavanje Schrödingerove jednadžbe osim u fizici od sve većeg je interesa i u inženjerstvu što se tiče primjena poput fizike čvrstog stanja, fotonaponskih ćelija, optike, nanotehnologije, etc.

Matematičke detalje modeliranja Schrödingerove jednadžbe primjenom analitičkih i numeričkih metoda moguće je pronaći u brojnim knjigama i radovima, primjerice [10-14]. Osvrt na analitičko rješavanje jednodimenzionalne vremenski neovisne Schrödingerove jednadžbe opisane u dodatku A, dan je u dodatku B.

4. Neki filozofski aspekti

Kako je već istaknuto za razliku od klasične fizike, u kojoj figuriraju kontinuirane mjerljive fizikalne veličine kao determinirano opstojeća dimenzionalna dobilježja univerzuma, u kvantnoj fizici se događaju u prostorvremenu pridijeljuje slučajna varijabla predočena statističkim momentima. U kopenhagenskoj interpretaciji figurira superpozicija kvantnog stanja prije postupka mjerenja. Što je s pripadnim filozofskim aspektima? Dobro je poznata teza o o postojanju urođenih prostor-vrijeme formi uma koje omogućuju opservaciju fizikalnih fenomena te zajedno s urođenim nam strukturama (logika, matematika) omogućuju objašnjujuće interpretacije ovih fenomena. Aperceptivno apriorno urođene prostorno-vremenske forme i racionalno apriorno urođene logičko-matematičke strukture postupno se i kumulativno spoznaju u matematičkom smislu. Ova čisto matematička autonomna spoznaja primjenom na osjetilno/artefaktno zamjetljivu fenomenalnost omogućuje stvaranje interpretativnih modela za objašnjenje fizikalnih, uključivo i činjenica vezanih za kvantne fenomene.

Logički aspekti postojanja alternativnih uzročnih teorijskih objašnjenja u kvantnoj fizici svakako ukazuju i na filozofski aspekt problema. Naime, ako je logička uzročno-posljedična sveza dio urođene nam racionalne strukture koju u spoznajnom smislu uspješno primjenjujemo u objašnjenju fenomena u okviru klasične fizike, onda svojevrsna neodlučivost primjene ove sveze na primjene u alternativnim modelima objašnjenja kvantne fizike nužno izaziva filozofsko pitanje o mogućim granicama naše spoznaje [8-10].

Tako nas spoznajna uspješnost logičko-matematičke strukture primjenjene u klasičnoj fizici navodi na misao o odlučivosti o istinitosti pri istraživanju univerzuma, a dvojbenost objašnjenja kvantnih fenomena navodi nas, s druge strane, na misao o spoznajnoj istinosnoj neodlučivosti. Postavlja se pitanje imamo li uopće pravu pre-

dodžbu što realni svijet zapravo jest? Filozofski gledano znanost zasigurno ni blizu nije dovršen projekt uma te filozofija svakako ostaje kritička potraga za istinom. No, isto tako je i filozofiji nužna potkrijepa fizikalnih činjenica kako ne bi otklizala u spekulativnost, uključivo i u mogući matematički oblik spekulativnosti.

Naime, u filozofiji matematike postoje dvije dominantne teorijske orijentacije vezane za znanost kao projekt uma. Ove orijentacije se u ontološkom smislu međusobno ne isključuju, ali se u spoznajnom smislu itekako razlikuju. Kratak osvrt na ove orijentacije dan je u dodatku C.

Zaključna razmatranja

Paradoks je samo sukob između realnosti i našeg osjećaja što bi stvarnost trebala biti.

Richard Feynmen

U ovom radu dan je prikaz osnovnih jednadžbi kvantnog elektromagnetizma na temelju analogije s klasičnom elektromagnetskom teorijom dobiven je po analogiji na harmonijski oscilator u mehanici. Razmatra se usporedba klasične i kvantne fizike te neki filozofski aspekti.

Hamiltonian za kvantna elektromagnetska polja i kvantne Maxwellove jednadžbe dani su po analogiji na klasični slučaj zamjenom klasičnih polja s kvantnim operatorima.

Dalje se u radu navodi kako je valna funkcija čestice matematički opis povezan s vjerojatnošću nalaženja čestice na određenom mjestu u određenom vremenu te se ističe kako, za razliku od klasične fizike, kvantna fizika ne omogućava vizualni model događaja.

Također, razmatraju se pitanja valno-čestičnog dualizma, kvantne isprepletenosti te problem mjerenja.

Konačno, u dodacima se daje prikaz jednodimenzionalne vremenski neovisne Schrödingerove jednadžbe kao i njenog odgovarajućeg analitičkog rješenja.

Dodatak A: Vremenski neovisna Schrödingerova jednadžba

Dok je zadaća klasične fizike opisati točan položaj i brzinu čestice te proučavati evoluciju čestice u skladu s Newtonovom mehanikom u kvantnoj fizici čestici se pridružuje specifična valna funkcija dok se evolucija kvantnog sustava odvija u skladu s rješenjima Schrödingerove jednadžbe.

Do Schrödingerove jednadžbe ne dolazi se standardnim izvedom već ju se postulira na temelju pretpostavke da je čestica zatočena u konačnom volumenu te da može imati samo diskretne energijske nivoe.

Polazi se od Helmholtzove jednadžbe [1]

$$\nabla^2 \psi + k^2 \psi = 0 \quad (\text{A.1})$$

gdje je ψ valna funkcija, a k valni broj

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (\text{A.2})$$

Prema de Broglie-u, čestice s energijom E i momentum p također imaju valna svojstva, odnosno valnu duljinu

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (\text{A.3})$$

gdje je impuls val-čestice p oblika

$$p = mv \quad (\text{A.4})$$

Dalje jednostavno slijedi

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi p}{h} = \frac{2\pi mv}{h} \quad (\text{A.5})$$

a uvrštavanje (A.5) u (A.1) daje

$$\nabla^2 \psi + \frac{4\pi^2 m^2 v^2}{h^2} \psi = 0 \quad (\text{A.6})$$

Ukupna energija kvantne čestice daje se izraziti u vidu sume njene kinetičke i potencijalne energije

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + V \quad (\text{A.7})$$

što se može pisati i na način

$$\frac{p^2}{2m} + U = E \quad (\text{A.8})$$

pa kombiniranjem (A.6) i (A.7) proizlazi

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V\psi = E\psi \quad (\text{A.9})$$

gdje je $\hbar$ reducirana Planckova konstanta

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \quad (\text{A.10})$$

Izraz (A.9) predstavlja trodimenzionalnu Schrödingerovu jednadžbu čija je jednodimenzionalna verzija oblika

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial x^2} + V(x)\psi(x) = E\psi(x) \quad (\text{A.11})$$

i za neke scenarije se može riješiti analitički.

Kvadrat valne funkcije, $|\psi|^2$, je funkcija gustoće vjerojatnosti nalaženja čestice uzduž x -osi u domeni problema. Točna pozicija nije poznata uslijed Heisenbergovog principa neodređenosti, već se daje opisati vjerojatnost nalaženja čestice unutar intervala koji se razmatra. Naravno, suma svih vjerojatnosti u okviru čitavog rješenja unutar domene mora biti jednaka jedan.

Stoga se valna funkcija može smatrati matematičkim alatom proračuna vjerojatnosti opažanja čestice u nekom položaju, ili jednostavno veličina čiji kvadrat daje vjerojatnost opservacije odgovarajućeg ishoda.

Valna funkcija mora zadovoljavati sljedeće zahtjeve:

- Valna funkcija mora zadovoljavati Schrödingerovu jednadžbu;
- Valna funkcija i njena prva derivacija moraju biti kontinuirane funkcije;
- Valna funkcija mora biti normalizibilna – vrijednosti valne funkcije približavaju se nuli kako x teži u beskonačno.

Dodatak B: Analitičko rješenje jednodimenzionalne vremenski neovisne Schrödingerove jednadžbe

Klasični oblik vremenski neovise Schrödingerove jednadžbe može se napisati na način [14]

$$H\psi = E\psi \quad (\text{B.1})$$

gdje je ψ valna funkcija, E energija kvantne čestice mase m koja se giba u intervalu $(0, L)$, H je Hamiltonian

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x) \quad (\text{B.2})$$

pri čemu je $V(x)$ odgovarajući potencijal, dok $\hbar$ predstavlja reduciranu Planckovu konstantu

Energijski spektar kvantne čestice može se odrediti rješavanjem Schrödingerove jednadžbe (A.11) ukoliko su propisani rubni uvjeti za valnu funkciju ψ .

Pretpostavlja se da je čestica zatočena unutar potencijalne jame uz $V=0$ i da se ne može nalaziti izvan intervala $(0, L)$ uz rubne uvjete:

$$\psi(0) = \psi(L) = 0 \quad (\text{B.3})$$

Pojednostavljena jednodimenzionalna Schrödingerova jednadžba je onda

$$-\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = k^2 \psi \quad (\text{B.4})$$

čije je opće analitičko rješenje dano izrazom

$$\psi(x) = A \sin kx + B \cos kx \quad (\text{B.5})$$

Uvrštavanjem rubnih uvjeta (B.3) proizlazi

$$B = 0 \quad (\text{B.6})$$

a iz uvjeta

$$\sin kL = 0 \quad (\text{B.7})$$

slijedi valni broj k

$$k = \frac{n\pi}{L} \quad (\text{B.8})$$

pa je tražena valna funkcija onda oblika

$$\psi(x) = A \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \quad (\text{B.9})$$

Nadalje, pošto je vjerojatnost nalaženja kvantne čestice unutar jame, odnosno unutar intervala promatranja, jednaka jedinici, tj. vrijedi

$$\int_0^L |\psi(x)|^2 dx = 1 \quad (\text{B.10})$$

uvrštavanjem (B.9) u (B.10) dobiva se

$$A^2 \int_0^L \sin^2\left(\frac{n\pi}{L}x\right) dx = 1 \quad (\text{B.11})$$

iz čega jednostavno slijedi

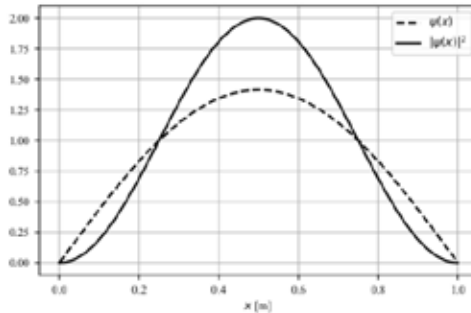
$$A = \sqrt{\frac{2}{L}} \quad (\text{B.12})$$

Konačno, partikularno rješenje Schrödingerove jednačbe (B.1), odnosno (B.4), uz dane rubne uvjete, je oblika:

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \quad (\text{B.13})$$

Odgovarajuća prostorno ovisna Schrödingerova jednačba za slučaj trodimenzionalne potencijalne jame može se dobiti primjenom slične procedure.

Na slici B.1 prikazano je analitičko rješenje valne funkcije i njen kvadrat, odnosno funkcija gustoće vjerojatnosti za česticu koja se nalazi unutar beskonačne potencijalne jame.



Slika B.1 Valna funkcija i funkcija gustoće vjerojatnosti za jednodimenzionalni problem čestice unutar potencijalne jame

Maksimum krivulje funkcije gustoće vjerojatnosti predstavlja najvjerojatniji

položaj čestice. Faktor $\sqrt{\frac{2}{L}}$ u izrazu (B.13) predstavlja amplitudu valne funkcije.

Dodatak C: Aprioristička i platonistička orijentacija u filozofiji matematike

Aprioristička orijentacija u filozofiji matematike poima apstraktne matematičke entitete kao racionalno čiste konstrukte uma koji autonomno omogućuju uspostavljanje identitetnih matematičkih iskaznih formula. Primjerice, u aposteriornoj realnosti ne postoji veličina koja može biti manja od nule. U okviru kvantitativnog izražavanja neke veličine broj 0 izražava odsustvo dotične veličine, a pripisivanje negativnog broja fizikalnoj veličini je pitanje konvencije poput smjera struje u elektrotehnici koji je obrnut od pretpostavljenog. Stoga, dade se ustvrditi kako su apstraktni matematički konstrukti otkriće, a njihova primjena izum.

Za daljnju uporabu čistih simbolički identitetno iskazanih matematičkih formula u apriorističkoj filozofskoj orijentaciji potrebne su fizikalne činjenice, no platonistička orijentacija u transcendentalnom smislu ide korak dalje.

Naime, otkrićem čistih matematičkih konstrukata uspostavljaju se identitetne matematičke iskazne formule pomoću kojih se neposredno spoznaju odnosi između prostorno-vremenskih opstojećih fizikalnih entiteta. Ovi odnosi uključuju iskazne formule koje sadrže negativne, ali i kompleksne brojeve. Tako ove formule iskazuju i kvalitativnost, a ne samo kvantitativnost, fizikalnih odnosa i dodatan matematički izum nije potreban.

Ni aprioristička ni platonistička orijentacija u filozofiji matematike ne isključuju statističku prirodu kvantnih stanja. Treba naglasiti da su u apriorističkoj orijentaciji za daljnju spoznajnu (transcendentalnu) uporabu nužne fizikalne činjenice dok je u platonističkoj orijentaciji dovoljna matematička apstrakcija.

U konačnici, znanstvena i/ili filozofska teorijska objašnjenja neprekoračivo moraju poštivati barem jedan zahtjev formalne logike, a to je načelo konzistentnosti objašnjenja.

Literatura

- [1] J. Baggot, *The Meaning of Quantum Theory*, Oxford University Press, New York 1992.
- [2] W. C. Chew et al., Quantum Maxwell's Equations Made Simple: Employing Scalar and Vector Potential Formulation, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 63, no. 1, pp. 14-26, Feb. 2021.
- [3] G. W. Hanson, Aspects of Quantum Electrodynamics Compared to the Classical Case: Similarity and Disparity of Quantum and Classical Electromagnetics, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 62, no. 4, pp. 16-26, Aug. 2020.
- [4] T. Xia et al., Casimir Force: Vacuum fluctuation, zero-point energy, and computational electromagnetics, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 63, no. 5, pp. 14-24, Oct. 2021,
- [5] W. E. I. Sha, Z. Lan, M. L. N. Chen, Y. P. Chen and S. Sun, "Spin and Orbital Angular Momenta of Electromagnetic Waves: From Classical to Quantum Forms," in *IEEE Journal on Multiscale and Multiphysics Computational Techniques*, vol. 9, pp. 113-117, 2024.
- [6] S. I. Walker, *Life as No One Knows It: The Physics of Life's Emergence*, Riverhead Books, New York, USA, 2024.
- [7] D. Poljak, M. Jakić, A Note on the Character of Physical Models Representing Natural Phenomena *Int. Journ. of Design & Nature and Ecodynamics*, Vol. 12, No 2, 2017., pp. 254-263.
- [8] D. Poljak, Ograničenja matematičkih modela u fizici i tehnici s osvrtom na klasični inženjerski elektromagnetizam, *Zbornik radova: 9. simpozija Povijest i filozofija tehnike*, Zagreb, Hrvatska, 2020. str. 509-545.
- [9] R. Omnès, *Converging Realities: Toward a Common Philosophy of Physics and Mathematics*, Princeton University Press, 2004.
- [10] B. d'Espagnat, *On Physics and Philosophy*, Princeton University Press, New York, USA 2006.
- [11] A. Udal et al., Comparison of Methods for Solving the Schrödinger equation for Multiquantum Well Heterostructure Applications, *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.*, 2006., Vol. 12, 3-2, 246-261.
- [12] F. Gelbard, K.J. Malloy, Modeling Quantum Structures with the Boundary Element Method, *Journ. Comp. Physics*, 172, 19-39, 2001.
- [13] W. Moy, M. A. Carignano, S. Kais, Finite Element Method for Finite-Size Scaling in Quantum Mechanics, *J. Phys. Chem. A*, 2008, 112, 5448-5452.
- [14] D. Poljak, A. Susnjara, Deterministic and Stochastic Modeling in Computational Electromagnetics: Integral and Differential Equation Approaches, © 2024 The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

Dragan Poljak Mirko Jakić

FROM CLASSICAL TO QUANTUM ENGINEERING ELECTROMAGNETICS

Abstract: Classical electromagnetics is rather important and useful tool in a number of areas in modern technology, such as power engineering, electronics, integrated circuit design and wireless communications. However, some applications, e.g. light detection and ranging, imaging or quantum technology systems require the use of quantum electromagnetics concepts. Quantum physics is the most successful theory in the history of science but possesses a dramatically different point of view when compared to classical approach is necessary. This work deals with derivation of the governing equation of quantum electromagnetics featuring also some connections with notions from classical electromagnetic theory. Some philosophical considerations regarding a comparison of classical with quantum physics are given, as well.

Keywords: Maxwell equations, classical electromagnetics, quantum electromagnetics, Hamiltonian, electromagnetic potentials, philosophical aspects

Ivan Šimatović

USPOREDBA VEKTORSKIH I KVATERNIONSKIH JEDNADŽBI OSNIH POLJA HIPERDINAMIČKIH VALOVA

Sažetak: Prikazani su kvaternioni u Kartezijevim i cilindričnim koordinatama i načinjena je usporedba vektorskih i kvaternionskih parcijalnih diferencijalnih jednadžbi poprečnog osnog polja hiperdinamičkih mikrovalova. Dokazano je da obje inačice jednadžbi polja daju istovjetne parove skalarnih parcijalnih jednadžbi i ista rješenja za polje tih valova.

Ključne riječi: kvaternion, vektor, cilindrične koordinate, hiperdinamički mikroval, jednadžbe osnog polja, valna impedancija

I. Kvaternioni i njihova algebra

Kvaternione i računanje s njima definirao je 1843. poznati irski matematičar, astronom i fizičar Sir William Rowan Hamilton (1805. – 1865.), slika 1, kao hiperkompleksne četveročlane brojeve. Uz realni dio (skalar a) oni sadrže i tročlani imaginarni dio (vektor $\mathbf{v}$) iskazan komponentama u Kartezijevim koordinatama u imaginarnom 3D prostoru. Opći oblik kvaterniona [1] je linearna kombinacija (zbroy) skalara a i imaginarnog 3D vektora $\mathbf{v}$ predložena izrazom

$$\mathbf{q} = a + \mathbf{v} = a + b\mathbf{i} + c\mathbf{j} + d\mathbf{k}$$

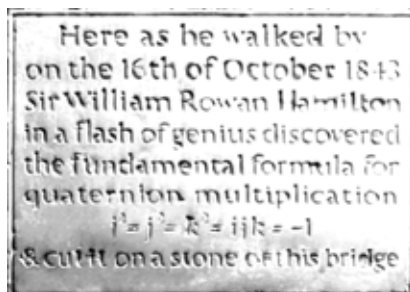
U njemu su $a, b, c, d \in \mathbb{R}$ realni brojevi, a $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ su imaginarne jedinice u tri međusobno okomita smjera. One su nekomutativni hiperkompleksni korijeni iz minus jedan ($\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k} = \sqrt{-1}$), čine desni sustav i okomite su na os skupa $\mathbb{R}$ realnih brojeva pridruženoj osima X,Y,Z imaginarnog Kartezijevog 3D prostora.

Hamiltonovi kvaternioni su poopćenje Cardano-Eulerovih kompleksnih brojeva $\mathbf{c} = a + b\mathbf{i}$. Kvaternioni se zbrajaju, oduzimaju i množe kao polinomi s

imaginarnim jedinicama $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ za koje vrijede sljedeća pravila množenja:

$$\mathbf{i}\cdot\mathbf{j}=-\mathbf{j}\cdot\mathbf{i}=\mathbf{k} \quad \mathbf{j}\cdot\mathbf{k}=-\mathbf{k}\cdot\mathbf{j}=\mathbf{i} \quad \mathbf{k}\cdot\mathbf{i}=-\mathbf{i}\cdot\mathbf{k}=\mathbf{j} \quad \mathbf{i}\cdot\mathbf{i}=\mathbf{j}\cdot\mathbf{j}=\mathbf{k}\cdot\mathbf{k}=\mathbf{i}\cdot\mathbf{j}\cdot\mathbf{k}=-\mathbf{1}$$

Iz njih je očito da je kvaternionska algebra nekomutativna s obzirom na množenje ($\mathbf{p}\cdot\mathbf{q}\neq\mathbf{q}\cdot\mathbf{p}$) pa stoga pri računanju treba paziti na redoslijed imaginarnih jedinica koje se međusobno množe kao vektori (vektorski produkt za raznoimene jedinice i skalarni produkt za istoimene jedinice).



Sl. 1. – Sir William Rowan Hamilton i kamena ploča na mostu preko Royal kanala kod Dublina postavljena u spomen na njegovo u šetnji nastalo bljeskovito otkriće množenja kvaterniona

Za svaki kvaternion $\mathbf{q} = a + \mathbf{v}$ u kojem je bar jedan od koeficijenata a, b, c, d različit od nule postoji inverzni kvaternion $\mathbf{q}^{-1}$ koji se računa prema izrazu

$$\mathbf{q}^{-1} = \frac{1}{\mathbf{q}} = \frac{\bar{\mathbf{q}}}{\mathbf{q} \cdot \bar{\mathbf{q}}} = \frac{a - \mathbf{v}}{\|\mathbf{q}\|^2} = \frac{a - b\mathbf{i} - c\mathbf{j} - d\mathbf{k}}{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}$$

U njemu je izraz $\bar{\mathbf{q}} = a - \mathbf{v} = a - b\mathbf{i} - c\mathbf{j} - d\mathbf{k}$ konjugirani kvaternion od $\mathbf{q} = a + \mathbf{v}$,

a $\|\mathbf{q}\| = \sqrt{\mathbf{q} \cdot \bar{\mathbf{q}}} = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}$ je njegova norma (veličina).

U sofisticiranijoj Hamiltonovoj 4D kvaternionskoj algebri, s obzirom na iz nje izvedenu te konceptualno jednostavniju intuitivnu Gibbs-Heavisideovu 3D vektorsku algebru, definiran je inverzni kvaternion, što omogućuje dijeljenje kvaterniona $\mathbf{p}$ kvaternionom $\mathbf{q}$ kao lijevi ili desni umnožak kvaterniona $\mathbf{p}$ inverznim kvaternionom $\mathbf{q}^{-1}$ pa vrijedi:

$$\mathbf{p}/\mathbf{q} \rightarrow \mathbf{q}^{-1}\cdot\mathbf{p} \text{ ili } \mathbf{p}\cdot\mathbf{q}^{-1}$$

Općenito je: $\mathbf{q}^{-1}\cdot\mathbf{p}\neq\mathbf{p}\cdot\mathbf{q}^{-1}$ te $\mathbf{q}^{-1}\cdot\mathbf{q}=\mathbf{q}\cdot\mathbf{q}^{-1}=\mathbf{1}$

Umnožak kvaterniona $\mathbf{p} = a + \mathbf{v}$ i $\mathbf{q} = b + \mathbf{w}$ određen je općim izrazom:

$$\mathbf{p}\cdot\mathbf{q} = (a + \mathbf{v})\cdot(b + \mathbf{w}) = ab + a\mathbf{w} + b\mathbf{v} + \mathbf{v}\cdot\mathbf{w}$$

Za umnožak imaginarnih vektora kvaterniona $\mathbf{v} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k}$ i

$\mathbf{w} = w_x \mathbf{i} + w_y \mathbf{j} + w_z \mathbf{k}$, uz $\mathbf{v} \neq \mathbf{w}$, općenito vrijedi

$$\mathbf{v} \cdot \mathbf{w} = -\mathbf{vw} + \mathbf{v} \times \mathbf{w} = [\mathbf{vw}] + \mathbf{v} \times \mathbf{w} = v_x w_x + v_y w_y + v_z w_z + \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ w_x & w_y & w_z \end{vmatrix}$$

Pritom je $-\mathbf{vw} = \sum v w = [\mathbf{vw}]$ njihov skalarni, a $\mathbf{v} \times \mathbf{w}$ njihov vektorski umnožak. Umnožak imaginarnih vektora kvaterniona, općenito uzevši, daje cjelovit kvaternion koji sadrži skalar $[\mathbf{vw}]$ i vektor $\mathbf{v} \times \mathbf{w}$. To pravilo množenja imaginarnih vektora u Kartezijevim koordinatama vrijedi i u cilindričnim koordinatama.

U kvaternionskoj analizi može se primjena Hamiltonovog operatora ∇ , kao simboličnog imaginarnog vektora, na proizvoljno vektorsko polje $\mathbf{V}$ u imaginarnom prostoru predložiti kao njihov lijevi umnožak općim izrazom koji, prema pravilu o množenju vektora kvaterniona, ujedno daje divergenciju i rotaciju polja $\mathbf{V}$

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = \underbrace{-\nabla \mathbf{V}}_{div \mathbf{V}} + \underbrace{\nabla \times \mathbf{V}}_{rot \mathbf{V}} = div \mathbf{V} + rot \mathbf{V}$$

Za izvorno polje je $div \mathbf{V} \neq 0$ i $rot \mathbf{V} = \mathbf{0}$, za solenoidno polje je $div \mathbf{V} = 0$ i $rot \mathbf{V} \neq \mathbf{0}$, a za mješovito polje je $div \mathbf{V} \neq 0$ i $rot \mathbf{V} \neq \mathbf{0}$. U vektorskoj analizi, zbog zasebnog definiranja skalarnog i vektorskog umnoška operatora ∇ s vektorom $\mathbf{V}$, $\nabla \cdot \mathbf{V} = div \mathbf{V}$ i $\nabla \times \mathbf{V} = rot \mathbf{V}$, su zasebni izrazi. Zbog toga se prvim dvjema glavnim vektorskim jednadžbama (hiper)dinamičkog solenoidnog elektromagnetskog polja pridružuju dvije dodatne skalarnе jednadžbe (III. i IV.) za divergenciju: $div \mathbf{E} = 0$ i $div \mathbf{H} = 0$.

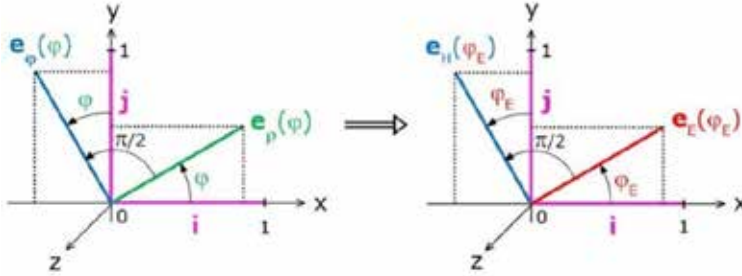
2. Imaginarne jedinice i kvaternioni u cilindričnim koordinatama

Za interpretaciju i analizu osnovog EM polja ravnih hiperdimenzijskih mikrovalova [2, 3 i Prilog 2], za iskazivanje vektora električnog polja $\mathbf{E}$ i magnetskog polja $\mathbf{H}$ u promatranoj valnoj fronti, prema Maxwelllovom poimanju, najpodesniji su kvaternioni bez skalarnog člana. Za razliku od njihove Maxwelllove interpretacije u Kartezijevim koordinatama imaginarnog 3D prostora oni se ovdje iskazuju u za to podesnijim (prirodnim) kružnim cilindričnim koordinatama imaginarnog 3D prostora s međusobno okomitim radijalnim vektorima $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$.

Postave li se u tom prostoru Kartezijeve koordinate tako da se uzdužna os Z podudara s valnom zrakom, a osi X i Y su poprečne, mogu se u njemu međusobno okomite i linearno nezavisne imaginarne jedinice cilindričnih koordinata $\mathbf{e}_\rho$ i $\mathbf{e}_\varphi$ za

proizvoljni polarni kut φ jedinice $\mathbf{e}_\rho$ u poprečnoj XY ravnini (valnoj fronti) prema vodoravnoj XZ ravnini odrediti prema Slici 2. Pritom je, zbog podudarnosti osi Z oba sustava, uzdužna imaginarna jedinica $\mathbf{e}_z = \mathbf{k}$ fiksna.

Opći oblik kvaterniona u cilindričnim koordinatama iskazuje se kao linearna kombinacija skalara a i vektora $\mathbf{v}$ pa vrijedi: $\mathbf{q} = a + \mathbf{v} = a + b\mathbf{e}_\rho + c\mathbf{e}_\varphi + d\mathbf{k}$.



Sl. 2. – Poprečne imaginarne jedinice $\mathbf{e}_\rho$ i $\mathbf{e}_\varphi$ cilindričnih koordinata i njihove inačice $\mathbf{e}_E$ i $\mathbf{e}_H$ prilagođene vektorima osnog EM polja hiperdinamičkih valova

Međusobno okomite imaginarne jedinice $\mathbf{e}_\rho$ i $\mathbf{e}_\varphi$ kružnih cilindričnih koordinata, koje su zavisne o polari φ odnosno φ_E , te fiksne imaginarne jedinice $\mathbf{i}$ i $\mathbf{j}$ poprečnih osi X i Y Kartezijevih koordinata (Slika 2) povezuju izrazi:

$$\begin{aligned}\mathbf{e}_\rho(\varphi, \mathbf{i}, \mathbf{j}) &= \cos \varphi \cdot \mathbf{i} + \sin \varphi \cdot \mathbf{j} \quad \rightarrow \quad \mathbf{e}_E(\varphi_E, \mathbf{i}, \mathbf{j}) = \cos \varphi_E \cdot \mathbf{i} + \sin \varphi_E \cdot \mathbf{j} \\ \mathbf{e}_\varphi(\varphi, \mathbf{i}, \mathbf{j}) &= -\sin \varphi \cdot \mathbf{i} + \cos \varphi \cdot \mathbf{j} \quad \rightarrow \quad \mathbf{e}_H(\varphi_E, \mathbf{i}, \mathbf{j}) = -\sin \varphi_E \cdot \mathbf{i} + \cos \varphi_E \cdot \mathbf{j}\end{aligned}$$

Za imaginarne jedinice $\mathbf{e}_\rho, \mathbf{e}_\varphi, \mathbf{k}$ polarnih koordinata, kao i za njihove inačice $\mathbf{e}_E, \mathbf{e}_H, \mathbf{k}$ prilagođene poprečnim vektorima jakosti $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ osnog EM polja hiperdinamičkih mikrovalova, vrijede sljedeća pravila množenja:

$$\begin{aligned}\mathbf{e}_\rho \cdot \mathbf{e}_\varphi &= -\mathbf{e}_\varphi \cdot \mathbf{e}_\rho = \mathbf{k} & \mathbf{k} \cdot \mathbf{e}_\rho &= \mathbf{e}_\varphi & \mathbf{k} \cdot \mathbf{e}_\varphi &= -\mathbf{e}_\rho & \mathbf{e}_\rho \cdot \mathbf{e}_\rho &= \mathbf{e}_\varphi \cdot \mathbf{e}_\varphi = \mathbf{e}_\rho \cdot \mathbf{e}_\varphi \cdot \mathbf{k} = -\mathbf{I} \\ \mathbf{e}_E \cdot \mathbf{e}_H &= -\mathbf{e}_H \cdot \mathbf{e}_E = \mathbf{k} & \mathbf{k} \cdot \mathbf{e}_E &= \mathbf{e}_H & \mathbf{k} \cdot \mathbf{e}_H &= -\mathbf{e}_E & \mathbf{e}_E \cdot \mathbf{e}_E &= \mathbf{e}_H \cdot \mathbf{e}_H = \mathbf{e}_E \cdot \mathbf{e}_H \cdot \mathbf{k} = -\mathbf{I}\end{aligned}$$

Diferenciranjem fluktuirajućih imaginarnih jedinica $\mathbf{e}_E$ i $\mathbf{e}_H$ cilindričnih koordinata po polarnoj varijabli (priklonom kutu) φ_E kvaterniona $\mathbf{E}$ jakosti električnog polja, kao referentnog, prema vodoravnoj ravnini XZ dobiva se:

$$\begin{aligned}\frac{d}{d\varphi_E} \mathbf{e}_E(\varphi_E) &= \frac{d}{d\varphi_E} (\cos \varphi_E \cdot \mathbf{i} + \sin \varphi_E \cdot \mathbf{j}) = -\sin \varphi_E \cdot \mathbf{i} + \cos \varphi_E \cdot \mathbf{j} = \mathbf{e}_H(\varphi_E) \\ \frac{d}{d\varphi_E} \mathbf{e}_H(\varphi_E) &= \frac{d}{d\varphi_E} (-\sin \varphi_E \cdot \mathbf{i} + \cos \varphi_E \cdot \mathbf{j}) = -\cos \varphi_E \cdot \mathbf{i} - \sin \varphi_E \cdot \mathbf{j} = -\mathbf{e}_E(\varphi_E)\end{aligned}$$

Zbog zavisnosti polarne varijable $\varphi_E(z, t)$ o uzdužnoj varijabli z i vremenu t diferenciranje fluktuirajućih imaginarnih jedinica $\mathbf{e}_E[\varphi_E(z, t)]$ i $\mathbf{e}_H[\varphi_E(z, t)]$, kao složenih funkcija po tim varijablama, teče ovako:

$$\begin{aligned}\frac{d\mathbf{e}_E}{dz} &= \frac{d}{dz} \mathbf{e}_E[\varphi_E(z, t)] = \frac{d\mathbf{e}_E}{d\varphi_E} \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} = \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \mathbf{e}_H \\ \frac{d\mathbf{e}_E}{dt} &= \frac{d}{dt} \mathbf{e}_E[\varphi_E(z, t)] = \underbrace{\frac{d\mathbf{e}_E}{d\varphi_E}}_{=\mathbf{e}_H} \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} \mathbf{e}_H \\ \frac{d\mathbf{e}_H}{dz} &= \frac{d}{dz} \mathbf{e}_H[\varphi_E(z, t)] = \frac{d\mathbf{e}_H}{d\varphi_E} \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} = -\frac{\partial \varphi_E}{dz} \mathbf{e}_E \\ \frac{d\mathbf{e}_H}{dt} &= \frac{d}{dt} \mathbf{e}_H[\varphi_E(z, t)] = \underbrace{\frac{d\mathbf{e}_H}{d\varphi_E}}_{=-\mathbf{e}_E} \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = -\frac{\partial \varphi_E}{\partial t} \mathbf{e}_E\end{aligned}$$

3. Vektori i kvaternioni jakosti EM polja hiperdinamičkih mikrovalova

Vektori jakosti $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ poprečnog osnog EM polja ravnih hiperdinamičkih mikrovalova u promatranoj valnoj fronti, koji se istovremeno mijenjaju izravno i neizravno (rotacijom ili torzijskim titranjem) u vremenu, mogu se u cilindričnim koordinatama interpretirati kao par jednočlanih vektora, ili par jednočlanih kvaterniona bez skalarnog dijela, od kojih svaki ima samo radijalni vektor zavisan o skalarnim varijablama z i t te pripadnom polarnom kutu $\varphi_E(z, t)$ odnosno $\varphi_H(z, t)$.

Shodno tome u cilindričnim koordinatama opći izrazi vektora i kvaterniona za jakosti EM polja tih valova, uz njima prilagođene jedinične vektore $\bar{\mathbf{e}}_E$ i $\bar{\mathbf{e}}_H$, odnosno imaginarne jedinice $\mathbf{e}_E$ i $\mathbf{e}_H$, izgledaju ovako:

$$\begin{aligned}\bar{\mathbf{E}}[\varphi_E(z, t), z, t] &= E_\rho(z, t) \cdot \bar{\mathbf{e}}_E[\varphi_E(z, t)] \rightarrow \text{vektorska inačica} \\ \bar{\mathbf{H}}[\varphi_H(z, t), z, t] &= H_\rho(z, t) \cdot \bar{\mathbf{e}}_H[\varphi_H(z, t)] \quad , \quad \varphi_H(z, t) = \varphi_E(z, t) + \pi/2 \\ \mathbf{E}[\varphi_E(z, t), z, t] &= E_\rho(z, t) \cdot \mathbf{e}_E[\varphi_E(z, t)] \rightarrow \text{kvaternionska inačica} \\ \mathbf{H}[\varphi_H(z, t), z, t] &= H_\rho(z, t) \cdot \mathbf{e}_H[\varphi_H(z, t)] \quad , \quad \varphi_H(z, t) = \varphi_E(z, t) + \pi/2\end{aligned}$$

Na temelju prvih dviju operatorski modificiranih Heaviside-Hertzovih vek-

torskih jednadžbi elektrodinamike za funkcionalno složeno poprečno osno EM polje ravnih hiperdinamičkih mikrovalova u praznom prostoru bez struja i naboja [2] mogu se napisati njima srodne kvaternionske jednadžbe:

$$\begin{array}{ll} \text{I.} & \text{Rot } \bar{\mathbf{E}} = \bar{\nabla}_d \times \bar{\mathbf{E}} = -\mu_0 \frac{d\bar{\mathbf{H}}}{dt} \quad \rightarrow \quad \nabla_d \cdot \mathbf{E} = -\nabla_d \mathbf{E} + \nabla_d \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{d\mathbf{H}}{dt} \\ \text{II.} & \underbrace{\text{Rot } \bar{\mathbf{H}} = \bar{\nabla}_d \times \bar{\mathbf{H}} = \varepsilon_0 \frac{d\bar{\mathbf{E}}}{dt}}_{\text{Vektorske jednadžbe}} \quad \rightarrow \quad \underbrace{\nabla_d \cdot \mathbf{H} = -\nabla_d \mathbf{H} + \nabla_d \times \mathbf{H} = \varepsilon_0 \frac{d\mathbf{E}}{dt}}_{\text{Kvaternionske jednadžbe}} \end{array}$$

U njima je, za ravne valove koji putuju duž osi Z, modificirani Hamiltonov operator $\bar{\nabla}_d$ (*nabla*) jednočlan pa se u vektorskoj, odnosno kvaternionskoj, inačici, jednadžbi EM polja iskazuje ovako:

$$\bar{\nabla}_d = \bar{\mathbf{k}} \frac{d}{dz} \quad \text{odnosno} \quad \nabla_d = \mathbf{k} \frac{d}{dz}$$

U njemu je, zbog unutarnje funkcionalne zavisnosti poprečnih fluktuirajućih vektora $\bar{\mathbf{e}}_E$ i $\bar{\mathbf{e}}_H$, odnosno imaginarnih jedinica $\mathbf{e}_E$ i $\mathbf{e}_H$, o varijablama z i t , operator parcijalne derivacije $\partial/\partial z$ po uzdužnoj varijabli z zamijenjen operatorom ukupne derivacije d/dz koji zahvaća njihovu unutarnju zavisnost o z .

4. Raščlamba vektorskih jednadžbi osnih polja hiperdinamičkih valova

Uvrštenjem u operatorski modificirane vektorske jednadžbe elektrodinamike općih izraza vektora jakosti $\bar{\mathbf{E}}$ i $\bar{\mathbf{H}}$ solenoidnog polja hiperdinamičkih valova [2], iskazanim u cilindričnim koordinatama realnog prostora, one poprimaju matematički jednostavniji i zorniji oblik:

$$\begin{array}{ll} \text{I.} & \text{Rot } \bar{\mathbf{E}} = \bar{\nabla}_d \times \bar{\mathbf{E}} = \bar{\mathbf{k}} \frac{d}{dz} \times (E_\rho \bar{\mathbf{e}}_E) = -\mu_0 \frac{d}{dt} (H_\rho \bar{\mathbf{e}}_H) \\ \text{II.} & \text{Rot } \bar{\mathbf{H}} = \bar{\nabla}_d \times \bar{\mathbf{H}} = \bar{\mathbf{k}} \frac{d}{dz} \times (H_\rho \bar{\mathbf{e}}_H) = \varepsilon_0 \frac{d}{dt} (E_\rho \bar{\mathbf{e}}_E) \end{array}$$

Diferenciranjem obje strane prve jednadžbe dobiva se

$$\bar{\mathbf{k}} \times \left(\frac{\partial E_\rho}{\partial z} \bar{\mathbf{e}}_E + E_\rho \frac{d\bar{\mathbf{e}}_E}{d\varphi_E} \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \right) = -\mu_0 \left(\frac{\partial H_\rho}{\partial t} \bar{\mathbf{e}}_H + H_\rho \frac{d\bar{\mathbf{e}}_H}{d\varphi_H} \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} \right)$$

Pritomje: $\frac{d\bar{\mathbf{e}}_E}{d\varphi_E} = \bar{\mathbf{e}}_H$, $\frac{d\bar{\mathbf{e}}_H}{d\varphi_E} = -\bar{\mathbf{e}}_E$, $\bar{\mathbf{k}} \times \bar{\mathbf{e}}_E = \bar{\mathbf{e}}_H$, $\bar{\mathbf{k}} \times \bar{\mathbf{e}}_H = -\bar{\mathbf{e}}_E$
 Nakon sređivanja prva jednačba glasi

$$\frac{\partial E_\rho}{\partial z} \bar{\mathbf{e}}_H - E_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \bar{\mathbf{e}}_E = -\mu_0 \frac{\partial H_\rho}{\partial t} \bar{\mathbf{e}}_H + \mu_0 H_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} \bar{\mathbf{e}}_E$$

Usporedbom koeficijenata uz istovrsne jedinične vektore na lijevoj i desnoj strani iz nje se dobivaju dvije skalarne parcijalne diferencijalne jednačbe:

$$\text{I.} \rightarrow \frac{\partial E_\rho}{\partial z} = -\mu_0 \frac{\partial H_\rho}{\partial t} , \quad E_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} = -\mu_0 H_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial t}$$

Diferenciranjem obje strane druge jednačbe izlazi

$$\bar{\mathbf{k}} \times \left(\frac{\partial H_\rho}{\partial z} \bar{\mathbf{e}}_H + H_\rho \frac{d\bar{\mathbf{e}}_H}{d\varphi_E} \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \right) = \varepsilon_0 \left(\frac{\partial E_\rho}{\partial t} \bar{\mathbf{e}}_E + E_\rho \frac{d\bar{\mathbf{e}}_E}{d\varphi_E} \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} \right)$$

Nakon vektorskog množenja na lijevoj strani druga jednačba glasi

$$-\frac{\partial H_\rho}{\partial z} \bar{\mathbf{e}}_E - H_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \bar{\mathbf{e}}_H = \varepsilon_0 \frac{\partial E_\rho}{\partial t} \bar{\mathbf{e}}_E + \varepsilon_0 E_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} \bar{\mathbf{e}}_H$$

Usporedbom koeficijenata uz istovrsne jedinične vektore na lijevoj i desnoj strani dobivaju se dvije skalarne parcijalne diferencijalne jednačbe:

$$\text{II.} \rightarrow \frac{\partial H_\rho}{\partial z} = -\varepsilon_0 \frac{\partial E_\rho}{\partial t} , \quad H_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} = -\varepsilon_0 E_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial t}$$

5. Raščlamba kvaternionskih jednačbi osnih polja hiperdinamičkih valova

Uvrštenjem u kvaternionske jednačbe općih izraza kvaterniona $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ jakosti poprečnog solenoidnog polja hiperdinamičkih valova, iskazanim u cilindričnim koordinatama imaginarnog prostora, one zbog iščezavanja skalarних umnožaka: $\nabla_d \mathbf{E} = 0$ i $\nabla_d \mathbf{H} = 0$ prelaze u matematički jednostavniji i zorniji oblik:

$$\text{I.} \quad \nabla_d \cdot \mathbf{E} = -\nabla_d \mathbf{E} + \nabla_d \times \mathbf{E} = \mathbf{k} \frac{d}{dz} \times (E_\rho \mathbf{e}_E) = -\mu_0 \frac{d}{dt} (H_\rho \mathbf{e}_H)$$

$$\text{II.} \quad \nabla_d \cdot \mathbf{H} = -\nabla_d \mathbf{H} + \nabla_d \times \mathbf{H} = \mathbf{k} \frac{d}{dz} \times (H_\rho \mathbf{e}_H) = \varepsilon_0 \frac{d}{dt} (E_\rho \mathbf{e}_E)$$

Diferenciranjem obje strane prve jednadžbe dobiva se

$$\mathbf{k} \cdot \left(\frac{\partial E_\rho}{\partial z} \mathbf{e}_E + E_\rho \frac{d\mathbf{e}_E}{d\varphi_E} \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \right) = -\mu_0 \left(\frac{\partial H_\rho}{\partial t} \mathbf{e}_H + H_\rho \frac{d\mathbf{e}_H}{d\varphi_E} \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} \right)$$

Pritomje: $\frac{d\mathbf{e}_E}{d\varphi_E} = \mathbf{e}_H$, $\frac{d\mathbf{e}_H}{d\varphi_E} = -\mathbf{e}_E$, $\mathbf{k} \cdot \mathbf{e}_E = \mathbf{e}_H$, $\mathbf{k} \cdot \mathbf{e}_H = -\mathbf{e}_E$

Nakon sređivanja prva jednadžba glasi

$$\frac{\partial E_\rho}{\partial z} \mathbf{e}_H - E_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \mathbf{e}_E = -\mu_0 \frac{\partial H_\rho}{\partial t} \mathbf{e}_H + \mu_0 H_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} \mathbf{e}_E$$

Usporedbom koeficijenata uz istovrsne imaginarne jedinice na lijevoj i desnoj strani dobivaju se dvije skalarne parcijalne diferencijalne jednadžbe:

$$\text{I.} \rightarrow \frac{\partial E_\rho}{\partial z} = -\mu_0 \frac{\partial H_\rho}{\partial t} \quad , \quad E_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} = -\mu_0 H_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial t}$$

Diferenciranjem obje strane druge jednadžbe izlazi

$$\mathbf{k} \times \left(\frac{\partial H_\rho}{\partial z} \mathbf{e}_H + H_\rho \frac{d\mathbf{e}_H}{d\varphi_E} \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \right) = \varepsilon_0 \left(\frac{\partial E_\rho}{\partial t} \mathbf{e}_E + E_\rho \frac{d\mathbf{e}_E}{d\varphi_E} \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} \right)$$

Nakon vektorskog množenja na lijevoj strani druga jednadžba glasi

$$-\frac{\partial H_\rho}{\partial z} \mathbf{e}_E - H_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \mathbf{e}_H = \varepsilon_0 \frac{\partial E_\rho}{\partial t} \mathbf{e}_E + \varepsilon_0 E_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} \mathbf{e}_H$$

Usporedbom koeficijenata uz istovrsne imaginarne jedinice na lijevoj i desnoj strani dobivaju se dvije skalarne parcijalne diferencijalne jednadžbe:

$$\text{II.} \rightarrow \frac{\partial H_\rho}{\partial z} = -\varepsilon_0 \frac{\partial E_\rho}{\partial t} \quad , \quad H_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} = -\varepsilon_0 E_\rho \frac{\partial \varphi_E}{\partial t}$$

Raščlambom prvih dviju jednadžbi elektrodinamike u cilindričnim koordina-

tama za jakosti osnog polja ravnih hiperdinamičkih valova dobivena su, za njihovu vektorsku i kvaternionsku inačicu, dva istovjetna para skalarnih parcijalnih diferencijalnih jednačji, što znači da prikaz i analiza EM polja tih valova pomoću vektorskih odnosno kvaternionskih jednačji, uz iste granične uvjete, daje istovjetna partikularna rješenja.

Razlika u te dvije inačice je samo u simbolici – poprečni jedinični vektori $\bar{\mathbf{e}}_E$ i $\bar{\mathbf{e}}_H$, odnosno poprečne imaginarne jedinice $\mathbf{e}_E$ i $\mathbf{e}_H$, cilindričnih koordinata pridružene radijalnim jakostima EM polja $E_\rho(z,t)$ i $H_\rho(z,t)$ u valnoj fronti.

6. Valna impedancija praznog prostora

U klasičnoj elektrodinamici baziranoj na Heaviside-Hertzovim vektorskim jednačjbama EM polja valna impedancija Z_0 praznog prostora (vakuuma) je skalarna veličina koja se definira kao omjer apsolutnih veličina jakosti električnog i magnet-skog polja vala u valnoj fronti [4]. To je, uz $\mathbf{H} \neq \mathbf{0}$, fizička konstanta praznog prostora određena izrazom:

$$Z_0 = \frac{|\bar{\mathbf{E}}|}{|\bar{\mathbf{H}}|} = \frac{|E_\rho \bar{\mathbf{e}}_E|}{|H_\rho \bar{\mathbf{e}}_H|} = \frac{E_\rho}{H_\rho} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 376,73 \Omega \approx 377 \Omega \text{ ili } 120\pi \Omega$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \rightarrow \text{magnetska permeabilnost vakuuma}$$

$$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \rightarrow \text{dielektričnost vakuuma}$$

Budući da kvaternionska algebra, za razliku od iz nje izvedene jednostavnije vektorske algebre, ima definiran inverzni kvaternion, što omogućuje dijeljenje kvaterniona, može se u njoj valna impedancija praznog prostora egzaktano odrediti na dva jednako valjana načina – kao lijevi ili desni umnožak $\mathbf{E}$ s $\mathbf{H}^{-1}$:

$$\mathbf{Z}_0 = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{H}} = \begin{cases} \mathbf{H}^{-1} \cdot \mathbf{E} = \frac{\bar{\mathbf{H}}}{\mathbf{H} \cdot \mathbf{H}} \cdot E_\rho \mathbf{e}_E = -\frac{H_\rho \mathbf{e}_H}{H_\rho^2} \cdot E_\rho \mathbf{e}_E = -\frac{E_\rho}{H_\rho} \mathbf{e}_H \cdot \mathbf{e}_E = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \mathbf{k} = Z_0 \mathbf{k} \\ \mathbf{E} \cdot \mathbf{H}^{-1} = E_\rho \mathbf{e}_E \cdot \frac{\bar{\mathbf{H}}}{\mathbf{H} \cdot \mathbf{H}} = E_\rho \mathbf{e}_E \cdot \frac{-H_\rho \mathbf{e}_H}{H_\rho^2} = -\frac{E_\rho}{H_\rho} \mathbf{e}_E \cdot \mathbf{e}_H = -\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \mathbf{k} = -Z_0 \mathbf{k} \end{cases}$$

Valna impedancija praznog prostora je konstantna imaginarna veličina, a njezin predznak ovisi o tome računa li se ona kao lijevi ili kao desni umnožak kvaterni-

ona $\mathbf{E}$ inverznim kvaternionom $\mathbf{H}^{-1}$. Obje inačice valne impedancije praznog prostora imaju jednaku normu (veličinu) $|\mathbf{Z}_0| = Z_0 377 \Omega$.

Kojom od njih valja računati zavisi o formulaciji izraza koji povezuje kvaternione jakosti električnog i magnetskog polja u valnoj fronti s valnom impedancijom $\mathbf{Z}_0$ – njezin lijevi ili desni umnožak s $\mathbf{H} \rightarrow \mathbf{E} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{Z}_0$ ili $\mathbf{E} = \mathbf{Z}_0 \cdot \mathbf{H}$.

$$\mathbf{Z}_0 = \begin{cases} Z_0 \mathbf{k} & \text{vrijedi za } \mathbf{E} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{Z}_0 = H_\rho \mathbf{e}_H \cdot Z_0 \mathbf{k} = H_\rho Z_0 \mathbf{e}_E \\ -Z_0 \mathbf{k} & \text{vrijedi za } \mathbf{E} = \mathbf{Z}_0 \cdot \mathbf{H} = -Z_0 \mathbf{k} \cdot H_\rho \mathbf{e}_H = H_\rho Z_0 \mathbf{e}_E \end{cases}$$

Inverzna valna impedancija $\mathbf{Z}_0^{-1} = \mathbf{Y}_0 = \pm Y_0 \mathbf{k} \approx \pm 0,00265 \mathbf{k} \text{ S}$ je imaginarna valna admitancija praznog prostora.

Iz te analize proizlazi da je u izračunu valne impedancije u očitij prednosti Maxwelllova matematički naprednija kvaternioniska interpretacija jakosti polja elektromagnetskih valova od njihove vektorske interpretacije.

7. Poyntingov vektor

Poyntingov vektor u valnoj fronti hiperdinamičkog vala definiran je u vektorskoj i u kvaternionskoj inačici iskaza EM polja istovjetnim izrazima koji se razlikuju samo u jediničnim veličinama i njihovoj simbolici – jedinični vektori $\bar{\mathbf{e}}_E, \bar{\mathbf{e}}_H, \bar{\mathbf{k}}$, odnosno imaginarne jedinice $\mathbf{e}_E, \mathbf{e}_H, \mathbf{k}$, pa vrijedi:

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{P}} &= \bar{\mathbf{E}} \times \bar{\mathbf{H}} = E_\rho \bar{\mathbf{e}}_E \times H_\rho \bar{\mathbf{e}}_H = E_\rho H_\rho \bar{\mathbf{e}}_E \times \bar{\mathbf{e}}_H = E_\rho H_\rho \bar{\mathbf{k}} \\ \mathbf{P} &= \mathbf{E} \cdot \mathbf{H} = -\underbrace{\mathbf{E} \cdot \mathbf{H}}_{=0} + \mathbf{E} \times \mathbf{H} = E_\rho \mathbf{e}_E \times H_\rho \mathbf{e}_H = E_\rho H_\rho \mathbf{e}_E \times \mathbf{e}_H = E_\rho H_\rho \mathbf{k} \end{aligned}$$

U kvaternionskoj inačici skalarni umnožak vektora jakosti EM polja u valnoj fronti iščezava jer su oni međusobno okomito polarizirani.

Zaključak

Prema Hamiltonovim fiksnim imaginarnim jedinicama $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$ Kartezijevih koordinata definirane su poprečne fluktuirajuće imaginarne jedinice $\mathbf{e}_\rho$ i $\mathbf{e}_\varphi$ u cilindričnim koordinatama i njihove inačice $\mathbf{e}_E$ i $\mathbf{e}_H$ prilagođene indeksima poprečnom osnom polju hiperdinamičkih mikrovalova [2, 3].

Radi provjere razlikuje li se analiza funkcionalno složenog poprečnog osnog polja hiperdinamičkih valova po prvim dvjema operatorski modificiranim jednadžbama elektrodinamike iskazanim u vektorskoj i u kvaternionskoj simbolici načinjena je za obje inačice raščlamba na skalarne komponente.

I za vektorske i za kvaternionske jednadžbe EM polja dobiveni su istovjetni parovi temeljnih skalarnih parcijalnih diferencijalnih jednadžbi, što znači da su za obje interpretacije jednadžbi hiperdinamičkih polja, uz zadane rubne uvjete, njihova rješenja identična. U tim inačicama razlika je samo u simbolici iskazivanja vektora polja - jedinični vektori $\bar{\mathbf{e}}_E$ i $\bar{\mathbf{e}}_H$, odnosno imaginarne jedinice $\mathbf{e}_E$ i $\mathbf{e}_H$.

Jedino u izračunu valne impedancije Z_0 praznog prostora u prednosti je Maxwelllova kvaternionska interpretacija vektora $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ polja elektromagnetskih valova jer ona, kao matematički naprednija od pojednostavnjene Heaviside-Hertzove vektorske interpretacije, daje imaginarnu valnu impedanciju Z_0 u dvije jednakovrijedne inačice: $Z_0 \mathbf{k}$ odnosno $-Z_0 \mathbf{k}$.

Literatura

- [1] John Voight, *Quaternion algebras*, v.1.01, 24. July, 2021., pdf izdanje, poveznica: <https://math.dartmouth.edu/~jvoight/quat-book.pdf>
- [2] Ivan Šimatović, *Diferencijalne jednačbe elektrodinamike i njihova modifikacija za hiperdinamička polja*, 10. Simpozij Povijest i filozofija tehnike, FER Zagreb, 2021.
- [3] Ivan Šimatović, *Dvofazni mikrovalovi s rotirajućim i torzijski titrajućim vektorima polja*, 10. Simpozij Povijest i filozofija tehnike, FER Zagreb, 2021.
- [4] Tomo Bosanac, *Teoretska elektrotehnika*, prvi dio, Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.

Ivan Šimatović

COMPARISON OF VECTOR AND QUATERNION EQUATIONS OF AXIAL FIELDS OF HYPERDYNAMIC WAVES

Abstract: Quaternions in Cartesian and cylindrical coordinates are presented, and a comparison of vector and quaternion partial differential equations of the transverse axial field of hyperdynamic microwaves is made. It has been proven that both versions of EM field equations give identical pairs of partial scalar equations and same solutions for the field of wave.

Key words: quaternion, vector, cylindrical coordinates, hyperdynamic microwave, equations of axial field, wave impedance

Ivan Šimatović

ETER U FIZICI: DA, NE, ILI IPAK – DA!

Kamen što ga odbaciše graditelji postade kamen zaglavni.

Sažetak: Prikazana je hipoteza o eteru u fizici XIX. stoljeća i njezino napuštanje. Navedena su nova eksperimentalna istraživanja koja jasno upućuju na njegovo postojanje, ali ih znanstvena središnjica ne uvažava. Ukazano je na nužnost neodložnog preispitivanja hipoteze o eteru koju je konsenzusom odbacila znanstvena središnjica i valjanosti drugog postulata *Posebne teorije relativnosti* - konstantnost, izotropnost i neprekoračivost vakuumske brzine svjetlosti.

Ključne riječi: eter, svjetlost, uzdužni val, kvantni vakuum, izotropnost

1. Ukratko o hipotezama o eteru u fizici

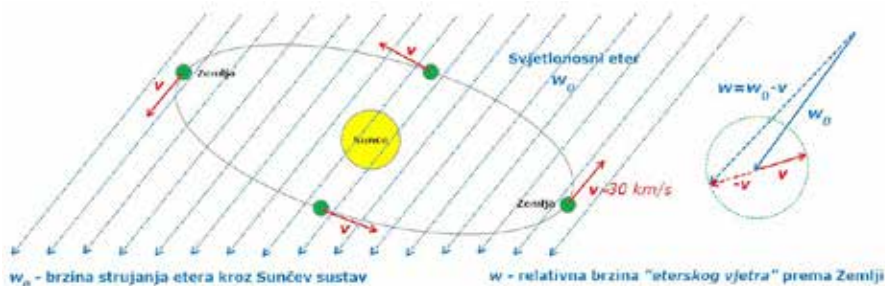
U fizici od XVII. do kraja XIX. stoljeća brojni prirodosnanstvenici [1,3] nisu mogli zamisliti kako se svjetlost, u analogiji sa zvukom, može širiti bez medija, a posebice kako se bez njega širi na ogromne udaljenosti gotovo posve praznim i neizmjernim svemirskim prostranstvima. Stoga su, u namjeri da sve pojave svedu na zorno i lakše razumljivo mehaničko tumačenje, pretpostavljali postojanje univerzalne suptilne kontinuirane tvari, krutine, fluida i/ili polja, koju su nazivali eter. On posve ispunjava svemirski prostor, prožima svu materiju i služi kao prijenosni medij za širenje radijalnih gravitacijskih, električnih i magnetskih interakcija, privlačnim i odbojnim međudjelovanjima, te za rasprostiranje svjetlosti.

Općenito se pretpostavljalo da je eter nezamjetan i savršeno proziran fluidan medij, da nema mjerljivu masu te da se ne može detektirati fizički i kemijski poznatim metodama jer ne stupa u interakciju s materijom. Kao medij ima mehanička i kinetička svojstva. Vlada se kao savršen fluid bez unutrašnjeg trenja (viskoznosti) i stoga se ne suprotstavlja gibanju tijela. Da bi se njime prenosile na daljinu privlačne i odbojne

sile eter ujedno mora biti savršeno elastičan.

Smatralo se da o svojstvima etera ovise sve pojave u svemiru. Isprva se, po A. J. Fresnelu, držalo da je on stacionaran pa bi se stoga sva gibanja tijela mogla promatrati prema njemu kao prirodnom referentnom okviru. Alternativa Fresnelovom stacionarnom eteru bila je hipoteza G. G. Stokesa da je eter mobilan i nalazi se u određenom stanju gibanja koje predstavlja *'eterski vjetar'* u Sunčevom sustavu, slika 1. Uz pretpostavljenu brzinu strujanja svjetlonosnog etera w_0 u Sunčevu sustavu na njegovu relativnu brzinu strujanja w prema Zemlji utječu:

- brzina gibanja Sunčevog sustava od 230 km/s zbog rotacije naše galaktike oko njezinog središta, poprečna je na ravninu putanje Zemlje,
- orbitalna brzina kruženja Zemlje oko Sunca 30 km/s odgovorna je za moguće veće periodičke sezonske varijacije *'eterskog vjetra'* i
- tangencijalna brzina Zemljine vrtnje $v_\varphi = 464 \cos \varphi$ m/s na geografskoj širini φ uslijed koje nastaju manje dnevne oscilacije glavnine *'eterskog vjetra'* zbog kruženja Zemlje oko Sunca.



Sl.1 - Pretpostavljeni *'eterski vjetar'* i njegove sezonske varijacije tijekom godine

Zanimanje za svjetlonosni eter povećalo se nakon što je 1865. škotski fizičar J. C. Maxwell (1831. – 1879.) objavio svoju potpunu fenomenološku dinamičku teoriju elektromagnetskih polja u stacionarnom, mirujućem, eteru. U njoj je dovršio, objasnio te cjelovito egzaktno povezo Faradayeve empirijski iznađene temeljne zakonitosti elektromagnetizma i formulisao ih je u strogom matematičkom obliku – sustavu od dvadeset skalarnih jednadžbi koje je 1873. preformulisao u matematički naprednije i preglednije kvaternionske jednadžbe.

Na temelju tih jednadžbi postalo je razvidno postojanje elektromagnetskih valova, a u njih spada i svjetlost, kao vrlo brze interakcije uzajamno spregnutog i međusobno okomitog solenoidnog dinamičkog električnog i magnetskog polja, koja se rasprostire ogromnom brzinom od gotovo 300 000 km/s, ali nije bilo jasno kako se to u osnovi odvija. Otkrićem elektromagnetskih valova u završnici XIX. stoljeća za

istraživače je bilo prioritarno iznalaženje mehanizma prijenosa prostorom elektromagnetskih interakcija koje su dokazano najbrže u svemiru.

Kao jedino logično rješenje za tumačenje njihovog širenja bila je na raspolaganju već uvelike te u više varijanti razrađena hipoteza o svjetlonosnom eteru za koji se držalo da je, kao nezamjetan fluidan medij i/ili energijsko polje, nositelj elektromagnetskih polja i njihovih interakcija. No, spoznajom da valovi svjetlosti i elektromagnetski valovi, koje je pokusima na rezonatoru s iskrištem 1888. dokazao njemački eksperimentalni fizičar Heinrich Hertz (1857. – 1894.), titraju poprečno odmah je iskrsnula nova teškoća jer idealno elastičan i neviskozan (superfluidni) eter ne može titrati poprečno, već samo uzdužno.

Stoga je na fluidni eter bio postavljen težak dodatni zahtjev – da se ujedno mora vladati i kao savršena krutina koja, uz uzdužna tlačna i vlačna naprezanja, prihvaća i prenosi poprečna naprezanja na smicanje pa može poprečno titrati. Posve oprečni zahtjevi da eter ujedno ima odlike savršeno elastičnog neviskoznog fluida i savršeno elastične (kvazi)krutine nespojivi su pa je tim pretpostavkama prenapregnuta teorija svjetlonosnog etera postala u sebi proturječna i neuvjerljiva i zapala je ‘u nemilost’. Stoga su ju znanstvenici, preopterećenu posve nespojivim zahtjevima, kao konceptualno neodrživu i nakaradnu, počeli napuštati.

Na razradi teorije etera, prvo gravitacijskog, a kasnije svjetlonosnog, kao pretpostavljenog neophodnog univerzalnog prijenosnog medija, zdušno su tijekom gotovo tri stoljeća radili mnogi europski prirodosnanstvenici [1,12]:

- **Christian Huygens** (1629. – 1695.), nizozemski fizičar, astronom i matematičar, 1678. postavio je temelje valnoj, undulatornoj, teoriji svjetlosti koja se kosila s tada prihvaćenom Newtonovom čestičnom, korpuskularnom, teorijom. Svjetlost je zamišljao kao uzdužni val čestica etera.
- **Sir Isaac Newton** (1643. – 1727.), engleski matematičar, fizičar, astronom i teolog, smatrao je da svjetlost čine korpuskule (fine čestice – preteče fotona) koje se pravolinijski rasprostiru eterom čije postojanje predlaže 1704. u svojoj trećoj knjizi *Optike*. Držao je mogućim sve prirodne pojave svesti na počela mehanike zbog zornosti i intuitivnosti. Bio je uvjeren da prirodne pojave određuju privlačne i odbojne sile međudjelovanja čestica tijela, koje se prenose eterom. Smatrao je, nadalje, da se tvar može preobraziti u svjetlost i svjetlost u tvar.
- **Mihail Vasiljevič Lomonosov** (1711. – 1765.), svestrani ruski znanstvenik, smatrao je eter osnovnom gradbenom tvari u svemiru od koje su sazdane sve ostale tvari (kemijski elementi).
- **Michael Faraday** (1791. – 1867.), samouki engleski fizičar i kemičar, zami-

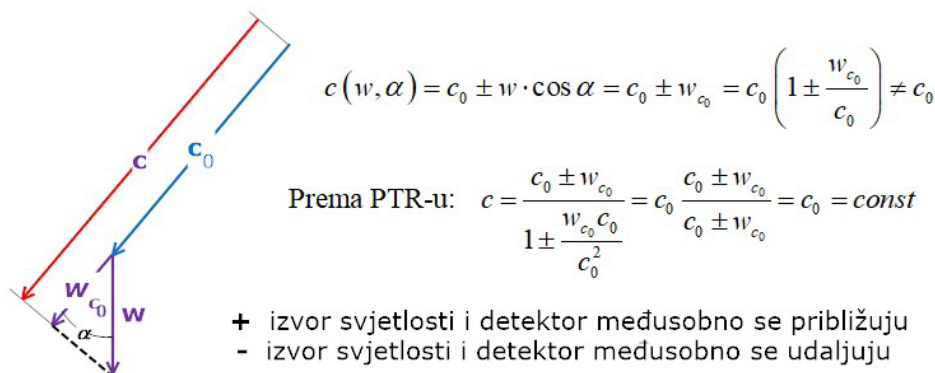
šljao je 'svjetski eter' gusto ispunjen silnicama koje se protežu prostorom. Preko njih se, od točke do točke u prostoru, prenose sva među-djelovanja. gravitacijska, električna i magnetska. Kategorički je negirao nepojmljivu mogućnost bilo kakvog međudjelovanja na daljinu kroz prazninu.

- **James Clerk Maxwell** (1831. – 1879.), škotski fizičar, izveo je svoje jednadžbe elektromagnetizma na temelju analogije s vrtložnim gibanjem idealnog fluida. Svjetski eter koji ispunjava svemirski prostor smatra stacionarnim fluidom kojim se šire elektromagnetske interakcije.
- **Augustin Jean Fresnel** (1788. – 1827.), francuski fizičar, zastupao je hipotezu gotovo mirujućeg, stacionarnog, svjetlonosnog etera prema kojoj sva materija u gibanju za sobom vuče ili povlači eter. Fresnelova hipoteza potvrđena je Fizeauovim eksperimentom 1851.
- **Sir George Gabriel Stokes** (1819. – 1903.), irski matematičar i fizičar, pretpostavio je da je eter potpuno uvučen unutar materije te prijanja uz njezinu površinu poput graničnog sloja fluida. Ta hipoteza neplanirano je potvrđena prvo pedantnim Michelsonovim te zatim unaprijeđenim Michelson-Morleyevim interferometrijskim mjerenjima (1881. – 1887.).
- **Sir William Thomson** (Lord Kelvin) (1824. – 1907.), britanski matematičar, fizičar i inženjer, razradio je vrtložnu teoriju atoma i nekoliko modela etera za koji je držao da je savršen nestlačiv fluid bez unutrašnjeg trenja, viskoznosti.
- **Sir Joseph John Thompson** (1856. – 1940.), engleski fizičar poznat po otkriću elektrona, razradio je na hipotezi o eteru vrtložnu teoriju materije i njezine interakcije s eterom. Na temelju teorije vrtložnog etera dokazao je 1903. da je ukupna energija koju sadrži masa m_0 jednaka $E = m_0 c^2$, što je 1905. Einstein glatko preuzeo u *Posebnoj teoriji relativnosti* (PTR).
- **Dmitrij Ivanovič Mendeljejev** (1834. – 1907.), ruski kemičar i znanstvenik, pokušao je odrediti kemijska svojstva etera i uvrstio ga je u svoju prvotnu tablicu elemenata u nultoj grupi i nulti red, povrhu plemenitih plinova, pod imenom *njutonij*. Za Mendeljejeva je eter 'ključna osnova', tvorbeni materijal svih kemijskih elemenata u njegovoj tablici.

2. Poznati Michelson-Morleyevi interferometrijski eksperimenti

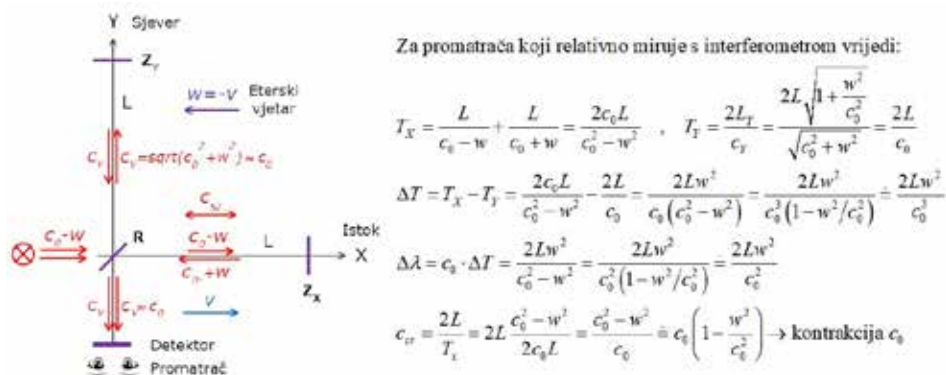
Valja istaći da napuštanjem nakaradne teorije svjetlonosnog etera nije bila odbacena pretpostavka o njegovom postojanju i stoga se traganja za njim nastavljaju. Znanstvenici su bili složni da se eter nalazi u stanovitom stanju gibanja koje rezultira '*eterskim vjetrom*' prema Zemlji i pretpostavljali su da se kolinaarna komponenta w_{c_0} njegove brzine w prema pravcu putovanja svjetlosne zrake, po Galilejevom načelu, pribraja/oduzima postojanoj brzini svjetlosti u eteru c_0 , pa se time mijenja brzina rasprostiranja svjetlosti koju mjeri promatrač.

Stoga su ulagani veliki naponi da se iznađe prikladna mjerna metoda kojom bi se to moglo vjerodostojno provjeriti i time napokon dokazati, ili opovrći, postojanje (čeonog) '*eterskog vjetra*' zbog kojeg je brzina svjetlosti duž istog pravca, ovisno o njezinom smjeru širenja (amo ili tamo), malko anizotropna.



Sl. 2 – Pribrajanje/oduzimanje čeonu brzine '*eterskog vjetra*' w_{c_0} brzini svjetlosti c_0

Tog veoma teškog zadatka entuzijastično se prihvatio vrstan američki eksperimentalni fizičar Albert Abraham Michelson (1852 – 1931.) koji je, prema Maxwelllovom prijedlogu da se istovremeno mjeri brzina svjetlosti u dva međusobno okomita smjera, koncipirao i pedantno izradio jednakokračni križni interferometar [2,4], čija je principijelna shema djelovanja prikazana slikom 3.



Sl. 3 – Principijelna shema djelovanja Michelsonovog jednakokraknog interferometra

Način djelovanja Michelsonovog plutajućeg križnog interferometra načelno je jednostavan i izgleda ovako: Iz koherentnog izvora bijela polarizirana svjetlost putuje duž osi X do polupropusnog zrcala-razdjelnika R na kojem se ona razdvaja. Jedna zraka djelomično se reflektira duž poprečnog kraka Y i putuje do zrcala Z_y, a druga zraka djelomično prolazi razdjelnikom i nastavlja put duž kraka X do zrcala Z_x. Od oba zrcala zrake svjetlosti se reflektiraju te se po krakovima X i Y vraćaju se do razdjelnika R na kojem se rekombiniraju.

Od njega rekombinirane povratne svjetlosne zrake iz dva okomita smjera zajedno nastavljaju put naniže duž osi Y, interferiraju te dolaze do zaslona ili dalekozora na kojem se mogu opažati manje ili više izražene interferencijske pruge zbog pretpostavljenih različitih brzina i stoga različitih trajanja rasprostiranja svjetlosti duž međusobno okomitih krakova X i Y jednake duljine L.

Pretpostavi li se da eter miruje, a da se promatrač i interferometar gibaju prema njemu duž X osi jednolikom brzinom v [4], što je po načelu relativnosti isto kao da oni miruju, a prema njima 'puše' u suprotnom smjeru uzdužni (čeon) 'eterski vjetar' brzinom $w = -v$, kao što je prikazano na slici 3. Sukladno tome pored sheme interferometra navedeni su izrazi za očekivana trajanja T_x i T_y dvosmjernog putovanja razdvojenih zraka svjetlosti od polupropusnog zrcala-razdjelnika R i natrag do njega za oba kraka interferometra.

Zbog pretpostavljenog djelovanja 'eterskog vjetra' duž X kraka dolazna i reflektirana svjetlost putuju malko različitim brzinama. Na putu svjetlosti od izvora duž X kraka prema zrcalu Z_x 'eterski vjetar' neznatno smanjuje njezinu brzinu ($c_0 - w_{co}$), a

na povratnom putu ju povećava za jednak iznos ($c_o + w_{co}$).

Duž poprečnog kraka Y zraka svjetlosti blago se otklanja od osi Y zbog vektorski pribrojene tangencijalne brzine '*eterskog vjetra*' na c_o (abercija) i brzinom $c_y = \sqrt{c_o^2 + w^2}$ putuje do zrcala Z_y i natrag do polupropusnog zrcala-raspršivača R po blago klinastom putu L_y koji određuje, u odnosu na c_o , neznatno povećana brzina svjetlosti c_y koja je stoga malko nakošena prema osi Y.

3. Rezultati interferometrijskih mjerenja, premda skromni, nisu 'nulti' pa jasno upućuju na postojanje '*eterskog vjetra*', a time i etera!

U pomno pripremano Michelsonovo interferometrijsko mjerenje 1881. u Potsdamu nedaleko Berlina bile su polagane velike nade. Bio je to nedvojbeno najiščekivaniji znanstveni eksperiment u fizici u završnici XIX. stoljeća. Michelson i brojni znanstvenici očekivali su da će izmjerena brzina '*eterskog vjetra*' biti oko 30 km/s, kolika je orbitalna brzina kruženja Zemlje oko Sunca.

No, dobiveni mjerni rezultati bili su nekoliko, a nerijetko i višestruko puta manji od nje i ujedno su bili podložni velikim fluktuacijama zbog neizbježnih utjecaja iz okoliša: temperaturne varijacije, mikrovibracije te moguće promjene brzine '*eterskog vjetra*' u međuplanetskom prostoru duž Zemljine orbite.

Naknadna bitno unaprijeđena interferometrijska mjerenja desetak puta veće točnosti Michelson je načinio 1887. s američkim kemičarom Edwardom Williamsom Morleyem (1838. – 1923.) u Clevelandu (SAD), ali su ona, unatoč njihovim očekivanjima, dala još skromnije mjerne rezultate. Sve naprednijim interferometrijskim mjerenjima, koja su naknadno izveli brojni američki i europski istraživači, također su dobiveni razočaravajuće skromni mjerni rezultati najvećih brzina '*eterskog vjetra*', što je pregledno prikazano u tablici 1.

Tablica 1 – Pregledni prikaz izvoditelja interferometrijskih mjerenja, lokacija mjerenja i dobivenih mjernih rezultata najveće brzine *'eterskog vjetra'*

Preuzeto s: https://en.wikipedia.org/wiki/Michelson%E2%80%93Morley_experiment

Ime mjeritelja	Lokacija	Godina	Duljina krakova	Gornja brzina eterskog vjetra	Razlučivost	Nulti rezultat
Michelson	Potsdam	1881.	1,2 m	~ 20 km/s	0,02	da
Michelson i Morley	Cleveland	1887.	11,0 m	~ 4–8 km/s	0,01	da
Morley i Miller	Cleveland	1902–1904.	32,2 m	~ 3,5 km/s	0,015	da
Miller	Mt. Wilson	1921.	32,0 m	~ 8–10 km/s	nejasna	nejasan
Miller	Cleveland	1923–1924.	32,0 m	~ 5 km/s	0,03	da
Miller (sunčeva svjetlost)	Cleveland	1924.	32,0 m	~ 3 km/s	0,014	da
Tomaschek (zvjezdano svjetlo)	Heidelberg	1924.	8,6 m	~ 7 km/s	0,02	da
Miller	Mt. Wilson	1925–1926.	32,0 m	~ 8–10 km/s	nejasna	nejasan
Kennedy	Pasadena Mt. Wilson	1926.	2,0 m	~ 5 km/s	0,002	da
Illingworth	Pasadena	1927.	2,0 m	~ 2 km/s	0,0004	da
Piccard i Stahel	balon	1926.	2,8 m	~ 7 km/s	0,006	da
Piccard i Stahel	Bruxelles	1927.	2,8 m	~ 2,5 km/s	0,0007	da
Piccard i Stahel	Rigi	1927.	2,8 m	~ 2,5 km/s	0,0007	da
Michelson i surad.	Pasadena	1929.	25,9 m	~ 3 km/s	0,01	da
Joos	Jena	1930.	21,0 m	~ 1,5 km/s	0,002	
n = 15	Srednja vrijednost w_{sr}			~ 4,71 km/s	Brzina nije nulta!	
	Standardna devijacija s_w			~ 2,54 km/s		
	Standardna devijacija od w_{sr}			~ 0,66 km/s		

Michelsonovi interferometrijski eksperimenti bili su rađeni na pretpostavci postojanja stacionarnog svjetlonosnog etera pa je stoga Zemlja koja se prema njemu giba po orbiti oko Sunca zahvaćena čeonim *'eterskim vjetrom'* koji utječe na brzinu svjetlosti na uzdužnom kraku interferometra. Stoga se pretpostavljalo da će zrakama svjetlosti koje putuju dvosmjerno u međusobno okomitim smjerovima biti potrebno različito vrijeme da prijeđu jednake udaljenosti L duž njegovih krakova, što će rezultirati njihovim faznim pomakom i interferencijom.

Očekivalo se da će uzdužnoj zraci svjetlosti na putu od razdjelnika R do zrcala Z_x i natrag biti potrebno nešto više vremena nego poprečnoj zraci svjetlosti na putu od razdjelnika R do zrcala Z_y i natrag zbog pretpostavljenog čeonog *'eterskog vjetra'* u uzdužnom smjeru. Shodno tome povratne zrake svjetlosti reflek-

tirane od zrcala Z_x i Z_y na zajedničkom putu od polupropusnog zrcala-razdjelnika R prema zaslonu fazno su pomaknute pa interferiranjem proizvode pruge.

Posve neočekivani i zbunjujući ishodi eksperimenta, koji su davali najveće brzine 'eterskog vjetra' znatno manje od očekivane 30 km/s, upućivali su na zaključak da su povratne zrake stizale do zaslona gotovo istovremeno i stoga uz neznatan fazni pomak, zbog čega su izostajale izraženije interferencijske pruge.

Nakon niza iznijetih hipoteza zbog čega su mjerni rezultati brzina 'eterskog vjetra' bili znatno manji od očekivanih 30 km/s te brojnih burnih rasprava koje su potrajale punih dvadesetak godina, prevladalo je mišljenje da su, radi mogućih znatnih pogrešaka mjerenja i velikih fluktuacija, dobiveni šaroliki mjerni rezultati upitni i nulti pa su ta mjerenja dogovorno okarakterizirana kao neuspjela.

Zbog toga je početkom XX. stoljeća znanstvena središnjica svjetlonosnom eteru, koji je pao u nemilost, pridavala sve manji značaj i naposljetku ga je konsenzusom odbacila na Konferenciji o Michelson-Morleyevom eksperimentu održanoj 4.-5. veljače 1927. u Mount Wilson zvjezdarnici kod Pasadene u Kaliforniji. Na njoj su aktivno sudjelovali istaknuti znanstvenici: A. A. Michelson, H. A. Lorentz, D. C. Miller, R. J. Kennedy, E. R. Hedrick i P. S. Epstein.

Otada je u fizici postalo i ostalo je do danas demodirano, pa i nepoželjno, javno raspravljati o eteru, ili podržavati njegovo postojanje, jer oni koji se u to nesmotreno upuste mogu dovesti u pitanje svoj stručni ugled, pa i karijeru.

Sporazumni zaključak znanstvene središnjice da zbog izostanka 'eterskog vjetra' nema ni etera bio je Einsteinu polazište za formuliranje drugog postulata o konstantnosti, izotropnosti i neprekoračivosti vakuumske brzine svjetlosti c_0 , a da za to naknadno nije dao niti jedno valjano eksperimentalno ili teorijsko pokriće. Dogovorno odbacivanje hipoteze o postojanju svjetlonosnog etera, čije strujanje narušava izotropnost prostora, bilo je presudno za nesmetan bljeskovit uspjeh i veliku javnu popularnost Einsteinove *Posebne teorije relativnosti* (PTR).

Valja reći da je taj dogovorni zaključak elitnih pripadnika tadašnje znanstvene središnjice, nažalost, proizvoljan, ishitren i neutemeljen jer:

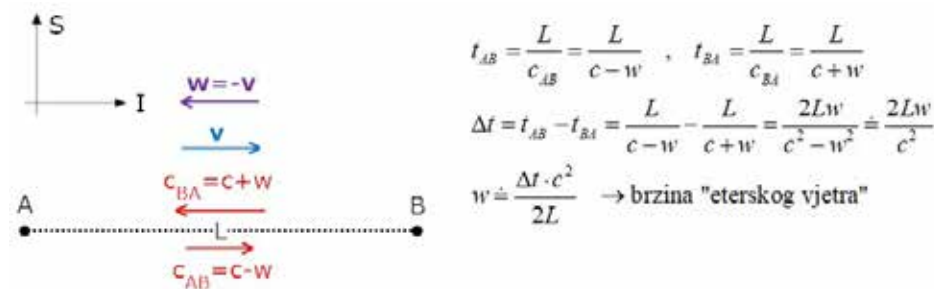
- nategnuta hipoteza o nultoj brzini 'eterskog vjetra' zbog velikih podbačaja mjernih rezultata prema očekivanoj brzini od 30 km/s nije nimalo uvjerljiv znanstveni argument da ga nema, posebice zato što nije provedeno statističko testiranje navedenog niza mjernih rezultata, kao relevantan znanstveni kriterij za njezino prihvaćanje ili odbacivanje te
- stav da zbog nulte brzine 'eterskog vjetra' ne postoji ni eter je logički i znanstveno promašen jer njegovo nepostojanje, čak da je i istinito, nije vje-

rodostojan dokaz da nema etera. Naime, postoji li eter, a Zemlja i niža atmosfera ga povlače za sobom, tada na njezinoj površini, zbog njihovog relativnog mirovanja prema eteru, nema '*eterskog vjetra*', premda je on veoma snažan u međuplanetskom prostoru – oko 400 km/s [9].

4. Što govore mjerenja trajanja jednosmjernog rasprostiranja signala?

Unazad četrdesetak godina, naglim razvojem GPS-a i riješenom zadovoljavajuće točnom sinkronizacijom visoko preciznih atomskih satova na udaljenim lokacijama dobivena je mogućnost dovoljno točnih mjerenja trajanja putovanja i time određivanja brzine širenja svjetlosnih ili elektromagnetskih signala duž istog prijenosnog puta u oba smjera. Ta mjerenja predstavljaju veliko dostignuće u suvremenoj eksperimentalnoj fizici, ali su '*nezgodna*' za teorijsku fiziku (PTR).

Dobiveni mjerni rezultati niza takvih mjerenja [5–10] rječito govore da putovanje signala u smjeru zapad-istok, koji se podudara sa smjerom Zemljine vrtnje, traje nešto dulje nego u protivnom smjeru istok-zapad, što nedvojbeno upućuje da postoji mjerljiv učinak '*eterskog vjetra*' koji u jednakim uvjetima, protivno Einsteinovom drugom postulatu PTR-a, uvjerljivo daje neznatno različita trajanja putovanja i time malko različite brzine širenja signala duž istog prijenosnog puta u protivnim smjerovima. To je neumoljiva činjenica nad kojom se teorijskim fizičarima valja dobro zamisliti jer ona može biti velika prekretnica!



Sl. 4 – Rasprostiranje signala u protivnim smjerovima po istom prijenosnom putu

4.1 Trajanje putovanja svjetlosnog signala između San Francisca i New Yorka

Višekratna GPS mjerenja koja je proveo Paul Marret pokazala su da svjetlosnom signalu koji putuje optičkim kabelom od San Francisca do New Yorka u pravcu istoka treba 28 ns više vremena nego signalu koji njime putuje od New Yorka do San Francisca, dakle u protivnom smjeru od istoka prema zapadu.

Uz brzinu rasprostiranja signala u optičkom kabelu od oko 200 000 km/s te pretpostavljenu duljinu kabela trase između tih gradova približno jednaku cestovnoj udaljenosti 4670 km, povećanje brzine signala u smjeru zapada, odnosno njezino smanjenje u smjeru istoka, uslijed djelovanja *'eterskog vjetra'* duž trase, iznosi:

$$w = \frac{\Delta t \cdot c^2}{2L} = \frac{28 \cdot 10^{-9} \text{ s} \cdot (200\,000 \text{ km/s})^2}{2 \cdot 4670 \text{ km}} \approx 0,120 \text{ km/s}$$

4.2 Trajanje putovanja signala između Los Angelesa i Washingtona

Nizom GPS mjerenja je utvrđeno da svjetlosni signali putuju malo kraće od Washingtona do Los Angelesa nego obrnuto malenom, ali dosljedno ponovljenom razlikom od 37 ns. Uz brzinu rasprostiranja signala u optičkom kabelu oko 200 000 km/s i duljinu kabela trase između tih gradova približno jednaku cestovnoj udaljenosti 4300 km, povećanje brzine signala duž trase u smjeru zapada i njezino smanjenje u pravcu istoka, zbog djelovanja *'eterskog vjetra'*, iznosi:

$$w = \frac{\Delta t \cdot c^2}{2L} = \frac{37 \cdot 10^{-9} \text{ s} \cdot (200\,000 \text{ km/s})^2}{2 \cdot 4300 \text{ km}} \approx 0,172 \text{ km/s}$$

4.3 Trajanje putovanja signala oko Zemlje duž ekvatora

Mjerenja pomoću GPS-a koje je proveo Al Kelly pokazuju da svjetlosnom signalu koji putuje oko ekvatora u smjeru istoka treba 414,8 ns više vremena nego signalu koji istom trasom putuje u suprotnom smjeru prema zapadu. Uz brzinu signala u atmosferi 300 000 km/s i duljinu trase oko ekvatora 40 000 km, povećanje brzine signala oko njega u smjeru zapada, zbog *'eterskog vjetra'* iznosi:

$$w = \frac{\Delta t \cdot c^2}{2L} = \frac{414,8 \cdot 10^{-9} \text{ s} \cdot (300\,000 \text{ km/s})^2}{2 \cdot 40\,000 \text{ km}} \approx 0,467 \text{ km/s}$$

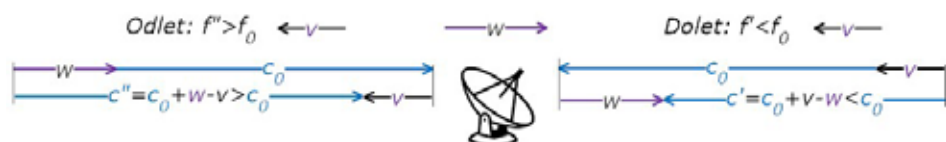
i podudara se s tangencijalnom brzinom rotacije Zemlje na ekvatoru 0,464 m/s.

4.4 Anomalija proleta svemirskih letjelica naizgled prkosi Dopplerovom učinku

Znatno veće brzine *'eterskog vjetra'* dobivene su pri proletu američkih međuplanetskih letjelica visoko preciznim mjerenjem prijemnih frekvencija radiosignala koje one emitiraju. Kad se letjelica na proletnoj orbiti približava prijamnoj stanici na

Zemlji (dolet), zbog Dopplerovog učinka, očekivana frekvencija primljenog signala mora biti malo veća od frekvencije emitiranog signala i mora biti nešto niža kad se letjelica od nje udaljava (odlet). No, u stvarnosti je to obrnuto – malo manja je prijemna frekvencija pri doletu, a malo veća pri odletu!

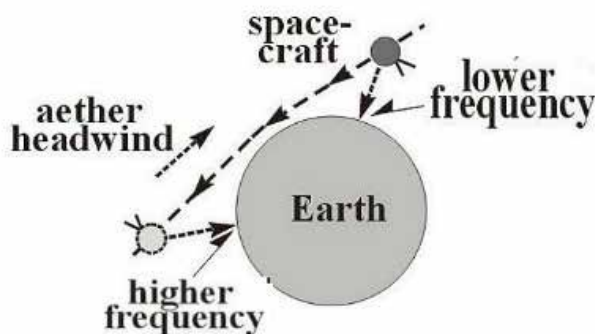
Taj zbunjujući fenomen neznatno manje prijamne frekvencije f' pri doletu i neznatno povišene frekvencije f'' pri odletu, koji naizgled prkosi Dopplerovom učinku, poznat je u fizici, koja ga ne razumije i ne može objasniti, kao *'anomalija proleta'*. Uz uvažavanje hipoteze o postojanju etera ona je jednostavno i logično protumačiva djelovanjem snažnog *'eterskog vjetra'* u svemirskom prostoru, koji je stotinjak puta jači nego na površini Zemlje i u nižoj atmosferi, slika 5.



Sl. 5 –Slaganje brzina: emitiranog signala c_0 , čeonog *'eterskog vjetra'* w i čeonu brzinu letjelice v pri njezinom odletu i doletu zorno objašnjava *'anomaliju proleta'*

Pri doletu letjelice protivno usmjerena čeona komponenta w brzine *'eterskog vjetra'* u pravcu emitiranog signala prema prijamnoj stanici znatno je veća od čeonu komponente njezine doletne brzine v pa je frekvencija prijamnog signala f' , zbog njezove prividno smanjene brzine putovanja $c' < c_0$ prema prijamnoj anteni, nešto niža od emitirane frekvencije f_0 jer ju ne nadoknađuje znatno manja čeona komponenta doletne brzine letjelice v u smjeru prijamnog signala.

Pri odletu letjelice čeona komponenta w brzine *'eterskog vjetra'* u pravcu emitiranog signala ka prijamnoj stanici prividno povećava njegovu brzinu pa je, frekvencija f'' prijamnog signala, zbog njegove povećane brzine $c'' > c_0$ prema prijamnoj anteni nešto veća od emitirane frekvencije f_0 jer ju ne nadoknađuje znatno manja čeona komponenta odletne brzine letjelice v protivna smjeru prijamnog signala.



Cahill je 2006. analizirao niz preleta svemirskih letjelica na različitim točkama pored Zemlje i odredio je prosječnu brzinu *'eterskog vjetra'* u Sunčevom sustavu od 400 ± 20 km/s. Analizom niza mjerenja preleta, koju je 2008. načinila NASA, dobivena je srednja brzina *'eterskog vjetra'* u planetskom prostoru od 420 ± 30 km/s.

5. Izmjerena je nadsvjetlosna brzina putovanja snopova neutrina!?

Tijekom 2009. do 2011. iz CERN-a više puta ispaljivane su zrake neutrina u obliku vrlo kratkih snopova čestica prema detektoru u talijanskom tunelu Gran Sasso duž pravocrtne (tetivne) udaljenost od 730,5 km [14]. Njihovo očekivano vrijeme leta (oko 2,44 ms) izmjereno je visokom točnošću u nanosekundama sinkroniziranim cenzijevim satovima.

Tijekom tih eksperimenata tim CNGS-a je svaki puta izmjerio neznatno kraće trajanje njihovog putovanja prema očekivanom trajanju za stabilnih $\Delta t = 61$ ns, što je navodilo na logičan, ali znanstveno *'nedopustiv'*, zaključak da su neutriini putovali neprekoračivom nadsvjetlosnom brzinom $c_0 + \Delta c$.

Prekoračenje njihove brzine Δc je lako izračunati – ono iznosi:

$$\Delta t = \frac{L}{c_0} - \frac{L}{c_0 + \Delta c} \rightarrow \Delta c = \frac{\Delta t \cdot c_0}{L/c_0 - \Delta t} \approx \frac{\Delta t \cdot c_0^2}{L} = \frac{61 \cdot 10^{-9} \text{ s} \cdot (3 \cdot 10^5 \text{ km/s})^2}{730,5 \text{ km}} = 7,52 \text{ km/s}$$

Taj *'nezgodan'* rezultat, koji izravno prkosi Einsteinovom drugom postulatu PTR-a o univerzalnosti i neprekoračivosti brzine svjetlosti, pokušavalo se na brzinu objasniti i prikriti pogreškom mjerenja, što nije djelovalo uvjerljivo. Voditelj CNGS tima je to, nakon provjere mjerne opreme, naime demantirao.

Bolje objašnjenje vjerojatno jest da je kraća trajanja putovanja snopova neutrina pospješila komponenta brzine *'eterskog vjetra'* w_{c_0} duž njihovog puta. Ona je njihovu brzinu neznatno povećala s c_0 na $c_0 + \Delta c$ pa su oni putovali *'niz vjetar'*, prema PTR-u, *'nedopustivom'* nadsvjetlosnom brzinom.

6. Drugi Einsteinov postulat o univerzalnosti brzine svjetlosti je upitan

Prema prethodno navedenim mjerenjima načinjenim unazad dvadesetak godina nepobitno je dokazana anizotropnost prostora zbog neznatno različitih brzina jednosmjernog rasprostiranja elektromagnetskih signala u optičkim kabelima, a posebice radio i radarskih signala u međuplanetskom prostoru zbog djelovanja snažnog *'eterskog vjetra'* koji tamo vlada – izmjereno oko 400 km/s!

Ti *'apokrifni'* mjerni rezultati rječito govore da je Einsteinov drugi postulat PTR-a o konstantnoj, univerzalnoj te neprekoračivoj brzini svjetlosti u praznom prostoru $c_0 \approx 300\,000$ km/s upitan. Oni, naime, jasno upućuju da je brzina svjetlosti u odnosu na promatrača c jednaka brzini svjetlosti $c_0 \pm$ brzina izvora prema promatraču, ili brzina svjetlosti $c_0 \pm$ brzina promatrača prema izvoru, što je u skladu s prvim postulatom PTR-a – Galilejevim načelom relativnosti – koje vrijedi za zbrajanje i oduzimanje kolinearnih brzina. To znači da drugi postulat o stalnosti brzine svjetlosti nije vjerodostojan (Prilog I). Za nju, naime, oba Einsteinova postulata ne mogu biti istovremeno važeća jer su posve proturječna.

Iznenadjuća i neupitna saznanja unazad četrdesetak godina da brzina svjetlosti c_0 u praznom prostoru nije univerzalna konstanta ima dalekosežne implikacije u fizici. Stoga treba neodložno provjeriti kako to utječe na 120 godina staru PTR te ujedno valja kritički preispitati (ne)utemeljenost konsenzusom znanstvene elite odbačene hipoteze o postojanju etera početkom XX. stoljeća.

Za mladog Einsteina, naime, eter nije postojao kao stvaran fizički entitet. Po njegovom poimanju on je tek plod pogrešnih razmišljanja tijekom povijesti znanosti. Einstein je, olako izbacivši eter iz fizike, jer je predstavljao veliku smetnju njegovoj razradi PTR-a, raskinuo ključnu neraskidivu pojmovnu svezu između prostora, materije i energije. Time je PTR, po Teslinom mišljenju, posve odvojena od fizičke stvarnosti pa je stoga apstraktna, spekulativna i neuvjerljiva.

Stoga ju treba pomno kritički preispitati i doraditi prema recentnim neumljivim eksperimentalnim činjenicama o učincima *'eterskog vjetra'* w , koji blago narušava izotropnost svemirskog prostora i varira brzinu širenja svjetlosti ($c_0 \pm w_{co}$) duž promatranog pravca (anizotropija), što upućuje da posvuda u svemiru postoji manje ili više mobilan vrtložni eter. Pritom valja uvažiti saznanja moderne fizike i radioastronomije iz 1965. o svemirskoj mikrovalnoj pozadini (CMB) – kao prirodnom referentnom okviru za iskazivanje brzina u svemiru.

7. Što govori jednakost brzina širenja svjetlosnih i gravitacijskih valova?

Sredinom kolovoza 2017. detektori LIGO i Virgo registrirali su događaj gravitacijskog vala GW170817 koji je prouzročio rijedak fenomen makronove. On nastaje zbog silovitog sudara i stapanja dviju neutronske zvijezde, ili neutronske zvijezde i crne rupe, uslijed njihovog sve bržeg gravitacijskog spiralnog približavanja i spajanja u galaktici udaljenoj od Zemlje oko 144 milijuna svjetlosnih godina (sg) [15]. Njihovo dramatično spajanje oslobodilo je u nekoliko sekundi enormno veliku energiju koju bi Sunce proizvelo tijekom desetak milijardi godina, ako toliko potraje.

Ta nezamislivo silovita svemirska kataklizma proizvela je snažan gravitacijski val i žestok popratni bljesak γ -zračenja koji je prispio do međunarodnog Fermijevog svemirskog teleskopa γ -zraka oko 1,7 sekundi kasnije od dolaska gravitacijskog vala do visoko osjetljivih zemaljskih detektora LIGO i Virgo.

Beznačajno mala vremenska razlika u njihovom dolasku (1,7 s prema $1,44 \cdot 10^8$ sg), s obzirom na njihovo enormno dugo trajanje putovanja neizmjenjnim svemirskim prostanstvom, možebitna je posljedica usporavanja γ -zraka prolazom kroz oblake prašine koji na gravitacijske valove nemaju učinka. Gotovo savršena istodobnost prispijeća ta dva vala do Zemlje s te nezamislivo velike udaljenosti rječito govori da gravitacijski valovi također putuju brzinom svjetlosti.

Istovjetnost brzina širenja uzdužnih gravitacijskih valova i poprečnih elektromagnetskih valova, koje čine, po svojoj prirodi, dva posve različita polja (izvorno G-polje i vrtložno poprečno EM-polje), upućuje da ima mjesta pretpostavci da se njihovi valovi rasprostiru istim medijem – fizičkim vakuumom (eterom) čija tromost ograničava njihovu brzinu rasprostiranja na oko 300 000 km/s.

8. Što krije naizgled prazan fizički prostor?

Bez obzira na urušavanje i odbacivanje proturječne i neodržive hipoteze o svjetlonosnom eteru ona je ipak bila korisna jer je upućivala na logičnu pretpostavku da naizgled prazan prostor – fizički vakuum – nužno mora imati neku izuzetno složenu uzročnu suptilnu energijsko-informacijsku infrastrukturu koja ga prožima. Po analogiji s računalima može se reći da ona ujedno sadrži i svemirski operativni sustav koji trajno generira, distribuira i održava posvuda u prostor-vremenu neprekršive i nepromjenljive fizikalne zakone.

Njihova narav je metafizička i oni djeluju jednosmjerno – ‘*odozgo*’ prema ‘*dolje*’. Po njima se striktno odvijaju sve znane prirodne pojave, počevši od najjednostavnijih.

njih pa do najsloženijih.

Iz te nezamjetne uzročne funkcionalno izuzetno složene hiperdinamične pozadinske infrastrukture proizlaze univerzalna inherentna fizikalna svojstva prostor-vremena koji posvuda utjelovljuju u latentnom istovjetnom obliku sve fizikalne zakone i pripadne temeljne prirodne (fizičke) konstante:

- gravitacijska konstanta $G = 6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$
- magnetska permeabilnost vakuumu (etera) $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ predstavlja magnetsku inerciju etera
- dielektrična permitivnost vakuumu (etera) $\varepsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ predstavlja električnu elastičnost etera.
- Iz konstanti μ_0 i ε_0 proizlaze još dvije važne prirodne konstante:
- vakuumska (eterska) brzina svjetlosti $c_0 = 1 / \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- valni otpor vakuumu (etera) $Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0} \approx 376,73 \Omega$

Apsolutno prazan prostor bez materije i energije ima samo dimenzije (primjerice 3D ili hiperprostor nD, $n \geq 4$), može biti euklidski (ravan) ili neeuklidski (zakrivljen). Homogen je i izotropan te ima definiranu metriku. U njemu se, kao u apstraktnom i beživotnom matematičkom entitetu, ne mogu odvijati nikakve fizikalne pojave niti interakcije jer zbog izostanka uzročne suptilne pozadinske infrastrukture on nema za to nužna inherentna fizička svojstva koja bi ih omogućila. Njih posjeduje samo fizički prostor – superfluidan kvantni vakuum.

Prema saznanjima kvantne fizike i kozmologije tu krajnje tajnovitu pozadinsku prostornu infrastrukturu, koja apstraktan beživotni geometrijski prostor pretvara u vrlo živahan hiperdinamički supstancijalan fizički prostor, vjerojatno predstavlja superfluidni kvantni vakuum udružen s postuliranom nezamjetnom i veoma tajnovitom fluidnom ‘*tamnom energijom*’ koja, poput etera, jednoliko ispunjava čitav svemirski prostor te ga svojim protugravitacijskim djelovanjem sve brže širi. Procjenjuje se da ona čini oko 68 % ukupne energije svemira.

Njima valja pridružiti i manje tajnovitu ‘*tamnu tvar*’, drugu postuliranu sastavnicu svemira koja ne emitira i ne reflektira dovoljno zračenja da bi se mogla izravno opažati. Ona čini oko 85 % ukupne mase u svemiru i, u suradnji s vidljivom tvari, sažima ga svojim moćnim gravitacijskim djelovanjem, ali nedovoljnim da nadvlada nadmoćnije protugravitacijsko djelovanje ‘*tamne energije*’. Valja istaći da se zbog protivnog djelovanja tih dvaju naizgled srodnih te još nedovoljno istraženih ‘*tamnih*’ entiteta fizikalne kozmologije oni ne smiju brkati!

Suvremena kvantna mehanika može se koristiti za opisivanje 4D prostor--vremena, kao nepraznog, samo u iznimno malim razmjerima. Njegovim hiper-dimamičkim fluktuiranjem bljeskovito se pojavljuju (nastaju) i u njemu nevjerojatno brzo nastaju virtualni parovi čestica. Neki fizičari (Dirac, Bičkov i Zajcev) pretpostavljaju da bi superfluidni kvantni vakuum, u kombinaciji s još veoma tajnovitom *'tamnom energijom'*, i eventualno *'tamnom tvari'*, koje se manifestiraju u makro razmjerima, mogli biti ekvivalent za famozni eter, ili predstavljati čvrst okvir unutar čijeg raznovrsnog i bogatog sadržaja se on zasigurno krije.

9. Eter i svojstva eterona u teoriji rumunjskog akademika Popescua

Unatoč stotinjak godina starog oficijelnog stava znanstvene središnjice da eter ne postoji, što otada do danas stoji u svim udžbenicima teorijske fizike kao neupitna činjenica, za njim se i dalje intenzivno traga novim i sve domišljatijim mjerenjima te se razrađuju njegova svojstva na postavkama kvantne fizike i mehanike fluida. Sve to odvija se gotovo bez publiciteta u stručnoj javnosti jer takve radove, u pravilu, ne prihvaća recenzija pripadnika znanstvene središnjice za objavljivanje u uglednim časopisima ili za iznošenje na konferencijama.

Unatoč tome veliki originalni doprinos na razradi suvremene teorije čestičnog etera i eterona (ili etona) u okviru kvantne fizike te nove teorije gravitacije zasnovane na čestičnom eteru dao je rumunjski fizičar – akademik Ioan-Iovitz Popescu (1932. – 2023.). U svojem znanstvenom radu [11] predstavio je novo objašnjenje Newtonovog zakona gravitacije polazeći od sljedećih postavki:

- svemir je konačan i ispunjen je česticama vrlo malene mase (eteronima ili etonima) koje u njemu kaotično putuju vrlo velikim relativističkim brzinama bliskim brzini svjetlosti,
- sva materijalna tijela u svemiru sazdana su od eterona (etona),
- materija u svemiru pretežito je u obliku eterona (etona).

Popescu u razradi svoje teorije čestičnog etera drži da je to fluidni (plinoviti) oblik postojanja materije, ali se kvalitativno razlikuje od uobičajene tvari (atomske i molekularne) ili zračenja (fotoni). Eterom, kao ultrarelativističkim fluidom, upravlja načelo održanja impulsa, a njegova prisutnost proizvodi promjenu u geometriji prostor-vremena (zakrivljenost). U Einsteinovoj Općoj teoriji relativnosti objavljenoj 1916. zakrivljenost prostora je posljedica djelovanja gravitacijskog polja velikih masa.

Popescuova teorija čestičnog etera, kao medija koji ima mehaničke i kinetičke

osobine, razrađena je na osebujnom G. L. Le Sageovom kinetičkom modelu gravitacije iz 1748. koji se zasniva na strujanju ultra-svjetskih čestica ('*krvnih zrnaca*'). Popescu pretpostavlja konačan svemir ispunjen eteronima (etonima) – ekstremno malim točkastim elementarnim česticama sljedećih svojstava:

masa	$\approx 1,35 \cdot 10^{-69} \text{ kg}$
energija	$\approx 10^{-33} \text{ eV}$
veličina	$\approx 1,62 \cdot 10^{-35} \text{ m} \approx 1 \text{ plankion}$

On drži da su od eterona, kao temeljne gradbene tvari, sazdane sve elementarne čestice, atomi i sva tvar u svemiru – vidljiva i nevidljiva. Prema njegovom izračunu svemir sadrži oko $7,4 \cdot 10^{121}$ eterona. Njihova prosječna gustoća u (naizgled) praznom svemirskom prostoru je oko $8 \cdot 10^{42}$ eterona/ m^3 , a njihov međusobni srednji minimalni razmak je $2,77 \cdot 10^{-15} \text{ m}$.

10. Veliki doprinos razradi teorije etera akademika Bičkova i Zajceva

U trećem izdanju na ruskom jeziku pozamašnog udžbenika od gotovo 800 stranica [12], koji nosi naslov *Matematičko modeliranje elektromagnetskih i gravitacijskih fenomena metodologijom mehanike kontinuiranih medija*, ambiciozan dvojac ruskih akademika – Bičkov i Zajcev – sustavno predstavlja posve novi pristup proučavanju i tumačenju temeljnih prirodnih pojava na pretpostavci o fizičkom (kvantnom) vakuumu kojeg oni poistovjećuju s eterom – sveprisutnim suptilnim medijem u kojem se odvijaju sve prirodne pojave. Nezavisno od njih, sličan koncept etera razradio je i nigerijski fizičar Musa D. Abdullahi [13].

U toj knjizi i u njihovim brojnim znanstvenim radovima, koji su besplatno dostupni na poveznici http://eth21.ru/index_en.html, oni eter smatraju jednokomponentnim stišljivim medijem čije se stanje u svakoj točki prostora određenoj radij-vektorom $\mathbf{r}$ u promatranom trenutku t iskazuje gustoćom $\rho(\mathbf{r}, t)$ i brzinom strujanja $\mathbf{u}(\mathbf{r}, t)$. Pritom su zadovoljeni temeljni zakoni očuvanja količine materije i očuvanja impulsa, a nisu uključeni relativizam i kvantna mehanika.

Iz jednadžbi toka fluida, u kojima figuriraju te dvije karakteristične veličine etera, proizlazi niz rješenja koja se mogu inovativno fizikalno interpretirati. Na taj način autori matematičkim putem izvode osnovne zakone opće gravitacije i elektromagnetizma – jednadžbe elektrodinamike, Lorentzovu silu te Gaussov, Ampereov, Biot-Savartov i Coulombov zakon i Faradayev zakon indukcije.

Shodno tome oni su otkrili i uvjerljivo objasnili detaljni mehanizam mnogih

prirodnih pojava koje u oficijelnom (bezeterskom) viđenju fizike nisu protumačive i doimaju se anomalnim ili paradoksalnim. Među njima su i famozne plazmoidne kuglaste munje kao maleni kratkoživuci vrtlozi etera. Metoda potvrđivanja njihovog modela fluidnog etera, usvojenog u metodologiji matematičkog modeliranja, navodi na zaključak da taj dobro razrađeni model primjereno opisuje i uvjerljivo objašnjava sve znane elektromagnetske i gravitacijske pojave.

Provedene kvalitativne i kvantitativne analize velikog broja poznatih i novih eksperimentalnih činjenica, koje su autori sa suradnicima načinili unazad 15-ak godina, omogućuje da se u metodologiji fizike, kao temeljnoj egzaktnoj prirodnoj znanosti koja uopćava eksperimente, napokon izvede utemeljen zaključak o prisutnosti etera – univerzalnog nezamjetnog medija u kojem se odvijaju svi procesi i koji se već više desetljeća krije pod nazivom fizičkog ili kvantnog vakuuma te *'tamne energije'* te možda *'tamne tvari'*, kao postuliranih entiteta makro prostora. Eter, kao univerzalni prijenosni medij koji ispunjava sav prostor, podržava gravitaciju, i kojim se šire svjetlost te ostali elektromagnetski valovi, svojstven je mikro i makro prostoru pa zato njegovo poistovjećivanje samo s kvantnim vakuumom vjerojatno nije dostatno za fizički makro prostor.

Zaključak

Suvremena GPS mjerenja jednosmjernih brzina rasprostiranja svjetlosnih signala optičkim kabelima u protivnim smjerovima, a posebice tzv. *'anomalija proleta'*, predstavljaju veliku prekretnicu u fizici. Ona upućuju na nedvojbeno postojanje nezamislivih učinaka *'eterskog vjetra'*, a time i na postojanje etera. Stoga predstavljaju velik iskorak u odnosu na klasična dvosmjerna interferometrijska mjerenja vrlo osjetljiva na neizbježne ometajuće utjecaje iz okoliša koji mogu prouzročiti velike fluktuacije i značajne pogreške mjernih rezultata.

Unazad dvadesetak godina nizom mjerenja neosporno dokazanih učinaka *'eterskog vjetra'* napokon treba neodložno kritički preispitati ishitreno odbacenu hipotezu o postojanju etera konsenzusom znanstvene središnjice početkom XX. stoljeća. Tada se, naime, osim apstraktnog pojma praznog prostora bez materije, još ništa nije znalo o hiperdinamičnom kvantnom vakuumu te, na makrorazini, o krajnje tajnovitoj *'tamnoj energiji'* i još nedostatno poznatoj *'tamnoj tvari'*. Ta tri entiteta moderne fizike predstavljaju okvir raznovrsnog i bogatog sadržaja unutar kojeg se zasigurno krije famozni eter kao inherentna te funkcionalno izuzetno složena univerzalna hiperdinamična prijenosna prostorna infrastruktura.

Hamletovsko pitanje: Postoji li ili ne postoji eter? – zapravo se svodi na izlišnu dvojbu što je mjerodavnije – da li sporazumni kruti stav neprikosnovenih autoriteta

znanstvene središnjice o njegovom nepostojanju, koji se već čitavo stoljeće iznosi kao neupitna činjenica u sveučilišnim udžbenicima i u nastavi teorijske fizike, ili brojni vjerodostojni mjerni rezultati anizotropne brzine širenja signala i svjetlosti koji ga očito opovrgavaju i nije ih moguće osporiti jer protiv njih nema dokaza. Stoga ih se u znanstvenoj središnjici već nekoliko desetljeća dosljedno ignorira i/ili omalovažava da bi u fizici sve ostalo nepromijenjeno.

Tu nikakvoj dvojbi nema mjesta jer u znanosti, zbog neizbježnog '*faktora iznenađenja*', može svakog trena doći do novih saznanja koja ispravljaju ili opovrgavaju stara. Zato sve važeće postavke, postulati i teorije uvijek moraju biti otvorene za kritičko preispitivanje i reviziju, a ponekad i za napuštanje kad se za to steknu valjani eksperimentalni i/ili teorijski argumenti. U znanosti ništa ne može uživati imunitet i biti nedodirljivo. U protivnom mogu se nedodirljive postavke i teorije preobraziti u '*neupitne*' pseudoznanstvene dogme ili religije, što je u znanosti, koja uvijek mora stremiti prema istini ma kakva ona bila, apsolutno nedopustivo.

Za uklanjanje moderne čestične teorije etera u kvantnu i u teorijsku fiziku od velike koristi mogu biti respektabilni radovi rumunjskog akademika I. I. Popescua te posebice ruskih akademika V. L. Bičkova i F. S. Zajceva.

Oni predstavljaju značajne i nezaobilazne originalne znanstvene doprinose u području teorije opće gravitacije i elektromagnetizma s kojima bi se neodložno trebali pobliže upoznati naši znanstveni i stručni krugovi da bi mogli usmjeriti teorijska i eksperimentalna istraživanja u tom zasigurno vrlo perspektivnom smjeru – što me potaknulo na pisanje ovog preglednog rada motivacijske naravi.

Prilog 1 – Einsteinovi postulati posebne teorije relativnosti

https://en.wikipedia.org/wiki/Postulates_of_special_relativity

1. Prvi postulat (Galilejevo načelo relativnosti)

Zakoni fizike imaju isti oblik u svim inercijskim referentnim okvirima.

2. Drugi postulat (invarijantnost brzine svjetlosti c_0) – ugaoni kamen PTR-a

Mjereno u bilo kojem inercijskom referentnom okviru svjetlost se uvijek širi u praznom prostoru određenom brzinom c_0 , koja je neovisna o stanju gibanja tijela koje ju emitira, što znači da brzina svjetlosti u slobodnom prostoru ima u svim smjerovima istu (univerzalnu) vrijednost c_0 u svim inercijskim referentnim okvirima.

Prilog 2 – Što su o eteru kazali poznati svjetski znanstvenici [12]

James Maxwell: *“Kad god se energija prenosi s jednog tijela na drugo, mora postojati medij, ili tvar, u kojoj postoji (pohranjuje se) energija nakon što napusti jedno tijelo sve dok ne stigne do drugog tijela”.*

Albert Michelson: *“Valna teorija svjetlosti pretpostavlja postojanje medija (etera) čije vibracije proizvode toplinu i svjetlost i on bi trebao ispuniti sav prostor”.*

“Čini se praktički sigurnim da mora postojati medij čija je ispravna funkcija prijenos svjetlosnih valova. Premda razmišljanje dovodi do zaključka da to nije običan oblik materije”.

“Einstein ne uzima u obzir prijenos svjetlosti, ali drži da eter treba baciti preko palube”.

Henri Poincaré: *“Znamo odakle dolazi naše vjerovanje u eter. Ako je svjetlosti potrebno nekoliko godina da stigne do nas s udaljene zvijezde, mora se negdje održati i poduprijeti nečim materijalnim”.*

Hendrik Lorentz: *“Ne mogu, a da ne smatram da je eter obdaren određenim stupnjem supstancijalnosti, koliko god bio različit od obične materije”.*

Nikola Tesla: *“Svi pokušaji da se objasni funkcioniranje svemira bez prepoznavanja postojanja etera i nezamjenjive uloge koju ima, uzaludni su i osuđeni su na zaborav”.*

“Priroda je u svemiru pohranila beskonačnu energiju. Vječni primatelj i odašiljalac ove beskonačne energije je eter”.

“Smatram se prvim otkrivačem istine koja se može izraziti izjavom: Eto nema energije u materiji osim one koju je dobila iz okoliša (etera)”.

Paul Dirac: *“Prirodno je svjetlo promatrati kao brzinu neke stvarne fizičke tvari. Dakle prinuđeni smo imati eter”.*

“Znanje u fizici je jako napredovalo od 1905., a situacija u pogledu znanstvene vjerodostojnosti etera ponovno se promijenila tako da je u novoj elektrodinamičkoj teoriji, prema kojoj je vakuum ispunjen virtualnim česticama, prilično smo prisiljeni prihvatiti postojanje etera”.

John Bell: *“Eter je pogrešno odbačen na čisto filozofskim (pozitivističkim) osnovama – da ono što je neopažljivo ne postoji.”*

Albert Einstein: Suprotno uvriježenom mišljenju bio je ipak pobornik etera, premda ga je isprva u razradi posebne teorije relativnosti 1905. energično odbacio autoritativno rekavši: *“Uvođenje ‘svjetlonosnog etera’ pokazat će se suvišnim.”*

No, 1919. predomislio se i u pismu Lorentzu je napisao: *“Bilo bi ispravnije da sam se ograničio samo na isticanje nepostojanje brzine ‘eterskog vjetra’, umjesto da argumentiram potpuno nepostojanje etera. Negirati postojanje etera, u krajnjoj liniji, znači negirati sva fizička svojstva praznog prostora.”*

U svojem inauguracijskom predavanju na univerzitetu u Leidenu 1920. na temu *Eter i teorija relativnosti* izjavio je: *“Rekapitulirajući možemo reći da je prema općoj teoriji relativnosti svemir obdaren fizičkim svojstvima. U tom smislu postoji eter. Prostor bez etera je nezamisliv. Ne samo da ne bi bilo širenja svjetlosti, nego niti standarda prostora i vremena.”*

Te dvije kasnije Einsteinove izjave o eteru u očitoj su suprotnosti s njegovom prvotnom izjavom iz 1905., ali njemu protuslovlje samom sebi, zavisno o aktualnoj potrebi i prigodi, očito nije bilo strano ako mu je to bilo od koristi.

N. E. Žukovski: *“Uvjeran sam da će problemi ogromnih brzina i osnovni problemi elektromagnetske teorije biti riješeni uz pomoć stare mehanike Galilea i Newtona.”*

K. E. Ciolkovski: *“Ne slažem se s onim znanstvenicima koji su očajavali objasniti fenomen prirode mehaničkim sredstvima. Čini mi se da najnoviji put znanstvenog istraživanja neće dugo trajati – ponovno će se okrenuti mehaničkim osnovama.”*

F. S. Zajcev & V. L. Bičkov na samom početku opsežnog predgovora svoje opsežne knjige [7] napisali su: *“U suvremenoj fizici, nakon više od pola stoljeća zabora-*

va, tumačenje prirodnih pojava pomoću hipoteze o prisutnosti fizičkog vakuuma, kao medija u kojem se odvijaju svi procesi, ponovno postaje rašireno. Taj medij, nadalje, nazivamo eter.”

Literatura

- [1] Ivan Supek, *Teorijska fizika i struktura materije*, prvi dio, šesto izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 1992.
- [2] Ivan Supek, *Moderna fizika i struktura materije*, drugo prošireno izdanje, Novinsko izdavačko preduzeće Tehnička knjiga, Beograd, 1965.
- [3] Marko Grba, *Fizika nakon čuda 1905. – Nove teorije, neočekivani obrati i fantastični eksperimenti moderne fizike*, Alfa d.d., Zagreb, 2016.
- [4] Branko Vasiljev, *Zašto je najpoznatiji 'propali' eksperiment stvarno i slavno 'propao'?*, preuzeto 2024. s <https://vaso.weebly.com/michelson-morley.html>
- [5] James Marsen, *A Michelson-Morley Type Experiment Should be Performed in Low Earth Orbit and Interplanetary Space*, preuzeto 2019. s https://www.researchgate.net/publication/333865449_A_Michelson-Morley_Type_Experiment_Should_be_Performed_in_Low_Earth_Orbit_and_Interplanetary_Space
- [6] E. W. Silvertooth, *Experimental detection of the ether*, May 1986., preuzeto s <http://www.rexresearch.com/pdf/Experimental%20detection%20of%20the%20ether.pdf>
- [7] E. W. Silvertooth, *Special relativity*, Nature, vol. 322, August 14, 1986., preuzeto 2024 s <https://www.nature.com/articles/322590b0>
- [8] Reginald T. Cahill, *A New Light-Speed Anisotropy Experiment: Absolute Motion and Gravitational Waves Detected*, preuzeto s <https://progress-in-physics.com/2006/PP-07-15.PDF>
- [9] Jeremy Fiennes, *The Aether*, 2020., preuzeto 2021. s https://www.researchgate.net/publication/341219567_The_Aether
- [10] Stephan J. G. Gift, The University of the West Indies, St. Augustine, Trinidad and Tobago: *Detection of the Ether Using the Global Positioning System*, Applied Physics Research; Vol. 13, No. 1; 2021, Online Published by Canadian Center of Science and Education, April 7, 2021. preuzeto 2024. s https://www.researchgate.net/publication/344312942_Detection_of_the_Ether_Using_the_Global_Positioning_System
- [11] Ioan-Iovitz Popescu, *Ether and Etherons - A Possible Reappraisal of the Ether Concept*, Translated from the Rumanian Academy Journal of Physics, vol. 34, 1982.
- [12] F. S. Zaitsev, V. L. Bychkov, *Mathematical Modelling of Electromagnetic and Gravitational Phenomena by the Methodology of Continuous Media Mechanics*, MAKSPress, Moskva 2021., preuzeto 2024. s http://eth21.ru/index_en.html
- [13] Musa D. Abdullahi, *An Electric Field Model of the Aether*, Department of Physics, Umaru Musa Yar'adua University, Katsina, Nigeria, 2022., preuzeto s https://www.researchgate.net/publication/338013447_AN_ELECTRIC_FIELD_MODEL_OF_AETHER
- [14] Eugenie Samuel Reich, *Neutrino experiment replicates faster-than-light finding*, Nature, November 2011, preuzeto s <https://www.nature.com/articles/nature.2011.9393.pdf>
- [15] <https://en.wikipedia.org/wiki/GW170817>

Ivan Šimatović

AETHER IN PHYSICS: YES, NO, OR STILL – YES!

The stone which the builders rejected became the chief cornerstone.

Abstract: The ether hypothesis in 19th century physics and its abandonment are presented. New experimental researches are clearly cited that point to its existence, but this is not respected by the scientific mainstream. The necessity of an immediate re-examination of the aether hypothesis, which has been rejected by consensus of the scientific mainstream, and the validity of the second postulate of the *Special relativity theory* is pointed out that favours constancy, isotropy and unsurpassability of the vacuum speed of light.

Keywords: ether, light, longitudinal wave, quantum vacuum, isotropy

Ivan Šimatović

NIKOLA TESLA – NEPOKOLEBLJIVI POBORNIK ETERA

Sažetak: Prikazana je hipoteza o svjetlonosnom eteru u fizici krajem XIX. stoljeća i njezino napuštanje početkom XX. stoljeća. Unatoč tome Nikola Tesla je čitav život bio nepokolebljivo uvjeren u postojanje etera. Opisan je Teslin koncept etera i svjetlosti kao zvučnog uzdužnog vala u eteru i obrazložena je njegova fizikalna osnovanost.

Ključne riječi: eter, svjetlost, uzdužni val, Tesla, Einstein

1. Hipoteza o eteru, njezino napuštanje i dogovorno odbacivanje

U završnici XIX. i početkom XX. stoljeća, kad se Nikola Tesla školovao i uspijao prema vrhuncu svoje otkrivačke i izumiteljske karijere svjetskog značaja, hipoteza o nužnosti postojanja svjetlonosnog, luminifernog, etera i njegove teorijske razrade bile su u fizici u kulminaciji i opće prihvaćene. Smatralo se da je eter nevidljiva i nedetektibilna tvar, neviskozan fluid ili plin koji kontinuirano ispunjava svemirski prostor i omogućuje gravitacijsko, električno i magnetsko međudjelovanje na daljinu (lat.: *actio in distans*). Eterom se, kao prijenosnim medijem, velikom brzinom rasprostiru elektromagnetski valovi i svjetlost.

U tadašnjoj fizici svjetlonosni eter držao se neophodnom sastavnicom prostora jer se smatralo logičnim i neupitnim da širenje svjetlosti, kao i zvučnih valova, nije moguće bez medija koji ima mehaničke i kinetičke osobine. Budući da svjetlost ima valna svojstva i titra poprečno, eter je kao idealan neviskozni fluid, koji ne pruža otpor gibanju tijela, ujedno morao imati odlike savršeno elastične (kvazi)krutine koja može bez prigušenja prenositi uzdužna i poprečna naprezanja ovisno o vrsti vala koji se njime širi, kao uzdužan ili poprečan.

Zbog tih dvaju posve oprečnih i nespojivih zahtjeva teorija svjetlonosnog etera postala je krajem XIX. stoljeća prenapregnuta, nevjerodostojna i neprihvatljiva. Njezinom zapadanju u nemilost, postupnom napuštanju i naposljetku dogovornom odbacivanju početkom XX. stoljeća uvelike su doprinijela dva ključna događaja u fizici:

- neočekivano skromni ishodi Michelson-Morleyevih interferometrijskih eksperimenata 1881. i 1887. kojima se nije moglo odrediti očekivanu orbitalnu brzinu gibanja Zemlje od 30 km/s prema pretpostavljenom stacionarnom svjetlonosnom eteru u svemiru te
- pojava i bljeskovit uspon Einsteinove *Posebne teorije relativnosti* 1905. On je, radeći na njoj, proizvoljno ustvrdio da za širenje svjetlosti nije potreban eter te da se ona samostalno širi praznim prostorom univerzalnom i neprekoračivom brzinom $c_0 \approx 300\,000$ km/s.

2. Teslini pogledi na eter

Nikola Tesla upoznao se s hipotezom o eteru vjerojatno još tijekom pohadaanja Cesarske i kraljevske velike realke u Rakovcu (1870. – 1873.), a temeljitije tijekom studija politehnike u Grazu (1875. – 1877.), jer je tada eter bio nezaobilazno gradivo u nastavi fizike, budući da je bio neraskidivo povezan s konceptom elektromagnetizma. Otada je zasigurno Teslu eter toliko zadivio i zainteresirao da mu je čitav život bio i ostao trajna preokupacija i snažan poticaj u istraživanjima, a posebice na mogućnosti pridobivanja električne energije iz etera.

Teslini pogledi na eter i njegovu ključnu ulogu razvijali su se tijekom vremena i bili su u njegovoj zreloj dobi vrlo složeni. Eter nije držao samo suptilnim medijem kojim se šire elektromagnetski valovi i svjetlost, već i kao temeljnu ili prvotnu supstanciju od koje je sazdana sva materija i energija u svemiru.

U vječnom neprekidnom procesu ona se pojavljuje iz etera i istovremeno se u njemu rastvara, što je danas neupitno u fizici kvantnog vakuuma. Tesla je bio čvrsto uvjeren da razumijevanje etera, kao aktivnog čimbenika fizičke stvarnosti koji strukturno ujedinjuje u neraskidivu pojmovnu cjelinu prostor, materiju i energiju, može dati uvid u nove mogućnosti jeftinog pridobivanja električne energije te omogućiti dublje sagledavanje prirodnih sila koje vladaju svemirom.

Kako je Tesla poimao eter posebno je prikazano u intervjuu [4] za koji se pretpostavlja da je njegov (tada je u Americi bilo nekoliko osoba tog imena):

“Sada se puno govori o Einsteinovoj teoriji. Ovaj mladić dokazuje da ne postoji eter, a mnogi se slažu s njim. Ali, po mom mišljenju, to je pogreška. Protivnici etera,

kao dokaz, pozivaju se na Michelson-Morleyjeve eksperimente koji su pokušali otkriti kretanje Zemlje u odnosu na stacionarni eter. Njihovi eksperimenti završili su neuuspjehom, ali to ne znači da eter ne postoji. U svojim radovima uvijek sam se oslanjao na postojanje mehaničkog etera i stoga sam postigao određeni uspjeh.

Što je eter i zašto ga je tako teško otkriti? Dugo sam razmišljao o ovom pitanju i evo zaključaka do kojih sam došao. Poznato je da što je tvar gušća, to je veća brzina širenja različitih valova u njoj. Uspoređujući brzinu zvuka u zraku s brzinom svjetlosti došao sam do zaključka da je gustoća etera nekoliko tisuća puta veća od gustoće zraka.

Ali eter je električki neutralan i stoga vrlo slabo stupa u interakciju s našim materijalnim svijetom, štoviše, gustoća supstancije materijalnog svijeta je zanemariva u usporedbi s gustoćom etera. Nije eter bestjelesan – već je to naš materijalni svijet koji je bestjelesan (transparentan) za eter.

Unatoč slabijoj interakciji još uvijek osjećamo prisutnost etera. Primjer takve interakcije očituje se u gravitaciji, kao i u oštrom ubrzanju ili usporavanju. Mislim da su zvijezde, planeti i cijeli naš svijet nastali iz etera kad je, iz nekog razloga, njegov dio postao manje gust.

Komprimirajući naš svijet sa svih strana eter se pokušava vratiti u prvobitno stanje, a unutarnji električni naboj u supstanci materijalnog svijeta to sprječava. S vremenom, nakon što izgubi svoj unutarnji električni naboj, naš svijet će biti komprimiran eterom i sam će se pretvoriti u eter. Došao je iz etera i otići će u eter.“

Tesla je, nadalje, bio vrlo kritičan prema Einsteinovom negiranju etera:

“U svojem istraživanju uvijek se pridržavam načela da se sve pojave u prirodi, u kojem se god fizičkom okruženju pojavile, uvijek manifestiraju na isti način. Valovi su u vodi, i u zraku, a radio valovi i svjetlost su valovi u eteru.

Einsteinova tvrdnja da ne postoji eter je pogrešna. Teško je zamisliti da postoje radiovalovi, ali ne postoji eter – fizički medij koji prenosi te valove. Einstein pokušava objasniti širenje svjetlosti u odsutnosti etera Planckovom kvantnom hipotezom. Pitam se kako Einstein, bez postojanja etera, može objasniti kuglaste munje? Einstein kaže – ne postoji eter, ali on zapravo dokazuje njegovo postojanje.

Uzmimo, na primjer, brzinu širenja svjetlosti. Einstein izjavljuje – brzina svjetlosti ne ovisi o brzini kretanja izvora svjetlosti. I to je točno. Ali ovo pravilo može postojati samo kada je izvor svjetlosti u određenom fizičkom okruženju – eteru – koji svojim svojstvima ograničava brzinu svjetlosti. Tvar etera ograničava brzinu svjetlosti na isti način na koji tvar zraka ograničava brzinu zvuka. Da nema etera tada bi brzina svjetlosti izrazito ovisila o brzini kretanja izvora svjetlosti.”

Osim tog intervjua poznato je još nekoliko sažetih Teslinih pogleda na eter i njegovu ključnu ulogu u prirodnim pojavama i njihovom razumijevanju:

“Svi pokušaji da se objasni funkcioniranje svemira bez prepoznavanja postojanja etera i nezamjenjive funkcije koju ima, uzaludni su i osuđeni su na zaborav.”

“Priroda je u svemiru pohranila beskonačnu energiju. Vječni primatelj i odašilatelj ove beskonačne energije je eter.”

“Smatram se prvim otkrivačem istine koja se može izraziti izjavom: Eto nema energije u materiji osim one koju je dobila iz okoliša (etera).”

Nedvojbeno je da je znatan utjecaj na Teslino složeno poimanje etera imalo njegovo kratkotrajno te obostrano plodonosno druženje s Ramakrišinim učenikom Swāmijem Vivekānandom, hindskim redovnikom, filozofom i piscem te veoma inteligentnim i entuzijastičnim duhovnim učiteljem. On je, po nalogu svoje duhovne zajednice, nekoliko godina putovao Europom i Amerikom i održavao je brojna predavanja da bi odveć pragmatičnim te nedovoljno produhovljenim zapadnjacima, duboko ogrezlim u materijalizam, približio na njima razumljiv način, dalekosežne vedske pojmove te duhovne poglede na svijet i život koji čine tradicionalnu hindsku religiju.

Tesla je, nakon što je u ožujku 1895. veliki požar uništio njegov bogato opremljen istraživački laboratorij u njujorškoj V. aveniji, bio na dulje vrijeme onemogućen u otkrivačkom radu pa je stoga imao dovoljno vremena za pohađanje Vivekānandinih duhovnih predavanja u New Yorku koja su pobudila velik interes intelektualne javnosti. Početkom 1896. Tesla se s njim napokon upoznao i u prijateljskim druženjima vodili su žustre rasprave. Vivekānanda ga je pobliže upoznao s *Vedama* i *vedāntom*, a posebice ga je živo zainteresirao za proučavanje zapadnjacima slabo poznatih te dalekosežnih vedskih koncepata *akaše* i *prane*, njihova pojašnjenja data su Prilogu.

Tesla je otada, radeći na temama materije i energije, inspiriran dubokoumnim konceptima *akaše* i *prane*, u tom smjeru značajno nadogradio svoje dotadašnje poimanje etera i razvio je novi osebujan pogled na prirodne pojave. Otada ih je sve počeo gledati u terminima frekvencija, energija i vibracija.

U nadograđenom poimanju etera načinio je sintezu tadašnjeg zapadnjačkog znanstvenog shvaćanja etera i drevnog vedskog poimanja *akaše* iz koje nastaje sva materija u svemiru i *prane* koja ju, kao životodajna energija, pokreće. Povezivanjem tih dvaju komplementarnih pristupa izgradio je svoje duboko uvjerenje u opće ujedinjujuće načelo koje predstavlja temelj sveukupne fizičke stvarnosti.

Tako obogaćena Teslina koncepcija etera, prema kojoj on nije samo prijenosni medij kojim se šire elektromagnetski valovi, već je i neiscrpan izvor

energije, bila je u tijesnoj svezi s njegovim pogledima na energiju. Otada ga je veoma zaokupilo iznalaženje mogućnosti pridobivanja električne energije iz posvuda dostupne slobodne neiscrpne energije pohranjene u eteru i njezin bežični prijenos do mjesta potrošnje, što je nastojao istražiti 1899. nadaleko poznatim spektakularnim visokona-ponskim eksperimentima u Coloradu Springsu.

Unatoč tome što je znanstvena središnjica početkom XX. stoljeća, nakon brojnih rasprava koje su trajale gotovo tridesetak godina, konsenzusom odbacila svjetlosni eter kao nepotreban Tesla je, kao neovisan dubokoumni istraživač, ostao i dalje nepokolebljivo uvjeren u nužnost i neupitnost njegovog postojanja.

Držao je da je eter neophodan za razumijevanje prave prirode i funkcioniranje svemira pa je njegovo ishitreno napuštanje i odbacivanje smatrao korakom unazad u znanosti koji je zaustavio nove poglede u fizici. Radi toga je, po njegovom mišljenju, u njoj došlo do kružnog rezoniranja neprestanim vraćanjem na stare, već ispitane te napuštene ideje i dotrajale koncepcije.

Zbog toga, te radi neprihvatanja novih pogleda u novonastaloj teorijskoj fizici proizašlih iz Einsteinove *Posebne teorije relativnosti*, koju je smatrao odveć spekulativnom i apstraktnom radi njezine posvemašnje odvojenosti od fizičke stvarnosti, počeo je gubiti na vjerodostojnosti u stručnim i znanstvenim krugovima pa je bio marginaliziran. Tome je uvelike doprinijela i činjenica da nije stekao visokoškolsku diplomu pa su znanstveni krugovi od njega sve više zazirali.

Unatoč tome on je ubrzo za svoja epohalna otkrića i izume, kojima je trajno zadužio čovječanstvo, postao je počasnim dopisnim članom deset nacionalnih akademija znanosti, a jedanaest europskih sveučilišta dodijelilo mu je počasni doktorat – među njima su JAZU (1896.) i Sveučilište u Zagrebu (1926).

3. Teslin koncept svjetlosti kao “zvučnog vala u eteru”

U intervjuu koji je Tesla dao dnevnom listu *The New York Times* od 8. travnja 1934. na pitanje o širenju radio valova i svjetlosti kratko i jasno je odgovorio: “*Smatram ovo izuzetno važnim. Svjetlost ne može biti ništa drugo nego uzdužni poremećaj u eteru koji uključuje njegova naizmjenična zgušćivanja i razrjeđivanja. Drugim riječima, svjetlost ne može biti ništa drugo nego zvučni val u eteru*” [1].

Budući da je prema suvremenim sofisticiranim i dovoljno točnim GPS mjerenjima trajanja jednosmjernog rasprostiranja signala po istoj trasi u protivnim smjerovima nepobitno utvrđeno postojanje učinaka ‘*eterskog vjetra*’ na brzinu širenja signala, što upućuje da dogovorno ishitreno odbačeni eter ipak postoji i blago remeti izotropnost prostora. Stoga valja ispitati je li Teslino osebužno poimanje naravi i širenja svjetlosti,

lakonski izrečeno da je “*svjetlost zvučni val u eteru*”, fizikalno smisleno i održivo.

Prema klasičnoj elektrodinamici svaki val, uključujući i svjetlost, je dvodimenzionalno titrajući *dvoval* jer objedinjuje val vrtložnog električnog i val vrtložnog magnetskog polja koji zajedno putuju istom brzinom duž valne zrake. Pritom oba međusobno okomita poprečna polja u valnoj fronti sinkrono titraju.

Budući da su u valnoj fronti dva međusobno okomita poprečna smjera zauzeta titranjem $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ polja za Teslino pretpostavljeno titranje etera ostaje raspoloživ jedino slobodan uzdužni smjer. Intuitivno je zaključio i držao logičnim da uzdužno titranje etera predstavlja osnovni (primarni) val, a kao prateći pridružuju mu se duž valne zrake poprečni val električnog i poprečni val magnetskog polja koji su međusobno okomito polarizirani. Stoga se može reći da je putujući elektromagnetski val, prema Teslinom viđenju, u svojoj biti *troval*, slika 1, koji u valnoj fronti usklađeno titra trodimenzionalno i objedinjuje:

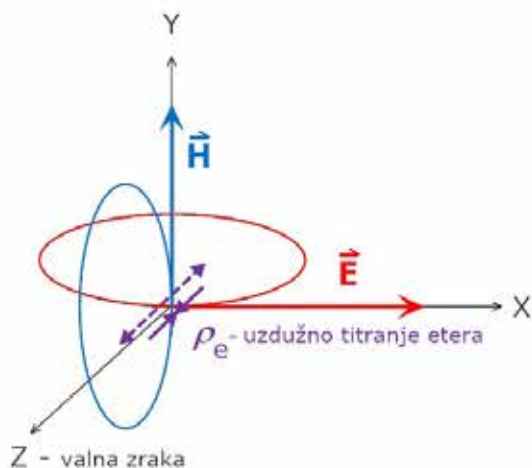
- poprečni vektorski val električnog polja $\mathbf{E}(z,t)$,
- na njega okomit poprečni vektorski val magnetskog polja $\mathbf{H}(z,t)$ te
- skalarni val uzdužnog titranja etera – njegovo naizmjenično radijalno zgušćivanje i razrjeđivanje $\rho_e(z,t)$ u ritmu titranja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ polja.

Pri tom vjerojatno u valnoj fronti postoji pulsirajuća razmjena akumulirane energije između elektromagnetskog polja i etera – kad jakost polja opada njegova energija akumulira se u eteru, a kad jakost polja raste ona se povlači iz etera u polje. Pritom Poyntingov vektor uzdužno titra u ritmu etera.

U prilog Teslinom viđenju da bi uzdužni eterski val u elektromagnetskom *trovalu* doista mogao biti noseći val za $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ polje upućuje njihovo poprečno sinkrono titranje u valnoj fronti, pa ima mjesta pretpostavci da ga podržava nezamjetno uzdužno titranje etera koje se radijalno širi duž valne zrake, ili radij-vektora, kao njegovo vrlo brzo naizmjenično zgušćivanje i razrjeđivanje.

Takva konstelacija skladnog trodimenzionalnog uzdužno-poprečnog valnog titranja etera i pratećeg elektromagnetskog polja je fizikalno neproturječna i održiva je jer samo poprečno solenoidno $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ polje u valnoj fronti imaju rotacije $\text{rot } \mathbf{E} \neq \mathbf{0}$ i $\text{rot } \mathbf{H} \neq \mathbf{0}$ kao temeljnu značajku vrtložnih polja.

Stoga u fizici ne stoji uvriježeno mišljenje da oba polja u elektromagnetskom valu titraju poprečno jer nema etera koji bi podržavao njihovo uzdužno titranje – naprotiv, ona nužno tako titraju jer su vrtložna. Uzdužno, naime, može titrati samo izvorno električno polje u prostoru prožetom slobodnim nabojima kao Teslini longitudinalni stacionarni valovi električnog skalarnog potencijala [7].



Sl. 1. – Valna fronta EM trovala s vektorima i silnicama vrtložnog $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ polja, koja sadrži Teslino pretpostavljeno uzdužno titranje etera (zgušćivanje i razrjeđivanje)

Time postaje razvidno da krajem XIX. stoljeća napuštena krajnje prenapregnuta hipoteza o svjetlonosnom eteru, koji bi ujedno morao biti posve proturječna i nespojiva kombinacija idealnog fluida i savršeno elastične (kvazi)krutine, doista nije potrebna.

Da bi svjetlost, prema Teslinom viđenju, primarno bila “*zvučni val u eteru*” nužno i dovoljno je samo da je eter kontinuiran, pokretan i stišljiv fluidni medij koji u svakoj točki prostora određenoj radij-vektorom $\mathbf{r}$ u svakom trenutku t ima gustoću $\rho_e(\mathbf{r}, t)$ i brzinu strujanja $\mathbf{u}(\mathbf{r}, t)$, što je logično i za fiziku bi trebalo biti prihvatljivo, kako to drže ruski akademici Bičkov i Zajcev koji sva svoja istraživanja i radove zasnivanju na postojanju etera pod drugim nazivom – u vidu dobro znanog i neupitnog fizičkog (kvantnog) vakuuma koji predstavlja inherentnu supstanciju prostora.

Prilog – Pojašnjenja vedskih pojmova

Akaša (sanskrt *akasha*) proizlazi iz korijena *kas* što znači *biti* s generičkim značenjem *otvoren prostor, praznina*. U tradicionalnoj hinduskoj kozmologiji podrazumijeva zamišljen esencijalni eterični fluid koji prožima svemir i analogna je eteru u klasičnoj fizici od XVII. do početka XX. stoljeća. *Akaša* je pri nastanku svemira prva stvorena i od nje su sazdani temeljni gradbeni elementi svijeta - zrak, vatra, voda, zemlja.

Akaša predstavlja zvukonosni (sonoferni) medij kojim se kreacijom, svemirom, posvuda širi stvaralački zvuk OM. *Akaša*, za razliku od etera, predstavlja i svojevrsnu samoožurirajuću titansku memoriju (pamćenje) svemira u kojoj su trajno zabilježeni svi događaji koji su se do sada u njemu zbili. To su tzv. akašički zapisi i u njima su neizbrisivo sadržani svi prirodni zakoni i prateće konstante.

Prana predstavlja univerzalnu praiskonsku kozmičku životodajnu energiju (chi, životni dah) koja postoji u svim stvarima te oživljava kreaciju svemira i sva živa bića. Predstavlja sveukupnu energiju svemira – manifestiranu i nema-nifestiranu. Suptilna je i nezamjetna u statičkom stanju, ali je dinamična kad se aktivira vibracijama. Tada se očituje kao toplina, svjetlost elektricitet i magnetizam. Ona nas povezuje s cijelim svemirom i temeljna je prirodna sila (energija) koja stoji iza našeg fizičkog, mentalnog i duhovnog blagostanja, zdravlja.

Literatura

- [1] *The New York Times*, *An Inventors Seasoned Idea*, April 8, 1934, preuzeto s: <https://teslauniverse.com/nikola-tesla/articles/tesla-sees-evidence-radio-and-light-are-sound>
- [2] Eugene F. Mallove, *Tesla and the Aether*, ISSUE 48, 2003, Infinite Energy, preuzeto s poveznice: <https://infinite-energy.com/iemagazine/issue48/teslaandtheaether.pdf>
- [3] *Nikola Tesla and His Concepts Regarding the Ether*, preuzeto s poveznice: <https://philosophicalmindspodcast.com/2024/09/nikola-tesla-and-his-concepts-regarding-the-ether/>
- [4] *Nikola Tesla about the World Aether*, preuzeto s poveznice <https://aetux.com/the-world-aether/>
- [5] Velimir Abramović, *Tesla evolucija svesti čovečanstva*, Draslar partner, Beograd 2015.
- [6] Goran Marjanović, *Physics of ether in Vedic knowledge and technologies of Nikola Tesla*, autorski članak, Beograd 2024., preuzeto s poveznice: users.beotel.net/~gmarjanovic/PhysOfEtherVedicTesla.pdf
- [7] Ivan Šimatović, *Teslini longitudinalni stacionarni valovi električnog skalarnog potencijala*, 10. Simpozij Povijest i filozofija tehnike, FER Zagreb, 2023.

Ivan Šimatović

NIKOLA TESLA – A STEADY SUPPORTER OF AETHER

Abstract: The hypothesis of the luminiferous aether in physics in late 19th century and its abandonment at the beginning of the 20th century are presented. Despite this, Nikola Tesla remained unwaveringly assured in the existence of the aether throughout his life. Tesla's concept of aether and light as a longitudinal sound wave in the aether is described and its physical adequacy is explained.

Keywords: ether, light, longitudinal wave, Tesla, Einstein

Miroslav Plohl

RAZVOJ TEHNIKA SEKVENCIRANJA I ISTRAŽIVANJE SATELITNIH DNK

Sažetak: Sekvence molekule deoksiribonukleinske kiseline (DNK), ponovljene uzastopno u velikom broju kopija u genomima biljaka, **životinja i** gljiva nazivamo satelitne DNK. Istraživanje genomskeg sadržaja i točnog slijeda satelitnih DNK najviše je ograničeno tehnikama sekvenciranja, tj. 'čitanja' molekule DNK. Uzrok tomu je velika sličnost jedinica ponavljanja satelitnih DNK, koja predstavlja poteškoću pri preklapanju sekvenciranih segmenata, njihovog pravilnog postavljanja u odnosu na ostale sekvence DNK u genomu te u konačnici, pri sastavljanju kromosomske i genomske DNK kao neprekinute cjeline. Razvojem tehnika sekvenciranja i specijaliziranih računalnih pristupa dramatično su se mijenjali i koncepti razumijevanja broja, rasporeda, evolucije i uloge satelitnih DNK. Prva sekvenciranja DNK u Hrvatskoj, prije gotovo 40 godina, bila su povezana s istraživanjem satelitnih DNK kukca žutog brašnara *Tenebrio molitor* i njegovih srodnika. U ovom izlaganju biti će prikazana povezanost napretka u tehnikama sekvenciranja i istraživanjima satelitnih DNK, zahvaljujući kojima se mijenjao naš pogled na ove sekvence, od genomskeg balasta do važnih funkcionalnih komponenata.

Ključne riječi: DNK, genom, tehnike sekvenciranja, satelitne DNK, žuti brašnar

Uvod

Istraživanje strukture gena¹ i genoma² razvijalo se je usporedno s tehnologijom čitanja nukleotidne sekvence molekule deoksiribonuklinske kiseline (DNK)³ i bioinformatičkim alatima koji su potrebni za pohranu i obradu prikupljenih podataka. U istraživanjima genoma poseban problem predstavlja sekvenciranje i obrada sekvenci DNK koje se ponavljaju u velikom broju kopija. Kako bi se moglo razjasniti kakve su to sekvence i zašto njihova analiza predstavlja poteškoću te kako je postupan razvoj specifičnih metoda doveo do sve boljeg razumijevanja njihove organizacije, evolucije i uloga, potrebno je prvo osvrnuti se na sam fenomen biološkog nasljeđivanja.

Najkraće rečeno, molekula DNK sadrži osnovni nacrt kako će neki organizam izgledati i kako će funkcionirati⁴. Cjelokupni genom predstavlja dobro uređen sustav, bez obzira što ulogu pojedinih genomskih komponenti (još uvijek) ne razumijemo u potpunosti. Ili, kao što je još 1968. godine naglasio biolog i filozof znanosti Ludwig von Bertalanffy⁵ u svojoj knjizi *Opća teorija sustava*⁶ [I]: ‘...genom kao cjelina proizvodi organizam kao cjelinu. Određeni geni, međutim, u prvom redu određuju smjer razvoja određenih značajki – tj. djeluju kao glavni dijelovi’ (str. 63 u hrvatskom prijevodu). Također naglašava: ‘Mendelovi zakoni bili su korijeni genetike, ali – nasljednost, križna razmjena, učinak položaja koda i još mnogo toga – bio je to samo mali

¹ Gen je segment molekule DNK odgovoran za neku funkciju ili osobinu. Geni u najvećem broju (oko 80%) kodiraju proteine ili bjelančevine, a ostatak kodira molekule ribonukleinske kiseline (RNK) koje su već kao takve funkcionalni elementi staničnih struktura i procesa.

² Genom je sveukupna DNK sadržana u nekom organizmu.

³ Molekulu DNK izgrađuju osnovni elementi ili nukleotidi, skraćeno nazvani A, T, G, i C. Raznolikost u njihovom uzastopnom slijedu osnova je informativnosti ove molekule. Određuje se metodama sekvenciranja DNK.

⁴ Genomska DNK u asocijaciji s proteinima ‘pakirana’ je u mikroskopskim strukturama koje zovemo kromosomi. Svaki kromosom sadrži jednu cjelovitu molekulu DNK. Genom svake vrste podijeljen je na točno definiran broj kromosoma prepoznatljive morfologije.

⁵ Karl Ludwig von Bertalanffy, Beč, Austrija, 1901. – Buffalo, SAD, 1972.; biolog i filozof širokog obrazovanja: u matematici, teoriji informacija, termodinamici, biokemiji, biofizici, medicini, psihologiji, lingvistici i drugim. Nominaciju za Nobelovu nagradu prekinula je iznenadna smrt 1972. godine. Bertalanffyjeve jednadžbe (1934) koje opisuju rast organizma, populacija, biocenoza, stanica (npr. malignih stanica) koriste se i danas.

⁶ U knjizi *General System Theory: Foundations, Development, Applications* (1968) Ludwig von Bertalanffy donosi kompilaciju svojih prethodnih radova i ideja kojima ukazuje na opće zakonitosti koji povezuju prirodna, tehnička i društvena područja istraživanja. Knjigu su prvi put na hrvatski jezik preveli prof.dr.sc. Zvonko Benčić i prof.dr.sc. Franjo Jović, u izdanju Kiklos – krug knjige, Zagreb, 2022.

dio genetičkog iskustva koje se može opisati klasičnim zakonima' (str. 166). Ovim promišljanjima, naglasio je kako proučavanje samih gena nije dovoljno da bi se objasnilo funkcioniranje složenih eukariotskih⁷ organizama. Ova, u tom trenutku tek intuitivna pretpostavka, pokazala se točnom. Cjelokupno nasljeđe Bertalanffyevih ideja i Opća teorija sustava (OTS) revitalizirane su osobito u zadnjim godinama te se primijenjuju i proučavaju u različitim područjima znanosti [2, 3].

U referatu na simpoziju PIFT 2023 [4] opisao sam problem odnosa veličine eukariotskih genoma, broja gena i negenske (nekodirajuće) DNK, često zvane i genom-ska tamna materija. Veličina genoma značajno se razlikuje među vrstama, a zanimljivo je da ne slijedi evolucijsko stablo, odnosno složenost organizma. Geni zauzimaju iznenađujuće mali udio u genomu, u pravilu $< 2\%$. S obzirom na činjenicu da geni kodiraju funkcionalne molekule koje sudjeluju u različitim strukturama i procesima, dugo vremena bilo je otvoreno pitanje: čemu bi uopće mogao služiti ostatak (odnosno velika većina) genomske DNK? Dio znanstvenika pretpostavljao je da je genom-ska tamna materija nefunkcionalna te da predstavlja genomski balast koji je sam sebi svrha, a gomila se kao „sebična“ ili „parazitska DNK“. U najvećem dijelu predstavljaju ju sekvence DNK koje se ponavljaju, neke čak i više stotina tisuća puta. Možemo ih podijeliti u dvije velike skupine. U prvoj su sekvence koje se ponavljaju u uzastopnom slijedu te tako čine duge nizove generičkog naziva satelitne DNK. Genom svake vrste sadrži sebi svojstven komplet satelitnih DNK, koji se već među bliskim srodnicima razlikuje po sadržaju i/ili po broju kopija te time predstavlja evolucijski najvarijabilniju genomsku komponentu. Drugu skupinu čine sekvence DNK koje imaju sposobnost premještanja i ugradnje na nove genomske lokacije, čime nastaju raspršeno ponovljene sekvence DNK. Nazivaju se pokretni genetički elementi, ili transponirajući elementi⁸ [4, 5].

Hipoteza svrsishodnosti negenskih sekvenci DNK u skladu je s pretpostavkama Opće teorije sustava [1] prema kojima uložena materija i energija u biološkim organizmima mora pružati bar neku prednost u neprestanoj evolucijskoj kompeticiji. Upravo razdoblje od približno zadnja dva desetljeća obilježava skokovit napredak u istraživanju genomske tamne materije, zahvaljujući napretku u tehnologijama sekvenciranja DNK i bioinformatičkih analiza [6]. Dobiveni rezultati sve više potvrđuju da sve genomske komponente (kao i organizmi u cjelosti, populacije i cijeli ekosustavi)

⁷ Eukarioti su svi organizmi u čijim je stanicama genom organiziran u strukturi stanične jezgre i kromosoma; ovaj oblik organizacije genoma nemaju bakterije koje se označavaju kao prokarioti.

⁸ Pokretne genetičke elemente je 1950. godine otkrila Barbara McClintock (1902-1992). Istražujući regulaciju gena kukuruza dokazala je dinamičnu strukturu genoma. U to vrijeme smatralo se da je genom stabilan te su njezini rezultati dočekani s nevjericom. Nobelovu nagradu za fiziologiju i medicinu dobila je 1983. godine.

predstavljaju, sukladno Općoj teoriji sustava, ‘*veliku organizaciju, strukturiranu hijerarhijski u međudjelujuće sustave koji se ponašaju podjednako bez obzira o čemu se radilo*’ što odgovara integrativnom, ili kako je von Bertalanffy nazvao, ‘*organizmičkom pristupu*’ kojim treba promatrati živa bića i sve fenomene vezane uz njih, povezujući prirodna, ali i tehnička i društvena područja znanosti.

U poglavljima koja slijede opisujem kako je razvoj metoda sekvenciranja molekule DNK i specijaliziranih računalnih programa omogućio bolje razumijevanje satelitnih DNK. Određivanje nukleotidne sekvence satelitne DNK za nas ima poseban značaj, jer su upravo jedinice ponavljanja satelitne DNK kukca žutog brašnara *Tenebrio molitor* bile među prvim određenim u Hrvatskoj, 1986. / 1987. godine, na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu. To je prvobitno provedeno na ‘*home made*’ izrađenom laboratorijskom uređaju. Kako je sekvenciranje molekule DNK u svijetu u to vrijeme već bio nezaobilazan alat u svim vrstama genomske istraživanja, ubrzo su se pojavili specijalizirani servisi u koje je postalo brže i isplativije slati uzorke na sekvenciranje, uz visoku točnost dobivenih rezultata. Uz automatizaciju procesa, značajno povećanje broja istovremeno obrađivanih uzoraka te pad cijena, razvijali su se i novi pristupi, kao što su sekvenciranje sljedeće generacije⁹ i sekvenciranje dugih segmenata DNK¹⁰. Svaki od ovih pomaka u metodologiji otvorio je nove mogućnosti u sveobuhvatnijoj analizi i boljem razumijevanju satelitnih DNK. Posebno je tome doprinio razvoj baza podataka i računalnih programa specijaliziranih za analizu satelitnih DNK [6]. U odnosu na ‘ručne’ analize pojedinih jedinica ponavljanja najzastupljenijih satelitnih DNK neke vrste, što je bila standardna metoda u svijetu pred 30 i više godina, danas možemo relativno brzo opisati ukupni sadržaj ponovljenih sekvenci DNK u nekoj vrsti, a također sve bolje razumijeti i njihov linearan slijed i funkcionalni doprinos u strukturiranju genoma.

1. Molekula DNK

1.1. Osnovna svojstva molekule DNK

Strukturu molekule DNK prvi su 1953. godine objasnili Francis Crick i James Watson (Sl. 1), u znanstvenom radu objavljenom u časopisu *Nature* [7], napisanom na osnovu kristalografske analize molekule DNK X-zrakama na kojoj su radili Rosalind Franklin i Maurice Wilkins¹¹

⁹ Engl. *next generation sequencing* (NGS) omogućuje procesiranje velikog broja uzoraka.

¹⁰ Engl. *long-read sequencing*. Do sada su najpoznatije metode koje koriste Pacific Biosciences (PacBio) i Oxford Nanopore Technologies (ONT).

¹¹ Za ovo otkriće su Maurice Wilkins, Francis Crick i James Watson 1962. godine dobili Nobelovu



Sl. 1.: Francis Crick i James Watson na poznatoj fotografiji¹², na kojoj raspravljaju o strukturi molekule DNK¹³. Pojednostavljena shema molekule DNK, na kojoj su baze nanizane na uzdužnoj osi sastavljenoj od šećera deoksiriboze i fosfata. Desno su prikazani komplementarni parovi baza te ispis sekvence dvolančane DNK sa središnje sheme. U bazama podataka¹⁴ i pri bioinformatičkim analizama dovoljno je prikazati slijed baza samo jednog lanca, jer je drugi nužno komplementaran prvom prema pravilima sparivanja. Oznake 5' i 3' predstavljaju orijentaciju uzdužne osi s obzirom na povezivanje fosfatne skupine s deoksiribozom. Ukoliko nije posebno naznačeno, uvijek se prikazuje niz u smjeru 5' → 3'.

Molekula DNK je sastavljena od dva lanca koji se obavijaju jedan oko drugoga i tvore dvostruku uzvojniciu (Sl. 1). Svaki lanac sastoji se od naizmjenice poredanih šećera deoksiriboze i fosfatne skupine koji grade uzdužnu os molekule. Na svakoj deoksiribozi vezana je jedna od četiri baze koje nazivamo adenin, timin, guanin i citozin (A, T, G, C). Njihov uzastopni slijed je onaj koji svojom raznolikošću sadrži informaciju. Baze su u dvostrukoj uzvojnici okrenute jedna prema drugoj i specifično se sparuju putem slabih vodikovih veza kao parovi A=T (dvostruka veza) i G≡C (trostruka). Zagrijavanje otopine molekule DNK, kemijski agensi (npr. urea) ili enzimi u stanici mogu razdvojiti lance dvostruke uzvojnice. Razdvajanje lanaca je reverzibilno te se, npr. hlađenjem zagrijane otopine, struktura uzvojnice rekonstruira u potpunosti.

nagradu za fiziologiju i medicinu. Rosalind Franklin je umrla ranije, 1958. godine.

¹² <https://dnascience.plos.org/2023/04/20/seventy-years-since-watson-and-cricks-paper-introduced-dna-a-brief-history-of-the-molecule-of-life/>

¹³ Detaljno, npr. na <https://www.nature.com/scitable/topicpage/discovery-of-dna-structure-and-function-watson-397/>

¹⁴ Važna javna baza podataka za sekvence DNK je GenBank, dio *The National Center for Biotechnology Information* (NCBI), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/>

sti, sa sačuvanim izvornim slijedom baza. U stanici, enzimatsko razdvajanje lanaca omogućuje replikaciju, odnosno umnažanje molekule DNK, koje je potrebno kako bi se genetički materijal mogao raspodijeliti pri staničnoj diobi. Prema svakom od razdvojenih lanaca se, kao prema kalupu, sintetizira drugi, komplementaran, lanac¹⁵, čime nastaju dvije molekule s identičnim slijedom baza. One se potom raspodjeljuju u stanice koje nastaju procesom stanične diobe. Na ovom svojstvu zasniva se i enzimatsko sekvenciranje molekule DNK, kao što će biti objašnjeno u poglavlju 1.3.

1.2. Elektroforetska analiza molekule DNK

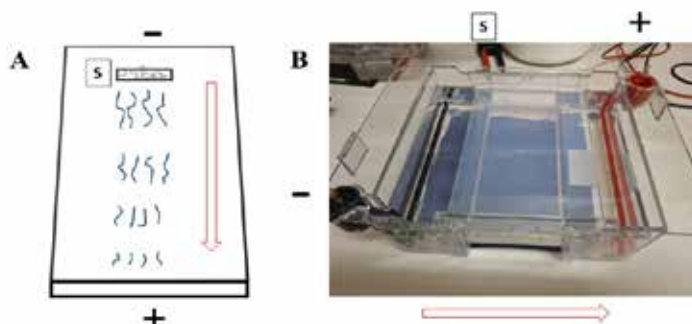
Baza s pripadajućim šećerom i fosfatom¹⁶ naziva se nukleotid i čini osnovnu jedinicu svakog lanca molekule DNK. Veličina molekule DNK može se tako izraziti brojem nukleotida, kao i brojem baza, odnosno parova baza (pb)¹⁷. Negativni naboj fosfatne skupine osnova je razdvajanja fragmenata molekule DNK u električnom polju. Kako zbog negativno nabijenih fosfata svi fragmenti imaju jednaki naboj po jedinici mase, brzina migriranja u električnom polju isključiva je funkcija duljine fragmenta. Elektroforeza fragmenata molekule DNK odvija se u poroznom matriksu, odnosno gelu. Uz poznate standarde, time je moguće odrediti veličinu fragmenta, odnosno izrezati dio gela s fragmentom točno *željene* veličine radi daljnjeg kloniranja ili neke druge svrhe. Matriks može biti načinjen kao pločica gela izlivena od agaroze¹⁸. DNK se nanese u jažicu, 'bunarić' koji je ishodište migracije na gelu uronjenom u elektrolitsku otopinu. Molekule DNK se u električnom polju probijaju kroz pore u gelu: što je fragment kraći, lakše će i brže migrirati (Sl. 2). Preciznost razlučivanja ovisi o strukturi matriksa, odnosno *što su pore manje*, razlučivanje malih fragmenata je veće. Pri određivanju nukleotidne sekvence molekule DNK pore su takve da se može vidjeti razlika u duljini od jednog nukleotida. U tom slučaju gel se priprema od poliakrilamida, polimerne kemijske supstancije.

¹⁵ Zbog ovog načina, kaže se da je replikacija molekule DNK semikonzervativna.

¹⁶ Svaki fosfat nosi negativni naboj na šećer-fosfatnoj osi molekule DNK.

¹⁷ Na primjer, veličina ljudskog genoma je 6,27 giga baza, raspodijeljenih na 23 pari kromosoma. Pri standardnim metodama izolacije DNK iz organizma ili iz tkiva ovako duge molekule popucaju na duljinu od oko 20 kb.

¹⁸ Agarozu je složen oblik šećera, a dobiva se ekstrahiranjem iz crvenih algi. Za elektroforezu molekule DNK agarozu se priprema u rasponu koncentracija od 0,5-2%, ovisno o željenom razlučivanju fragmenata DNK. Zagrijavanjem se otopi i izlije u kalup u kojem se oblikuje elektroforetska pločica.



Sl. 2. A: Princip elektroforetskog razdvajanja fragmenata DNK. Negativno nabijeni fragmenti DNK migriraju kroz pore u gelu prema pozitivnoj elektrodi. Manji fragmenti se 'provlače' kroz pore brže nego veliki, dok oni najveći ostaju u jažici u koju se nanosi uzorak, na slici označena kao S (start). B: Suvremena kadica za elektroforezu molekule DNK tvrtke Bio-Rad. Znakovima + i - označena su mjesta na kojima se elektrode u kadici spajaju na ispravljač (nije prikazan). Agarozni gel (Slika 2B) mora biti uronjen u elektroforetsku otopinu. Ovakva elektroforeza omogućava razlučivanje molekula DNK u rasponu veličina od <100 pb do nekoliko tisuća pb, pri naponu od oko 100 V.

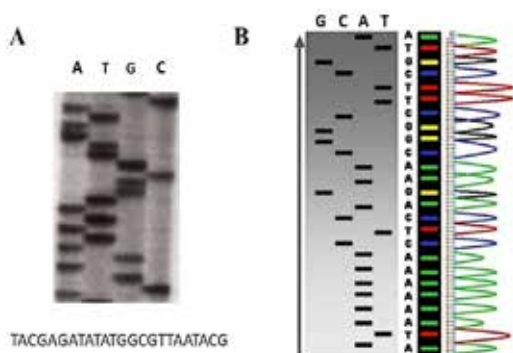
1.3. Sekvenciranje DNK prema Sangeru

S obzirom da slijed baza u molekuli DNK nosi biološku informaciju, u suvremenim genetičkim i genomskim istraživanjima, kao i u primijenjenim biomedicinskim, forenzičkim ili drugim analizama od presudnog je značaja sekvencirati molekulu DNK, drugim riječima odrediti slijed baza. Vremenski najdulje, a uključivo u uporabi i danas, je metoda dideoksi sekvenciranja molekule DNK. Ova metoda je poznata kao sekvenciranje prema Sangeru¹⁹, koji ju je zajedno sa suradnicima razvio 1977. godine [8].

Metoda se sastoji od enzimatske replikacije fragmenata DNK *in vitro*, u prisutnosti niske koncentracije modificiranih nukleotida koji nasumičnom ugradnjom na tom mjestu zaustavljaju reakciju i rast novog lanca. Reakcija se provodi u četiri epruvete, a uz nemodificirane, u svakoj je jedan od nukleotida koji zaustavljaju reakciju, poimence, ddA (dideoksi A), ddG, ddT i ddC. Produkti reakcije se razdvajaju

¹⁹ Frederick Sanger (1918 – 2013), britanski znanstvenik koji je u Cambridgeu razvio učinkovitu metodu sekvenciranja molekule DNK, za što je 1980. godine dobio Nobelovu nagradu za kemiju. To mu je bila druga Nobelova nagrada, prvu je dobio 1958. godine za određivanje aminokiselinskog slijeda u inzulinu.

elektroforezom na poliakrilamidnom gelu u četiri linije (Sl. 3). U izvornom protokolu, produkt je obilježen radioaktivnim izotopom (^{32}P ili ^{35}S), što omogućuje vizualizaciju fragmenata eksponiranjem rendgenskog filma prislanjanjem na gel. Razlučivost na gelu je u razmaku od jedne baze, a sekvencirani fragment čita se odozdo prema gore. Na ovaj način bilo je moguće pročitati i >500 baza fragmenta DNK u kontinuitetu. Daljnjim razvojem ove metode radioaktivni biljezi zamjenjuju se fluorescencijskim pri čemu se svaki dideoksi nukleotid obilježava drugom bojom. Ovo je pak omogućilo provođenje reakcije u jednoj epruveti i automatsko očitavanje fluorescencijskog signala elektroforezom u kapilarnoj cjevčici. Razvijeni su automatski uređaji povezani s računalom u koje se izravno učitava sekvenca DNK. Tako se značajno povećala učinkovitost metode i brzo prikupljanje velikog broja podataka. Nadalje, automatizacija metode omogućila je istovremeno sekvenciranje velikog broja fragmenata DNK duljine do oko 1400 baza, što je pak omogućilo određivanje sekvence DNK cijelih genoma, uključivo i ljudskog, u svrhu provođenja genomskih projekata²⁰. Metoda prema Sangeru naziva se još i sekvenciranje DNK prve generacije i još uvijek je jedna od metoda od izbora u radu uključivo i na genomskim projektima.



Sl. 3.: Čitanje sekvence DNK sekvencirane metodom prema Sangeru. A: Radioaktivno obilježeni fragmenti vizualiziraju se eksponiranjem rendgenskog filma i čitaju odozdo prema gore. B: Shematski prikaz napredne metode koja uključuje fluorescencijski obojene nukleotide: reakcija se odvija u jednoj epruveti, a očitavanje je automatsko u odnosu na prvobitne četiri reakcije (lijeva strana u B). Strelica označava smjer čitanja. Detaljno objašnjenje je u tekstu.

²⁰ Krajnji cilj genomskih projekata je rekonstruirati genom u cijelosti, tj. pročitati sekvencu molekule DNK u kontinuitetu, od kraja do kraja svakog kromosoma. Ukratko, genomska DNK se nasumično fragmentira na segmente takve duljine koji se mogu pročitati u cijelosti te potom preklapanjima dobivenih očitavanja rekonstruirati genom u izvornom obliku.

2. Rana istraživanja satelitnih DNK

2.1. Što su satelitne DNK?

Satelitne DNK su sekvence DNK koje se ponavljaju jedna iza druge u gotovo identičnom obliku, izgrađujući duge nizove ponavljanja u istoj orijentaciji ('glava – rep'). Jedinice ponavljanja su satelitni monomeri. Nemaju potencijal za kodiranje pa ih se naziva i nekodirajuća ili negenska DNK. Naziv satelitna DNK nastao je u 60-tim godinama prošlog stoljeća, u pokusima centrifugiranja mišje genomske DNK u gradijentu gustoće cezijevog klorida. Pri velikim brzinama dio sekvenci DNK bi se odvojio od glavine genomske DNK zbog razlika u nukleotidnom sadržaju²¹ [9]. Izdvajanje satelitnih DNK centrifugiranjem pri velikim brzinama u gradijentu gustoće vrlo je zahtjevno, a rezultat nesiguran, jer se samo neke razlikuju od ostatka genoma po gustoći.

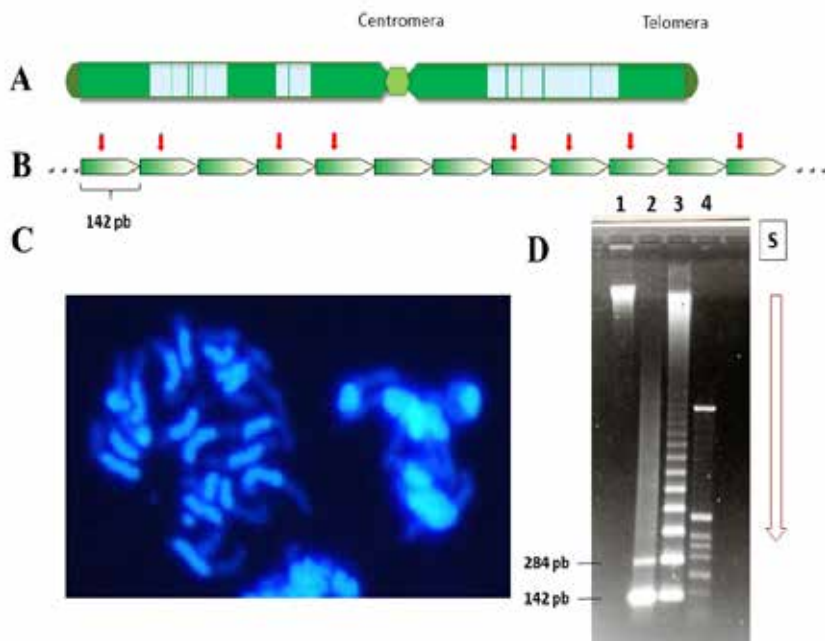
Puno učinkovitija metoda detektiranja satelitnih DNK pojavila se upotrebom restriksijskih endonukleaza kojima se cijepa ili razgrađuje sveukupna genomska DNK. Restriksijske endonukleaze su enzimi koji prepoznaju specifičan slijed u molekuli DNK, najčešće duljine 4-6 baza, i na tom mjestu 'prerežu' oba lanca molekule DNK, djelujući kao specifične molekularne škare. Ima ih više od 100 vrsta. Ukoliko je neka ponovljena sekvenca DNK organizirana u uzastopnom nizu, cijepanje molekule DNK s odgovarajućom restriksijskom endonukleazom oslobodit će veliki broj jedinica ponavljanja koje nazivamo satelitni monomeri. Ipak, zbog malih varijacija u nukleotidnoj sekvenci, enzim neće moći prepoznati sva mjesta te će se pojaviti i fragmenti dvostruke, trostruke, odnosno višestruke duljine monomera satelitne DNK. Pri razdjeljivanju produkata restrikcije u električnom polju, zbog toga se dobiveni fragmenti vide kao karakteristična 'ljestvica' genomske DNK. Ovo je najjednostavniji, ali ujedno i nepobitan dokaz da je neka sekvenca DNK organizirana kao niz uzastopnih ponavljanja, odnosno kao satelitna DNK (Sl. 4B, D).

Analize lokalizacije satelitnih DNK na kromosomima²² pokazale su da često zauzimaju velika područja koja su značajna za opstojnost kromosoma, kao i genoma u cjelini. Tako redovito predstavljaju dominantnu komponentu molekule DNK u po-

²¹ A=T parovi baza lakši su od G≡C parova. Ovisno o njihovoj zastupljenosti u pojedinim segmentima molekule DNK u odnosu na glavninu genomskih segmenata, razlikovat će se po gustoći plutanja i pojaviti kao odvojena, 'satelitna' frakcija pri centrifugiranju. Ovo je upravo bio slučaj kod uzastopno ponovljenih sekvenci DNK u mišjem genomu.

²² Satelitna DNK (ili bilo koja druga sekvenca DNK) se na kromosomima lokalizira metodom fluorescencijske hibridizacije *in situ* (FISH). Željena sekvenca DNK obilježi se fluorescentnim biljezima te pod određenim uvjetima hibridizira, tj. veže se na komplementarni slijed nukleotida na kromosomima. Signal se vizualizira pomoću fluorescencijskog mikroskopa, pod svjetlošću odgovarajuće pobudne valne duljine.

dručju centromere²³ te na kromosomskim krajevima gdje sudjeluju u održavanju integriteta kromosoma. Također, u duljim ili kraćim nizovima prisutne su i u dijelovima kromosoma između kromosomskih krajeva i centromernog područja (Sl. 4A). Nije opažena nikakva izravna (uzročna) veza kojom bi se povezale zastupljenost i raspored satelitnih DNK u genomu i svojstva organizma.



Sl. 4. A: Shematski prikaz kromosoma: dijelovi u kojima se najčešće mogu naći satelitne DNK označeni su zeleno. B: Niz jedinica ponavljanja (monomera) satelitne DNK. Crvene strelice iznad pojedinih monomera predstavljaju mjesto u sekvenci DNK koje prepoznaje neka restrikcijska endonukleaza. Zbog varijabilnosti u sekvenci DNK, takva mjesta ne postoje u svim monomerima. Jedinica ponavljanja glavne satelitne DNK kukca žutog brašnara *Tenebrio molitor* duljine je 142 pari baza (pb). C: Kromosomi žutog brašnara obojeni fluorescentnom bojom DAPI (4',6-diamidino-2-fenilindol) i snimljeni fluorescencijskim mikroskopom. Intenzivno obojeni dijelovi odgovaraju području oko centromere, u kojem se u ovom organizmu nalazi satelitna DNK duljine monomera 142 pb, koja izgrađuje do 40% genomske DNK. D: Elektroforetsko razdvajanje fragmenata satelitne DNK žutog brašnara. U liniji 1 je nanescena DNK prije razgradnje restrikcijskom endonukleazom. U liniji 2 je DNK razgrađena s endonukleazom koja ju cijepa u gotovo svakom monomeru, dok je razgradnja u 3 djelomična pa je izražena ljestvica osnovnog fragmenta. U 4 je kontrola razgradnje. Napon elektroforeze bio je 80 V uz struju 130 mA, u trajanju oko 4 sata. Elektroforeza je rađena na 1,2% agaroznom gelu.

²³ Centromera je dio kromosoma odgovaran za pravilno razdvajanje genetičkog materijala u staničnoj diobi.

2.2. Prva sekvenciranja u Hrvatskoj

Monomeri satelitne DNK žutog brašnara *Tenebrio molitor* su prema spoznajama autora ovog teksta prvi fragmenti molekule DNK koji su bili sekvencirani u Hrvatskoj²⁴. Ukratko, monomer satelitne DNK bio je prvo izrezan iz gela poput onog prikazanog na slici 2, DNK se ekstrahirala iz izrezanog djelića gela i klonirala kako bi se fragmenti umnožili. Sekvenciranje je rađeno metodom prema Sangeru, opisanom u poglavlju 13. Fragmenti DNK bili su obilježeni radioaktivnim izotopom i detektirani ekspanzivanjem gela na filmu. Elektroforeza je rađena na poliakrilamidnom gelu debljine 0,3 mm, izlivenom između dvije staklene ploče²⁵. Za ovu elektroforezu bio je potreban visokonaponski ispravljač, koji je u nedostatku sredstava za kupnju komercijalnog sustava bio izrađen u 'kućnoj radinosti'²⁶. Ispravljač je davao napon do 3000 V, uz maksimalnu struju od 160 mA i mogućnost automatske regulacije struje (kako bi se spriječilo pregrijavanje gela) u rasponu od +/- 4,25 mA (Sl. 5). Elektroforeza za potrebe sekvenciranja DNK provodila se uz napon od oko 1500 V. Ovim kućno izrađenim uređajem određene su prve sekvence DNK kod nas. Nedostatak je bila mogućnost čitanja relativno kratkih fragmenta, između 100 – 200 nukleotida. Ubrzo je od tvrtke Amersham nabavljen komercijalno proizveden sustav za sekvenciranje, nabavljeni su i prvi kompleti reagencija te je time mogućnost čitanja fragmenta DNK u kontinuitetu povećana na > 400 nukleotida. Nakon razvijanja filma, očitavanje sekvence DNK i njeno ispisivanje (a često i uspoređivanje) bilo je u oba slučaja – ručno. Prateći prugice na gelu odozdo prema gore očitani nukleotidni slijed prvo se ispisivao na papir, na način kako je prikazano na slici 3A.

²⁴ Prva sekvenciranja DNK radila su se 1986. / 1987. godine na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu. Autor ovog teksta sudjelovao je u uspostavljanju sustava sekvenciranja, uz Đurđicu Ugarković i Veru Gamulin (1948 - 2006), tada seniornu znanstvenicu koja je po povratku s poslijedoktorskog usavršavanja na Sveučilištu Yale (New Haven, SAD) prva kod nas uvela metodologiju rekombinantne DNK u svakodnevni laboratorijski rad.

²⁵ Radi se o gelu koji prilikom elektroforeze stoji vertikalno, što je razlika od elektroforeze na agaroznom gelu koja je horizontalna, kako je prikazano na Sl. 2B. Nakon elektroforeze na poliakrilamidnom gelu, jedno staklo se ukloni, gel se prekrije plastičnom folijom na koju se stavi rendgenski film i umetne u kazetu u kojoj se film ekspozira kako bi signal postao vidljiv, najčešće preko noći. Ujutro se film razvije, što predstavlja „najnapetiji“ dio protokola – kako je uspjelo?

²⁶ Ovaj uređaj konstruirao je i izradio je Dubravko Kuhta, kao vanjski suradnik Instituta Ruđer Bošković. Baveći se intenzivno primijenjenom elektronikom, najveći dio karijere radio je kao predavač na kolegijima vezanim uz implementaciju novih medija, audio i multimedijску produkciju te srodnim područjima na Umjetničkoj akademiji u Splitu i potom na Sveučilištu Sjever.

skom izvoru hranjivih tvari²⁷. Koristi se također i u biomedicinskim istraživanjima. Prednost žutog brašnara je lak uzgoj te veličina, odraslih do 2 cm, dok su njegove ličinke, koje su komercijalno iskoristive i do oko 3 cm duljine (Sl. 6). Ostali spomenuti istraživani kukci su veličine svega nekoliko milimetara. Osim kod kukaca kornjaša, moj vlastiti interes za istraživanjem satelitnih DNK proširio se na još dvije skupine organizama, školjkaše (Bivalvia) i oblice korijenovih kvržica (Nematoda), koji se po organizaciji genoma te po nekim strukturnim i organizacijskim svojstvima satelitnih DNK značajno razlikuju od prethodno navedenih kukaca te usporedno istraživani, zajedno s rezultatima drugih istraživačkih grupa, daju općenitiju sliku [13, 14].

Različite istraživačke grupe u svijetu su u tom razdoblju na sličan način analizirale satelitne DNK različitih organizama, uključivo i čovjeka. Iako je tako određen veliki broj satelitnih DNK, ovom metodom najčešće se detektiralo jednu ili samo nekoliko najzastupljenijih u genomu. Zaključak o reprezentativnoj 'konsenzus' sekvenci pojedine satelitne DNK zasnivao se na uspoređivanju malog broja sekvenciranih monomera, najviše do po nekoliko desetaka individualno izoliranih i kloniranih. Ipak, već ovakva istraživanja dala su značajne informacije i pregled o zastupljenosti satelitnih DNK, njihovoj organizaciji u genomima, strukturi, mogućim ulogama i evolucijskim karakteristikama u velikom broju vrsta biljaka i životinja [13, 15].



Sl. 6.: Odrasla jedinka i ličinka kukca kornjaša žutog brašnara *Tenebrio molitor*. U komercijalne svrhe koriste se ličinke.

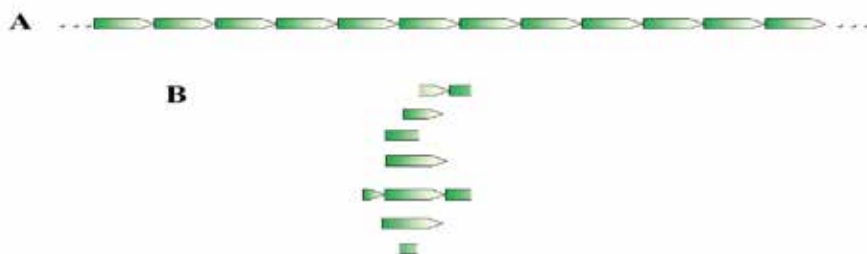
²⁷ Prva dozvola upotrebe sušenog žutog brašnara u ljudskoj prehrani u EU bila je donesena na preporuku agencije EFSA (European Food Safety Authority) 22. lipnja 2021., a 20. siječnja 2025. EU Komisija odobrila je stavljanje na tržište UV-sterilizirano 'brašno' od mljevenih cijelih ličinki žutog brašnara kao novog izvora ljudske prehrane. Može se koristiti i kao hranjivi dodatak pojedinim proizvodima, uključivo kruhu, kolačima, tjestenini, proizvodima od krumpira, sira itd.

3. Istraživanja satelitnih DNK visokoprotočnim metodama sekvenciranja

3.1. Problemi genomske analize satelitnih DNK

Iako je prethodno opisana metoda pružila veliki broj podataka o strukturi i evoluciji satelitnih DNK i rezultirala velikim brojem objavljenih radova, bila je ograničena samo na one najzastupljenije u genomu. Ovaj pristup tako nije mogao odgovoriti na osnovno pitanje: koliko u genomu neke vrste postoji različitih tipova uzastopno ponovljenih sekvenci DNK? Sve one koje su prisutne u relativno malim udjelima²⁸ te koje se nisu mogle vizualizirati razgradnjom genomske DNK restrikcijskim endonukleazama i elektroforezom na agaroznom gelu (Sl. 4) ostale bi neotkrivene. Drugo ograničenje u analizama satelitnih DNK bila je nemogućnost rekonstruiranja nizova monomera i njihovog pravilnog postavljanja u odnosu na ostale sekvence DNK u genomskim projektima. Osnovni uzrok tomu je mala razlika među sekvencama monomera pojedine satelitne DNK koje je zbog toga nemoguće jednoznačno nadovezati u neprekinuti niz (Sl. 7). Ukoliko se gotovo isti monomeri nalaze na više lokacija u genomu, nemoguće je odrediti odakle točno potječu. Posljedica je da su u rezultatima genomskih projekata koji se zasnivaju na sekvenciranju prema Sangeru satelitne DNK izrazito podzastupljene, a često i izostavljene. Drugim riječima, tako rekonstruirani genomi su isprekidani i nepotpuni s obzirom na ponovljene sekvence DNK [16]. Primjere podzastupljenih satelitnih DNK u sastavljenim genomskim projektima u odnosu na eksperimentalnu detekciju i analizu nalazimo u svim do sada sekvenciranim vrstama pa tako npr. i kod školjkaša [17]. Kod žutog brašnara *Tenebrio molitor*, opisanim eksperimentalnim metodama bilo je procijenjeno da glavna satelitna DNK izgrađuje > 40% genomske DNK [18], dok je u 'cijelom' sekvenciranom i sastavljenom genomu udio svih satelinih DNK brašnara bio samo 0,15% [19]. Detaljna analiza metodom sekvenciranja nove generacije dala je procjenu zastupljenosti glavne satelitne DNK znatno bližu prvobitnoj eksperimentalnoj, 26,5% [20].

²⁸ Npr. koje izgrađuju < 2-3% genomske DNK. Osobito je to slučaj kod vrsta kod kojih u genomu postoji jedna (ili nekoliko) visokozastupljenih satelitnih DNK, koje će elektroforezom na agaroznom gelu (kao npr. na Sl. 4D) zbog svoje količine onemogućiti detekciju elektroforetskih pruga nisko zastupljenih satelitnih DNK.



Sl. 7. A: Niz satelitne DNK sastoji se od uzastopno ponovljenih gotovo identičnih jedinica (monomera). B: Fragmenti sekvence satelitne DNK dobiveni sekvenciranjem. S obzirom na malu razliku u nukleotidnoj sekvenci između jedinica ponavljanja, preklapanjem fragmenata nemoguće je rekonstruirati originalni niz, što u sastavljanju sekvenciranih genoma dovodi do podzastupljenosti, potpunog izostanka ili pogrešno složenih nizova ovih važnih genomskih elemenata.

3.2. Određivanje satelitnih DNK sekvenciranjem sljedeće generacije

Sekvenciranje sljedeće²⁹ (druge, nove) generacije omogućuje istovremeno sekvenciranje milijuna malih fragmenata DNK (50 do 400 pari baza) uz veliku točnost dobivenih podataka i po niskoj cijeni. Cijeli genom nekog organizma moguće je tako na jednom uređaju sekvencirati u jednom danu. Sekvenciranje ovom metodom zasniva se na kemijskoj reakciji dodavanja fluorescencijski obilježenog nukleotida na lanac koji se sintetizira prema genomskom fragmentu imobiliziranom u protočnoj komori³⁰. Po očitavanju, fluorescencijski biljeg ukloni se s nukleotida, a na rastući lanac doda se sljedeći obilježeni nukleotid. Svaki od četiri nukleotida obilježen je svojom fluorescencijskom bojom. Fragmentima DNK koje se sekvencira prethodno su dodani adapteri³¹, koji služe za vezivanje na stijenku protočne komore te za identifikaciju, kao svojevrsan bar-kod. Na taj način moguće je sekvencirati veliki broj fragmenata DNK istovremeno, uključivo i iz raznih vrsta, a potom ih razvrstati u računalu. Poseban izazov predstavlja zadnji korak, računalno preklapanje ovako kratkih fragmenata u cjelovite sekvence DNK, pri čemu ponovljene sekvence DNK i dalje predstavljaju nepremostivu prepreku.

Iako nepodesna za sastavljanje nizova monomera satelitnih DNK u kontinuitetu, metodom sekvenciranja sljedeće generacije moguće je odrediti ukupan sadržaj

²⁹ Engl. *Next generation sequencing*, NGS, istovremeno procesira veliki broj uzoraka, koristeći, visokoprotočne metode (engl. *high-throughput*). Jedna od najpoznatijih tehnologija koja se koristi i u sekvenciranju satelitnih DNK je Illumina.

³⁰ Engl. *flow cell*

³¹ Radi se o umjetno sintetiziranim kratkim segmentima DNK koji se dodaju na krajeve analiziranog genomskog fragmenta.

svih satelitnih DNK u genomu, odnosno satelitom [21]. S obzirom da se radi o sekvenama DNK koje se u genomu pojavljuju u višestrukim kopijama, cijepanjem ukupne genomske DNK na kratke fragmente ponovljene sekvence će biti najzastupljenije u ukupnoj masi segmenata DNK. Zbog toga je za određivanje satelitoma dovoljno pročitati segmente DNK u malom uzorku, manjem nego što je to veličina samog genoma kojeg istražujemo, odnosno dovoljna je tzv. pokrivenost genoma³² od samo 0,2 – 0,5 puta. Ovim pristupom izdvajaju se ponovljene sekvence DNK od ostalih, jedinstvenih, čime se istovremeno uklanja i ‘šum’ u analizi. Razvoj cijelog niza specijaliziranih bioinformatičkih alata omogućio je detektiranje svih (ili gotovo svih) ponovljenih sekvenci u nekom genomu [6]. Najčešće se koristi *RepeatExplorer*³³ [22]. Sekvencirane kratke genomske fragmente DNK *RepeatExplorer* grupira prema sličnosti. Metoda je zasnovana na pretvaranju očitanih sličnosti u grafove³⁴, u kojima gustoća i način rasporeda čvorova omogućuje identifikaciju pojedinih ponovljenih sekvenci. Izlazna lista programa uključuje procijenjen udio ponovljene sekvence u genomu, duljinu i konsenzus sekvencu jedinice ponavljanja te procjenu radi li se o satelitnoj DNK ili je sekvenca raspršeno ponovljena. Ovim pristupom moguće je identificirati i satelitne DNK koje su u genomu prisutne u malom broju kopija i izgrađuju < 1% genomske DNK. Velika prednost je da za analizu nije potrebno imati sastavljen genom, dok je nedostatak da metoda daje samo katalog ponovljenih sekvenci, ali ne govori ništa o njihovom rasporedu u genomu, odnosno na kromosomima. Za potonje informacije koriste se eksperimentalne metode lokalizacije i mapiranja.

Istraživanje ukupnog broja satelitnih DNK u genomima velikog broja biljnih i životinjskih vrsta donijelo je značajan napredak u razumijevanju njihove zastupljenosti, organizacije, evolucije kao i mogućih uloga [15, 23]. Kao što se naslućivalo već i ranije, ne postoji nikakav jedinstveni obrazac u smislu strukture nukleotidne sekvence, broja i zastupljenosti u genomima, što je sada postalo i jasno pokazano (Tablica 1).

U okviru rada na genomskom projektu žutog brašnara *Tenebrio molitor*, sate-

³² Zamislimo da iz neke knjige želimo izdvojiti riječi koje se u njoj često ponavljaju: za tako nešto nije potrebno pročitati cijelu knjigu. Već nasumičnim listanjem uočiti ćemo riječi koje se često koriste. Pokrivenost genoma (engl. *genome coverage*) omjer je broja sekvenciranih nukleotida i veličine genoma. Tako je za točno i detaljno sastavljanje genoma s obzirom na jedinstvene sekvence DNK (npr. gene), genom potrebno pročitati 50 pa i više puta. Za analizu svih sekvenci DNK koje se ponavljaju, dovoljno je da pokrivenost genoma bude do 0,5 puta.

³³ Ovdje se referira na unaprijedenu verziju *RepeatExplorer 2*, prva verzija bila je objavljena 2013. godine. Alat je dostupan na platformi Galaxy <https://repeatexplorerelixir.cerit-sc.cz/galaxy/>.

³⁴ U algoritmu se koriste De Bruijn-ovi grafovi. Program iscrtava njihovu strukturu za fragmente svake ponovljene sekvence. Kružni prikaz znak je da su monomeri ponovljeni u nizu jedan iza drugog, odnosno da predstavljaju satelitnu DNK. Zrakasti prikaz grafa ukazuje da su sekvence DNK raspršeno ponovljene u genomu.

litom ovog organizma određen je metodom sekvenciranja sljedeće generacije i opisanim računalnim pristupom [20]. Satelitom izgrađuje 11 satelitnih DNK koje zajedno zauzimaju oko 28% genoma. Duljine jedinica ponavljanja (monomera) su u rasponu od 93 *pb* do 735 *pb*. Najzastupljenija od svih satelitnih DNK u genomu brašnara je ona duljine monomera 142 *pb* i čiji je uzorak monomera već bio sekvenciran metodom prema Sangeru [10, 18]. Ova satelitna DNK sada je nazvana TmSatI, a izgrađuje 26,5% genomske DNK. Preostalih 10 satelitnih DNK prisutno je u vrlo malom broju kopija i izgrađuju od 0,45% do 0,01% genoma [20]. Jedina razlika u odnosu na prijašnji rezultat je upravo u genomskoj zastupljenosti TmSatI: dok je prvobitna eksperimentalna procjena bila > 40% [18], u satelitomskoj analizi iznosila je 26,5% genoma. Iako određivanje točne vrijednosti ostaje otvoreno, vrijedi spomenuti kako i ova niža predstavlja jedan od najvećih udjela samo jedne satelitne DNK u nekom genomu.

Vrsta	Broj satelitnih DNK	% genoma	Najzastupljenija satelitna DNK (%)
<i>Crassostrea gligas</i>	52	6.33	1.29
<i>Cydalima perspectalis</i>	1	0.14	0.14
<i>Diatraea postlineella</i>	2	0.06	0.04
<i>Eneoptera surinamensis</i>	45	14	1.41
<i>Gryllus assimilis</i>	13	4	1.35
<i>Hippodamia variegata</i>	30	14.93	9.37
<i>Locusta migratoria</i>	60	2.14	0.97
<i>Locusta migratoria</i>	62	2.39	0.98
<i>Megaleporinus macrocephalus</i>	164	13.47	2.78
<i>Meloidogyne arenaria</i>	81	5.07	0.31
<i>Meloidogyne floridensis</i>	38	1.55	0.14
<i>Meloidogyne incognita</i>	56	3.52	0.24
<i>Meloidogyne javanica</i>	73	4.27	0.21
<i>Oedaleus decorus</i>	58	2.53	0.62
<i>Ostrinia nubilalis</i>	4	0.27	0.15
<i>Pontastacus leptodactylus</i>	258	27.57	10.91

Tablica 1.: Usporedba broja satelitnih DNK, njihovog ukupnog udjela u genomu i udjela najzastupljenije satelitne DNK kod nekolicine vrsta beskralješnjaka (odabir iz [23]). U ovom uzorku, broj satelitnih DNK kreće se od samo jedne do 258, a ukupni udio od < 1% do oko 27%. U ovom uzorku, samo jedna satelitna DNK nađena je kod šimširovog moljca, a najveći broj satelitnih DNK i njihov udio u genomu je kod jedne vrste riječnog raka.

U organizacijskom smislu, analizom satelitoma promijenjena je paradigma o grupiranju satelitnih DNK isključivo u velikim blokovima, kakvi su često (ali ne uvijek) u području centromere [23]. Satelitne DNK mogu formirati i nizove koji odstupaju od ovog pravila i nalaze se raspršeni po genomu. Primjerice, takav obrazac raspršene organizacije relativno kratkih nizova uzastopnih ponavljanja sekvence DNK odredili smo kod školjkaša koje smo proučavali [24]. Zaključno, određivanje satelitnih DNK sekvenciranjem sljedeće generacije, osim što je značajno povećalo broj podataka, kvalitativno je unaprijedilo naše znanje, posebno zahvaljujući jednostavnom istraživanju satelitoma u velikom broju vrsta koje nisu modelni organizmi³⁵. Također, ova istraživanja unaprijedila su i spoznaje o povezanosti satelitnih DNK i drugih ponovljenih sekvenci DNK, pokretnih genetičkih elemenata, izuzetno značajnih za izgradnju i evoluciju genoma i prilagođavanju promjenama u okolišu [5]. Pojedini pokretni genetički elementi mogu u svojoj strukturi sadržavati kratke nizove uzastopnih ponavljanja koje sličje satelitnim DNK, koji se na taj način mogu širiti po genomu i potom formirati ‘klasične’ satelitne nizove. Upravo je ova povezanost satelitnih DNK i pokretnih genetičkih elemenata posebno izražena kod školjkaša [24]. Pokazalo se međutim da korištenjem opisane *high-throughput* metodologije prisutnost segmenata satelitnih DNK u pokretnim genetičkim elementima može ‘zbuniti’ računalne algoritme i dovesti do nepotpunih ili čak krivih klasifikacija pojedinih sekvenci. Problem se može riješiti opetovanim analizama podgrupa sekvenciranih fragmenata, uključivo i ‘ručnim’ podešavanjem sravnjivanja uspoređivanih sekvenci DNK³⁶ [25].

3.3. Treća generacija sekvenciranja i satelitne DNK

Tehnologije koje nude rješenje za sastavljanje genoma u cjelosti, od kraja do kraja svakog kromosoma, su metode sekvenciranja dugih segmenata DNK, općenito poznate kao treća generacija sekvenciranja³⁷ [26]. Najpoznatije su one koje koriste Oxford Nanopore Technologies (ONT) i Pacific Biosciences (PacBio). Obje su ušle u uporabu približno 2015. godine. Od tada se ovakvi pristupi sve više i više koriste u genomskim istraživanjima. Čitanjem dugih segmenata genomske DNK (više stotina *kb* u kontinuitetu) smanjuje se broj preklapanja pri rekonstruiranju genoma u cjelini, a time i problemi koje nose dijelovi genoma obogaćeni ponovljenim sekvencama DNK. Princip sekvenciranja Oxford Nanopore tehnologijom (ONT)³⁸ zasniva se na mjerenju promjena u električnoj struji u ovisnosti o bazi u molekuli DNK koja u tom trenutku

³⁵ Dobro poznati modelni organizam je npr. vinska mušica, *Drosophila melanogaster*.

³⁶ Ovom napomenom želi se istaknuti kako niti ova napredna tehnologija još ne može detektirati sve situacije koje se pojavljuju u genomima. Potrebne su daljnje metodološke nadogradnje i usavršavanja. Detaljan opis ovakvih situacija i njihovih razrješavanja nadilazi ciljeve ovog članka.

³⁷ Engl. *third-generation sequencing*, odnosno *long-read sequencing*.

³⁸ Npr. <https://nxtgnt.ugent.be/nanopore-sequencing/>.

prolazi kroz nanoporu proteina umetnutog u membranu. Napravljena ovom metodom, 2022. godine bila je objavljena nova, gotovo cjelokupna verzija genoma čovjeka³⁹ [27]. Dovršena je 21 godinu nakon objavljivanja prve verzije, sastavljene preklapanjem genomskih fragmenata sekvenciranih prema Sangeru. Osim oko 200 Mb novododanih sekvenci DNK koje su u prvoj verziji promakle, sada su ispravljene i brojne greške koje su tada bile načinjene pri sastavljanju genoma. Pročitana su i sastavljena još i neka funkcionalno značajna područja, kao što su to centromerna, izgrađena od složenih oblika satelitnih DNK koja su sada mogla biti proučavana u stvarnom linearnom nizu. Danas se sve više vrsta uključuje u određivanje genoma tehnologijom sekvenciranja DNK treće generacije.

Trećom generacijom sekvenciranja i daljnjim razvojem bioinformatičkih alata otvorene su do sada neslućene mogućnosti u istraživanjima satelitnih DNK i genomske tamne materije općenito, što je dovelo do novih pomaka u razumijevanju njihove strukture i uloge [28]. Ovaj pristup omogućuje detaljno istraživanje linearnog rasporeda pojedinih satelitnih DNK u dijelovima genoma koji su do sada bili nedostupni [29]. Posebno je korisno kombiniranje različitih metoda [23]. Na primjer, satelitnim DNK identificiranim sekvenciranjem druge generacije mogu biti određene točne duljine nizova monomera, kao i položaj svakog takvog niza u odnosu na druge sekvence DNK u sastavljenom genomu. Satelitne DNK djelomično ipak i dalje izmiču točnoj karakterizaciji pa genomi sastavljeni metodologijom treće generacije mogu ostati nepotpuni, posebice oni iznimno bogati satelitnim DNK. Sastavljanje genoma žutog brašnara *Tenebrio molitor* jedan je takav primjer. Genom brašnara sekvenciran tehnologijom treće generacije PacBio i sastavljen od tako dobivenih genomskih segmenata predstavlja tek oko 53% eksperimentalno određene veličine genoma [20]. Vjerojatno je uzrok tomu ogromna količina dugih nizova vrlo homogenih monomera glavne satelitne DNK. Primijećeno je da se s obzirom na duljinu nizova i sličnost monomera oni i dalje ne uspijevaju pravilno nadovezati između sebe, ili na druge sekvence genomske DNK. Potrebno je stoga daljnje unaprijeđivanje pristupa i metodologije koje će omogućiti rješavanje i ovakvih problema.

³⁹ Neki dijelovi su i u ovoj unaprijedenoj verziji ostali nepotpuni.

Zaključak

Satelitne DNK nazivamo segmente DNK ponovljene jedan iza drugog u uzastopnom slijedu. Ovakvi nizovi još uvijek predstavljaju najzagonetnije genomske komponente. Istraživanje satelitne DNK žutog brašnara *Tenebrio molitor* bilo je pokretač sekvenciranja DNK i istraživanja genomike ponovljenih sekvenci u Hrvatskoj.

Napredak u tehnikama sekvenciranja i obrade genomskih podataka posljednjih godina razjasnili su mnoga pitanja vezana uz broj, genomsku lokaciju i evoluciju satelitnih DNK [15, 28]. Komparativna satelitomika omogućuje istraživanje razlika u sadržaju, broju kopija i lokacijama između jedinki i među vrstama. Danas znamo da satelitne DNK imaju značajnu ulogu u (re)organizaciji genoma, njegovom funkcioniranju i evoluciji. Bez obzira što ne postoji gotovo nikakva sličnost između pojedinih satelitnih DNK (osim organizacije u nizove uzastopnih ponavljanja), one su najčešći oblik sekvenci DNK u ključnim dijelovima kromosoma, odgovornim za staničnu diobu (centromerno područje) [30], kao i na kromosomskim krajevima (telomerno područje). Ove sekvence sudjeluju u formiranju strukture stanične jezgre [31], kao i u odgovoru na stres [32]. Promjene u duljinama nizova satelitnih DNK u blizini nekih gena predstavljaju biljege koji se povezuju s pojavom patoloških stanja, kao što su shizofrenija [33], ili tumori i druge bolesti [34], a mogu utjecati i na ponašanje životinja (voluharice) [35]. Razlike u broju nekih kratkih jedinica ponavljanja individualno su specifične i koriste se u forenzici kao genomski ‘otisak prsta’ te se mogu koristiti i kod utvrđivanja srodnosti (primjerice očinstva). Moglo bi se nabrajati još puno primjera njihovih funkcionalnih uloga.

Satelitne DNK su prošle dugi put od genomskih komponenata koje su se u početku smatrale beskorisnim viškom, do značajnih graditelja i organizatora genoma. Treba naglasiti da je poznavanje strukture, rasporeda i uloga satelitnih DNK ključ razumijevanja genoma složenih višestaničnih organizama. Iako su se paradigme organizacije i uloga satelitnih DNK u zadnjim godinama znatno mijenjale, mnoge tajne vezane uz ove sekvence DNK očito još nisu razjašnjene! Zbog toga je osvježavanje o tomu o kakvim se sekvencama DNK radi i kako se one istražuju od velikog značaja za sve koje zanima biološka informacija kao takva, kao i razvoj metodologija kojima se ona može proučavati.

Zahvala

Najljepše zahvaljujem prof. Franji Joviću na pozivu za sudjelovanjem na 12. simpoziju PIFT 2025 i poticaju za pripremu ovog članka te dr.sc. Evi Šatović-Vukšić s Instituta Ruđer Bošković na kritičkom čitanju teksta te na pomoći u izradi dijela slika.

Literatura

- [1] L. von Bertalanffy, *Opća teorija sustava: osnove, razvoj, primjene*, Kiklos – krug knjige, Zagreb, lipanj 2022. ISBN: 978-953-7992-16-3.
- [2] D. Hammond, The legacy of Ludwig von Bertalanffy and its relevance for our time, *Systems Res. and Behavioral Sci.*, 36 (3), svibanj/lipanj 2019, stranice 301-307, posebno izdanje: Ludwig von Bertalanffy: legacies, traces, reverberations and amplifications. Commemorating the man and the work 50 years after 'General System Theory', <https://doi.org/10.1002/sres.2598>.
- [3] N. Brunner, M. Kühleitner, K. Renner-Martin. Bertalanffy-Pütter models for avian growth, *PLoS One*, 16(4), travanj 2021, e0250515, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250515>.
- [4] M. Plohl, Kratki pregled istraživanja genoma u svjetlu opće teorije sustava, Povijest i filozofija tehnike, 11. simpozij PIFT 2023, ur. Franjo Jović, HRO CIGRE, Zagreb 2023, str. 19-42.
- [5] E. Šatović-Vukšić, M. Plohl, The secret world of „jumping“ DNA, *Frontiers for Young Minds*, 12, travanj 2024, 1-9, članak 1279209, <https://doi.org/10.3389/frym.2024.1279209>.
- [6] E. Šatović, M. Tunjić-Cvitanović, M. Plohl, Tools and databases for solving problems in detection and identification of repetitive DNA sequences, *Period. Biol.*, 121–122, prosinac 2020, 7–14, <https://doi.org/10.18054/pb.v121-122i1-2.10571>.
- [7] J.D. Watson, F.H. Crick, Molecular structure of nucleic acids; a structure for deoxyribose nucleic acid, *Nature*, 171(4356), travanj 1953, 737-738, <https://doi.org/10.1038/171737a0>.
- [8] F. Sanger, S. Nicklen, A.R. Coulson, DNA sequencing with chain-terminating inhibitors, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 74(12), prosinac 1977, 5463-5476, <https://doi.org/10.1073/pnas.74.12.5463>.
- [9] S. Kit, Equilibrium sedimentation in density gradients of DNA preparations from animal tissues, *J. Mol. Biol.*, 3, prosinac 1961, 711–716, [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(61\)80075-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(61)80075-2).
- [10] Đ. Ugarković, M. Plohl, V. Gamulin, Sequence variability of satellite DNA from the mealworm *Tenebrio molitor*, *Gene*, 83, travanj 1989, 181-183, [https://doi.org/10.1016/0378-1119\(89\)90417-4](https://doi.org/10.1016/0378-1119(89)90417-4).
- [11] Đ. Ugarković, M. Podnar, M. Plohl, Satellite DNA of the red flour beetle *Tribolium castaneum*-comparative study of satellites from the genus *Tribolium*, *Mol. Biol. Evol.*, 13(8), listopad 1996, 1059-1066, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a025668>.
- [12] M. Plohl, N. Meštrović, B. Bruvo, Đ. Ugarković, Similarity of structural features and evolution of satellite DNAs from *Palorus subdepressus* (Coleoptera) and related species, *J. Mol. Evol.* 46(2), veljača 1998, 234-239, <https://doi.org/10.1007/pl00006298>.
- [13] M. Plohl, Those mysterious sequences of satellite DNAs, *Periodicum Biologorum*, 112(4), prosinac 2010, 403-410, <https://hrcak.srce.hr/63710>.
- [14] M. Plohl, V. Petrović, A. Luchetti, A. Ricci, E. Šatović, M. Passamonti, B. Mantovani, Long-term conservation vs high sequence divergence: the case of an extraordinarily old satellite DNA in bivalve mollusks, *Heredity*, 104, lipanj 2010, 543-551, <https://doi.org/10.1038/hdy.2009.141>.
- [15] M.A. Garrido-Ramos, Satellite DNA: an evolving topic, *Genes* (Basel), 8(9):230, rujan 2017, <https://doi.org/10.3390/genes8090230>.
- [16] O.K. Tørresen, B. Star, P. Mier, M.A. Andrade-Navarro, A. Bateman, P. Jarnot, A. Gruca, M. Grynberg, A.V. Kajava, V.J. Promponas, M. Anisimova, K.S. Jakobsen, D. Linke, Tandem repeats lead to sequence assembly errors and impose multi-level challenges for genome and protein databases, *Nucleic Acids Res.* 47(21), prosinac 2019, 10994-11006, <https://doi.org/10.1093/nar/gkz841>.
- [17] E. Šatović-Vukšić, M. Plohl, Exploring Satellite DNAs: Specificities of Bivalve Mollusks Genomes, *Prog. Mol. Subcell. Biol.* 60, 2021, 57-83, https://doi.org/10.1007/978-3-030-74889-0_3.
- [18] C.A. Davis, G.R. Wyatt, Distribution and sequence homogeneity of an abundant satellite DNA in the beetle, *Tenebrio molitor*, *Nucleic Acids Res.*, 17(14), srpanj 1989, 5579–5586, <https://doi.org/10.1093/nar/17.14.5579>.

- [19] S. Kaur, S.A. Stinson, G.C. diCenzo, Whole genome assemblies of *Zophobas morio* and *Tenebrio molitor*, *G3 Genes/Genomes/Genet.*, 13(6), lipanj 2023, jkado79, <https://doi.org/10.1093/g3journal/jkado79>.
- [20] B. Oppert, A.T. Dossey, F.C. Chu, E. Šatović-Vukšić, M. Plohl, T.P.L. Smith, S. Koren, M.L. Olmstead, D. Leierer, G. Ragan, J.S. Johnston, The genome of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*: it's bigger than you think. *Genes (Basel)*, 14(12), prosinac 2023, 2209, <https://doi.org/10.3390/genes14122209>.
- [21] F.J. Ruiz-Ruano, M.D. López-León, J. Cabrero, J.P.M. Camacho, High-throughput analysis of the satellitome illuminates satellite DNA evolution. *Scientific Reports*, 6, srpanj 2016, 28333, <https://doi.org/10.1038/srep28333>.
- [22] P. Novák, P. Neumann, J. Macas, Global analysis of repetitive DNA from unassembled sequence reads using RepeatExplorer2, *Nature Protocols*, 15(11), studeni 2020, 3745–3776. <https://doi.org/10.1038/s41596-020-0400-y>.
- [23] E. Šatović-Vukšić, M. Plohl, Satellite DNAs-From Localized to Highly Dispersed Genome Components, *Genes (Basel)*, 14(3), ožujak 2023, 742. <https://doi.org/10.3390/genes14030742>.
- [24] M. Tunjić-Cvitanović, J.J. Pasantes, D. García-Souto, T. Cvitanović, M. Plohl, E. Šatović-Vukšić, Satellitome analysis of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas* reveals new pattern of satellite DNA organization, highly scattered across the genome, *Int. J. Mol. Sci.*, 22 (13), lipanj 2021, 6798, <https://doi.org/10.3390/ijms22136798>.
- [25] E. Šatović-Vukšić, M. Plohl, Classification Problems of Repetitive DNA Sequences. *DNA*, 1, 2021, 84–90, <https://doi.org/10.3390/dna1020009>.
- [26] E.L. van Dijk, Y. Jaszczyszyn, D. Naquin, C. Thermes, The third revolution in sequencing technology, *Trends Genet.*, 34(9), rujun 2018, 666–681, <https://doi.org/10.1016/j.tig.2018.05.008>.
- [27] S. Aganezov, S.M. Yan, D.C. Soto, M. Kirsche, S. Zarate i sur., A complete reference genome improves analysis of human genetic variation, *Science*, 376(6588), travanj 2022, eabl3533, <https://doi.org/10.1126/science>.
- [28] F.J. Sedlazeck, H. Lee, C.A. Darby, M.C. Schatz, Piercing the dark matter: bioinformatics of long-range sequencing and mapping, *Nature Rev. Genet.*, 19, lipanj 2018, 329–346, <https://doi.org/10.1038/s41576-018-0003-4>.
- [29] T. Vondrak, L. Oliveira, P. Novák, A. Koblíž, P. Neumann, J. Macas, Complex sequence organization of heterochromatin in the holocentric plant *Cuscuta europaea* elucidated by the computational analysis of nanopore reads. *Comput. Struct. Biotechnol. J.*, 19(2), travanj 2021, 2179–2189, <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.04.011>.
- [30] S. Henikoff, K. Ahmad, H.S. Malik, The centromere paradox: stable inheritance with rapidly evolving DNA, *Science* 293(5532), kolovoz 2001, 1098–1102, <https://doi.org/10.1126/science.1062939>
- [31] M. Lopes, S. Louzada, M. Gama-Carvalho, R. Chaves, Pericentromeric satellite RNAs as flexible protein partners in the regulation of nuclear structure, *Wiley Interdiscip Rev RNA*, 15(4), srpanj-kolovoz 2024, e1868, <https://doi.org/10.1002/wrna.1868>.
- [32] D.C. Cabral-de-Mello, O.M. Palacios-Gimenez, Repetitive DNAs: the 'invisible' regulators of insect adaptation and speciation, *Curr. Opin. Insect. Sci.*, 67:101295, veljača 2025, <https://doi.org/10.1016/j.cois.2024.101295>.
- [33] E.S. Ershova, O.N. Agafonova, N.V. Zakharova, L.V. Bravve, E.M. Jestkova, V.E. Golimbet, T.V. Lezheiko, A.Y. Morozova, A.V. Martynov, R.V. Veiko, P.E. Umriukhin, G.P. Kostyuk, S.I. Kutsev, N.N. Veiko, S.V. Kostyuk, Copy number variation of satellite III (1q12) in patients with schizophrenia, *Front Genet.*, 10, studeni 2019, 1132, <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01132>.
- [34] S. Louzada, M. Lopes, D. Ferreira, F. Adegá, A. Escudeiro, M. Gama-Carvalho, R. Chaves, Decoding the role of satellite DNA in genome architecture and plasticity—an evolutionary and clinical affair, *Genes*, 11(1), siječanj 2020, 72, <https://doi.org/10.3390/genes11010072>.

-
- [35] J.M. Sadino, Z.R. Donaldson, Prairie voles as a model for understanding the genetic and epigenetic regulation of attachment behaviors, *ACS Chem Neurosci.*, 9(8), kolovoz 2018, 1939-1950, <https://doi.org/10.1021/acscchemneuro.7b00475>.

Miroslav Plohl

DEVELOPMENT OF DNA SEQUENCING METHODOLOGY AND EXPLORATION OF SATELLITE DNAS

Abstract: Sequences of deoxyribonucleic acid (DNA) molecule, repeated consecutively in a large number of copies in genomes of plants, animals and fungi are called satellite DNAs. Research of the genomic content and exact composition of satellite DNAs is mostly limited by sequencing techniques, i.e. by ‘reading’ the DNA molecule. The reason for this is great similarity among the repeat units of a satellite DNA, which represents difficulty in overlapping the sequenced segments, their correct placement in relation to other DNA sequences in the genome and, ultimately, in uninterrupted assembly of chromosomal and genomic DNA of an organism. With the advancements in sequencing techniques and specialized computational approaches, the concepts of understanding the number, arrangement, evolution and roles of satellite DNAs have changed dramatically. The first DNA sequencing in Croatia, almost 40 years ago, was associated with the work on satellite DNAs of the yellow mealworm *Tenebrio molitor* and related species. This presentation shows the liaisons between advancements in sequencing techniques and satellite DNA research, thanks to which we changed our view on these sequences, from genomic ballast to important functional components.

Key words: DNA, genome, sequencing techniques, satellite DNA, yellow mealworm

Darko Fischer

ANALITIČKA I NUMERIČKA RJEŠENJA KAO PEDAGOŠKI ALATI

Sažetak: Rješenja mnogih jednostavnih problema iz matematike i fizike služe kao pedagoški alat koji pomaže studentima bolje shvaćanje nekih procesa. Mnogi takvi problemi mogu se riješiti i analitički i numerički. Usporedba tih dviju metoda daje vrlo korisne uvide u bit procesa. U radu je prikazano nekoliko razmjerno jednostavnih problema koristeći obje metode.

Ključne riječi: Minimalna udaljenost, Zenonov paradoks, progonitelj i proganjani, kružno gibanje, kazaljke na satu, polarni krug, programska podrška, računalno, umjetna inteligencija.

Uvod

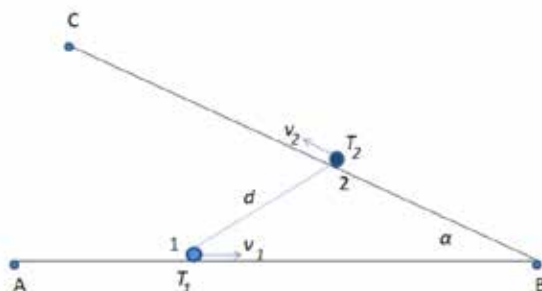
Analitička rješenja nekih problema mogu biti složena i traže dosta matematičkog znanja. Moderna programska podrška i umjetna inteligencija mogu biti pomoć i pri analitičkom rješavanju problema. Numeričko rješenje istog problema nekada je vrlo jednostavno i zahtijeva samo malo vještine na računalu. Oba načina zahtijevaju od rješavača upoznavanje mnogih pojedinosti i zato je to snažan pedagoški alat i motivacija za učenje. Usporedba dobivenih rješenja potvrđuje ispravnost ili neispravnost metoda. Ako se rezultati ne podudaraju to motivira rješavača na dalja istraživanja. Također se može uočiti, da numeričko rješenje nije uvijek apsolutno točno ali se može postići rezultat uz zadanu dozvoljenu pogrešku.

Prikazani jednostavan primjer kretanja dvaju predmeta u suprotnom smjeru po pravcima koji se sijeku pod zadanim kutom zgodan je primjer za analitičko i numeričko rješenje u kojem je analitičko rješenje dosta složeno, dok je numeričko jednostavno. Zenonov paradoks o Ahilu i kornjači bio je motiv za rješavanje sličnog problema progonitelja i proganjanog uz mogućnosti proširenja zadatka dodatnim parametrima, kada analitičko rješenje nije moguće, dok je numeričko i dalje jednostavno.

Nekoliko primjera kružnog gibanja, kao saonice koje u polarnom krugu slijede svoju sjenu i položaji kazaljki na satu pokazuju, da uz nešto razmišljanja, analitičko rješenje može biti jednostavno.

I. Nalaženje najmanje udaljenosti

I.1 Analitičko rješenje



Sl.: 1. Gibanje dvaju predmeta

Dva predmeta (1 i 2 na slici 1) gibaju se po pravcima. Pravci se sijeku pod zadanim kutom α a predmeti se gibaju u suprotnim smjerovima zadanim brzinama v_1 i v_2 . Njihova početna udaljenost je D . Oba predmeta kreću istovremeno. Slika 1 prikazuje njihove položaje u trenutku t , kada je njihova međusobna udaljenost jednaka d . Točke T_1 i T_2 imaju koordinate

$$T_1(v_1 \cdot t, 0) \text{ i } T_2(D - v_2 \cdot t \cdot \cos \alpha, v_2 \cdot t \cdot \sin \alpha) \quad (1)$$

Za zadane parametre D , v_1 , v_2 i α udaljenost d jednostavno se dobiva:

$$d = ((v_1 \cdot t - (D - v_2 \cdot t \cdot \cos \alpha))^2 + (v_2 \cdot t \cdot \sin \alpha)^2)^{1/2} \quad (2)$$

Preglednosti raditi označiti ćemo d s $f(t)$.

Udaljenost d tj. $f(t)$ ovih dvaju predmeta uz zadane parametre D , v_1 , v_2 i α je funkcija vremena t .

Da bi se dobio minimum ove funkcije analitičkim putem, funkciju treba derivirati po t , izraz izjednačiti s nulom i riješiti dobivenu jednadžbu po t . Deriviranje ove funkcije nije sasvim jednostavno, no korištenjem umjetne inteligencije [1] to se lakše

može dobiti nego provesti vlastitu analizu.

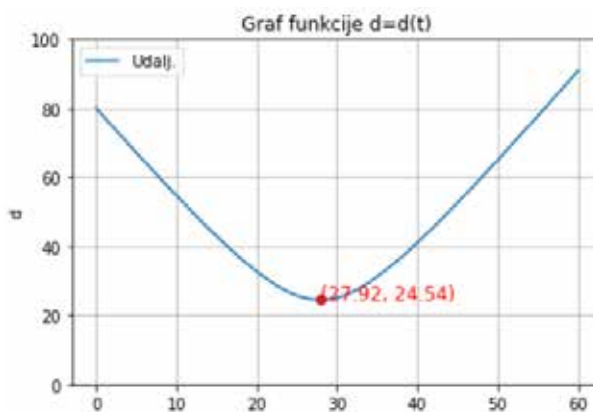
Rezultat derivacije glasi

$$\frac{df}{dt} = \frac{t \cdot (v_1 + v_2 \cdot \cos \alpha)^2 + (v_2 \cdot \cos \alpha)^2 - D \cdot (v_1 + v_2 \cdot \cos \alpha)}{((v_1 + v_2 \cdot \cos \alpha) \cdot t - D^2 + (v_2 \cdot \sin \alpha)^2 \cdot t^2)^{1/2}} \quad (3)$$

Iako je ovaj izraz dosta složen, rješenje jednadžbe $df/dt=0$ je vrlo jednostavno, jer je taj izraz jednak nuli kada je brojnik jednak nuli. Iz toga proizlazi, da će se do minimalne udaljenosti doći u vremenu

$$t = (D \cdot (v_1 + v_2 \cdot \cos \alpha) - (v_2 \cdot \cos \alpha)^2) / (v_1 + v_2 \cdot \cos \alpha)^2 \quad (4)$$

To je analitičko rješenje zadanog problema. Uvrštavanjem ovog izraza u (2) dobiva se i minimalna udaljenost. Ako zadamo vrijednosti $v_1=100$ km/h, $v_2=57$ km/h, $D=100$ km i $\alpha=42^\circ$, analitičko rješenje daje vrijednosti $t_{min}=27,92$ minuta i $d_{min}=24,54$ km. Slika 2 prikazuje graf te funkcije.



Sl.: 2. Graf udaljenosti dvaju predmeta

1.2 Numeričko rješenje

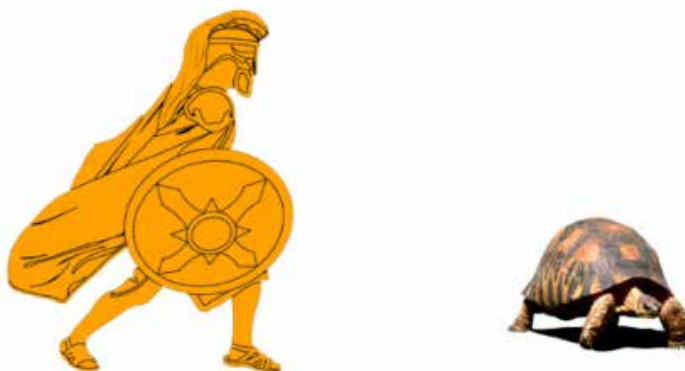
Za razliku od analitičkog, numeričko rješavanje je vrlo jednostavno. Dovoljno je koristiti neki tablični kalkulator (npr. MS Excel). U jednom stupcu treba generirati vremena u intervalu od 0 do nekog očekivanog vremena u kojem će nastupiti minimalna udaljenost, na primjer 60 minuta. Ta vremena treba zadati sa željenim porastom, na primjer od jedne minute. U slijedeće dva stupca treba upisati koordinate točaka T_1 i T_2 prema izrazu (1) a u naredni stupac treba upisati formulu za udaljenosti tih dviju točaka prema izrazu (2). U tom stupcu naći će se vrijednosti udaljenosti ovisne o vremenu. Pregledom tih podataka lako je uočiti najmanju vrijednost za udaljenost. Iz tablice 1, gdje je preglednosti radi prikazano samo nekoliko početnih i konačnih

redova proračunske tablice, jasno se vidi da minimalna udaljenost nastupa nakon 28 minuta i iznosi 24.54 km. To gotovo u potpunosti odgovara analitičkom rješenju. Malo odstupanje proizlazi iz rezolucije od samo jedne minute. To ukazuje na činjenicu da je točnost numeričkog rješenja ovisna o odabranoj dozvoljenoj pogreški.

Tablica 1.: Udaljenost dvaju predmeta

t[min]	$x_1[\text{km}]$	$x_2[\text{km}]$	$y_2[\text{km}]$	Udalj. [km]
0	0.000	80.000	0.000	80.000
1	1.667	79.071	0.836	77.409
2	3.333	78.142	1.673	74.828
3	5.000	77.213	2.509	72.257
4	6.667	76.284	3.346	69.698
24	40.000	57.706	20.074	26.767
25	41.667	56.777	20.910	25.798
26	43.333	55.848	21.747	25.090
27	45.000	54.919	22.583	24.665
28	46.667	53.990	23.420	24.538
29	48.333	53.061	24.256	24.712
30	50.000	52.132	25.092	25.183

2. Ahil i kornjača



Sl.: 3. Ahil i kornjača, izvor Wikipedia

2.1 Zenonov paradoks

Grčki filozof Zenon (Zeno) definirao je paradoks o Ahilu kao brzom progonitelju i kornjači kao sporom bjeguncu. Dok Ahil stigne do mjesta gdje je bila kornjača, ona je već odmakla nešto dalje. Postupak se nastavlja, kornjača uvijek „bježi“ Ahilu tako, da ju on nikada ne može doći. Ovdje se krije logička pogreška. Jasno je, ako se progonitelj kreće brzinom v_p a bjegunac bježi brzinom v_b i ako je njihova početna udaljenost d , onda će vrijeme hvatanja, pod uvjetom $v_p > v_b$ biti

$$t = d / (v_p - v_b) \quad (5)$$

Ovakvi i slični problemi proganjanja česte su i nekada naivne pitalice. Popularna je dječja pitalica koja glasi: „Pas lovi lisicu. Početno je od nje udaljen 50 psjećjih koraka. Dok pas napravi pet svojih koraka, lisica napravi šest lisićjih koraka. No četiri psjećja koraka velika su kao pet lisićjih. Koliko koraka će prevaliti pas da uhvati lisicu?“ Iako se problem čini složenim, on se može riješiti i bez većeg računanja. Brzina psa je $v_p = 5$ ili $25/5$ koraka u jedinici vremena. Brzina lisice je $6 \cdot 4/5 = 24/5$ u istoj toj jedinici vremena („dok pas napravi pet koraka“). Lisica je, dakle, za $1/25$ sporija od psa. Prema izrazu (5) „vrijeme hvatanja“ u psećjim koracima bit će $50 / (1/25) = 1250$. Pas će, ako je početno udaljen od lisice 50 koraka, uhvatiti lisicu nakon što pređe 1250 svojih koraka.

Ovo je „analitičko“ rješenje prema izrazu (5). Problem je jedino u preračunavanju brzina u jednake mjerne jedinice i ukazuje, da jedinica za vrijeme može biti zadana kao interval „dok pas napravi pet koraka“. Brzinu lisice samo treba preračunati u tom „psećjem“ mjerilu i onda je problem jednostavan.

No problem se može napraviti složenijim. Može se definirati, da se pas i lisica umaraju trčeći, pa su brzine v_p i v_b u izrazu (5) funkcije vremena.

2.2 Analitičko rješenje za linearno promjenljive brzine

Analitičko rješenje kada su brzine ovisne o vremenu, tj. funkcije vremena moguće je samo ako su te funkcije jednostavne. Ako su obje funkcije linearne i to oblika:

$$v(t) = kt + v_o \quad (6)$$

gdje je k koeficijent promjene brzine a v_o je početna brzina, tada se izraz (5) svodi na kvadratnu jednadžbu. Kada se uvrste dvije linearne jednadžbe, jedna za psa (progonitelja) a druga za lisicu (bjegunca) dobiva se slijedeća kvadratna jednadžba po vremenu t :

$$(k_p - k_l) \cdot t^2 + (v_{po} - v_{lo}) \cdot t - d = 0 \quad (7)$$

Ovdje indeksi p i l označavaju vrijednosti za psa odnosno lisicu. Ako se njihove brzine tokom vremena smanjuju, koeficijenti k_p i k_l su negativni. Jednadžba (7) lako je rješiva. Za odabrane vrijednosti: $k_p = -65 \cdot 10^{-5}$, $k_l = -48 \cdot 10^{-5}$, $v_{po} = 5$, $v_{lo} = 4,8$ i $d = 50$ koji su primjereni stvarnim uvjetima, dobiva se rezultat $t = 367$. To znači, da će nakon 367 vremenskih jedinica pas uhvatiti lisicu. Broj koraka koje je napravio pas tu nije vidljiv. Taj broj dobiva se integriranjem izraza (6) od 0 do 367 za „psećje“ parametre $k_p = -0,00065$ i $v_p = 5$. Dobiveni broj koraka psa iznosi 1791. To je, očekivano, veće od broja koraka koje pas mora preći da uhvati lisicu ako se ne umara (1250).

2.3 Numeričko rješenje za linearno promjenljive brzine

Numeričko rješenje je i u ovom slučaju jednostavno. U tabličnom kalkulatoru zadaju se izabrani koeficijenti. U tablici 2, preglednosti radi, prikazano je samo prvih četiri i zadnjih četiri redaka od ukupnog proračuna koji ima 365 redaka. U prvi redak unose se početni podaci. U svaki iduću redak unose se podaci dobiveni iz prethodnog retka uvećani za promjenu u posljednjem kratkom vremenskom razdoblju. Ovi postupci jednostavno se izvode u nekom tabličnom kalkulatoru na računalu kopiranjem samo jednog retka. Zbog toga je cijeli račun razmjerno brz.

Iz redaka tablice 2 vidi se da se brzine psa i lisice smanjuju a njihov se razmak isto smanjuje. Iz zadnjeg, 365. retka, vidi se da je pas uhvatio lisicu nakon 365 vremenskih intervala, odnosno 1738 „psećjih“ koraka. To je neznatna razlika u odnosu na analitičko rješenje koje je dalo 367 vremenskih intervala i 1791 korak. Do razlike je došlo zbog nedovoljne točnosti numeričke metode kada nije zadana vrlo visoka rezolucija (vrlo malo vremensko razdoblje u kojem se računa idući podatak).

Tablica 2.: Brzine i udaljenosti psa i lisice

Vrijeme	Brzina	Put	Brzina	Put lisice	Razmak	Lisica
	psa	psa	lisice			uhvaćena
0	5.000	0.000	4.800	0.000	50.000	Ne
5	4.997	24.984	4.798	23.988	49.004	Ne
10	4.994		4.795	47.952	48.017	Ne
15	4.990	74.854	4.793	71.892	47.038	Ne
350	4.772	1670.375	4.632	1621.200	0.825	Ne
355	4.769	1693.084	4.630	1643.508	0.424	Ne
360	4.766	1715.760	4.627	1665.792	0.032	Ne
365	4.763	1738.404	4.625	1688.052	-0.352	Da

Usporedbom sa slučajem kada se pas i lisica ne umaraju, pas je trebao napraviti 1250 koraka da uhvati lisicu, dok u ovom slučaju, kada se i pas i lisica umaraju, pas brže od lisice, psu je potrebno 1738 koraka za hvatanje lisice. Napomenimo, da za slučaj složenije ovisnosti brzine o vremenu (a ne linearne) analitičko rješenje može postati vrlo složeno ili nemoguće, dok je numeričko rješenje moguće po istim načelima.

Ovaj primjer također pokazuje, da se do rješenja problema, bilo analitički, bilo numerički, dolazi samo uz dobro upoznavanje samog procesa. Rješavanje analitičkom metodom također motivira rješavača za korištenje i stjecanje znanja iz matematike, dok se kroz numerička rješavanja usavršavaju vještine rada na računalu, Zato je edukativna vrijednost rješavanja ovakvih problema na ova dva načina vrlo značajna.

3. Saonice u polarnom krugu

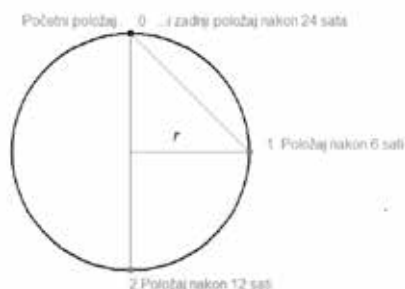
3.1 Opis problema

Zadatak koji rješava gibanje, koje nije pravocrtno, je nalaženje putanje saonica koje se u vrijeme polarnog ljeta gibaju automatski tako da slijede svoju sjenu. U vrijeme ljeta u polarnom krugu sunce uopće ne zalazi, već za promatrača sa Zemlje opisuje po nebu krugove. Pretpostavimo da je vedar dan, da imamo motorne saonice koje imaju jarbol i da su automatski navođene tako, da slijede svoju sjenu. Ako se saonice kreću brzinom v (na primjer 15 km/sat), pita se kako daleko će saonice biti od mjesta odakle su krenule nakon šest, 12 i 24 sata.

3.2 Analitičko rješenje saonica u polarnom krugu

Kako se Sunce u polarnom krugu prividno giba po kružnici, tako će se i saonice koje prate svoju sjenu gibati po kružnici. Kutna brzina prividnog gibanja sunca koje za 24 sata prijeđe cijeli krug je

$$\omega = 2\pi/24 \quad (8)$$



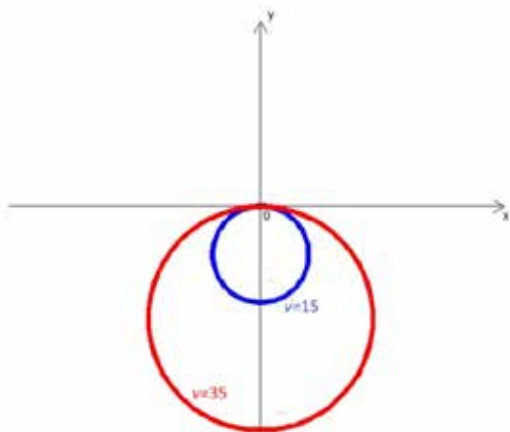
Sl.: 4. Putanja saonica koje slijede svoju sjenu

a zadana linijska brzina je v , te se zbog toga saonice gibaju po kružnici polumjera

$$r = v/\omega \quad (9)$$

Slika 4 prikazuje rješenje. Iz slike 4 se vidi, da su saonice nakon 6 sati, na četvrtini kruga u točki 1 koja je od početne točke udaljena $r \cdot 2^{1/2}$, odnosno $1,414 \cdot r$. Nakon 12 sati saonice su na polovici kružnice pa su od početne točke udaljene $2 \cdot r$, dok su nakon 24 sata saonice u početnoj točki 0.

Treba napomenuti, da će se saonice uvijek gibati po kružnici a polumjer kružnice je to veći, što je linijska brzina saonica veća kao što to pokazuje izraz (9) i slika 5.



Sl.: 5. Putanje saonica ovisno o linijskoj brzini

3.3 Numeričko rješenje saonica u polarnom krugu

Numeričko rješavanje gibanja saonica koje prate svoju sjenu može se napraviti na način, da se u malim intervalima Δt kružno gibanje aproksimira pravocrtnim. Nakon svakog intervala povećava se kut koji određuje pravac gibanja. Povećanje kuta iznosi $\Delta\alpha = \Delta t \cdot \omega$ gdje je ω kutna brzina okretanja Zemlje dana u satima izrazom (8). Zbrajajući povećanje kuta dobiva se kut α pod kojim se saonice pravocrtno gibaju u idućem intervalu Δt . Ako se saonice gibaju zadanom brzinom v , one će u intervalu Δt prijeći put (određen pravokutnim koordinatama x i y)

$$\Delta x = v \cdot \Delta t \cdot \cos(\alpha) \quad (10)$$

$$\Delta y = v \cdot \Delta t \cdot \sin(\alpha) \quad (11)$$

Zbrajanjem pomaka po x i y osi, dobiva se položaj saonica u trenutku t .

Tablica 3 prikazuje samo dio proračunske tablice i to za vrijednosti na početku

i oko traženih rezultata. Račun je proveden za brzinu $v = 15$ km/sat pa polumjer kruga r po kojem se saonice kreću iznosi 57, 42 km. Iz drugog dijela tablice se vidi, da je udaljenost nakon 360 minuta (šest sati) jednaka $2^{1/2} \cdot r$ (hipotenuza istokračnog pravokutnog trokuta s katetama r). Nakon 720 minuta (12 sati) ta udaljenost je $2 \cdot r$, dok nakon 24 sata (1440 minuta) su se saonice vratile na početnu točku.

Tablica 3.: Putanja saonica po polarnom krugu

Vrijeme	Kut	Koord.	Koord.	Udaljenost
[min]	[stup]	x[km]	y[km]	[km]
0	0.00	0.000	0.000	0.00
1	0.25	0.250	0.000	0.25
2	0.50	0.500	-0.001	0.50
3	0.75	0.750	-0.003	0.75
358	89.50	57.417	-56.671	80.67
359	89.75	57.420	-56.921	80.85
360	90.00	57.421	-57.171	81.03
361	90.25	57.421	-57.421	81.21
718	179.50	0.750	-114.588	114.59
719	179.75	0.500	-114.590	114.59
720	180.00	0.250	-114.591	114.59
721	180.25	0.000	-114.591	114.59
722	180.50	-0.250	-114.590	114.59
1437	359.25	-0.750	-0.007	0.75
1438	359.50	-0.500	-0.003	0.50
1439	359.75	-0.250	-0.001	0.25
1440	360.00	0.000	0.000	0.00

U ovom numeričkom računu ima manjih pogrešaka zbog nedovoljno malog intervala uzastopnih aproksimacija. Smanjenje tog intervala pri korištenju tabličnog kalkulatora znatno bi povećalo tablicu i za ovakav način računanja nije prikladno. Programom u nekom programskom jeziku to se može izbjeći.

4. Kazaljke na satu

4.1 Kružno gibanje dvaju tijela po istoj putanji

Gibanje dvaju tijela po istoj kružnoj putanji ali s različitim kutnim brzinama ω može također poslužiti kao izvor nekoliko zadataka koji su rješivi i analitički i numerički. Početno se možemo poslužiti jednostavnom pitalicom namijenjenom mlađim osobama, srednjoškolcima ili studentima. Ta pitalica glasi: „Velika i mala kazaljke na satu poklopljene su u 12 sati kad obje pokazuju na broj 12. Nakon kojeg vremena, izraženo točno racionalnim brojem će se te kazaljke ponovo poklopiti?“ Većina upitanih na to pitanje odgovara, da će to nastupiti nakon nešto više od pet minuta, što je donekle, ali ne sasvim točno i nije rezultat izražen racionalnim brojem. Bez računanja, uz nešto logičkog zaključivanja do odgovora na ovu pitalicu lako se dolazi. U roku od 12 sati kazaljke će se poklopiti 11 puta dok opet ne dođu u početni položaj na broj 12. Ako 11 poklapanje kazaljki traje 12 sati, onda po jedno poklapanje kazaljki nastupa nakon svakih $12/11$ sata. To je točan odgovor na postavljenu pitalicu. Izraženo u satima, minutama i sekundama traženo vrijeme je 01:05:27 i $3/11$ sekundi (jedan sat 5 minuta i 27 i $3/11$ sekundi).

4.1 Analitičko rješenje kružnog gibanja kazaljki sata

Do istog se rezultata dolazi primjenom izraza (5) za bjegunca i progonitelja. Ovdje je „bjegunac“ mala kazaljka a „progonitelj“ velika kazaljka. Njihova početna udaljenost je 2π radijana, kutna brzina „bjegunca“ je $\omega = 2\pi$ radijana na sat, brzina „progonitelja“ je 12 puta veća, razlika brzina $11/12$ radijana na sat pa se prema izrazu (5) opet se dobiva vrijeme od $12/11$ sata.

Napomenimo, da su neki, iako rijetki analogni satovi napravljeni s podjelom od 24 sata, mala kazaljka obiđe puni krug u 24 (a ne 12) sati. Takav jedan sat je na meteorološkom stupu na Zrinjercu u Zagrebu a jedan je na kuli u Krku (slika 6). Račun je tada istovjetan s računom sata s 12 podjela, samo se umjesto broja 11 ($12-1$) koristi broj 23 ($24-1$).



Sl.: 6 Sat s 24 satnom podjelom u Krku (Foto: D. Fischer)

Navedeni zadatak se može poopćiti. Umjesto da se traži vrijeme kada će se kazaljke poklapati, može se tražiti vrijeme t kada će kazaljke zatvarati neki zadani kut α . Također, račun se izvodi ne za slučaj kada su početno kazaljke poklopljene, već kada su one pod nekim zadanim kutom α_k . Dovoljno je uz kut α_k zadati, za ovaj slučaj, početni kut male kazaljke α_{om} jer kako se kutne brzine male i velike kazaljke odnose kao 1 prema 12, položajem male kazaljke određen je i položaj velike kazaljke α_{ov} po izrazu

$$\alpha_{ov} = 12 \cdot \alpha_{om} - 2 \cdot k \cdot \pi \quad (12)$$

gdje je $k = 0$ ili cijeli broj od 1 do 11 ovisno o položaju male kazaljke (iza kojeg broja na brojčaniku se ona nalazi. Na primjer ako se mala kazaljka nalazi na položaju $\alpha_{om} = \pi/13 = 0,242$ radijana tada je $k = 0$, $\alpha_{ov} = 2,90$, mala kazaljka je na brojčaniku sata na 2,31 minuti a velika kazaljka na 27,69 minuta. Ako se traži vrijeme nakon kojega će kazaljke biti pod zadanim kutom α , tada mora biti zadovoljen uvjet

$$|\alpha_v - \alpha_m| = \alpha \quad (13)$$

gdje su α_v i α_m položaji velike i male kazaljke. Apsolutna vrijednost razlike kutova u gornjem izrazu koristi se zato, jer velika kazaljka može biti ispred i iza male kazaljke kada one zatvaraju zadani kut. Položaji kazaljki α_v i α_m u trenutku t određeni su njihovim početnim položajem i putom koji će kazaljke preći u vremenu t . Vrijedi izraz

$$12 \cdot \alpha_m - \alpha_{om} = \alpha_{ov} + 12 \cdot \omega \cdot t - (\alpha_{om} + \omega \cdot t) = \alpha \quad (14)$$

Ovdje je ω kutna brzina male kazaljke i iznosi $2\pi/12 = \pi/6$ radijana na sat.

Kako je α_{ov} 12 puta veće od α_{om} , uz pretpostavku da je velika kazaljka ispred male kazaljke, iz ovoga slijedi traženo vrijeme t nakon kojeg će kazaljke biti pod traženim kutom α .

$$t = (\alpha - \alpha_{ov} + \alpha_{om}) / (11 \cdot \omega) = (\alpha - 11 \cdot \alpha_{om}) / (11 \cdot \pi/6) \quad (15)$$

Na primjer, ako je početni položaj male kazaljke na $\alpha_{om} = \pi/13$ radijana (oko 2,31 minuta) i traži se vrijeme kada će kazaljke biti pod kutom $\alpha = \pi$, prema izrazu (15) dobiti će se $t=5,035$ minuta (5 minuta i 21 sekunde).

3.3 Numeričko rješenje kružnog gibanja kazaljki sata

Pri rješavanju općeg slučaja gibanja kazaljki na satu, kada se zadaje početni položaj male kazaljke (*Alfaom*) i kut između kazaljki koji će nastupiti nakon vremena t , a traži se to vrijeme, preostale vrijednosti za računanje su poznate. Kutna brzina male kazaljke $\omega = \pi/6$ radijana na sat ili 0,5 stupnjeva po minuti, dok je početni položaj velike kazaljke *Alfaon* 12 puta veći od početnog položaja male kazaljke jer je kutna brzina velike kazaljke 12 puta veća od kutne brzine male kazaljke. Pri računanju treba odabrati jedinice u kojima će se provoditi računanje. Tablica 4 prikazuje račun za kutove u stupnjevima i vrijeme u minutama, pa je kutna brzina dana u stupnjevima u minuti i iznosi $\omega=0,5$ [stup./min]. Podaci potrebni za račun prikazani su u gornjem dijelu tablice 4.

U donjem dijelu tablice 4, preglednosti radi, prikazano je samo nekoliko redaka stvarnog računa i to početni redci i redci oko postignutog rješenja. U prvi stupac tablice za računanje unosi se vrijeme. Početno, u vremenu $t=0$, kazaljke su na svojim zadanim početnim položajima. U prvom stupcu tablice uneseno je vrijeme koje se povećava za odabrani mali interval Δt . Za ovaj primjer odabrano je $\Delta t=0,1$ minuta. U drugom stupcu tablice prikazan je trenutni položaj male kazaljke. On se dobiva iz prethodnog položaja uvećanog za kut pređen u kratkom intervalu Δt . U trećem stupcu prikazan je položaj velike kazaljke nakon tog istog intervala dok četvrti stupac prikazuje razliku kutova između kazaljki. U petom stupcu (s „DA“ ili „Ne“) naznačeno je da li je približno dostignut traženi rezultat (razmak kazaljki). Za ovaj primjer odabrana je dozvoljena pogreška od 0,01 minute (vidljivo samo u originalnoj tablici i nije, preglednosti radi, preneseno u ovu skraćenu tablicu).

Tablica 4.: Gibanje kazaljki na satu

Alfa0m	13.84615	[stup.]		
<i>Alfa0v</i>	166.1538	[stup.]		
Traži se	180	[stup.]		
<i>Omega</i>	0.5	[stup./min]		
Vrijeme	<i>Alfam</i>	<i>Alfav</i>	Razlika	Rezul-
[min.]	[stup.]	[stup.]	[stup.]	tat
0.0	13.846	166.152	152.306	Ne
0.1	13.896	166.752	152.856	Ne
0.2	13.946	167.352	153.406	Ne
0.3	13.996	167.952	153.956	Ne
0.4	14.046	168.552	154.506	Ne
0.5	14.096	169.152	155.056	Ne
4.8	16.246	194.954	178.708	Ne
4.9	16.296	195.554	179.258	Ne
5.0	16.346	196.154	179.808	DA
5.1	16.396	196.754	180.358	DA
5.2	16.446	197.354	180.908	Ne
5.3	16.496	197.954	181.458	Ne
5.4	16.546	198.554	182.008	Ne

Iz zadnjeg dijela Tablice 4 vidljivo je, da će traženi kut između kazaljki nastupiti u vremenu između 5,0 i 5,1 minute. To odgovara analitičkom rješenju u kojem je dobiveno vrijeme od 5,03 minute.

Numeričko rješenje može se poboljšati uvođenjem manjih vrijednosti dozvoljene pogreške a račun se provodi u samo nekoliko koraka u vremenima oko već nađenog približnog rješenja.

Treba napomenuti, da numeričko rješenje po ovom načelu, iako vrlo jednostavno, može dovesti do znatne pogreške ako se pri računanju ne uzimaju brojevi s dovoljnom preciznošću. Upravo zbog toga usporedbe analitičkih i numeričkih rješenja su vrlo korisne i poučne, što se upravo ovakvim primjerima nastojalo pokazati.

Zaključak

Većina fizikalnih procesa ima matematički model iz kojeg se analitičkim putem mogu naći rješenja i podaci o ponašanju procesa pod raznim uvjetima. Analitičko rješenje nekada je jednostavno, no nekada je vrlo složeno. Do rješenja se gotovo uvijek može doći i numeričkom metodom za koju je vrlo često dovoljna i sasvim jednostavna i pristupačna programska podrška. Često je numerička metoda jednostavnija od analitičke. Smatramo, da je korisno pri podučavanju učenika i studenata o fizikalnim procesima motivirati ih da pokušaju naći rješenja na oba načina. Takvi postupci mogu biti zanimljivi i upućivati osobe koje ih proučavaju da bolje shvate suštinu i detalje problema. Ovim člankom htjeli smo ukazati na korisnost ovih dviju usporednih metoda.

Literatura

[1] chatgpt.com/c/d225c, pristupljeno 14. 9. 2024

[2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Zeno%27s-paradoxes#>, pristupljeno 13. 9. 2024

[3] Lopašić, *Fizika*, Udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska, 1968.

Darko Fischer

ANALITICAL AND NUMERICAL SOLUTIONS AS PEDAGOGICAL TOOLS

Summary: Solutions of many simple problems in mathematics and physics serve as a pedagogical tool that helps students to better understand some processes. Many such problems can be solved both analytically and numerically. A comparison of these two methods gives very useful insights into the essence of the process. The paper presents several relatively simple problems using both methods.

Keywords: Minimum distance, Zeno's paradox, pursuer and persecuted, circular motion, clockwise, polar Circle, software, computer, artificial intelligence.

Igor Fischer, Katharina A. Faust

HISTORY AND APPLICATIONS OF LOGISTIC FUNCTION: FROM POPULATION GROWTH TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract: Logistic function has been known under different names and used in very diverse fields, from quantum physics and chemistry to ecology, statistics and artificial intelligence. Physicists know it as Fermi-Dirac distribution, which describes statistical distribution of quantum particles with half-integer spin over energy levels. Chemists, pharmacologists and toxicologists meet it under the name “Hill equation”, which describes the effects of a reaction in dependence of the substance concentration. Logistic function models the population growth in a limited environment, and in statistics and machine learning it is used to model the probability that the observation belongs to one of the two possible classes. As a “soft” variant of the Heaviside step function it is commonly applied in the activation function in the output layer of neural networks and many practitioners consider it the canonical sigmoid function. The wide applicability of the logistic function is an indirect consequence of the central limit theorem.

Keywords: logistic function, Hill equation, Fermi-Dirac distribution

Introduction

Among the myriad mathematical function which can be constructed, several have historically crystalized as “elementary”. Among them doubtlessly belong logarithms, exponential function, trigonometric functions, and their inverses. These functions are being taught already in school, every scientific calculator can calculate them directly, and in computer programming languages they are, as a rule, immediately

accessible or through standard, well known, documented and maintained libraries. The title “elementary functions” should not be taken too literally; it is more a matter of tradition than of their mathematical properties. For example, trigonometric functions follow from the exponential one – in that sense, the exponential function is more “elementary” than trigonometric ones.

Specialized areas of mathematics, science, and engineering often use additional functions which can be considered “elementary” within the area, such as factorial for combinatorics or the Lorentz factor in relativistic physics, in the sense that they appear often in equations or serve as building blocks for further functions. Logistic function is one such function which often, but under different names, appear in many very diverse areas of science and engineering.

In its most simple variant, the *standard* logistic function is defined as:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

It is easy to show that the logistic function is simply scaled and shifted hyperbolic tangent:

$$\frac{1}{1 + e^{-x}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh \frac{x}{2}$$

For practical purposes, logistic function is usually parametrized in some way.

I. Population growth in limited environment

First historical records about logistic function date back to the period 1838-1847, by the Belgian mathematician Pierre-François Verhulst [1-3]. The phenomenon of exponential growth was already well known at that time, and at first glance it seemed that if each generation in a country had more descendants than the parent generation, the population should grow exponentially. At the same time, it was obvious that for its survival, and especially for growth, the population needed resources, primarily food, which were available only in limited quantities, which in turn limited growth.

Inspired by earlier considerations by Thomas Malthus [4] and Adolphe Quetelet, Verhulst postulated that the growth rate depends on the population itself, on the maximum possible population that the environment can support, and on the reproduction factor, so that it can be modeled by the differential equation:

$$\frac{dP}{dt} = rP \left(1 - \frac{P}{K}\right)$$

In other words, the rate of population growth – the number of additional inhabitants per unit of time – is proportional to the population size itself, the reproduction factor (a multiplicative term that tells how many times the population would be larger at time t than at time 0 if growth were not limited), and the relative difference between the population and its limiting size. Verhulst called this differential equation “logistic”, for reasons that cannot be reconstructed any more. It is only certain that this name has nothing to do with logistics in a military or economic context.

When $P \ll K$ or, equivalently, when environmental resources are unlimited ($K \rightarrow \infty$), growth is approximately exponential:

$$\frac{dP}{dt} \approx rP$$

and:

$$P \approx P(0)e^{rt}$$

In the opposite case, when $P \rightarrow K$,

$$\frac{dP}{dt} \approx rK \left(1 - \frac{P}{K}\right)$$

so that:

$$P \approx K \left(1 - \left(1 - \frac{P(0)}{K}\right)e^{-rt}\right)$$

In the general case, the solution to the Verhulst equation is:

$$P(t) = \frac{P(0)e^{rt}}{1 + \frac{P(0)}{K}(e^{rt} - 1)}$$

or, rearranged:

$$P(t) = \frac{K}{1 + e^{\ln\left(\frac{K}{P(0)} - 1\right) - rt}}$$

This is simply the standard logistic function from the introduction, scaled by factor K , where $x = rt - \ln(K/P(0) - 1)$. Its shape is shown in Fig. 1. As we can see – and it can be recognized from the approximative equations for limit cases – the function asymptotically approaches 0 and K as time approaches $-\infty$ resp. $+\infty$, by the same velocity in both cases. Moreover, the function is symmetrical around $P = K/2$, that is, around $t = \frac{1}{r} \ln \left(\frac{K}{P(0)} - 1 \right)$.

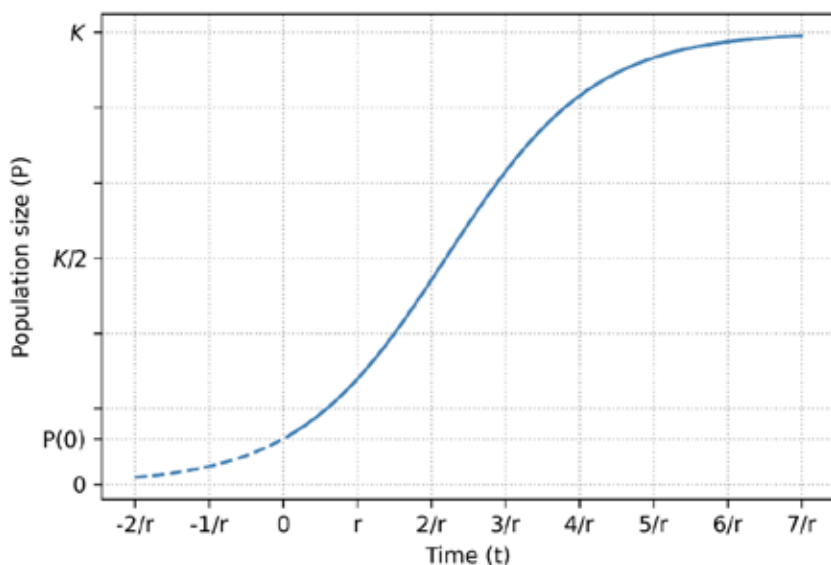


Fig. 1.: Verhulst's logistic function in parametrized coordinate system.

It goes without saying that this model applies not only to countries and human populations, but also to animals in their habitat, microbes in the organism they have invaded, cells grown in a laboratory, in a Petri dish, etc.

The logistic function, graphically, has the shape of an elongated letter “S”, and therefore belongs to the family of so-called “sigmoid functions”, along with the hyperbolic tangent, the cumulative normal distribution, and countless other functions.

2. Chemical reactivity in the presence of inhibitory and excitatory factors

In the early 20th century, the British physiologist and pharmacist Archibald Vivian Hill studied the saturation of hemoglobin dissolved in various salts as a function of oxygen tension [6]. Hill had the measured data available and was trying to find a mathematical function that described them well. Of the three very similar functions he listed in his article, the second one, the “B” function, proved to be the best compromise between precision and complexity. Hill expressed this function in the form:

$$y = 100 \frac{Kx^n}{1 + Kx^n}$$

and this is, basically, the equation known today under his name. Here, y is the percentage of hemoglobin saturation with oxygen, x is the oxygen tension, and K

and n are parameters that depend on the substances in which the reaction is described. For example, Hill found that for hemoglobin in Na_2HPO_4 the model best matches measurements for $n = 1.67$ and $K = 0.0453$, while for NaHCO_3 the best parameters are $n = 1.835$ and $K = 0.0155$.

The purpose of the constant 100 is only to express the saturation as percentage (0% – 100%) and can be ignored for practical purposes. Moreover, if we express x^n as $e^{n \ln x}$, the whole equation becomes:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-n \ln x - \ln K}}$$

which is basically also logistic function, but with different parameter names and the argument on the logistic scale.

Although the Hill equation is essentially a heuristic, without any theoretical justification, it soon found application in the broader fields of chemodynamics, toxicology, and pharmacology. Expanding the equation by the multiplicative factor $y_{\max}$, we obtain the three-parameter Hill equation, whose co-domain is not limited to (0, 1), but can describe phenomena on the scale $0 - y_{\max}$:

$$y = y_{\max} \frac{1}{1 + e^{-n \ln x - \ln K}}$$

The Michaelis–Menten equation [7], which describes the reaction rate v as a function of the substrate concentration S , is a special case of the Hill equation, where $n = 1$ and $y_{max} = V_{max}$:

$$v = V_{max} \frac{S}{K_m + S}$$

K_m is here simply the substrate concentration at which the reaction rate reaches half of its maximum rate.

In pharmacology, the three-parameter Hill equation is used to describe the effect of a drug as a function of its concentration:

$$E = E_{max} \frac{C^\alpha}{EC_{50}^\alpha + C^\alpha}$$

Here, C is the drug concentration, EC_{50} is the concentration at which the drug develops 50% of its maximum possible effect, E_{max} the maximum effect that the drug can develop, and α a parameter that depends on the type and effectiveness of the drug.

In some cases – especially in toxicology, where the survival of subjects exposed to a toxin is modeled – it is desirable to introduce a fourth parameter E_0 that determines the lower limit of action:

$$E = E_0 + (E_{max} - E_0) \frac{C^\alpha}{EC_{50}^\alpha + C^\alpha}$$

The shape of this function is shown in Figure 2. It is important to note that here, unlike the three-parameter equation, EC_{50} is not the concentration at which the drug develops 50% of its maximum effect, but rather at which the effect is $E = E_0 + (E_{max} - E_0)/2$, i.e. halfway between the minimum and maximum effects.

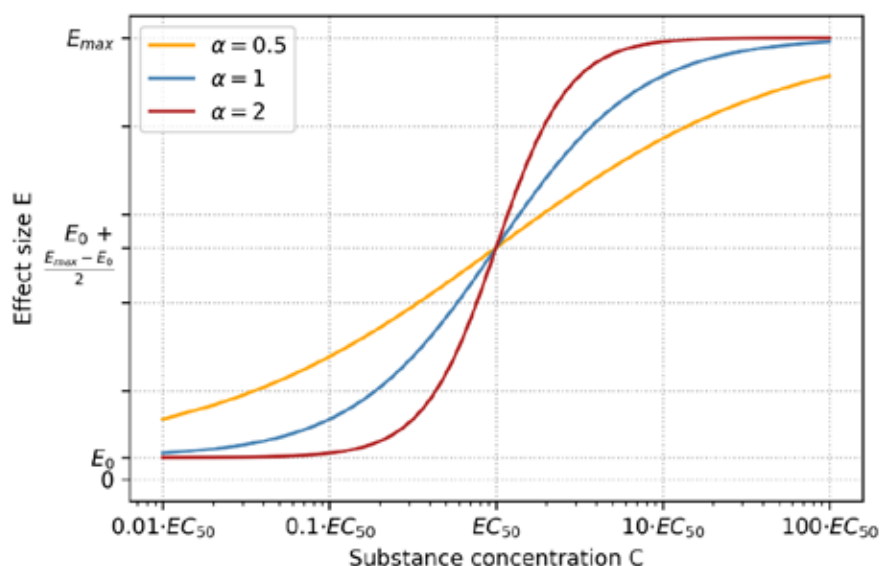


Fig. 2.: Four-parameter Hill equation, for different values of parameter .

3. Distribution of quantum particles over energy levels

The development of quantum mechanics in the first decades of the 20th century forced physicists to reexamine many of the established concepts and models. Among other things, it was shown that the Maxwell-Boltzmann model of the distribution of particles – originally gas atoms and molecules – over energy levels was inconsistent with the fact that energy in a quantum system can only have discrete values. To explain the distribution of elementary particles with half-integer spin, such as electrons or protons, Enrico Fermi and Paul Dirac independently developed a new model in 1926, the distribution that now bears their name.

Although quantum mechanics has the reputation of being quite complex, for deriving the Fermi-Dirac distribution, it suffices to know only its basics and some elementary probability and combinatorics. In his publication [8], Fermi skipped the derivation and stated the result directly. Below we list the main steps of the derivation, as presented in Dirac's paper [9].

Taking into account the Pauli exclusion principle, the number of different ways in which a fixed number N_s of identical particles, e.g. electrons, can be distributed into an equally fixed number A_s of quantum states (wave functions) with identical energy E_s , where $N_s \leq A_s$, corresponds to the number of combinations N_s out of A_s :

$$W_s = \binom{A_s}{N_s} = \frac{A_s!}{N_s! (A_s - N_s)!}$$

The total number of combinations, over all energy levels, is:

$$W = \prod_s W_s = \prod_s \frac{A_s!}{N_s! (A_s - N_s)!}$$

Assuming that all energy levels are equally probable and with the conditions that the total number of particles is $N = \sum_s N_s$ and that the total energy is given by $E = \sum_s N_s E_s$, and by applying Stirling approximation, we find that the distribution with the maximum likelihood is given by:

$$N_s = \frac{A_s}{1 + e^{\alpha + \beta E_s}}$$

which is again logistic function with different parameter names. In quantum physics, α and β have the meanings:

$$\alpha = -\frac{\mu}{kT}$$

and

$$\beta = \frac{1}{kT}$$

where μ is the chemical potential of the system, T its absolute temperature, and k Boltzmann's constant. For semiconductors, μ lies between the valent and the conductive band. As the number of particles can be very large and isn't important by itself, it is common to express Fermi-Dirac distribution as the probability of occupying the energy level E_s :

$$p(E_s) = \frac{N_s}{A_s} = \frac{1}{1 + e^{\frac{E_s - \mu}{kT}}}$$

:It is interesting to note that the argument in the exponent's nominator here comes with a positive sign, while in Verhulst's and Hill equation and , respectively, come with a negative sign. Therefore, is a monotonically decreasing function, from 1 to 0 for increasing values of the argument, while Verhulst's and Hill are mirrored, monotonically increasing.

4. Regression for binary dependent variables

4.1. Motivation: Linear regression

Linear regression is one of the oldest, best known, and most important statistical methods. It models the relationship between one or more independent variables (correlates, predictors, or simply) and one real dependent variable (y). Independent variables usually also have real values, but this is not necessary. It suffices that they are numerical in nature.

Probably the most common application is when we have a set of measured values or observations, where each observation is described by two or more numbers, for example, the mass with which a coil spring is loaded and the elongation y of the spring. In this simple example, it is reasonable to assume that the mass is the independent variable, and that the elongation of the spring depends on it. Based on a large number of such measurements, with different loads on the spring, linear regression allows us to determine the principle by which the elongation depends on the mass. According to Hooke's law, the elongation is proportional to the mass, perhaps with the addition of a constant term y_0 which denotes the elongation of the unloaded spring:

$$y = y_0 + km$$

where k is the elastic coefficient of the spring. In the general case, with arbitrarily many independent variables, statisticians usually write a linear model as:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m$$

or, in vector form,

$$y = \beta_0 + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{x}$$

where β_0 is the constant term (intercept on the y -axis), $x_1 \dots x_m$ independent variables (components of the vector $\mathbf{x}$), and $\beta_1 \dots \beta_m$ the corresponding coefficients, i.e. the components of the vector $\boldsymbol{\beta}$. It is important to note that this is just a model; each individual measurement is subject to error ε_i , and linear regression assumes the errors to be additive, normally distributed around zero and to have a constant variance σ^2 :

$$y_i = \beta_0 + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{x}_i + \varepsilon_i, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma)$$

The assumption of normality for the errors might appear arbitrary, but in practice, it is often a good approximation. Normal distribution is very common in nature, due to the central limit theorem.

4.2. Logistic regression

In 1957-58, David Roxbee Cox considered the problem of regression when the dependent variable is not real, but binary – that is, when it can only have the values 0 or 1. Such problems often arise when observations can be classified into two discrete classes, e.g. “healthy” versus “sick”, or “wheat” versus “barley”, which we can numerically code as “0” and “1”, and when we can assume that the probability of belonging to one of the classes is conditional on the independent variables. In this case, the assumptions of linear regression are clearly not satisfied: The probability is mathematically limited to values between 0 and 1 and therefore cannot be proportional to the independent variables, which can have arbitrary real values. Likewise, the errors cannot be normally distributed, especially not around zero and with constant variance. When the independent variables model the probability of belonging to class “0” as low but nonzero, observations from class “0” with those values of the independent variables have a smaller error than observations from class “1”. For the same reason, the variance at probabilities that are close to 0 or 1 must be much smaller than around probabilities close to 0.5.

To circumvent these problems, Cox [10] proposed that the probability of belonging to class “1” be modeled by a logistic function. Cox did not explicitly justify this choice, stating only that “*in the absence of special considerations for a particular problem, the best form seems to be the logistic law*”. However, from further derivation it is evident that the logistic function, compared to other sigmoid functions, has one attractive property. If we can represent the probability of belonging to class “1” as:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{x})}}$$

then:

$$\ln \frac{p}{1-p} = \beta_0 + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{x}$$

In other words, *log-odds* for belonging to class “1” are a linear model! Unlike linear regression, where the optimal coefficients can be found analytically, by solving a linear system of equations, logistic regression is a nonlinear problem and the solution must be sought numerically. Figure 3 shows the result of a simple logistic regression, with only one independent variable, based on data from [11].

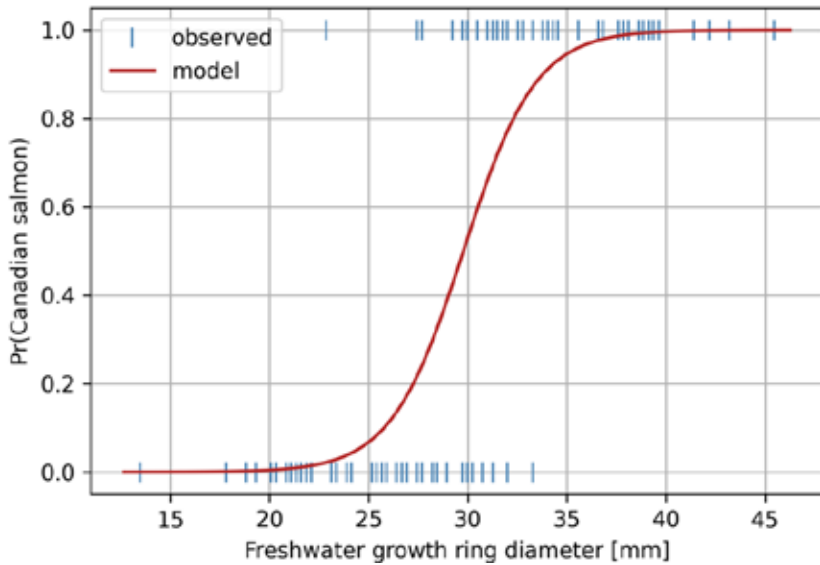


Fig. 3.: Logistic regression for predicting the species of salmon – Alaskan or Canadian. The x-axis shows the measured diameters of the freshwater growth rings, which are visible on the scales, and the y-axis shows the class to which each salmon belongs (blue, 1 = Canadian) and the modeled probability (red) of belonging to that class.

The function $x = \ln(p/(1 - p))$ is in statistics known under the name „*logit*“. As it is the inverse of the simple, standard logistic function, $p = 1/(1 + e^{-x})$, some practitioners, by analogy call the logistic function „*expit*“. It is the name under which standard logistic function can be found e.g. in Python’s `scipy.special` library, which also holds the function *logit*.

5. Folded functions

When summarizing empirical data, it is often useful to be able to express not only what values the data have, but also how much those values deviate from what is expected or common. For example, in a normal distribution, observations that are within one standard deviation of the center of the distribution are relatively common, unsurprising, while observations that are more than three standard deviations away are quite rare.

In [12], John Tukey considers a family of functions for – potentially nonlinear – scaling proportions p , i.e. values in the interval between 0 and 1, in order to quantify their deviation from some threshold value. According to Tukey, all functions in this family should satisfy the following conditions:

1. be monotonically increasing: $f'(p) > 0$;
2. map the proportion 0.5 onto 0: $f(0.5) = 0$;
3. be symmetrical around it's zero: $f(p) = -f(1 - p)$.

Additionally, for easier interpretation, it is desirable that the function around its zero grows as fast as the proportions themselves: $f'(p = 0.5) = 1$.

It is interesting that any monotonically increasing function g that is differentiable around 0.5 can be transformed into a function that satisfies the above conditions.:

$$f(p) = \frac{g(p) - g(1 - p)}{2g'(0.5)}$$

In the special case, for $g = \ln p$, we get

$$f(p) = \frac{1}{4} \ln \frac{p}{1 - p}$$

which is simply linearly scaled *logit*. Tukey gave that function the name “folded logarithm”, analogously to the “folded root”, which is obtained for $g = \sqrt{p}$.

6. “Soft” step function

6.1. Machine Learning as an alternative for statistical methods

Machine learning and pattern recognition have historically developed independently of statistics, with somewhat different goals, and differ from it in their approach to problems. Statistics, traditionally, seeks to explain data and summarize them in a form which allows for easy interpretation by humans, so that they can make decisions based on these explanations and summaries. On the other hand, machine learning was developed with the aim of enabling machines to make decisions autonomously, without human assistance. The ability to interpret the model plays a negligible role, and data summarization is only a method that attempts to remove noise (errors) from the data and distill the signal, for the purpose of optimizing the decisions.

Logistic regression is a method by which statisticians approach the problem of classification. The result of a logistic model is not a binary answer to which class an unknown observation belongs to – e.g. the salmon in the example in Fig. 3 – but only the probability of belonging to different classes. If a decision needs to be made or an action taken (e.g. to throw the salmon back into the sea), that decision is made by a human, based on many factors, the probability being only one of them.

The problem with logistic regression (and similar statistical methods) is that it requires very precise knowledge of the relationship between the independent and dependent variables. Everything except a finite and, as a rule, a very small number of parameters is assumed to be known. This, as we have seen, works well for simple problems, such as classifying salmon, but much worse for recognizing handwritten digits, and especially for recognizing faces or other multidimensional data.

Machine learning is less ambitious, but requires knowing only the general properties of the data. This is usually not enough to model probabilities, but that is not the aim. It is enough that the machine (computer) can give a clear-cut answer. Probabilities may or may not play a role in the background. Vladimir Vapnik expressed this in the words [13]: *“If you are limited to a restricted amount of information, do not solve the particular problem you need by solving a more general problem.”*

6.2. From logistic to Heaviside function and back

For the above reasons, early machine learning algorithms did not use the logistic or a similar sigmoid function, although it was, of course, already known and although logistic regression was discovered at about the same time. In these algorithms, especially the perceptron [14] and its variants, the machine internally calculated with real values, but, in the last step, to give an unambiguous answer, passed the real va-

lue through the Heaviside step function. When, in the mid-1980s, multilayer neural networks appeared, it turned out that for their training the output function of the neuron needed to be differentiable. Since the Heaviside function is simply a limiting case of the sigmoid – in the case of the logistic when the coefficient with the independent variable is infinite, or, in the Fermi-Dirac formulation, when the temperature $T = 0$ – in neural networks, the logistic function soon began to be used as the so-called “activation function” of neurons. The logistic function can be seen as a “soft variant” of the Heaviside function, because it has a similar shape, but avoids sharp transitions.

7. The connection between logistic function and normal distribution

Logistic function and normal distribution are directly related, which is probably one of the reasons why the logistic function works well in pattern recognition and why it forms the basis for logistic regression. If we have two classes with a normal distribution and identical variance, or, in the multidimensional case, with identical covariance matrix, which differ only in the coordinates of their centers, the logistic function is exactly the conditional probability of belonging to one of the two classes.

Independently of the distribution, if we have observations from two classes, A and B, with feature $\mathbf{x}$, which can be modeled as a random variable, the conditional probability that an unknown observation with the feature value $\mathbf{x}$ belongs to class B is:

$$P(B|\mathbf{x}) = \frac{P(\mathbf{x}|B)P(B)}{P(\mathbf{x})} = \frac{P(\mathbf{x}|B)P(B)}{P(\mathbf{x}|A)P(A) + P(\mathbf{x}|B)P(B)} = \frac{1}{1 + \frac{P(\mathbf{x}|A)P(A)}{P(\mathbf{x}|B)P(B)}}$$

Assuming $\mathbf{x}$ is numeric (potentially a vector), so that the classes can be described by their corresponding probability density functions, $f_A(\mathbf{x})$ i $f_B(\mathbf{x})$, the ratio $P(\mathbf{x}|A)/P(\mathbf{x}|B)$ can be represented as:

$$\frac{P(\mathbf{x}|A)}{P(\mathbf{x}|B)} = \frac{f_A(\mathbf{x})}{f_B(\mathbf{x})}$$

and

$$\frac{P(\mathbf{x}|A)P(A)}{P(\mathbf{x}|B)P(B)} = \frac{f_A(\mathbf{x})P(A)}{f_B(\mathbf{x})P(B)}$$

If both classes follow a normal, potentially multivariate distribution around their centers, μ_A i μ_B , having a common covariance matrix Σ , then:

$$\begin{aligned} \frac{f_A(\mathbf{x})P(A)}{f_B(\mathbf{x})P(B)} &= \frac{e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\mu_A)^T \Sigma^{-1}(\mathbf{x}-\mu_A)} P(A)}{e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\mu_B)^T \Sigma^{-1}(\mathbf{x}-\mu_B)} P(B)} \\ &= e^{-\frac{1}{2}(\mu_A+\mu_B)^T \Sigma^{-1}(\mu_A-\mu_B) - \ln \frac{P(B)}{P(A)} - (\mu_B-\mu_A)^T \Sigma^{-1} \mathbf{x}} \end{aligned}$$

so that $P(B|\mathbf{x})$ is again logistic function:

$$P(B|\mathbf{x}) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta^T \mathbf{x})}}$$

with

$$\beta_0 = \frac{1}{2}(\mu_A + \mu_B)^T \Sigma^{-1}(\mu_A - \mu_B) + \ln \frac{P(B)}{P(A)}$$

and

$$\beta = \Sigma^{-1}(\mu_B - \mu_A)$$

In one-dimensional case, we have only a scalar variable x_1 , and instead of the covariance matrix we just have the variance σ^2 , so the coefficients of the logistic function can be written as:

$$\beta_0 = \frac{\mu_A^2 - \mu_B^2}{2\sigma^2} + \ln \frac{P(B)}{P(A)} \quad \text{i} \quad \beta_1 = \frac{\mu_B - \mu_A}{\sigma^2}$$

Here too, the conclusion that, as a consequence of the central limit theorem, normally distributed classes are a common occurrence applies, so that logistic regression is generally a good choice in practice.

Conclusion

Logistic function appears in many different branches of science and in many of them plays a very important role. Although it is only one of an infinite number of sigmoid functions, in today's artificial intelligence, especially in neural networks, it has been so widely used that many users think that they are synonyms. Interestingly, the logistic function can be obtained in many different ways, which is also one of the factors that makes it "elementary".

References

- [1] P.-F. Verhulst, Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. *Corresp. Math. Phys.* 10, 1838, 113–121.
- [2] P.-F. Verhulst, Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population. *Nouv. Mém. Acad. R. Sci. B.-lett. Brux.* 18, 1845, 1–45.
- [3] P.-F. Verhulst, Deuxième mémoire sur la loi d'accroissement de la population. *Mém. Acad. R. Sci. Lett. B.-Arts Belg.* 20, 1847, 142–173.
- [4] T. Malthus, *An essay on the principle of population as it affects the future improvement of society*, J. Johnson, London, 1798.
- [5] A. Quetelet, *Sur l'homme et le développement de ses facultés*. Bachelier, Paris, 1835.
- [6] A.V. Hill, The possible effects of the aggregation of the molecules of haemoglobin on its dissociation curves. *Proceedings of the physiological society*, 22.01.1910 iv–vii.
- [7] L. Michaelis, M.L. Menten, Die kinetic der Invertinwirkung, *Biochem. Z.*, 49, 1913 333–369.
- [8] E. Fermi, Sulla quantizzazione del gas perfetto monoatomico, *Rendiconti Lincei* 3, 1926, 145–149.
- [9] P.A.M. Dirac, On the Theory of Quantum Mechanics, *Proceedings of the Royal Society A*. 112 (762), 1926, 661–677.
- [10] D.R. Cox, The Regression Analysis of Binary Sequences, *Journal of the Royal Statistical Society B*, XX (2), 1958, 215–232.
- [11] R.A. Johnson, D.W. Wichern, *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2007, 604–605.
- [12] J.W. Tukey, *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, USA, 1977, 498–502.
- [13] V. Vapnik, *The Nature of Statistical Learning Theory*, Springer-Verlag New York, Inc, New York, NY, USA, 1995, 169.
- [14] F. Rosenblatt, The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain, *Psychological Review*, 65 (6), 1958, 386–407.

Igor Fischer, Katharina A. Faust

POVIJEST I PRIMJENA LOGISTIČKE FUNKCIJE: OD RASTA POPULACIJE DO UMJETNE INTELIGENCIJE

Sažetak: Logistička funkcija je poznata pod raznim imenima i koristi se u brojnim vrlo različitim područjima, od kvantne fizike i kemije do ekologije, statistike i umjetne inteligencije. Fizičarima je poznata kao Fermi-Diracova razdioba, koja opisuje statističku razdiobu čestica sa polovičnim spinom po energetske razinama. Kemičari, farmakolozi i toksikolozi je poznaju pod imenom „Hillova jednačina“, kojom opisuju efekt reakcije u ovisnosti o koncentraciji tvari. Logistička funkcija modelira rast populacije u ograničenom okolišu, a u statistici i strojnom učenju koristi se za modeliranje vjerojatnosti da promatrani uzorak pripada jednom od dva razreda. Kao „meka“ varijanta Heavisideove stepenaste funkcije koristi se često kao aktivacijska funkcija u zadnjem sloju neuronskih mreža i mnogi praktičari je smatraju kanoničkom sigmoidnom funkcijom. Široka primjenjivost logističke funkcije je posredna posljedica centralnog graničnog teorema.

Ključne riječi: logistička funkcija, Hillova jednačina, Fermi-Diracova razdioba

Franjo Jović

INFORMACIJSKA TEHNIKA I OSVJEŠTENJE CILJNOSTI

Sažetak: Ciljnost kao osobna informacija. Ciljnost, apobetika kao informacijski sloj. Filozofska zasnovanost odnosa slojeva informacije: kodiranja, sintakse, semantike, pragmatike i apobetike. Zasnovanost i uloga sintaksnog sloja. Semantički sloj u interpretaciji scene. Pragmatika i scenski izričaj. Apobetika i odnos tehnike i spoznaje. Studija kodiranja i abecedne entropije na primjeru sportske igre. Pojam i osvještenost duha igre.

Ključne riječi: osmotrivost otvorenog sustava, kvaziorganizmički sustav, jednoznačnost kodiranja, ternarni kod, samodosljednost otvorenog sustava, održivost kvaziorganizmičkog sustava

Uvod

Prema Bouldingovoj shemi (Bertalanffy, 2022), svijetu se sustavski može pristupiti tako da zatvorene ili kauzalne sustave odvojeno promatramo i koristimo od otvorenih, organizmičkih ili trenutačnih sustava. Shodno tome se i informacijska tehnika¹ može ugrubo podijeliti na projektiranje, rad i nadzor procesa u zatvorenim od one u otvorenim organizmičkim sustavima. Praktična informacijska tehnika uključila bi npr. nužnu nadogradnja u opremi i ljudstvu da bi se zrakoplov, kao zatvoreni sustav, što sigurnije prizemljio u rizičnim uvjetima oluje, koja je otvoreni sustav.

U praktičnoj informacijskoj tehnici možemo postaviti tezu o trenutačnoj i prosječnoj osobnoj informaciji. Trenutačna informacija posjeduje izračunljivi neosobni sadržaj i izračunljivi osobni sadržaj u svakom trenutku. Tako bi neosobni iznos informacije npr. za sadržaj čeka koji šalje u banku iznosio 116 kB, dok bi osobni sadržaj is-

¹ Informacija se kao temeljni pojam ne raspravlja; tehnika se definira kao ekonomski izvediva tehnologija

punjenjem cilja iznosio jedan izvršeni cilj sve u istom kratkom vremenskom periodu. U dužem vremenskom periodu osobno-informacijski sadržaj redovito postoji samo kao fiktivna veličina, jer se ciljevi pojedinca mijenjaju i teško da su pribrojivi, dok se tok znakova u komunikacijskoj vezi jednostavno izračunava i naplaćuje.

Razloži zašto u dužem vremenskom razdoblju osobno informacijski sadržaj redovito poprima fiktivni značaj jest promjena okolnosti djelovanja i života pojedinca ili promjena cilja pojedinca. Uvjeti i tehnologija pod kojima je moguće pratiti osobnu ili kolektivnu ciljnu informaciju u dužem vremenskom razdoblju predmet su ovog rada.

Ovaj izračun usložnjava i to što je informacija višeslojna veličina. Slojevi informacija su: kodiranje, sintaksa, semantika, pragmatika i apobetika² - ciljnost. Stoga bi sa stajališta moguće 'izračunljivosti' prosječne informacije trebalo prvo razmotriti slojeve informacije koji nisu ciljnost i njihov utjecaj na ciljnost.

Za kodiranje postoji izračunljivi prosječni sadržaj informacije zvan kodna entropija (Carnap, 1998) (Claude Shannon, 1998). Za preostala tri sloja informacije: sintaksu, semantiku i pragmatiku trebalo bi prosječni sadržaj tek istražiti u kontekstu scenarija, a tu se pojavljuje poteškoća. Razlog ove poteškoće je u nestalnosti informacijskog scenarija koji se toliko mijenja i zapliće da se unutar njega može pretraga i eventualni proračun racionalno postaviti samo po odsječcima, scenama, odnosno zamrznutim odsječcima odvijanja radnje ili scenarija.

Isto tako se može pratiti i postavljati hipoteze o ostvarivosti nekog cilja ili promjenjivosti ciljne funkcije u danim okolnostima scene. Posve općenito to bi bio nemogući pothvat. Praktički se danas gotovo svaki oblik informacije dobiva, prerađuje ili plasira primjenom tehničkih alata računalne, komunikacijske i informacijske tehnologije³, što uvodi u ovo područje dodatnu složenost svojstvenu tehnici, cit. [1, str. 7]:

“Tehnika nije isto što i bit tehnike. Tražimo li bit stabla nećemo ga naći među stablima...”

Dakle, ni bit tehnike uopće nije tehnička. Stoga nikada ne doživljavamo svoj odnos prema biti tehnike sve dok samo zamišljamo i upravljamo tehničkim, pomiramo se s njom ili je izbjegavamo. Svugdje ostajemo neslobodno vezani za tehniku, bilo da je strastveno potvrđujemo ili negiramo. Međutim, najviše smo prepušteni na milost i nemilost tehnici kada je smatramo nečim neutralnim; tako nas ova ideja, koja je danas posebno popularna, čini potpuno slijepima za bit tehnike.

² Od grčke riječi apobeinon - cilj

³ Ovine se alati i tehnologija komunikacijske i računarske opreme odvajaju od informacijske tehnologije

Prema drevnom učenju, bit nečega je ono nešto. Propitujemo o tehnici onda kada pitamo što je to. Svi znaju one dvije izjave koje odgovaraju na naše pitanje. Jedna kaže: Tehnika je sredstvo za postizanje cilja. Drugi kaže: Tehnika je ljudska aktivnost. Obje odrednice tehnike čine cjelinu. Za postavljanje ciljeva, nabava i korištenje sredstava za njih je ljudska aktivnost. Onome što je tehnika pripada proizvodnja i upotreba stvari⁴.

Da bi se približili biti informacijske tehnike moramo krenuti od odnosa između nižih slojeva informacije i ciljnosti. Doslovno promatrano niži slojevi bi odgovarali opisu scenske aktivnosti neke osobe a informacija bi odgovarala mjeri u kojoj je njezina trenutna ciljna funkcija ostvarena.

U duljim razdobljima vremena i za jednostavne scenarije postoji mogućnost da informacija poprimi realna izračunljiva svojstva, što je izvedivo u situacijama kada pojedinac ili kolektiv kojem pripada ima ideju, zadatak, misiju ili cilj koji je dugotrajan. Tada bi informacija dosegla stvarnu izračunatu vrijednost u dužem vremenskom razdoblju, ili barem onoliko dugo koliko traje sposobnost te osobne ili kolektivne akcije. Sposobnost izvršenja akcije je podržana odgovarajućim 'stanjem duha' pojedinca i kolektiva, kod čega je jedan poticajan primjer dan u referenciji [2].

⁴ Die Technik ist nicht das gleiche wie das Wesen der Technik. Wenn wir das Wesen des Baumes suchen, müssen wir gewahr werden, daß jenes, was jeden Baum als Baum durch waltet, nicht selber ein Baum ist, der sich zwischen den übrigen Bäumen antreffen läßt.

Wir erfahren darum niemals unsere Beziehung zum Wesen der Technik, solange wir nur das Technische vorstellen und betreiben, uns damit abfinden oder ihm ausweichen. Überall bleiben wir unfrei an die Technik gekettet, ob wir sie leidenschaftlich bejahen oder verneinen. Am ärgsten sind wir jedoch der Technik ausgeliefert, wenn wir sie als etwas Neutrales betrachten; denn diese Vorstellung, der man heute besonders gern huldigt, macht uns vollends blind gegen das Wesen der Technik.

Als das Wesen von etwas gilt nach alter Lehre jenes, was etwas ist. Wir fragen nach der Technik, wenn wir fragen, was sie sei. Jedermann kennt die beiden Aussagen, die unsere Frage beantworten. Die eine sagt: Technik ist ein Mittel für Zwecke. Die andere sagt: Technik ist ein Tun des Menschen. Beide

Bestimmungen der Technik gehören zusammen. Denn Zwecke setzen, die Mittel dafür beschaffen und benützen, ist ein menschliches Tun. Zu dem, was die Technik ist, gehört das Verfertigen und Benützen von Zeug.

I. O slojevima informacije i njihovim odnosima

Informacija je složena pojava vezana za manipulativno djelovanje subjekata. Na sl. 1. prikazano je pet slojeva informacije i deset njihovih suodnosa.

Sloj kodiranja je funkcija obrade informacije zadužena za formiranje vrste koda potrebnog za daljnju obradu informacije iz sirovog signala.⁵ Ključna osobina informativnosti kodiranja i njenog povijesnog ‘zamagljivanja’ biti će zbog svoje važnosti zasebno obrađena u dijelu 6 ovog rada.

Sloj sintakse služi pri tvorbi činjenica i rečenica te sadrži odgovarajuća pravila njihove tvorbe. Pravila je sustavski izložio Wittgenstein a izložena su u dijelu 2.

Sloj semantike služi za tvorbu i komunikaciju značenja kodiranih pojmova, rečenica i rečeničnih odsječaka. Tvorba sintaksnih iskaza obrađena je u dijelu 3.

Sloj pragmatike služi za izbor praktičnih alata u postizanju cilja iskazanog aporetikom, a obrađen je u dijelu 4.

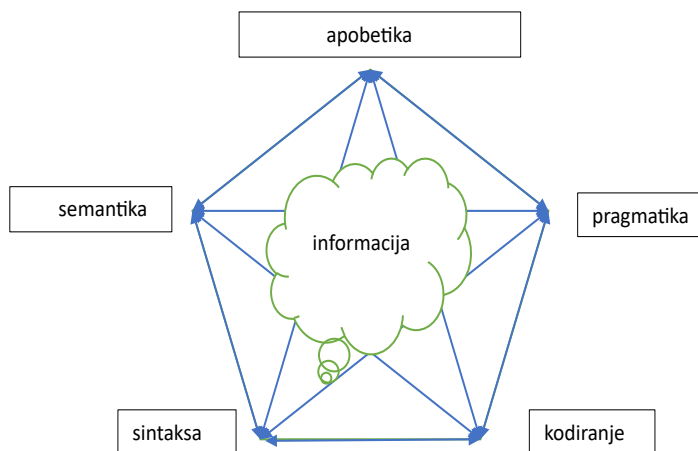
Sloj aporetike zadaje i prati izvršenje ciljne funkcije obrađen u dijelu 5.

Ova idealizirana shema, međutim podložna je različitim tumačenjima, počevši od onih filozofske do posve pragmatične svakodnevne uporabe informacijske tehnike⁶. Slojevi informacije, da bi tehnika poslužila svrsi, se mogu objedinjavati no nikako se ne smiju preskakati ili izostavljati. Tada smo u izvanrednoj situaciji koja je izvor današnje konfuzije u primjeni informacijske tehnologije. Jedan od ciljeva ovog rada jest postaviti svaki sloj na svoje ispravno mjesto i dati mu svojstvenu i ispravnu ulogu u pojedinoj konkretnoj informacijskoj tehnologiji.

Najjednostavnije i nažalost opće prihvaćeno zastranjenje ‘preskakivanjem slojeva’ je ono Clauda Shannona koji je vjerojatnosno kodiranje znakova nazvao teorijom informacije još 1948. godine. Zahvaljujući inertnosti znanosti ta temeljna zabluda je i danas “na snazi”. Naime, kodiranje znakova po vjerojatnosti njihovog pojavljivanja nema nikakve veze s informacijom koju ti znakovi prenose.

⁵ Pod sirovim signalom se smatra svaka promatrana manifestacija snimljena u izvornom, fizikalnom obliku.

⁶ Prijateljsko mahanje rukom pri pozdravu je takva svakodnevna ‘informacijska tehnika’



Sl. 1. Pet osnovnih slojeva informacije i deset njihovih suodnosa

2. Sintaksni sloj, zasnovanost i uloga

Sloj sintakse formira kodne znakove, oblikuje kodne znakove u riječi, nužne za oblikovanje rečenica i logičkih cjelina potrebnih za rad viših slojeva informacije. Sintaksu određuje jezik komuniciranja⁷. Sintaksa ispunjava zahtjev za oblikovanjem činjenica o nama interesantnom procesu. “Svijet je sveukupnost činjenica a ne stvari. Svijet je određen činjenicama i time **da su sve to činjenice.**” (Wittgenstein, 2021)⁸ [3].

Sintaksni sloj se zasniva na postojanju svijeta, [3, navodi pod brojevima]:

1 Svijet je sve što postoji.

1.1 Svijet je ukupnost činjenica a ne stvari.

1.11 Svijet određuju činjenice i time da su to s v e to činjenice.

1.12 Odatle sveukupnost činjenica određuje da nešto postoji i isto tako da ne postoji.

1.13 Dane činjenice u logičkom prostoru jesu svijet.

⁷ Jezik je područje otvorenih sustava, očigledno je ovime jezik stvar prešutnog ili dogovornog znanja o predmetu informiranja, objektu, činjenici

⁸ Orig. 1.1 Die Welt ist die Gesamtheit der Tatsachen, nicht der Dinge.

^{1.11} Die Welt ist durch die Tatsachen bestimmt und dadurch, dass es a l l e Tatsachen sind.

1.2 Svijet se dijeli po činjenicama.

1.21 Nešto može postojati ili ne postojati a da sve ostalo ostane jednako.

Sintaksni sloj na logički način opisuje stanja stvari u svijetu [3]:

2 Ono što postoji, činjenica, jest postojanje stanja stvari.

2.01 Stanje stvari je neka povezanost predmeta (stvari, objekata).

2.02 Objekt je jednostavan.

2.0201 Svaki iskaz o složenostima može se razložiti u iskaz o njegovim sastavnim dijelovima i te rečenice potpuno opisuju tu složenost

2.021 Objekti čine supstanciju svijeta. Stoga sami ne mogu biti složenice.

Svijet je međusobno ulančen⁹. To ulančenje određuje njegovu strukturu, postojanje i nepostojanje [3]:

2.03 U odnosima stvari su objekti međusobno povezani, poput ulančenih veriga.

2.031 U odnosima stvari se objekti suodnose na određeni način.

2.032 Način na koji su objekti povezani čini strukturu njihovih odnosa.

2.033 Oblik daje mogućnost strukturi.

2.034 Struktura činjenica sastoji se od strukture stanja stvari.

2.04 Ukupnost postojećih odnosa stvari čini svijet.

2.05 Ukupnost postojećih odnosa stvari određuje koji odnosi stvari ne postoje.

2.06 Postojanje i nepostojanje odnosa stvari je stvarnost. (Postojanje odnosa stvari nazivamo pozitivnom a nepostojanje negativnom činjenicom).

2.061 Stanja stvari su međusobno nezavisna.

2.062 Iz postojanja ili nepostojanje jednog stanja stvari ne može se zaključiti na postojanje ili nepostojanje nekog drugog.

2.063 Ukupna stvarnost jest svijet.

Sintaksni sloj tvorbom modela svijeta opisuje, interpretira i omogućuje djelovanje u modelu svijeta¹⁰.

⁹ Ispravnije bi bilo 'trenutačno i/ili kauzalno ulančen'

¹⁰ Model organizmičkog dijela svijeta pri tome svojstvom samoodrživosti nužno uključuje i duhovne entitete

U tvorbi svijeta koristimo slike činjenica kao modela stvarnosti. U tim su modelima objekti elementi slika. Odslikano i slika moraju korespondirati, moraju imati zajedničko ono bitno. Slika prikazuje objekt izvana, stoga ona može biti stvarna ili lažna. Da bi bila ispravna mora logički odslikavati stvarnost¹¹[3]:

2.1 *Sami stvaramo slike činjenica.*

2.11 *Slika predstavlja situacije u logičkom prostoru, postojanje i nepostojanje stanja stvari.*

2.12 *Slika je neki model stvarnosti.*

2.13 *Objektima odgovaraju na slici elementi slike.*

2.131 *Elementi slike predstavljaju na slici objekte.*

2.14 *Ono što čini sliku jest to da se njezini elementi međusobno odnose na određeni način.*

2.141 *Slika je neka činjenica.*

2.15 *To što se elementi slike međusobno odnose na određeni način, predstavlja to da se i objekti međusobno odnose na takav način. Ovaj suodnos elemenata slike predstavlja njezinu strukturu i njezinu mogućnost odslikavanja svog oblika.*

2.151 *Oblik odslikavanja je mogućnost da se objekti međusobno ponašaju kao elementi slike.*

2.16 *Činjenica, da bi bila slika, mora biti nešto što je zajedničko s odslikanim.*

2.161 *Slika i odslikano mora imati nešto identično da bi jedno uopće bilo slika drugoga.*

2.17 *Ono što slika mora imati zajedničko sa stvarnošću, da bi se na neki način smatrala ispravnom ili neispravnom, je oblik odslikavanja.*

2.171 *Slika može odslikati svaku stvarnost čiji oblik posjeduje. Prostorna slika sve prostorno, slika u boji sve obojeno itd.*

2.172 *No svoj oblik odslikanog slika ne može odslikati; ona na nju upućuje.*

2.173 *Slika predstavlja svoj objekt izvana (njezino stajalište je njezin oblik prikazivanja), stoga slika predstavlja svoj objekt ispravno ili neispravno.*

2.174 *No slika se ne može prikazati izvan svog oblika prikazivanja.*

2.18 *Ono što svaka slika, svaki oblik, mora imati zajedničko sa stvarnosti, a da bi je uopće ispravno ili neispravno prikazivala, je logički oblik to jest oblik stvarnosti.*

2.19 *Logička slika može odslikavati svijet.*

2.2 *Slika ima logički oblik zajednički s logičkim oblikom odslikanog.*

2.201 *Slika odslikava stvarnost po tome što ima mogućnost prikazati postojanje*

¹¹ Logičko odslikavanje stvarnosti mora biti zasnovano kao determinističko.

i nepostojanje odnosa stvari.

2.202 Slika predstavlja moguću situaciju u logičkom prostoru.

2.203 Slika sadrži mogućnost situacije koju predstavlja.

2.21 Slika se slaže sa stvarnosti potpuno ili uopće ne; ispravna je ili nije, stvarna ili lažna.

2.22 Slika svojim oblikom preslikavanja prikazuje ono što prikazuje, neovisno o tome je li to istinito ili lažno.

2.221 Ono što slika prikazuje to je njezin smisao.

2.222 U suglasnosti ili nesuglasnosti njezinog smisla sa stvarnošću nalazi se njezina istinitost ili neistinitost.

2.223 Da bismo razaznali je li slika istinita ili lažna moramo je usporediti sa stvarnošću.

2.224 Iz same slike se ne može razabrati je li istinita ili lažna.

2.225 Ne postoji neka apriori istinita slika.



Slika 2. Slika segmenta scene rukometnog natjecanja s objašnjenjem sintaksne logike situacije, objekata i njihovih odnosa; A – crvena boja dresa je kodna oznaka pripadnosti ekipi A; B – bijelo-plava boja dresa je kodna oznaka pripadnosti ekipi B; C – položaj u dvorani i stol su kodne oznake sudačke/ mjerilačke / zapisničarske/ delegatske funkcije; D - natpis je kodna oznaka događaja; E – uređeni prostor i osvjetljenje su kodne oznake dvorane za natjecanje; logički pisano: ‘slika utakmice u tijeku’ = A@B@C@D@E= istinito

3.331 Iz ove primjedbe dobivamo daljnji uvid u Russellovu knjigu 'Teorija znakova'. Russellova je zabluda vidljiva u tome što je pri postavljanju svojih znakovnih pravila morao govoriti o značenju znakova.

Scena i scenski izričaj

Scenu i scenski izričaj je 1813. dobro zasnovao filozof Artur Schopenhauer [4]. On navodi, osim pregleda i kritike dotadašnjeg pristupa kauzalnom, četiri klase objekata za subjekt i načela dovoljnog razloga njihove egzistencije. To su

- prva klasa mogućih predmeta naše moći predočavanja jest ona zornih, potpunih, empirijskih predodžaba, empirijskih istina

- druga klasa su apstraktni pojmovi i njima pripadajuća transcendentalna, metalogička istina

- treća klasa tvori formalni dio cjelovitosti predodžaba kao apriori dani nazori oblika vanjskog i unutarnjeg čula, tj prostora i vremena

- četvrta klasa obuhvaća samo jedan objekt, neposredan objekt unutrašnjeg čula, subjekt htijenja, koji je za spoznavajući subjekt objekt, a dan je samo unutrašnjem osjetilu, zbog čega se pojavljuje samo u vremenu, a ne i prostoru, a i tu, kako Schopenhauer kasnije izlaže, sa značajnim ograničenjima.

Ovime je Schopenhauer opravdao zasnovanost interpretacije scene i scenskog izričaja.

No stvarni sadržaj i ograničenja scene i izričaja scenskog prostora predmet su izučavanja semantike.

3. Semantički sloj

Semantički sloj određuje značenje kodiranog i sintaktički obrađenog 'procesnog materijala'. Značenje ima otkriveni, beskontekstni scenski i prikriveni, kontekstni, ili izascenski sadržaj¹². Oba su misaoni procesi.

Razmotrimo scenski sadržaj. On mora biti smislen i logičan u danom modelu svijeta. Dakle [3, brojevi iz navoda] :

3 Logička slika činjenica je misao.

3.001 'Stanje stvari je zamislivo' znači možemo stvoriti sliku o njemu.

¹² Značenje ovisi i o sintaksi dakle i o odabranom jeziku opisa situacije

- 3.01 *Ukupnost istinitih misli jest slika svijeta.*
- 3.02 *Misao sadrži mogućnost situacije kojoj je ona misao. Ono, što je zamislivo također je i moguće.*
- 3.03 *Ne možemo misliti nelogično, jer bi inače morali misliti nelogično¹³.*
- 3.04 *A priori ispravna misao bila bi ona čija bi mogućnost uvjetovala njezinu istinitost.*
- 3.05 *Jedino bismo mogli a priori znati da je neka misao istinita ako bi se njezina istinitost mogla prepoznati iz same sebe (bez usporedbenog objekta).*

Scenski sadržaj izražava se smislenim rečenicama, stavovima. Rečenice prate sadržaj scene koju opisuju.

- 3.1 *U rečenici-sudu se misao iskazuje smisleno.*
- 3.2 *U sudu se misao može tako izraziti da predmeti misli odgovaraju elementima rečenice suda.*
- 3.201 *Ove elemente nazivam 'jednostavnim znakovima', a sud 'u potpunosti analiziran'.*
- 3.202 *Jednostavni znakovi upotrijebljeni u sudovima nazivaju se imenima.*
- 3.203 *Ime znači objekt. Objekt je njegovo značenje. ('A' je isti znak kao i 'A')*
- 3.21 *Konfiguraciji jednostavnih znakova u rečenici odgovara konfiguracija objekata u situaciji.*
- 3.22 *U rečenici ime zastupa objekt.*
- 3.25 *Postoji jedna i samo jedna potpuna analiza rečenice: artikulirana.*
- 3.26 *Ime se nikakvom definicijom ne može dalje raščlaniti: ono je primitivni znak.*

Semantika scenskog opisa nalazi se samo u rečenici koja ju opisuje¹⁴. [3]:

- 3.3 *Samo rečenica ima smisao; samo u sklopu rečenice ima neko ime značenje.*
- 3.31 *Svaki dio rečenice koji obilježava njezin smisao nazivam jednim izrazom (jednim simbolom). (Sama rečenica je jedan izraz.) Izraz je sve ono bitno za smisao rečenice, što rečenice (sudovi) mogu imati međusobno zajedničko. Izraz karakteriziraju oblik i sadržaj.*

Oblik ne može odgovarati za sadržaj. Ovime se izbjegava Russelova zabluda.

- 3.328 *Ako se neki znak ne koristi tada nema značenja. Ovo je smisao Oc-*

¹³ Ovo je ključan stav u oblikovanju svijeta i modela o svijetu

¹⁴ Na ovaj se način odvaja izvan-scenski semantički sadržaj, ukoliko već nije izdvojen sintaksom, jezikom opisa

camove britve. (Ako sve u simboličkom funkcionira kao da znak ima smisla, onda on i ima smisla.)

3.33 *U logičkoj sintaksi, značenje znaka nikada ne smije igrati ulogu; mora biti moguće postaviti ga bez potrebe za iskazivanjem njegova značenja, znak smije biti s a m o pretpostavka opisa iskaza.¹⁵*

3.332 *Nijedna rečenica/sud ne može reći ništa o sebi jer rečenični znak ne može sadržavati sebe samog (to je potpunost 'Teorije znakova').*

3.333 *Funkcija¹⁶ ne može biti vlastiti argument, jer funkcijski znak već sadrži prototip svog argumenta i ne može sadržavati samog sebe... Time je okončan Russellov paradoks.*

O označavanju i istinitosti semantike sudova [3]:

4.243 *Možemo li razumjeti dva imena, a da ne znamo označavaju li istu stvar ili dvije različite stvari? Možemo li razumjeti sud u kojem se pojavljuju dva imena, a da ne znamo označavaju li isto ili različito?...*

5.01 *Elementarni sudovi su istinitosni argumenti suda.¹⁷*

5.02 *Prirodno je pobrkati argumente funkcija s indeksi imena. Naime značenje znaka prepoznajemo po argumenta jednako kao i po indeksu koji sadrži.*

O logičnosti značenja rečenica i smislenosti opisa svijeta te o opisivanju strukture svijeta [3]:

5.473 *Logika se mora brinuti sama o sebi.*

Neki mogući znak mora također biti obilježavajući. Sve što je u logici moguće je i dozvoljeno. ('Sokrat je identičan' otuda ništa ne znači, jer ne postoji svojstvo koje glasi 'identičan'. Iskaz je besmislen jer jedno proizvoljno svojstvo nismo pogodili, a ne zato što znak ne bi bio dozvoljiv.)

¹⁵ Ovdje Wittgenstein postavlja jasnu distinkciju i granice između sintakse i semantike

¹⁶ Ovdje se misli na logičku funkciju kojom se opisuje scena

¹⁷ Ovo je ključan stav koji se tiče istinitosti sudova a temelji se na ispravnom kodiranju, te ispravnoj sintaksi i semantici

U određenom smislu ne možemo griješiti u logici.

5.4733 Frege kaže: Svaka zakonito oblikovana tvrdnja mora imati značenje; a ja kažem: Svaka moguća tvrdnja je legitimno konstruirana, a ako nema smisla, to može biti samo zato što nismo dali nikakvo značenje nekim od njegovih sastavnih dijelova.

(Čak i ako vjerujemo da smo to učinili.)

Dakle, 'Sokrat je identičan' ne govori ništa, jer riječi identičan nismo dali značenje kao pridjevu. Onda, kada se pojavljuje kao znak jednakosti, tada je simbolizira u potpuno drugačijem značenju - označavajući je odnos drugačiji – pa je i simbol u oba slučaja potpuno različit; jedino što dva simbola slučajno imaju je zajednički znak.

6.124 Logički sudovi opisuju strukturu svijeta, ili bolje rečeno, oni ga predstavljaju. Oni ne 'govore' ni o čemu. Oni pretpostavljaju da imena imaju značenje i da elementarni sudovi imaju smisao: i to je njihova veza sa svijetom. Jasno je da je ono što mora ukazati na nešto o svijetu, određene kombinacije simbola 'koje imaju jedan određeni bitni značaj' tautologija. U tome leži ono odlučujuće.

Rekli smo da je u simbolima koje često koristimo nešto proizvoljno, a nešto nije. Logika samo to izražava: ali to znači da u logici nismo mi ti koji znakovima izražavaju ono što želimo, već da je u logici sama priroda bitno nužnih znakova. Odnosno, ako znamo logičku sintaksu bilo kojeg znakovnog jezika, tada su svi sudovi logike već dani.

Izascenski sadržaj sadrži i tzv prešutno znanje. Prešutno znanje bila je osnovica rasprava klasične grčke filozofije. O njemu se dakle nije raspravljalo! O tome da je izascenski sadržaj dominantan i odlučujući u svakoj filozofskoj raspravi prešutno se pretpostavljalo. Semantički opis scene sa slike 2. dan je tablicom 1.

Tablica 1. Semantički opis scene sa slike 2.

Objekt=znak	Semantički opis objekta	Izascenska semantika
Igrač A	A = A (trenutak izvođenja sedmerca)	A = A (uvježban igrač)
Igrači B	B = B (nezainteresirani za izvođenju sedmerca)	B (apatija igrača ekipe) = B (gube utakmicu)
Sudački stol C	C = C (opuštenost za sudačko-zapisničarsko-mjerilačko-delegatskim stolom)	C (opuštenost i vedrina) = C (nisu imali većih problema tijekom utakmice)
Natpis D	D = D (oznaka naziva natjecanja)	D = D (kontekst finala natjecanja nije poznat)
Dvorana E	E = E (propisno uređena i osvijetljena)	E = E (nepoznata kontekstna semantika)

4. Sloj pragmatike

Sloj pragmatike određuje: upotrebljivost određene scene i inventivnost aktora na sceni za izvođenje ciljne radnje. Sloj pragmatike služi za izbor praktičnih alata u postizanju cilja iskazanog apobetikom. Izbor alata određen je poznavanjem smislenosti njihove upotrebe. Dakle, dva se alata moraju moći razlikovati po ciljnom značenju da bi se jedan trebao upotrijebiti a drugi ne¹⁸.

O cilju i značenju tehnike, Heidegger o tehnici, [I, str. 8]:

Ostaje istina: moderna tehnologija također je sredstvo za postizanje cilja. Zato instrumentalna koncepcija tehnologije određuje svaki napor da se čovjek dovede u pravi odnos prema tehnologiji. Sve ovisi o rukovanju tehnikom kao sredstvom na odgovarajući način. Cilj je, kako se kaže, 'intelektualno dobiti tehnologiju u svoje ruke'. Njome se želi ovladati. Želja za ovladavanjem postaje sve hitnija što više tehnologija prijeti da se izmakne iz dominacije čovjeka.

Heidegger o alatu [I, str. 17]:

No komercijalni zrakoplov, koji stoji na pisti, je samo predmet. Sigurno. Možemo si tako zamisliti stroj. No onda se u onome skriva, što i kakav jest. Izdvojen, stoji na pisti samo kao predmet, ukoliko je naručen da bi se osigurala mogućnost prijevoza. Pri tome stroj mora biti sačuvan u cijeloj svojoj strukturi, u svakom od svojih sastavnih dijelova - određenjem stroja kao neovisnog alata. S gledišta alata to je njegovo

¹⁸ Dinamika izmjene alata ovisi o dinamici scenske situacije a u kontekstu cilja

ispravno zanatsko obilježje. No iz biti tehnologije kojoj pripada sam stroj nije tako zamišljen. Iz postojeće osnove, stroj je jako ovisan; jer ima svoj status isključivo iz naručivanja onoga što se može naručiti.

Je li tehnika otkrivanje? Heidegger [I, str. 13]:

Gdje smo se izgubili? Pitamo o tehnologiji i sada smo stigli do ἀλήθεια, do otkrivanja. Kakve veze ima

bit tehnologije s otkrivanjem? Odgovor: Sve. Jer svako ostvarenje temelji se na otkrivanju. Ali ovo okuplja u sebi četiri vrste uzroka – sama uzročnost – i upravlja njima. U njihovo područje pripadaju cilj i sredstva, pripada instrumentalno. To se smatra osnovnom značajkom tehnologije. Zapitamo li se korak po korak što je kao sredstvo zapravo ova predstavljena tehnologija, dolazimo do otkrivanja. U njemu počiva mogućnost cjelokupne proizvodne djelatnosti. Dakle, tehnologija nije samo sredstvo. Tehnika je jedan način otkrivanja. Ako obratimo pažnju na to, onda nam se otvara potpuno drugačije područje za bit tehnologije. To je područje otkrivanja, odnosno istine.

Heidegger o modernim alatima [I, str. 23]:

Moderna fizikalna teorija prirode je pionir ne samo tehnologije, već i biti moderne tehnologije. Izazovni skup kao naručenih otkrivanja već prevladava u fizici. Ali ne dolazi još konkretno do te pojave u njoj. Moderna fizika je vjesnik okvira otkrivanja, još uvijek nepoznatog u svom podrijetlu. Bit moderne tehnologije dugo je skrivena čak i tamo gdje su već izumljeni strojevi i puštena u pogon prema elektrotehnici i nuklearne tehnologije.

Sva bit, ne samo ona moderne tehnologije, je dugo skrivena posvuda. Međutim, s obzirom na njenu vladavinu je ono što prethodi svemu: ono najnovije. Odatle su već grčki mislioci znali kada su rekli: Ovo, što je novije u smislu prevladavajućeg, bit će nama ljudima očito tek kasnije. Ljudima se jutro otkrića kasno pokazalo. Stoga, u području promišljanja je nastojanje da se ono, što se u početku promišljalo kao početno, učini još više početnim, što nije apsurdna volja za razmišljanjem o prošlosti, već trezvena spremnost da se preuzme nadolazeće vrijeme čuđenja.

O opasnostima i prijetnjama novih informacijskih alata i okvira njihova djelovanja [I, str. 29]:

Okvir zamagluje izgled i vladavinu istine. Spretnost kojom se naručuje (tehničko rješenje, op.p.) je stoga ultimativna opasnost. Opasna stvar nije tehnologija. Nema demona tehnike, više je to tajna njezine biti.

Bît tehnologije, kao vještine otkrivanja, je opasnost. Promijenjeno značenje riječi "okvir" je sada možda puno bolje upoznavanje s tim kada razmišljate u terminima vještine i opasnosti. Prijetnja ljudima ne dolazi samo od mogućeg smrtonosnog u strojevima i aparatima tehnologije. Stvarna prijetnja koja je već utjecala na ljude je njegova priroda. Prijeti dominacija okvira s mogućnošću da bi čovjeku mogla biti uskraćena prilika da se vrati izvoru otkrivanja, a time i početnoj istini.

Dakle, tamo gdje prevladava okvir, postoji opasnost u najvišem smislu. "Ali gdje je opasnost, tamo raste

i sposobnost spasa.¹⁹" Razmotrimo pažljivo Hölderlinove riječi. Što znači "spasiti"? Obično mislimo da to znači samo: ono čemu prijeti izumiranje samo se ulovi u svom prethodnom postojanju. Ali "spasiti" govori više. "Spasiti" znači: zahvatiti u bît, kako bi se bît prvo dovelo do njezinog stvarnog sjaja. Ako je okvir bît tehnologije, okvir je krajnja opasnost, a ako je u isto vrijeme Hölderlinova riječ istinita, tada dominacija okvira ne može iscrpiti sav sjaj svakog otkrića, već sav sjaj prilagoditi stvarnosti. U ovom slučaju, upravo je u bîti tehnologije otkriti sav rast onoga koji se spašava. Ne bi li onda jedan odgovarajući pogled na okvir kao sredstvo vještine otkrivanja bio spasonosni element pojedincu pri usponu u taj sjaj?²⁰

Neki alati koji djeluju na sceni sa slike 2. Dani su tablicom 2.

Tablica 2. Neki alati koji djeluju na sceni sa slike 2.

Subjekti	Primarni alat	Sekundarni alat
Igrač A	Jačina udarca	Mjesto upućivanja lopte
Ekipa B	Izbor vratara	Smanjenje buke u dvorani
Sudački stol	Poštivanje pravila izvođenja sedmerca	Prikladna atmosfera u dvorani

¹⁹ Citat od Hölderlina

²⁰ Heideggerov spasonosni stav prema molohu suvremene tehnologije

5. Apobetika, ciljnost

Heidegger [I, str.15]:

Kaže se da se moderna tehnologija neusporedivo razlikuju od svih prethodnih, jer se temelji na

modernoj egzaktnoj prirodnoj znanosti. U međuvremenu, jasnije je prepoznato da vrijedi i obrnuto: moderna fizika, kao eksperimentalna, temelji se na tehničkom aparatu i ovisi o napretku konstrukcije aparata. Utvrđivanje ovog međusobnog odnosa između tehnologije i fizike je točna. Ali to ostaje samo povijesna izjava, činjenica, i ne govori ništa o tome od čega se sastoji ovaj uzajamni odnos, na čemu se zasniva. Odlučujuće pitanje ostaje: što je u biti moderne tehnologije da se na nju mogu primijeniti prirodne znanosti?

Što je moderna tehnologija? I ona je otkrivanje. Ako dopustimo da naš pogled počiva na ovoj osnovnoj osobini, postaje jasna novost moderne tehnologije.

Što je naime ključno u ‘modernosti tehnologije’?

Za razliku od klasičnih tehnologija koje se bave izradom i primjenom ciljnih alata iz područja zatvorenih sustava poput strojeva, robota, automobila ili svemirske tehnike, nova tehnologija počinje se baviti otvorenim sustavima. Otvoreni sustavi su organizmičke prirode, to su trenutni, nekauzalni sustavi poput plamena, stanice biljaka, životinja, ljudi i njihovih apstraktnih sustava, jezičkih, političkih, socioloških i ludističkih, poput sporta ili kazališta. Proizvodni sustavi su sinergija zatvorenih i otvorenih sustava.

Heidegger o cilju, s opisom cilja izrade grčke žrtvene posude [I, str.10]:

Međutim, za njega je i dalje kriva treća strana. To je ono za što je posuda una-prijed ograničena na područje donacije. Ovime se ograničava na žrtveno sredstvo. Ograničenje dovršava stvar. Ovim dovršetkom stvar ne staje već iz nje započinje sve ono što će nakon izrade postati. Dvršeno, ispunjeno u

tom smislu, grčki se naziva τέλος, koji se prečesto prevodi kao “cilj” i “svrha” i stoga pogrešno tumači. Téλος, zadužuje supstanciju i izgled, da bude žrtvovano kao žrtveno sredstvo.

O ciljnosti i biti tehnike, Heidegger [I, str.7]:

Ispravno instrumentalno određivanje tehnologije nam još ne pokazuje njezinu

bît. Kako bi joj pristupili ili barem došli u njezinu blizinu moramo tražiti istinu kroz ono što je ispravno. Moramo se pitati: što je ono samo instrumentalno? Čemu pripada nešto kao sredstvo i cilj? Sredstvo je ono čime se na nešto djeluje i kojim se tako postiže. Što rezultira učinkom naziva se uzrok. No nije ono čijim posredstvom se na nešto djeluje uzrokom. Gdje postoji cilj primjenjuju se primjerena sredstva smatrana uzrokom. Gdje slijedi cilj, primjenjuje se sredstvo, gdje vlada instrumentalno tu prevladava uzročnost, kauzalnost.

Filozofija je stoljećima učila da postoje četiri uzroka [1, str.9]: 1. *Causa materialis*, materijalni uzrok, tvar iz koje se npr. izrađuje srebrna posuda; 2. *Causa formalis*, formalni uzrok, oblik u koji materijal ulazi; 5. *Causa finalis*, konačni uzrok, svrhu, npr. žrtvenu službu, kroz koju je potrebu posuda određena oblikom i sadržajem; 4. *Causa efficiens*, pragmatički učinak, gotova prava srebrna posude, srebrnar. Koja je tehnika predstavljena kao sredstvo otkriva se kada instrumentalnu svedete na četverostruku uzročnost. Tu moramo biti dovoljno analitični da ne upadnemo u grešku kojom je već spomenuti Shannon spojio *Causu formalis* i *Causu efficiens* u nakani da to bude *Causa finalis*.

Heidegger o odnosu tehnike i spoznaje [1, str.14]:

Druga stvar koju treba uzeti u obzir s obzirom na riječ τέχνη još je važnija. Riječ τέχνη ide odavno do u

Platonovo vrijeme zajedno s riječju ἐπιστήμη. Obje riječi su nazivi za spoznaju u najširem smislu. Misli se na saznanje o nečemu, razumijevanje nečega. To prepoznavanje pruža informaciju. Kao informirano prepoznavanje, to je otkrivanje. Aristotel razlikuje u posebnoj razmatranju (Eth. Nic. VI, c. 3 i 4) ἐπιστήμη i τέχνη, s obzirom na ono što otkrivaju i kako otkrivaju. τέχνη je jedna vrsta ἀληθεύειν. Prikriva ono što nije samo po sebi i još dostupno, što je stoga ponekad tako, a ponekad bi moglo izgledati i ispasti onako. Svatko tko gradi kuću ili brod ili kuje žrtvenu zdjelu, iznosi to u skladu s postavkama četiriju uzroka. Ovo otkrivanje unaprijed sjedinjuje izgled i materijal broda i kuće na posve dovršenu stvar i odatle određuje načine njihove proizvodnje. Odlučujući čimbenik τέχνη stoga nipošto nije u nastajanju i rukovanje, ne u upotrebi sredstava, već u navedenom otkrivanju. Kao takvo to nije proizvodnja već je τέχνη jedna vrsta stvaranja.

No ciljnost je teško prepoznatljiva u praćenju otvorenih sustava. Budući da su otvoreni sustavi, poput poplava, plamena, pandemija ili socijalnih stremljenja, primarno ciljni sustavi u svom samoodržavanju, to je prepoznavanje njihovih kretanja od izuzetne važnosti za ljudsku egzistenciju. O tome navodi von Bertalanffy [5]:

U biološkim, bihevioralnim i društvenim područjima postoje dominantni problemi koje je zanemarila klasična fizika ili, bolje rečeno, koji nisu ušli u djelokrug njezina razmatranja [5, str. 82]. Ako istražujemo živi organizam, primjećujemo zapajnujući red, organizaciju, održavanje neprekidnih promjena, regulaciju i očitu teleologiju. Slično tomu, ljudsko ponašanje, traženje cilja i svrhovitosti, ne smije se propustiti, čak ako prihvatimo strogo biheviorističko gledište. Međutim, koncepcije poput organizacije, usmjerenosti, teleologije itd. baš se ne pojavljuju u klasičnom sustavu znanosti. Ustvari, u tzv. mehanicističkom pogledu na svijet temeljenoj na klasičnoj fizici navedene su koncepcije smatrane iluzornim ili metafizičkim. To znači, primjerice, za biologa, da su upravo posebni problemi žive prirode izvan legitimnog područja znanosti. Izgradnja modela – koncepcijskih i u nekim slučajevima čak i materijalnih – koji predočuju aspekte pojava kao što su: međudjelovanje mnogo varijabli, organiziranost, samoodrživost, usmjerenost itd., podrazumijeva 'uvođenje novih kategorija' u znanstveno promišljanje i istraživanje.

Na kraju, postoji istinska finalnost i svrhovitost – stvarno ponašanje određuje predvidljivi cilj [5, str. 67-69, 191]. To je izvorna Aristotelova koncepcija. Ona pretpostavlja da je budući cilj već prisutan u našim mislima i da upravlja trenutačnim djelovanjem. Istinska svrhovitost značajka je ljudskog ponašanja, povezana s evolucijom simbolizma jezika i koncepcija (von Bertalanffy, 1948.a, 1965.). Istinska svrhovitost, međutim, podrazumijeva da se djelovanja obavljaju s poznavanjem njihova cilja, s poznavanjem njihovih konačnih rezultata u budućnosti.

Jedno vrlo znakovito obilježje dinamičkog razvoja organizmičkog procesa može se nazvati 'ekvifinalnost' [5, str.118]. Proces koji se odigrava u mehaničkim strukturama slijedi fiksnu putanju. Stoga će se konačno stanje promijeniti ako se promijene početni uvjeti ili tijek procesa. Za razliku od toga, kod organizmičkih procesa, jednako konačno stanje, isti 'cilj', može se postići iz različitih početnih uvjeta i različitim putanjama. Primjeri su razvoj normalnog organizma iz cijeje (čitave), podijeljene ili dviju spojenih jajnih stanice, ili iz bilo kojeg dijela kao kod obrubnjaka ili planarians, ili postizanje određene konačne veličine iz različitih početnih veličina i nakon različitog tijeka rasta itd.

Kao što se može vidjeti, otvoreni sustavi uspoređeni s konvencionalnim zatvorenim sustavima pokazuju značajke koje su naizgled suprotstavljene uobičajenim zakonima fizike i koje su bile često smatrane vitalističkim značajkama života, tj. kao kršenje fizičkih zakona, objašnjive samo uvođenjem čimbenika nalik na dušu ili entelehijskih čimbenicima u organsku pojavu [5, str.130]. To je istinito kod ekvifinalnosti organskih regulacija, primjerice ako isti 'cilj' neki normalni organizam postiže normalnom diobom, stapanjem dvaju jajašaca i tako dalje. To je bio najvažniji 'dokaz vitalizma' prema Drieschu. Slično tomu, očita proturječnost trenda prema porastu

entropije i nereda u fizičkoj prirodi i negentropijski trend²¹ u razvoju i evoluciji bili su često korišteni kao vitalistički argumenti. Ta očita kontradikcija nestaje proširenjem i generalizacijom fizičke teorije na otvorene sustave. Prema Drieschovu mišljenju, ekvifinalnost proturječi zakonima fizike i može se postići samo vitalističkim činiteljem nalik-na-dušu koji upravlja procesima prema budućem cilju, stvaranju normalnog organizma. Može se pokazati, međutim, ako otvoreni sustavi postižu ustaljeno stanje, da nužno imaju svojstvo ekvifinalnosti.

Neću raspravljati o dobrim stranama i manama tih modela koji opisuju teleološko ili usmjereno ponašanje[5, str. 39]. Ono što treba istaknuti, međutim, činjenica je da teleološko ponašanje usmjereno prema karakterističnom konačnom stanju ili cilju nije nešto izvan granica prirodne znanosti i antropomorfna pogrešna koncepcija procesa koji su sami po sebi jednosmjerni i slučajni. Riječ je o obliku ponašanja koji se može dobro definirati s pomoću znanstvenog nazivlja i za koji se mogu navesti nužni uvjeti i mogući mehanizmi²².

Istinska svrhovitost, međutim, podrazumijeva da se djelovanja obavljaju s poznavanjem njihova cilja, s poznavanjem njihovih konačnih rezultata u budućnosti[5, str. 236]. Koncepcija budućih ciljeva već postoji i utječe na sadašnje djelovanje. To vrijedi za jednostavna djelovanja svakidašnjeg života kao i za vrhunska dostignuća ljudskog intelekta u znanosti i tehnici

Slično tomu, ljudsko ponašanje, traženje cilja i svrhovitosti, ne smije se propustiti, čak ako prihvatimo strogo biheviorističko gledište[5, str.82]. Međutim, koncepcije poput organizacije, usmjerenosti, teleologije itd. baš se ne pojavljuju u klasičnom sustavu znanosti. Ustvari, u tzv. mehanicističkom pogledu na svijet²³ temeljenom na klasičnoj fizici navedene su koncepcije smatrane iluzornim ili metafizičkim.

No očigledno je da osim mehanicistike postoji i druga stvarnost [svi navodi iz 5]:

Ovdje nećemo raspravljati o definiciji simboličkih aktivnosti[5, str. 197]. Autor je to pokušao drugdje, (von Bertalanffy, 1956.a i 1965.). Dovoljno je reći da su vjerojatno svi pojmovi koji označavaju ljudsko ponašanje posljedica ili različiti aspekti simboličke aktivnosti. Kulture ili civilizacije, kreativno samoostvarenje u odnosu na pasivnu percepciju (Murray, G. Allport); objektivizacija stvari izvan i unutar čovjeka (Thumb, 1943.); jedinstvenost svijeta ega (Nuttin, 1957); stratum apstraktnog prema konkret-

²¹ Ovdje se očito misli na smanjenje entropije otvorenog sustava samoorganizacijom

²² Nažalost po von Bertalanffy-ja ovi su mehanizmi vrlo dobro sakriveni

²³ To je prije svega kauzalni pogled na svijet koji vrijedi za mehaničke, kauzalne sustave, mehanizme, automate i posve je različit od onog organizmičkog pogleda na trenutačnost otvorenih sustava

nom (Goldstein, 1959.); posjedovanje prošlosti i budućnosti, vremenska povezanost, anticipacija budućnosti, stvarna (aristotelovska) svrhovitost (v. 3. poglavlje); nakana kao svjesno planiranje (G. Allport, 1961., str. 224); za strah od smrti, samoubojstvo; volja za smislom (Frankl, 1959.b); zainteresiranost sudjelovanje u samonagrađujućim kulturnim aktivnostima (G. Allport, 1961., str. 225); idealistička privrženost uzroku (možda i beznadnom), mučeništvo; 'povjerenje u motiviranost odraslih' (G. Allport, 1961., str. 90); samonadilaženje⁴⁸⁶; autonomnost ega, beskonfliktne funkcije ega; prirođena agresija (von Bertalanffy, 1958.); savjest, superego, idealni ego, vrijednosti, moral, disimulacija, istina i laž – sve to potječe iz srži kreativno simboličkih univerzuma i stoga ne može biti svedeno na biološke nagone, psihoanalitičke instinkte, potkrepu nagrađivanjem ili na druge biološke čimbenike. Razlikovanje 'bioloških' i 'isključivo ljudskih vrijednosti' jest u tome da se biološke vrijednosti odnose na održavanje pojedinca i vrste, a isključivo ljudske vrijednosti odnose se na simbolički univerzum (Bertalanffy, 1959. i 1964.c).

Pojmovi i modeli (organizmičke stvarnosti op.a.) kao što je ravnoteža, homeostaza, prilagodba i drugi pogodni su za opisivanje održavanja sustava, ali neadekvatni za opisivanje pojava promjene kao što je diferencijacija, razvitak, negativna entropija, stvaranje nevjerojatnih stanja, kreativnost, stvaranje napetosti, samoostvarenje, emergencija, itd.[5, str. 19]

Ciljnost, bila ona dostupna ili nedostupna, prikrivena ili nametnuta traži otkrivanje. Otkrivanje ciljnosti je najviši zahtjev koji se postavlja pred informatičara: odrediti čemu nešto teži, što iz nečega proizlazi? No odrediti pokretačke mehanizme koji stoje iza ciljnosti je predmet izučavanja, posebno zanimljiv, dragocjen i intrigantan.

6. Informacijska tehnika kodnog obogaćenja za određivanje stanja ekipne ciljnosti

Ciljna iskoristivost scene počiva na izboru pojava na sceni koje su u funkciji njegova ostvarenja. Cilj zasnivanja i rada sustava, bili oni kauzalno-proizvodnih ili kombiniranih s organizmičkim sustavima, ili samih organizmičkih sustava, je kvaliteta. Kvaliteta je jedina osobina nekog sustava koja se ne može falsificirati. Nefalsifikabilnost kvalitete očituje se u traženju ostvarivanja cilja praćenjem veličina koje su rizične za ostvarenje kvalitete. Stoga se ciljna iskoristivost scene sastoji od praćenja rizičnih pojava na sceni, rizičnih za ostvarenje kvalitete procesa.

Pojave na sceni se praćenjem rizičnih pojava otvaraju otkrivanju. Rizične poja-

ve su rijetke pa se za njihovo kodno obogaćivanje koristi kumulacija, posmični okvir zbroja s okvirom od četiri minute²⁴, a za detektiranje informacije koristi se ekspanzija [6]. Primjer zbroja i ekspanzije rizičnih varijabli vrhunske rukometne utakmice dan je u Tablici 3. Minimalna ekspanzija nastaje praćenjem triju razlika zapisa četiriju uzastopnih kumulacija. Praćenje razlike zahtijeva ternarni kod opisa, a tri koraka ternarnog koda imaju ukupno 27 kodnih znakova [6]. Primjer ekspanziranog ternarnog koda dobiven promatranjem četiriju uzastopnih stanja neke varijable dan je u Dodatku I. ovog rada.

5.1 Kvaziorganizmički sustav

Kvazi-organizmički sustav je svaki otvoreni sustavi poput jezika, povijesti, psihe, ekipe, koncerna, tržišta..., koji imaju zajedničke značajke otvorenih sustava koje je istraživao von Bertalanffy a čije svojstvene značajke su: trenutačnost, 'scenaričnost' – aktori, scena, procesni sadržaj, definiran i mjeriv cilj, organizacija ili aranžman okolnosti koji podržava ostvarenje cilja, osmotrivost rizika (engl. *risk observability*), mogu se 'paliti i gasiti' prema situaciji i okolnostima hijerarhije sustava, te postojanje 'samodosljednog informacijskog polja' (*self-consistent information field*) .

Samodosljedno polje slijedi svoju ciljnu – teleološku funkciju, analogija iz fizike s teorijom samodosljednog polja (*self-consistent field*) i otporno je na rizik. Kritično za primjenu informacijske tehnike na takve sustave je osmotrivost rizika. Osmotrivost omogućuje upravljivost svladavanja rizika.

Osmotrivost kvaziorganizmičkog sustava na rizik je ostvariva ako sustav: posjeduje dani aranžman okolnosti, scenu, postav, aktore, posjeduje unikatni kôd za opis svakog aranžmana okolnosti, aranžman okolnosti biva praćen s dovoljno opisnih varijabli, opisne varijable posjeduju izričaj rizika ostvarenja cilja aktora, su sve aktivnosti sustava mjerive u svakom intervalu osmatranja, su intervali osmatranja prilagođeni okolnostima u kojima se nalazi sustav, 'mrtvo vrijeme' prikupljanja podataka za dobivanje unikatnog koda nije veće od vremena promjene aranžmana okolnosti.

6.2 Projektiranje praćenja ciljnog ponašanja kvazi-organizmičkog sustava

Postupak se mora prilagoditi svakoj stvarnoj situaciji: scenariju, cilju, događajima i mjerenjima. Traži se određivanje: scenarija, nositelja procesa, funkcije cilja i rizičnih varijabli. Osnovno za postupak projektiranja jest odrediti mjeru cilja. Mjera ispunjenja cilja je kvaliteta izvođenja nositelja proizvodnog procesa, pojedinca ili ekipe. Rizične varijable vezane su za rizične događaje, njihov opis. Praćenje rizičnih varijabli kada su to događaji je informacijski osjetljiv postupak.

²⁴ MOVINGSUM(goal, -4, 0)

Aranžman okolnosti i uvjeti izričaja

Rizična situacija nastaje u određenom aranžmanu okolnosti. Neki procesi poput rasta biljaka su manje rizični a neki poput prometa su visoko rizični. Jednoznačni opis aranžmana okolnosti daje mogućnost njegovog informacijskog izričaja – korištenjem varijabli koje prate kvalitetu izvedbe.

Koji su nužni i dovoljni uvjeti za primjenu informacijske tehnologije?

1. Skup rizičnih varijabli i funkcijski cilj su strogo povezani – čine otvoreni sustav u kojem su varijable rizika moguće smetnje ostvarenja cilja
2. Otvoreni sustav se pokorava određenim pravilima koja mu daju organizmički karakter
3. Kodiranje varijabli je jednoznačno
4. Koriste se četiri uzastopna intervala praćenja varijabli
5. Koristi se ekspanzirana Carnapova entropija za potrebe jednoznačnog izračuna informacijskog sadržaja varijabli i ciljne funkcije

Koraci projektiranja su

- izrada scenarija koja traži razradu scena i uočavanje aranžmana okolnosti za pojedinu scenu
- apstrakcija scene koja služi za uvođenje prostornih operatora rizika, zvanih varijable rizika
- određivanje ciljne funkcije koja za dani aranžman ili tijekom ciljne funkcije prati učinkovitosti svladavanja rizika
- praćenje mjere ispunjenja ciljne funkcije koja služi za izračun ostvarenja cilja i određivanje veza cilja i varijabli.

Primjer primjena postupka na evaluaciju timskog rada dan je na tablici 3. za rukometnu ekipu Hrvatske na Olimpijadi u Pekingu 2008. godine. Na tablici 3a. su sirovi i kumulirani podaci događaja, na tablici 3b su kodirane četvorke događaja a na tablici 3c je ishod ekipe Hrvatske u Pekingu 2008 godine na utakmici s Francuskom.

Tablica 3a. Sirovi i kumulirani podaci utakmice Hrvatska – Francuska po minutama do 12 minute

Hrvatska Francuska Peking 2008												
ukupno golova	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	2	0
ukupno napada	2	2	3	4	2	2	3	2	4	3	4	3
gol/napad A	1	0	1	0	0	0	0,5	0	0,5	0	0,5	0,5
gol/napad B	0	0,5	0	1	0	0	0	1	0	0,5	0,5	0
faul obrana A	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
faul obrana B	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	2
sedmerac A	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
sedmerac B	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
gr. Suci A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
gr. Suci B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
obr.golman A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
obr.golman B	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
isključenja A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
isključenja B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
faul napad A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
faul napad B	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
greške A	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
greške B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Minute	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kumulativ četiri minute												
ukupno golova				4	3	2	2	2	3	4	5	4
ukupno napada				11	11	11	11	9	11	12	13	14
gol/napad A				2	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1,5
gol/napad B				1,5	1,5	1	1	1	1	1,5	2	1
faul obrana A				3	3	1	0	0	0	1	1	1
faul obrana B				2	1	1	2	1	1	2	1	3
sedmerac A				0	1	1	1	1	0	0	0	0
sedmerac B				1	1	1	1	2	2	1	1	0
gr. Suci A				0	0	0	0	0	0	1	1	1
gr. Suci B				0	0	0	0	0	0	0	0	0
obr.golman A				0	0	0	0	0	0	0	0	0
obr.golman B				0	1	1	1	1	0	0	0	1
isključenja A				0	0	0	0	0	0	1	1	1
isključenja B				0	0	0	0	0	0	0	0	0
faul nap. A				0	0	0	0	0	0	0	0	0
faul nap. B				0	0	0	0	0	2	2	2	2
greške A				0	0	0	0	0	1	1	1	1
greške B				0	0	0	0	0	1	1	1	1

Tablica 3b Kodiranje događaja na utakmici za prvih 12 minuta

gol/napac ukupno gr. ukupno n: faul obrar faul obrar sedmerac sedmerac gr. Suci A gr. Suci B obr.golme obr.golme isključenja isključenja faul nap A faul nap B greske A greske B												
N	R	A	G	O	J	A	A	A	A	J	A	A
E	K	C	R	H	A	B	A	A	A	A	A	A
O	B	I	K	O	C	D	A	A	C	A	A	B
D	F	AA	B	O	E	M	B	A	E	B	A	D
J	T	T	D	H	K	E	D	A	A	K	D	A
B	U	T	J	V	A	N	J	A	A	B	J	A
D	V	U	A	S	A	E	A	A	A	D	A	A
L	S	Q	C	M	B	K	C	A	A	J	C	A

Tablica 3c Izvedba ekipe Hrvatske na Olimpijadi u Pekingu 2008. godine; u obrađenih 57 minuta igre naglašeni periodi neusklađenosti ekipe su u periodima minutama (4, 5), (23), (52 do 54)

Event number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
ukupnogolova	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0					
ukupnoračada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	2	2	0	0	0					
faul obrana A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
faul obrana B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
sestmerac A	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0				
sestmerac B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0					
gr. Šut A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
gr. Šut B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0					
odgođman A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0				
odgođman B	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
isključaj A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0						
isključaj B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0					
faul nap. A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0					
faul nap. B	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0				
grasie A	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0				
grasie B	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

Rasprava

Ključ opisa otvorenih sustava iz opće teorije sustava (OTS) je samodosljednost otvorenih sustava kao njihovo skriveno svojstvo samoodrživosti. Biologija je kao znanost o organizmičkom ovdje ograničena informacijom. Uzalud je von Bertalanffy, i ne samo on, pokušavao uvesti negentropiju (negativnu entropiju) u razmatranje ponašanja živog svijeta. Uspio je samo zaključiti da je informacija osnovna enigma OTS-a. Uobičajen put primjene informacijske tehnike binarnim kodiranjem događaja u sustavu ovdje ne prolazi, jer se dobiva ista entropija za različite kodne znakove u sustavu. Ovime se ne zadovoljava Wittgensteinov zahtjev za jedinstvenim informacijskim opisom ijednog događaja u sustavu. Ni diferencijalno kodiranje, ternarnim kodom, ne ispunjava izravno taj zadatak. Tek ekspanzijom ternarnog koda, odnosno dopunom na sve promjene mjerene veličine u sustavu koji se kodira dobiva se jednoznačni entropijski opis događaja i jednoznačnost njihovih znakova i ovime ispunjava Wittgensteinov zahtjev jednoznačnosti opisa dane procesne scene.

Ovime se otvara mogućnost praćenja ispunjavanja cilja nekog otvorenog sustava. No, nažalost, to nije dovoljno za praćenje ostvarenja cilja. Nedostaje praćenje ovisnosti ostvarenja kvalitete rada sustava. Ono se pak može postići praćenjem svih za kvalitetu relevantnih ometajućih pojava, funkcija i elemenata. Ukoliko se i ti uspiju utvrditi pojavljuje se još jedna zapreka a to je aparentnost rizičnih pojava u promatranom sustavu.

Postoji i pitanje jednoznačnosti opisa aranžmana okolnosti bi omogućio njihov informacijski izričaj – dakle jednoznačnost korištenja varijabli koje prate kvalitetu izvedbe sustava. Ukoliko ono postoji takvi se sustavi mogu nazvati ‘kvazi-organizmičkim sustavima’. Na primjeru praćenja ekipnog učinka efikasnosti rukometne ekipe u vrhunskom sportskom natjecanju prikazana je pojava samodosljednosti i to uхватom svih za kvalitetu ispunjenja cilja relevantnih rizika. Nema nikakva jamstva da je to moguće za npr. nogometnu momčad ili za neku drugu ekipu poput projektantskog ili bankarskog tima.

Usloženjenje ovog pristupa se pojačava korištenjem kauzalnih sustava, informatičke i računarske opreme, automatizacijom i primjenom strojnog učenja, jer se u varijable koje prate kvalitetu sustava unose nekontrolirano i nečinjenične informacijske veličine što bi po Wittgensteinu bilo nedopustivo – jer svijet čine samo činjenice! Upravo ‘nečinjeničnost mjera kvalitete’ je osnovni otežavajući čimbenik praćenja ostvarivanja ciljnosti u većini otvorenih sustava.

Zaključak

Opisani su postupak i uvjeti određivanja samodosljednosti otvorenog sustava realnog svijeta. Potrebne varijable koje su pratile ostvarenje cilja omogućile su određivanje perioda samodosljednosti, kada je ekipni rad bio neometan rizičnim događajima, te period nesamodosljednosti, kada je ostarenje cilja bilo ometeno. Pokazalo se da su to deterministički i međusobno komplementarni periodi. Ovime se isto tako pokazalo da je ternarni ekspanzirani kod nužna i dovoljna osnovica praćenja izvršavanja cilja takvog kvazi-organizmičkog sustava. Kritično svojstvo je jednoznačni opis aranžmana okolnosti koji omogućava njegov informacijski izričaj uporabom varijabli koje prate kvalitetu izvedbe sustava. Pojava veličina koje nemaju svojstvo činjenice su krajnje ometajući čimbenik jer se kao takve suprotstavljaju opisu realnog svijeta.

Prikazani kvazi-organizmički sustavi, tj. ekipe, pokazuju visoki stupanj samodosljednosti i u ekstremnim uvjetima natjecanja.

U ovom prikazu međutim mogu se otkriti i scenski sadržaji kontekstualnog značenja. Mogućnost njihove interpretacije, poput evidentiranih sudačkih grešaka²⁵ njihovog utjecaja na finalnost, izlazi iz okvira teme i stvar je etičke prosudbe ometanja ostvarenja finalnosti²⁶. No istinitost praćenja procesa ciljnosti ostaje nepobitna.

²⁵ Potpuno formalno: otvaranje nefinalnosti konvencijom usuglašenih pravila igre (Gruić)

²⁶ Ovdje se osim zahtjeva za multifokalnosti opažatelja procesa – suca - jasno disponira kontekst odluke na okvirno zainteresirane strane

Zahvala

Zahvaljujem se Alanu Joviću na izračunu abecedne entropije i primjedbama na rad, Igoru Gruiću za sliku sportske scene i za kritički osvrt na ciljnost u sportu, te Ivanu Flegaru, Želimiru Kozlini i Miroslavu Plohu na brojnim primjedbama na rad.

Literatura

[1] Heidegger M., *Die Frage nach der Technik*.

https://monoskop.org/images/2/27/Heidegger_Martin_1953_2000_Die_Frage_nach_der_Technik.pdf
23.8.2024.

[2] Jović, F. Informatičko nasljeđe Bečkog filozofskog kruga, *Povijest i filozofija tehnike*, HRO CIGRE, Zagreb 2023. 123-143.

[3] Wittgenstein L. *Tractatus Logico – Philosophicus*.

<https://people.umass.edu/klement/tlp/tlp> 23.8.2024.

[4]. Schopenhauer A., *O četverostrukom korijenu načela dovoljnog razloga*, Cid-Nova, Zagreb 2023. ISBN 978-953-311-043-1.

[5]. von Bertalanffy L., *Opća teorija sustava, osnove, razvoj, primjene*, KIKLOS – KRUG KNJIGE, Zagreb, lipanj 2022. ISBN: 978-953-7992-16-3.

[6] Jović F., *Geometrijska linijska holografija*. KIKLOS – KRUG KNJIGE, Zagreb, 2015., str.128-133. ISBN: 978-953-7992-01-9.

Dodatak D1

Određivanje jednoznačnog koda i entropije znaka

Svako mjerenje ili slanje sirovih podataka otvara mogućnost kodiranja. Za jednom kodirani znak može se odrediti pripadna entropija. Pri tome Shannonova entropija obuhvaća određivanje statističke razdiobe znakova na izvoru. Njezina prednost jest jednostavnost u određivanju a nedostatak jest postojanje istog iznosa entropije za različite znakove. Ovo je u suprotnosti sa Wittgensteinovim zahtjevom za jednoznačnosti znakova. Carnapova entropija razmatra entropiju u domeni definicija znaka, u njegovoj mjeri. Za tu je entropiju moguće dobiti različitu vrijednost entropije za različite znakove postupkom pune ekspanzije kodnog znaka [6]. Uvjet jednoznačnosti entropije je uzimanje četiriju uzastopnih mjerenja kao jedan znak [6].

Postupak je prikazan primjerom:

Neka je sirovi mjerni niz izmjeren u centimetrima dan kao $I=(2, 3, 1, 5)$. Razlike mjerenja su $(1, -2, 4)$, pa je puni opis svih razlika mjerenja $(a=1, b=-2, c=4, d=-1, e=2, f=3)$ jer uzima u obzir i razlike između prvog i trećeg, drugog i četvrtog te prvog i četvrtog mjerenja. Položeno u fazni prostor mjerenja a je na položaju 1, b je na položaju -1, c je na položaju 3, d je na položaju 2, e je na položaju 4 a f je na položaju 7 mjernog pravca.

Minimalna granica prostiranja mjernog prostora ograničena je dogovorno s $\frac{1}{2}$ mjere od lijeve i desne mjernog pravca.

Dakle položaji su mjernih točaka na mjernom pravcu: $\frac{1}{2}$ bnaidicneiff $\frac{1}{2}$. Ukupna dužina prostora zauzeća na pravcu jednaka je 9.

Prostor koje zauzimaju pojedini znakovi razlika su $P_b=1,5\text{cm}$ $P_a=1,5\text{cm}$ $P_c=P_d=1\text{cm}$, a prostori znakova P_e i P_f su po 2cm.

Stoga je entropija znaka $I(2, 3, 1, 5)$ jednaka

$$H(I) = -(2 \times \frac{1}{9} \lg \frac{1}{9} + 2 \times \frac{1}{5} \lg \frac{1}{5} + 2 \times \frac{2}{9} \lg \frac{2}{9}) = 2,53 \text{ bit/cm}$$

Franjo Jović

INFORMATION TECHNOLOGY AND AWARENES OF TARGETABILITY

Summary: Targetability as a personal information. Targeting or apobetics as an information layer. Philosophical concepts of relationships among information layers: coding, syntax, semantics, pragmatics, and apobetics. The conceptualization and role of the syntax layer. Semantic layer as a tool in the interpretation of the scene. Pragmatics and scenery expression. Apobetics and the relationship between technology and cognition. A study of the application of unambiguous alphabetic entropy on the example of a sports game. The concept and awareness of the game spirit.

Keywords: observability of an open system, quasi-organismic system, unambiguity of coding, ternary code, self-consistency of an open system, sustainability of a quasi-organismic system

Arijana Kolak Bošnjak

OTON KUČERA O POLITIČKIM PRILIKAMA U HRVATSKOJ¹

Sažetak: Nakon sklapanja Hrvatsko-ugarske nagodbe 1868. godine hrvatska javnost konstantno je pokazivala nezadovoljstvo uspostavljenim državno-pravnim sustavom, napose provedbom pojedinih nagodbenih članaka. Svoj doprinos kritikama toga sustava dao je 1905. godine i Oton Kučera. Kučerini znanstveni i društveni angažman u Hrvatskoj krajem 19. i početkom 20. stoljeća već je dobro poznat, ali iz pisma, koje je uputio Šimi Mazzuri, političaru i suradniku lista *Obzor*, vidljivo je da se nije libio izraziti svoje mišljenje i o političkim prilikama u Hrvatskoj. Njegovo pismo bilo je reakcija na Mazzurin članak „Hrvatski delegati“, koji je objavljen u travnju 1905. u *Obzoru*. Iako je Kučera na samom početku pisma ustvrdio da on nije političar, ipak je kao intelektualac i društveno angažirani pojedinac smatrao nužnim iznijeti svoje razmišljanje te je razložio svoje stajalište o hrvatsko-ugarskoj zajednici uspostavljenoj 1868. godine s posebnim osvrtom na poziciju Ugarsko-hrvatskog sabora kao zajedničke institucije. U radu će se, dakle, prikazati Kučerina stajališta o instituciji zajedničkog Ugarsko-hrvatskog sabora kroz koja su vidljiva i njegova stajališta o hrvatsko-ugarskoj zajednici i položaju Hrvatske unutar nje.¹

Ključne riječi: Oton Kučera, Šime Mazzura, zajednički Ugarsko-hrvatski sabor, Hrvatsko-ugarska nagodba, opozicija

¹ Ovo istraživanje provedeno je u sklopu projekta Hrvatska i Europa: institucije i pojedinci u razvoju modernoga društva i države (HEIP), (380-01-02-23-41) koji financira Europska unija programom NextGenerationEU.

Uvod

Sklapanjem Hrvatsko-ugarske nagodbe 1868. godine definiran je položaj Kraljevine Hrvatske i Slavonije u novoj državno-pravnoj zajednici, Austro-Ugarskoj Monarhiji, formiranoj godinu dana ranije. Nakon što je Nagodba sklopljena dolazilo je do sukoba u mađarsko-hrvatskim odnosima, jer su pojedine njezine odredbe bile tako napisane da su se mogle različito interpretirati, a i hrvatski i mađarske prijevod Nagodbe nisu bili istovjetni. (GROSS, SZABO 1992: 235) Tako su već od samoga postanka Nagodbe hrvatska i mađarska strana različito tumačile položaj Kraljevine Hrvatske i Slavonije u novoj državno-pravnoj zajednici. Hrvatska strana smatrala je da joj je nagodbenom autonomijom priznata državnost, dok su Mađari tumačili da su tek jednom dijelu svoje države dali veći stupanj autonomije. (GROSS, SZABO 1992: 235-238; ŠOKČEVIĆ 2006: 196) Iz takvih postavki proizlazili su kasnije brojni sukobi te različito tumačenje pa i provođenje nagodbenih odredbi, uglavnom na štetu Kraljevine Hrvatske i Slavonije. To je, naravno, izazivalo otpor prije svega hrvatske opozicije, a ponekada i vladajućih. Umjerena opozicija zahtijevala je da se mađarska strana pridržava nagodbenog sustava te je zagovarala promjenu pojedinih odredbi, koje bi zajamčile veću autonomiju Kraljevini Hrvatskoj i Slavoniji. (PERIĆ 2000: 273; MATKOVIĆ, 2021: 163-164) Radikalnija oporba (pravaši) pak nije uopće priznavala Nagodbu. (PERIĆ 2000: 271; MATKOVIĆ 2021: 162-163; LUETIĆ 2024: 196) Kada je početkom stoljeća pojačana kriza dualizma prouzrokovana zahtjevima Čeha u austrijskom dijelu Monarhije, u ugarskom dijelu ona je produbljivana jačanjem mađarske “državnopravne” oporbe. Ta se oporba suprotstavljala Austro-ugarskoj nagodbi iz 1867. godine i tražila je ravnopravan položaj Ugarske i Austrije, što se posebno očitovalo u zahtjevu za samostalnom mađarskom vojskom. (ŠOKČEVIĆ 2006: 191-196) Na izborima 1905. ta je oporba pobijedila te je nastojala postići svoje ciljeve no pri tome je, bar u prvim koracima, zanemarila hrvatsku komponentu ugarsko-hrvatskog dijela Monarhije s kojom je, prema hrvatskom tumačenju Hrvatsko-ugarske nagodbe, bila dužna raspravljati zajedničke poslove u koje je spadala i vojska. To je, naravno, izazvalo reakcije hrvatske političke javnosti.

1. Šime Mazzura o hrvatskim zastupnicima u zajedničkom Ugarsko-hrvatskom saboru

U travnju 1905. godine dr. Oton Kučera poslao je pismo Šimi Mazzuri u kojem je razložio svoja promišljanja o zajedničkim institucijama hrvatsko-ugarske državne zajednice. Riječ je bila prije svega o zajedničkom saboru, ali u konačnici i o Hrvatsko-ugarskoj nagodbi kao državno-pravnom temelju na kojem je uspostavljena hrvatsko-ugarska državna zajednica 1868. godine. Povod za takvu reakciju dr. Kučere bio je članak, koji je Š. Mazzura objavio u 93. broju dnevnog lista *Obzor* pod naslovom ‘Hrvatski delegati’.

Šime Mazzura bio je političar, odvjetnik i publicist, predsjednik dioničke tiskare koja je izdavala dnevni list *Obzor* i njegov suradnik. Politički se aktivirao najprije kao pristaša Narodne stranke, a od 1880. jedan je od istaknutijih prvaka Neodvisne narodne stranke. U dva mandata bio je i njezin zastupnik u Hrvatskom saboru. (*Hrvatska enciklopedija*) Stranka u kojoj je djelovao, Neodvisna narodna stranka, čije je glasilo bio spomenuti *Obzor*, bila je opozicijska stranka. U svom programu isticala je da priznaje Hrvatsko-ugarsku nagodbu kao zakoniti temelj. No, zbog slobodne interpretacije i čestog kršenja nagodbenih odredbi od strane Mađara, ta se stranka zalagala za reviziju Nagodbe, kojom bi hrvatska autonomija bila proširena i na taj način učvršćena. Konkretno tražili su promjenu financijskih odnosa određenih Nagodbom te položaja bana i hrvatske vlade s ciljem da se ojača hrvatska autonomija, ali i rješenje riječkog i dalmatinskog pitanja u korist Hrvatske. (PERIĆ 2009: 49-50) Iako Neodvisna narodna stranka 1905. godine nije više postojala, jer se 1903. fuzionirala s još nekoliko stranaka u Hrvatsku stranku prava, (HORVAT 1990: 243-249; PERIĆ 2000: 345) Šime Mazzura nastavio je zastupati ideje koje je baštiniio kao član spomenute stranke. To je vrlo jasno vidljivo iz već spomenutog članka 'Hrvatski delegati'. Članak je Mazzura napisao, jer je smatrao da je u zajedničkom Ugarsko-hrvatskom saboru prekršena Nagodba, kada klub hrvatskih zastupnika nije bio pozvan da sudjeluju u odboru koji je sastavio osnovu saborske adrese. Saborske adrese bile su važne, jer je u njima sabor podnosi vladaru zahtjeve za raspravu o pitanjima koja je smatrao aktualnima. U siječnju 1905. osnovu adrese sastavila je ujedinjena mađarska oporba i u njoj je između ostaloga istaknula zahtjev za rješavanje pitanja vezanih uz odnose između Austrije i Ugarske, posebno pitanja koja su se odnosila na vojsku. Ta su pitanja pripadala u red zajedničkih poslova pa su u raspravi o njima, prema mišljenju Mazzure, trebali sudjelovati i hrvatski zastupnici da izraze svoje mišljenje. (MAZZURA 17. 4. 1905.) Kako se to nije dogodilo, Mazzura je u posebnom članku razložio svoje viđenje položaja hrvatskih zastupnika u zajedničkom Hrvatsko-ugarskom saboru, koji je proizlazio iz odredbi Hrvatsko-ugarske nagodbe.

Analizirajući pojedine odredbe Hrvatsko-ugarske nagodbe u svom je članku Mazzura nastojao pokazati da je Kraljevina Hrvatska i Slavonija u odnosu na Kraljevinu Ugarsku sačuvala svoje posebno političko biće ('ens'), tj. svoju državnost, iako je s Kraljevinom Ugarskom činila državnu zajednicu. Poseban naglasak stavio je na oblik države istaknuvši da je riječ o državnoj zajednici, a ne jedinstvenoj državi. (MAZZURA 21.4.1905.) Još od nastanka Nagodbe hrvatska i mađarska strana različito su tumačile položaja Hrvatske u odnosu na Ugarsku proizašao iz nagodbenih odredbi pa je i Mazzura morao dati pojašnjenje svojih tvrdnji. On je tumačio da se zajednica iskazivala kroz zajedničke poslove, kako one prema vani, prema austrijskim zemljama i drugim državama, ali i prema unutra. Zajedničke poslove prema Austriji, obje kraljevine rješavale su kroz instituciju ugarske delegacije, u kojoj su zastupljeni i hr-

vatski delegati i to isključivo, naglašava Mazzura, kao zastupnici Kraljevine Hrvatske i Slavonije, a ne Ugarske i tu ističe hrvatsku zasebnost u odnosu na Ugarsku. Osim zajedničkih poslova prema cjelokupnoj Monarhiji, pojašnjava Mazzura, Kraljevina Ugarska i Kraljevina Hrvatska i Slavonija imaju i međusobne zajedničke poslove za koje obje priznaju potrebu zajedničkog zakonodavstva i zajedničke vlade, a o njima raspravljaju u zajedničkom saboru. A kako se formira taj zajednički sabor? Mazzura tumači da se slanjem 40 zastupnika, koliko ih je Hrvatska prema Nagodbi imala pravo poslati za zajednički sabor, sabor kraljevine Ugarske pretvara u zajednički Ugarsko-hrvatski sabor. Tada se i na Ugarskom saboru vije uz ugarsku/mađarsku zastavu i hrvatska, a zastupnici iz Hrvatske i Slavonije mogu u zajedničkom saboru koristiti hrvatski jezik. Hrvatski sabor delegiranjem svojih zastupnika na Ugarski sabor za raspravu o zajedničkim poslovima prenio je tako zapravo zakonodavnu vlast zajedničkih poslova na zajednički sabor. U tom saboru, tvrdi Mazzura, hrvatski delegati nastupaju kolektivno, kao hrvatska delegacija, a ne pojedinačno. Upravo kroz institut delegacije i kolektivnog zastupanja potvrđuje se, prema Mazzuri, još jednom hrvatska autonomija u odnosu na Ugarsku. (MAZZURA 21. 4. 1905.) No, hrvatski zastupnici nisu imali kolektivno pravo glasa u zajedničkom Ugarsko-hrvatskom saboru, nego osobno pa Mazzurina konstatacija nije bila točna. Ipak, klupski pravilnik obvezivao ih je da glasuju 'kolektivno', tj. po odluci kluba i to do početka 20. stoljeća zajedno s vladajućom strankom. No, takav način njihov djelovanja u zajedničkom saboru se kosio s nagodbenim zakonom, koji im je propisivao i omogućavao osobno pravo glasa. (CIEGER 2015: 462-463) Ideja kolektivnog zastupstva možda je bila ideja koju je Mazzura zagovarao kako bi ojačao položaj hrvatskih zastupnika u tom saboru kao što je to bilo u feudalnom razdoblju.

Mazzura je smatrao da bi svaki političar i svaki novinar, koji se bavio pitanjima državnih poslova morao dobro poznavati odredbe Nagodbe i kloniti se njihove zloupotrebe te je tako još jednom potvrdio svoje stajalište o prihvaćanju Nagodbe kao temeljnog zakona. Kritike vezane uz poznavanje nagodbenog zakona usmjerio je prije svega na mađarske političare i novinare, koji su, smatra, svojim neznanjem, zloradošću ili nadmenošću pomutili pojmove, tj. interpretirali Nagodbu kako im odgovara. Zato, zaključuje, mađarsko novinstvo Hrvatsku i Slavoniju proglašava kao ugarsku prikrpinu, a mađarski političari ne uzimaju u obzir hrvatsku delegaciju u zajedničkim pitanjima, čime je povrijeđen temeljni zakon, tj. Nagodba. (MAZZURA, 21.4.1905.)

Iznesenom argumentacijom Mazzura je kritizirao odnos Mađara prema Hrvatsko-ugarskoj nagodbi optužujući ih da je konstantno krše te je zahtijevao njezino poštivanje, tj. poštivanje hrvatskog položaja u institucijama državne zajednice. Time je potvrdio svoja ranija politička stajališta da priznaje Nagodbu kao zakonski temelj te da u svom političkom djelovanju teži da se njezine zakonske odredbe striktno poštuju pa zaključuje u svom tekstu: „(..) živimo li u državnoj zajednici, dužnost im je (Mađari-

ma, A.K.B.), da se prijatelje s njom, a ta im je dužnost nalagala, da potraže za druga ono što i za se (...)“ (MAZZURA, 21.4.1905.)

2. Oton Kučera o zajedničkom Ugarsko-hrvatskom saboru

Za razliku od Mazzure, dr. Kučera je imao nešto drugačiji pogled na hrvatsko-mađarske odnose proistekle iz Hrvatsko-ugarske nagodbe. U analizi tih odnosa on nije krenuo od detaljne analiza zakonskih odredbi Hrvatsko-ugarske nagodbe, nego je postavio pitanje koje je diralo u srž problema, a ono je glasilo što je to zajednički sabor i postoji li on uopće? U svom odgovoru na Mazzurina promišljanja dao je svoje viđenje zajedničkog sabora, ali i same Nagodbe. Iz Kučerina pisma izvire i njegova priroda znanstvenika, jer argumentacija koju iznosi obrazlažući svoje promišljanje pokazuje sustavnost, sažetost i jasnost. (GETLIHER 1998: 10)

Složivši se s Mazzurinom tvrdnjom da su Hrvatska i Ugarska sklopile državno-pravnu konvenciju iz koje proizlazi da su ‘dva ensa’/‘dva bića’, tj. dvije posebne države Kučera se postavio na stajališta opozicije, koja je za razliku od vladajuće stranke i njezina zagovaranja ugarske državnosti, naglašavala posebnu hrvatsku državnost i narodnost. Iz te pozicije razvijao je dalje svoje tvrdnje za koje je uporište pronalazio u zakonskom članku I. iz 1868. godine, tj. Nagodbi. U tom su članku u pojedinim paragrafima određeni zajedničko zastupstvo, zakonodavstvo te zajednička vlada, (GROSS 1992: 232) tj. zajednički poslovi i zajedničke institucije, pa i zajednički sabor. Prema tome Kučera je smatrao da je iz tog članka proizlazila nužnost da se posebnim zakonskim člankom ustroji i uredi zajednički Ugarsko-hrvatski sabor, u kojem bi se onda raspravljali i rješavali svi zajednički poslovi. No, kako takav članak nije nikada donesen ni u Ugarskom ni u Hrvatskom saboru, Kučera je smatrao da ugarsko-hrvatski sabor ne postoji. Ovom tvrdnjom podrivao je temelje zakonitosti sustava, ali ga, vidjet ćemo kasnije, nije negirao. Sabor koji se naziva ugarsko-hrvatski zato što mu je pridodano 40 zastupnika iz Hrvatske pa se tada na njemu vije i hrvatska zastava, a hrvatski zastupnici imaju pravo govoriti hrvatskim jezikom, Kučera nije smatrao argumentima koji bi taj sabor učinili zajedničkim. On zapravo i po tom pitanju traži paritet između Ugarske i Hrvatske, što bi bila logična posljedica postojanja dvaju ensa u istoj državnoj zajednici. Pa objašnjava Kučera, ako Hrvati delegiraju 40 zastupnika u zajednički Ugarsko-hrvatski sabor logična posljedica na drugoj strani trebala bi biti da i sabor Kraljevine Ugarske delegira primjeren broj svojih zastupnika, a po Kučerinu mišljenju to bi trebao biti jednak broj kao što ga šalje i Kraljevina Hrvatska i Slavonija. I onda bi hrvatski i ugarski delegati činili zajednički Ugarsko-hrvatski sabor, koji bi kao takav raspravljao i donosio zaključke o zajedničkim poslovima. No, nije to jedina mogućnost prema kojoj se mogao sastaviti zajednički Ugarsko-hrvatski sabor. Kučera je uočio i da bi logično bilo, ako čitav ugarski sabor ulazi u zajednički sabor, da bi i svi članovi hrvatskog sabora morali ući u taj sabor i onda bi se taj sabor također mogao

zvati zajedničkim ugarsko-hrvatskim saborom. Ipak, primijetio je da bi tom saboru nedostajao važan atribut zajedničkog sabora državne zajednice dvaju enasa, a to je da time ne bi bila otklonjena mogućnost majorizacije jednoga enasa nad drugim. (KUČERA 1905.) To je proizlazilo iz činjenice što je Ugarski sabor imao puno veći broj zastupnika od Hrvatskoga sabora, preko četiri stotine, pa je bojazan, koju je Kučera iskazao bila osnovana. Kučeru je na promišljanje o majorizaciji zasigurno potaknula realnost, jer se majorizacija u postojećem zajedničkom saboru redovito događala. Naime, s obzirom da je u zajedničkom saboru, u njegovoj Donjoj kući, bilo samo 40 hrvatskih zastupnika, a ukupan broj zastupnika bio je 453, nije ih bilo teško preglasati. Tome je pomagalo i to što su hrvatski zastupnici imali osobno pravo glasa, a ne kolektivno pa im Hrvatski sabor nije mogao davati instrukciju ili ih obvezivati kako bi trebali glasovati ili koje bi ideje trebali zastupati u saborskim raspravama. (DOBROVŠAK 2016: 64)

Iako se Kučera u pismu pozabavio važnim političkim pitanjima, hrvatsko-ugarskim saborom kao zajedničkom institucijom i Hrvatsko-ugarskom nagodbom kao temeljem iz kojeg je ta institucija izvirala, već na početku pisma naglasio je da nije političar od zanata. Aludirao je time na Mazzurinu opasku iznesenu u spomenutom novinskom članku da bi svaki političar, koji se bavi državnim poslovima morao znati kakav je položaj hrvatskih delegata u zajedničkom saboru, odnosno Hrvatske u odnosu na Ugarsku u državnoj zajednici koju tvore. No, time je Kučera ukazao i na to da nije politički aktivan u smislu da pristaje uz politiku neke od hrvatskih stranaka, iako je negacija koju je iznio u svom pismu podsjećala na pravaško protivljenje Nagodbi kroz negiranje njezine zakonitosti. Ipak, Kučera u zaključku svog promišljanja iznesenog u spomenutom pismu nije ostao ukopan u negaciji zajedničkoga sabora, nego je tražio poboljšanje nagodbenog sustava: „(...) treba nastojati, da se misao osnovna zak. čl. I. 1868. glede zaj. Sabora (a dosljedno tomu i glede zajedničke vlade!) tek provede. Dok to nije učinjeno, čitava je zajednička legislativa i zajednička vlada u protimrječju sa zakonskim člankom I. 1868.“ (KUČERA 1905) Tim je ipak ostao na pozicijama umjerene opozicije, koja je priznavala Nagodbu, ali je tražila poboljšanje njezinih zakonskih odredbi.

Zaključak

Kučerino pismo bilo je izraz promišljanja jednog intelektualca, koji je bio vrlo angažiran u društvenom životu, posebno u području promocije obrazovanja i znanosti, a kao takvoga ga, u vremenu u kojem je djelovao, nije mogla zaobići ni politika. Politika mu je, nedopuštajući slobodu promišljanja, nego očekujući slijepu pokornost, iznjedrila brojne neprijatelje i otežavala napredovanje u znanstvenoj karijeri i radu. (GETLIHER 1998: 15-16; LUETIĆ 2024: 203-204) No, čini se da Kučeru zbog toga nije uhvatila malodušnost, nego je zadržao svoju oporbenu poziciju (KREN 2018: 39) te se kao: „(…) čovjek, koji s ljubavlju proučava i pomnjivo prati prilike u svojoj domovini (…)" (KUČERA 1905) nije ustručavao iznijeti svoja promišljanja. Zato mu nije mogla promaknuti ni novonastala kriza koja je izbila u hrvatsko-mađarskim odnosima, a za čije je rješenje zazivao angažman otporne snage naroda, a ne njezino umanjeње.

Kučerina potreba da se obrati jednom „političaru od zanata“ ukazuje da je osjećao odgovornost pozvati hrvatsku politiku na oštrije djelovanje u spomenutim okolnostima. Na to upućuje i završetak njegova pisma: „Meni se sve čini, da je to pravo stanje stvari, koje se, neznam s kojih razloga, zabašuruje, a tim se otporna snaga naroda samo umanjuje.“ S obzirom da je Kučerino pismo sačuvano u Mazzurinoj korespondenciji, jasno je da je Mazzura primio na znanje Kučerine primjedbe i poziv, no nije poznato je li odgovorio na njih.

Ne možemo sa sigurnošću utvrditi je li Kučerin stav bio i odraz potpore određenoj političkoj stranci, jer još jednom treba podsjetiti da je i sam naglasio da nije političar od zanata, iako ga je A. Szabo svrstala u red pristaša Hrvatske stranke prava (SZABO 2007: 15). Ali možemo zaključiti da je njegov stav kao i onaj Šime Mazzure bio opozicijski. No, opozicija nije bila jedinstvena, među njom su postojala različita promišljanja o različitim pitanjima i načinu njihova rješavanja pa i o Hrvatsko-ugarskoj nagodbi. Zato ne treba čuditi da su dva opozicijski raspoložena pojedinca, koja su ranije pripadala istoj, Neodvisnoj narodnoj stranci (KREN, HANŽEK 2013: 31, 38; SZABO 2007: 12) imala nešto drugačija stajališta oko istoga pitanja. Opozicijsko držanje, koje je Kučera iskazao i u ovom pismu zasigurno je utjecalo da 1906. godine po drugi puta bude onemogućen u preuzimanju predavanja iz astronomije na Mudroslovnom fakultetu zagrebačkoga Sveučilišta. (KREN 2018: 52-53)

Literatura:

- CIEGER, ANDRÁS 2015. Hrvatski zastupnici u ugarskom saboru (1868.-1918.), *Prekretnice u suživotu Hrvata i Mađara. Ustanove, društvo, gospodarstvo i kultura*. Institut za povijesne znanosti Istraživačkog centra za humanističke znanosti Mađarske akademije znanosti, Hrvatski institut za povijest, Budimpešta, 461-470.
- DOBROVŠAK, LJILJANA 2016. Zakonodavna i izvršna vlast u hrvatskim zemljama od 1790. Do 1918., In: Švoger Vlasta, Turkalj Jasna (ur.) *Temelji modern Hrvatske. Hrvatske zemlje u "dugom" 19. stoljeću*. Zagreb: Matica hrvatska. 29-90.
- GETLIHER, ALOJZ; KREN, TATJANA; MULJEVIĆ, VLADIMIR 1998. *Oton Kučera: znanstvenik, popularizator prirodoslovja i tehnike 1856-1931*. Zagreb: Tehnički muzej.
- GROSS, MIRJANA; SZABO, AGNEZA 1992. *Prema hrvatskom građanskom društvu. Društveni razvoj u civilnoj Hrvatskoj i Slavoniji šezdesetih i sedamdesetih godina 19. stoljeća*. Zagreb: Globus nakladni zavod.
- HORVAT, JOSIP 1990. *Politička povijest Hrvatske. Prvi dio*. Zagreb: August Cesarec.
- KREN, TATJANA; HANŽEK, BRANKO 2013. *Oton Kučera. Per aspera ad astra (Kroz trnje do zvijezda)*. Vinkovci: Gimnazija Matije Antuna Reljkovića.
- KREN, TATJANA 2018. Školovanje Otona Kučere u Senju, *Prirodoslovje. Časopis Odjela za prirodoslovje i matematiku Matice hrvatske*, br. 1-2: 31-58.
- KUČERA OTON 1905. pismo Š. Mazzuri. NSK, Šime Mazzura. Pisma drugih njemu R6491b.
- LUETIĆ, TIHANA 2024. Hrvatsko-ugarska nagodba u kritici studenata Kraljevskog sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu, In: Čepulo Dalibor, Karbić Damir (ur.) *Hrvatsko-ugarska nagodba: institucije i stvarnost. Zbornik radova sa znanstvenoga skupa održanog u Zagrebu 8. i 9. studenoga 2018*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Pravni fakultet; Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti. 193-216.
- MATKOVIĆ, STJEPAN 2021. The Croatian-Hungarian Settlement from the viewpoint of Croatian Political Parties, In: Švoger Vlasta, Sokcsévi Dénés, Cieger András, Ostajmer Branko (ur.) *The 1868 Croatian-Hungarian Settlement: Origin and Reality*. Zagreb, Budapest: Croatian Institute of History, Research Centre for the Humanities, Institute of History. 155-170.
- Mazzura, Šime. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2025. Pristupljeno 1.4.2025. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/mazzura-sime>
- MAZZURA, ŠIME (Š.) 21. 4. 1905. "Hrvatski delegate", *Obzor*, br. 93.
- MAZZURA, ŠIME (Š.) 17. 4. 1905. „Osnova ugarske adrese“, *Obzor*, br. 89.
- PERIĆ, IVO 2009. *Politička oporba u Banskoj Hrvatskoj 1880-1903. Suradničko povezivanje neodvišnja i pravaša do njihova stapanja u jednu stranku*. Zagreb: Hrvatski državni arhiv.
- PERIĆ, IVO 2000. *Hrvatski državni sabor 1848.-2000. Sv. 2: 1868.-1918*. Zagreb: Hrvatski institut za povijest, Hrvatski državni sabor, Dom i svijet.
- SZABO, AGNEZA 2008. Utjecaji društvenih i političkih okolnosti na život i rad Otona Kučere (1857.-1931.), In: Kren Tatjana (ur.) *Život i djelo Otona Kučere (1857.-1931.)*. Zbornik radova sa znanstveno-stručnog skupa „Život i djelo Otona Kučere (1857.-1931.)“, održanog na Zvezdarnici Zagreb, 7. prosinca 2007. godine, u povodu obilježavanja 150. godišnjice rođenja Hrvatskog velikana Otona Kučere. Zagreb: Zvezdarnica Zagreb, Zagrebački astronomski savez. 9-19.
- ŠOKČEVIĆ, DINKO 2006. *Hrvati u očima Mađara, Mađari u očima Hrvata. Kako se u pogledu preko Drave mijenjala slika drugoga*, Zagreb: Naklada P.I.P. Pavičić.

Arijana Kolak Bošnjak

OTON KUČERA ON POLITICAL CIRCUMSTANCES IN CROATIA

Abstract: The Croatian-Hungarian Settlement of 1868 established a new state-legal system between the Hungarian and the Croatian parts of the Austro-Hungarian Monarchy. The Croatian public, especially the Croatian political opposition, sharply criticized the Croatian-Hungarian Settlement. The Croatian position in the new system and implementing the Settlement's provisions provoked dissatisfaction. Oton Kučera, a scientist, also contributed to the criticism of the Settlement by questioning the Hungarian-Croatian Parliament as a common institution. He explained his attitudes in the letter sent to Šime Mazzura, a Croatian politician.

Key words: Oton Kučera, Šime Mazzura, Common Hungarian-Croatian Parliament, Croatian-Hungarian Settlement, opposition

Marijana Borić

MARKO ANTUN DE DOMINIS – HRVATSKI GALILEO GALILEI VIZIONARSKA PERSPEKTIVA

Sažetak: Marko Antun de Dominis (Marco Antonio de Dominis), (Rab, 1560 – Rim, 8 rujna 1624), hrvatski teolog svjetskoga glasa, filozof, windsorski dekan, senjski biskup, splitski nadbiskup, primas Dalmacije i Hrvatske, a osobito se zanimao za fiziku. S Galileo Galileijem dijelio je interes za neka od najaktualnijih područja onodobne fizike (prirodne filozofije): zakoni optike, teorija dalekozora, problem plime i oseke mora, pitanje oblika zemlje i problem određivanja zemljopisnih koordinata. Djelovao je na prijelazu iz 16. u 17. stoljeće, u vremenu kada se u znanosti i filozofiji znanosti zbivaju epohalne promjene, a nasuprot tradicionalnom aristotelovskom pristupu u istraživanje prirode uvodi se novi pristup uz primjenu matematičkih metoda, aksiomatskog deduktivnog sustava, pokusa i motrenja. Eksperimentalno i teorijski Dominis se bavio istraživanjima leća i njihovih sustava. Svoja praktična i teorijska istraživanja objedinio je u svom fizikalnom prvijencu *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride* (Rasprava o zrakama vida i svjetlosti u lećama i dugi), objavivši ga u Mletcima 1611. godine kod tiskara Tommasa Baglioni. U konačnoj redakciji svoga djela Dominis je dodao i dva poglavlja o novom instrumentu – dalekozoru, koji je ubrzo omogućilo velika astronomska otkrića. Dominisovo djelo ima osobitu vrijednost za povijest fizike jer je prvo djelo koje daje teoriju dalekozora a nastalo je u osvit nove epohe optičkih i astronomskih istraživanja, kada upravo zahvaljujući primjeni dalekozora u astronomiji konačno dolazi do revolucionarne prevage Kopernikova sustava nad geocentričnim sustavom. Stoga je potrebno istaknuti da zasluge za prvo djelo koje cjelovito tumači teoriju dalekozora pripadaju Dominisu, a ne Galileu Galileiu kako se to uvriježno misli. S velikom hvalom Dominisa spominje čak i Isaac Newton u svom glasovitom djelu *Optics* (prvo izdanje London, 1704), navodeći ga uz najveća imena znanosti 17. stoljeća: Descartes, Huygens, Hook, Roemer,

Grimaldi, Bartolinus i Boyle. Posvećeno najaktualnijim temama tog razdoblja, de Dominisovo je djelo imalo bogatu i raznoliku recepciju tijekom 17., 18. i u 19. stoljeću, a doživjelo je i različite prosudbe. Stoga je nakana ovoga rada, razmotriti Dominisov znanstveni rad, metodološke osobitosti, izvornost i dosege osobito u usporedbi s Galileovim pristupom i prinosima razumijevanju novog instrumenta kao i drugih suvremenika, kako bi se pobliže odredio i vrednovao značaj de Dominisova rada na tom području. Pored toga, kako bi se potpunije prikazalo i rastumačilo cjelokupno Dominisovo nasljeđe kojem je znanstveni opus samo jedan dio, cilj je ovoga rada uz Dominisovo znanstveno djelovanje sagledati i prikazati Dominisove korijene, uzore, ključne etape života i ideje koje su ga motivirale, nadahnjivale i bile relevantne za njegovo znanstveno i duhovno oblikovanje, određujući tako područja i opseg njegova djelovanja – bez čega nije niti moguće cjelovito razumijevanje njegovog intelektualnog profila i napose znanstvenog djelovanja, kojeg je u konačnici stavio u drugi plan podređujući ga svom teološkom i javnom djelovanju. Nije se mogao složiti s činjenicom da se načelno mora šutjeti o svakoj, pa i neopravdanoj odluci crkvene vlasti.

Živeći desetljećima u neposrednoj blizini žestokih ratnih sukoba s Osmanlijama, u epohi kada je čitava Europa bila zaraćena te vjerski i politički razjedinjena, Dominis je usprkos svojoj visokim dosezima u znanosti, prednost dao teološkom radu smatrajući vjeru i duhovnu reformu temeljem opstanka tada ugroženog kršćanskog svijeta. Reformu je smatrao svojom prioritonom i životnom misijom. U kontekstu totaliteta suvremenih problema njegove epohe, temeljito je istraživao postojeće doktrinarne formulacije na izvorima teologije, kako bi našao potpuniji i kreativniji teološki odgovor svom vremenu, smatrajući da time čuva vjeru, na njoj se nadahnjuje i osvježenu prenosi u novo vrijeme, te Crkvi kao zajednici vjere otvara nove povijesne perspektive.

Kao što je novovjekovnim pristupom i metodama propitivao zakonitosti prirode i doprinosio stvaranju nove znanosti, propitivao je i povijesnu ulogu Crkve a njegova katolička teologija usmjerena je aktualnim problemima njegova vremena. Usmjeren je znatno više rješavanju problema njegove epohe i realitetu od kog Crkva kao zajednica živi, negoli tumačenju apstraktne formule vjere.

Prvo, usmjeren je teološki utemeljenoj i historijski perspektivnoj obrani autonomije države i politike na izvancrkvenom planu. Zalaže se za odvajanje vlasti profanog svijeta države od Crkve, za omogućavanje dinamičke uzajamnosti obostrane autonomije, autonomije specifičnih područja duhovnog i svjetovnoga. Drugo, za njega prevladavanje problema nije završavalo kod toga

da se sačuva doktrinarni i eklezijalni integritet, nego da se otvore nove perspektive i dalje od toga pronađu načini i rješenja kako da se, na jednoj strani katolici i sve vjerske skupine što su proizašle iz reformacije doktrinarno i crkveno integriraju u jednu zajednicu vjere i života, istovremeno poštujući autentične i dopuštene razlike. Drugim riječima, Dominis teži da u formalno-teološkom smislu prevlada apologetsko-polemističku, u biti formalno-deduktivnu, verbalnu i statičku orijentaciju glavnog toka tadašnje katoličke teologije i zamijeni ju istraživačkom i stvaralačkom orijentacijom, koja je onda nužno i kritička, kao što je i novovjekovna znanost.

Kroz ta promišljanja je u ovom radu dan cjelovit portret Marka Antuna de Dominis jednog od najvećih erudita i mislilaca svoje epohe, reformatora i mirotvorca, koji se snagom intelekta, dosezima i slobodom promišljanja neosporno može poput Galilea Galileia, smatrati graditeljem novog vijeka i metaforom slobode promišljanja u odnosu na tradicionalne autoritete, što se do sada nedovoljno isticalo.

Ključne riječi: Marko Antun de Dominis, Galileo Galilei, fizika, matematika, optika, eksperiment, problem metode, leće, dalekozor, teologija, reformator, sloboda mišljenja, teologija.

I. Humanist, nadbiskup i primas Dalmacije i Hrvatske Marko Antun de Dominis – 400. godina poslije

Marko Antun de Dominis (Rab, 1560. — Rim, 8. IX. 1624.) svestrani učenjak, ugledni predstavnik hrvatskog i europskog humanizma, visoki crkveni prelat i diplomat, smatra se jednom od najistaknutijih duhovnih i intelektualnih pojava Europe na prijelazu iz 16. u 17. stoljeće.¹ Svojim je znanstvenim opusom i ugledom u crkvenom, društvenom i političkom životu izazivao divljenje u elitnim europskim krugovima ali

¹ Ovaj rad je prerađena inačica članka koji je prvi puta objavljen u katalogu izložbe *Marko Antun de Dominis – pogled u novo doba / Marco Antonio de Dominis: A Visionary's Perspective*, Nacionalna i sveučilišna knjižnica, Zagreb 2024. Izložba *Marko Antun de Dominis – pogled u novo doba / Marco Antonio de Dominis: A Visionary's Perspective* (autorica Marijana Borić) postavljena je u povodu 400. obljetnice njegove smrti u: (1) Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, listopad 2024; (2) Palača Milesi, Split – Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, prosinac 2024. i planira se postaviti u: (3) Hrvatski školski centar u Pečuhu, ožujak 2025; (4) Palača Nimira u Rabu, svibanj 2025; (5) Papinski hrvatski zavod sv. Jeronima u Rimu, listopad 2025; (6) Sydney studeni 2025; (7), Auckland, New Zealand, prosinac 2025. Organizatori izložbe: Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Nacionalna i sveučilišna knjižnica, Papinski hrvatski zavod sv. Jeronima u Rimu, projekt *Upoznajmo hrvatsku znanstvenu baštinu* (HAZU).

i otvoreno neprijateljstvo nekih suvremenika. Dominis je intelektualnim i duhovnim djelovanjem ostavio neizbrisiv trag u hrvatskoj i europskoj povijesti, znanosti i kulturi. Ostvarivao se u raznim aspektima života, te je bio primjerom iznimno uspješnoga i svestranoga renesansnog čovjeka utjelovljenog pojmom *homo universalis*. Djelovao je kao predavač-lektor matematike, retorike, logike, književnosti, filozofije i prirodopisa², pisao je i zapažena djela iz područja prirodne filozofije - fizike³ a osobito iz teologije, koja je bila u fokusu njegova djelovanja. Bio je isusovac, potom senjski biskup a dok je bio splitskim nadbiskupom, nosio je časnu titulu *Primasa Dalmacije i Hrvatske* – naslov prvostolnika Dalmacije i čitave Hrvatske, najviše crkveno dostojanstvo u ovom dijelu Europe koje je do konca života s ponosom isticao.

Među znamenitim hrvatskim humanistima Dominis se ističe ne samo raznolikim opusom već i specifičnim životnim putem tijekom kojeg je dosegno visoke službe u diplomatskoj, političkoj i crkvenoj hijerarhiji. Bio je pripadnikom europske intelektualne elite svoga doba, a svojim utjecajem prelazi granice hrvatske nacionalne baštine. Iz tog se razloga, a želeći na međunarodnoj razini afirmirati Dominisovo mirotvorstvo, spisateljski i znanstveni rad, UNESCO, prestižna ustanova u organizaciji Ujedinjenih naroda, 2010. godine pridružio kao pokrovitelj Hrvatskoj u obilježavanju 450. obljetnice Dominisova rođenja. Nakana je ove izložbe priređene u povodu četrstote obljetnice njegove smrti oživjeti sjećanja i odati počast za postignuća kojima je zadužio hrvatsku i europsku kulturnu i znanstvenu baštinu.

Dominis je životom i djelima utjecao i nadahnjivao mnoge ugledne europske učenjake i filozofe. Među njima ističu se velikani kao Hugo Grotius,⁴ otac međunarodnog prava i Thomas Hobbes,⁵ utemeljitelj moderne političke filozofije i doktrine modernih prirodnih prava. Dominisova tumačenja fizikalnih pojava doživjela su različite prosudbe znamenitih učenjaka kao Isaaca Newtona, Christiana Wolffa, Christiana Hygensa, Voltairea, Ruđera Boškovića, Josepha Priestleya, a spominje ga i Goethe u svom prirodnoznanstvenom djelu *Zur Farbenlehre (O teoriji boja)*, kao »vrsnog matematičara i fizičara i iskonskog motritelja čuvenog među istraživačima prirode«.⁶ Dominisova uloga u istraživanju duge navodi se i u sveučilišnim udžbenicima iz fizike u 18. stoljeću (Mussechenbroek, Zanchi).⁷

² KORADE 1983: 101-117; MARTINOVIĆ 2002: 70-72.

³ BAJSIĆ, 1976: 61-72; BARIĆ 1976: 33-48; ČUBRANIĆ 1976: 54-60; DADIĆ 1976: 49-54; ZENKO 1976: 73-84; DADIĆ 199: 135-154.

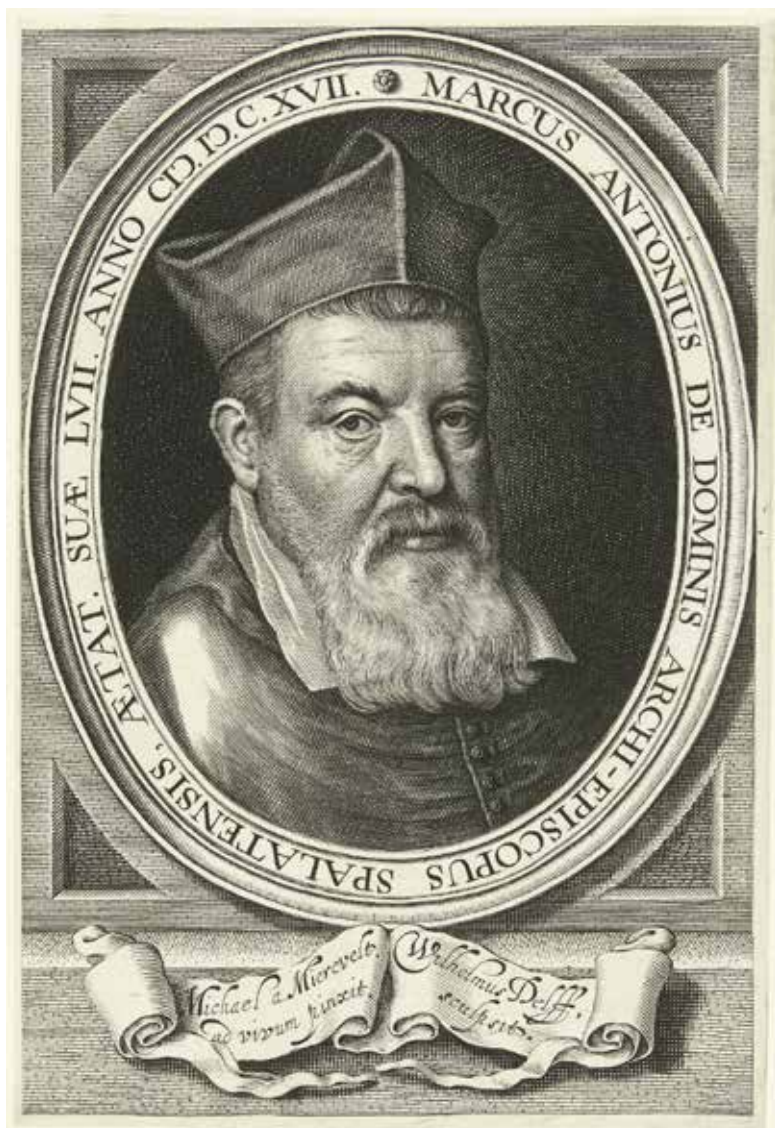
⁴ BERLJAK 2002: 299-324.

⁵ TUDJINA 2002: 165-182; TUDJINA 2006: 135-142.

⁶ MARTINOVIĆ 1996: 400-409.

⁷ MARTINOVIĆ: 2009: 689-707.

Premda je Inkvizicija strašnom anatemom zaborava osudila Dominisovo ime i djelo, oduzevši mu sve titule, časti, imovinu i djela koja su spaljena 21. prosinca 1624. godine zajedno s njegovim mrtvim tijelom na rimskom Cvjetnom trgu (*Campo de' fiori*) i pepeo je bačen u Tiber,⁸ snaga i dosezi Dominisovih misli prelaze granice epoha. O tome svjedoči brojnost njegovi sačuvanih rukopisa i djela kao i neprestano zanimanje istraživača iz različitih područja, koji ne jenjava sve do današnjih dana.



Sl. 1. Portret
Marka
Antuna de
Dominisa

⁸ GOLUB 2006: 161–196.

Sačuvana Dominisova djela i rukopisi

Dominisova djela i rukopise posjeduje Nacionalna i sveučilišna knjižnica u Zagrebu, Knjižnica Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu, Österreichische Nationalbibliothek u Beču, British Museum Library u Londonu (Manuscript dep.), Bodleian Library u Oxfordu, Bibliothèque Nationale u Parizu, Civico Museo Correr u Veneciji (zbirka rkp. venecijanske obitelji Dona). Korespondencija i dokumenti o njemu čuvaju se u Public Record Office u Londonu (zbirke State Papers), University Library i Caius College Library u Cambridgeu, Bibliothèque de l'Arsenal u Parizu, Biblioteca Vaticana u Rimu, Biblioteca nazionale Marciana u Veneciji, Biblioteca Arcivescovile i Biblioteca civica u Udinama. Građa o njemu pohranjena je i u Historijskom arhivu u Zadru (dokumenti obitelji Nimira), Kaptolskom arhivu u Splitu, Historijskom arhivu u Rijeci te u Archivio segreto Vaticano u Rimu i Archivio di stato u Veneciji.

Dominis kao nadahnuće u književnosti i umjetnosti

Dominis je bio predmet književne obradbe u drami *A Game at Chess* (izvedene u Londonu 1624.) engleskog književnika Thomasa Middletona, romanu *Čuvaj se senjske ruke* Augusta Šenoe (1875.), te u romanu *Heretik* (Zagreb 1968.) i istoimenoj drami (1969.) Ivana Supeka. U Hrvatskoj je sačuvano nekoliko Dominisovih portreta: jedan u ulju nepoznatog autora, naslikan prije 1596. godine, pohranjen je u Hrvatskom povijesnom muzeju (Zagreb), drugi u ulju je djelo Raffaela Mele (?) i čuva se Splitskoj nadbiskupiji. Sačuvano je i više bakroreza – Hrvatski državni arhiv posjeduje onaj koji je izradio Jacobs Delff 1617., prema Dominisovom zagubljenom portretu Michiella Van Mierevelta načinjenom 1616. godine u Haagu i litografiju Antonia Nardella prema predlošku V. Poireta (?).⁹ Dva su bakroreza pohranjena u Regionalnom zavodu za zaštitu spomenika kulture u Splitu (Renols Elstracke, 1616. i bakrorez nepoznatog autora iz 1624., načinjen prema M. J. Miereveltu. Također u Hrvatskoj se čuva nekoliko primjeraka grafike Dominisova portreta, kojeg je načinio Abraham Blotelling i otisnuo kod tiskara Paulusa Fursta: u fondu Arheološkog muzeja u Splitu, u grafičkoj zbirci Hrvatskog državnog arhiva u Zagrebu, u Hrvatskom povijesnom muzeju u Zagrebu, Zbirci Baltazara Bogišića u Cavtatu i u privatnoj zbirci N. Cambi u Splitu. Zbirka Baltazara Bogišića u Cavtatu također posjeduje primjerak grafike portreta koji je načinio William Skelton 1810. prema Dominisovom portretu Domenica Tintoretta i još dva bakroreza nepoznatih autora. Dominisov portret nepoznatog autora načinjen prema M. J. Miereveltu i otisnut 1617. kod John Billa u londonskom izdanju njegova djela *De republica ecclesiastica* posjeduje Nacionalna i sveučilišna knjižnica u Zagrebu a Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti u Zagrebu posjeduje primjerak portreta otisnut u drugom izdanju tog djela (Heidelberg, 1618-1620).

⁹ PRIJATELJ 1987: 377-382; PRIJATELJ-PAVIČIĆ 2006: 355-389.

2. Plemićka obitelj Dominis – Europska visoka elita hrvatskoga kova

Marko Antun de Dominis rođen je 1560. godine na otoku Rabu, u obitelji čije plemenito porijeklo seže u rana stoljeća rapskog srednjovjekovlja. Sin je učenog pravnika i pjesnika Jeronima Dominisa i majke Marije iz venecijanske obitelji Vellutelli. Obiteljsko je prezime Dominis nastalo od hipokoristika osobnog imena Dominik (Dominicijus) ili od njegovih inačica Demanja, Dominja, Domana.¹⁰ U literaturi se navodi da Dominisi izvedu svoje porijeklo od loze krčkih knezova koji se kasnije prozvaše Frankopanima. Po majci, pripadao je i glasovitoj talijanskoj obitelji Theobaldi, iz koje je potekao i papa Grgur X. (1271. – 1276.). Rodoslovlje Dominisa, koje je oko 1600. godine sastavio sam Marko Antun de Dominis nosi naslov *Arber Frangipana sive de Dominis*.¹¹ Izvornim podacima provjereno rodoslovlje obitelji započinje od 1283. godine sa Stjepanom de Dominisom, sinom rapskog sudca. Uspinjući se u gradskoj plemićkoj i crkvenoj hijerarhiji, Dominisi postupno prelaze lokalne okvire Raba. Stječu imanja na Pagu, Cresu, Dugom otoku i Lošinju, priskrbuju biskupsku stolicu u Jakinu (Ancona) i Velikom Varadinu (Oradea) u Ugarskoj. Postaju rapski poklisari na kraljevskom dvoru u Budimu i stječu vlastelinski naslov među plemstvom grada Zadra. Zahvaljujući ugledu na europskim dvorovima, osobito povezanosti s napuljskim i ugarskim kraljevskim dvorom, Dominisi postaju delegati carske vlasti s povlasticama kojima su se mogli služiti na čitavom teritoriju Svetog Rimskog Carstva. Carskom poveljom izdanom u Pragu 26. kolovoza 1433. godine imenovani su namjesničkim grofovima, zajedno sa svojim potomcima. Osim kao crkveni poglavari i učenici ljudi, Dominisi su se kao podanici ugarske krune i mletačkih vlasti isticali i kao ratni zapovjednici u borbama s Osmanlijama zapovijedajući kršćanskom vojskom u bitci kod Varne. Također, u dugoj tradiciji koja se prenosila s očeva na sinove, bili su zapovjednici (soprakomiti) rapske galije, i kao takvi sudjelovali i u bitci kod Levanta.¹² Marko Antun de Dominis zasigurno je stasajući u humanističkom ozračju obiteljskog doma, u krugu moćne plemićke obitelji Dominis te sa snažnom povezanošću s tradicijom i nasljeđem, već u ranoj dobi usvojio univerzalne visoke duhovne ciljeve kojima je stremio čitav život.

¹⁰ GRANIĆ 2006: 9-19.

¹¹ GRANIĆ 2006: 9.

¹² GRANIĆ 2006: 9-19.



Sl. 2. Mala palača obitelji Dominis u Rabu



Sl. 3. Grb obitelji Dominis – detalj iznad ulaznih vrata u Malu palaču Dominis u Rabu

3. Školovanje i stasanje - pod okriljem Družbe Isusove

Školovanje je započeo u humanističkom ozračju obitelji i rodnoga Raba. Plemićka obitelj Dominis tradicionalno je skrbila za obrazovanje nadarenih članova, smatrajući ga važnim za opstanak i prosperitet obitelji u tim teškim vremenima. Uzorom i prvim učiteljem bio mu je stric, senjski biskup Antun de Dominis, uskočki heroj preminuo u boju s Turcima koji je imao snažan utjecaj na odgoj mladog Marka Antuna s kojim je dijelio mnoge zajedničke vrijednosti, jasnu svijest o vlastitom identitetu u odnosu na zajednice kojima su služili i privrženost tradiciji predaka. Dominisovu napretku uvelike je doprinio nastavak školovanja među Isusovcima. Već u dvanaestoj godini poslan je u isusovački Hrvatski kolegij u Loretu (*Collegio Illirico di Loreto*), gdje je pohađao gimnaziju i učio gramatiku, retoriku i moralnu teologiju.¹³ Kolegij je bio namijenjen školovanju hrvatskih klerika, kako bi poslije služili Crkvi i svom rodnom kraju, a učenici su pri dolasku prisezali da će postati svećenicima te da će se vratiti u domovinu i ondje služiti Crkvi. U dobi od devetnaest godina Dominis 1579. pristupa Družbi Isusovoj u Novellari, a potom odlazi na studij u Veronu gdje uči filozofiju te istodobno mlađim studentima predaje književnost. Tijekom studija dobiva izvrsno obrazovanje i formira široke intelektualne interese. Moli poglavare da ga pošalju u prekomorske misije, međutim ostavljen je u Italiji i od 1587. do 1591. godine studira teologiju u Padovi, gdje je ujedno predavač-lektor matematike i prirodopisa. U tom razdoblju bio je uz redovničke dužnosti potpuno posvećen znanstvenom radu i tada je napisao koncept svoja dva fizikalna djela koja će objaviti dvadesetak godina kasnije. Nakon završetka studija 1592. godine odlazi u Bresciju i ondje predaje prvo retoriku, a zatim logiku i filozofiju do konca 1595. godine kada odlazi u Rim. Tada nakon pogibije njegova strica Antuna de Dominisa, senjskoga biskupa, u protuturskom boju pod Klisom 1596. godine, završava razdoblje Dominisova mirnog, znanstvenog i redovničkog života a započinje njegov uspon u crkvenoj hijerarhiji i burno razdoblje javnog, crkvenog, političkog i diplomatskog djelovanja.

4. Senjski biskup i diplomat na strani svoga naroda

Nakon vrlo uspješne karijere na sveučilištima u Veroni, Bresciji i Padovi, prva stepenica u Dominisovom usponu crkvenom hijerarhijom bio je položaj senjskog biskupa. Pogibijom njegova strica Antuna, senjskoga biskupa pridruženog vojsci generala Jurja Lenkovića u boju protiv Osmanlija pod Klisom 27. svibnja 1596. godine, postao je konkurentom za upražnjenu biskupsku stolicu i zatražio odstupanje iz Isusovačkoga reda. Premda ga je Rudolf II., rimsko-njemački car i hrvatsko-ugarski kralj

¹³ DADIĆ 1994: 135.

kao svjetovni poglavar Svetog Rimskog Carstva Njemačke Narodnosti neposredno nakon smrti strica Antuna imenovao *izabranim senjskim biskupom*, Sveta Stolica ga je u to vrijeme samo potvrdila kao apostolskog upravitelja senjske biskupije, dok je papinsku potvrdu imenovanja senjskim biskupom i upraviteljem modruške biskupije čekao gotovo četiri godine i dobio tek u ožujku 1600. godine nakon što je službeno proveden postupak biskupskog imenovanja u apostolskoj nuncijaturi u Grazu. Dominisovo biskupsko posvećenje održano je potom u Veneciji u listopadu iste godine.¹⁴

Dužnost senjskog biskupa Marko Antun de Dominis službeno je obnašao svega dvije godine, u razdoblju od papinske potvrde imenovanja senjskim biskupom 13. kolovoza 1600. do 16. studenog 1602. godine, kada ga papa Klement VIII. imenuje splitskim nadbiskupom. Međutim, njegova uloga u rješavanju senjskih problema i pitanja uskoka započinje nekoliko godina ranije, nakon njegovog carskog „pred-imenovanja“ senjskim biskupom i odobrenja isusovačkog generala Aquavive 3. ožujka 1597. godine temeljem kojeg je odstupio iz Družbe. Nastojeći smiriti odnose između Mletačke Republike i Svetog Rimskog Carstva Njemačke Narodnosti, papa Klement VIII. u rujnu 1598. godine, povjerava Dominisu posredništvo između Republike i Habsburškog Carstva u rješavanju pitanju senjskih uskoka, budući su mu obje strane bile sklone.¹⁵

Kako je senjskim biskupom postao uz potporu Mlečana i cara Rudolfa II. Habsburga u iznimno složenim i nepovoljnim prilikama dugogodišnjih sukoba uskoka s Mlečanima, Dominis je na svaki način bio visoko motiviran pridonijeti rješavanju uskočkoga pitanja. Mlečanima su uskoci ne samo pljačkali brodove, već su napadima i pljačkom posjeda koji su bili pod osmanskom vlašću u Dalmaciji ugrožavali Mletačko-osmanske odnose i njihovu uspješnu trgovinu. Nasuprot tome, u okruženju neposredne osmanske opasnosti, prisustvo uskoka u Senju kao najefikasnije obrane bilo je u interesu Carevine a ujedno su narušavali suverenost Mlečana kao jedinih gospodara Jadrana. Zbog prirode problema Dominisovo djelovanje u tom razdoblju uvjetovano je političkim okolnostima i bilo je više diplomatske i svjetovne, nego crkvene naravi. Mletačko nastojanje da se uskoci demilitariziraju i presele s jadranske obale u unutrašnjost Hrvatske, tražilo je potporu carskih vlasti i financijska sredstva. U tom je razdoblju zbog mletačkog inzistiranja na suverenitetu nad cijelim Jadranom i mletačke blokade većinskog dijela hrvatske obale 1598./1599. u Senju vladala oskudica i glad. Mjere za pomoć Senju nastojao je koordinirati papa uz pomoć zadarskog nadbiskupa Minuccija i biskupa Dominisa. Preuzevši odgovornost, i po nalogu pape koji je zagovarao jedinstvo kršćanskih snaga Dominis je uložio znatne napore da se problem riješi demilitarizacijom uskoka, koje bi se nakon razvojačenja privodilo mir-

¹⁴ PIVČEVIĆ 1983. 178-192; TUDJINA GAMULIN 1993: 119-126; BOGOVIĆ 2006: 33-35.

¹⁵ BOGOVIĆ 2006: 35-39.

nodobskim zanimanjima, poljodjelstvu, stočarstvu i trgovini. Kako je za plan seobe i smještaja uskoka trebalo osigurati suglasnost i potporu svih uključenih strana, Dominis je bio u diplomatskoj misiji u razdoblju od 1599. do 1601. godine. Tražeći pomoć za uskoke putovao je caru Rudolfu u Prag, austrijskom nadvojvodi Ferdinandu II. u Graz, kranjskim staležima u Ljubljani, vlastima u Veneciju i obalom od Rijeke do Zadra. Usprkos Dominisovim naporima uskoci, mletačke i carske vlasti nisu postigle dogovor. Uskoci nisu prihvaćali plan demilitarizacije i preseljenja, a nakon što je carski general Giuseppe (Joseph) Rabatta 1601. godine iznenada dao pogubiti njihove vođe i njih dvjesto pedeset prisilno preselio preko Velebita, uskoci su iz osvete ubili Rabattu i zaprijetili smrću samom Dominisu, koji je u to vrijeme još boravio u austrijskim zemljama nastojeći posredovati. O Dominisovoj ulozi u rješavanju uskočkog pitanja potrebno je prosuđivati isključivo na temelju provjerenih povijesnih izvora i uzimajući u obzir kontekst razine njegovog djelovanja i ograničenja koja je imao u tom smislu, kao što je načinio otac hrvatske moderne kritičke historiografije Franjo Rački, a ne kao što je čest slučaj na temelju sadržaja s prikazom Dominisa nepotkrijepljenim provjerenim izvorima. Osobito je to potrebno uslijed raširenosti u Hrvatskoj iskrivljene i romantizirane slike Dominisa koju je August Šenoa izgradio za potrebe svog romana *Čuvaj se senjske ruke*. Ipak čak i takva, Šenoina romantičarski iskrivljena i negativna slika koja je ušla u školske lektire uspjela je nakon dva i pol stoljeća skinuti strašnu anatemu zaborava s Dominisova imena kojom je inkvizicija osudila njegovo ime i djelo.

5. U krugu hrvatskih intelektualaca bratovštine sv. Jeronima u Rimu

Uvidjevši da je njegov opstanak na biskupskoj stolici u Senju neodrživ, Dominis početkom 1602. godine putuje na Rab, a zatim preko Ancone odlazi u Rim. Privlačio ga je Rim kao duhovno i intelektualno središte u kojem je nastojao ostvariti i novu priliku za povratak u domovinu. Tamo se kretao u društvu hrvatskih intelektualaca i uglednika, a 16. srpnja 1602. godine primljen je u članstvo hrvatske Bratovštine sv. Jeronima u Rimu. Ostajući povezan s članovima Bratovštine tijekom ostatka svog života posebno se zbližio sa Šibenčaninom Faustom Vrančićem, ocem hrvatske leksikografije i glasovitim izumiteljem.¹⁶ Upoznali su se ranije, u razdoblju od 1599. do 1601. godine kada je Dominis nastojeći osigurati potporu za seobu i smještaj uskoka iza Velebita, boravio na carskom dvoru u Pragu, na kojem je Vrančić bio vrlo utjecajan kao dugogodišnji tajnik cara i kralja Rudolfa II. Zbog svoje pozicije, Vrančić je bio upućen u postojeće probleme i Dominisova nastojanja, kada je kao senjski biskup nekoliko

¹⁶ BORIC 2023: 34-35, 77.

godina revno obilazio velikaške dvorove u Pragu, Grazu i Veneciji nastojeći osigurati rješenje problema, pomoći uskocima i svim silama pokušavao spasiti što se u datim okolnostima moglo. I nakon tog razdoblja ostali su povezani. Dijelili su mnoge zajedničke sklonosti i nazore, a Vrančić mu je nekoliko godina kasnije povjerio i recenziju svog djela *Logica nova*.¹⁷

U Papinskom zavodu sv. Jeronima u Rimu sačuvan je zapisnik sa sjednice na kojoj je Dominis primljen u bratovštinu neposredno nakon odstupanja s pozicije senjskog biskupa (izvor: Arhiv Papinskog hrvatskog zavoda sv. Jeronima (APHZSJ), *Decreti delle Congregazioni* 6 (1599. –1610.), str. 65–66.). Na članstvo u Bratovštini imali su pravo samo oni koji su dolazili iz jedne od četiriju hrvatskih pokrajina, uz uvjet da su govorili hrvatskim jezikom te djelovali u skladu s interesima i moralnim načelima koja su se u ovoj hrvatskoj Bratovštini zagovarala. Stoga se smatra kako je čin Dominisova primanja u Bratovštinu neposredno nakon njegova odlaska iz Senja, svojevrsna potvrda njegovih upućenih suvremenika da je kao od pape odabrani posrednik između Carevine i Republike u rješavanju uskočkog pitanja usprkos interesima Mlečana i Habsburgovaca ipak djelovao na strani svoga naroda.¹⁸

6. Nadbiskup u Splitu i primas Dalmacije i Hrvatske

Za Dominisova boravka u Rimu preminuo je splitski nadbiskup Domenico Focconi. Rimska Kurija je za njegova nasljednika favorizirala udinskog dekana Marzia Andreuccija koji je tada bio u službi papina sinovca, kardinala Cinzija Aldobrandinija. Na molbu splitskoga Kaptola, uz pristanak gradskoga Velikog vijeća i podršku Mlečana, Dominis je uspio ishoditi imenovanje. Splitskim nadbiskupom Dominisa imenuje papa Klement VIII. dana 16. XI. 1602. godine pritom mu određivši da Andreucciju – kojem je kao utješna nagrada dodijeljen naslov biskupa u Trogiru – kao svom protukandidatu godišnje isplaćuje „odštetu“ od petsto dukata. U Splitu je uz dijecezanske poslove Dominis poučavao svećeničke kandidate matematiki, logici i teologiji te pisao svoje teološke rasprave i životno djelo *De republica ecclesiastica (O crkvenoj državi)*, ali se zapleo i u nove dugotrajne sukobe.¹⁹ Splitsko plemstvo u njemu nije našlo potpore svojim željama da se Klis oslobodi od Osmanlija, a 1604. godine Dominis se sukobio sa svojim Kaptolom oko popunjavanja upražnjenih kanoničkih mjesta. Istodobno se našao u sporu s Andreuccijem, koji je, postavši trogirskim biskupom, i dalje tražio plaćanje odštete *pro nominandis*, a Dominis nije uspio u vezi s time dobiti potporu od

¹⁷ BORIC 2018: 32; BORIC 2023: 34–35, 77.

¹⁸ BREYER 1945: 188–189. DADIĆ 1994: 137.

¹⁹ KAPITANOVIĆ 2006: 81–102 ; KOVAČIĆ 2006: 41–77; TROGRLIĆ 2006: 105–117.

Rimske Kurije kada je potkraj 1604. godine boravio u Rimu. Radilo se o vrlo visokoj svoti koja je i u prosperitetnom razdoblju dosegala trećinu ukupnih prihoda nadbiskupije, a u tom razdoblju neposredne opasnosti od Turaka i pošasti kuge koja je poharala stanovništvo i prihode bila i objektivno neostvariva, pa se Dominis s razlogom opirao teškom nametu.

Kada je 1606. godine zbog razmirica sa splitskim Kaptolom boravio u Veneciji, zategnutost između Rimske kurije i Venecije dosegla je vrhunac nakon interdikta pape Pavla V. nad Republikom zbog spora proizašlog iz zakona kojim je Venecija zabranila oduzimanje vlasništva u korist klera i stavljanja klera pod jurisdikciju mletačkih građanskih sudova. Interdiktom između ostalog papa zabranjuje kleru vršenje crkvenih funkcija na mletačkom teritoriju. Dominis je odbio pokoriti se interdiktu i stao u obranu Republike, istupivši protiv nastojanja pape da svoj autoritet nametne svjetovnoj vlasti. Dokazujući da papino miješanje u poslove svjetovne vlasti nije u skladu s crkvenim zakonima i vjerskim načelima, Dominis je dao pisani prilog toj polemici u raspravi *Dell'auttorità legitima et potestà de principi temporali nel far leggi et governare lo stato suo, contra le vane pretensioni della corte Romana* (*O legitimnoj vlasti i moći zemaljskih knezova u donošenju zakona i upravljanju svojom državom, protiv ispraznih pretenzija rimskog dvora*), koju je uručio mletačkoj vladi 1606. godine.²⁰

Dominis je već i ranije bio zapleten u spor s Kurijom u vezi uvjeta vezanih za njegovo imenovanje za splitskog nadbiskupa. Međutim njegov kritički stav prema Rimu imao je dublje korijene i izvirao je iz njegova nezadovoljstva autokratskim načinom na koji je Crkva bila vođena, korumpiranošću i nemoralom u Kuriji te iznad svega trgovanjem oprostima i iskorištavanjem raširenih praznovjerja kao grubim iskrivljivanjem izvornog kršćanskog nauka.

Dao se tako na detaljan studij crkvenih otaca, tražeći inspiraciju za jedan alternativni oblik crkve, i sada je, zahvaljujući papinom interdiktu, sve to za njega postalo još važnije i urgentnije, jer se radilo o njegovom vlastitom položaju i ulozi kao pastora i crkvenog premeta. Nakon što je 22. ožujka 1607. godine povučen interdikt i izgladen sukob između Venecije i pape, Dominis se vratio u Split. Iako se papa obvezao da nitko neće snositi nikakve posljedice zbog sudjelovanja u sukobu, Rimska kurija, koja Dominisu ni prije nije bila osobito sklona, počinje osporavati njegove pastoralne i administrativne odluke i onemogućivati gotovo sve veće korake koje je poduzimao kao nadbiskup.

²⁰ TURČINOVIĆ 1967: 119-123; JOZIĆ 2006: 119-132.

7. Produbljivanje sukoba s Rimskom kurijom

Kurija nije opraštala buntovnom kleru i Dominis je bio izložen stalnom pritisku i osporavanju. Između 1607. i 1616. godine više puta je duže boravio u Mlecima i u jednoj se prilici zadržao čak dvije i po godine.²¹ Kao glavne razloge dugih izbjivanja iz Splita navodio je potrebu da s papinskim nuncijem i mletačkim vlastima pregovara o rješenju svoga spora s trogirskim biskupom. Međutim, potajno je započeo intenzivno raditi na svom djelu *De republica ecclesiastica (O crkvenoj državi)* i trebao mu je pristup u bogate mletačke biblioteke, a pripremao je za tisak i svoj fizikalni prvijenac *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride (O zrakama vida i svjetlosti u lećama i dugi)*, kojeg je većim dijelom napisao dvadesetak godina ranije. Njegove teološke preokupacije nisu nikada ugasile njegov interes za znanost. Dok oficijelno pregovara o sporu s trogirskim biskupom, najveći dio vremena provodi u istraživanju, pisanju, sređivanju svojih tekstova napisanih u Splitu, koje će ugraditi u tekst svog glavnog teološkog djela. Iste godine 1611. kada objavljuje *De radiis visus*, dovršava pisanje prve knjige svog djela *De republica ecclesiastica* u kojemu će izložiti razloge svog ideološkog raskida s papinstvom.

Neraspoloženje Kurije prema Dominisu još se više pooštrilo kada se u Rimu 1612. godine saznalo da splitski nadbiskup priprema opsežno teološko djelo protiv pape i politike Katoličke crkve te mu je preporučivano da odustane od pisanja. Nezadovoljan i ogorčen, Dominis je 1613. godine odlučio uzeti pomoćnika i za to je mjesto predlagao Vicka de Franceschija iz Kopra. Papinsko dopuštenje tražio je pisanim putem i nije se odazvao pozivu da dođe u Rim, vjerojatno zbog već tada opravdana straha od inkvizicije. Primivši poziv da dođe na »razgovor« u Rim slutio je najgore te se odlučio skloniti na sigurnije mjesto, pa je navodeći zdravstvene razloge, otputovao u Mletke.

Isto tako, kada je spor s Andreuccijem htio riješiti njegovim ekskomuniciranjem, otišao je na početku 1614. godine u Veneciju umjesto u Rim, da tamošnjem papinu nunciju iznese svoje razloge za takav postupak. Tom je prilikom Dominis počeo pregovarati o mogućnostima svog odlaska u Englesku sa sir Dudleyem Carletonom, tadašnjim engleskim poslanikom u Veneciji i kasnijim glavnim posrednikom i organizatorom njegova odlaska u London.²² Kada je Rim odbio njegovu molbu da uzme pomoćnika i preporučio mu da se odrekne nadbiskupije, Dominis je to i učinio. Upravo u to vrijeme dovršavao je u splitskoj prvostolnici otvaranje istočnog zida i gradnju kora. Papa je prihvatio njegovu ostavku i u listopadu 1616. godine za splitskog nadbiskupa imenovan je Mlečanin Sforza Ponzoni.

²¹ KOVAČIĆ 2006: 41-77.

²² TUDJINA 2006: 135-142. PIVČEVIĆ 2009: 1265 – 1292.

8. Tajno hodočašće

Početkom 1615. godine Dominis je ponovo u Veneciji, gdje je nakon što ga je mletačko Vijeće desetorice odbilo izručiti Rimu, odlučio definitivno otići u London jer mu se Anglikanska crkva, pod kraljem Jakovom I., doimala manje ekstremna od radikalnih kontinentalnih protestantskih crkava kojima Dominis nije bio sklon, a pored toga Englezi su u svojim odnosima s katoličkim zemljama pokazivali sklonost za kompromis i spremnost da izgube svoj spor sa Španjolskom.²³ U Veneciji se već prije zbližio s fra Paolom Sarpijem, glasovitim učenjakom i vođom mletačke oporbe protiv pape, zahvaljujući kojem je došao u doticaj sa sir Henry Wottonom i sir Dudley Carletonom, engleskim poslanicima u Mletcima. Zainteresirao ih je za svoje ideje. Preko poslanika je posredno pregovarao s canterburyjskim nadbiskupom Abbotom i engleskim kraljem Jakovom I. Stuartom o uvjetima svoga dolaska. Sarpi, koji se Kuriji također zamjerio kritikom papinstva, našao se nekoliko puta na meti atentatora, pa je i Dominis prema vlastitom priznanju bio u strahu za goli život. Ne bez razloga, jer je čini se doista postojao plan da ga se kidnapira i prisilno odvede u Rim. To ga je ponukalo da se oglada za drugim utočištem i Engleska mu se učinila kao najpovoljniji izbor. Smatrao je da će tamo biti sigurniji i naći receptivniju publiku za svoje ideje crkvenog jedinstva, a zbog svoje kritike papinstva nadao se prijateljskom prijemu na engleskom dvoru, kao i podršci engleske javnosti.

Nakon što je u Splitu sredio svoje poslove, posredovanjem sir Wottona, Dominis je u rujnu 1616. godine tajno iz Mletaka krenuo na tromjesečno putovanje pod imenom dubrovačkog trgovca Matije Lukarevića, u pratnji engleskog plemića Roberta Barnsa i svog nećaka Žvana. Na putovanju koje je nazvao »hodočašće«, putovali su prvo mletačkim teritorijem u pravcu Brescia-Bergamo, pa odatle na sjever do Basela u Švicarskoj, odakle je dolinom Rajne nastavio za Heidelberg. Tamo se dulje zaustavio i objavio svoj ranije napisani proglas *Marcus Antonius de Dominis, Archiepiscopus Spalatensis, suae profectionis consilium exponi*, (Marko Antun de Dominis, splitski nadbiskup, objašnjava plan svog odlaska) svoju buntovnu deklaraciju i ispovijest o pobudama koje su ga navele da napusti svoju nadbiskupiju, u kojoj osuđuje papinstvo i rimokatoličko nastupanje isključivo s pozicije apsolutne nadmoći te pledira za jedinstvo crkve. Potkraj iste godine proglas je pretiskan na latinskom jeziku i u engleskom prijevodu u Londonu (*A manifestation of the motives whereupon ... M. A. de Dominis; Archbishop of Spalatro, undertook his departure thence*). Dočim se pročulo da je »pobjegao«, u Rimu su javno spalili lutku koja predstavlja njegov lik, a Pavao V. je ustanovio sudski postupak protiv njega *in absentia*. Dominisa je očekivalo vrlo opasno putovanje iz Heidelberga kroz katoličke porajnske zemlje, jer je u međuvremenu

²³ TUDJINA 2006: 135-142. PIVČEVIĆ 2009: 1265 – 1292.

12. XI. 1616. godine Rimska kurija stavila na indeks zabranjenih djela ne samo njegov proglas nego i sve što ubuduće bude objavio i dala nalog svojim predstavnicima u inozemstvu da poduzmu sve kako bi ga uhitili. Neposredna opasnost prošla je tek kada je 16. XI. 1616. godine stigao u Hag, gdje je u to vrijeme Carleton bio u službi engleskog veleposlanika. Prešavši La Manche u ratnom brodu, koji je nizozemski princ Maurice odredio posebno za njegov prijevoz, Dominis je 16. XII. 1616. godine stigao u London, a njegov je dolazak uglavnom bio shvaćen kao važna potvrda autoriteta Anglikanske crkve.²⁴

9. Dominis u Londonu

Svečano dočekan, Dominis se smjestio u palači Lambeth canterburyjskog nadbiskupa Georga Abbota i uživao osobitu naklonost kralja Jakova I., koji je cijenio političku i diplomatsku vrijednost od prisutnosti istaknutog rimokatoličkog prebjege.²⁵ London u tom razdoblju živi bogatim kulturnim, političkim javnim životom. Upriličuju se javne teološke rasprave na kojima se diskutira o pravima i ovlastima papa i kraljeva za široku publiku od posebnog interesa zbog svojih direktnih političkih implikacija. Engleska tada proživljava razdoblje kulturnog, gospodarskog i političkog uzleta, vrijeme je to velikana poput Shakespearea, Francisa Bacona i niza utemeljitelja moderne znanosti, stoljeće kada je engleski stvaralački genij iskovao ideje i jezik koji će ući u temelje moderne europske civilizacije.

Odmah po dolasku, Dominis počinje pripremati za tisak svoje kapitalno djelo *De republica ecclesiastica (O crkvenoj državi)*. Potkraj rujna ili na početku listopada 1617. godine izišao je prvi svezak i izazvao snažan dojam i mnoge komentare u čitavoj Europi, rimsku zabranu čitanja i mnoštvo polemičnih spisa i pamfleta. Dominis, tada odlazi u posjetu engleskim sveučilištima i u Cambridgeu mu je svečano dodijeljen doktorat iz teologije, čime je postao prvi Hrvat koji je dobio tu titulu na nekom engleskom sveučilištu.²⁶ Potkraj 1617. godine, počeo je držati propovijedi u talijanskoj crkvi u Londonu (Mercers' Chapel), a prva od njih, održana 30. studenoga, prve nedjelje u Adventu, bila je odmah tiskana u tri verzije, na talijanskom, latinskom i engleskom jeziku. Iako je već po dolasku dobio neke prihode, tek 25. ožujka 1618. godine dodijeljena mu je titula *Master of Savoy* (ravnateljsko mjesto u zadužbini Savoy), čime je kao vlastitu rezidenciju dobio palaču Savoy, i nedugo zatim 13. svibnja 1618. godine kralj mu na iznenađenje mnogih engleskih prelata dodjeljuje titulu dekana kraljevskog kaptola u

²⁴ PIVČEVIĆ 2009: 1265 – 1292.

²⁵ TUDJINA 2006: 135-141.

²⁶ PIVČEVIĆ 2009: 1265 – 1292.

Windsoru, čime je postao kraljev privatni kapelan.²⁷ To je snažno uzdiglo njegov socijalni profil, ugled i utjecaj a nosilo je i velik redovit prihod. Imenovanjem je stekao položaj koji je bio u rangu biskupa i osigurao mu mjesto na dvoru, a kao uvjet morao je položiti formalnu prisegu kralju, prihvaćajući njegovu vrhovnu jurisdikciju ne samo u svjetovnim već i u crkvenim pitanjima. Smatralo se da je tom je prisegom, *de facto* postao članom Anglikanske crkve. Mletački poslanik je u izvješću kojim obavještava o događanjima na engleskom dvoru zapisao da je na dvorskoj svečanosti u ceremoniji Reda podvezice (*Order of the Garter*) uz kralja i brojne lordove, stajao ogrnut crvenim biskupskim plaštem koji je sezao do poda i »bivši splitski nadbiskup koji danomice napreduje u naklonosti i cijeni zbog svojih knjiga, koje su uvelike po volji kralju«.

10. Novi problemi na obzoru

Dominisov nagli uspon izazvao je neprijateljstvo i zavist okoline, a time započinja njegovi novi problemi. Imenovanje za windsorskog dekana bilo je vrhunac njegova uspona i početak njegova dramatičnog pada. Njegove teološke ideje o fundamentalnom jedinstvu crkve ne prolaze dobro kod radikalnih protestanata koji ne žele čuti o rimskom katoličanstvu.²⁸ Najveći dio slobodna vremena Dominis posvećuje pisanju i već iste godine kada je imenovan dekanom, 1618., izdaje knjižicu koju je započeo pisati još za vrijeme svog boravka u Heidelbergu, pod naslovom *Scogli del christiano naufragio (Hridine kršćanskog brodoloma)*, u kojoj razvija i dopunjava argumente protiv papinstva te priprema za tisak Sarpijevo djelo *Istoria del Concilio Tridentino*, koju objavljuje 1619. godine prvo na talijanskom a potom i na engleskom jeziku, pod imenom Pietro Soave Polano, što je anagram Sarpijeva imena.

Unatoč postignutim počastima i blagostanju, nove političke struje i okolnosti u osvit Tridesetogodišnjeg rata, dovode do toga da Dominisov ugled na dvoru počinje slabiti. Njegov položaj ovisio je isključivo o kraljevoj naklonosti i dobroj volji. Situacija se pogoršala prilikom diplomatskih pregovora o planiranom englesko-španjolskom kraljevskom braku, što je u političkom pogledu značilo neizbježno poboljšanje odnosa Engleske s Katoličkom crkvom.²⁹ Dok zabrinuto prati razvoj događaja, Dominis traži način da s papom stupi u kontakt i vodi intenzivnu prepisku s prijateljima u Mletcima, posebno s Paolom Sarpijem. Godine 1621. stupio je u vezu sa španjolskim poslanikom u Londonu Gondmarom, koji je uspio ostvariti dugo pripremanu i dobro smišljenu

²⁷ PIVČEVIĆ 2009: 1265 – 1292.

²⁸ TUDJINA 2006: 135-141

²⁹ PIVČEVIĆ 2009: 1265 – 1292.

nakanu inkvizicije da namami Dominisa u Rim.³⁰ Na Dominisovu odluku da napusti Englesku utjecalo je 1621. godine ustoličenje novoga pape Grgura XV (Alessandro Ludovisi), koji je prethodno bio njegov učitelj i prijatelj. Odlučivši se za odlazak, Dominis piše 16. I. 1622. godine kralju Jakovu pismo u kojemu ga izvješćuje da je pozvan u Rim od samog pape i ujedno traži od njega dopuštenje za odlazak. Kralj je bio krajnje indigniran tom Dominisovom odlukom pa mu je zabranio pristup na dvor. Da bi raščistio spor i saznao prave Dominisove namjere, poslao je 31. siječnja 1622. godine londonskog i durhamskog biskupa i dekana winchesterskog da u njegovo ime ispitaju Dominisa. Dominisov pokušaj da kralja privoli na mogućnost sjedinjenja s Katoličkom crkvom rezultirao je kraljevom naredbom da u roku od dvadeset dana zauvijek napusti Englesku. Dominis 23. ožujka 1622. godine podnosi ostavku na ravnateljsko mjesto u zadužbini Savoy, a ubrzo zatim i na položaj windsorskog dekana. Njegov boravak u Engleskoj završava u kaosu optužaba i rekriminacija.³¹ Engleski službenici mu oduzimaju imovinu uz optužbe da je nezakonito prisvojio neko zlato i srebro te da je iznosom gotovog novca koji je namjeravao iznijeti iz zemlje prekršio carinske propise. Radilo se o zakonito stečenom novcu i darovima, koja su mu na Dominisovu pisanu pritužbu poslana iz Bruxellesa, prema kraljevoj naredbi i vraćena.

II. Opet u Rimu – u rukama inkvizicija

Potkraj travnja 1622. godine Dominis napušta Englesku u pratnji Schwarzenberga, imperijalnog poslanika njemačko-rimskog cara u Pragu i s njim odlazi u Bruxelles. Gost je papinskoga nuncija i tu ga čeka papin *Breve* datiran 8. siječnja 1622. godine u kojem ga papa potiče da se što prije vrati *ex tabernaculis impiorum*, iz kuća bezbožnika, te mu obećava milosrđe i apostolski blagoslov. Međutim morao je prvo biti ispitan pred nuncijem i dva svjedoka, a potom se »od svoje slobodne volje« javno pokajati o čemu je načinjen zapisnik. Zatim je preko Francuske i Švicarske stigao u Rim. Pokajnički povratak jednog tako istaknutog prelata i apostate imao je za Rimokatoličku crkvu veliku duhovnu i političku vrijednost, pa pokajničko priznanje u Bruxellesu nije bilo dovoljno.

Stoga se Dominis 29. listopada 1622. godine, u Rimu javno pokajao i dobio papino oprostjenje, a tražilo se i da u posebnom spisu povuče svoje ranije optužbe protiv Rimokatoličke crkve i javno osudi sve oblike protestantske hereze. To je objavio početkom 1623. u knjižici *Marcus Antonius de Dominis, Archiepiscopus Spalatensis, sui reditus ex Anglia consilium exponit* (Marko Antun de Dominis, splitski nadbiskup,

³⁰ GALVEZ 2006: 143-153.

³¹ TUDJINA 2006: 140-141

objašnjava plan povratka iz Engleske), u kojoj piše o razlozima koji su ga naveli da napusti Englesku.

Time je izgledalo sve riješeno, ali iste godine u srpnju umire papa Grgur XV., a njegov nasljednik papa Urban VIII. nakon nekoliko mjeseci uz pomoć Inkvizicije pokreće nastavak istrage protiv Dominisa. Utamničen je od mjeseca travnja 1624. godine u Anđeoskoj tvrđavi iz koje neće izaći živ.³² Dominis je u rujnu nenadano obolio i umro. Star i bolestan u svojoj tamničkoj muci morao je priželjkivati smrt kao izbavljenje. Dominisovo tijelo bilo je smješteno u mrtvačnicu, gdje je ostalo do svršetka procesa 21. prosinca 1624. godine, kada je posmrtno izrečena osuda u crkvi Santa Maria sopra Minerva kojom je proglašen krivim. Prema osudi Inkvizicije koja glasi: »Osudujemo uspomenu umrlog Marka Antonija de Dominisa, bivšega splitskog nadbiskupa, na vječnu sramotu, lišavamo ga svih časti, funkcija i beneficija, konfisciramo sve njegove posjede i dobra u korist Sv. Oficija. Izbacujemo njegovu uspomenu, njegovo ovdje prisutno zadržano tijelo, njegovu sliku i njegove spise iz Crkve, čijeg se milosrđa on za života pokazao nedostojnim, ... te tražimo da njegovi spisi budu javno spaljeni«, inkvizicijskom je odredbom Dominisov leš izvađen iz lijesa, provučen ulicama Rima a potom javno spaljen zajedno s njegovom slikom i knjige na rimskom Cvjetnom trgu, a potom pepeo bačen u Tiber. Poput mnogih velikih idealista i vizionara u raskoraku s vlastitim vremenom završio je prezren i odbačen od svijeta.

12. Dominisovo duhovno nasljeđe

Za Dominisa je postojalo jedno bitno pitanje – povijesna uloga Crkve u vremenu širenja reformacije i kada je Europa vjerski, duhovno i politički bila dezintegrirana.³³ Svi Dominisovi teološki, politički i životni nesporazumi, a i okvir i bit cjelokupnoga njegova opusa, izviru iz osnovnoga stava da Crkva više nije ostvarenje izvorne zamisli Kristove, da je postala previše svjetovna na štetu svoje duhovne biti, a glavni uzrok tome vidi u papinu primatu, koji proglašava protupravnom uzurpacijom i poriče ga kao tuđa izvornom kršćanstvu.³⁴ Cjelokupnu kritiku Crkve temelji na sustavnom proučavanju Svetog pisma, patristike, crkvenih kanona, zaključaka starih koncila i

³² Utamničen u Anđeoskoj tvrđavi Dominis je na traženje Inkvizicije morao započeti pisati novo djelo naslova *Retrakcije Marka. Antuna de Dominisa*, u kojem bi opovrgnuo sva svoja prijašnja djela, tvrdnje i naučavanja izložena u deset knjiga njegove glasovite *De republica ecclesiastica*. U pisanju ga je zatekla smrt, a nedovršeni rukopis čuva se u Vatikanskoj knjižnici pod signaturom Barb. Lat. 969 i opseže 250 stranica. PŠENIČNJAK 2006: 155-160.

³³ TURČINOVIĆ 1967: 119-123.

³⁴ TUDJINA 1997: 44-45.

ostalih tradicijskih kršćanskih izvora. Tražeći način kojim bi Crkva trebala reformirati svoj pojavni oblik, primjereniji njenoj duhovnoj naravi, Dominis rješenje nalazi u njezinu pročišćenju od svega svjetovnog. Dominisov put zacrtan je idejom sjedinjenja svih religija, odnosno crkvenih institucija jer drži da bi se kreativnim pomirenjem tada postojećih kršćanskih denominacija maksimalno približilo izvornim patrističkim koncepcijama o djelovanju Crkve kao širiteljice Kristova nauka. On inzistira na povratku temeljima kršćanstva jer drži da samo duhovne zajednice osnovane na demokratskim načelima prvotnoga kršćanstva mogu dovesti ljude do mira i slobode. Izmirenje i sjedinjenje svih crkava Dominis postavlja kao svrhu i krajnji cilj svog djelovanja, jer samo mir i jedinstvo među svim crkvama i kršćanskim narodima, temeljeni na osnovnim idejama Istine, Ljubavi i Slobode, jesu ono što omogućuje smislen i svrhovit život i za pojedinca i za ljudsku zajednicu.³⁵

13. Dominis vs. Galilei – od konstrukcije do teorije dalekozora

Dominis je već kao mlad u razdoblju od 1587. do 1591. godine, dok je predavao matematiku u Padovi, napisao dva zapažena djela iz fizike, koja je objavio više od dva desetljeća kasnije. Uključivši se ubrzo nakon što ih je napisao u visoke crkvene i diplomatske službe, nije više imao vremena za bavljenje znanosti. Međutim, kako su prirodne znanosti ipak bile područjem njegova trajnog interesa s vremenom je koliko su prilike dozvoljavale istraživao i dopunjavao svoja znanja. Godine 1608. u Veneciji je demonstriran prvi dalekozor, rad nizozemskih optičara, izazvavši veliko zanimanje.³⁶ Na nagovor Giovannia Bartolia, atašea pri firentinskom poslanstvu u Veneciji i svog nekadašnjeg učenika, koji je smatrao da se u Dominisovim starim profesorskim skriptama iz optike već nalaze neka temeljna načela koja bi mogla protumačiti rad dalekozora, a također i potaknut Galilejevim pokušajima konstruiranja, poboljšanja i uporabe dalekozora iz druge polovice 1609. godine, Dominis je odlučio dopuniti stari tekst novim istraživanjima o dalekozoru i objaviti sve u sklopu svoje pred dva desetljeća napisane rasprave *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride (O zrakama vida i svjetlosti u lećama i u dugi)*. Objavljena 1611. godine, prvo je djelo u kojem se nastoji protumačiti dalekozor, novi instrument koji će znanosti otvoriti nebeske prostore. Da bi se ispravno shvatilo pitanje prioriteta što se tiče samog izuma dalekozora, valja naglasiti da dalekozor nije bio plod znanosti.³⁷ Prvo ga je konstruirao nizozemski optičar Hans Lippershey, koji je primijetio da kombinacija dviju leća daje uređaj kojim

³⁵ TURČINOVIĆ 1967: 119-123; TUDJINA 1997: 44-45.

³⁶ PAVLOVSKI 2008: 181-187.

³⁷ FAJ 1976: 23-32.

se može dobiti uvećana slika promatranog objekta na zemlji i nebu.³⁸ U proljeće 1609. godine tijekom posjeta Veneciji Galileo je vidio uređaj i dojmila ga se ideja pa je ubrzo konstruirao takav uređaj shvativši njegovu važnost u istraživanju svemira.³⁹ Dominis u tom razdoblju kao da nije imao interes za astronomiju ili jednostavno zbog nadbiskupskih obaveza nije imao vremena uključiti se u nova znanstvena zbivanja, izvan teorijskih okvira koja je izložio u ovom djelu.

Dominis u djelu teorijski obrazlaže rad dalekozora i tumači pojavu duge. Na temelju mnogobrojnih pokusa s lećama Dominis je stekao ispravnu, premda samo

³⁸ GEYMONAT 1964: 39-41, 50-53. PAVLOVSKI 2008: 181-187. Prvi dalekozori su djelo praktičnih majstora -optičara i konstruirani su u Nizozemskoj 1608. godine. Trgovac i optičar Hans Lippershey (1570-1619) iz Middelburga prvi ga je javno prikazao u Veneciji i pokušao dobiti patent. U ljeto 1609. upravo kada je Galilei boravio u Veneciji doznao je o posjetu Lippersheya, koji je Senatu došao ponuditi novi optički instrument čudesnih mogućnosti. Galilea je impresionirao novi instrument. Planirao je preko utjecajnog znanca Paola Sarpija na neko vrijeme usporiti pregovore Nizozemca sa Senatom, kako bi imao vremena konstruirati vlastiti dalekozor s još boljim mogućnostima i ponuditi ga Senatu. Galileo je smatrao da bi mu vješto korištenje instrumenta moglo omogućiti povratak u rodnu Firencu. Stoga je nedugo zatim otkrivši četiri Jupiterova mjeseca uputio molbu Velikom vojvodi Toscani Cosimu II. de' Mediciju s molbom da mu odobri da otkrivene mjesece nazove Medicijeve zvijezde i dodijeli im imena Velikog vojvode i trojice njegove braće: Cosimo, Lorenzo, Carlo i Francesco. Plan je urodio plodom. Za svoje zasluge i ljubaznosti, ubrzo je Galilei bio imenovan dvorskim matematičarom a na osobno inzistiranje i dvorskim filozofom na dvoru Velikog vojvode u Toscani i vraća se u rodnu Firencu. Galilei se u svezi s dalekozorom prvo iskazao kao osoba koja ima velike vještine preciznog konstruiranja instrumenta jer u kratkom vremenu. Neposredno nakon što je vidio nizozemski izum, konstruirao je vlastiti dalekozor s većim povećanjem i bez skrupula prezentirao ga mletačkom duždu i Senatu kao vlastiti izum, vidjevši u tome sjajnu priliku, budući da mu je jedno drugo njegovo konstrukcijsko poboljšanje od prije postojećeg instrumenta - računskog mjerila, nazvanog geometrijsko-vojni šestar i zasnovanog na principu razmjernih veličina, već donosio znatan prihod.

³⁹ GEYMONAT 1964: 39-41; 51-53. PAVLOVSKI 2008: 181-187; LOHNE 2000: 124-129. Galilei nije bio prva osoba koja je konstruirala praktični izum za gledanje dalekih objekata - dalekozor, iako ga je predstavljao kao vlastiti izum, također zasigurno nije bio ni prva osoba koja je usmjerila dalekozor prema zvjezdanom nebu, jer poznato je da je prije Galileia ugledni engleski astronom Thomas Harriott prvi dalekozorom opazao i nacrtao karte Mjeseca već u srpnju 1609. godine, a nakon toga sustavno je istraživao sunčane pjege i druge pojave. Thomas Harriot početkom 1609. kupio je "nizozemski instrument" (dalekozor), a njegova opažanja bila su među prvim upotrebama dalekozora u astronomiji. Harriot se danas smatra prvim astronomom koji je nacrtao astronomski objekt nakon što ga je promatrao kroz dalekozor: on je nacrtao kartu Mjeseca 26. srpnja 1609., nekoliko mjeseci prije Galilea. Do 1613. Harriot je izradio dvije karte cijelog Mjeseca, s mnogim prepoznatljivim obilježjima kao što su lunarni krateri prikazani u svojim ispravnim relativnim položajima koji nisu bili poboljšani nekoliko desetljeća. Također je promatrao sunčeve pjege u prosincu 1610. Godine 1607. Harriot je upotrijebio svoje bilješke iz promatranja Halleyeva kometa da razradi svoje razumijevanje njegove orbite. Ubrzo nakon toga, 1609. odnosno 1610. godine, Harriot je svoju pozornost usmjerio prema fizičkim aspektima Mjeseca i svojim promatranjima prvih viđenja sunčevih pjega. Harriott je također proučavao optiku i lom, i danas se smatra da je otkrio Snellov zakon oko 1600. godine, 20 godina prije Snelliusa, međutim i ti su rukopisi kao i mnoga njegova djela, ostali neobjavljeni.

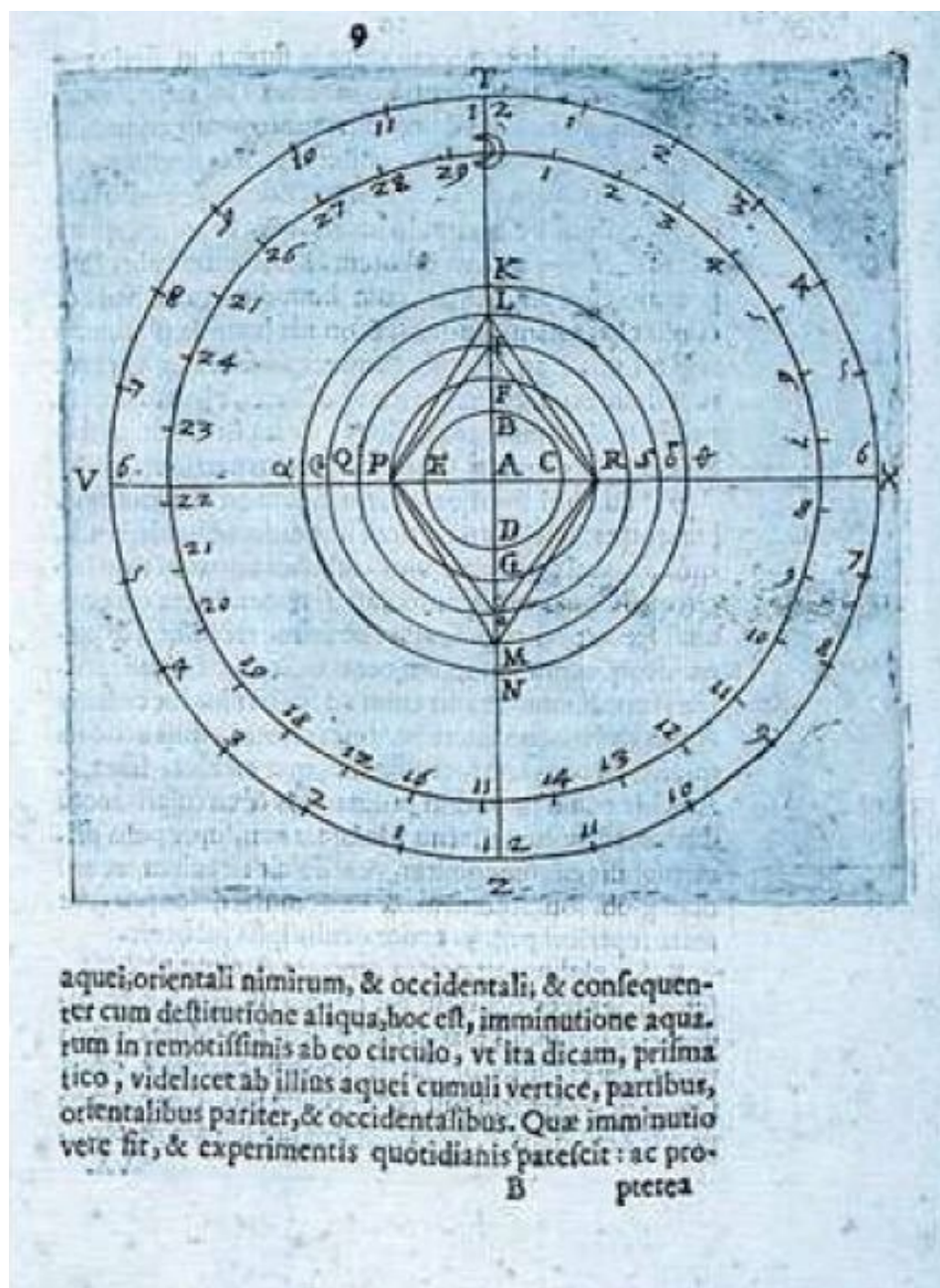
kvalitativnu predodžbu o lomu zraka svjetlosti te proučava uvjete uz koje bi kombinacija leća imala isti učinak kao dalekozor. Najvažniji Dominisov prinos je njegovo teoretsko objašnjenje dalekozora i zaključak da je povećanje slike predmeta ovisno o povećanju vidnog kuta, koji je prethodno ispravno definirao. Tumačeći dugu, prije izlaganja vlastite metode i rezultata Dominis navodi rezultate niza prethodnika: Aristotela, Aleksandra Afrodizijskog, Averroesa, Alberta Velikog, Vitela, Alessandra Piccolominija, Cardana i Scaligera.

Ekperimentirajući sustavno uz pomoć uređaja koje je sam izradio, prije svega sa staklenim kuglama ispunjenim vodom došao je do izvornog doprinosa u tumačenju duge.⁴⁰ Ustanovio je da se svjetlost odbija i na unutrašnjoj stjenki kišne kapi i tako protumačio nastanak unutrašnjeg luka duge. Duga po Dominisu nastaje odbijanjem i lomom svjetlosne zrake u kapljici kiše. Prvu dugu dobro je objasnio, ali drugoj nije našao prava uzroka. Tumačenje je upotpunio s dva crteža. Prvi prikazuje lom i odraz zraka svjetlosti na prozirnom okruglom tijelu DCG, a drugi nastanak duge na kišnom zastoru PE, pri čemu snopovi iz kapljica P, Q, R potječu iz unutarnjeg luka, a snopovi iz kapljica B, C, D iz vanjskog luka duge.



Sl. 4. Naslovnica Dominisova optičkog djela *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride*

⁴⁰ BARIĆ 1976: 33-48; DADIĆ 1994: 142-146.



Sl. 5. Shema za izračunavanje ukupne elevacije mora, iz Dominisova djela *Euripus seu de fluxu et refluxu maris sententia* (Eurip ili mišljenje o plimi i oseci mora)

Potrebno je istaknuti da je Dominis prvi hrvatski autor koji se bavio problemima fiziološke optike u vrijeme kada se ona istovremeno tek razvijala i u europskim krugovima.⁴¹ U ovom djelu u poglavljima III. do V. nalazimo i najstariji objavljeni tekst jednog hrvatskog autora koji se bavi fiziološkom optikom. Naime, Dominis pokušava rastumačiti nastanak slike u oku, mane refrakcije i govori o korekcijskim naočalama. Dominisovo optičko djelo objavljeno je iste godine kada i glasovito Keplerovo djelo *Dioptrice* u kojem se po prvi puta daje ispravno tumačenje slike koja nastaje na očnoj pozadini i prva znanstvena definicija kratkovidnosti. Usprkos Dominisovom znanstvenom potencijalu i bogatoj erudiciji, nedovršenost njegovih fizikalnih istraživanja započetih u mladosti zasigurno je u velikoj mjeri posljedica njegova burnog i nestalnog života u kojem mu znanost nije mogla biti glavnom preokupacijom.

Tijekom 18. stoljeća Dominisovo je tumačenje duge doživjelo različite prosudbe znamenitih učenjaka: od velikih pohvala Isaaca Newtona,⁴² Voltairea i Christiana Wolffa do kritičkih ocjena Ruđera Boškovića, Christiana Hygensa i Josepha Priestleya.⁴³ Dominisova uloga u istraživanju duge navodi se i u sveučilišnim udžbenicima iz fizike u 18. stoljeću (Mussechenbroek, Zanchi).⁴⁴ Početkom 19. stoljeća priznanjima se pridružio i Goethe u svom prirodnoznanstvenom djelu *Zur Farbenlehre* (*O teoriji boja*).⁴⁵

Može se kazati da se Dominisov pristup istraživanju svjetlosnih fenomena, baš kao i onaj njegovih velikih suvremenika Galileja⁴⁶ i Keplera, temelji na vezi eksperi-

⁴¹ DUGAČKI 1976: 85–92.

⁴² NEWTON 1719: 161–162, 168.

⁴³ MARTINOVIĆ 2009: 689–707.

⁴⁴ MARTINOVIĆ 2009: 689–707.

⁴⁵ MARTINOVIĆ 2002: 67–145;

⁴⁶ GEYMONAT 1964: 39. Treba istaknuti činjenicu da do susreta s nizozemskim instrumentom, Galileo se do 1609. ponajviše bavio problemima mehanike i nije se osobito zanimao za optiku a upravo mogućnosti dalekozora su ga potaknule na intenzivna astronomska motrenja koja su ubrzo dala značajna otkrića. Premda je instrument izazvao senzaciju i lavinu zainteresiranih, među kojima je bio i velik broj skeptika i osporavatelja, Galileo je teorijski problem dalekozora i potrebu njegova teorijskog tumačenja ostavio po strani, usmjerivši se na njegovu primjenu u astronomiji, tako da u tom razdoblju usprkos činjenici da ga je konstruirao i koristio, nije znao teorijski i egzaktno rastumačiti rad novog instrumenta. O tome svjedoči njegova kratka astronomska rasprava *Sidereus nuncius* (*Zvjezdani glasnik*), objavljena u ožujku 1610., posvećena toskanskom vojvodi Cosimu II. de' Mediciju i napisana s ciljem da opiše i rastumači svoja astronomska otkrića ostvarena uz pomoć dalekozora, kojeg samo kratko opisuje u uvodnom dijelu rasprave. Galileo je sintetizirao sve kritike peripatetičke filozofije i pomoću motrenja tražio dokaze Zemljina gibanja i u prilog heliocentričnog sustava. Ali motrenja nisu bila dovoljna jer trebalo je na matematičkim temeljima izgraditi još i nebesku mehaniku. Da bi se dokazala hipoteza heliocentričnog sustava bio je potreban matematički dokaz – a to je te iste 1609. godine načinio i objavio

mentalno-induktivnih i matematičko-deduktivnih metoda. Premda u tekstu ima nedosljednosti, djelo je uglavnom napisao na temelju vlastitih eksperimenata i opažanja, a prikupljenu građu sistematizirao je i koncipirao po uzoru na Euklidove *Elemente*, na koje se u djelu i poziva. Stoga, premda Dominis ne napušta neka zastarjela peripatetička shvaćanja, njegovo djelo *De radiis visus* ima značajnu vrijednost u povijesti optike i obilježja novog vremena jer se dijelom koristi novom metodologijom utemeljenom na eksperimentalnom radu i primjenom matematičkog aksiomatsko-deduktivnog stila izlaganja, što je rani primjer novovjekovnog pristupa istraživanju u prirodnim znanostima. Tek je Kepler⁴⁷ omogućio da se i dalekozor u potpunosti ispravno protumači iznijevši novu aksiomatiku optike u svojim djelima *Dioptrice* i *Ad Vitellionem paralipomena*, od kojih se na *Dioptrice* Galileo tužio da je tako »tamno« da ga po svoj prilici ni sam Kepler ne razumije.⁴⁸

U djelu *De radiis visus* Dominisovo matematičko razmatranje još uvijek je pomiješano s kvantitativno neodređenim i približnim razmatranjima skolastičke metode. To ispreplitanje matematičkog jezika s filozofskim, miješanje izvornih opažanja s tradicionalnim spekulativnim teorijama, izvor je iz kojeg proizlaze pojedini Dominisovi krivi zaključci. Dominis posjeduje vrlo minuciozna i dobra zapažanja, ali njegovi optički pokusi ponekad nisu sustavni i metodički, njegov rad nije uvijek ujednačen. Njegove vrlo kritičke i korektne analize opterećene su tradicionalnim pretpostavkama peripatetičke škole, nasljeđem skolastike a ponekad i površnim zaključcima. Drugim riječima, uslijed subjektivnog razmatranja predmeta i njegovih pokušaja da ostane u okvirima peripatetičke filozofije, metodički dobri Dominisovi matematički pokušaji nisu uvijek donijeli ploda.

Johann Kepler u epohalnom djelu *Astronomia Nova*, u kojem je matematizirao nebesku mehaniku i dao temeljne zakone. U usporedbi s Keplerovim djelom Galileov *Zvezdani glasnik* premda opsegom kratko djelce, donosi njegova velika motriteljska otkrića i sadrži velik broj crteža i dijagrama površine Mjeseca, Jupiterovih mjeseca i zvijezda. Galileova su otkrića novih nebeskih tijela ugrozila staru teoriju savršenoga i nepromjenjivog svemira i stoga pokrenula lavinu osporavatelja, ali i imitatora a tek poneki glas u njegov prilog. Kepler je na Galileovu izričitu molbu bio prvi astronom koji je podržao *Zvezdanog glasnika* i svoju pozitivnu prosudbu objavio žurno u Pragu u kolovozu 1610. pod naslovom *Dissertatio cum Nuncio Sidereo* (Razgovor sa Zvezdanim glasnikom). Začudo u to isto vrijeme Galileo se nije oglasio na spomenuto Keplerovo remek-djelo *Astronomia Nova*, objavljeno neposredno prije izlaska njegova *Zvezdanog glasnika*. PAVLOVSKI 2008: 181-187.

⁴⁷ Nedugo nakon Galileove uporabe dalekozora u astronomskim motrenjima i prvih otkrića, Kepler je koristeći dalekozor vojvode Ernesta u Kölnu započeo teorijsko i eksperimentalno istraživanje optike dalekozora. Rezultate je objavio u djelu *Dioptrice* (1611). U njemu, Kepler navodi teorijske osnove dvostruke konveksne konvergentne leće i dvostruke konkavne divergentne leće, kao i koncepte stvarne i virtualne slike, uspravne i okrenute slike, i učinke žarišne duljine na povećanje i smanjenje slike. Također je opisao novu poboljšanu konstrukciju dalekozora, tzv. Keplerov dalekozor, u kojem dvije konveksne leće mogu proizvesti veće povećanje od Galileove kombinacije konveksne i konkavne leće.

⁴⁸ GRAYMONAT 1964: 52-53.

14. O mijenama mora i obliku Zemlje – Dominisov doprinos geofizici

Godine 1624., iste godine kada je zatvoren u Anđeosku tvrđavu, Dominis je objavio svoje djelo *Euripus seu de fluxu et refluxu maris sententia* (*Eurip ili mišljenje o plimi i oseci mora*), koje je posvetio kardinalu Francescu Barberiniju, nećaku novopostavljenog pape Urbana VIII. U djelu govori o pojavi morskih mijena, koji je zbog svoje povezanosti s oblikom Zemlje zadirao u srž Aristotelove peripatetičke slike svijeta. Dominis pobija mišljenje da je oblik Zemlje неправиlan, dokazujući i zauzimajući se za njen sferni oblik. Uzrok plimi i oseci vidi u utjecaju Sunca i Mjeseca na mora i oceane. Drugu dnevnu plimu tumači slično kao i Zadraniin Federik Grisogono, držeći da nastaje zbog privlačnosti nebeske točke koja je protivna Mjesecu ili Suncu. Dominis se nije uspio potpuno osloboditi starih peripatetičkih pogleda u prirodnoj filozofiji, dapače ni stava o nepomičnosti Zemlje, ali u njegovim se djelima ipak koristi novi eksperimentalni pristup i primjena matematičkih metoda u istraživanju prirode, znakovitih za renesansnu fiziku.⁴⁹

U svojim ranim zapisima iz Padove Dominis je tumačio morske mijene s pomoću superpozicije dvaju stošca morske vode koji se uzdižu zbog djelovanja Sunca i Mjeseca, ali je kasnije, za boravka u Engleskoj nakon promatranja morskih mijena na ušću Temze i pod utjecajem engleskih učenjaka, promijenio to stajalište, i od tada morske mijene počinje tumačiti pomoću transpolarnog kruga.⁵⁰ Svojoj teoriji dodao je shemu izračunavanja ukupne elevacije mora zbog djelovanja Mjeseca i Sunca. Temeljne pojmove svoje metodologije uveo je ovako: pravac VX označuje horizont zenitne točke, pravac TZ označuje meridijan mjesta i ujedno transpolarni krug, kružnica VTXZ označuje ekvator ili bilo koju drugu dnevnu usporednicu. Tada je kružnicom BCDF prikazao zemaljski krug na razini morskog dna, krugom FRGP plohu morske površine ako debljina morskog elementa iznosi BF, kružnicom ISOQ krivulju koju u dnevnom kretanju opisuje vrh naraslog mora zbog djelovanja Sunca, kružnicom LđMß krivulju koja također u dnevnom kretanju opisuje vrh naraslog mora zbog djelovanja Mjeseca. Trokuti PIR i POR prikazuju naraslinu (*cumulus*, *tumor*) mora zbog djelovanja Sunca na obojim hemisferama, a trokuti PLR i PMR po istoj metodologiji prikazuju narasline mora zbog djelovanja Mjeseca (vidi sliku Dominisove sheme određivanja plime i oseke mora s transpolarnim krugom).

Potaknut novom metodologijom, započeo je istraživati oblik Zemlje, te je Zemljinu plohu definirao kao plohu koja se na razini mirnoga mora proteže i kroz kopne-

⁴⁹ DADIĆ 1994: 146-154.

⁵⁰ DADIĆ 1994: 148.

ne predjele.⁵¹ Dugo još nakon Dominisa nije bilo jasno, što se smatra oblikom Zemlje. Zastupala su se različita mišljenja. Tek dvjesto pedeset godina kasnije, na prijedlog G. I. Listinga 1873. godine, matematski je definiran oblik Zemlje kao nivo ploha mirnog mora produžen kroz kontinente i nazvan geoid. Dominis je prvi predložio da se na globusu uvedu dva stalna bliska meridijana tako da »ako bi u istočnijem započeo Dan porođenja Gospodinova, u zapadnijem bi gotovo odmah započeo dan Sv. Stjepana«. U djelu se Dominis kritički osvrće na neoplatonistička gledišta protestantskog pastora Otta Casmanna i hrvatskog filozofa Crešanina Frane Petrića.

Dominis je živio u razdoblju kada se u istraživanje prirode postupno uvodi eksperimentalni pristup i matematička metoda, čime se stvaraju temelji novovjekovne znanosti. U ovom se Dominisovom djelu jasno opaža matematički pristup obradi i sistematizaciji istraživane građe. U *Euripusu* Dominis daje izvrsne primjere matematičnog dokazivanja, primjerice u svojoj kritici Petrićevih ideja.⁵² Geometrijska razmatranja u kojima Dominis izvodi oblik površina vode na Zemlji možda su najbolji izvodi u cijelom Dominisovu djelu.

Gledano iz aspekta sukoba metoda u renesansnoj novoj filozofiji prirode, može se zaključiti da Dominis nipošto nije jednoznačno usmjeren u svojim prirodoznanstvenim istraživanjima. Ne prilagođava poput skolastika analizu činjenica ili zapažanja jednom već unaprijed čvrstom shvaćanju tih činjenica, nego korektivno zahvaća jednako tako i u opće prihvaćeno i vladajuće mišljenje, kako bi ga prilagodio činjenicama.⁵³ Premda nema uvijek uspjeha u zbiljskom uzročnom objašnjenju pojava koje proučava, ono što je bitno istaknuti jest da je Dominis bio oslobođen sklonosti dogmatizirati stara mišljenja i da kompleksnim prirodnim pojavama ne pristupa skolastičkom metodom Stoga, premda po mnogim tvrdnjama ostaje u okviru peripatetičke filozofije prirode, ipak po metodi istraživanja prirodnih pojava koje odabire kao predmet svoga izučavanja, Dominis pristupa prirodi u uzročnom objašnjavanju njezinih konkretnih očitovanja u duhu nove renesansne filozofije prirode: ne spekulativno, logičko – ontologijski, nego empirijski, eksperimentalno.

⁵¹ ČUBRANIĆ 1994: 55-59.

⁵² BAJSIĆ 1976: 61-72.

⁵³ ZENKO 1976: 72-84.

15. Reformator i preteča ekumenizma

Godine 1622., za svojeg boravka u Engleskoj, Dominis je napisao niz polemičkih poslanica koje su kompilirane i objavljene 1666. godine u Besançonu (*De pace religionis; O miru vjere*). Djelo obaseže 62 stranice osminskoga formata.

Prilično je heterogene strukture jer je sastavljeno od autorovih poslanica različitim adresatima (dvije Josephu Hallu, engleskom biskupu, moralnom filozofu i dekanu Worcestera, jedna grofu Gondomaru, španjolskom veleposlaniku u Engleskoj, dvije aktualnom engleskom kralju Jamesu I.), odnosno od nekoliko njihovih pisama Dominisu. Osim toga, u djelo su uvrštena i dva Dominisova nacrtu prisega vjernosti predviđenih za engleske katolike. Zajednička tematsko-motivska i ideologijska poveznica svih uvrštenih spisa je Dominisova teza o nužnosti prevladavanja raskola među kršćanskim crkvama i uspostave eklezijalnog i dogmatskog jedinstva univerzalne kršćanske Crkve. U svojim pismima Dominis donosi pronicljivu analizu konfesionalno-političke situacije u Engleskoj, ujedno formulirajući konkretne prijedloge za rješavanje vjerskog pitanja u Engleskoj, s time da kao krajnji cilj proklamira sjedinjenje Anglikanske i Katoličke crkve. Glavnom preprekom ostvarenju toga ideala Dominis drži netolerantnost i isključivost puritanaca i ostalih radikalnih protestantskih denominacija te nedostatak kraljeve potpore, zbog čega i najavljuje svoj odlazak iz Engleske. Posebnost kompozicijske strukture djela i bitno obilježje Dominisove retoričke strategije jest uvrštavanje poslanica njegovih oponenta, što s jedne strane doprinosi dojmu dijalogične otvorenosti djela, no s druge ima važnu funkciju implicitnog osnaživanja Dominisove teološko-političke argumentacije. Gledano u cjelini, Dominisovo djelo predstavlja značajan doprinos ireničkim raspravama karakterističnima za europsku vjersku kulturu kasnoga humanizma.

16. Dominisovo životno djelo *De republica ecclesiastica* (*O crkvenoj državi*)

De republica ecclesiastica (*O crkvenoj državi*) monumentalna je teološka rasprava splitskog nadbiskupa Marka Antuna de Dominisa. Prema izvornom autorovu naumu trebala je obuhvaćati deset knjiga, no tiskano ih je samo osam, u tri glomazna sveska – prvi svezak, koji je sadržavao prve četiri knjige, objavio je John Bill 1617. godine u Londonu, drugi, s petom i šestom knjigom, tiskan je u tiskari Johanna Weissa 1620. godine u Frankfurtu, a posljednji je svezak, sa sedmom i devetom knjigom, izdan je dvije godine kasnije u Hanau. Bez nenumiriranih pratećih kazala djelo obaseže 1689 stranica s po dva stupca i 70 redaka.

Podrobni prikaz koncepcije i sadržaja svih planiranih deset knjiga *Crkvene dr-*

žave Dominis izlaže u djelu u kojemu izlaže razloge svoga odlaska iz Italije, objavljenom 1616. godine u Londonu, što je posebice značajno zbog činjenice da osma i deseta knjiga nikada nisu tiskane.⁵⁴ Prva se bavi analizom ustrojstva i jurisdikcije idealne »crkvene države«, koja bi po autorovu mišljenju trebala poslužiti kao uzor za temeljitu reformu Rimokatoličke Crkve. U drugoj se raspravlja o položaju i djelovanju biskupa i ostalih crkvenih službenika, te značenju svetoga reda. Treća donosi opis biskupske hijerarhije te tumačenje autoriteta nadbiskupa, primasa i patrijarha. Četvrta je knjiga posvećena posebno osjetljivom teološkom pitanju – primatu pape i Rimske Crkve, dok u petoj autor raščlanjuje prirodu crkvene vlasti te iznosi svoj stav glede sakramenata i cenzura. Šesta knjiga donosi usporednu analizu crkvene duhovne i laičke svjetovne vlasti, pri čemu Dominis Crkvi osporava svaku ovlast u svjetovnoj sferi. U sedmoj knjizi opisuje unutrašnju upravu crkve te raspravlja o ovlastima crkve i pape u teološko-dogmatskim pitanjima, o crkvenim saborima, krivovjerjima i raskolima, a u devetoj knjizi, posljednjoj objavljenoj, piše o svjetovnim dobrima crkve i njihovoj upravi te se ujedno bavi se i pitanjima desetine, beneficija, zloupotrebama crkvenih prihoda, mirovinama, nadarbinama i oporukama klerika. Osma je knjiga trebala tematizirati izvanjsku crkvenu upravu, crkveno zakonodavstvo i sudsku vlast, obvezu obdržavanja kanona, oprost, propise za postove, molitve i slično, dok je u desetoj knjizi Dominis namjeravao pružiti tumačenje crkvene slobode i planirao obraditi i pitanje crkvenih povlastica i njihovih zloupotreba, izuzeća, podložnosti monaha i redovnika i slično.

Iz predgovora, upućenoga »zboru biskupa svete Katoličke crkve« mogu se iščitati temeljna polazišta Dominisove kritike Katoličke crkve,⁵⁵ da bi se potom, u pojedinačnim knjigama, izložila sustavna argumentacija s osloncem na autoritet sv. Pisma, crkvenih otaca (npr. Ciprijan, Jeronim, sv. Ivan Zlatousti), crkvenih kanona, koncilskih zaključaka i ostalih tradicijskih spisa. Autorova je temeljna intencija povratiti Katoličku crkvu njezinu izvornom liku Crkve Kristove, što smatra nužnim preduvjetom za ostvarenje ireničkoga cilja – prevladavanju konfesionalnih sukoba i uspostavi jedinstva svih kršćanskih crkvi. S osloncem na dogmatske i ideološko-političke zasade episkopalizma, Dominis nastoji osporiti papinski primat, koji smatra protupravnom uzurpacijom stranom originalnom duhu nauka Kristove Crkve, nudeći kao alternativu demokratičniji oblik biskupske uprave. Sukladno tome kritizira simoniju, nepotizam i ostale crkvene zloupotrebe, smatrajući da bi se papinske ovlasti, kao i ovlasti s njime izjednačenih patrijarha, trebale odnositi isključivo na duhovnu domenu. Držeći da bi reformom Crkve prema tvrdnjama koje je iznio konačno bile ukinute i posljednje prepreke sjedinjenju svih kršćanskih crkava, za tu ideju u sedmoj knjizi nastoji mobilizirati svjetovne vladare. Jednako tako promovira ideal siromaštva prvotne crkve,

⁵⁴ GORTAN 1967: 88-92.

⁵⁵ GORTAN 1967: 93-94.

apelirajući na dužnosnike Rimokatoličke crkve da se odreknu materijalnih dobara. Takvom radikalnom distinkcijom između sakralnoga i svjetovnoga Dominisova se teološka misao izravno naslanja na ideološke zasade augustinovske tradicije.⁵⁶

U svojoj se vehementnoj argumentaciji Dominis posebice kritički obara na stavove dvojice eminentnih reformnokatoličkih teologa, C. Baronija i R. Bellarmina, priklanjajući se stavovima Georgea Cassandera i ostalih suvremenih ireničkih teologa.⁵⁷ Zbog iznošenja neortodoksnih eklezijalno-dogmatskih nazora bliskih protestantizmu, Dominisova je *Crkvena država* neposredno po objavljivanju stavljena na rimski Indeks zabranjenih knjiga, a izazvala je i val polemičkih pamfleta u gotovo čitavoj Europi. Istodobno autoru priskrbiljuje počasni doktorat teologije na sveučilištu u Cambridgeu.

U formalnom pogledu ovo de Dominisovo djelo slijedi uvriježene žanrovske obrasce polemičke teološke rasprave. Kao specifično obilježje njegove retoričke strukture valja izdvojiti naglašenu autorefleksivnost autorske instance što se očituje ne samo na razini argumentacije, nego i u brojnim metatekstualnim ekskursima. Gledano u cjelini, Marko Antun de Dominis se u *Crkvenoj državi* iskazao kao vrstan retoričar čiji diskurs objedinjuje najkvalitetnije konceptualne i stilske zasade antičke polemike i katoličke kontroverzistike. Osim toga, njegova se reformistička teologija s pravom može ubrojiti u sam vrh kasnohumanističke europske irenike.⁵⁸

⁵⁶ BLAŽEVIĆ 2008: 530–531.

⁵⁷ GORTAN 1967: 88.

⁵⁸ BLAŽEVIĆ 2008: 530–531.

Marko Antun de Dominis (Marco Antonio de Dominis), Bibliografija

- De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride.* Tractatus. Per Joannem Bartolum in lucem editus. Venetiis, Apud Thomam Baglionum, 1611.
- Suae profectionis consilium exponit.* Londini, Apud J. Billium, 1616.
- De republica ecclesiastica libri X,* 1–4. Londini, Ex officina Nortoniana, apud J. Billium, 1617; 5–6. Francofurti ad Moenum, sumptibus Rulandiorum, Typis Joan. Friderici Weiss, 1620; 7, 9. Hanoviae, Sumptibus haeredum Levini Hulsii, 1622.
- Papatus Romanus. Liber de origine, progressu atque extinctione ipsius.* Londini, Ex officina Nortoniana, apud J. Billium, 1617.
- Predica...fatta la prima Domenica dell'Avvento quest'anno 1617 in Londra nella cappella detta delli Merciar.* Londra, Appresso Giovanni Billio, 1617.
- Scogli del christiano naufragio, quali va scoprendo la santa chiesa di Christo alli suoi diletti figliuoli.* S. l. 1618.
- Sui reditus ex Anglia consilium exponit.* Dilingae 1623; Romae, Ex Typographia rev. Camerae Apostolicae, 1623.
- Euripus seu De fluxu et refluxu maris. Sententia.* Romae, Apud Andream Phacum, 1624.
- De pace religionis Marci Antonii de Dominis Spalatensis archiepiscopi. Epistola ad venerabilem virum Josephum Hallum archipresbyterum Wigorniensem.* Vesantione Sequanorum (Besançon) 1666.
- De republica ecclesiastica libri X,* 1–6. Split, Lamaro, 2006.
- Retractationum M. Antonii de Dominis Archiepiscopi Spalatensis libri X in totidem ipsius De republica ecclesiastica libros,* Split, Lamaro, 2009.
- Ostensio errorum, quos adversum fidem catholicam ecclesiae anglicanae conatus est defendere P. Franciscus Suarez,* Split, Lamaro, 2005.
- Opera physica. Radovi iz fizike.* Split, Lamaro, 2005.
- Izabrani radovi I,* Split, Lamaro, 2002.
- Izabrani radovi II,* Split, Lamaro, 2003.

Dominisovi rukopisi i djela pohranjeni su u sljedećim institucijama:

Nacionalna i sveučilišna knjižnica u Zagrebu, Knjižnica Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu, Österreichische Nationalbibliothek u Beču, British Museum Library u Londonu (Manuscript dep.), Bodleian Library u Oxfordu, Bibliothèque Nationale u Parizu, Civico Museo Correr u Veneciji (zbirka rkp. venecijanske obitelji Dona). Korespondencija i dokumenti o njemu čuvaju se u Public Record Office u Londonu (zbirke State Papers), University Library i Caius College Library u Cambridgeu, Bibliothèque de l'Arsenal u Parizu, Biblioteca Vaticana u Rimu, Biblioteca nazionale Marciana u Veneciji, Biblioteca Arcivescovile i Biblioteca civica u Udinama. Građa o njemu pohranjena je i u Historijskom arhivu u Zadru (dokumenti obitelji Nimira), Kaptolskom arhivu u Splitu, Historijskom arhivu u Rijeci te u Archivio segreto Vaticano u Rimu i Archivio di stato u Veneciji (podatke o fondovima i signature objavili Š. Ljubić i S. Cavazza. Bibliografija rukopisa objavljena u: Enciklopedija Jugoslavije 3., Zagreb, 1958., 54.

Izbor iz literature:

- Antoljak, S. (1976) 'Arhivske zabilježbe i marginalije o Markantunu de Dominisu', *Radovi Centra JAZU u Zadru*, 22–23, pp. 49–61.
- Bacotich, A. (1927) 'Marc'Antonio de Dominis. Appunti biografici', *Archivio storico per la Dalmazia*, 2 (IV/20), pp. 64–77.
- Bajsić, V. (1976) 'Prirodnoznanstveni i filozofski pogledi Marka Antuna Dominisa', in Ž. Dadić (ed.) *Zbornik radova o Marku Antunu Dominisu i znanstvenoj prošlosti Raba*. Zagreb: Nacionalna i sveučilišna knjižnica, pp. 61–71.
- Barić, I. (1976) 'Marko Antun Dominis i problem duge', in Ž. Dadić (ed.) *Zbornik radova o Marku Antunu Dominisu i znanstvenoj prošlosti Raba*. Zagreb: Nacionalna i sveučilišna knjižnica, pp. 33–48.
- Berljak, M. (2006) 'Veza Marka Antuna de Dominisa s Galileom Galileijem i Hugom Grotiusom', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 299–325.
- Beyerlinck, L. (1617) *Profectionis Marci Antonii de Dominis quondam archiepiscopi Spalatensis, consilium examinatum*. Antverpiae: Ex Officina Plantiniana.
- Bezić-Božanić, N. (2006) 'Split u doba Marka Antuna de Dominisa', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 347–354.
- Blažević, Z. (2008) 'O crkvenoj državi', in *Leksikon hrvatske književnosti djela*. Zagreb: Školska knjiga, pp. 530–531.
- Bogović, M. (2006) 'Biskupije senjska modruška u vrijeme Dominisove uprave', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 33–40.
- Borić, M. (2017) 'Marko Antun de Dominis – fizičar na pragu novovjekovlja', *Poučak. Časopis za metodu i nastavu matematike*, 69, pp. 4–9.
- Borić, M. (2018) *Faust Vrančić*. Osijek: Privlačica.
- Borić, M. (2023) *Faust Vrančić – A portrait of the inventor*. Zagreb: Tehnički muzej Nikola Tesla.
- Borić, M. (2024) 'Marko Antun de Dominis vs. Galileo Galilei: From Construction to Theory of Binoculars', *Radovi Zavoda za hrvatsku povijest Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu*, Vol 56. No. 1, Zagreb.
- Boyer, C. B. (1959) *The Rainbow, from Myth to Mathematics*. New York: Thomas Yoseloff.
- Breyer, M. (1904). *Prilozi k starijoj književnoj i kulturnoj povijesti hrvatskoj*. Zagreb: Mirko Breyer.
- Breyer, M. (1927) 'O Dominisovom djelu »De republica ecclesiastica«', *Savremenik*, 20 (12), pp. 537–539.
- Breyer, M. (1945) 'Markantun de Dominis', *Hrvatska enciklopedija*, vol.V, Zagreb, pp.188-189.
- Bulat, N. (1975) 'Neka sporna pitanja o de Dominisu', *Crkva u svijetu*, 10 (2), pp. 102–116.
- Cantimori, D. (1958) 'Note su M. A. de Dominis', *Archiv für Reformationsgeschichte*, 49, pp. 245–258.
- Cavazza, S. (1987) 'Marc'Antonio De Dominis', *Dizionario biografico degli Italiani*, 33, pp. 642–650.
- Čoralić, L. (2006) 'Dalmatinski »protestanti« Dominisova doba – tragom procesa mletačke inkvizicije', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 271–282.
- Čubranić, N. (1976) 'Marko Antun Dominis i njegov znanstveni rad na području geodezije', in Ž. Dadić (ed.) *Zbornik radova o Marku Antunu Dominisu i znanstvenoj prošlosti Raba*. Zagreb: Nacionalna i sveučilišna knjižnica, pp. 55–59.
- Dadić, Ž. (1967) 'Rad Markantuna Dominisa na problemima fizike', *Encyclopaedia moderna*, 2 (5/6),

- pp. 124–127.
- Dadić, Ž. (1976) 'Marko Antun Dominis i problem plime i oseke', in Ž. Dadić (ed.) *Zbornik radova o Marku Antunu Dominisu i znanstvenoj prošlosti Raba*. Zagreb: Nacionalna i sveučilišna knjižnica, pp. 49–53.
- Dadić, Ž. (1994) 'Fizikalni rad Marka Antuna de Dominisa', in *Hrvati i egzaktne znanosti u osvjet novovjekovlja*, Zagreb: Naprijed, pp. 135–155.
- Dadić, Ž. (2006) 'Prirodnofilozofski i metodološki temelj Dominisovih fizikalnih radova', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 327–334.
- Decretum Sacrae Congregationis Ill. orum S.R.E. Cardinalium, a S.D.N. Paulo Papa V. Sanctq., Sede Apostolica, ad Indicem librorum, eorumdemque permissionem, prohibitionem, expurgationem, impressionem universa Republica Christiana specialiter deputatorum, ubiq, publicandum* (1616). Romae: [s.n.].
- Derado, I. (2006) 'De Dominis i Galileo o plimi i oseci', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 341–346.
- Dominis, M. A. (2002) *Marko Antun de Dominis: Izabrani radovi 1*. Croatian translation from Latin by V. Gortan, Z. Milanović and S. Skoko, Croatian translation from Italian by B. Jozić. Split: Lamaro.
- Dominis, M. A. (2005) *Opera physica = Radovi iz fizike: Marcus Antonius de Dominis*. Croatian translation from Latin by S. Hondl and I. Martinović. Split: Lamaro.
- Dugački, V. (1976) 'Marko Antun Dominis i problemi vida', in Ž. Dadić (ed.) *Zbornik radova o Marku Antunu Dominisu i znanstvenoj prošlosti Raba*. Zagreb: Nacionalna i sveučilišna knjižnica, pp. 85–91.
- Farlati, D. (1765) *Illyricum sacrum*. Vol. 3. Venetiis: Apud Sebastianum Coleti.
- Faj, Z. (1976) 'Osnovni zakoni i pojmovi geometrijske optike u Dominisovu djelu »De radiis visus...«', in Ž. Dadić (ed.) *Zbornik radova o Marku Antunu Dominisu i znanstvenoj prošlosti Raba*. Zagreb: Nacionalna i sveučilišna knjižnica, pp. 23–32.
- Faj, Z. (1987) 'O fizikalnim raspravama M. A. Dominisa i mišljenju nekih istaknutih fizičara o njima', in A. Mohorovićić (ed.) *Rapski zbornik: zbornik radova sa Znanstvenog skupa o otoku Rabu, održanog od 25. do 27. listopada 1984. godine*. Zagreb: JAZU, pp. 359–364.
- Fisković, C. (1967) 'Marko Antun de Dominis i naša likovna baština', *Encyclopaedia moderna*, 5–6, pp. 128–132.
- Floyd, J. (1617) *Synopsis apostasiae Marci Antonii de Dominis, olim archiepiscopi Spalatensis nunc apostatae, ex ipsiusmet libro delineata*. Antverpiae: Apud heredes M. Nutij & I. Meursium.
- Fuller, T. (1845) *The Church History of Britain*. Vol. 5. Oxford: At the University Press.
- Galvez, F. J. J. (2006) 'Tri Dominisova pisma grofu od Gondomara', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 143–153.
- Gardiner, S. R. (1883) *History of England from the Accession of James I to the Outbreak of the Civil War, 1603–1642*. Vol. 4. London: Longmans, Green and Company.
- Gardiner, S. R. (1869) *Prince Charles and the Spanish Marriage, 1617–1623*. Vol. 2. London: Hurst and Blackett.
- Golub, I. (2006) 'Marko Antun de Dominis u Arhivu Svetog oficija', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 161–196.
- Goodman, G. (1839) *The Court of King James the First* (2 vols). London: Richard Bentley.
- Gortan, V. (1967) 'Biografski podaci o Marku Antoniju de Dominisu', *Encyclopaedia moderna*, 5–6,

p. 86.

- Gortan, V. (1967) 'Prijevod djela Marka Antuna de Dominisa s uvodom prevodioca', *Encyclopaedia moderna*, 5–6, p. 88–110.
- Gortan, V. (1968) 'Dominisovo djelo »De republica ecclesiastica«', *Kolo*, 6 (126), pp. 18–26.
- Gortan, V. (1969) 'Marko Antonije de Dominis. Marcus Antonius de Dominis (1560–1624)', in V. Gortan (ed.) *Hrvatski latinisti*, Vol. 2, in I. Dončević (ed.) *Pet stoljeća hrvatske književnosti*, Vol. 3. Zagreb: Zora, pp. 7–14.
- Granić, M. (2006) 'Rod splitskog nadbiskupa Marka Antuna de Dominisa', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 9–20.
- Greymonat, L. (1964) *Galileo Galilei*. Zagreb: Naprijed.
- Hondl, S. (1944) 'Marko Antonij de Dominis kao fizičar', *Vienac*, 36 (2), pp. 36–48.
- Horvat, K. (1910) *Monumenta historiam Uscochorum illustrantia: ex archivis romanis, praecipue e secreto Vaticano desumpta / collegit et redegit Carolus nob. Horvat*. (2 vols.). Zagrabiae: in taberna Libraria eiusdem Societatis typographicae (Georg Trpinac).
- Jozić, B. (2006) 'Marko Antun de Dominis u sporu između Mletačke Republike i pape Pavla V', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 119–132.
- Jurić, Š. (1967) 'Građa za bibliografiju Markantuna de Dominisa', *Encyclopaedia moderna*, 5–6, pp. 133–140.
- Kapitanović, V. (2006) 'Marko Antun de Dominis kao metropolit', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 81–103.
- Knežić, D. (2006) 'Marko Antun de Dominis kao promotor bilježnika »Imperiali auctoritate«', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 21–32.
- Kolarić, J. (2006) 'Marko Antun de Dominis – reformator ili heretik?', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 221–228.
- Korade, M. (1983) 'Hrvatski isusovci XVI. stoljeća (1553.-1584.): Biografski podaci', *Vrela i prinosi*, 14, pp. 101–117.
- Kostić, V. (1972) *Kulturne veze između jugoslovenskih zemalja i Engleske do 1700. godine*. Beograd: SANU.
- Kovačić, S. (2006) 'Marko Antun de Dominis na čelu splitske crkve', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 41–78.
- Lučin, B. (2006) 'Pogled u knjižnicu Marka Antuna de Dominisa', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 231–269.
- Ljubić, Š. (1870) 'O Markantunu Dominisu Rabljaninu', *Rad JAZU*, 10, pp. 1–159.
- Ljubić, Š. (1870) 'Prilozi za životopis Markantuna de Dominisa Rabljanina — spljetskoga nadbiskupa', *Starine*, 2, pp. 1–260.
- Ljubić, Š. (1872) 'Prilog k razpravi o Markantunu Dominisu Rabljaninu', *Starine*, 4, pp. 1–18.
- Martinis, M. (2006) 'Marko Antun de Dominis kao fizičar', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 335–340.

- Martinović, I. (1996) 'Marko Antun de Dominis – kasnorennesansni fizičar', in G. Pifat Mrzljak (ed.) *Znanost u Hrvata: prirodoslovlje i njegova primjena*. Zagreb: MGC, pp. 400–409.
- Martinović, I. (2002) 'Optička rasprava Marka Antuna de Dominisa: geneza, metodologija, značenje', *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine*, 55–56, pp. 67–145.
- Martinović, I. (2009) 'Riječanin Josip Zanchi o Rabljaninu Marku Antunu de Dominisu', *Filozofska istraživanja*, 29 (4), pp. 689–707.
- Martinović, I. (2016) 'Marko Antun de Dominis vs: Faust Vrančić: od Logike (1608) do Nove logike (1616)', *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine*, 42 (2(84)), pp. 293–330.
- Montagu, R. (1624) *Immediate Adresse unto God alone. First delivered in a Sermon [on Ps. l. 15] before His Majestie at Windsore. Since ... enlarged to a just Treatise of Invocation of Saints, occasioned by a false imputation of M. A. de Dominis upon the author*. London: W. Stansby for M. Lownes and W. Barret.
- Morović, H. (1981) 'O biblioteci Markantuna de Dominisa', *Vjesnik bibliotekara Hrvatske*, 25 (1/4), pp. 177–187.
- Nedeljković, D. (1961) 'Un physicien utopiste du XVI siècle, Marco Dominis', *Bulletin de l'Académie serbe des sciences*, XXVIII (8), pp. 27–50.
- Nedeljković, D. (1961) 'Fizičar i utopist XVI veka Marko Dominis', *Glas SANU*, 249 (9), pp. 131–156.
- Nedeljković, D. (1975) *Marko Dominis u nauci i utopiji na delu*. Beograd: SANU.
- Nedeljković, D. (1976) 'Nauke i istorija nauka u nas od Georgija Dragišića i Hristofora Hrizogona do Franje Petrića i Marka Dominisa', in Ž. Dadić (ed.) *Zbornik radova o Marku Antunu Dominisu i znanstvenoj prošlosti Raba*. Zagreb: Nacionalna i sveučilišna knjižnica, pp. 107–112.
- Newland, H. (1859) *The life and contemporaneous church history of Antonio de Dominis, Archbishop of Spalatro*. Oxford: J. Henry and J. Parker.
- Newes from Rome, Spalato's doome. O An epitome of the life and behaviour of M. Antonius de Dominis first Bishop of Segnia, afterwards Archbishop of Spalato; who about some seven or eight yeeres since came from Venice into England: and from thence by the practise and perswasion of the L. Gundamar, departed to Rome: and of late was imprisoned in the cattle of Saint Angelo. Herein contained the reasons for which he was imprisoned, together with his miserable disastrous end* (1624). London: Printed by Iohn Haviland for Richard Whitaker.
- Newton, I. (1719) *Optice: sive de reflexionibus, refractionibus, inflexionibus et coloribus lucis libri tres*. Londini: Innys.
- Neale, R. (1624) *Alter Ecebolius M. A. de Dominis ... pluribus Dominis inservire doctus. [Documents collected by R. Neale, Bishop of Durham, relating to M. A. de D.'s changes of religion.]*. London: J. Billius.
- Nikolić, Đ. M. (1938) 'Marko Gospodnetić', *Saturn*, 4 (1), pp. 20–28.
- Noel, M. (1984) *De Dominis 1560-1624: Venetian, Anglican, Ecumenist and relapsed heretic*. London: Strickland & Scott.
- Ockenden, R. E. (1936) 'Marco Antonio de Dominis and his Explanation of the Rainbow', *Isis*, 26, pp. 40–49.
- Parlov, M. (2006) 'Papin primat u misli M. A. Dominisa', in V. Tadjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 201–219.
- Paščenko, E. (2006) 'Veliki hrvatski polemičar Marko Antun de Dominis i problem crkvenih odnosa u Ukrajini', in V. Tadjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 283–296.
- Paušek-Baždar, S. (1987) 'Dominisovo gledište o strukturi elemenata', in A. Mohorovičić (ed.) *Rapski*

- zbornik: *zbornik radova sa Znanstvenog skupa o otoku Rabu, održanog od 25. do 27. listopada 1984. godine*. Zagreb: JAZU, pp. 365–367.
- Pivčević, E. (1983) 'Kako je Dominis postao senjski biskup', *Crkva u svijetu*, 1983/2, 178–192.
- Pivčević, E. (2009) 'De Dominis u Londonu', *Forum*, br. 10–12, pp. 1265 – 1292.
- Prijatelj, K. (1987) 'Portreti Markantuna Dominisa', in A. Mohorovićić (ed.) *Rapski zbornik: zbornik radova sa Znanstvenog skupa o otoku Rabu, održanog od 25. do 27. listopada 1984. godine*. Zagreb: JAZU, pp. 377–382.
- Prijatelj-Pavičić, I. (2006) 'Prilog poznavanju portreta Marka Antuna de Dominisa', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 355–389.
- Prohaska, D. (1912) 'Kako se u Njemačkoj dojmio otpor nadbiskupa splitskoga Markantuna Dominisa protiv papinske svemoći (1602–1624)', *Vjesnik kr. hrvatsko-slavonsko-dalmatinskoga zemaljskog arkiva*, 14, pp. 285–288.
- Pšeničnjak, F. (2006) 'Priopćenje o Retrakcijama Marka Antuna de Dominisa', *Vjesnik kr. hrvatsko-slavonsko-dalmatinskoga zemaljskog arkiva*, 14, pp. 155–160.
- Rački, F. (1874) 'Marko Antun de Dominis', *Vienac*, 6 (48), pp. 761–765; 6 (49), pp. 774–779; 6 (50), pp. 795–796; 6 (51), pp. 811–813; 6 (52), pp. 827–832.
- Redondi, P. (1983) *Galileo eretico*. Torino: G. Einaudi.
- A Relation sent from Rome of the processe, sentence, and executio, done upon the body, picture and bookes of M. A. de D., ... after his death (1624)*. London: J. Bill.
- Stipanić, E. (1954) 'Rasprava Antuna Gospodnetića De radiis visus et lucis i njen značaj u istoriji optike', *Nauka i priroda*, 7 (1), pp. 37–43.
- Stipanić, E. (1976) 'Matematika u Dominisovom djelu »De radiis visus«', in Ž. Dadić (ed.) *Zbornik radova o Marku Antunu Dominisu i znanstvenoj prošlosti Raba*. Zagreb: Nacionalna i sveučilišna knjižnica, pp. 13–22.
- Supek, I. (1967) 'Marko Antonije de Dominis – poruka mira', *Encyclopaedia moderna*, 5–6, pp. 111–118.
- Sweet, J. (1617) *Monsigr. fate voi. Or, A discouery of the Dalmatian apostata, M. Antonius de Dominis, and his bookes. By C. A. [i.e. John Sweet] to his friend P. R. Saint Omer: English College Press*.
- Torbar, J. (1878) 'Ob optici Markantuna de Dominisa', *Rad JAZU*, 43, pp. 196–219.
- Trogrlić, M. (2006) 'Odnosi splitskog kaptola s Markom Antunom de Dominisom', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 105–117.
- Tudjina-Gamulin, V. (1987) 'Marko Antonije de Dominis — hereza kao alternativno mišljenje', in A. Mohorovićić (ed.) *Rapski zbornik: zbornik radova sa Znanstvenog skupa o otoku Rabu, održanog od 25. do 27. listopada 1984. godine*. Zagreb: JAZU, pp. 369–370.
- Tudjina-Gamulin, V. (1993) 'Senjska biskupija i Marko Antonije de Dominis — prema dokumentu iz 1600', in *Senjski zbornik*, 20(Senj 1993), pp. 119–126.
- Tudjina, V. (2006) 'Dominis u Engleskoj', in V. Tudjina (ed.) *Marko Antun de Dominis – splitski nadbiskup, teolog i fizičar: zbornik radova sa znanstvenog skupa održanog 16. do 18. rujna 2002. godine u Splitu*. Split: Književni krug, pp. 135–142.
- Tudjina, V. (2002) 'Dominis u pismima suvremenika Fulgentia Micantia u prijevodu Thomasa Hobbesa', u *Zbornik Odsjeka za povijesne znanosti Zavoda za povijesne i društvene znanosti Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti*, Vol. 20, pp. 165–182.
- Turčinović, J. (1967) 'Markantun de Dominis iz teološke perspektive', *Encyclopaedia moderna*, 5–6, pp. 119–123.

- Zenko, F. (1976) 'Marko Antun Dominis u svjetlu sukoba metoda u renesansnoj »novoj« filozofiji prirode', in Ž. Dadić (ed.) *Zbornik radova o Marku Antunu Dominisu i znanstvenoj prošlosti Raba*. Zagreb: Nacionalna i sveučilišna knjižnica, pp. 73–84.
- Zenko, F. (1976) 'Prirodnoznanstvena istraživanja Marka Antuna Dominisa u svjetlu gnoseologijsko-metodologijskog problema u postrenesansnoj »novoj« filozofiji prirode', *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine*, 2 (3/4), pp. 15–28.
- Zenko, F. (1987) 'Filozofijsko-politički element u Dominisovu djelu *De republica ecclesiastica*', in A. Mohorovičić (ed.) *Rapski zbornik: zbornik radova sa Znanstvenog skupa o otoku Rabu, održanog od 25. do 27. listopada 1984. godine*. Zagreb: JAZU, pp. 371–375.
- Ziggelaar, A. (1979) 'Die Erklärung des Regenbogens durch Marcantonio de Dominis, 1611. Zum Optikkunterricht am Ende des 16. Jahrhunderts', *Centaurus*, 23 (1), pp. 21–50.

Marijana Borić

MARKO ANTUN DE DOMONIS – CROATIANGALILEO GALILEI

A VISIONARY'S PERSPECTIVE

Summary: Marko Antun de Dominis (Marco Antonio de Dominis), (Rab, 1560 – Rome, 8 September 1624), world-renowned Croatian theologian, philosopher, dean of Windsor, bishop of Senj, archbishop of Split, primate of Dalmatia and Croatia, was particularly interested in physics. With Galileo Galilei, he shared an interest in some of the most current areas of contemporary physics (natural philosophy): the laws of optics, the theory of binoculars, the problem of sea tides, the question of the shape of the earth and the problem of determining geographical coordinates. He was active during the transition from the 16th to the 17th century, at a time when epoch-making changes were taking place in science and the philosophy of science, and in contrast to the traditional Aristotelian approach to the study of nature, a new approach was being introduced with the application of mathematical methods, an axiomatic deductive system, experiments and observations. Experimentally and theoretically, de Dominis was involved in the research of lenses and their systems. He combined his practical and theoretical research in his physics debut *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride* (Discourse on rays of sight and light in lenses and rainbow), published in Venice in 1611 by the printer Tommaso Baglioni. In the final redaction of his work, de Dominis also added two chapters on a new instrument - the telescope, which soon made great astronomical discoveries possible. De Dominis' work has a special value for the history of physics because it is the first work that gives the theory of binoculars, and it was created at the dawn of a new era of optical and astronomical research, when precisely thanks to the use of binoculars in astronomy, the revolutionary superiority of the Copernican system over the geocentric system finally comes. Therefore, it

should be pointed out that the credit for the first work that fully interprets the theory of binoculars belongs to de Dominis, and not to Galileo Galilei, as is commonly thought. Even Isaac Newton mentions de Dominis with great praise in his famous work *Optics* (first edition London, 1704), citing him alongside the greatest names of science of the 17th century: Descartes, Huygens, Hook, Roemer, Grimaldi, Bartolinus and Boyle. Dedicated to the most topical themes of the period, de Dominis' work had a rich and diverse reception during the 17th, 18th and 19th centuries, and it also experienced different judgments. Therefore, the purpose of this paper is to consider de Dominis' scientific work, methodological peculiarities, originality and achievements, especially in comparison with Galileo's approach and contributions to the understanding of the new instrument as well as other contemporaries, in order to determine and evaluate more closely the significance of de Dominis' work in that area. In addition, in order to more fully present and interpret de Dominis' entire legacy, of which his scientific work is only one part, the aim of this work is to review and present de Dominis' roots, role models, key stages of life and ideas that motivated him, inspired him and were relevant for his scientific and spiritual formation, thus determining the areas and scope of his activity - without which it is not even possible to fully understand his intellectual profile and especially his scientific work, which he ultimately put in the background, subordinating it to his theological and public work. He could not agree with the fact that in principle one must remain silent about every, even unjustified, decision of the church authority.

Living for decades in the immediate vicinity of fierce war conflicts with the Ottomans, in an era when the whole of Europe was at war and religiously and politically disunited, de Dominis, despite his high achievements in science, gave priority to theological work, considering faith and spiritual reform as the basis for the survival of the then threatened Christian world. He considered the reform his priority and life's mission. In the context of the totality of the contemporary problems of his era, he thoroughly researched the existing doctrinal formulations on the sources of theology, in order to find a more complete and creative theological response to his time, considering that in this way he preserves the faith, draws inspiration from it and transfers it refreshed to the new time, and to the Church as a community of faith opens up new historical perspectives.

Just as he questioned the laws of nature and contributed to the creation of a new science with a modern approach and methods, he also questioned the historical role of the Church, and his Catholic theology is focused on the current problems of his time. It is aimed much more at solving the problems of

its epoch and the reality from which the Church as a community lives, than at the interpretation of an abstract formula of faith.

First, it is aimed at a theologically based and historically perspective defense of the autonomy of the state and politics on an extra-ecclesiastical level. It advocates for the separation of the power of the profane world of the state from the Church, for enabling the dynamic reciprocity of mutual autonomy, the autonomy of specific areas of the spiritual and worldly. Secondly, for him, overcoming the problem did not end with preserving doctrinal and ecclesial integrity, but opening new perspectives and beyond that finding ways and solutions so that, on the one hand, Catholics and all religious groups that emerged from the Reformation doctrinally and ecclesiastically integrate into one community of faith and life, at the same time respecting authentic and permissible differences. In other words, de Dominis aspires to overcome the apologetic-polemistic, essentially formal-deductive, verbal and static orientation of the main stream of Catholic theology in the formal-theological sense and to replace it with a research and creative orientation, which is then necessarily critical, as is modern science.

Through these considerations, this paper presents a complete portrait of Marco Antun de Dominis, one of the greatest erudites and thinkers of his era, a reformer and peacemaker, who, with the power of his intellect, achievements and freedom of thought, can undeniably, like Galileo Galilei, be considered a builder of the new age and a metaphor for freedom of thought in relation to traditional authorities, which has not been emphasized enough so far.

Keywords: Marko Antun de Dominis, Galileo Galilei, reformer, freedom of thought, theology, method problem, mathematics, experiment, binoculars, optics.

Roman Malarić, Melita Turković, Petar Mostarac

LABORATORIJSKE VJEŽBE IZ PREDMETA ELEKTRIČNA MJERENJA KOD JOSIPA LONČARA

Sažetak: Josip Lončar je od 1921. godine predavao kao profesor na Tehničkoj visokoj školi u Zagrebu (od 1926. Tehnički fakultet) predmet 'Teorijska elektrotehnika' (kasnije Osnove elektrotehnike) a od 1922. i predmet 'Električna mjerenja'. Lončar je 1924. godine osnovao Laboratorij za električna mjerenja kako bi mogao organizirati laboratorijske vježbe i baviti se znanstvenim radom te postao njegovim prvim predstojnikom. Čak i prije samog osnivanja Laboratorija, kasnije Zavoda za osnove elektrotehnike i električna mjerenja (ZOEM), nabavljao je laboratorijsku opremu. O tome je vodio i pedantnu evidenciju u inventarnoj knjizi Zavoda, a nabavljenu je opremu potom koristio u sklopu laboratorijskih vježbi za studente. Nažalost, Lončareve 'Upute za praktikum' iz predmeta Električna mjerenja koje se spominju u Inventarnoj knjizi zavoda nisu pronađene u njegovoj arhivi pa je u ovom radu opisana rekonstrukcija laboratorijskih vježbi iz predmeta Električna mjerenja I i Električna mjerenja II pomoću njegovih zapisa u laboratorijskim dnevnicima i ostaloj dostupnoj literaturi.

Ključne riječi: Josip Lončar, električna mjerenja, laboratorijske vježbe

Uvod

U jednom razgovoru za novine Lončar je spomenuo da je odmah po dolasku na Visoku tehničku školu krenuo s pisanjem literature te da je prvo napisao Skriptu za osnove elektrotehnike i Upute za praktikum za električna mjerenja. Također u inventarnoj se knjizi 1927. godine među troškovima na jednom mjestu spominje trošak pisaćeg i šapirografskog materijala za umnažanje tih uputa, slika i.

Na Visoku školu, nakon položenog profesorskog ispita na Fiziku i Matematičkim znanostima, 1916. i postignutog doktorata Filozofije u Fizici, g. 1920, u Zagrebu kao i već svih pravih publikacija, dobio sam pozivom Vijeća Tehničke Visoke škole u Zagrebu, g. 1921, da predjem na Elektricitetsku u kojoj sam tada i električke mjerenja. Odmah sam prihvatio spomenuti rad da sam svoje zadatke mogao tako vrlo lijepo obaviti, ako sam pokriven za ostatak i što bolje razvijaju svotu u kome da se može vršiti demontiranje pokusa na predavačima iz Osnova elektricitetske i praktički rad studenata na predavačima iz Elektricitetnih mjerenja. U tekuće je naprediti i naučno-eksperimentalni rad vlastiti i naprednih zajednika u takvom Zavodu. Isto sam već 1922, australski i dionik Zavodu da osnojem takvu ustanovu, koja se u početku zvala Laboratorij za Elektricitetna mjerenja a kasnije je ispravnije nazvana Zavod za osnovne elektricitetne i elektricitetna mjerenja, pod kojim imenom i danas postoji. Takve ustanove u Zagrebu su organizirane i uostvari i osnovali su se, op i rezultati onda nisu imali. Drugi upotrebu svoje da kreću kao ustanove koje i industriji dati u ruke osnovnu stručnu literaturu na osnovu kojih trebaju biti organizirane u laboratorij i to najprije elektricitetne osnovne elektricitetske i uostari na praktičkim elektricitetnim mjerenjima (praktična jedinstva i drugog), u ovim predmetima na laboratorij elektricitetnog nivoa kao i elektricitetna mjerenja kao i u Osnovne elektricitetne ustanove su tako i imale, pored drugih publikacija postrojenja, op

Ručno Notter i drugi, pisali i šifirografski
materijal za laboratorij za elektricitetna mjerenja
za labor. vježbe

Sl. 1. Lončarevi navodi o Uputama za praktikum za Električna mjerenja

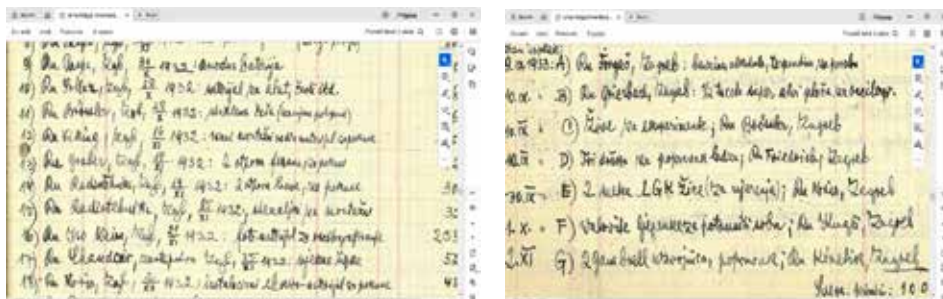
Nažalost, u cjelokupnoj Lončarevoj ostavštini te Upute nisu pronađene niti su se tih uputa mogli sjetiti neki bivši Lončarevi studenti pa se prilikom rekonstrukcije laboratorijskih vježbi trebalo poslužiti ostalom dokumentacijom.

Možemo zaključiti kako su laboratorijske vježbe iz predmeta „Električna mjerenja“ zasigurno krenule u akademskoj godini 1924./1925.godine. Tome u prilog nam govori prvi zabilježeni podatak o plaćanju takse. Naime, kako bi se osigurala održivost laboratorija, studenti su svake akademske godine bili obvezni plaćati laboratorijsku taksu u iznosu od 40 dinara. Sa tako prikupljenim sredstvima Lončar je kupovao laboratorijsku opremu i sitni potrošni materijal korišten u nastavi. O tim je novcima vodio i detaljnu evidenciju, bilježio je imena slušača tog semestra koji su uplatili traženu svotu, te popis instrumenata i njihovih cijena prilikom nabave. Među popisima studenata koji su plaćali navedenu taksu mogu se prepoznati i budući zaslužni profesori fakulteta poput Hrvoja Požara, Radenka Wolfa, Tome Bosanca i drugih, slika 2.

Ime	Iznos
Kralj, Jovanović	40
Jovanović, Kralj	40
Petrović, Jovanović	40
Jovanović, Kralj	40
Kralj, Jovanović	40
Jovanović, Kralj	40
Kralj, Jovanović	40
Jovanović, Kralj	40
Kralj, Jovanović	40
Jovanović, Kralj	40

Sl. 2. Tomo Bosanac, Radenko Wolf i Hrvoja Požar među studentima profesora Lončara koji su plaćali taksu za laboratorijske vježbe

Tako je, primjerice, u akademskoj godini 1931./1932. prof. Lončar pedantno zabilježio u svojem laboratorijskom dnevniku sljedeću nabavljenu opremu: anodne baterije, čavli, dva fiksna otpora za pokuse, stezaljke za montažu, foto materijal za oscilografiranje, staklene čaše, tri drške za popravak ladica, mjedene šipke i razni instalacijski materijal za pokuse, slika 3. Dok se neka oprema kupovala, mnogi mjerni uređaji i pribor te različita nastavna pomagala i mjerna oprema bili izrađeni u samome laboratoriju, najčešće uz pomoć njegovih demonstratora.



Sl. 3. Pedantno vođena evidencija prof. Josipa Lončara o opremi koju je kupovao za laboratorijske vježbe

Na kraju svake akademske godine vodio je i evidenciju koliko je sredstava ukupno prikupljeno, koliko utrošeno kako bi znao stanje računa za sljedeću akademsku godinu i takvo je izvješće slao Upravi Sveučilišta, slika 4.



Sl. 4. Josip Lončar zbraja prihode i izdatke nakon akademske godine 1928./1929. i nakon 1930./1931.

Profesor Lončar je, s tako nabavljenom opremom, organizirao laboratorijske vježbe kao demonstracijske. Naime, studente je grupirao u grupe po četvero, a svaka je grupa imala pokazivača (demonstratora) i 'vođu'. Kompliciranije vježbe ili vježbe proizašle iz njegovih istraživanja Lončar je sam demonstrirao na svojim predavanjima. Prema sjećanju Dušana Vujevića, umirovljenog profesora sa Zavoda za osnove elektrotehnike i električka mjerenja, a ujedno i bivšeg studenta Josipa Lončara, vježbe su bile pokazne, a odvijale su se u prostoriji pored predavaonice. Za pristup ispitu tre-

bali su se napisati referati po temama vježbi te ih predati s prijavnicom za ispit. Ti su se referati nakon položenog ispita vraćali, ali probušeni. Bušili su ih, pretežito laborant Günther Reisser pod nadzorom Lončara iako ih je znao bušiti i Lončar osobno.

Laboratorijske vježbe bile su organizirane od početka za jednosemestralni predmet Električna mjerenja, a nakon što se Lončar oslobodio obveze predavanja u gimnaziji, 1934. godine proširuje predmet „Električna mjerenja“ na dvosemestralni i organizira pokazne vježbe i za taj semestar. Od 1934. u dokumentaciji dijeli laboratorijske vježbe i predmet na Električna mjerenja I i Električna mjerenja II (EM I i EM II).

Laboratorijske vježbe na predmetu Električna mjerenja I

U sklopu jednosemestralnog predmetu „Električna mjerenja“ bilo je **12 laboratorijskih vježbi**. Popis je moguće tek djelomično navesti jer Upute za praktikum koje Lončar sam na nekoliko mjesta spominje, nažalost, nisu pronađene u njegovoj ostavštini. U ostaloj su dokumentaciji laboratorijske vježbe u većini slučajeva navedene samo prema rednom broju izvođenja. Prateći redne brojeve, pokušalo se rekonstruirati cijeli popis vježbi za predmet Električna mjerenja I. Iz dokumenta na slici 5 vidljiva je **I. vježba** iz 1934. godine, **‘Wheatstoneov most’**. **IX. je vježba iste godine** bila **‘Brojila’**. Na slici 6 označeno je mjesto gdje Lončar spominje pojedinu vježbu i naziv vježbe. Iz dokumenta na slici 5 također je vidljivo kako je Lončar svakoj grupi dodijelio ‘vođu’ grupe i dva ‘pokazivača’ za sve grupe te jednog pokazivača iz prethodne godine.

Profesor Lončar je pažljivo zapisivao dolaske studenata na vježbe, a studenti koji bi izostali s vježbi kasnije su ih mogli nadoknaditi. Takva je praksa ostala i danas; kad su odrađene sve vježbe, student ostvaruje pravo izlaska na ispit.

Zimski semestar 1934/35

Elektr. mjerenja

Grupe:

A	B	C
Srb Stan./S	Svoboda Drag./S	Segezlija Jos./E
Rozulija Ljub./S	Puzy Vil./S	Mušina Gjuro/E
Kindzelew.H./S	Šimunić Br./S	Glaivočić Ivo/E
Wickerh. Mir./S	Engel Oto/S	Matjan Ljud./E

D	E	F
Samakovič H./S	Matačković Zv./E	Glačić Alfr./E
Zidovec Ern./E	Leub Zygfr./E	Blažeković B./S
Fleissig Alb./E	Spira Jos./S	Szalavy Janos/S
Mažuranić K./E	Krutić Marij./E	Jelušić Fed./E
		Hidvegi Franjo/E

Zelena označeni uzeti su kao pokazivači (zajedno sa g. Mayerom Drag. koji je lani imao upisanu E.M.). Vođe grupa označene su crveno.

Rad po grupama:

Sve grupe (A do F): Dne 27.10.34. skupno Wheatstone-ov most (vježba I).

Zatim radjeno po shemi:

Dne	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.4	28.4	29.4	30.4	31.4
II/VII	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E
III	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F
Va)b)	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D	B/E	C/F	A/D

Božićni praznici

Dne	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.4	28.4	29.4	30.4	31.4
X	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	
XI	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	3 grupe i to:	

Evidencija slušača:

Vj.	Dne	Manjkali/iz grupe
27.10.	Manjka: C; Glavotić E;	
3.11.	Engel B; vo nadoknadu 12.11.	
10.11.	—	
17.11.	Praznik: 40-dn. pomen Kr. Aleks. (nije bilo vježbi)	
15.12.	—	

Sl. 5. Organizacija laboratorijskih vježbi iz predmeta Električna mjerenja I kod J. Lončara

Treba još da nadoknade vježbe:

Hangi V. (XI+XII), (VI, (VII+IX)

Vagman K. (VI)

Bautović I. (II+V)

Krutić J. (drugi dio)

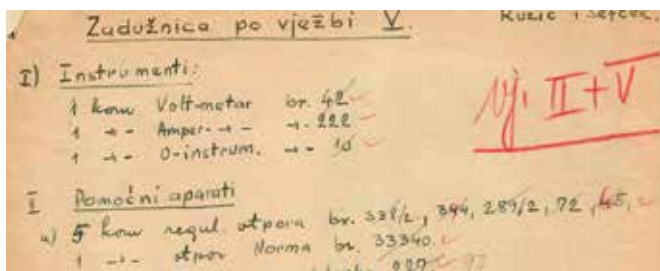
Müller V. (VI+IX, XI+XII)

Sl. 6. Organizacija laboratorijskih vježbi kod Lončara 1934. godine i popis studenata za nadoknadu, praksa koja je i danas aktualna. Zaokruženi su navodi vježbe s rednim brojem.



Sl. 7. Univerzalni galvanometar korišten kao Wheatstoneov most za vježbu br. I.

Prema Lončarevoj zadužnici iz 1946. godine, slika 8, vidi se da je **II. vježba** bila ‘Thomsonov most’, slika 9.



Sl. 8. Zaduznica za II. Vježbu



Sl. 9. Thomsonov most korišten za II. vježbu

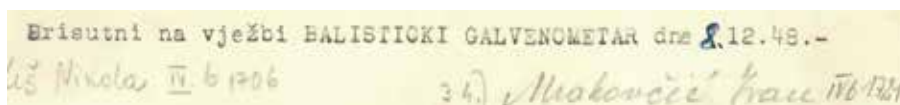
Dok su neke vježbe jasno numerirane, neke se pak spominju bez numeracije. Primjerice, vježba ‘Gubici u željezu’ spominju se u dokumentu iz

1934. godine bez rednog broja, slika 10.



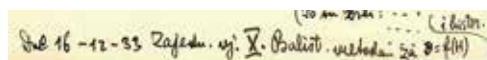
Sl. 10. Vježba ‘Gubici u željezu’ bez vidljive numeracije

Vježba ‘Balistički galvanometar’ se spominje u Lončarevim dnevnicima 1948. godine, ali također bez rednog broja, slika 11.



Sl. 11. ‘Balistički galvanometar’ kao laboratorijska vježba

Vježba ‘Balistička metoda za mjerenje $B=f(H)$ ’ se 1933. godine spominje kao X. vježba. Slika 12.



Sl. 12. Balistička metoda za mjerenje $B=f(H)$ iz 1933. godine

Ra E.M.F. na godinu uzmi kod mjerenja otpora još 1991)
 mjerenje unut. otpora baterije kao bi opim u "Wheatstone".
 Nešto sam tadaš. tako i malim 4-V-om - idobio uz vanj. otp. 2 Ω
 bez priklj. 4,02 (E.M.S), sa priklj. vanj. otp. 3,75, tako da je R_i :

$$R_i = 2 \left(\frac{4,02}{3,75} - 1 \right) = 2 \cdot 0,07 = 0,14 \text{ (0,07 } \Omega \text{ po elementu)}$$
 Slično se može reći i 2-3 salu elementa, pa mjeriti R_i baterije.

Sl. 14. J. Lončar razmišlja kako unaprijediti laboratorijske vježbu 'Mjerenje otpora' 16.6.1935.

Zaključno, na temelju bilješki u Lončarevim dnevnicima i analizom ostalih dostupnih materijala prije svega Uputa za laboratorijske vježbe (1957.) Vojislava Bege, popis Lončarevih vježbi na predmetu Električna mjerenja I s velikom vjerojatnošću je sljedeći:

- Wheatstoneov most s kliznom žicom (Univerzalni galvanometar)
- Thompsonov most
- Mjerenje UI metodom malih srednjih i velikih otpora (samo zadužnica)
- Mjerenje velikih i izolacijskih otpora
- Kompenzacija kod istosmjerne struje (samo zadužnica)
- Balistički galvanometar
- Brojila
- Snimanje krivulje prvog magnetiziranja i krivulje histereze balističkim galvanometrom
- Mjerenje snage
- Mjerenje gubitaka u željezu

Laboratorijske vježbe na predmetu Električna mjerenja II kod Josipa Lončara

Od uvođenja dvosemetralnog predmeta 1934. godine Josip Lončar uvodi u nastavu i laboratorijske vježbe za predmet **Električna mjerenja II**. Vježbe su uglavnom proizašle iz njegovih znanstvenih istraživanja i pokusa. Većinom demonstracijske, bile su prikazane na samim predavanjima. Jedna od tih vježbi bila je “**Mjerenje Wienovim mostom**“, navedena kod Lončara pod rednim brojem III, a koju je posebno izdvojio Vojislav Bego u svojem prilogu za knjigu „Josip Lončar – život i djelo“, slika 15.

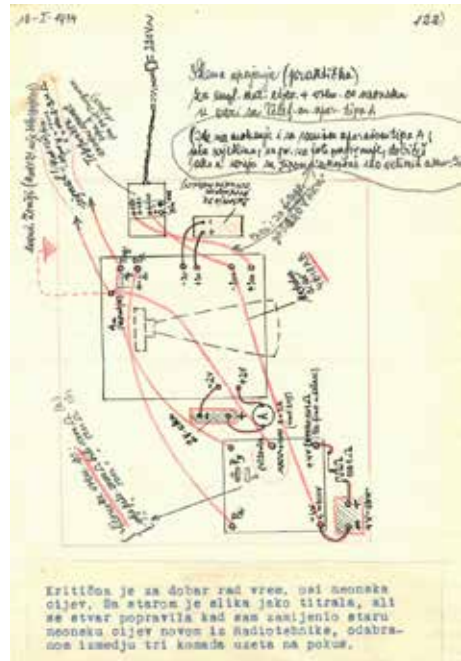
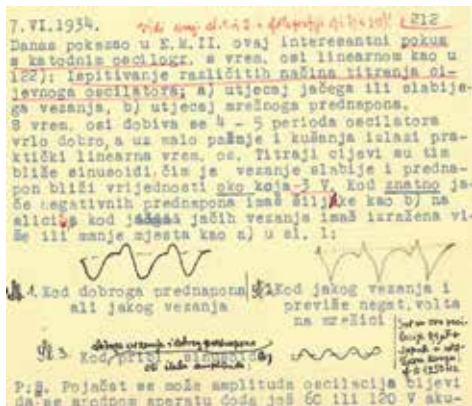
O pokusu sa Wienovim mostom, u svojoj knjizi *Josip Lončar – život i djelo* prof. Bego piše:

Pri svim njegovim istraživanjima neprestance su mu na umu potrebe nastave. Mnoge bilješke iz njegova dnevnika to i potvrđuju. U bilješci br. 180. od 28.03.1934. na kraju obavljenih pokusa s rastavljenim Wienovim mostom zaključuje: „Ipak cijeli uređaj radi odlično i relativno jako osjetljivo, tako da je zreo da bude pokazan u vježbi iz električnih mjerenja II“.

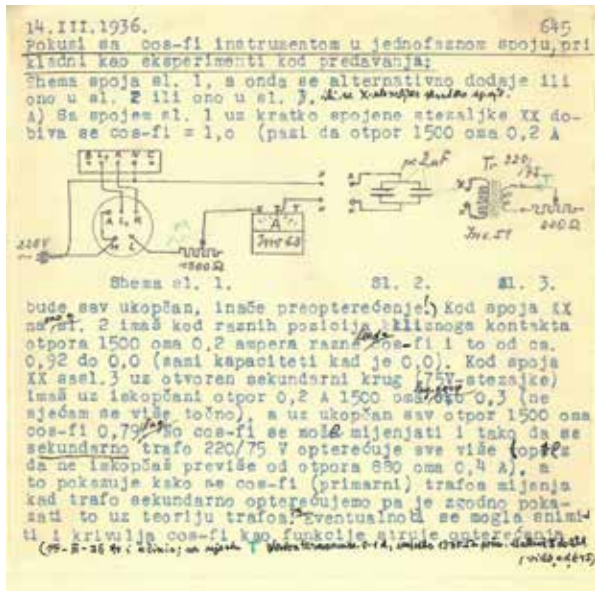


Sl. 15. Bilješka iz dnevnika J. Lončara o pripremi pokusa za laboratorijske vježbe iz Električnih mjerenja koju je Bego izdvojio u knjizi „Josip Lončar – život i djelo“

Za te se pokuse Lončar detaljno spremao. Pregledom Lončarevih dnevnika pronađeni su sljedeći pokusi izvedeni na predmetu Električna mjerenja II. Navedeni su bez posebnog komentara jer Lončar sam detaljno opisuje pokuse, od slike 16. do slike 29.



Sl.16. Pokus s katodnim oscilografima

Sl. 17. Pokus sa $\cos\phi$ instrumentom

[illegible]

Sl. 21. Pokus *Ionizacije X zrakama* izbijanjem elektrometra

9-5-35 476
Danas sa uspjehom priredio za E.K.II. vještbu
Ispitivanje cijevn. pojačala petljastim osci-
lografom (vidi pobliže Telefunken knjigu).
Evo samo rezultata (s v.f. petljom K3, no-
ide i sa petljom K6, samo se nema baš tako
pouzdanja u finise, koje su svakako sa-K3
točnije reproducirane). Kao signal uzeo 50
Hz iz Regeltrafoa, kao anodni napon sa 250V
iz mašina, za lampicu oscilog. izvor 30V
iz aku-a (velikih), udele na 12 V. 0.1V 4100

Sl. 22. Ispitivanje cijevnih pojačala

7-5-35 474
Danas spremio sa E.M.II pokus(vjezbu): Metoda dva-
ju vatmetara uz nesimetrični trofazni sistem. Usput
i prilike u nesimetr. trof.sistemu; Vidi Telef.knj.
pod:

Sl. 23. Laboratorijska vježba mjerenja snage s dva vatmetra i

Aparatura po Hohleu za ispitivanje struj-
nih mjer. trafosa pokazana je god. 1936. na
E.M. II. Detalji nalaze se u Telefunken
knjizi na listu 5!

Sl. 24. Ispitivanja mjernih transformatora prema Hohleu

916 (dne 10.4.37.) 1916
 Mjerenje Tannenkondestatora s timnjem od
 Mescho-a, nosim. 3000 cm, koji je sturio
 kod normalni kod Wiena uo u vj. III.
 E.K. II. 1937. Shema spajanja:

$C = 657 \cdot \frac{10000}{2000} \text{ pF}$
 $C = 3285 \text{ pF}$

1937 cm (Wien, 10.4.37.) 3333 pF

Rezultat: C ima kapacitet 3333 pF. Go-
 biot mi se mogu samerati prema njima
 koji se mjere kod vj. II. Cva vrijednost
 je 3333 pF. Za basu raduna kod vj. III.

15. Slika 1. Slika 2. Slika 3. Slika 4. Slika 5. Slika 6. Slika 7. Slika 8. Slika 9. Slika 10. Slika 11. Slika 12. Slika 13. Slika 14. Slika 15. Slika 16. Slika 17. Slika 18. Slika 19. Slika 20. Slika 21. Slika 22. Slika 23. Slika 24. Slika 25. Slika 26. Slika 27. Slika 28. Slika 29. Slika 30. Slika 31. Slika 32. Slika 33. Slika 34. Slika 35. Slika 36. Slika 37. Slika 38. Slika 39. Slika 40. Slika 41. Slika 42. Slika 43. Slika 44. Slika 45. Slika 46. Slika 47. Slika 48. Slika 49. Slika 50. Slika 51. Slika 52. Slika 53. Slika 54. Slika 55. Slika 56. Slika 57. Slika 58. Slika 59. Slika 60. Slika 61. Slika 62. Slika 63. Slika 64. Slika 65. Slika 66. Slika 67. Slika 68. Slika 69. Slika 70. Slika 71. Slika 72. Slika 73. Slika 74. Slika 75. Slika 76. Slika 77. Slika 78. Slika 79. Slika 80. Slika 81. Slika 82. Slika 83. Slika 84. Slika 85. Slika 86. Slika 87. Slika 88. Slika 89. Slika 90. Slika 91. Slika 92. Slika 93. Slika 94. Slika 95. Slika 96. Slika 97. Slika 98. Slika 99. Slika 100. Slika 101. Slika 102. Slika 103. Slika 104. Slika 105. Slika 106. Slika 107. Slika 108. Slika 109. Slika 110. Slika 111. Slika 112. Slika 113. Slika 114. Slika 115. Slika 116. Slika 117. Slika 118. Slika 119. Slika 120. Slika 121. Slika 122. Slika 123. Slika 124. Slika 125. Slika 126. Slika 127. Slika 128. Slika 129. Slika 130. Slika 131. Slika 132. Slika 133. Slika 134. Slika 135. Slika 136. Slika 137. Slika 138. Slika 139. Slika 140. Slika 141. Slika 142. Slika 143. Slika 144. Slika 145. Slika 146. Slika 147. Slika 148. Slika 149. Slika 150. Slika 151. Slika 152. Slika 153. Slika 154. Slika 155. Slika 156. Slika 157. Slika 158. Slika 159. Slika 160. Slika 161. Slika 162. Slika 163. Slika 164. Slika 165. Slika 166. Slika 167. Slika 168. Slika 169. Slika 170. Slika 171. Slika 172. Slika 173. Slika 174. Slika 175. Slika 176. Slika 177. Slika 178. Slika 179. Slika 180. Slika 181. Slika 182. Slika 183. Slika 184. Slika 185. Slika 186. Slika 187. Slika 188. Slika 189. Slika 190. Slika 191. Slika 192. Slika 193. Slika 194. Slika 195. Slika 196. Slika 197. Slika 198. Slika 199. Slika 200. Slika 201. Slika 202. Slika 203. Slika 204. Slika 205. Slika 206. Slika 207. Slika 208. Slika 209. Slika 210. Slika 211. Slika 212. Slika 213. Slika 214. Slika 215. Slika 216. Slika 217. Slika 218. Slika 219. Slika 220. Slika 221. Slika 222. Slika 223. Slika 224. Slika 225. Slika 226. Slika 227. Slika 228. Slika 229. Slika 230. Slika 231. Slika 232. Slika 233. Slika 234. Slika 235. Slika 236. Slika 237. Slika 238. Slika 239. Slika 240. Slika 241. Slika 242. Slika 243. Slika 244. Slika 245. Slika 246. Slika 247. Slika 248. Slika 249. Slika 250. Slika 251. Slika 252. Slika 253. Slika 254. Slika 255. Slika 256. Slika 257. Slika 258. Slika 259. Slika 260. Slika 261. Slika 262. Slika 263. Slika 264. Slika 265. Slika 266. Slika 267. Slika 268. Slika 269. Slika 270. Slika 271. Slika 272. Slika 273. Slika 274. Slika 275. Slika 276. Slika 277. Slika 278. Slika 279. Slika 280. Slika 281. Slika 282. Slika 283. Slika 284. Slika 285. Slika 286. Slika 287. Slika 288. Slika 289. Slika 290. Slika 291. Slika 292. Slika 293. Slika 294. Slika 295. Slika 296. Slika 297. Slika 298. Slika 299. Slika 300. Slika 301. Slika 302. Slika 303. Slika 304. Slika 305. Slika 306. Slika 307. Slika 308. Slika 309. Slika 310. Slika 311. Slika 312. Slika 313. Slika 314. Slika 315. Slika 316. Slika 317. Slika 318. Slika 319. Slika 320. Slika 321. Slika 322. Slika 323. Slika 324. Slika 325. Slika 326. Slika 327. Slika 328. Slika 329. Slika 330. Slika 331. Slika 332. Slika 333. Slika 334. Slika 335. Slika 336. Slika 337. Slika 338. Slika 339. Slika 340. Slika 341. Slika 342. Slika 343. Slika 344. Slika 345. Slika 346. Slika 347. Slika 348. Slika 349. Slika 350. Slika 351. Slika 352. Slika 353. Slika 354. Slika 355. Slika 356. Slika 357. Slika 358. Slika 359. Slika 360. Slika 361. Slika 362. Slika 363. Slika 364. Slika 365. Slika 366. Slika 367. Slika 368. Slika 369. Slika 370. Slika 371. Slika 372. Slika 373. Slika 374. Slika 375. Slika 376. Slika 377. Slika 378. Slika 379. Slika 380. Slika 381. Slika 382. Slika 383. Slika 384. Slika 385. Slika 386. Slika 387. Slika 388. Slika 389. Slika 390. Slika 391. Slika 392. Slika 393. Slika 394. Slika 395. Slika 396. Slika 397. Slika 398. Slika 399. Slika 400. Slika 401. Slika 402. Slika 403. Slika 404. Slika 405. Slika 406. Slika 407. Slika 408. Slika 409. Slika 410. Slika 411. Slika 412. Slika 413. Slika 414. Slika 415. Slika 416. Slika 417. Slika 418. Slika 419. Slika 420. Slika 421. Slika 422. Slika 423. Slika 424. Slika 425. Slika 426. Slika 427. Slika 428. Slika 429. Slika 430. Slika 431. Slika 432. Slika 433. Slika 434. Slika 435. Slika 436. Slika 437. Slika 438. Slika 439. Slika 440. Slika 441. Slika 442. Slika 443. Slika 444. Slika 445. Slika 446. Slika 447. Slika 448. Slika 449. Slika 450. Slika 451. Slika 452. Slika 453. Slika 454. Slika 455. Slika 456. Slika 457. Slika 458. Slika 459. Slika 460. Slika 461. Slika 462. Slika 463. Slika 464. Slika 465. Slika 466. Slika 467. Slika 468. Slika 469. Slika 470. Slika 471. Slika 472. Slika 473. Slika 474. Slika 475. Slika

Sl. 25. Vježba *Mjerenje Wienovim mostom*



Sl. 28. Zrcalni galvanometar Siemens Halske



Sl. 29. Vježba Mjerenje visokih napona kuglastim iskrištem

Zanimljivo je pratiti određene vježbe kroz, u slučaju Zavoda za osnove elektrotehnike i električka mjerenja (ZOEM), skoro pa stoljeće izvođenja. Unatoč nepotpunoj dokumentaciji, nekim se vježbama može prikazati povijesni (dis)kontinuitet sve do sadašnjosti. Primjerice, „Mjerenje visokih napona kuglastim iskrištem“ Josip Lončar je

izveo na predavanjima iz EM II 1939. godine, a isti je pokus kasnije bio dijelom laboratorijskih vježbi iz kolegija Mjerenja u elektrotehnici na dva modela izrađena šezdesetih godina. Vježba je kao dio nastavnog programa bila prisutna sve do ukidanja predmeta 2005. godine. Zanimljivo, obnovila u akademskoj godini 2024./2025. na inicijativu profesora Luke Ferkovića, trenutnog voditelja laboratorijskih vježbi kolegija Mjerenja u elektrotehnici. Mnogi su se drugi Lončarevi pokusi na predmetu Električna mjerenja II zadržali dugo vremena u popisu eksperimenata u sklopu spomenutog kolegija, kao dio potrebnih osnovnih znanja budućih inženjera elektrotehnike. Primjerice, pokus mjerenja snage pomoću dva vatmetra, ispitivanje mjernih pogrešaka strujnih mjernih transformatora prema Hohleu i osciloskopi.

Zaključak

U radu su opisani pokusi koje je akademik Lončar pripremio za predmet Električna mjerenja I i Električna mjerenja II. S obzirom da je Lončar vrlo brzo nakon osnivanja Tehničke visoke škole krenuo sa organizacijom laboratorijskih vježbi iz jednog od osnovnih elektroinženjerskih predmeta praktički 'od nule' pokazuje njegovu izuzetnu sposobnost i volju da studentima pruži mogućnost mjerenja sa različitim mjernom opremom. Već nekoliko godina nakon osnivanja laboratorija i početka predavanja, profesor Lončar je uspio organizirati čak 12 laboratorijskih vježbi koje su dobro pokrivala i pratila nastavu i predavanja. To je uspio organizirati paralelno predajući na gimnaziji. Nakon što je 1934. godine oslobođen dužnosti predavanja u gimnaziji, s jednakim entuzijazmom primio se i organizacije vježbi za predmet Električna mjerenja II koji je od te godine predavao u drugom semestru. Organizacija i sistematizacija nastave iznimno je zahtjevan pothvat. Prije svega pedagoški, ali i organizacijski jer pojedinac mora voditi računa o nekolicini različitih varijabli – paziti da je cilj vježbe usuglašen sa sadržajem kolegija, da ono što se pokazuje bude prilagođeno studijskoj razini na kojoj se slušač nalazi, da vježba bude prilagođena različitim razinama predznanja, ali pak ne ispod određene očekivanje razine. Sve te varijable u konačnici moraju biti ispoštovane u vremenski zadanom okviru predviđenih radnih sati, unutar kojih slušači sa različitim razinama predznanja moraju savladati određeno gradivo. Riječ je o doista iznimnom pothvatu za jednu osobu, koja uz osmišljavanje, organiziranje i na kraju provođenje takve nastave, paralelno ima vremena i za izvorni znanstveno-istraživački rad.

Literatura:

Laboratorijski dnevnik Josipa Lončara, knjižnica FER-a

Roman Malarić, Melita Turković, Petar Mostarac

LABORATORY EXERCISES IN THE ELECTRICAL MEASUREMENTS CURRICULA BY PROFESSOR JOSIP LONČAR

Summary: From 1921 Josip Lončar taught as a professor at the Technical College in Zagreb (from 1926. Faculty of Engineering), the curriculum ‘Theoretical Electrical Engineering’ (later Basics of Electrical Engineering), and from 1922 the curriculum ‘Electrical Measurements’. In 1924, Lončar founded the Laboratory for Electrical Measurements in order to organize laboratory exercises and engage in scientific work, and became its first head. Even before the establishment of the Laboratory, later the Institute for the Basics of Electrical Engineering and Electrical Measurements (ZOEM), he procured laboratory equipment. He also kept meticulous records of this in the inventory book of the Institute, and then used the purchased equipment as part of laboratory exercises for students. Unfortunately, Lončar’s “Instructions for Practicum” from the subject of Electrical Measurements, which are mentioned in the Inventory Book of the Institute, were not found in his archive, so this paper describes the reconstruction of laboratory exercises from the curricula Electrical Measurements I and Electrical Measurements II using his records in laboratory diaries and other available documents.

Keywords: Josip Lončar, electrical measurement, laboratory exercises

Roman Malarić, Melita Turković, Petar Mostarac

UNIVERZALNI GALVANOMETAR SIEMENS&HALSKE – PRVI INSTRUMENT AKADEMIKA LONČARA

Sažetak: U ovom radu opisati će se mjerni instrument *Univerzalni galvanometar* proizvođača Siemens&Halske koji je Josip Lončar kupio 1922. godine i uveo u Inventarnu knjigu Laboratorija za električna mjerenja. Ona broji ukupno 630 mjernih uređaja i pomoćne opreme, a pod rednim brojem 1. nalazi se upravo Univerzalni galvanometar, uređaj proizveden 1897. godine. U radu će se opisati sam mjerni uređaj, njegova izumitelja dr. Augusta Rapsa te uporaba tog uređaja u laboratorijskim vježbama i eksperimentalnom radu Josipa Lončara prikazana u Lončarevim laboratorijskim dnevnicima i ostalim materijalima.

Ključne riječi: Josip Lončar, Električna mjerenja, univerzalni galvanometar

Uvod

Visoka tehnička škola osnovana je 1919. godine u Zagrebu čime je pokrenuta visokoškolska nastava iz područja tehničkih znanosti s predviđenim odjelima: građevinsko-inženjerski, zgradarski, strojarski i elektrotehnički, kemičko-tehnički i brodograđevni i brodostrojariski odjeli. Prvi „elektrotehnički“ zavod osnovan na Tehničkoj visokoj školi (TVŠ) je Laboratorij za električna mjerenja (kasnije preimenovan Zavodom za osnove elektrotehnike i električna mjerenja) 1924. godine, a predstojnik je postao Josip Lončar, tada honorarni docent na TVŠ. Iz sačuvane inventarske knjige koju je Lončar vlastoručno ispunjavao sve do šezdesetih godina, vidljivo je da je Lončar krenuo sa nabavom opreme i prije samog osnivanja Laboratorija. Inventarna knjiga broji preko **630** instrumenata i pomoćne opreme! Prvi upisani instrument je Univerzalni galvanometar proizvođača Siemens & Halske kupljen već 1922. godine, čak dvije godine prije osnivanja samog Laboratorija.

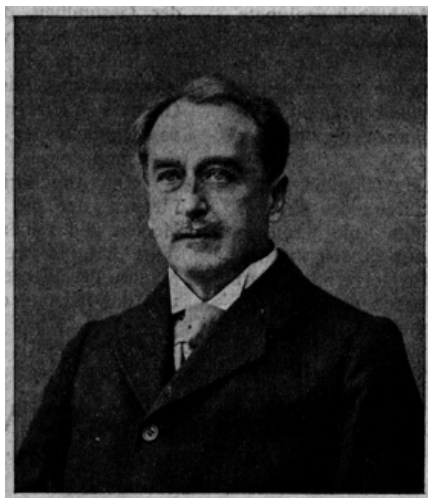
Univerzalni galvanometar Siemens&Halske i njegov izumitelj August Raps

Univerzalni galvanometar na tržištu se pojavio 1897. godine i zadržao sve do tridesetih godina 20. stoljeća. Proizvođač je bila tvrtka Siemens & Halske, a izumitelj dr. August Raps. Raps je bio njemački fizičar i izumitelj, puno poznatiji po Rapsovim kompenzatorima (slika 1) koji su također dio povijesti FER-a, a posebno Zavoda za osnove elektrotehnike i električna mjerenja (ZOEM). Rad Rapsovog kompenzatora je Lončar detaljno opisao u svojoj knjizi *Električna mjerenja*.



Sl. 1. Rapsov kompenzator, u šezdesetim i sedamdesetim godinama jedan od najvažnijih instrumenata u znanstvenom i laboratorijskom radu Zavoda za osnove elektrotehnike i električna mjerenja

August Raps (slika 2) bio je majstor znanstvene i tehničke umjetnosti i predvodnik njemačke tehnologije. Otac mu je bio slikar pa je vjerojatno oko za estetiku, što se vidi iz dizajna njegovih instrumenata, naslijedio od njega. Usavršavao se kod vrhunskih njemačkih fizičara poput Hermanna von Helmholtza i Augusta Kundta. Radio je, uz mjernu tehniku, na velikom broju različitih projekata poput živine zračne pumpe, spektroskopije, brodske i vojne tehnike, telefonije i telegrafije. Već sa 28. godina dobio je poziciju profesora na tehničkom fakultetu u Dresdenu, ali na poziv Wernera von Siemens pridružio se njegovoj tvrtki gdje je uz razvoj brojnih inovativnih proizvoda napredovao i u upravljanju tvrtkom pa je tako postao i član Uprave tvrtke Siemens&Halske. Svojom rijetkom mješavinom tehničkih vještina i ekonomskog razumijevanja, dr. Raps je uspio proširiti raznolikost proizvodnog programa tvrtke pa se u njegovo vrijeme tvrtka povećala sa 1500 radnika na 15.000 radnika i značajno prostorno proširila.

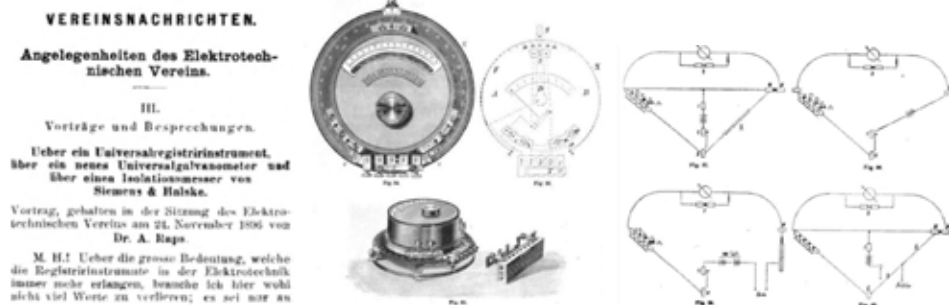


Sl. 2. August Raps

U arhivi Josipa Lončara nisu pronađene nikakve upute za rad sa galvanometrom, a nažalost niti upute za laboratorijsku vježbu u kojoj se navedeni instrument koristio. Prilikom istraživanja digitalnih arhiva pronađen je katalog Siemens iz 1906. godine u kojem se pod rednim brojem 96. nudi ovaj galvanometar kao „novi“ galvanometar, jer je „stari“ bio na tržištu već tridesetak godina, od 1868. godine, slika 3. Werner von Siemens je prilikom opisa „starog“ univerzalnog galvanometra objašnjavao u svojim radovima korist takvog instrumenta:

„Mjerenja galvanskih faktora, jakosti struje, otpora i elektromotorne sile baterija zadaće su koje sada više nisu nametnute isključivo fizičarima, već ih također i doista sve češće moraju obavljati telegrafski inženjeri. Ako ovi zadaci već zahtijevaju veliku brigu i oprez, broj aparata i instrumenata, koji su se do sada morali primijeniti u tu svrhu, zabrinjava osobito za inženjere, jer je općenito svaka od spomenutih operacija zahtijevala još jedan instrument posebno konstruiran za nju, koji opet ima svoje vlastite konstante koje treba odrediti ponajprije stručnim pokusima. Bilo je poželjno posjedovati jedan instrument koji je tako uređen i opremljen potrebnim otporima da može poslužiti povremeno za svaku od tri razmatrane operacije. S ove točke gledišta konstruiran je univerzalni galvanometar koji će biti opisan“¹

¹ Journal of the Deutsch-Oesterr, Telegraphen, Vol XV, page 1, 1868



Sl. 4. Izvadci iz znanstvenog rada Augusta Rapsa o novom univerzalnom galvanometru 1897. godine objavljenom u časopisu Elektrotechnische Zeitschrift a) naslov rada b) fotografija instrumenta c) različite mjerne sheme

Dr. Raps u istom radu objašnjava prednosti tog „novog“ galvanometra u odnosu na „stari“. U tom objašnjenju se može saznati s kakvim su se poteškoćama morali suočavati inženjeri u 19. stoljeću da izmjere jednu od osnovnih mjernih veličina u elektrotehnici, a koje se danas bez puno poteškoća mogu izmjeriti sa „plug and measure“ instrumentima. Dr. Raps tako piše o nedostacima starog instrumenta koji su riješeni novim instrumentom:

„*Drugi instrument koji bih vam ovdje želio prikazati je novi univerzalni galvanometar tvrtke Siemens & Halske. Svatko od vas je vjerojatno radio sa starim univerzalnim galvanometrom koji je također vrlo koristan instrument s kojim se, unatoč njegovom vrlo kompliciranom načinu mjerenja, mogu izmjeriti slabe i jake istosmjerne struje. Činjenica da se ovaj instrument više ne koristi vjerojatno je iz razloga njegovog dugotrajnog i kompliciranog postavljanja. Budući da instrument ima astatične igle koje su obješene na svilenu nit, instrument se mora prije uporabe točno postaviti prema vertikali kao i prema magnetskom meridijanu. Osim toga, svilena nit vrlo lako puca; stoga se mora ugraditi brava. Na vrlo osjetljivi par igala također se lako može utjecati izvana, tako da je mjerenje vrlo teško ili nemoguće provoditi u blizini željeznih masa, magneta ili struja. Prigušenje instrumenta također je vrlo slabo, što znatno usporava mjerenje. Instrument ne dopušta izravna očitavanja; rezultat se mora dobiti izračunom ili očitati iz tablice dok se kod novijih instrumenata rezultat može odmah očitati što znatno olakšava korištenje instrumenta. Mjerenje napona kompenzacijskom metodom zahtijeva etalon napona i dugotrajne proračune. Kod mjerenja jakosti struje instrument se mora koristiti kao sinusna sabirница, što također dovodi do tako komplicirane metode mjerenja i proračuna da su se mjerenja struje univerzalnim galvanometrom vjerojatno rijetko provodila. Novi univerzalni galvanometar tvrtke Siemens & Halske izbjegava sve te pogreške.*

Tu treba napomenuti da je za mjerenje struje starim galvanometrom dr. Sie-

mens 1868. u svom opisu naveo „Za mjerenje jakosti struja instrument se jednostavno koristi kao sinusni galvanometar“, tako da je za mjerenje struje istim instrumentom od jednostavnog korištenja do komplicirane metode mjerenja i proračuna istim instrumentom prošlo tridesetak godina. Dr. Siemens za mjerenje napona starim instrumentom navodi sljedeće: „Mjerenje E.M.F. provodi se prema prof E. du. Bois-Raymondovoj modifikaciji Poggendorfove metode kompenzacije, u kojoj žica mosta služi kao Agometar“. Neka čitatelj ovog teksta pokuša razumjeti tu metodu mjerenja! Za mjerenje otpora dr. Siemens navodi: „Kako bi se mogli mjeriti veliki i mali otpori s vrlo velikom točnošću, dodane su vrijednosti od 1, 10, 100 Siemensovih jedinica (ponekad 10, 100, 1000 S.U.). Odabir ovih vrijednosti čini se tim više opravdanim, jer je u ljeto ove godine na međunarodnoj konferenciji održanoj u Beču Siemensova jedinica za otpor službeno međunarodno prihvaćena“. Iako se kratkotrajno za jedinica otpora koristio naziv Siemens, kasnije je jedinica ipak dobila ime po Ohmu, a Siemens je zaslužen dobio jedinicu za električnu vodljivost.

Akademik Lončar je vrlo brzo kupio i zrcalni galvanometar (slika 5) naveden u katalogu ispred „novog“ univerzalnog galvanometra pod rednim brojem 95.



Sl. 5. Zrcalni galvanometar u ponudi tvrtke Siemens&Halske 1906. godine i instrument u Središnjoj knjižnici FER-a

Već sam naziv instrumenta zbunjuje jer termin *galvanometar* npr. prema Hrvatskoj enciklopediji ali i drugim izvorima i literaturi označava „osobito osjetljiv mjerne električni instrument koji služi za mjerenje vrlo slabih struja i napona.“ Međutim Lončarev univerzalni galvanometar mjeri struje do 30 mA, sa poredbenim otporima do 30 A, napon do 150 V, može se spojiti u Wheatstoneov most s kliznom žicom i mjeriti otpor od 30 mΩ do 30 kΩ, te može mjeriti i otpor izolacije do 1 MΩ sa vanjskim izvorom napajanja od 110 V. Danas bi se na temelju mjernih karakteristika takav instrument prije nazvao „Univerzalni instrument“, ili multimetar nego univerzalni galvanometar. Josip Lončar je galvanometar kupio od tvrtke Jugoslavenski Siemens, AG

(nakon II. svjetskog rata tvrtka se razvila u Končar), koja je bila zastupnik njemačkog proizvođača Siemens&Halske. Uz instrument Lončar je kupio i poredbene otpore i to za 0,75 A, 3 A, 7,5 A i 30 A, a to su stavke u inventarskoj knjizi od 2-5. Lončar je stavke 1-5 u kasnijim zabilješkama vodio kao komplet univerzalnog galvanometra. Račun za univerzalni galvanometar je od 19. rujna 1922. godine (slika 6), a za poredbene otpore od 27. ožujka 1922. godine, što bi moglo sugerirati da su poredbeni otpori bili dostupni odmah, a da se univerzalni instrument čekao nekoliko mjeseci, moguće i zbog duge liste čekanja.

Redni broj	Opis	Količina	Cijena	Opisna
1	Univerzalni galvanometar Siemens & Halske L. No 17040 s priključnom napravom za poredbene otpore do 30 A sa sandučićem	1	12.470,-	Op. 1-14.2 Cijena otpora: 2.840,- L. No 17040
2	Poredbeni otpor za mjerenje struje do 0,75 A	1	420,-	Op. 1-9 L. No 17041-15 za otpor
3	Poredbeni otpor za mjerenje struje do 3 A	1	420,-	100416-24 100417 (27. III 1922.)
4	Poredbeni otpor za mjerenje struje do 7,5 A	1	545,-	
5	Poredbeni otpor za mjerenje struje do 30 A	1	640,-	Op. 10.144 L. No 17041-23 p = 0,2-30 A = 24.25-30 A (22. III 1922.)
6	Čep (3 poredbeni otporom i otporom)	1	420,-	
7	Čep s otporom L. No 17044	1	420,-	
8	Induktor L. No 17049	1	4200,-	
9	Telefon L. No 17051	1	490,-	
10	Male galvanometar s kuglom i poredbenim otporom L. No 10530	1	630,-	
11	Papirnatni kondenzator s metalnim kontaktima L. No 10941	1	55,-	
12	Wattmetar za jednofaznu struju 50 W, 100 V, 10 A L. No 11148	1	5415,-	Op. 12-14 L. No 11148-15 = 24.25-30 A (19. IV 1922.)
13	Galvanometar s lagalom i poredbenim otporom sa svim	1	9825,-	

Sl. 6. Inventarska knjiga Laboratorija za električna mjerenja, br. I. stranica I, redni br. 15. Univerzalni instrument Siemens&Halske

Cijena uređaja sa priključnom napravom za poredbene otpore i sandučićem iznosila je 12.470 dinara, a uz sam instrument nabavljena je i dodatna oprema, posebno shuntovi (ili poredbeni otpori kako ih je Lončar nazivao) te čepovi za mjerenje struje do 30 A u vrijednost 2.840 dinara. Ukupna je cijena takvog kompleta iznosila 15.310 dinara. Konverzijom u dolar prema tadašnjem tečaju, može se izračunati da je cijena uređaja iznosila oko 164 dolara. Uračunavši stopu inflacije, današnja cijena uređaja

bila bi oko 3000 dolara. Za usporedbu, u vrijeme kupnje tog uređaja cijena popularnog Fordovog 5-Touring modela je iznosila 393 dolara.



Sl. 7. Ford T-touring model iz 1922. godine

Univerzalni instrument u laboratorijskim vježbama na predmetu Električna mjerenja kod Josipa Lončara

Josip Lončar je već 1923. godine krenuo sa organizacijom nastave iz predmeta Električna mjerenja, a uz predavanja organizirao je i vježbe, pa je razumljivo da je za svoju prvu vježbu koristio Univerzalni galvanometar S&H i to u spoju za Wheatstoneov most, slika 9c. Ta vježba se održala preko 50 godina na broju 1. popisa laboratorijskih vježbi iz Električnih mjerenja. Tako npr. u pronađenoj ostavštini Josipa Lončara za akademsku godinu 1938/39 može se vidjeti organizacija laboratorijskih vježbi ali i informacija da je zajednička laboratorijska vježba br. I Univerzalni instrument spojen kao Wheatstoneov most (slika 8).

ELEKTRIČNA MJERENJA I - 1938/39

Pokazivači:	Kalata	Zmajenici	Libonjak	Fleškov	Krajo	Stavica
Falić						
Moravec						
Grupa:	A	B	C	D	E	F
Kupan		Pavličić		Štefan		
Peršev		Šček		Števanović		
Kemper		Jela		Indjarević		
Sebetz		Čigala		Čoprelec		
Grupa:	D	E	F	G	H	I
Pižli		Šurlevid		Šušid		
Brazović		Fabry		Vinković		
Šlesović		Sertić		Vilišić		
Freiberger		Šimono		Šenarić		
Grupa:	G	H	I	J	K	L
Nikolić		Šušid		Šušid		
Tomčić		Šušid		Šušid		
Trpić		Šušid		Šušid		
Sebastian		Šušid		Šušid		

Vježbe radjene po shemi:

I (zaj. s univ. g. kao W.B.M.), III i V u tri subote
 Zašto došao prekid zbog izbora u Mar. skupšt. itd.
 Nastavljeno u siječnju 1939 ovako: dnel 4. I. zajedni-
 ski (trirat 04.00 do 15.20, 15.20 do 16.40 i 16.40 do 18.00)
 vježba IV, zatim vj. VI, te konačno spokružena (samo pokazano, bez pokusa) tj. I
 Onda u dvije subote (po tri puta u 2 grupe) radjeno K i IX+VIII, konačno: Jednom

Kranik

Sl. 8. Listić s organizacijom laboratorijskih vježbi iz predmeta Električna mjerenja u akademskoj godini 1938./1939 gdje se vidi I vježba Univerzalni instrument spojen kao Wheatstoneov most



Sl. 9. Univerzalni galvanometar korišten kao Wheatstoneov most na I vježbi kod Josipa Lončara iz predmeta Električna mjerenja (EM) u ak. godini 1938./1939. a) vanjski izgled, b) pogled s gornje strane, c) spoj instrumenta kao Wheatstoneov most za I. vježbu iz EM

Jedna od najpoznatijih fotografija Lončara i njegovih studenata prikazuje profesora Lončara i njegove studente dvadesetih godina prošloga stoljeća (slika 10a), a

ako se pažljivije pogleda može se vidjeti kako dvojica studenata s lijeve strane rade s Univerzalnim galvanometrom pod budnim nadzorom akademika Lončara, slika 10b. S obzirom na potrebne proračune dobro bi im došao kalkulator ili mobitel, ali na raspolaganju im je bila samo bilježnica i olovka.



Sl. 10. a) Josip Lončar - četvrti s lijeva sa svojim studentima, b) detalj prikazuje studente koji rade sa univerzalnim galvanometrom

Univerzalni instrument u „zavodskom životu“ kod Josipa Lončara

U svojim je dnevnicima Lončar opisivao rad s instrumentom, različita mjerenja, slanje instrumenta na popravak i kako on to sam naziva, „adjustiranje“. Sljedećim izvadcima iz dnevnika ne trebaju dodatna objašnjenja jer profesor Lončar na jasan način objašnjava svu tadašnju problematiku, slika 11.

2) *Agrostis nemoralis* (L.) Gauss. (L. 1800, -)

9.11.34. 378
Kijeracija na Univ. galvanometru B. & H. koji je nepoželjan, g. Mayera Drag. kod vježbi dne 3.11. bio preopterećen protivnom (negat.) strujom i uslijed toga mu je osjetljivost pala za znatan iznos (navršeno točno nije međutim već ni prije toga bio adjustiran, nego samo uglavnom). Radio sam tako da sam isporodio Univ. g. kao voltmetar do 0.150V sa podacima uravno dense i tvornice prispjeloga Multavi II (= strana!); a zatim sam opet depove na Univ. g. tako usmrtio da je nastao zamjetan pomjerak do 0.15 ampera. Evo rezultata po mogućnosti pošto snimalah (područje skale na Multavi II uzeo već prema tomu, da otklon dođe na zgodno mjesto):

a) Kjeracija 0-150V podr. b) Kjeracija 0-15A-područje

Shema Shema

Amper. 0-150V podr. oko -

Amper. 0-15A podr. oko -

Rezultati: (pokr.)

Multavi II (= Univ. pokazivač)	4.10	4.15	4.18
Pogreska (aps.)	4.10	2.65	5.1
Pogr. u %	3.5%	2.5%	5.0%
Prosje. % pogr.	4.7%		

Rezultati: (pokr.)

Multavi II (= Univ. pokazivač)	4.10	4.15	4.18
Pogr. (aps. i n.)	4.10	2.65	5.1
Pogr. u %	3.5%	2.5%	5.0%
Prosje. % pogr.	4.7%		

Ovi podaci snimaljeni su kao kontrole vrijednosti zb. isporobed (nakon adjustiranja univ. galvanometra koje bi imalo deska da bude provedeno ovo da biti vrlo interesantna isporobed).

[illegible][illegible]

43-3-37 199

Rezultati usporedbe univerzalnoga galvanometra
SAM s normalnim C-1-klasa instrumentom IAB od
DIB-a (dne 23.3.37.):

Provjera korekcija koje se iznađu algebarski
dodati očitanim vrij. na univ. g. bile bi (u
koliko je sjezanja kod instrumenata koji su
brevi i kod promjenjivih pogonkih prilika upo-
stano):

	Korekcija:	
Voltmetar: C-150 V	-1,3%	Vrijednosti u zagr. su za 1000 V
C-15 V	-1,3%	
Ampermetar: C-0,150 A	-1,3%	
C-0,75 A	-1,3%	
C-1 A	-1,3%	
C-7,5 A	-1,3%	
C-30 A	ca. +1% (neizgorno)	

(Lab. dn. 309).

gov. Nije se upotrebljavala metoda
korekcije, ali se može koristiti
metoda 1)

Sl. II. Izvadci iz laboratorijskog dnevnika Josipa Lončara o univerzalnom galvanometru.

Univerzalni galvanometar kao glavna „zvijezda“ Noći muzeja održanog na FER-u 2025. godine

Univerzalni galvanometar se za potrebe Noći muzeja ponovo pokrenuo u prostorijama Središnje knjižnice u sklopu pokazivačke radionice „Kako su mjerili naši stari“, a studenti i ostala zainteresirana javnost su tom prilikom mogli isprobati kako je to mjeriti na instrumentu starom čitavo stoljeće. Uz sam instrument, posjetitelji su mogli uživati u izložbi koja kontekstualizira povijesni period početka proizvodnje Univerzalnog galvanometra i početka njegova „života“ na Zavodu.



Sl. 12. Univerzalni instrument u „akciji“ na Noći muzeja.



Sl. 13. Profesor Dušan Vujević, Lončarev student i kasniji profesor Mjerenja u elektrotehnici (MUE) objašnjava studentima kako je izgledalo studiranje u njegovo vrijeme.



Sl. 14. Profesori Zavoda za osnove elektrotehnike i električkih mjerenja okupljeni oko instrumenta, slijeva na desno Ivan Leniček, Dušan Vujević, Roman Malarić i Luka Ferković

Zaključak

Kako to uvijek i biva, sjećanja vremenom blijede. Izgubio se trag i instrumentu i zapisima u dnevnicima. Sve do jednog dana kad se pojavio u vitrini Središnje knjižnice Fakulteta, baš u vrijeme pisanja Spomenice za 100 godina Zavoda za osnove elektrotehnike i električna mjerenja. U potrazi za vizualno privlačnim starim in-

strumentima FER-a, upravo je galvanometar pronašao svoje mjesto na polici vitrine. Ovaj instrument izrađen od mjedi, stakla, škrljevca, manganina i platine izgubivši svoju tehničku i mjernu funkciju u davnim predavanjima i laboratorijskim vježbama profesora Lončara, oživljen je isprva kao puki dekorativni predmet. Zbog svoje je starosti i ljepote također bio izložen kao jedan od eksponata na izložbi „Zavodske crtice“ u sklopu proslave stogodišnjice spomenutog zavoda. Da kojim slučajem njegov izumitelj August Raps nije naslijedio dar za dizajnom od svog oca slikara i bio majstor znanstvene i tehničke umjetnosti vjerojatno se taj instrument ne bi našao na policama kao eksponat a tada ne bi bilo niti ovog rada. Osim što krasi police, ovaj instrument nikako nije isključivo estetske naravi. Služio je, naime, u obrazovanju brojnih mladih elektrotehničara, a po svojoj složenosti i mogućnostima s pravom bi se mogao nazvati „univerzalnim instrumentom“. S obzirom na njegovu ljepotu, dugu povijest korištenja, svestranost u mjerenju te činjenice kako je upravo on prvi službeno zabilježeni instrument spomenutog Zavoda, a time moguće i cijelog FER-a, u ovom je radu opisana njegova povijest i „zavodski život“.

Literatura:

1. Katalog Siemens 1906 godine
<https://www.historische-messtechnik.de/downloads/siemens-katalog---deutsches-museum-1906.pdf>
2. August Raps, članak o Univerzalnom galvanometru, *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1897. Godina, stranica 196-201
Elektrotechnische Zeitschrift. ETZ : Verband Deutscher Elektrotechniker : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive
3. Präzisions-Galvanometer Galvanometro di precision, https://www.radiomuseum.org/r/siemens_praezisions_galvanometer_galvanometro_di.html
4. Biografija August Raps,
<https://dingler.bbaw.de/articles/ar335023.html>
5. Tehnička visoka škola (1919–26) i Tehnički fakultet (1926–56) u Zagrebu – temelji suvremenoga razvoja tehnike u Hrvatskoj
<https://hrcak.srce.hr/file/321207>
6. Galvanometar, Hrvatska enciklopedija,
<https://enciklopedija.hr/clanak/galvanometar>
7. Prof. Zlatko PLENKOVIĆ, RAZVOJ I BUDUĆNOST INDUSTRIJE ELEKTROENERGETSKI POSTROJENJA U HRVATSKOJ, <https://www.croatianhistory.net/etf/plenkovic2.html>

Roman Malarić, Melita Turković, Petar Mostarac

UNIVERSAL GALVANOMETER OF SIEMENS & HALSKE – THE FIRST INSTRUMENT OF ACADEMICIAN LONČAR

Summary: The paper describes the measuring instrument *Universal Galvanometer* manufactured by Siemens & Halske, which was purchased by Josip Lončar in 1922 and introduced into the Inventory Book of the Laboratory for Electrical Measurements. The Inventory Book comprises a total of 630 measuring devices and auxiliary equipment, and under the ordinal number 1 there is the *Universal Galvanometer*, a device produced in 1897. The paper presents the measuring device itself, its inventor Dr. August Raps, and the use of this device in laboratory exercises and the experimental work of Josip Lončar as shown in Lončar's laboratory diaries and other supporting documents.

Keywords: Josip Lončar, electrical measurements, universal galvanometer

Roman Malarić, Melita Turković, Petar Mostarac

MJERNA JEDINICA ZA MAGNETSKU INDUKCIJU IMENOVANA PO NIKOLI TESLI – KRONOLOGIJA, ZASLUŽNI ZNANSTVENICI I LONČAREV DOPRINOS

Sažetak: U ovom će se radu kronološki opisati postupak uvrštenja jedinice tesla u međunarodni popis mjernih jedinica, imenovati zaslužni znanstvenici i stručnjaci koji su, sudjelujući u tome takav projekt i podržali. Kroz prikaz novinskih članaka i Lončarevih izvješća o sudjelovanju na sastanku Međunarodnog elektrotehničkog povjerenstva održanog u Opatiji 1953. godine., opisati će se rad Josipa Lončara na području međunarodne standardizacije mjernih jedinica te prikazati njegov doprinos imenovanju mjerne jedinice za magnetsku indukciju po Nikoli Tesli. Također će se opisati i popularno znanstveni te stručni radovi Josipa Lončara iz područja standardizacije mjernih jedinica.

Ključne riječi: Jedinica za magnetsku indukciju tesla, IEC, CGPM

Uvod

Nikola Tesla, jedan od najvećih hrvatskih znanstvenika, rodio se u selu Smiljanu. Svoje primarno i formalno obrazovanje počeo je i završio u Hrvatskoj (dio tadašnje Austro-ugarske). Daljnje školovanje i rad nastavio je u Pragu, Grazu, Budimpešti, Mariboru, Parizu i Strasbourgu nakon čega se zaputio u SAD gdje je ostvario veliki uspjeh i priznanja na području elektrotehnike, sa preko 300 patenata. Zbog iznimno plodnog znanstvenog rada, a posebno za izum indukcijskog motora, jedinica magnetske indukcije imenovana je upravo po njemu. Time se pridružio malobrojnim znanstvenicima u svijetu po kojima su imenovane pojedine mjerne jedinice.

Dvije organizacije u svijetu su se povijesno brinule o mjernim jedinicama:

Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo (engl. *International Electrotechnical Commission, IEC*) za jedinice u području elektrotehnike i Opća konferencija za mjere i utege (franc. *Conférence générale des poids et mesures, CGPM*) koja danas ima zadnju riječ u odlučivanju. Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo osnovano je 1904. godine kako bi donosilo i usklađivalo uporabu međunarodnih standarda IEC-a širom svijeta radi osiguranja sigurnosti, učinkovitosti, pouzdanosti i interoperabilnosti električnih, elektroničkih i informacijskih tehnologija. Rad IEC-a je organiziran po specijaliziranim tehničkim odborima (engl. *Technical committee, TC*) od kojih je TC 24 bio zadužen za imenovanje i prijedloge električnih i magnetskih veličina i jedinica. Tehnički odbori sastoje se od predstavnika nacionalnih odbora koji su zainteresirani za temu o kojoj se u njemu raspravlja. Svaki tehnički odbor ima predsjednika i tajništvo za koje je zadužen jedan od nacionalnih odbora koji se brine o radu tog Odbora. Tajništvo TC 24 bilo je dodijeljeno francuskom nacionalnom odboru. TC 24 je bio zaslužan za usvajanje »Giorgijevog« sustava mjernih jedinica koji je temelj i današnjeg SI sustava međunarodnih jedinica, zatim za imenovanje jedinice snage po Newtonu, imenovanje jedinice jakosti struje po Amperu te odabir Ampera kao četvrte osnovne jedinice novog sustava mjernih jedinica. Preporuku određenog TC-a koja je ratificirana od najmanje četiri petine nacionalnih odbora poslije pisanog glasanja u šestomjesečnom postupku, objavljuju se kao preporuke IEC-a koje obvezuju sve zemlje da, u granicama koje im to domaći uvjeti dopuštaju, usklade svoje nacionalne standarde sa ovim preporukama.

Opća konferencija za utege i mjere (CGPM) je međunarodna organizacija osnovana 1875. godine potpisivanjem Konvencije o metru putem koje države članice djeluju zajedno u pitanjima koja se odnose prema znanosti o mjerenju i mjernim jedinicama. CGPM se sastoji od predstavnika vlada država članica i promatrača iz pridruženih članica CGPM-a. Odluke CGPM-a su obvezujuće za sve članice potpisnice konvencije o metru. Jedinica za magnetsku indukciju tesla konačno je prihvaćena na XI. sastanku Opće konferencije za mjere i utege održanom 1960. godine u Parizu, a u ovom radu opisati će se postupak uvrštenja u popis onih jedinica koje su odobrene na tom sastanku. Uvođenje jedinice tesla, osim što je prošlo proceduru kroz dvije različite organizacije, moralo je pozitivno odgovoriti na dva odvojena pitanja:

- a) Treba li uopće posebno ime za jedinicu magnetske indukcije u okviru novog SI sustava?
- b) Ako je odgovor na prvo pitanje pozitivan, je li tesla prikladan naziv?

Pokazati će se da je prva prepreka bila teža za savladati. Procedura u okviru IEC-a je trajala od 1953. do 1956. godine, a procedura u okviru CGPM-a od 1956. do 1960. godine. Dok za sjednice Međunarodnog odbora za mjere i utege (engl. *International Committee for Weights and Measures, CIPM*) i CGPM-a postoje transkripti

i zapisnici, pa je jednostavno saznati što se događalo na sastancima, za IEC sastanke takvi dokumenti ne postoje pa su korišteni drugi dostupni izvori. Prije odgovora na dva gornja pitanja, trebalo je prvo pronaći jednu od preostalih neimenovanih mjernih jedinica, a da je prikladna za Nikolu Teslu. Profesor fakulteta elektrotehnike u Beogradu i sudionik tih događaja, Aleksandar Damjanović, u razgovoru za studentski časopis »Elektron«¹ objašnjava: „Trebalo je naći takvu veličinu koja bi odgovarala u svakom pogledu – ta jedinica bi trebala biti jedinica za jednu od fundamentalnih veličina u elektrotehnici, da bude u što bližoj vezi sa najvažnijim otkrićima Nikole Tesle, da se često upotrebljava i da za nju postoji dovoljno uvjeta i razloga da joj se da posebno ime“. Profesor Damjanović dalje objašnjava kako su još od tridesetih godina 20. stoljeća različite jedinice bile razmatrane za jedinicu tesla, ali da se tek u razgovoru dva člana Državnog odbora za proslavu 100 godina rođenja Tesle sa francuskom znanstvenicima i stručnjacima (1952. godine) došlo do jedinice za magnetsku indukciju kao najprikladnije da se imenuje po Nikoli Tesli. Naime, ta je jedinica zadovoljavala sve gore navedene uvjete, fundamentalna je veličine, često se upotrebljava i u uskoj je vezi sa Teslinim otkrićima, posebno sa indukcijskim motorom.

Za analizu cijelog procesa unutar organizacija IEC i CGPM koristila se sljedeća dokumentacija: Članci iz časopisa »Standardizacija«, Savezne komisije za standardizaciju od 1950.-1956. vezano uz organizaciju i sastanke IEC-a i Jugoslavenskog komiteta za elektrotehniku (JEK), razgovor s akademikom Lončarem za Vjesnik o skupu IEC-a u Opatiji 1953. godine, tekst Miodraga Ranojevića, člana TC 24 JEK-a o susretu IEC-a u Opatiji, objavljenog u časopisu »Nova misao« 1953. godine, izvješće akademika Josipa Lončara o sudjelovanju na skupu IEC-a u Opatiji 1953., dopis akademika dr. Milana Bartoša akademskom savjetu FNRJ o posjeti profesora Pavla Miljanića i Aleksandra Damjanovića iz 1954. godine, transkripti i zapisnici sastanaka CIPM-a i CGPM-a od 1956. do 1960., sjećanja profesora France Avčina, napisana 1976. godine za simpozij o Nikoli Tesli², razgovor profesora Aleksandra Damjanovića, predsjednika JEK-a u studentskom listu Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu »Elektron« 49, 1975. godina i znanstveni rad Spaić&Spiridonović objavljen 2006. godine te više članaka na novinskim portalima.

Osnivanje Jugoslavenskog elektrotehničkog komiteta, Državnog odbora za proslavu stogodišnjice rođenja Nikole Tesle i priprema sastanka IEC-a u Opatiji 1953. godine

Savezna komisija za standardizaciju (SKS) 1950. godine je podnijela zahtjev za članstvo u IEC-u. Zahtjev je odobren već iduće godine te je odlučeno da se 1952.

¹ <https://www.etf.bg.ac.rs/uploads/files/strane/fakultet/Casopis%20Elektron/Elektron%2049.pdf>

² <https://www.croatianhistory.net/etf/teslaa.html>

godine osnuje nacionalni odbor nazvan Jugoslovenski elektrotehnički komitet (JEK) koji će djelovati kao savjetodavno tijelo SKS-a. U isto vrijeme osnovan je i Državni odbor za proslavu stogodišnjice rođenja Nikole Tesle koje se trebalo održati 1956. godine. Nekoliko znanstvenika i stručnjaka bili su članovi i TC 24 JEK-a i Odbora za proslavu stogodišnjice rođenja Nikole Tesle. To su bili akademik Josip Lončar, profesor Aleksandar Damjanović, Pavle Miljanić i Vladimir Žepić. Državni odbor je 1952. godine odlučio učiniti sve što je u njegovoj mogućnosti kako bi jedna od mjernih jedinica u elektrotehnici nosila ime Nikole Tesle. Kako su se nakon 2. svjetskog rata ustalili godišnji sastanci IEC-a na kojima su se donosile važne odluke po pitanju mjernih jedinica, u tom cilju Privredni savjet Vlade FNRJ složio se sa prijedlogom da SKS uputi poziv IEC-u da svoj idući sastanak u 1953 god. održi u Opatiji. Na tom bi se sastanku, između ostalog, podnio prijedlog za imenovanjem jedinice po imenu Nikole Tesle. Ova ponuda usvojena je jednoglasno na sjednici akcijskog komiteta, održanog na godišnjem zasjedanju IEC-a, u rujnu 1952. godine u Scheveningenu, Nizozemska. Profesor Damjanović objašnjava da su tada od IEC-a postavljena dva pitanja: Može li Jugoslavija organizirati takav događaj i može li garantirati da će svi sudionici dobiti vize? Na prvo pitanje Damjanović je odgovorilo pozitivno jer je znao za mogućnosti grada Opatije da organizira takav događaj, a za drugo ga je slovenski kolega France Avčin morao ohrabriti povlačenjem za kaput: „Kažite da možete“ iako se to, naravno, nije moglo znati u vrijeme hladnog rata. Osim Avčina i Damjanovića, na sastanku u Scheveningenu u delegaciji Jugoslavije bio je i akademik Josip Lončar.

Na osnivanju JEK-a u veljači 1953. godine u Beogradu, sudjelovali su i profesori tadašnjeg Tehničkog fakulteta u Zagrebu. Bili su to Božidar Stefanini i Vladimir Žepić, dok se Josip Lončar ispričao zbog bolesti. U izvršni odbor JEK-a iz Hrvatske su izabrani ing. Borivoje Baranović iz Instituta za elektroprivredu i ing. Vojno Kundić iz Rade Končara, dok je Vladimir Žepić već ranije odabran da vodi Organizacijski odbor sastanka IEC-a u Opatiji. Vladimir Žepić je na osnivačkoj skupštini obavijestio prisutne o tijeku priprema za sastanak IEC-a u Opatiji i predložio organizacijski odbor: prof. Aleksandar Damjanović, ing. Borivoje Baranović (dir. Instituta za elektroprivredu — Zagreb), ing. Herman Mattes (predsjednik DIT-NRHE), ing. Stjepan Hankonji, ing. Zlatko Petrović (»Rade Končar«), dr. Božidar Smoldaka (Generalni direktor »Jadrolinije« Rijeka), Mirko Gotić (predsjednik Narodnog odbora Opatija), Vojko Pekić (pročelnik Biroa za turizam Opatija), Vladimir Budanko (DIT-Split), ing. Emerik Blum (»Elektroprojekt« — Sarajevo), ing. Gojko Aćimović (SKS-Beograd), ing. Branko Vajda, i ing. Drago Matanović (Elektrotehničko društvo LRS). S obzirom da je predsjednik organizacijskog odbora ing. Vladimir Žepić stanovao u Zagrebu, zbog praktičnih razloga sjedište organizacijskog odbora sastanka IEC-a u Opatiji je bilo smješteno u Zagrebu u Institutu za elektroprivredu koji je osigurao potrebne prostorije za rad. Na sastanku je Žepić pročitao program sastanka u Opatiji i naveo da je

taj program već usvojen od Sekretarijata IEC-a u Ženevi.

Profesor Vladimir Žepić je od 1948. - 1952. godine bio predstojnik Zavoda za visoki napon i energetiku na Tehničkom fakultetu, ali je zbog političke nepodobnosti bio protjeran s Fakulteta na kraju akademske godine 1951/52.³

U tehničke odbore JEK-a ušlo je nekoliko tadašnjih ili kasnijih profesora sa Tehničkog fakulteta u Zagrebu. U TC 1 Terminologija ušli su prof. Božidar Stefanini, Josip Lončar i Tihomir Jelaković, u TC 2 član je postao Vojislav Bego, u TC 13 Mjerni instrumenti ušli su profesori Josip Lončar i Vladimir Muljević. U najvažniji odbor koji se tiče ovog rada, TC 24, ušli su akademik Josip Lončar i ing. Tomo Bosanac. Bosanac i Lončar su dva od tri akademika sa Zavoda za osnove elektrotehnike i električka mjerenja (ZOEM) današnjeg Fakulteta elektrotehnike i računarstva (FER). Treći je akademik bio Vojislav Bego koji je bio član u TC 2. Za sastanak u Opatiji u časopisu »Standardizacija«, u svibnju 1953. godine objavljeno je kako će se u Opatiji održati sastanci šest tehničkih odbora, šest pododbora i tri Odbora eksperata. Naknadno su sazvana još dva sastanka Odbora eksperata, pa se tako u Opatiji na kraju održao i sastanak Odbor eksperata Tehničkog odbora 24 na kojem se dao prijedlog o tesli kao jedinici za magnetsku indukciju.

Imenovanje jedinice za magnetsku indukciju po Nikoli Tesli u okviru Međunarodnog elektrotehničkog povjerenstva (IEC)

Na sastanku IEC-a održanog u Opatiji 1953. godine, bilo je 327 izaslanika iz 17 zemalja, od toga 69 iz tadašnje države. Na sastanku je sudjelovao i akademik Josip Lončar kao predstavnik tadašnje akademije znanosti i umjetnosti (JAZU), ali i drugi profesori i budući profesori sa ETF-a. Bili su to Lončarevi učenici i asistenti, npr. Božidar Stefanini, Milan Moravec, Zlatko Plenković, Boris Belin i Milan Cvjetičanin. O sastanku postoji detaljno izvješće u časopisu »Standardizacija« u kojem je cijeli broj 8/1953 posvećen upravo tom događaju. Kroz tehničke odbore raspravljalo se i o važnim pitanjima poput debljine izolatora, šumu u ugljenim otpornicima i karakteristikama papirnatih kondenzatora dok se o jedinici magnetske indukcije razgovaralo 29 i 30. lipnja 1953. godine na sastanku Ekspertnog odbora TC 24. U znanstvenom radu Spaić&Spiridonović navodi se: „*Belgrade Electrotechnical Faculty professors directed by prof. Pavle Miljanić and prof. Aleksandar Damjanovic, made a proposal with an explanation for giving the name “tesla” to the magnetic induction unit, and defended it at the Experts Committee TC 24 Session.*“

Obrazloženje prijedloga o posebnom imenu za tu jedinicu navedeno je dalje u tom radu:

³ https://www.fer.unizg.hr/zvne_old/povijest/nastava

“The definition for the magnetic flux density is the density per unit surface so that expression Wb/m^2 (weber per square meter) may seem sufficient for the unit in Giorgi’s System (MKSA). The other definition is based on the law describing the induction phenomena, and gives the unit Vs/m^2 (volt second per square meter). However, the definition given in the second edition of the International Electrotechnical Vocabulary (term 05-25-035) is based on the law by which the conductor having the length l through which current I flows is exposed to a force F , if it is placed in a field whose magnetic flux density is B . This definition is more direct and leads to the presentation of the unit in Giorgi’s System by the expression N/mA (Newton per meter ampere), which is, being composed of three units, too long and impractical in teaching, and it is not convenient for the ones who use it often in their work. Hence, the need appeared naturally-similar to the magnetic flux density unit “gaus” in the Electromagnetic System CGS for a new name for magnetic induction unit in Giorgi’s System.”

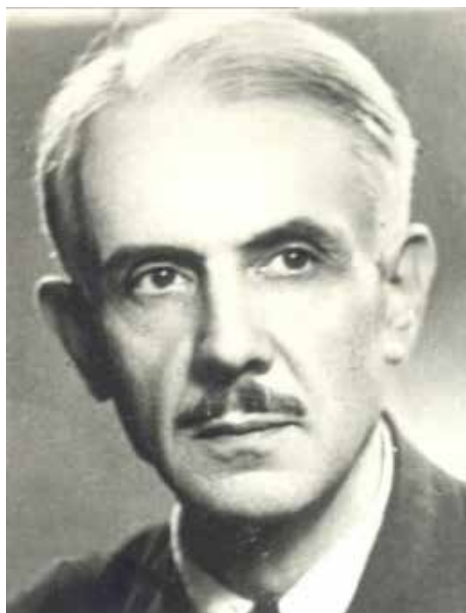
Međutim, već na prvi pogled vidi se da to obrazloženje nije uopće vezano uz davanje imena tesla jedinici magnetske indukcije kako su naveli autori Spaić&Spiridonović, nego je vezano samo uz prijedlog da se jedinici magnetske indukcije dodijeli posebno ime. Bruce Barrow u članku „*IEEE takes stand on units*“, iz 1966. godine navodi kako je najvažnije točke Miljanićevog obrazloženja naveo francuski znanstvenik Paul Jenet 1930. godine, prilikom odlučivanja o jedinici Gauss za magnetsku indukciju u CGS sustavu mjernih jedinica. Jenet je tada argumentirao da je jedinica za magnetsku jedinicu maxwell po kvadratnom centimetru točna, ali preduga te da postoji potreba za posebnom jedinicom⁴. Miljanićevo obrazloženje je bilo predmet rasprave 2023. godine u tjedniku NIN u rubrici pisma čitatelja.⁵ Miljanićev sin Mihailo P. Miljanić tako u tekstu „Što hoće Koruga“ navodi „*Reč je o zaslugama za davanje magnetskoj indukciji Teslinog imena. Koruga, naime, tvrdi da je to zajednička zasluga profesora beogradskog Elektrotehničkog fakulteta Pavla Miljanića i Aleksandra Damjanovića. Nimalo ne umanjujući izvestan udeo u tome i prof. Damjanovića, podsećam na obrazloženje predloga (19. 6. 1972) da se prof. Miljaniću dodeli titula počasnog doktora Beogradskog univerziteta.*“ Miljanić zatim navodi obrazloženje za dodjelu počasnog doktorata Beogradskog univerziteta njegovom ocu: „*Od 1952. godine pa sve do uspešnog okončanja ove međunarodne akcije prof. Miljanić je vrlo aktivno učestvovao, naročito kao član jednog užeg radnog odbora u okviru Tehničkog odbora Međunarodne elektrotehničke komisije za elektromagnetne veličine i jedinice. Tu je on, još 1953. godine, u vidu pismenog i usmenog referata (na sastanku*

⁴ <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5216746> <https://www.jstor.org/stable/1627645?seq=1>

⁵ <https://www.nin.rs/arhiva/vesti/7679/insinuacije-petra-miljanica> <https://www.nin.rs/arhiva/vesti/7835/sta-hoce-koruga>, <https://www.nin.rs/arhiva/vesti/7628/korugine-neistine>

te Komisije u Filadelfiji – pr. a.), izneo teorijske razloge za davanje posebnog imena praktičnoj jedinici magnetske indukcije, protiv čega su tada bili mnogi ugledni elektrotehničari u svetu... Tu su snaga argumenata i međunarodni naučni ugled profesora Miljanića odigrali odlučujuću ulogu (podvukao autor ovog reagovanja)“. Međutim, u popisu počasnih doktorata Beogradskog sveučilišta navodi se da je počasni doktorat uz profesora Miljanića iste 1973. godine dobio i profesor Damjanović⁶.

Profesor Pavle P. Miljanić (slika 1) bio je crnogorski znanstvenik i sveučilišni profesor u Beogradu koji je cijelo svoje školovanje obavio u Švicarskoj i Francuskoj zbog čega je vrlo dobro poznao francuski jezik. Potiče iz ugledne obitelji, otac Petar Miljanić bio je poznati utemeljitelj medicinske znanosti u Crnoj Gori, a brat Niko također liječnik, poznat po tome što je posvojio i odgojio jednog od najvećih šahovskih velemajstora svih vremena Svetozara Gligorića. Pavle P. Miljanić je između ostalog pomogao i osnivanje Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici⁷. Nikin sin, Petar Miljanić, je krenuo stričevim putem i postao akademik nakon briljantnih znanstvenih rezultata iz područja preciznog mjeriteljstva, radeći između ostalog u SAD-u na strujnim komparatorima.



Slika 1 profesor Pavle Petrov Miljanić⁸

⁶ <http://arhiva.rect.bg.ac.rs/sr/nauka/pocasni-doktorati.php>

⁷ <https://jee.ucg.ac.me/index.php/files/article/view/215/88>

⁸ <http://www.miljanici.me/latinica/pavle-petrov/>

Ostaje pitanje tko je dao prijedlog da se jedinica magnetske indukcije imenuje po Nikoli Tesli? Akademik Josip Lončar koji je sudjelovao na susretu IEC-a u Opatiji u svom razgovoru za Vjesnik, što je vidljivo na slici 2, u srijedu od 22. srpnja. 1953. godine, mjesec dana nakon samog događaja navodi da su na sastanku ekspertne skupine TC 24 bili prisutni prof. Miljanić, zajedno sa još pet eksperata, iz Švicarske, Engleske, SAD-a, Njemačke i Francuske. U tom razgovoru Lončar dalje navodi kako je na tom sastanku prof. Miljanić iznio i argumentirao stajalište da jedinici za magnetsku indukciju treba dati posebno ime, dok je **francuski akademik Georges Jean-Marie Darrieus dao prijedlog da se jedinica nazove po Nikoli Tesli** s čime su se ostali članovi ekspertne skupine složili bez puno rasprave. Lončar dalje navodi da je na tom sastanku odlučeno i da se francuski prijedlog o imenovanju jedinice za magnetsku indukciju po Nikoli Tesli uputi nacionalnim odborima te će se nakon njihovih odgovora o tome odlučiti na sljedećem zasjedanju u Philadelphiji sljedeće, 1954. godine. Informacija o francuskom predstavniku Darrieusu iz Lončarevog razgovora za Vjesnik je zapravo i bila glavna motivacija za ovaj rad jer brzom pretragom na internetu na wiki stranicama jedinice za magnetsku indukciju tesla, osobe zaslužne za prijedlog su ili France Avčin ili profesori Miljanić i Damjanović. Spaić&Spiridonović također spominju samo zadnju dvojicu.

Međutim, u tom novinskom članku potkrao se tipfeler, koji nije omogućio da se brzo pronađe tko je bio francuski akademik zaslužan za imenovanje jedinice tesla. Radilo se zapravo o akademiku Georgesu Darrieusu, a ne Darrieuxu kako je pisalo u novinskom članku.

Akademik Darrieus (slika 3) bio je poznati francuski znanstvenik iz područja elektrotehnike koji je imao važnu ulogu u francuskoj energetici, osobito na izgradnji velikih distribucijskih elektroenergetskih mreža, zbog čega je zasigurno dobro poznavao Teslin rad. Darrieus je ipak možda najpoznatiji po otkriću vertikalne vjetroturbine, nazvane po njemu, a francuskim akademikom postao je 1946. Bio je i društveno aktivan pa je tako predsjedao francuskim društvom elektrotehničara, zatim društvom znanstvenika i inženjera te društvom prijatelja André-Marie Ampère. Za zasluge u I. svjetskom ratu nositelj je uz brojne strukovne nagrade i legije časti. Kao takav imao je zasigurno veliku „težinu“ da on objavi prijedlog da mjerna jedinica za magnetsku indukciju bude imenovana po Nikoli Tesli.



Slika 3 Georges Darrieus, francuski akademik koji je 1953. dao prijedlog da se mjerna jedinica imenuje po Nikoli Tesli

Na sastanku ekspertne skupine TC 24 u Opatiji, Darrieus je također raspravljao i o jedinici za magnetsko polje Ersted (Oe) u starom CGS sustavu jedinica i detaljno iznio svoje gledište da polje od 1 Oe ima potpuno određeno značenje i da se ono ne može izmijeniti nikakvih načinom racionalizacije. Nakon rasprave o nazivu novog sustava jedinica, nakon koje je predložen naziv „Giorgijev sustav jedinica“ došlo se i do rasprave o imenovanju jedinice za magnetsku indukciju. Akademik Darrieus predložio je upravo Teslu za jedinicu magnetske indukcije, dok je profesor Miljanić sastavio pisano obrazloženje za davanje posebnog imena toj jedinici. To je obrazloženje dostavljeno svim članovima ekspertne skupine prije samog sastanka Ekspertne skupine. Predsjednik Odbora Max Landolt je podsjetio da je to pitanje bilo već razmatrano na sastanku u Parizu 1950. godine, a profesor Damjanović navodi da je Max Landolt tada predložio dva imena za tu jedinicu, Kennely ili Giorgi.

Arthur Edwin Kennely⁹ bio je američki akademik, profesor na Harvardu sa značajnim otkrićima u području elektrotehnike i jedan od osnivača IEC-a, dok je Giovanni Giorgi¹⁰ bio talijanski znanstvenik koji je prvi predložio novi sustav jedinica. Moglo bi se reći da je Tesla imao dosta jaku konkurenciju. Ipak, francuski predstavnik Darrieus je u Opatiji obrazložio svoj prijedlog za imenovanje te jedinice po Nikoli Tesli, a njemački kolega Ulrich Stille je i podržao taj prijedlog. Na sastanku su pri-

⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Arthur_E._Kennelly

¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Giovanni_Giorgi

sustvovali uz članove ekspertne skupine i članovi JEK-a, Miljanić, France Avčin i Emil Lazar, tadašnji direktor Saveznog Zavoda za mjere i dragocjene metale, a od inozemnih članova predsjednik Odbora Max Landolt i Konig iz Švicarske, George Darrieus i Charles Dietsch iz Francuske, Ulrich Stille iz Njemačke te C. C. Chambers iz SAD-a, slika 3. Odlučeno je da se nacionalnim odborima uputi dopis s pitanjem o tome slažu li se da se jedinici magnetske indukcije da ime tesla, a prof. Miljanić je bio zadužen da dopuni svoje pisano obrazloženje izjavama u toku diskusije. Sastanci ekspertne skupine održali su se 29. i 30. lipnja, dakle na samom kraju susreta IEC koji je počeo 21. lipnja pa je bilo dovoljno vremena da se obave pripreme, razgovori i konzultacije za taj sastanak.

TEHNIČKI KOMITET 24 : ELEKTRIČKE I MAGNETIČKE VELIČINE I JEDINICE	
Zasedanje eksperata održano 29 i 30 juna 1953	
Prisutni:	
Pretsednik	M. Landolt (Švajcarska)
Sekretar	Ch. Dietsch (Francuska)
Država	Delegati
Francuska	Darrieus
Jugoslavija	Dr. F. Avčin
	A. Damjanović
	V. Jovanović
	E. Lazar
	P. Miljanić
	V. Petrović
	M. Ranojević
Nemačka Federalna Republika	U. Stille
Sjedinjene Američke Države	C. C. Chambers
Švajcarska	H. König
Ujedinjena Kraljevina	J. Reading

Sl. 3. Časopis Standardizacija, 1953, str. 115, popis sudionika sastanka Ekspertne skupine u Opatiji 1953. godine.

Sljedeći dokument koji daje neke nove detalje o tom sastanku je osvrt člana TC 24, profesora Miodraga Ranojevića, u časopisu »Nova misao« iz 1953. godine. Ranojević potvrđuje da je akademik Darrieus dao prijedlog o imenovanju jedinice po Nikoli

Tesli, a da su ga u tome podržali i drugi članovi pri čemu posebno ističe njemačkog kolegu dr. Ulricha Stillea. Ono što nije jasno iz rada Spaić&Spiridonović, vidi se da Ranojević, kao i akademik Lončar jasno razdvajaju dva različita pitanja koja se moraju odgovoriti u okviru IEC-a:

- a) ima li potrebe za posebnim imenovanjem jedinice magnetske indukcije
- b) prijedlog o imenovanju te jedinice po Nikoli Tesli

Ranojević potvrđuje da je za točku a) Ekspertna skupina zadužila profesora Miljanića da napiše obrazloženje, dok je prijedlog za imenovanje te jedinice podnio akademik Darrieus. Ranojević ističe da je predsjednik tehničkog odbora 24, Max Landolt iz Švicarske, dao prijedlog o potrebi imenovanja te jedinice još na prvom poslijeratnom sastanku IEC-a 1950. godine s obzirom da je u starom mjernom sustavu ta jedinica imala svoje ime po njemačkom fizičaru Gaussu koje je bilo neprikladno za novi Giorgijev sustav. Na istom zasjedanju u Londonu 1950. godine proglašen je novi sustav sa četiri mjerne jedinice.¹¹ Ranojević objašnjava i zašto se u Opatiji nije mogla donijeti odluka – jer je to bio sastanak Odbora eksperata, a takve se odluke donose na plenumu te se nada da će se plenum sastati na sljedećem sastanku u Philadelphiji. Ranojević navodi i obrazloženje da se ta jedinica imenuje po Nikoli Tesli. Iako Ranojević to izričito ne navodi, moguće je da je Darrieus slično obrazloženje dao za imenovanje te jedinice po Nikoli Tesli na sastanku u Opatiji: *„Tokom 19. veka usvojeno je da se jedinicama fizičkih veličina daju imena najvećih naučnika. Pritom se obično vodilo računa da veličina čijoj jedinici želi da se da ime nekog naučnika, spada u oblast u kojoj je taj naučnik dao svoje najznačajnije radove. Na taj način želelo se da se najvećim naučnicima oda zaslužen priznanje za njihova dela i da im se obeleži trajan pomen u nauci i tehnici. Tako je ime Njutna dato jedinici sile u sistemu Đorđi, ime Faradeya jedinici kapaciteta, Amperu jedinici električne struje, Volte jedinici električnog napon, itd... Veličina magnetske indukcije za čiju je jedinicu u Đorđijevu sistemu predloženo Teslino ime u neposrednoj je vezi s obrtnim magnetskim poljem koje je Tesla prvi ostvario pomoću svojih polifaznih struja. Ovo delo je omogućilo Tesli da izgradi svoj indukcion motor koji se danas skoro isključivo upotrebljava u pogonu. Poznato je da je Tesla svojim polifaznim sistemom naizmjeničnih struja i indukcionim motorom izazvao pravu revoluciju u elektrotehnici i omogućio da se ona brzo razvije do današnjih razmera.“*, slika 4., slika 5.

¹¹ <https://etech.iec.ch/issue/2021-06/showing-the-way-forward>

18. INDUCTION MOTOR 1888

NIKOLA TESLA, a Croatian-born electrical engineer, came to this country in 1884 as a dynamo designer. At that time there were no practical small A.C. motors, and individual machines in factories were powered from shafting and belts. Tesla solved the problem of consequent waste of energy by inventing the induction motor, which made unit drives for machines feasible. The motor had a rotating magnetic field that eliminated the need for a commutator and brushes. Westinghouse bought the patent rights to the invention, one of 700 credited to Tesla.



Sl.4. Nikola Tesla, hrvatsko-američki znanstvenik u časopisu Popular Science, veljača 1945, 128 str. naveden je kao jedan od najznačajnijih znanstvenika za izum indukcijskog motora¹² koji je usko vezan za jedinicu magnetske indukcije nazvanu po njemu

Ranojević se nada da će ugled poznatog francuskog znanstvenika i člana francuske akademije, Darrieusa, doprinijeti tome da se prijedlog o Tesli i usvoji.



Sl. 5. Tekst Miodraga Ranojevića u časopisu Nova misao

¹² Popular Science - Google Knjige

Njemački član Tehničkog odbora kojeg je Ranojević posebno imenovao da je podržao akademika Darrieusa je Ulrich Stille¹³. Dr. Stille, slika 6, bavio se atomskom fizikom, molekularnom spektroskopijom, plinskim pražnjenjem, fizikom plazme, aktivnim plinovima, fizikom gornje atmosfere i posebno mjeriteljstvom. Njegova knjiga *Mjerenje i računanje u fizici* bila je poznato djelo.



Sl. 6. Dr. Ulrich Stille (1910-1976).¹⁴

Dr. Stille je doktorirao fiziku kod poznatog fizičara Jamesa Francka. Prije rata bio je profesor na Tehničkom sveučilištu u Braunschweigu, ali je to mjesto morao napustiti zbog članstva u SS-u. Nastavio je raditi u njemačkom nacionalnom mjeriteljskom institutu PTB gdje je od 1969. bio i predsjednik tog važnog mjeriteljskog instituta.

Kako bi se zaokružila informacija o sastanku IEC-a u Opatiji korisnom se pokazao dokument iz arhiva¹⁵. Iz njega se mogu saznati kako je jugoslavenska delegacija na sastanku IEC-a u Opatiji zatražila od francuske delegacije da ona podnese prijedlog za „Teslu“. To je razumljivo ako se uzme u obzir da je francusku delegaciju predvodio ugledni francuski akademik George Darrieus. U tim razgovorima su vjerojatno sudjelovali delegati koji su znali francuski jezik. Dogovoreno je i da se pošalje anketa nacionalnim odborima o francuskom prijedlogu za Teslu.

¹³ https://de.wikipedia.org/wiki/Ulrich_Stille

¹⁴ https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/publikationen/ptb_mitteilungen/mitt2012/Heft2/PTB-Mitteilungen_2012_Heft_2_en.pdf

¹⁵ https://www.arhivyu.rs/public/dok/izdanja/pdf/77/1552614405-aj_cas_2006_12_txt.pdf

Nacionalni komiteti koji su se izjasnili za Teslu bili su: Francuska, Čehoslovačka, Izrael, Indija, Švicarska, Nizozemska, Belgija, Finska, Švedska i Austrija. Protiv prijedloga su bile Velika Britanija, Japan, Norveška, Njemačka i Južna Afrika. Države koje nisu odgovorile na upit su bile: Australija, Brazil, Argentina, Čile, Danska, Kanada, Egipat, SAD, Mađarska, Poljska i SSSR. Zanimljivo je da je prijedlog na sastanku IEC-a u Opatiji podržao njemački delegat Ulrich Stille, dok je njemački nacionalni odbor bio protiv. Također u potpuno drugom postupku u okviru Opće skupštine za mjere i utege neke zemlje su bile protiv, posebno se to odnosi na Nizozemsku. Naime, dok je u postupku kod IEC-a Nizozemska bila „za“ Teslu, u postupku pred CGPM bila je izričito protiv. Također, Njemačka je bila prvo za Teslu (Ulrich Stille), pa protiv (anketa Nacionalnog odbora), kasnije u CGPM opet za „Teslu“. To na neki način znači da su u takvim postupcima međuljudski i kolegijalni odnosi važni, slika 7.

DRŽAVNI SEKRETARIJAT ZA INOSTRANE POSLOVE
PRAVNI SAVET
Pov. Br. 93-738

Beograd, 15. jula 1954

AKADEMIJSKI SAVET FNRJ

BEOGRAD

BELJEŠKA¹⁸

Na dan 13 jula 1954 godine bili su po svojoj inicijativi profesori Univerziteta Pavle Miljanić i Aleksandar Damjanović i izneli mi sledeće:

Francuska je, na našu sugestiju, predložila međunarodnoj elektrotehničkoj komisiji da se jedinica jedne elektrotehničke veličine nazove imenom „Tesla“. Za našu zemlju bi bilo od velikog interesa da ovaj predlog bude usvojen, jer bi mera „Tesla“ postala međunarodna mera, slično meri ampera ili volta, što bi podiglo ugled naše nauke u svetu.

Međunarodna elektrotehnička komisija napravila je, povodom francuskog predloga, anketu među članicama komisije.

Nacionalni komiteti izvesnog broja zemalja izjasnili su se u korist francuskog predloga i to: Francuske, Čehoslovačke, Izraela, Indije, Švajcarske, Holandije, Belgije, Finske, Švedske i Austrije. Izvesni nacionalni komiteti su se izjasnili protiv ovog predloga i to: Velike Britanije, Italije, Japana, Norveške, Nemačke i Južne Afrike.

Najrad, izvesni nacionalni komiteti nisu uopšte odgovorili i to: Australije, Brazilije, Argentine, Čilea, Danske, Kanade, Egipta, SAD, Mađarske, Poljske i SSSR-a.

U septembru mesecu ove godine održava se sastanak Međunarodne elektrotehničke komisije u Filadelfiji. Na dnevnom redu sastanka nalazi se i tačka o pitanju davanja imena „Tesla“ pomenutoj elektrotehničkoj veličini.¹⁹

Iz naše zemlje trebalo je da na ovaj sastanak ode delegacija sastavljena od 8 članova dva profesora univerziteta i 6 predstavnika preduzeća. Tehnička pomoć SAD bila je obećala da naknadi putne i ostale troškove, ali je pre kratkog vremena otkazala obećanje.

¹⁸ A1. Savet Akademija nauka i umetnosti CDPF 551-48-227.

¹⁹ Odluka o davanju imena jedinici elektromagnetne indukcije „Tesla“ doneta je 1956. na sistemu u Moskvi.

198

Aptam, nacimne Aptam Cplaje u ligue Gope, 1-2, 2006.

Na kraju, profesori Miljanić i Damjanović zamolili su podršku Državnog sekretarijata u pogledu pridobijanja što većeg broja nacionalnih komiteta zemalja članica Međunarodne elektrotehničke komisije, kao i u pogledu odaslanja naše delegacije na pomenuti međunarodni sastanak u Filadelfiji.

Zaključak i mišljenje

Smatram da bi stvarno bilo korisno po ugled naše zemlje kao i nauke da se ime „Tesla“ usvoji kao naziv za određenu elektrotehničku jedinicu.

S obzirom da će se ovo pitanje raspravljati na predstojećem sastanku Međunarodne elektrotehničke komisije u Filadelfiji, mislim da bi bilo neophodno da naša delegacija bude prisutna na ovom sastanku. Ovo tim pre što je prošlogodišnji sastanak Međunarodne elektrotehničke komisije održan u našoj zemlji, te bi ova činjenica zajedno sa postojanjem pomenute tačke dnevnog reda mogla da utiče da se ne učestvovanje naše delegacije negativno protumači.

Mada ne mogu da cenim koliko je delegata potrebno da sačinjava našu delegaciju koja bi bila na ovaj sastanak, mislim da bi trebalo najmanje dva delegata da odu na pomenuti međunarodni sastanak. Broj od osam smatram preteranim.

U pogledu materijalne pomoći za odlazak delegacije uputio sam profesore Miljanića i Damjanovića da se obrate na Sekretarijat SIV-a za poslove prosvete i kulture, Komisiji za kulturne veze sa inostranstvom i Akademski savet.

Smrt fašizmu – sloboda narodu

ST/DM

Državni savetnik
Za inostrane poslove
Dr. Milan Banić

Dostavljeno:
Kabinetu drugu Popovića
Mičunovića

I, II, III, IV, V odeljenja
Komisiji za kulturnu saradnju sa inostranstvom
SIV – Sekretarijat za prosvetu
Akademski savet FNRJ

Sl. 7. Dokument o financiranju puta u Philadelphiju profesora Miljanića i Damjanovića

Sastanak u Opatiji je završio krstarenjem po Jadranu na brodu „Partizanka“, prikazanom na slici 8.



Sl. 8. Brod Partizanka¹⁶ izgrađen je 1931. u brodogradilištu u Engleskoj, imao je 1726 bruto tona, duljine 82 metra, snage 2832 kW.

Brod „Partizanka“ prethodno se nazivao „Prestolonasljednik Petar“ a potopljen je 1941. godine postavljenim minama od strane jugoslavenske vojske. Prema ondašnjim novinama: „Da bi se zataškala prava istina o razlozima potapanja, a koja je teško teretila neorganiziranu kraljevsku ratnu mornaricu, nakon četiri dana ispitivanja u splitskom hotelu „Ambasador“ trovanjem (po nekim očevicima ubojstvom iz pištolja u glavu) umoreni su kapetani obaju brodova.“. Brod je izvađen i obnovljen 1952. godine i stavljen ponovno u funkciju. Sudionici su njime obišli Dubrovnik, Opatiju, Rijeku i Split.

Sljedeći sastanak TC 24 IEC-a bio je u Philadelphiji 10 i 11. rujna 1954. godine¹⁷. Na tom sastanku na kojem se proslavila i 50 godina od osnutka IEC-a Jugoslavija je imala devet delegata. Na zasjedanju Odbora eksperata TC 24 i plenuma učestvovali su delegati iz 10 zemalja članica, među kojima i delegati Jugoslavije. Donijete su sljedeće odluke:

I. Potvrđuje se ranija odluka kojom se preporučuje naziv »Sustav Giorgi«, za sustav jedinica utemeljen na osnovnim jedinicama: metar, kilogram, sekunda i amper.

¹⁶ <https://www.dubrovackidnevnik.rtl.hr/kolumne/partizanka-bila-je-potopljena-potom-spasena-a-u-dubrovnik-je-uplovjavala-kao-kruzer>

¹⁷ <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6372239>

2. Preporučuje se usvajanje naziva »tesla« za jedinicu magnetske indukcije u sustavu Giorgi i traži se od TC 25 Slovni simboli i znakovi da odredi odgovarajuću slovnu oznaku.

U Londonu na sastanku IEC-a 1955. godine TC 24 se nije sastajao pa je ta odluka potvrđena u Münchenu 27. lipnja 1956. na stogodišnjicu rođenja Nikole Tesle tijekom godišnjeg sastanku IEC-a. Delegate je na sastanku u Münchenu pozdravio profesor Richard Vieweg, predsjednik njemačkog Odbora IEC-a i član CIPM-a i CGPM-a koji je četiri godine kasnije na sastanku CGPM-a javno podržao „Teslu“, slika 9.



Sl. 9. Richard Vieweg (1896–1972)

Richard Vieweg (1896–1972) bio je profesor fizike i matematike na Tehničkom sveučilište u Berlinu i Dresdenu. Nakon što je doktorirao, počeo je raditi za njemački nacionalni mjeriteljski institut PTB i ubrzo postao voditelj laboratorija za visoki napon. Godine 1935. uslijedio je poziv na Tehničko sveučilište u Darmstadt. Od 1951. do 1961. bio je predsjednik PTB-a. Od 1960. do 1964. bio je predsjednik CIPM-a i znatno sudjelovao u osnivanju Međunarodne organizacije zakonskog mjeriteljstva (OIML).

Na prijedlog francuskog sekretarijata TC 24 odlučeno je da se između ostalih IEC preporuka predloži i da se jedinici magnetske indukcije u Giorgijevom M.K.S. sustavu dodijeli ime »tesla«. S obzirom na proslavu stogodišnjice rođenja Nikole Tesle, zadužio se predsjednik IEC-a Osborne da tu odluku osobno priopći Državnom Odboru za proslavu stogodišnjice rođenja Nikole Tesle. S time je dovršen postupak za Teslu unutar organizacije IEC, te je iste godine počela završna i konačna borba unutar CGPM-a. Članovi Francuskog sekretarijata TC 24, koji su iznijeli službeni prijedlog u Münchenu bili su Charles Dietsch i George Darrieus koji su za taj prijedlog dobili u prosincu 1972. godine odlukom Josipa Broza Tita Orden jugoslavenske zastave sa zlatnom zvijezdom¹⁸.

¹⁸ <https://www.etf.bg.ac.rs/uploads/files/strane/fakultet/Casopis%20Elektron/Elektron%2049.pdf>

Imenovanje jedinice za magnetsku indukciju po Nikoli Tesli unutar Opće skupštine za mjere i utege (CGPM)

Nakon potvrde jedinice tesla unutar organizacije IEC, trebalo je još odraditi i onu zadnju, najtežu prepreku. Riječ je o Općoj skupštini za mjere i utege (CGPM) koja donosi konačnu odluku za cijeli svijet, posebno jer je organizacija CGPM više razine i obvezna za sve zemlje potpisnice konvencije o metru. Danas TC 24 IEC-a ne postoji jer je sve poslove oko mjernih jedinica i sustava mjernih jedinica preuzela CGPM. U općoj skupštini nalaze se diplomati, tako da sve odluke za Opću skupštinu priprema stručno tijelo - Međunarodni odbor za mjere i utege (CIPM). CIPM se sastoji od 16-18 pojedinaca, iz različitih država, koje bira CGPM i koji su zaduženi za usmjeravanje i nadzor nad BIPM-om i njegovim aktivnostima. U tom svojstvu članovi CIPM-a stoga djeluju unutar okvira koje je odredio CGPM, a ne u ime svojih vlada.

Malo je poznato da je u tom tijelu Hrvatska imala jednog od najdugovječnijih članova CIPM-a, inženjera Celestina Kargačina (1883.-1965.), koji je bio član CIPM-a od 1923. pa do svoje smrti u 1965. godine, slika 10. CGPM se sastaje jednom u šest godina, a CIPM jednom u dvije godine pa je suradnja i kolegijalnost među članovima u CIPM-u sigurno puno veća nego u CGPM-u.



Sl. 10. Celestin Kargačin kao član CIPM-a 1937. godine¹⁹

¹⁹ <https://journals.openedition.org/philosophiascientiae/docannexe/image/3845/img-2.jpg>

S obzirom da su na sastanku CGPM-a 1954. godine određene osnovne jedinice za sljedeću konferenciju, 1960. godine bilo je potrebno da se odrede i izvedene jedinice. Zadatak CIPM-a je bio da pripremi popis tih jedinica za usvajanje. Niti Avčin niti Spaić&Spiridonović tom sastanku u svojim radovima ne priklanjaju previše pažnje osim činjenice da je ‘tesla’ prihvaćena na CIPM-u. CIPM je za taj zadatak oformio poseban ‘Odbor za sustav mjernih jedinica’ na temelju zaključaka CGPM-a iz 1954. godine, a taj Odbor je podnio izvješće o radu na sastanku koji se održao u Pariškoj zvjezdarnici 1. listopada 1956. godine u 16:30 sati. Prisutni su bili članovi tog Odbora: g. Bourdoun (predsjednik), Stulla Gotz (izvjestitelj), g. Barrell, g. Cassinis, g. Vieweg, g. Volet, i članovi CIPM-a: g. Danjon, g. Kargačin, g. Visala, g. Yamauti i g. Perard. Predsjednik Odbora Bourdoun je podsjetio da je Međunarodni ured poslao prije nekoliko mjeseci datoteku koja objedinjuje odgovore podnesene od 21 države u anketi koja je izrađena nakon Rezolucije 6 usvojene od IX Opće konferencije CGPM-a 1948. godine, a koja se odnosi na uspostavu sustava međunarodnih mjernih jedinica. Odbor odlučuje nastaviti započeti posao od strane X Opće konferencije koja je usvojila osnovne jedinice sustava te stoga predlaže uspostaviti prvi popis izvedenih jedinica. Izrađena su bila dva popisa, jedan od strane g. Bourdouna, a drugi od g. Stulla Gotz. Prije rasprave o popisima raspravljalo se o nazivu koji treba dati sustavu. Nakon razmatranja prijedloga M.K.S.D.A.C. i Giorgiov sustav na kraju je prihvaćen naziv Međunarodni sustav jedinica (Système International d’Unités). Povjerenstvo je zatim detaljno raspravilo popis koji je predstavio g. Stulla Gotz koji je uzet kao osnova za raspravu te donijelo klasifikaciju jedinica. Prema klasifikaciji razlikuju se osnovne jedinice, dodatne i izvedene jedinice. Nakon duge rasprave u kojoj su sudjelovali gotovo svi članovi, Odbor odlučuje povjeriti pododboru sastavljenom od g. Bourdouna, g. Stulla Gotz i g. Cassinisa da pripreme prvi popis jedinica koje će biti dostavljen na odobrenje CGPM-u. **Tijekom rasprave, g. Kargačin posebno predlaže naziv “tesla” (T) za jedinicu magnetske indukcije, pozivajući se na odluku Međunarodnog elektrotehničkog povjerenstva (IEC) iz Münchena (1956.). Odbor jednoglasno prihvaća prijedlog²⁰, slika 11.**

²⁰ Proceedings of the 46th CIPM (1956), 1957, p77 <https://www.bipm.org/en/-/resolution-cipm-46-1>

Après une longue discussion à laquelle participent presque tous les Membres, la Commission décide de confier à une Sous-Commission, composée de MM. BOURDOUN, STULLA-GÖTZ et CASSINIS, la mission de préparer une première liste d'unités qui sera soumise à l'approbation du Comité International. Pendant la discussion, Mr KARGATCHIN propose notamment la dénomination « tesla » (T) pour l'unité d'induction magnétique, en se référant à la décision déjà prise par la Commission Électrotechnique Internationale en 1956 à Munich; la Commission accepte unanimement cette proposition.

Le Rapporteur,
J. STULLA-GÖTZ.

Le Président,
G. BOURDOUN.

Sl. 11. Celestin Kargačin predlaže uvrštenje jedinice tesla na popis koji će biti prihvaćen na Općoj skupštini 1960. godine u zapisniku sastanka CIPM-a 1956. godine.

Popis jedinica, izmijenjen kako je upravo odlučeno, stavio se zatim na glasanje i odobrio. Povjerenstvo zaključuje raspravu usvajanjem Rezolucije br. 3. sa popisom mjernih jedinica koje će se uputiti Općoj skupštini na odobravanje. Osnovne jedinice su:

UNITÉS DE BASE.		
Longueur	mètre	m
Masse	kilogramme	kg
Temps	seconde	s
Température thermodynamique	degré Kelvin	°K
Intensité de courant électrique	ampère	A
Intensité lumineuse	candela	cd

Dok su izvedene:

tableau suivant, sans préjudice d'autres unités qu'on pourrait ajouter à l'avenir :

UNITÉS SUPPLÉMENTAIRES.			
Angle plan.....	radian	rad	
Angle solide.....	stéradian	sr	
UNITÉS DÉRIVÉES.			
Superficie.....	mètre carré	m ²	
Volume.....	mètre cube	m ³	
Fréquence.....	hertz	Hz	1/s
Masse volumique (densité).	{ kilogramme par mètre cube }	{ kg/m ³	
Vitesse.....	mètre par seconde	m/s	
Vitesse angulaire.....	radian par seconde	rad/s	
Accélération.....	{ mètre par seconde carrée }	{ m/s ²	
Accélération angulaire...	{ radian par seconde carrée }	{ rad/s ²	
Force.....	newton	N	kg·m/s ²
Pression (tension mécanique).....	{ newton par mètre carré }	{ N/m ²	
Viscosité dynamique.....	{ newton-seconde par mètre carré }	{ N·s/m ²	
Viscosité cinématique.....	{ mètre carré par seconde }	{ m ² /s	
Travail, énergie, quantité de chaleur.....	joule	J	N·m
Puissance.....	watt	W	J/s
Conductivité thermique..	{ watt par mètre et par degré Kelvin }	{ W/(m·°K)	
Quantité d'électricité....	coulomb	C	A·s
Tension électrique, différence de potentiel, force électromotrice.....	volt	V	W/A
Intensité de champ électrique.....	volt par mètre	V/m	
Résistance électrique.....	ohm	Ω	V/A
Capacité électrique.....	farad	F	A·s/V
Flux d'induction magnétique.....	weber	Wb	V·s
Inductance.....	henry	H	V·s/A

Induction magnétique....	tesla	T	Wb/m ²
Intensité de champ magnétique.....	ampère par mètre	A/m	
Force magnétomotrice...	ampère	A	
Flux lumineux.....	lumen	lm	cd·sr
Luminance.....	{ candela par mètre carré }	{ cd/m ²	
Éclairement.....	lux	lx	lm/m ²

Ovdje se može uočiti razlika između procedure u IEC-u. i CIPM-u. S jedne strane, unutar organizacije jugoslavenskog odbora IEC-a, moralo se postupiti oprezno te zatražiti od francuskog akademika Darrieusa da on predloži i obrazloži naziv „tesla“. Uz to je pisano i detaljno obrazloženje oko tog pitanja. S druge strane, na CIPM-u inž. Kargačin, tada već preko 30 godina član tog najvažnijeg stručnog tijela CGPM-a, jednostavno je predložio uvrštenje jedinice tesla bez obrazloženja, samo na temelju IEC odluke. Njegov je prijedlog jednoglasno prihvaćen bez rasprave. Iako je IEC na sastanku u Philadelphiji 1954. godine donio dvije odluke - uz imenovanje tesle, imenovan je i novi sustav mjernih jedinica po Giorgiju, CIPM se ipak odlučio za drugo ime (SI), što sugerira da su odluke IEC-a imale određenu, ali ne preveliku težinu jer je CIPM samostalno odlučivao o takvim stvarima. To upućuje na činjenicu kako bez prijedloga Kargačina na sastanku CIPM-a tesla danas ne bi bila izvedena jedinica u SI sustavu jer ne bi ušla u popis izvedenih jedinica koji se usvojio na sjednici CGPM-a 1960. godine. Na taj se način inženjer Celestin Kargačin simbolički zahvalio Tesli za njegove brojne i iznimno značajne zasluge u području elektrotehnike.

Celestin Kargačin je danas potpuno nepoznat u Hrvatskoj, a njegova biografija se može tek djelomično saznati iz nekoliko šturih izvora. Najznačajniji izvor je Narodna enciklopedija srpsko-hrvatsko-slovenačka iz 1925. godine. gdje se mogu pročitati tek osnovne informacije, slika 12.

KARGAČIN

KARGAČIN CELESTIN, inspektor ministarstva trgovine i industrije (8/8 1883, Zagreb). Gimnaziju je svršio u Zagrebu, a tehniku u Budimpešti. Poslije svršenih nauka bio je kratko vrijeme kod elektrotehničke firme Siemens-Schuckerta u Budimpešti, a zatim je prešao u državnu službu kod Središnjeg Zavoda za Mjere u Budimpešti. Od 1920 je u službi ministarstva trgovine i industrije u Beogradu. - **D. P.**

Sl. 12. Biografija Celestina Kargačina iz 1925. godine objavljena u Narodnoj enciklopediji

Kargačin se rodio u Zagrebu gdje je završio i gimnaziju. Iako u toj enciklopediji ne piše o kojoj se gimnaziji radi, iz popisa maturanata Prve gimnazije može se saznati da je maturirao tamo 1901. godine²¹. U Budimpešti je zatim završio tehnički fakultet te se zaposlio u tamošnjem Središnjem zavodu za mjere gdje je i stekao stručnost po

²¹ <https://www.prva.hr/wp-content/uploads/2023/07/Maturanti-od-1854.-do-2004.pdf>

pitanju mjera i jedinica. U Glasniku Hrvatskog prirodoslovnog društva iz 1909. godine navodi se da je kao „mjernik“ bio član Hrvatskog prirodoslovnog društva od 1907. godine²². Nakon službe u Beogradu, vratio se u Zagreb i radio u Ministarstvu trgovine u Martićevoj ulici 31. Međutim, na stranicama CIPM-a njegovo je državljanstvo navedeno pogrešno te nije u skladu sa ostalim dostupnim podacima²³.

S obzirom da je CIPM glavno stručno tijelo CGPM-a, dr. France Avčin u svom radu objašnjava: „*Svi uključujući i mene su bili uvjereni, da je prihvaćeno konačno: Roma locuta, causa finita! (Rim je sagrađen, posao je završen) Međutim, svi smo radili račun bez krčmara, jer pravi Rim, Opća konferencija za mjere i utege, nije se još javio. U njoj su neki, dobro pripremljeni, čekali da udare. Došla je XI. Opća konferencija (11.-20. 10. 1960). Nije više bila u Breteuilu, sjedištu BIPM kao ranije, nego primjereno njezinoj težini, u samom Ministarstvu za vanjske poslove Francuske. Prema službeno pripremljenoj rezoluciji br. 12 CIPM - CC d'É (str. 88 Comptes Rendus de la XI CGPM - vidi prilog²⁴) trebala je jedinica “tesla” (T) biti primljena automatski zajedno sa svim drugim predloženim jedinicama SI.*“ Avčin dalje navodi tko je bio na sastanku: „*Od njih dakle nikoga, niti najvažniji od beogradskih prvoboraca prof. Pavle Miljanić, veliki teoretičar, francuski đak i glatki Francuz nije bio tamo! Ja sam, međutim, iz svojih vlastitih iskustava već iz imena naslutio da nešto visi u zraku nad “jedinicom”, a još i privatna obavijest jednog sada već pokojnog znanca iz 1945. u BIPM upozorila me je na takve mogućnosti na XI. CGPM.*“ Na sastanku je bio i novi predsjednik Saveznog zavoda za mjere i dragocjene metale Josip Gizdić, uz Emila Lazara, Franca Avčina i Celestina Kargačina. Zanimljivo je da su na tom sastanku dvojica delegata bila i na IEC sastanku TC 24 sedam godina ranije u Opatiji: Emil Lazar i France Avčin. S obzirom da je France Avčin bio u pravu, na samoj sjednici je trebalo braniti jedinicu tesla! Ovdje će se navesti najvažniji izvadci iz rasprave koji se tiču jedinice tesla prema zapisniku s Opće skupštine CGPM:

G. Hojgaard Jensen (Danska) predlaže da u popisu izvedenih jedinica jedinica magnetske indukcije ostaje izražena u Weber po kvadratnom metru (Wb/m^2) i da se ukloni naziv “tesla”. On smatra korisnim ograničiti uporabu posebnih naziva jedinica; nema govora o povratku sa već dobro poznatih imena jedinica kao što su farad, henry itd., ali nije isto za teslu.

G. Aroutinov (SSSR) se ne slaže s ovim prijedlogom i naprotiv, primjećuje tendenciju davanja određenog imena, prilično kratkog, svakoj jedinici; tako je njegova

²² <https://ia801604.us.archive.org/26/items/glasnikhrvatskog1909hrva/glasnikhrvatskog1909hrva.pdf>

²³ <https://www.bipm.org/documents/20126/67634945/CIPM-history-1875-1977pdf.pdf/03b30309-8c93-7f83-f179-dd10bf4ed9a1>

²⁴ <https://www.bipm.org/en/committees/cg/cgpm/11-1960/resolution-12>

zemlja nedavno predložila ime "lantz" za jedinicu intenziteta magnetskog polja (amper po metru). Ime tesla, odobrena od strane IEC-a iste je godine uvedena u nastavu u SSSR-u.²⁵

G. de Boer (Nizozemska) s druge strane podržava tezu g. Hojgaarda Jensena i smatra da uvođenje posebnih naziva za izvedene jedinice može samo naškoditi jasnoći međunarodnog sustava.

G. Perucca (Italija) intervenira u istom smjeru.

G. Vieweg (Njemačka) također je mišljenja da moramo ograničiti upotrebu novih imena; no vjeruje da se Teslino ime već učinkovito koristi i da bi se moglo sačuvati.

G. Avčin (Jugoslavija) intervenira i kaže da se tesla već pojavljuje u zakonima nekih zemalja. Ako se traži izbacivanje Tesle, on bi tada također predložio uklanjanje Newtona.

G. de Boer ponovno intervenira protiv tesle i žali zbog trenda da će elektrotehničari uvesti mnoge posebne nazive za jedinice. Fizičari su suprotnih mišljenja i, kada su mišljenja podijeljena o tome treba li jedinici dodati određeno ime, najbolje je suzdržati se.

G. Aroutinov se ne slaže s g. Perucca koji je tvrdio da u nastavi nije poželjno da ima previše naziva jedinica. Slaže se da je mudro proučavati ova pitanja s oprezom i odgoditi određene prijedloge, kao na primjer za Lantz, ali takva pozicija trenutno nije opravdana za teslu.

Nakon posljednje intervencije g. Avčina u korist Tesle, odobreno je zadržavanje ovog naziva za jedinicu magnetske indukcije sa 11 glasova za, 6 protiv i 12 suzdržanih dok g. de Boer smatra nesretnim koristiti za jedinicu naziv koji je dobio tako mali broj glasova. G. Honti (Mađarska) napominje da je dovoljna obična većina i slaže se s g. Aroutinovim, da Skupština odlučuje o cjelokupnoj predstavljenoj rezoluciji.

Uz ovakvu raspravu i protivljenje fizičara jedinici tesla, a koja je već bila na popisu, bilo je jasno da se na sjednici CGPM-a nije mogla uvrstiti jedinica tesla u ovakvim uvjetima. Iz tog je razloga bilo ključno da se nađe na popisu jedinica CIPM-a pripremljenim za ovu sjednicu. Kargačin koji je predložio uvrštenje Tesle na popis jedinica na sastanku CIPM-a bio je prisutan i na Općoj konferenciji, ali je „borbu“ prepustio mlađem Francu Avčinu, koji se pak odlično snašao u tome. Zanimljivo je da se u okviru CGSM opet vodila rasprava ima li potrebe da jedinica za magnetsku indukciju ima posebno ime ili ne. Izgleda nitko nije uzimao u obzir argumentaciju svi-

²⁵ Više informacija o G. Aroutinovu može se pročitati u članku Darko Žubrinić, „Drama oko izbora mjerne jedinice „tesla“ 1960. u Parizu“, 12. Simpozij Povijest i filozofija tehnike, 2025, Zagreb.

carskog predstavnika Landolta sa sastamka IEC-a iz 1950. da je ta jedinica imala svoje ime u starom CGS sustavu (Gauss), pa bi trebala imati posebno ime i u novom sustavu. Nisu u obzir uzeli niti tekst objašnjenja koje je pisao prof. Miljanić za IEC susret u Philadelphiji, šest godina ranije. Je li netko rekao dr. Boeru, najgorljivijem protivniku jedinice tesla da je nacionalni komitet Nizozemske u anketi IEC-a šest godina ranije bio za jedinicu tesla? Vjerojatno nije jer je dr. Boer bio fizičar pa je ovdje ipak trebalo osobnim javljanjem oboriti argumente protivnika bez obzira na sve postignute ranije uspjehe za što zasluge pripadaju dr. Francu Avčinu iz Slovenije. U tome prof. Avčin nije koristio Miljanićevu finu stručnu argumentaciju iz obrazloženja IEC-u nego je „skinuo rukavice“ i tražio ukidanje jedinice newton ako se tesla izbacila iz popisa za odobravanje: „Bez prijevoda sam na oba jezika kratko i jasno ispričao historijat, naše razloge, sadašnje stanje, a osobito da je *“tesla”* već prihvaćena i ozakonjena u nekim državama, kao npr. u ČSSR. Završio sam s prijedlogom da se u slučaju prihvaćanja zahtjeva prva tri govornika izostavi i ime *“newton”* (N) za SI jedinicu sile, jer je i N izvedenica (kg m s^{-2}). Zato se vratimo na stari *“pentadyn”* ($105 \text{ dyn} = 105 \text{ cm g s}^{-2}$)! Prof. Avčin dalje navodi: „Ponovo je uzeo riječ dr de Boer, kao da ga danas gledam: odlučno je protiv *“tesle”* i protiv svih tendencija elektrotehničara da usvajaju specijalna imena za jedinice, s kojima da su se nametnuli cijelome svijetu.” Mi fizičari smo suprotnog mišljenja. Kada su mišljenja podijeljena, onda bolje ništa”. Dakle à la Louis XIV *“l'état c'est moi”* (*“država, to sam ja”*) a uzgred ide i staro rivalstvo elektrotehničara i fizičara, koji bez njihovih dostignuća ne mogu ostvariti svoje zamisli.“

Nakon glasanja opet se javio de Boer: „Pogrešno bi bilo prihvatiti tako slabo poduprti zaključak!“ Rješenje je nađeno u glasovanju za cijeli paket CIPM jedinica i u tom glasovanju je između ostalih izglasana i tesla sa 18 glasova za, 1 protiv (de Boer) i 11 suzdržanih. Tesla je tako prihvaćena u međunarodni sustav mjernih jedinica za sva vremena i sve narode. To se, kako navodi prof. Avčin to se dogodilo 18. listopada 1960. u 1730.

Rad akademika Lončara na području mjernih jedinica i njegov doprinos u imenovanju jedinice magnetske indukcije po Nikoli Tesli

Akademik Josip Lončar bio je aktivan na mnogim područjima, od mjerenja, osnova elektrotehnike, televizije i radio prijema. Između ostalog bavio se i standardizacijom mjernih jedinica što je popularizirao u radovima i svojim udžbenicima puno vremena prije nego što je sveobuhvatni mjerni sustav prihvaćen od nadležnih organizacija. Tako je 18. rujna 1927. godine u Radiovjesniku objavio zanimljiv rad pod naslovom: »*Metri ili kilocikli?*«, slika 13. Tek će pažljiviji poznavatelj povijesti mjernih jedinica znati o čemu je riječ na temelju samog naslova. Zato je cijeli rad iznimno zanimljiv za pročitati.

Dr. J. Lončar:

Metri ili kilocikli?

Već se dalje vremena u stručnim krugovima ističe, da je oznaka duljina vala u metrima neprikladna za radiofonske svrhe i da bi bilo bolje, kad bi se valovi u radiju karakterizirali njihovom frekvencijom ili brojem titraja na sekunda. U Americi su pače već zaključili, da će valove označivati ne po duljini u metrima, nego po frekvenciji u «kilociklima», a u najnovije vrijeme je i British Broadcasting Corporation donijela preporuku u sličnom smislu i za engleske radiostanice. I u Njemačkoj literaturi sve se češće nailazi na oznake valova po njihovoj frekvenciji.

Tako ćemo doskora čitati, da ta i ta stanica radi ne na duljinu vala 300 metara, nego s frekvencijom od 1000 «kilocikla», što znači 1000 «tisuća cikla» baš kao što 20 «kilometara» znači 20 «tisuća metara» ili kao što 30 «kilogram» znači 30 «tisuća grama». Nijemci bi umjesto «kilocikla» rekli «kilohertza» u slavu genijalnoga Hertza.

Moglo bi se vrlo lako dogoditi, da se u najkraće vrijeme novom načinu označivanja valova osim Amerikanaca i Engleza, te Nijemaca priključe i svi drugi narodi, pogotovo ako pitanje o tomu smislu bude riješeno na internacionalnoj radiotelegrafskoj i radiotelefonskoj konferenciji u Washingtonu. Zato možda ne će biti bez interesa, ako razložimo vezu između metara i kilocikla i prikažemo, koji razlozi govore za novi način označivanja valova.

Strogo uzevši za neki određeni val sam za sebe posve bi bilo svedjedno označiti njega duljinom vala u metrima ili njegovom frekvencijom u kilociklima (= tisućama perioda ili titraja u sekundi). Svaki naime stručnjak znade, da val duljine 300 metara ima frekvenciju 1000 kilocikla, da val duljine 600 metara ima frekvenciju samo 500 kilocikla, dok naprotiv kratki val duljine 150 metara ima frekvenciju čak 2000 kilocikla.

Sam račun, po kojemu se duljina vala preračunava u kilocikle, i obrnuto: kilocikli u duljinu vala, tako je pače jednostavan, da ga svako dijete može izvesti. Da se naime iz duljine vala neke stanice, izražene u metrima, dobije njezina frekvencija u kilociklima, ne treba ništa drugo nego da broj 300.000 podijelimo s duljinom vala. Kvocijent je onda frekvencija u kilociklima.

Tako ako broj 300.000 podijelimo

redom duljinama vala 300, 600 i 150, dobit ćemo brojeve: 1000, 500 i 2000, a to su baš, kako smo i gore spomenuli, frekvencije tih triju valova u kilociklima. Svatko sebi dakle sam može izračunati tabele, u kojoj bi uz određene duljine vala stajala frekvencija, koja tim valovima pripada u kilociklima. Evo jedne takove male tabele:

Duljina vala: (m)	Frekv.: (kilocikli)
200	1500
300	1000
400	750
500	600
600	500
1000	300, i t. d.

Što se dakle hoće postići novim označivanjem valova, kad je val jednako dobro označen i duljinom svojom? Što je razlogom, da se hoće od oznake u duljinama vala, koja se već posve uobičajila i koja datira još iz prvih godina radiotehnike, preći na oznake valova u kilociklima?

Evo u čemu je stvar. Dok nije bilo radiotelefonijske, dakle dok je radiotehnika imala posla isključivo s radiotelegrafijom, bilo je doista svedjedno, da li se val označuje frekvencijom ili duljinom, a kako je duljina vala izgledala kao neka konkretnija oznaka vala, to se ostalo kod duljine kao oznake za val. No dolaskom radiotelefonijske napose, a radiotelefonijske (broadcastinga) napose, nadošao je jedan novi moment u tu stvar. Spoznalo se naime, da dvije radiofonske stanice iz razloga, u koje momentano ne ćemo ulaziti, ne mogu raditi na valovima, kojih bi se frekvencije razlikovale za manje od kojih 10.000 cikla ili 10 kilocikla.

Tolika barem razlika mora biti između obih valova, ako ne želimo da jedna drugoj smeta, dakle ako želimo da aparat za primanje može primati jednu stanicu, a da mu ne smeta druga, i drugu, a da mu ne smeta prva. Aparat za primanje može biti ne znam kako fin, on može imati ne znam kako jaka različitnu snagu («selektivnost») stanice će se ipak smetati, ako nisu daleko barem 10 kilohertza (kilocikla). Ova se činjenica potvrdila nebrojenim pokusima, te se pokazalo, da najzlost smetaju dvije ovakove stanice jedna drugoj, ako se razlikuju u frekvenciji za manje od 10 kilohertza (kilocikla), pa makar jedna od druge radija i stotine i stotine kilometara daleko. To i jest baš razlogom, da je teško bilo ženevskoj internacionalnoj konferenciji

podijeliti valove među nekoliko stotina evropskih stanica, tako da se ne smetaju i da taj posao još i danas nije dovršen onako, kako bi trebalo, jer više stanica traži val, nego li ima raspoloživih mjesta u skali valova.

Pomislimo sada jednu malu duljinu vala, recimo val 275,2 metara, koji je svojedobno bio dodjeljen zagrebačkoj stanici, ali ga ona nije mogla upotrijebiti. Tomu valu odgovara frekvencija 1090 kilocikla. Najbliži dakle valovi, na kojima bi druge stanice mogle raditi, jesu valovi frekvencije za 10 kilocikla niže i više od ove, dakle valovi od 1080 i 1100 kilocikla.

Ovim dvjema valovima odgovaraju duljine: 272,7 i 277,8 metara. To znači: ako idemo samo za dva i po metra po prilici dolje ili gore od nesuđene zagrebačke duljine vala, mi već dolazimo na valove, koji ne bi zagrebačkoj stanici smetali, kad bi radila na valu 275,2 metra.

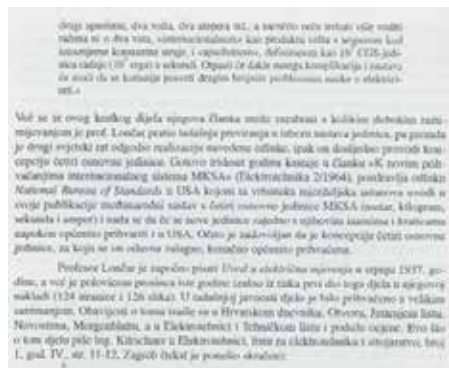
Uzmimo sada duljinu vala 600 metara, čemu odgovara frekvencija 500 kilocikla. Najbliže moguće stanice imale bi ovdje frekvenciju 490, odnosno 510 kilocikla, čemu odgovaraju duljine vala 612, odnosno 588 metara. Razlika je dakle punih 12 metara!

Što mi razabiremo ovdje? Razabiremo da se uz novo označivanje valova po frekvenciji odmah može reći, hoće li dvije stanice smetati jedna drugoj ili ne, dok se iz razlike duljina vala ne može odmah pogoditi, jesu li valovi preblizu ili nisu, budući da to ovisi i o tomu, da li se radi o duljim ili o kraćim valovima. Reći na primjer, da se dvije stanice razlikuju za 8 metara duljine vala ne znači mnogo, kad tih 8 metara kod valova duljine oko 600 metara nije dovoljan razmak između stanica, dok tih istih 8 metara, kod kraćih valova, kakav je nesudni zagrebački, znači prevelik razmak između stanica, jer je tu dovoljno samo oko 2,5 metara razmaka.

Prirodna je dakle oznaka za radiofonski val njegova frekvencija, jer nam ona jedina daje mogućnost, da direktno prosudimo prave razmake između valova pojedinih radiofonskih stanica, dok nas oznake duljina vala mogu navesti na krive predodžbe o razmacima između pojedinih valova.

Dakako da će nova oznaka valova tek postepeno ulaziti u radioamatersku praksu, jer su amateri navikli na stari način označivanja. Ali s malo dobre volje lako je priuštiti se na nove oznake, koje kao logičnije i modernije svakako zaslužuju prednost.

Zanimljivo je da akademik Lončar na upit novinara u Vjesniku 1953. godine odgovara da je on više od deset godina ranije u svojim predavanjima i fundamentalnoj knjizi »Osnove elektrotehnike« propagirao mjerni sustav sa četiri mjerne jedinice, tada još na „neutrtom putu“. U ovom poglavlju analizirati će se također i Lončarev doprinos imenovanju jedinice za magnetsku indukciju po Nikoli Tesli. Akademik Vojislav Bege u knjizi »Josip Lončar – život i djelo« napisao je o Lončarevom promicanju modernog sustava mjernih jedinica, slika 14.



Sl. 14. Tekst akademika Vojislava Bege o Lončarevom promicanju sustava sa četiri mjerne jedinice

Lončar o Nikoli Tesli potpisuje i nekoliko biografskih članaka, od 1946. godine nadalje, slike 15. do 17.

Osim pisanja tekstova, Lončar je držao i predavanja o Nikoli Tesli, posebno u godini sastanka IEC-a u Opatiji, 1953. godine čemu svjedoče i ulomci iz dnevnog tiska na slici 16.



Sl.16. Predavanje akademika Lončara o Nikoli Tesli u Zagrebu

Lončar je govorio i u Beogradu i to kao predstavnik sveučilišta i „velikih“ škola.



Sl. 17. Tekstovi u novinama o proslavi povodom 10 godišnjice smrti Nikole Tesle.

Lončar je bio akademik i francuski student²⁶, a pisao je radove i na njemačkom jeziku. Na taj način mogao je doprinijeti svojim znanjem i ugledom razgovorima prije sastanka tehničkog odbora, posebno sa kolegom akademikom Darrierusom i francuskom delegacijom. Darrieus, Miljanić i Lončar, pa i nešto mlađi Damjanović, praktički su bili i generacijski povezani jer su rođeni unutar par godina krajem 19. stoljeća, a mogli su se i vrlo dobro sporazumjeti na francuskom jeziku jer su svi dio ili cijeli studij proveli u Francuskoj.

Na konferenciji u Opatiji Lončar je prisustvovao kao izaslanik tadašnje Akademije, a u poslanom izvješću navodi „*da je jedan od zadataka bio informiranje stranih delegata o značenju našega Nikole Tesle u vezi s imenom za novu elektrotehničku jedinicu što je i dovelo do toga da je u komitetu 24 u principu zaključeno da se o pitanje potegne među nacionalnim komitetima svih zemalja članica i da se o tome donese rješenje valjda već iduće godine na zasjedanju u Philadelphiji (SAD)*“²⁷. S obzirom da je susret počeo 21. srpnja, a sastanci tehničkog odbora su bili 29. i 30. srpnja bilo je dovoljno vremena da se taj zadatak i obavi. Lončar navodi da je „*prema svojim silama doprinio koliko god je mogao u gornjim točkama*“, slika 18. Osim toga, Lončar navodi da je bio član jugoslavenske delegacije na prethodnom sastanku u Nizozemskoj gdje je i predloženo da se sljedeći sastanak održi u Opatiji još dok jugoslavenski ogranak IEC-a nije bio ni osnovan.



Sl. 18. Akademik Lončar podnosi izvješće Akademiji u kojem iznosi da je svim svojim silama informirao delegate o značaju našega Nikole Tesle što je u principu i dovelo do toga da se u komitetu 24 to pitanje proslijedi nacionalnim komitetima.

²⁶ Više informacija o Lončarevom studiju u Parizu u članku: M. Turković i D. Žubrinić, “Akademik Josip Lončar (1891. – 1973.) i dio njegova studija matematike i fizike u Francuskoj”, Matematičko fizički list, vol.75, br. 298, str. 86-90, 2024.

Na kongres o Nikoli Tesli u Beču 1953. Lončar je išao na račun Muzeja Nikola Tesla u Beogradu. Kratka crtica s tog puta je jedna i od zadnjih nadnevaka u Lončarevim dnevnicima, slika 19.

1170) Nikola Tesla Kongres Tehničkog Muzeja (Str. XI. Nagler), Wien 8.-13./1953.
U Beču otputovao u putnik dan 4.9.1953. u 6.35 u poslovanje u vid. autobusu!
vratio se u ponedjeljak 14.9.1953. Putnik: Zagreb - Wien - Beč (14.9.1953).
Zagreb - Beč 13.9.1953.

Sl. 19. Izvješće o laboratorijskom dnevniku o putu na kongres u Beču o Nikoli Tesli.

U već spomenutoj knjizi »Josip Lončar život i djelo«, Vojislav Bego piše kako je Lončar osim člana TC 24 JEK-a bio i član Državnog odbora za proslavu 10 godina smrti i 100 godina rođenja Tesle, a taj je Odbor postavio sebi zadatak da se jedna od jedinica u elektrotehnici nazove po Nikoli Tesli, slika 20.

Djelatnosti uz obljetnicu Nikole Tesle

U povodu priprema za obilježavanje desete godišnjice smrti Nikole Tesle u siječnju 1953. godine, prof. J. Lončar je dekanatu Tehničkog fakulteta uputio 3. prosinca 1952. sljedeći dopis:

»Kao član Državnog odbora za proslavu 10-godišnjice smrti i 100-godišnjice rođenja Nikole Tesle, pristupovao je potpisani dne 14.XI.1952. plenumu toga Odbora u Beogradu, na kome su raspravljane pojedinosti proslave 10-godišnjice smrti Nikole Tesle, koja će biti dne 4.I.1953. u dvorani Kolarčeva Univerziteta i pod predsjedanjem predsjednika Odbora druga Ministra Predsjednika Savjeta za nauku i kulturu F.N.R.J. Rodoljuba Čolakovića.

Na toj sjednici odlučeno je, da kao jedan od govornika i to u ime svih Univerziteta odnosno Tehn. fakulteta u državi bude potpisani. Molim da me Fakultet ovlasti, da i u njegovo ime govorim na spomenutoj komemoraciji.«

Tadašnji dekan prof. Josip Baturić (1902.–1984.) je 9. prosinca uputio prof. J. Lončaru sljedeći dopis:

»Čast mi je obavijestiti Vas, da je na 88. redovitoj sjednici Vijeća Tehničkog fakulteta 6. ov. mj. jednoglasno donesen zaključak, da na komemorativnoj priredbi povodom 10-godišnjice smrti Nikole Tesle 4. januara 1953. u Beogradu zastupate ovaj Fakultet i da govorite u njegovo ime.«

Prof. J. Lončar je na spomenutoj proslavi u Beogradu prisustvovao, a 6. siječnja 1953. održao je na Radio Zagrebu prikaz od 10 minuta, u okviru rubrike »Iz nauke i tehnike«, a govorio je na temu »Nikola Tesla u povodu 10. godišnjice smrti genija elektrotehnike«.

Nakon dobivenog odobrenja Tehničkog fakulteta, prof. J. Lončar je sudjelovao na komemoraciji Nikole Tesle u Beogradu pa je 26. siječnja 1953. održao i prigodni govor. O tomu je javio i dnevni tisak. Nešto prošireni tekst ovoga govora J. Lončar je pod naslovom *Uz desetogodišnjicu smrti Nikole Tesle* [D.61] objavio u časopisu »Glasnik matematičko-fizički i astronomski« 8(1953), br. 1, u kojem je sažeto, no iscrpno, prikazao Tesline stručne zasluge u doprinosu nauci i tehnici, a posebice u različitim područjima elektrotehnike. U članku se govori i o nedavno osnovanom »Teslinom muzeju« u Beogradu u kojemu je smještena obilna Teslina ostavština dopremljena iz Amerike. J. Lončar u članku najavljuje i proslavu 100. godišnjice Teslinog rođenja, koju proslavu namjerava u ljetu 1956. godine prirediti »Državni odbor Nikola Tesla«.

Sl. 20. Djelatnost Josipa Lončara vezano uz obljetnice Nikole Tesle iz knjige Josip Lončar – život i djelo

Zaključak

U radu je kronološki opisan postupak i naponi nekolicine znanstvenika za uvrštavanjem jedinice magnetske indukcije tesla u moderan SI sustav kroz postupke unutar organizacije IEC i CGPM. Kronološki najvažniji događaji i ljudi u tom postupku redom su: *Max Landolt*, švicarski znanstvenik na sastanku IEC-a 1950. godine kao predsjednik Tehničkog odbora 24 IEC-a zagovara posebnu imenovanu jedinicu za magnetsku indukciju kako je to bilo i u starom sustavu (Gauss), a tom prilikom predlaže Kennelyja ili Giorgija za tu jedinicu. Državni odbor za proslavu stogodišnjice rođenja Nikole Tesle 1952. godine odlučuje poduzeti sve što je moguće da se jedna jedinica u elektrotehnici nazove po Tesli. Dva člana Odbora razgovaraju s francuskim članovima TC 24 IEC-a koji predlažu jedinicu magnetske indukcije kao najprikladniju. Za tu namjenu zatražilo se i domaćinstvo godišnjeg sastanka IEC-a u Opatiji 1953. godine. *Georges Darrieus*, francuski akademik podnio je obrazloženi prijedlog na sastanku Tehničkog odbora 24 IEC-a u Opatiji 1953. godine da se jedinica za magnetsku indukciju imenuje po Nikoli Tesli, *Ulrich Stille*, njemački znanstvenik, podržao je taj francuski prijedlog, *Josip Lončar*, hrvatski akademik, na sastanku IEC-a u Opatiji 1953. godine kao predstavnik tadašnje Akademije uz druge sudionike objašnjava stranim delegatima o značenju našega Nikole Tesle u vezi s imenom za novu elektrotehničku jedinicu. *Pavle P. Miljanić*, crnogorski znanstvenik napisao je za IEC TC 24 obrazloženje da jedinica za magnetsku indukciju treba imati posebno ime u novom sustavu mjernih jedinica i doradio je taj prijedlog za slanje nacionalnim odborima na temelju diskusije u Opatiji. *Celestin Kargačin*, hrvatski inženjer, predložio je na sastanku Međunarodnog odbora za mjere i utege (CIPM) 1956. godine da se jedinica tesla uvrsti u popis izvedenih jedinica koje će se prihvatiti na sastanku Opće konferencije za mjere i utege (CGPM) 1960. godine u Parizu. *France Avčin*, slovenski znanstvenik, na Općoj konferenciji za mjere i utege 1960. godine u Parizu branio je jedinicu tesla i potrebu da magnetska indukcija ima posebno ime, *V.O. Aroutinov*, sovjetski znanstvenik i profesor, direktor Mjeriteljskog instituta u St. Peterburgu D. I. Mendéléeu (VNIIM) i *Richard Vieweg*, njemački znanstvenik i predsjednik njemačkog mjeriteljskog instituta (PTB), te predsjednik njemačkog nacionalnog odbora IEC-a podržali su aktivno Franca Avčina u diskusiji. Tijekom svih tih godina bilo je i drugih stručnjaka i znanstvenika koji su podržavali i aktivno radili na tome da se jedinica magnetske indukcije nazove po Nikoli Tesli, a neki od njih su i spomenuti u ovom radu, a posebno se to odnosi na sastanak IEC-a u Opatiji 1953. godine gdje je bilo 70tak sudionika iz bivše države. Bila je to ideja za koju je akademik Josip Lončar 1953. godine rekao da ako zaživi da će Tesli osigurati spomenik „aere perrenius“ trajniji od mjedi. Što se i dogodilo. Zanimljivo je napomenuti da SAD, kao država u kojoj je Nikola Tesla proveo najveći dio svojeg života nije aktivno sudjelovala u tom procesu, iako je imala svoje predstavnike u svim značajnijim institucijama koje su odlučivale o tome.

Roman Malarić, Melita Turković, Petar Mostarac

THE MEASUREMENT UNIT FOR MAGNETIC INDUCTION NAMED AFTER NIKOLA TESLA – CHRONOLOGY, MERITORIOUS SCIENTISTS AND PROFESSOR LONČAR'S CONTRIBUTION

Summary: The paper is a chronology description of the procedure of inclusion of the tesla unit in the international list of measurement units, appointing the meritorious scientists and experts who, by participating in it, supported such a project. Through the presentation of newspaper articles and Lončar's reports on participation in the meeting of the International Electrotechnical Commission held in Opatija in 1953, the work of Josip Lončar in the field of international standardization of units of measurement is described and his contribution to the naming of the unit of measurement for magnetic induction after Nikola Tesla is presented. Popular scientific and professional papers by Josip Lončar in the field of standardization of units of measurement are also given.

Keywords: tesla the unit of magnetic induction, IEC, CGPM

Darko Žubrinić

DRAMA OKO IZBORA MJERNE JEDINICE “TESLA” 1960. U PARIZU

Sažetak: Svrha ovog članka je pružiti uvid u teške okolnosti u kojima je 1960. u Parizu donesena odluka o prihvaćanju mjerne jedinice “tesla” za magnetsku indukciju. Značajnu ulogu je za povoljan ishod imao slovenski profesor France Avčin. Njegov rad na tu temu objavljen je u izdanju JAZU (sada HAZU) u Zagrebu 1978. Široj javnosti, kako stručnoj tako i znanstvenoj, sadržaj te drame je skoro potpuno nepoznat. Mjerna jedinica “tesla” se od 1960. godine koristi širom svijeta.

Ključne riječi: Nikola Tesla, mjerna jedinica “tesla”, France Avčin, *Međunarodni komitet za utege i mjere* u Parizu, konferencija u Parizu 1960.

Uvod

Ovaj članak posvećen je opisu dramatičnog izbora mjerne jedinice „tesla“ za magnetsku indukciju 1960. u Parizu, prema opisu iz članka France Avčina [1], objavljenog u Zagrebu na slovenskom jeziku.¹ Preveo ga je na hrvatski g. Mario Filipi.

Krajem 1954., *Međunarodna elektrotehnička komisija* sa sjedištem u Parizu je na prijedlog člana *Francuske akademije znanosti*² Georgesa Darricusa (1888.-1979.), donijela odluku da se jedinica magnetske indukcije nazove imenom “tesla”.³

¹ Puno opširniji prikaz ove teme nalazi se u [4].

² *Francuska akademija znanosti* nije isto što i znamenita *Francuska Akademija*. Međutim i prva institucija je vrlo ugledna. Među nekoliko stotina članova je i oko 60 nobelovaca; zahvaljujem g. Anti Gliboti (1945. –2020., jednom od trojice dopredsjednika te Akademije) na ovom podatku. Druga institucija (*Francuska Akademija*) ima točno 40 članova („četrdeset besmrtnih“), a utemeljena je još 1663.

³ Vidi [4] i [8, str. 67].

I. Članak France Avčina objavljen u Zagrebu 1978.

Ovdje započinjemo Avčinov članak u hrvatskom prijevodu Maria Filipija.⁴ Članak ima velik broj objašnjenja u bilješkama (fusnotama), ali Avčinov članak ima samo jednu, pod zvjezdicom *.

Autor: prof. dr. France Avčin, Elektrotehnički fakultet Sveučilišta u Ljubljani

Prihvatanje jedinice “tesla (T)” u Međunarodni sustav (SI) za veličinu indukcije (B)

Sažetak. Profesor na Elektrotehničkom fakultetu u Ljubljani dr. France Avčin pripovijeda prema svojim osobnim sjećanjima o događajima koji su 1960. doveli do konačnog prihvatanja mjerne jedinice “tesla” u SI za veličinu magnetne indukcije B. U tu svrhu treba se vratiti daleko u prošlost, izravno u vrijeme slovenske oslobodilačke borbe, odakle ga je neobični splet događaja vodio preko Međunarodne Elektrotehničke Komisije TC24 i Devete Generalne Konferencije za mjere i utege 1948, te 1954. do Jedanaeste konferencije, koja je presudnog 18. 10. 1960. konačno zaključila o “to be or not to be”⁵ imena Tesla u SI. Budući da su “tesla (T)” već prihvatili i MEK, kao i Međunarodni Odbor za mjere i utege i predložili ga GKMU, dogodilo se da je od prvoboraca za nju bio nazočan samo autor. Suočio se je s teškom i posve nepredvidivom kampanjom protiv “tesle (T)”, osobito iz međunarodnih krugova fizičara. Svojim intervencijama je uspio, zajedno s drugima srodnog mišljenja, bitno pomoći da je rezultat konačnoga glasanja bio pozitivan i mjerna jedinica “tesla (T)” je trajno prihvaćena, po devizi Metričke konvencije

“pour tous les temps, pour tous les peuples”⁶

Summary. The acceptance of the “tesla (T)” unit into the International System of units (SI) for the quantity of magnetic induction (B). France Avčin, professor at the Faculty of Electrical Engineering, *Ljubljana University*, presents his personal reminiscences of the events which in 1960 brought about the definitive acceptance of the “tesla” unit for the quantity induction B into the International System of Units (SI). His reminiscences start as early as the Slovene liberation war, wherefrom an unusual interaction of events led, through the Technical Committee No 24 of the International Electrotechnical Commission, the Ninth and Tenth *Conference on Weights and Measures*, to the crucial Eleventh Conference where it was to finally decide – on October

⁴ Prijevod je mjestimice promijenio D.Ž.; dodan je dosta veliki broj bilježaka.

⁵ Biti ili ne biti.

⁶ Za sva vremena, za sve narode. (na franc.)

18, 1960 - on the “to be or not to be” of the name of Tesla in the SI. As both the IEC and the *International Committee on Weights and Measures* had already accepted “tesla (T)” and were, on the date in question, submitting it for approval to the ICWM, it so happened that only France Avčin was present of the principal supporters of the idea. He was confronted there with a strong and quite unforeseen opposition, mainly by physicists. However, by his firm attitude and thanks to the favourably inclined international delegates, he succeeded in substantially contributing to the positive final vote regarding the acceptance of “tesla (T)”, ‘for all times, for all nations’ as stated by the Meter Convention.

X X X X

(cit)

Moj fakultet⁸ mi je dao naputak da Vam ispričam osobna sjećanja o putu i događajima koji su 1960. doveli do konačnog prihvatanja našeg imena “tesla” za jednu od jedinica međunarodnog mjernog sustava SI (*Système International d’Unités de Mesure*),⁹ određenog “za sva vremena, za sve narode”. Nešto od toga sam već napisao 1970. u publikaciji Elektrotehničkog saveza Slovenije povodom 25. obljetnice Tesline smrti. Ovaj put trebao bih ispričati nešto više. Zato ću morati biti još osobniji i možda ću nekoga povrijediti, nakon čak 15 godina. Mene je mnogo toga povrijedilo tada. Naime cijelog života sam bobu govorio bob, drukčije nisam mogao, pa mi je to stalno škodilo, a škodi mi i danas. Tako neka bude rečeno i danas “nudo e crudo”.¹⁰ Tesla je bio jedinstven na tom svijetu, ne samo u svoje vrijeme. Što je sve čudesnoga napravio za elektrotehniku tek u nastajanju, to je sada poznato, a napokon i opće priznato. Njegov način i shvaćanje su bili ne samo originalni, nego i genijalni. Nije bio samo čudesan genij elektrotehnike, nego i njezin svetac: da bi mogao savim neometano stvarati, usred najizrazitijeg “booming city”¹¹ ovog svijeta živio je pravi samostanski život. Odrekao se je svih varljivih izazova vanjskog svijeta, mesa i putenosti, pa ni žena nije stupila u njegove sfere. Odrekao se i novca, iako ga je silno trebao za svoja grandiozna ostvarenja. Tih potreba je bilo mnogo, nikada dosta. Unatoč tome znao je jednim potezom poderati ugovor s Westinghouseom, koji mu je davao pravo na 12 milijuna tadašnjih dolara: obećani jedan dolar za svaki instalirani trofazni kilovat bi naime uništilo obveznika, Westinghouse bi bankrotirao, čime bi bio jako otežan prodor Teslinog trofaznog električnog sustava u cijeli svi-

⁷ Za sva vremena i za sve nacije. (na engl.)

⁸ Elektrotehnički fakultet u Ljubljani.

⁹ Međunarodni sustav mjera i utega

¹⁰ golo i grubo = gola istina

¹¹ bučnog grada.

jet... S tako širokogrudnom misaonošću je prema kraju života posve osiromašio. Da nije bilo potpore tadašnje jugoslavenske vlade, završio bi život u ubožnici, napušten i zaboravljen od svih, osim od svoje bijele njujorške golubice, točno po pravilu “sve na svijetu je stvoreno da trpi”. Sic transit gloria mundi¹² i za najveće glave. Ako itko, Tesla je osjetio do dna gorak okus američke izreke: “It’s no fun to be ahead of one’s time”.¹³ Tesla neka zato bude studentima dokaz osnovne vrijednosti i utjecaja visoke temeljne naobrazbe za svaki, pa i tehnički napredak, ne samo stvarne, nego prije svega humanističke. Naime, sve se veliko, bilo dobro ili zlo, rađa samo iz pojedinačnih bistrih, aktivnih, promoćurnih, ali prije svega dovoljno školovanih glava pojedinaca još od kamene sjekire, preko luka pa sve do “svemirskih” putovanja čovjekovih.

O iznimnim ljudima je najteže pisati, čovjek je pak najveća zagonetka ovoga svijeta, a na žalost postaje u svojem poludjelom nagonu za “razvojem, napretkom, neprestanim rastom”, također njegova propast. Mudrost starih je naime većina pri tome sasvim zaboravila. Posebni ljudi se čovječanstvu rijetko rađaju, kao i sva genetska “čuda” u svoj živoj Prirodi.

Rađaju se, međutim, ponegdje, pokatkad, u ponekom narodu, iako češće onom manje istrošenim, manje razvijenim. Samo uvjeti za razvoj nisu za sve jednaki i zato ima tko zna koliko je takvih “genius wasted”.¹⁴ Teslu nije moglo zadržati baš ništa, svoj tvrd i težak put je utirao sam samcat. Tako je živi Tesla bio – i to vrijedi i za njegovu uspomenu – državljanin cijelog svijeta, kao što su svi posebni ljudi, npr. njegov znamac Einstein iz područja teorijske i primijenjene fizike. Ako danas Teslu slavimo kao hrvatskog Srbina iz Jugoslavije, onda nam na to daje pravo ne samo rodni kraj, nego prije svega činjenica, da Tesla svoje podrijetlo nije nikada ni za trenutak zaboravio. Domovini je bio uvijek vjeran sin, čak i kada se je u grču i krvi rađala nova Jugoslavija. To međutim u SAD-u tada nije bilo ni lako niti popularno. Zato je Tesla više naš nego američki, iako je svoja čuda ostvario upravo u toj državi neograničenih mogućnosti, gdje uspiješ samo ako si dovoljno otporan na negativne profilerske utjecaje tržišnoga gospodarstva i budeš dovoljno bezobziran u potrošačkom društvu.

¹² Vidi kako prolazi svjetska slava.

¹³ Nije šala biti ispred svojeg vremena.

¹⁴ izgubljenih genija

U nastavku vam želim govoriti samo o tome kako je došlo do toga da je veliko ime Tesla “post tot discrimina rerum”¹⁵ bilo primljeno u moderni svjetski mjerni sustav SI (Systeme International)

“pour tous le temps, pour tous les peuples”¹⁶

što je dalekovidno odredila već francuska revolucija. Sudbina mi je spletom različitih okolnosti dala neočekivanu ulogu, tešku i odgovornu, onda kada se je godine 1960. u tom za nas Jugoslavene načelno važnom pitanju radilo o svima. Osamnaestog listopada sam se našao pred njim iznenada, sam, bez potpore dotadašnjih boraca za “jedinicu”, sam pred neočekivano, profinjeno organiziranom urotom zadržanih starih protivnika, bez sumnje i politički obojenih, ljubomornih čak na uspjehe moderne elektrotehnike, bez koje nema vrhunske eksperimentalne fizike od atomskih reaktora do radioastronomije. Sam napad je stigao neočekivano, iznenada kao iz zasjede, najtežim oružjima. Tako me je snašao najteži dan mog života, moralno teži od svih opasnosti koje sam do tada doživio u brdima i kroz rat. Da bismo mogli razumjeti sav neobični lanac povezanosti događaja, moram se vratiti daleko natrag.

U elektrotehnici me je od nekad zanimala prije svega njezina fizikalna pozadina: elektrofizika. Tehnika mi je stalno bila materijalizirana fizika plus gospodarstvo. Neka takozvana elektroenergetika mi tako uopće nije elektrotehnika, sve prije nego to: strojarstvo, hidraulika, termomehanika, vodnograđevinarstvo, ekonomika, čak i politika, naravno i korupcija itd. itd. Elektrotehnika počinje tek na mehaničkoj osnovi između pogonskog stroja bilo kakve vrste i generatora, također bilo kakvog oblika, u centralama, pri pretvorbi mehaničkih naprezanja, koje rješava jedna jedina tenzorska jednadžba mehanike, u električni napon i struju, koje u svemu slijede dvije osnovne Maxwellove jednadžbe elektromagnetike, tako čudesne, “kao da ih je ostvarilo neko božanstvo (Boltzmann)”.

Pa ipak sam se volens nolens¹⁷ upleo u elektrotehniku i to baš u partizanima. Na jesen 1944. sam tamo saznao za namjeru Glavnoga štaba NOV i POS: onesposobiti, a po potrebi i uništiti okupatoru sve električne centrale! Zavrtjelo mi se je u glavi: kraj rata je blizu, a mi bi si baš sada, tik uoči slobode, trebali prerezati krvne žile, više nego potrebne za obnovu i razvoj! Što napraviti? Izravno neću ništa uspjeti, ali možda uspijem uvjeriti one glavne drugim putem.

Priredio sam profesorsko predavanje za šefove SNOS u Črmošnjicama o osnovnom značenju i nenadomjestivoj važnosti elektrike za obnovu i razvoj odmah nakon

¹⁵ nakon odluke

¹⁶ za sva vremena i sve narode

¹⁷ volens nolens (lat.), htio – ne htio

rata. Centrale moramo vojno zaštititi, a ne još i uništavati. Rekao sam kako se može najuspješnije i najlakše onesposobiti električna mreža na određeno vrijeme. Te stvari sam dobro poznao, jer sam s engleskog preveo minerski priručnik nazočnog britanskog pukovnika Moora. Mine po mojim nacrtima iz zaplijenjenoga talijanskog vojnog materijala bi mi za dlaku donijele metak, jer nisam htio poslušati pretpostavljenoga niti zapovjednika, pravnika, s kojim sam inače zajedno derao školske klupe cijelih 12 godina. No, pukovniku su kasnije donijele u Africi nagradu i generalski čin... Protiviti se višim zapovjedima bilo je, naime, kao u svakoj vojsci i ratu, vrlo riskantno ponašanje. Po meni, intelektualcu, su nakon predavanja u debati udarili sa svih strana: da je to egoizam, moramo biti beskompromisni i prema samima sebi itd. Dogodilo se je da je baš usred cijele te vatre kao *deus ex machina*¹⁸ ušao drug Krištof, Edvard Kardelj, koji je upravo dolazio iz Vrhovnog štaba. Kada je saznao kakve odmetničke misli zastupam, rekao je da imam potpuno pravo. Takva je sada i linija Vrhovnog štaba, jer je kraj rata tako blizu. Još ih i danas vidim, u trenutku promijenjenog lica i još mi je danas smiješno kada ih sretnem, ostarjele skupa sa mnom.

Tako su bile spašene slovenske centrale, jedino su na Fali pokvarili neke uzbuđe. Zaštita je dobila zadatak zauzeti i čuvati ih, nakon što Nijemci pobjegnu. Za sve to i dan danas malo tko zna, a već je prošla trećina stoljeća.

Moje elektroenergetsko djelovanje međutim nije prošlo nezapaženo. Za Novu godinu 1945. sam iz Bele Krajine odletio u Bari i dalje u već slobodni Beograd, u Saveznu komisiju za gospodarsku obnovu zemlje. Tamo se je između ostalog pokazala potreba pronaći regulatore i uzbudnike turboagregata poznate švicarske firme BBC (Brown Boveri Co.), koje su uništili bježeći 'nadjudi'. Kako do njih? Očito bi netko trebao ići u Švicarsku, netko tko se tamo snalazi, koji zna jezike i elektrotehniku jake struje i nešto strojarstva, naravno pouzdan. Prof. Ciril Rekar, metalurg, je našao mene, koji sam još prije rata bio po švicarskim planinama. Duboko su odahnuli neki koji su se već motali oko tek ustanovljenih šefovskih elektroprivrednih položaja, kada sam 14. travnja 1945. zrakom vrcnuo u Bari, a od tamo dobro opremljen iz zaliha generala Pehačeka lovačkim zrakoplovom i sa svojim ruskim Tokarev - Tula 7,63 mm u džepu dalje u Marseille, pa onda Paris. Dalje za Švicarsku, međutim, nije išlo nikako: alpinist je doista, Švicarsku pozna, govori čak njemački i francuski, ali bandit...? Ne, pričekajmo radije kraj rata! Tako sam dočekaao na Champs Elisées navečer 8. svibnja 1945. u Parizu, "le jour de la victoire"¹⁹. Nezamislivo ludo veselje tri dana bez kraja. I ja jedini časnik jugoslavenskog *résistance*²⁰ u uniformi! Bilo je jedinstveno, nezaboravno. Kada

¹⁸ Bog iz mašine – spas s neba

¹⁹ Dan pobjede

²⁰ pokreta otpora

god danas moram u Paris, to mi je živa dosada. Upravo tada sam imao kontakte s francuskom Résistance (Pokretom otpora). Mnogo toga sam tako saznao, mnogo naučio, što mi je kasnije dobro došlo i u bitkama oko Tesle za “teslu (T)” do konačne pobjede 15 godina kasnije.

Diplomatska putovnica i nove veze su mi konačno utrle put u Švicarsku. Švicarska je imala veliku nestašicu sirovina: vlak najslabijega lignita bi plaćali zlatnim satovima, samo mi to tada nismo htjeli razumjeti. One dijelove sam dobio, financije je uredio bankar iz Beograda, a blagoslovio novodošli politkomesar Slovenac. Nakon toga su na našu delegaciju zaboravili do studenoga, što sam temeljito iskoristio za samotna penjanja po tamošnjim planinama. Kada sam spasio dva Švicarca na Bernini, bio sam konačno primljen u CAS (Club Alpin Suisse), gdje sam danas već veteran. Ta iskaznica mi je dugo koristila više nego diplomatske isprave. Tako smo uz njezinu pomoć prošvercali dva automobila umjetnih rubinastih ležajeva za novoproduzvana “Iskrina” električna brojila. Kada je došao teško čekani povratak, s financijom sam odletio, a ostao je politkomesar! Tamo sam se i ja prvi put susreo s prokletstvom novca, ali me nije mogao zaslijepiti. Pred zimu me je drug Krištof, kada nisam htio ići ni na jedan od važnih položaja ni u diplomaciju, posjeo za volan velikoga kamiona punog vreća brašna, pa vozi za Ljubljano! Baš sve sam ih disciplinirano predao, ali još nisam i ni danas ne vladam već tada uspješnim tehnikama nekih ljudi, kako bez rada doći do blagostanja na račun društva.

Kontakti s glavnim ljudima švicarske elektroindustrije i tehnike su mi kao profesor elektrotehnike brzo postali iznad svega dragocjeni. Upoznao sam među ostalim prof. Landolta, velikog šefa u Oerlikonu (vidi kasniji njegov istiniti članak o Tesli u *Bulletin des Schweizerischen Elektrotehnischen Vereines*, 1959). Pozvao me je na rad u Međunarodnu Elektrotehničku Komisiju (IEC), Odbor za električne i magnetske veličine i jedinice (TC 24), najviše znanstven od svih brojnih drugih. Već 1950. sam se uključio. U tih deset godina sam se kroz sporove koji stalno traju i još nisu riješeni upoznao s problemom “racionalizacije” nekih električnih veličina (npr. jakost magnetskog polja H) i jedinica (npr. njezina CGS jedinica “oersted”). Tako sam se hoćeš-nećeš dobro upoznao s povijesnim korijenima formulacija u magnetici: H je inače vrlo korisna, ali hipotetska veličina, nemjerljiva, njezina jedinica se ne može realizirati. Zapravo se mjeri jedino gustoća magnetskog polja, odnosno indukcija B . Čak magnetiku možeš napisati bez H (prof. Koželj), ali bez B ne možeš, osim ako se ne postaviš na više i jedino pravilno stajalište koje sam što je moguće jednostavnije prikazao u “Elektrotehničnem vestniku” 1974, br. 2: “magnetike nema, postoje samo sile među ionima. U mirovanju ih drži elektrostatika, a u relativnom kretanju leta ista plus relativistika”. Sve njezine veličine, pa i B , proizlaze iz tog puta, kao što sva relativistika proizlazi najjednostavnije iz jednadžbi elektrodinamike odnosno elektromagnetike.

U našem jugoslavenskom odboru TC 24 se je skoro ugasila zamisao nazvati tu osnovnu veličinu magnetike B vlastitim imenom, a ne naprosto starim miriagaus (10^4 gaussa klasičnog CGS sustava), niti Vs/m^2 odnosno Wb/m^2 iz novog praktičnog sustava. I tko bi bio kompetentniji kandidat za to imenovanje nego naš Tesla, taj klasični svjetski velikan elektromagnetike! Kao glavna prednost za taj posao bila je na svim stručnim poljima izabrana 100. obljetnica njegovog rođenja (9/10 srpnja 1856. u Smiljanu kod ličkog Gospića). Do tada se je moralo dogoditi još mnogo toga, a još više nakon toga, dok je došlo do konačnog prihvaćanja 1960. Što i kako, vidjet ćemo odmah.

Godine 1948. je došla Generalna konferencija za mjere i utege, prva od rata. *Conférence Générale des Poids et Mesures* je diplomatskog karaktera, izvršni organ Mjerne konvencije (*Convention de Mètre*), koja je baš 20. svibnja lani (1975) slavila 100. obljetnicu postojanja, mimo svih vojnih i političkih akrobacija tog nezrelog, da, ludog čovjekovog svijeta. U njoj sjede diplomati, a stvarni stručnjaci u njezinom Međunarodnom komitetu za mjere i utege (CIPM), iako konačno odlučuju oni prvi. S obzirom na moja iskustva iz 1945. je Savezni sekretarijat inostranih poslova poslao mene i još jednog člana financijskog odbora CIPM Kargačina²¹ iz zagrebačke ekspoziture Beogradskog Saveznog ureda za mjere i dragocjene metale. Inž. Kargačin, međutim, nije došao. Tada su bili konačno postavljeni trajni temelji današnjeg Međunarodnog mjernog sustava (SI): sve jedinice dimenzijski koherentne s osnovnim Giorgijevom izboru (m, kg, s, Ws elektrike = J mehanike), pri čemu četvrta još nije bila određena. Za magnetsku indukciju B je još vrijedilo (p. 115 *Comptes Rendus* de la IX^e CGPM): “L’unité d’induction magnétique est le myriagaus - $10^4 \text{ cm}^{-1/2} \text{ s}^{-1}$ ”²². Le myriagaus est l’induction qui produit un flux d’induction magnétique de un weber par metre carré”²³.

Definicija jedinice za B je tada još bila naslonjena na klasični tročlani elektromagnetski sustav CGS (centimetar, gram, sekunda), dočim je jedinica fluxa Φ weber već spadala u moderni četveročlani mjerni sustav (m, kg, s, A). Tada sam imao posebnu sreću: Francuzi pišu Jugoslaviju s Y (Yougoslavie), jednim od posljednjih slova u abecedi, pa sam tako sjedio na kraju konferencijskog stola. Uljudni, kao što jesu, za sebe su, domaćina Francusku, rezervirali posljednje mjesto, još iza mene. Predstavljao ju je nitko drugi nego Louis de Broglie,²⁴ glasoviti fizičar i nobelovac, osnivač valne

²¹ Celestin Kargačin (1883.–1965.), rodом iz Zagreba, bio je član CIPM (Međunarodnog odbora za mjere i utege) još od 1923., sve do svoje smrti. Više podataka naći ćete u [4].

²² jedinica magnetske indukcije je mirijagaus

²³ Mirijagaus je indukcija koja proizvodi gustoću magnetske indukcije od jednog webera na kvadratni metar.

²⁴ Louis de Broglie – č. Luj de Broj

mehanike (s jednadžbom za električne korpuskule $mv^2/2 = eU = hv = hc/\lambda$ kod čega je λ "de Broglijeva valna dužina, pripisana djeliću mase m i iona e , jednadžbu ništa manje važnu za fiziku i svijet od Einsteinove $E = mc^2$). Svo vrijeme 9. GKMU²⁵ (13.-21. X. 1948.) smo tako sjedili zajedno. Shvatio sam da stalni sekretar francuske akademije i francuski princ nije samo princ fizike, nego i izuzetan čovjek, uljudan, prijazan, skroman, uslužan, kakvi su doista veliki ljudi. Tako sam puno saznao o fizici, who is who u njoj, o njevoj filozofiji, a i o njihovim organizacijama i stvorio druge kontakte i veze. Od tih ljudi sam saznao kako stvari teku u GKMU, interese, grupacije itd, sve od vremena kada je 31. 3. 1791. Narodna skupština Francuske odredila za dužinu jedinicu metar, jednak 40 milijuntnom dijelu Zemljinog meridijana. U Francuskoj je 25. 7. 1800. bio izrađen prametar. Dobio sam "en hommage cordial"²⁶ četiri njegove prekrasno napisane znanstveno-popularne knjige bez svih formula o tadašnjoj modernoj fizici^{*27} u zamjenu za svoju kasnije tiskanu raspravu "Is the Giorgi System of Units to be considered 3 - or 4 Dimensional?"²⁸ – *Electrotechnical Review*, vol. XXII, no 5-6 and no 7-8 1954. One mi predstavljaju veliku dragocjenost. "L'histoire des sciences est... l'une des branches les plus passionantes de l'histoire generale"²⁹ piše na kraju uvoda u četvrti. I jedina istinita, jer sve druge povijesti se od nekada usput prekrajaju prema željama trenutnih političkih režima.

Godine 1954. je došla X. GKMU. SSIP u Beogradu je opet odabrao mene i Kargačina, taj put i inž. Lazara, tadašnjeg direktora SUMDM. Predsjedavao je Maurice de Broglie, brat Louisa, predsjednik *Académie des Sciences de l'Institut de France*.³⁰ Moji kontakti su ostali sačuvani.

Švicarsku je zastupao moj švicarski znanac prof. dr. Roš, Slovenac iz Hrastnika, predstavnik Švicarskog instituta za istraživanje materijala. Bio mi je u nastavku dragocjeni savjetodavac i učitelj. Tada su bile napravljene sve pripreme za buduće prihvaćanje sadašnjeg "optičkog metra" s tim da smo pribrojili dolazeće mononukleide (Hg^{198}_{80} , Cd^{114}_{48} , Kr^{84}_{36} , Xe^{136}_{54} ...). Fizičari su umjesto ampera kao četvrtu jedinicu SI htjeli radije postići prihvaćanje jedinice magnetske konstante μ_0 za osnovno ($Vs/Am =$

²⁵ Kratica GKMU se u nazivlju na slovenskom jeziku odnosi na *Generalnu konferenciju za mere i utege*. Na hrvatskom to je *Opća konferencija za utege i mjere* (OPUM), a na francuskom *Conférence générale des poids et mesures* (CGPM). Zahvaljujem prof. dr. Romanu Malariću na objašnjenju.

²⁶ "en hommage cordial" (franc.) – srdačno poštovanje

²⁷ *La physique nouvelle et les quanta 1937.; Matière et lumière 1937.; Continu et discontinu 1941.; Physique et microphysique 1947. (Ovo je jedina bilješka u Avčinovu izvorniku; op. D.Ž.)

²⁸ Može li se Giorgijev sustav jedinica smatrati tro- ili četvero-dimenzionalnim?

²⁹ Povijest znanosti je jedna od najuzbudljivijih grana opće povijesti.

³⁰ Akademija znanosti Francuskog instituta

$H/m = T/Am^{-1} = N/A^2$, tvrdeći da ampere nije neovisan od m, kg, s, jer vrijedi

- elektromagnetno: $1A = 10^{7/2} m^{1/2} kg^{1/2} s^{-1}$

- elektrostatično: $1A = 3 \cdot 10^{9/2} m^{3/2} kg^{1/2} s^{-2}$

omjer je $3 \cdot 10^8 m/s = c_0$

Tu sam se prvi put sukobio s fizičarima. Na osnovi gornje rasprave predložio sam notu koja se tiče definicije apsolutnog ampera, koja je dokazala da takvo gledanje na jedinicu električne struje vrijedi samo ako i SI baziramo na samo tri osnovne veličine mehanike – tako kao što je u oba sustava CGS, ali ne da je za jedinu logičnu interpretaciju SI potreban četiridimenzionalan u elektromagnetici i samo tako je ampere kao četvrta osnovna jedinica definiran sasvim neovisno (vidi *Annexe IV*, p. 95 h *Comptes rendus* - izvješće X, CGPM). Fizičari su me već tamo dobro zapamtili, osobito njihov šef, sekretar Međunarodne unije za čistu i praktičnu fiziku (UIPPA) Nizozemac prof. dr. de Boer iz Instituta za teorijsku fiziku u Amsterdamu. Za 6 godina su mi on i njegovi vratili milo za drago na XI. GKMU, kada se je glede “tesle (T)” išlo “na nož”. Kod kuće smo dalje radili u našem odboru TC 24 - IEC, osobito verzirani beogradski profesori Pavle Miljanić, Aleksandar Damjanović, Ranojević. Prikazali smo sa svih mogućih gledišta osnovnu utemeljenost veličine B (gustoća magnetskog polja, indukcija) prema vlastitoj jedinici s jedne strane, a s druge svu težinu i slavu imena Tesla za tu jedinicu.

Na godišnje zasjedanje IEC su počeli kapati raznorazni “bezveznjaci”, prišepetlje i nijeme ribe, bolest kongressitis acuta se je jako proširila u YU. Nisam izdržao, pa sam se drznuo napisati u izvješću o zasjedanju IEC (srpskohrvatsko izdanje), da “u IEC žutokljuncima i nezalicama nesme da bude mesta” jer se radi o stvarima tako važnima za sve Jugoslavene i da na prevažnom zasjedanju u Opatiji 22. 6. – 2. 7. 1953. “gledaocima koji bi se prekrštenih ruku gostili na račun zajednice, a pored toga nekonstruktivno kritikovali, u Opatiji neće biti mesta”.

Pogođeni su mi organizirali pravi pravcati pogrom, zasuli me “vatrom i sumporom”, da sam napravio nepopravljivu štetu zamisli o jedinici “tesla”, kada to budu čitali vani... Prijetila mi je savezna UDBA,³¹ beogradski i zagrebački kolege su me se javno odrekli, s tim što su mi Zagrebčani pojedinačno davali za pravo. Sa svojom nediplomatskom krutošću još jednom nekima nisam išao u račun.

Onda je došla godina 1956, stogodišnjica Teslinog rođenja. Bile su ogromne priredbe, predavanja, pozvane su najvažnije ličnosti iz IEC, a također iz GKMU - Bu-

³¹ UDBA – zloglasna Uprava državne bezbednosti (na srpskom), tajna policija utemeljena 1946. za vrijeme ex-Jugoslavije.

reau International,³² Comité Consultatif d'Electricité,³³ CIPM. Nazočan je bio veliki fizičar nobelovac Niels Bohr. Bili su izleti, darovi, Jadran, ni sam ne znam što sve ne. Razumije se da ta vječna nakaza Avčin nije dobio poziv. Nije ga dobio niti na 25. obljetnicu Instituta Milana Vidmara, sve u znaku HE Kobarid, iako je bio prvi predsjednik društvenog upravljanja, da ne bi nešto zinuo o tom protuprirodnom projektu koji ništa ne rješava, a jako škodi. U Philadelphiju na važno zasjedanje IEC su išla trojica ili četvorica iz Beograda, zna se...

Doista je ideja “tesla (T)” skoro prihvaćena u IEC (International Electrotechnical Commission) i također u CIPM (Comité International des Poids et Mesures),³⁴ glavnom stručnom organu GKMU, vrhovnoj metrološkoj³⁵ instanci svijeta. Svi uključujući i mene su bili uvjereni, da je prihvaćeno konačno: Roma locuta, causa finita!³⁶ Međutim, svi smo radili račun bez krčmara, jer pravi Rim, Generalna konferencija za mjere i utege, nije se još javio. U njoj su neki, dobro pripremljeni, čekali da udare.

Došla je Jedanaesta Generalna konferencija (11.– 20. 10. 1960). Nije više bila u Breteuilu, sjedištu BIPM kao ranije, nego primjereno njezinoj težini, u samom Ministarstvu za vanjske poslove Francuske. Prema službeno pripremljenoj rezoluciji br. 12 CIPM – CC d'É (str. 88 *Comptes Rendus de la XI CGPM* – vidi prilog) trebala je jedinica “tesla (T)” biti primljena automatski zajedno sa svim drugim predloženim jedinicama SI.

Raspis za 11. GKMU s listom govornika sam dobio, vjerojatno po nekoj “ineraciji”. Doznao sam i za listu već prijavljenih. Među njima je bio i Monsieur de Boer kao šef fizičara, moj “prijatelj” iz X. GKMU. Dalje Talijan Perucca, poznati profesor fizike, vrlo uglađeni gospodin. Od nas su taj put bila trojica, osim Kargačina i Lazara kao šef delegacije još novi direktor SZMDM,³⁷ inače energičan i zaslužan čovjek, koji je kasnije podigao zgradu novog Saveznog zavoda za MDM,³⁸ no na žalost točno u dunavskoj luci usred svih mogućih fizikalnih smetnji, nemogućih za državnu me-

³² Međunarodni ured

³³ Savjetodavni komitet za elektricitet

³⁴ Međunarodni odbor za utege i mjere (u Parizu)

³⁵ Pozor! Metrologija (znanost o mjerenju i mjernim jedinicama) nije isto što i Meteorologija!

³⁶ Rim je izgrađen, posao je završen!

³⁷ SZMDM – Savezni zavod za mjere i dragocene metale. To je bio zavod u Beogradu koji je imao sve etalone i utege kod sebe i imao jedini vezu s BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*). Nakon osamostaljenja Hrvatske osnovan je Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo (DZNM), koji se kasnije, ulaskom Hrvatske u EU, razdvojio na odjele za normizaciju, mjeriteljstvo itd. (Objašnjenje ljubaznošću prof. dr. Romana Malarića)

³⁸ MDM – Mjere i dragocjeni metali

trologiju najviše razine. Povijest i razvoj “tesle” nije mogao znati do potrebnih detalja, a ni jezicima nije vladao aktivno. Mislili su da svo to potrebno znanje više nije potrebno. Dakle sva trojica iz SZMDM, što bi još i s profesorima, beogradskim ili čak ljubljanskim... Od njih dakle nikoga, niti najvažniji od beogradskih prvoboraca prof. Pavle Miljanić, veliki teoretičar, francuski đak i glatki Francuz nije bio tamo! Ja sam, međutim, iz svojih vlastitih iskustava već iz imena naslutio da nešto visi u zraku nad “jedinicom”, a još i privatna obavijest jednog sada već pokojnog znanca iz 1945. u BIPM upozorila me je na takve mogućnosti na XI. CGPM. Što učiniti?

Potražio sam starog prijatelja, dr. Jožu Vilfana, tada podpredsjednika Skupštine Slovenije. Stari iskusni diplomat me je razumio i na njegovu intervenciju je SSIP ipak pristao i diplomatski me akreditirao kao “savjetnika” delegacije, ali s tim da moje troškove plaća - Slovenija!!!

Na Gare de Lyon³⁹ je susret sa službenom delegacijom bio hladan. Na rastanku je moje lovačko uho uhvatilo oštre riječi: “A šta će ovaj ovde, koliko će još da nas bude?” Bez prethodnog dogovora, pripreme strategije, podjele uloga za svaki mogući slučaj, došla je četvrta sjednica XI. GKMU: srijeda 18.10.1960. u 15 sati. S njome je započelo za mene nešto što mi je postalo, kao što sam već rekao, najzbuđljiviji događaj i dan mog života. Pa čak i najopasniji, u što sam se na sreću uvjerio tek naknadno, a u životu mi opasnosti nije manjkalo ako pomislim samo na partizanstvo i alpinizam. Tako je bilo u stvarnosti, iako je u odgovarajućem službenom tekstu (Comptes rendus des Séances de la XIe CGPM – str. 66 - 68) sve je zapisano ublaženo i pročišćeno, naravno.

Kod točke 15 “Système International d’Unités”⁴⁰ je Commission du Système d’Unités⁴¹ (pod vodstvom Austrijanca Stulla-Götz-a) predložila rezoluciju br. 12 o svim jedinicama SI, u § 4 među svim izvedenim jedinicama (unités dérivées) i “tesla (T)” za veličinu “induction magnétique”. Protiv nijedne, nije bilo ni starih ni novih prigovora, jedino kod “tesle” je započeo opći napad.

Započeo ga je Danac, fizičar Jensen: da se u listi suglasno preporučenim jedinicama prekriži T i ostavi Wb/m²! Motiv: ionako se radi o nekoj plošnoj gustoći, a i uopće je dobro ograničiti upotrebu specijalnih imena za jedinicu. One stare, poznate i uhodane neka ostanu, nove da se ne uvode!

Slijedio je opet fizičar, Monsieur de Boer, kao što je već rečeno, sekretar UIPPA: uvođenje specijalnih imena za izvedene jedinice samo škodi jasnoći SI. On je protiv, “teslu” brisati!

³⁹ Lionski željeznički kolodvor u Parizu

⁴⁰ Međunarodni sustav jedinica

⁴¹ Komisija za sustav jedinica

Ustao je Talijan Perucca, već treći fizičar za redom: govorio je uglađeno, diplomatski, ali u istom negativnom smislu. Kod njega mi je, tada još naivcu, konačno postalo jasno u kojem grmu leži zec: stari, već davno rješeni sporovi oko osnovnih izuma polifaznih struja s Ferrarisom i Marconijem za radio (Marconiju su ranije patente ukradene Tesli u SAD naknadno poništili) žive i dalje, da o staroj politici oba Rima, talijanskog i vatikanskog, prema nama, niti ne govorimo.

Gotovo mi se je zamaglilo. Što sada? Svi naponi Jugoslavije da sada propadnu, jer protiv zaključka Generalne Konferencije nema prigovora, ne postoji put natrag. Od naše delegacije si mogu pomoći jedino ja sam. Trojica iz SUMDM već zbog službenih jezika ne će otvoriti usta. Dvojica inače razumiju, ali ne poznaju pozadinu. Treći, onaj s kolodvora, niti toliko. Ako se pak ni mi Jugoslaveni ne budemo aktivno borili, ako budemo sjedili kao nijemi, drugi se ne će tući za nas s tolikom frontom fizičara. Nije mi preostalo drugo nego da sam nastupim i *ex tempore*⁴² na francuskom ili engleskom bez prijevoda pobijam njihove argumente.

A ako ne uspijem? Na to tada na sreću nisam ni pomislio. Pod oštrom lupom Beograda bi bio kao “nametljivac” kriv za sav debakl opet taj Avčin, koji je jednom već tako naškodio “jedinici”, da su za 100. obljetnicu to jedva izgladili. Razčtetvorili bi me...

Na sreću, pojavila su se dva saveznika. Prvi profesor Arutinov, direktor Vsesojuznog Instituta imeni Mendeljejeva iz Lenjingrada.⁴³ Potvrdio je tendencije u elektrotehničkom svijetu, dati kratka vlastita imena svakoj jedinici. Tako oni predlažu za veličinu H (jakost magnetnog polja) “lenz” (Lenzovo pravilo induciranja) umjesto nepreciznoga ampere na metar (A/m). Budući da je “tesla” već 1956. prihvatila IEC, tu su jedinicu u SSSR⁴⁴ već uveli u nastavu.

Drugi je bio pokojni profesor R. Vieweg,⁴⁵ President Physikalisch-Technische

⁴² s vremena na vrijeme

⁴³ Svesavezno instituta u Lenjingradu (sada opet Petrograd, tj. Sankt Peterburg), imenovanog u čast Mendeljejeva, znamenitog ruskog kemičara koji je otkrio periodni sustav elemenata. Ime Arutinova je zapravo Valentin Osipovič Arutjunov (1908.–1976.), armenskog je podrijetla (Arutyunyan, Harutyunyan). On je doktor tehničkih znanosti i veliki stručnjak za projektiranje električnih postrojenja. Od 1956. do 1975. bio je direktor *Svesavezno znanstveno-istraživačkog instituta metrologije im. D. I. Mendeljejeva* u tadašnjem Lenjingradu. Opširnije o Arutjunovu pogledajte prikaz na mrežnoj adresi <https://museum.vniim.ru/arutjunov.html>. Zahvaljujem Armencu dr. Arturu Bagdasarovu, ekspertu za hrvatski jezik i kulturu iz Moskve (i dobitniku Inine nagrade 2010. za međunarodno promicanje hrvatske kulture), na poslanoj poveznici.

⁴⁴ Bivši „Savez Sovjetskih Socijalističkih Republika“ (SSSR, ili kraće – Sovjetski savez). Na engleskom USSR ili SU – Soviet Union.

⁴⁵ Richard Vieweg (1896.–1972.), ugledni njemački fizičar (op. a.)

Bundenanstalt⁴⁶ u Braunschweigu, nasljednice glasovite PT - Reichsanstalt u Berlinu, prvog državnog metrološkog laboratorija u svijetu uopće. Bio je iznimno ugledan, doista pravedan i dobar prijatelj još prije izuzetno uspješnog opatijskog zasjedanja IEC (1953.). Bio je i sudionik proslave 100. obljetnice Teslinog rođenja. On je smatrao da se takva imenovanja trebaju ograničiti, a “tesla (T)” da je već toliko u uporabi, da se može zadržati.

To mi je dalo krila: bez prijevoda sam na oba jezika kratko i jasno ispričao historijat, naše razloge, sadašnje stanje, a osobito da je “tesla” već prihvaćena i ozakonjena u nekim državama, kao npr. u ČSSR.⁴⁷ Završio sam s prijedlogom da se u slučaju prihvaćanja zahtjeva prva tri govornika izostavi i ime “newton” (N) za SI jedinicu sile, jer je i N izvedenica (kg m s^{-2}). Zato se vratimo na stari “pentadyn” ($10^5 \text{ dyn} = 10^5 \text{ cm g s}^{-2}$)!

Protiv je bio također Belgijanac prof. Jacob, iako također fizičar. Za njim se je javio delegat SAD dr Astin. Pod njegovim predsjedavanjem sam pred više godina u glasovitom američkom National Bureau of Standards (Washington DC) prakticirao pola godine magnetiku. Činilo se je da govori neutralno fifty-fifty, ni lijevo, ni desno, iako je Tesla bio američki državljan i tamo je dostigao svoje fantastične uspjehe.

Austrijanac Stulla-Götz je bio s nama: Austriji također ne odgovara prihvatiti prefiks “dekada”, ali će ga ipak ozakoniti. Pozvao je GR da rezoluciju prihvati onako kako je predložena.

Ponovo je uzeo riječ dr. de Boer, kao da ga danas gledam: odlučno je protiv “tesle” i protiv svih tendencija elektrotehničara da usvajaju specijalna imena za jedinice, s kojima da su se nametnuli cijelome svijetu. “Mi fizičari smo suprotnog mišljenja. Kada su mišljenja podijeljena, onda bolje ništa”. Dakle à la Louis XIV “l'état c'est moi”⁴⁸ a uzgred ide i staro rivalstvo elektrotehničara i fizičara, koji bez njihovih dostignuća ne mogu ostvariti svoje zamisli.

Opet je ustao prof. Arutinov: pobijao je Peruccu glede pouka elektrofizike. Također je istina da za “lenz” još nije zrelo, ali za “teslu” jest. Sam je sudjelovao u CIPM, kada je sve bilo prihvaćeno suglasno nakon zrelog razmišljanja.

Ja sam odgovorio de Boeru odlučno, da je njegovo djelovanje zapravo dezavuiranje,

⁴⁶ Nacionalni metrološki institut u Njemačkoj

⁴⁷ ČSSR – Čeho-Slovačka Socijalistička Republika

⁴⁸ Država, to sam ja.

teško nepovjerenje stručnjacima iz cijelog svijeta u CIPM.

Na to je slijedilo kritično glasovanje oko “tesle (T)”: 11 za, 6 protiv, a čak 12 uzdržanih. De Boer na to: pogrešno bi bilo prihvatiti tako slabo poduprti zaključak!

Honti, pravnik i podpredsjednik Narodnog mađarskog ureda za mjere, Budimpešta, je konstatirao, da je po statutu inače dovoljna jednostavna većina (11:6), ali ipak predlaže zajedno s Arutinovom, odlučiti o cijeloj rezoluciji br. 12, onako kako je predložena.

Slijedio je manevar odvrćanja u posljednjem trenutku: fizičari Perucca (Italija) i Carreira (Portugal) su napali ime kilogram u ulozi osnovne jedinice, koja ima dekadični prefiks, pa bi tako milikilogram bio gram. Sve još jednom promisliti, dakle - odgoditi za daljnjih šest godina, naravno zajedno s “teslom”! U međuvremenu ćemo onda vidjeti...

Predsjedniku GKMU Barillonu⁴⁹ je bilo dosta natezanja, pa je sam predložio ponovno glasovanje, ali ovaj put za cijelu listu u rezoluciji 12. Rumunja, koji ili nije razumio, ili je zaspao, je prof. Arutinov, sjedeći ispred mene, potaknuo na glasovanje gurnuvši ga šakom u leđa rekavši: “A što ti, Rumunji!”. Rezultat je bio (str. 87) 18 za, 1 protiv (de Boer), 11 suzdržanih.

Bilo je to 18. listopada 1960. u 17.30. Veliko ime Tesla je bilo prihvaćeno u međunarodni sustav mjernih jedinica “za sva vremena i sve narode”.

Kao da sam se probudio iz teške more. Što se je događalo do kraja sjednice više nisam čuo, kamo li razumio. U 19.15 smo završili. U auli je moje lovačko uho iz kabine telefonskog automata uhvatilo snažne riječi našega šefa veleposlanstvu SFRJ:⁵⁰ “Čvrstome stavu naše delegacije uspjelo je...”!

Zavrtilo mi se je. Brže u prvi taksi, pa u moj skromni hotelčić! Usput sam kupio “une bouteille du rouge”⁵¹ – burgundca za tu svečanu zgradu! – legao u krevet i u njemu se iz sigurnosnih razloga poprilično napio.

Nakon toga je sve bilo tiho. Iz Beograda sam kasnije dobio osamljeno usmeno priznanje udarcem po ramenu, da sam “ipak borac”. I to je nešto!

Tako smo mi Jugoslaveni napokon i konačno došli do imena Tesla u SI. Samotni samonikli Tesla, veliki vizionar, do više nego zaslužena vječnoga spomenika, za inat svim zavidljivcima, kradljivcima ideja, konstrukcija i patenata, te političkim pro-

⁴⁹ Ujedno i predsjednik znamenite *Francuske akademije*.

⁵⁰ SFRJ: Socijalistička Federativna Republika Jugoslavija

⁵¹ bocu crnog vina

tivnicima. Ozakonjen je s Metarskim sustavom u svim kulturnim državama. Ako fizičari ponekad još operiraju s “gaussom”, to je ilegalno, na štetu znanstvenom naraštaju. To rade osobito u magnetici, jer je za nju navodno klasični CGS sustav prikladniji od SI. Time sami sebi daju “testimonium pauperitatis”,⁵² jer sami kažu da SI ne poznaju dobro. Naime magnetika u fizici nije ništa posebnoga, samosvojnoga, slično kao što nije ni termika u mehanici.

Monsieur de Boer je još jednom preko IEC pokušao spasiti CGS, barem za fizičare, i to s prijedlogom da se za veličinu električne struke njezinu elektro-magnetsku CGS jedinicu gauss ($1 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$) nazovemo “biot”, elektrostatično ($1 \text{ cm}^{-3/2} \text{ g}^{1/2}$) pa s “franklin”. Gore navedeni moj dokaz da svaki mjerni sustav, prikladan za elektro-magnetiku, mora biti četverodimenzijski, ako ne želi sadržavati apsurdne kao CGS – za jednu te istu veličinu dvije jedinice s iste tri osnovne jedinice! – i s tim manevrom za spašavanje je otišao in extremis.⁵³ U Opatiji sam to iznio u najkraćem mogućem obliku. Od tada mi g. de Boer nije priuštio čak ni pogled. Pogledao je u stranu, još ga danas vidim! Molti nemici, molti onori!⁵⁴

Walther Rathenau,⁵⁵ poznati glavni direktor stare poznate njemačke Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG) je 1912. u svojem predavanju o tada živom Tesli rekao: “Kada bi Tesla tražio da mu se vrati sve ono što je dao našoj današnjoj kulturi i civilizaciji, pomračila bi se svjetlost, prestao bi svaki rad koji se obavlja uz pomoć prijenosa energije na daljinu, zaustavili bi se električni vlakovi i tramvaji, zastali bi mlinovi i tvornice, zakočio bi se ubrzo sav napredak i čovječanstvo bi se vratilo natrag u zaostalost, u barbarstvo.”

Dandanas bi morali pridodati još mnogo toga - telekomunikacije, telekomande, telemjerenja, automatiku, hladnu svjetlost, što sve ne! Sve što se je u mukama rodilo iz razuma jedne jedine misleće samotne čovjekove glave, ostvarilo se je u jedinstvenom intelektualnom radu jedinstvenog pojedinca. Kolektivnih mozgova naime nema, u “modernom” tmskom radu ostvaruje se samo kolektiv pojedinaca, koji rađaju zamisli - ili možda niti to! Povećani ne, jer im nedostaje, sputanim u okamenjene okvire, prepotrebna sloboda, širina, polet, samoća, ponajviše samoća! Zajednički rad u kolektivu može biti silno plodan, ako je suradnja tijesna u smislu onog intelektualnog duha koji je stoljećima osvjetljavao napredak znanosti. Na žalost on vodi prečesto do nerazrješivih sukoba između prejakih osobnosti. I Tesla je bio prije svega jaka, neovisna i osamljena osobnost. Neovisnost, slobodu rada je zato cijenio iznad svega. To proizlazi iz

⁵² potvrdu o siromaštvu

⁵³ in extremis - u krajnost

⁵⁴ Mnogo neprijatelja, mnogo časti!

⁵⁵ Walther Rathenau (1867.–1922.), njemački industrijalac, pisac i političar (op. a.)

riječi koje je Tesla 1937. posvetio znanstvenicima, ostavio posebno njihovom naraštaju, riječi koje otkrivaju svu tajnovitost njegovih spektakularnih uspjeha: “Dobro je djelo sudbine, da mladić ili čovjek pronalazačkog duha nije ‘blagoslovljen’ s milijunom dolara. Duh je oštrije i hrabriji u povučeniosti, osamljenosti, koju ništa ne ometa. Originalnost cvate u osami, daleko od vanjskih utisaka koji nas tuku i onesposobljavaju stvaralački duh. Biti sam, to je moja tajna. Biti sam, to je čas kad se ideje rađaju. Zbog toga su mnoga zemaljska čuda našla svoju genezu u skromnim prilikama. Mladi čovjek ne mora žaliti što nema milijun dolara da razvije neku ideju. Razmišljanje ne košta milijun dolara, a kroz razmišljanje se stvara ideja.”

Teslin spomenik sada stoji, najveći mogući i najtrajniji: monumentum aere perennius.⁵⁶ Duboko sam sretan i zahvalan dobroj sudbini, da sam mu u vječni monument smio ugraditi i svoj skromni kamen potporni.

Neke kratice:

SI – Međunarodni sustav mjernih jedinica
CGPM – Opća konferencija za utege i mjere
CIPM – Međunarodni komitet za utege i mjere
BIPM – Međunarodni ured za utege i mjere
B – oznaka za gustoću magnetskog toka ili magnetsku indukciju
IEC – Međunarodna elektrotehnička komisija
GKMU – Generalna konferencija za utege i mjere
SZMDM – Savezni zavod za mjere i dragocjene metale

Ovime završavamo Avčinov članak.

⁵⁶ spomenik trajniji od bronce

2. Kratka biografija France Avčina

France Avčin (1910.–1984.), inženjer elektrotehnike, doktor tehničkih znanosti, dugogodišnji profesor Elektrotehničkoga fakulteta *Sveučilišta u Ljubljani*, pisac niza znanstvenih radova iz područja mjeriteljstva. Autor mnogih tehničkih izuma, među njima i alpinističkih: dereze avčinke, sigurnosne planinarske vreće i dr. Čovjek široka duha, športaš, planinar, alpinist, gorski spasilac, lovac, skijaš, ... Pisac gotovo pjesničkih, ekološki nadahnutih knjiga *Kjer tišina šepeta*⁵⁷ 1965. god. i *Človek proti naravi*⁵⁸ 1969. god. Ovu posljednju je posvetio mladeži, da izliječi čovjekov bolesni svijet. U njoj je između ostaloga zapisao i svoju životnu misao vodilju: Čovjeka može spasiti samo složan zajednički život, sloboda duha i znanstveni napredak. (Napisao dr. Zvonimir Jakobović.)⁵⁹

Radi potpunosti, spominjemo da je još godine 1946. iz Beograda potekao prijedlog da mjerna jedinica wat-sat (mjerna jedinica za električnu energiju) bude preimenovan u „tesla“. Taj prijedlog nije uspio.⁶⁰

Zaključak

Ovaj članak pokazuje da za tehničku struku nisu od važnosti samo tehnička znanja, nego i socijalne vještine (vještine pregovaranja), poznavanje stranih jezika, opća kultura, itd. Odajemo priznanje slovenskom profesoru France Avčinu iz Ljubljane na hrabrosti i upornosti, koje je rezultiralo konačnim prihvaćanjem mjerne jedinice „tesla“ za magnetsku indukciju 1960. u Parizu. Odajemo priznanje i tadašnjoj JAZU u Zagrebu, što je 1978. objavila ovaj malo poznati, a vrlo interesantan i značajan Avčinov rad. Držimo da bi sadržaj ovog članka trebao biti poznat studentima elektrotehnike. Avčinov članak je u slovenskom izvorniku, kao i u hrvatskom prijevodu, dostupan na sljedećoj mrežnoj adresi: <http://www.croatianhistory.net/etf/teslaa.html>. Smatramo da bi ga trebalo prevesti i na engleski,⁶¹ jer su široj javnosti (pa čak i stručno-znanstvenoj, kako domaćoj tako i stranoj) skoro potpuno nepoznate okolnosti u kojima je prihvaćena mjerna jedinica „tesla“. Jedine nama poznate knjige s opisom spomenute proble-

⁵⁷ Gdje tišina šapuće

⁵⁸ Čovjek protiv prirode

⁵⁹ Vidi [3, str. 23].

⁶⁰ Vidi [4, str. 40] ili [6].

⁶¹ Englesko izdanje Filipijeve knjige [2, 2023] sadrži kratak opis Avčinova članka na str. 508–511. Koliko nam je poznato, spomenuti Filipijev opis drame oko izbora mjerne jedinice „tesla“ 1960. u Parizu je jedini koji postoji na engleskom jeziku.

matike su popularno-znanstveno djelo Ćirila Petešića [7], objavljeno 1976. u Zagrebu i knjiga Maria Filipija [2] objavljena 2022. u Samoboru. Sadržaj ovog članka usko je povezan s radom [4], objavljenim u ovom istom *Zborniku*.

Zahvala

Zahvaljujemo HRO-CIGRE na pozivu da ovaj članak bude objavljen, a osobito dr. Joviću na kritičkim primjedbama. Zahvaljujemo g. Mariu Filipiju iz Zagreba na dopuštenju da njegov prijevod Avčinova članka [1] sa slovenskog na hrvatski bude uvršten.

Literatura

- [1] F. Avčin: Sprejetje enote “tesla (T)” v Mednarodni merski sistem (SI) za veličino indukcija (B). *Simpozij “Nikola Tesla” u okviru programa proslave 120. obljetnice rođenja Nikole Tesle*. Zagreb - Smiljan / Gospić, 7–10. jula 1976., I. knjiga, JAZU, Zagreb, 1978., str. 213–229. Izvornik Avčinova članka dostupan je na početku mrežne stranice www.croatianhistory.net/etf/teslaa.html (pristupljeno 2025.).
- [2] M. Filipi: *Nikola Tesla ispod paučine*, Zminjak, Samobor 2022. (osobito str. 473–475); prošireno englesko izdanje: *Nikola Tesla Beneath the Cobwebs*, Zminjak, Samobor 2023 (osobito str. 508–511)
- [3] Z. Jakobović: Mjerna jedinica tesla, *RADIO HRS* (časopis Hrvatskog radioamaterskog saveza) br. 6 (119), Zagreb 2006, str. 22–24.
- [4] R. Malarić, M. Turković, P. Mostarac: Mjerna jedinica za magnetsku indukciju imenovana po Nikoli Tesli – kronologija, zaslužni znanstvenici i Lončarev doprinos, *Simpozij PIFT 2025.*, u ovom Zborniku
- [5] V. Njegovan: *Nikola Tesla – heroj tehnike*, Prosvjeta – Zagreb, 1950
- [6] V. N. Njegovan:⁶² *Nikola Tesla 1856 – 1956*, Zagreb 1956
- [7] Ć. Petešić: *Genij s našeg kamenjara*, Zagreb 1976.
- [8] A. Rodin: *Priznanja radu Nikole Tesle*, Zagreb 1956.

⁶² Knjiga Vladimira Njegovana, istaknutog hrvatskog kemičara, iako objavljena u Zagrebu, tiskana je na srpskom jeziku, ekavicom. To vrijedi za obje njegove knjige o Tesli, objavljene u Zagrebu 1950. i 1956., kao i za njegove udžbenike iz kemije.

Darko Žubrinić

DRAMA AROUND THE CHOICE OF THE UNIT OF “TESLA” IN 1960 IN PARIS

Summary: The aim of this article is to provide an insight into difficult circumstances in which the unit of “tesla” for magnetic induction was accepted in 1960 in Paris. An important role for successful outcome had a Slovenian Professor France Avčin. His work covering this topic was published by the then *Yugoslav Academy of Sciences and Arts* (now HAZU – *Croatian Academy of Sciences and Arts*) in Zagreb in 1978. The content of this drama is almost completely unknown to the broader public, both engineering and scientific. The unit of “tesla” is since 1960 in use throughout the world.

Key words: Nikola Tesla, the unit of “tesla”, France Avčin, *International Committee for Weights and Measures* in Paris, conference in Paris in 1960.

Davorin Brkić

MEĐUDRŽAVNE, MEĐUREPUBLIČKE I MEĐUPODRUČNE RAZMJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE DO 1990. U HRVATSKOME KONTEKSTU

Sažetak: Naslovna tema prikazuje se narativno na temelju informacija iz prethodno obrađenih izvora. Usredotočuje se na hrvatski kontekst ali ne ograničava se na prostor Republike Hrvatske. Rad se bavi razlozima koji su predodređivali ostvarenu razinu razvoja. Čimbenici se sagledavaju sveobuhvatno, kako tehnički tako i društveni čimbenici. Samim time rad se može koristiti kao obrazac s teoretskim podlogama za daljnja istraživanja povijesti i filozofije iza razmjena u naslovnom razdoblju.

Ključne riječi: elektroprivreda, elektroenergetski sustav, tržište električne energije

Uvod

Za simpozij *Povijest i filozofija tehnike* održan 2023. godine u Zagrebu priređen je dokument o naslovnoj temi. Tekst je preopterećen pozivanjem na izvore. Nakon simpozija je nastavljen rad na njemu i on uslijed ograničenih rokova nije objavljen u konačnoj inačici zbornika. U ovome radu se na temelju njega iznosi narativni pregled oslonjen na taj dokument, rasterećen od pozivanja na već iznesene izvore.

Gradivne sastavnice obogaćene su pronalascima iz Arhiva Jugoslavije¹ proi-

¹ Arhiv Jugoslavije: Zajednica Jugoslovenske elektroprivrede (ZJE), "MEĐUNARODNA SARADNJA", godina 1971-1992, broj 411; ZJE, "SEKTOR ZA ORGANIZACIJU STUDIJA I MEĐUNARODNE VEZE (02)", godina 1956/69., kutija broj 11, 402; ZJE, "SEKTOR ZA ORGANIZACIJU STUDIJA I MEĐUNARODNE VEZE (2), 1956./69., kutija broj 5, 396.

zašlih iz istraživanja koje se provelo za doktorsku disertaciju *Powering Connections: Electric Infrastructure in Socialist Yugoslavia 1945-1991* pri odsjeku za povijest sveučilišta *Central European University*, kao i nalazima iz ove disertacije. Obranila ju je Tijana Rupčić u siječnju 2025. Navedeno istraživanje nastavilo se na magistarski rad *The Illumination of Yugoslavia: Electric Networks and Nation-building (1918-1941)* obranjen 2020. Korištenjem nekoliko bitnih projekata za ovaj dio Europe (pokušaj podčinjavanja Albanije infrastrukturnim projektima, *Yougelexport*, SUDEL, *Iron Gate*, BALKEL, SUDEL ENERGO PULL) pokazuje kako je jugoslavensko vodstvo koristilo elektroenergetsku infrastrukturu za ostvarivanje geopolitičkih interesa. Bavi se i unutarnjim pitanjima upozoravajući recimo na pozitivnu ulogu tehnomenadžera, kojima je u 70-im godinama umanjena mogućnost odlučivanja.

Izvorišta i ponori energije u prostoru

Raspored potencijala za proizvodnju električne energije u prostoru, recimo hidropotencijalne energije i ugljena - predodređuje razmjene električne energije. Hrvatsko tlo, na kojemu su se izmjenjivale razne države, ne bijaše iznimka u tome smislu.

Europske države su upravo ti proizvodni potencijali navodili na suradnju potrebnu za njihovo iskorištavanje. Početno najviše kod rijeka na državnim granicama. Primjer je elektrana na rijeci Rajni između Njemačke i Švicarske izgrađena 1896., koja je isporučivala električnu energiju u obje države. Između srbijanskoga i rumunjskoga prostora je hidropotencijal na Dunavu, a između Italije i Slovenije na rijeci Soči.

Na slovenskom i hrvatskom prostoru hidropotencijal je na rijeci Dravi, a u Dalmaciji na Cetini i Krki. Bosansko-hercegovački prostor bogat je hidropotencijalnom energijom. Izvori ugljena su bili prepoznati u Sloveniji (Trbovlje), Bosni i Hercegovini (Breza, Kaknj itd.), Srbiji (Aleksinac, Kostolac itd.) i Istri (Raša, Labin itd.).

Za kontekst je važan prostor izvan Jugoslavije. U španjolskim planinama, južnoj Francuskoj, Švicarskoj, Austriji i Jugoslaviji su osrednje količine ugljena, ali taj prostor sadrži 49% europskih hidropotencijala. Škotska, Norveška, Švedska i Finska nisu imale znatne zalihe ugljena i prirodnoga plina ali su zato imale znatne hidropotencijale - zalihe nafte i plina nisu bile poznate u Norveškoj i Danskoj prije 60-ih. S druge strane prostori sa zalihama ugljena bili su u Velikoj Britaniji, Belgiji, Francuskoj, Njemačkoj, Češkoj, Poljskoj i južnoj Rusiji. Ova geografska neujednačena razdioba izvora za proizvodnju električne energije stvara interes za elektroenergetskim povezivanjem.

Za energente koji se ne nalaze nadohvat ruke potreban je prijevoz opterećen pripadnim troškovima, recimo prijevoz ugljena iz Australije ili fosilnih energenata s

Bliskog istoka do Dalmacije. Jadransko more za hrvatsku obalu predstavlja globalne mogućnosti uvoza energenata, kao što su ugljen i nafta.

Prijevoz ugljena kopnom je skup, a prijevoz morima se za Hrvatsku pokazao isplativim. Tek se u današnje vrijeme znatna količina ukapljenog prirodnog plina prevozi morima. Prokrvljenost prostora energentima za proizvodnju električne energije, kao što su prirodni plin i nafta, može se postići kopnenim cjevovodima što se za hrvatski prostor i činilo.

Jugoslavenski naftovod gradio se od sredine 70-ih s prvim tankerom prihvaćenim u Omišlju 1979. i projektiran je tako da ga koriste i Mađarska i Čehoslovačka, slika. 1. Izgradnjom plinovoda *Rogatec – Zabok* te povezivanjem s transportnim sustavom Slovenije, osigurani su preduvjeti za uvoz plina iz Rusije za Hrvatsku, koji započinje 1978. godine². Termoelektrana na ugljen (*TE Plomin*) izgrađena na pomorskoj uvali u blizini ugljenokopa Raša ušla je u pogon 1970., a bliskost moru omogućavala joj je ekonomski isplativu dobavu ugljena i morskim putem.



Sl. 1. Jugoslavenski naftovod 1979., prema: Borba 28. II. 1979.

Hidropotencijali na dalmatinskom i bosansko-hercegovačkom tlu nepredvidljivi su na godišnjoj razini a uz to imaju unutargodišnje obrasce. Tijekom kišne mediteranske zime, elektrane u bosansko-hercegovačko i dalmatinskom prostoru imaju najviše hidroenergije, a tijekom ljeta uslijed topljenja leda u Alpama više vode imaju dravske elektrane.

Količina električne energije potrebna jugoslavenskim potrošačkim točkama rasla je od 1957. do 1987. godine 8,9% godišnje s godišnjim netouvozom do maksimalno 3,3% i netoizvozom do maksimalno 2,6%. U Hrvatskoj je od 1956. do 1990. porast potrošnje električne energije bio 7,4% godišnje. To je predstavljalo izazov za graditelje jugoslavenskoga elektroenergetskoga sustava. Graditelji su osim povećanja energije

² Ivica Arar (2017.), „100 godina prirodnog plina u Hrvatskoj“.

na izvorištima trebali optimalno povezivati potrošačke točke gdje električna energija izlazi iz elektroenergetskoga sustava (ponori) i izvorišta.

Jugoslavija po porastu potražnje za električnom energijom nije bila iznimka u tome elektrifikacijskome razdoblju, koji je na svjetskoj razini rastao 6,4% godišnje u razdoblju od 1950. do 1990.

U Hrvatskoj je veća količina energije bila potrebna za potrošnju nego što je iste bilo u izvorištima, tako da je Hrvatska bila uvezno ovisna o ostatku Jugoslavije. Ne čudi stoga da je Hrvatska zajedno sa Slovenijom napravila znatno izvorište izgradnjom nuklearne elektrane 1981., i prema dogovoru sa Slovenijom htjela izgraditi drugu u Hrvatskoj.

Odnos hidropotencijalne i termoelektrične energije

Jugoslavenski sustav ni 1970. nije uspio spriječiti rasipanje energije: tada je prelijevana voda iz hidroelektrana uz prisilna ograničenja potrošnje, dok su termoelektrane radile punim pogonom. Nema građe koja bi odgovorila je li Jugoslaviji ikada uspjelo dostatno spašavati hidropotencijalnu energiju.

Hydroenergija se ponegdje može djelomično skladištiti, recimo u akumulacijskim elektranama. U akumulacijskim hidroelektranama dolazi do isparavanja vode čime se gubi hidropotencijalna energija. Ipak, problem u Europi predstavlja nemogućnost dostatnoga skladištenja u akumulacijama i u pretvorbi električne energije u druge oblike za kasniju upotrebu. Šteta je rasipati hidropotencijalnu energiju pretvorivu u električnu na izvorištu, primjerice puštanjem vode mimo turbine. Upravo je spašavanje hidropotencijala u Europi bio glavni motiv za prijenos električne energije na velike udaljenosti, uz neizbježnu međudržavnu suradnju.

Iza izgradnje dalekovoda između Hrvatske i Mađarske, a izgrađen je 1958., stajala je ideja iskorištavanja bosansko-hercegovačke hidroenergije, s pripadnim uvećanjem društvenog blagostanja Mađarske u kojoj su prevladavale termoelektrane.

Termoelektrana pouzdanije stvara projektirani tok električne energije uslijed dostupnosti energenta, a nije u mogućnosti isporučivati tok energije ispod projektirane vrijednosti - tehnološki minimum. Ako je istodobno tok električne energije koji mrežom može doći potrošačima manji od tehnološkog minimuma, ona ne može proizvesti električnu energiju. Termoelektrana je tada *slon u staklarskoj radnji*. To je također jedan od razloga za uspostavu prijenosa električne energije na širem području, kako bi takva elektrana imala 'veći pašnjak'.

Naime, u elektroenergetskom sustavu tok električne energije koji se isporučuje

u mrežu na točkama izvorišta mora biti u svakom trenutku jednak izlaznim tokovima električne energije, potrošnje, uvećanima za gubitke u mreži. Mogućnosti skladištenja električne energije bile su tada neznatne.

U slučaju nemogućnosti održavanja navedenih tokova u ravnoteži događa se raspad elektroenergetskoga sustava, u Jugoslaviji ih je u 80-ima bilo najmanje pet. Razlozi raspada mogu biti drukčiji - recimo prethodno smo pod tokovima podrazumijevali tokove djelatne (radne) energije, a elektromagnetski je s njima povezana jalova snaga. Neprikladnost jalove snage dovodi do naponskog sloma, koji se recimo zbio u Jugoslaviji kod raspada 1. kolovoza 1986.

Karlovac je imao hidroenergiju, a Zagreb termoelektričnu energiju. Motiv za povezivanjem zagrebačkog i karlovačkog područja dalekovodom 1930. godine bijaše u potrebama zagrebačkog područja za električnom energijom. Potrebe su mogle nadilaziti tok energije koje su mogle isporučiti termoelektrane. S druge su strane zagrebačke elektrane dopunjavale nedostajući tok energije za potrošače karlovačkoga područja, kada ga nisu mogle postići karlovačke elektrane. Na taj način se mogao spašavati višak karlovačke hidroenergije, dovođenjem hidroelektričnoga toka do Zagreba. Zagreb je mogao štedjeti energente ako zbog toka karlovačke hidroelektrične energije nije morao voziti elektranu na najvećoj ostvarivoj vrijednosti. Vrijednost te hidroelektrične energije za Zagreb je veća od vrijednosti fosilnog energenta potrebnog za proizvodnju iste količine energije u Zagrebu. Hidroelektrični tok tada donosi Zagrebu veću sigurnost opskrbe uz takvu sniženu cijenu, jer omogućava ostanak energenta na skladištu za kasnije potrebe. Zašto bi hidroelektričnu energiju Karlovac prodao Zagrebu po cijeni ispod troška proizvodnje termoelektrične energije, ili po navodnim troškovima hidroelektrične energije jednakima ništici? Tko to određuje i kako? Postoji li prirodno-društveni zakon koji govori kako se približavati optimumu?

Zanima nas koje su bile ideje tehno-ekonomskih stručnjaka koje govore o razvojno-optimizacijskom dosegu. Tehnička enciklopedija zagrebačkoga izdavača iz 1973. daje povoljno mišljenje o povezivanju elektroenergetskih sustava. Govori o manjim potrebama za rezervama u sustavu, međusobnoj pomoći susjednih sustava, izbjegavanju gubitka hidroenergije, mogućnosti izgradnje velikih elektrana, većoj sigurnosti uslijed postojanja različitih smjerova napajanja i sl. Ocrtan je i način odabira elektrana koje će raditi, tako da se elektrane smještaju u dijagrame tako da se potražnja zadovolji »uz najmanje troškove«. Od troškova se navode troškovi termoelektrana, ne i oportunitetni troškovi hidroelektrana tzv. trošak propuštene prilike, iako se govori da hidroelektrane ne će proizvoditi elektroenergiju neradnim danima. Piše se o razmjeni s drugim sustavima, opskrbi na osnovi dugoročnih ugovora, kratkoročnim razmjena energije i razmjena u slučaju kvara, ali takvih razmjena nema u optimizacijskom algoritmu koji određuje dnevne vozne redove elektrana.

Troškovi propuštene prilike i natjecanje

U radu iz 1995. navodi se da su troškovi proizvodnje iz hidroelektrana jednaki ničiti. Svijest o troškovima hidroenergije (OPEX) koji nisu investicijski troškovi (CAPEX), ostala je u predmetnom razdoblju neosvijestena, što je vidljivo u izostanku matematičkog opisa hidroelektričnih troškova propuštene prilike u optimizacijskim algoritmima, kao oportunitetni troškovi.

Susret sa stvarnošću u međudržavnim odnosima dovodio je do svođenja njezine vrijednosti na tržišnu – primjerice u najmanje jednom slučaju iz 80-ih je u stanju s viškom dalmatinske hidroelektrične energije za jedan MWh dalmatinske elektroenergije, po principu *energija za energiju*, Italija kasnije vraćala četvrtinu MWh-a. Je li to bilo pošteno?

Pod oportunitetne troškove ili troškove propuštene prilike ne podvlači se samo gubitak hidroelektrične energije, nego nepostizanje ostvarive vrijednosti proizvedene električne energije. Naime, racionalno je optimizirati monetarnu vrijednost proizvedene električne energije, a ne količinsku. Elektroenergetika je tada bila orijentirana na potrošače električne energije.

Od postojanja nisu u Jugoslaviji misli o pravima investitora i društvenoj koristi mogle biti izraženije nego zapadno od *Željezne zavjese*, jer u pravilu nije ni bio dozvoljen privatni kapital u elektranu čiji bi vlasnik brinuo o optimiziranju novčane vrijednosti proizvedene hidroelektrične energije iz hidropotencijalne. Jugoslavenske vlasti dozvoljavale su pak kreditno državno zaduživanje.

Za širi kontekst oko prava investitora treba znati da je prvo nacionalno regulatorno tijelo osnovano 1887. u SAD-u dok je pravo na konkurenciju začeto u presudama SAD-a iz 1877., 1886. i 1934., što u Europu dolazi sa zakašnjenjem. Ideja o pravu na tržišnu ekonomiju se od tada razvijala postupno. Razdvajanje samovolje izvršne vlasti (npr. kralj, ban) od sudbene vlasti, kao preduvjetu za društveno optimalan okoliš za tržišnu ekonomiju, u zapadnoj Europi a tako i u Hrvatskoj događa se u 19. stoljeću, u Velikoj Britaniji i ranije. Hrvatska je bila za vrijeme druge Jugoslaviji otrgnuta od zapadnoeuropske uljudbe, što je najspoznatljivije pomislmo li na spomenuto suprotstavljeno *privatno vlasništvo* i jednopartijsko ustavno rješenje. Kratkoročno je od 1967. u Jugoslaviji bio omogućen ulazak stranog kapitala (do 50 %), a zatim je ulazak stranog kapitala u poduzeća 1974. potpuno onemogućen.

Godine 1987. Europska komisija zaključila je da se došlo na prekretnicu, na kojoj će se ići ili putem ‘zajedničkog tržišta’ ili će Europska unija (zajednica) postati ‘ekonomski mediokritet’. Zajedničko tržište podrazumijevalo je otklanjanje prepreka, kao što su: fizičke prepreke kao prekogranični prijelazi; novčane prepreke, poput tarifa i carina; i tehničke prepreke. Tada dolazi do promjene sadržaja iza naziva ‘liberaliza-

cija', a uvažavajući da su od 1959. već potpuno 'liberalizirane' međudržavne razmjene elektroenergije u zapadnoeuropskim državama. U razdoblju od 1986. misli se na liberalizaciju u značenju povećanja broja proizvođača, trgovaca i opskrbljivača. UCPTE se kao predstavnik interesa operatora prijenosnih sustava 'pribojavao' da bi novi način upravljanja sustavom, koji je podrazumijevao povećanje broja subjekata i uvišestručenje odnosa među subjektima, mogao ugroziti njegovu sigurnost.

Novonastajuća paradigma započeta je u praksi Velike Britanije donošenjem zakona iz 1989. kojim se 1990. krenulo u odvajanje prirodnih monopola (prijenos, distribucija) od tržišnih djelatnosti. Tržišne djelatnosti postaju otvorene za brojne subjekte - proizvodnja, trgovanje, prodaja električne energije potrošačima. Vjerovalo se u Velikoj Britaniji da će taj posao bolje obavljati od države, pa tako 1998./9. svi britanski potrošači dobivaju pravo na odabir opskrbljivača.

Pionirski radovi o modernom modelu tržišta električne energije su iz 1983. (Joskow & Schmalensee) i 1988. (Schweppe et al.) – u Europskoj uniji samim time i u Hrvatskoj to je izraslo u današnji: zonalni pristup (engl. *zonal pricing*) uz granično određivanje cijena električne energije (engl. *marginal pricing*) i popis ekonomskog prvenstva (engl. *merit order list*), a u SAD-u više u čvorišni pristup (engl. *nodal pricing*).

Danas je prihvaćena teorija da treba proizvoditi elektrana s najnižim varijabilnim troškovima tj. troškovima proizvodnje koji ne obuhvaćaju troškove izgradnje, u koje za hidroelektrane ulaze troškovi propuštene prilike. Poznato je i da postoje nepoštene prakse, recimo da se namjerno ne proizvodi električna energija iz pojedinih elektrana da bi se utjecalo na količinu ponuđene električne energije (engl. *withdrawing capacity*), što mogu činiti samo pojedini subjekti (engl. *market makers*). Ako se može dokazati da ne će biti dovoljno energije na izvoristima, u suvremenom razdoblju uvodi se dodatan tržišni sustav koji se ne temelji na proizvedenoj energiji (€/MWh) nego na sposobnosti proizvodnje toka energije (€/MW) koji uz prihode od proizvedene energije donosi dodatne prihode (engl. *capacity mechanism* i istoiznačno engl. *capacity remuneration*).

Susretište slobodnih ponuda za kupnju i prodaju električne energije iz država Europske unije na središnjem mjestu (engl. *day ahead market coupling*), sačekat će 21. stoljeće. Na njima ponuditelj ne može povezati ostale ponude s ponuditeljima. Računaju se cijene za pojedine države, iako područje može obuhvaćati više država ili se država može sastojati od više takvih područja, u svakom intervalu međudržavno dogovorenim optimizacijskim algoritmom. Uvažavaju se pritom tehnička ograničenja koja postavljaju operatori prijenosnih sustava. Postojanje navedenoga olakšava sagledavanje oportunitetnih troškova hidroelektrane. Primjerice, s *naknadnom pameću* se može zapitati zašto je hidropotencijalna energija pretvorena u električnu tijekom

noćnih sati kada je svima vidljivo da je noćna cijena bila 40% niža od dnevne cijene sljedećega dana? Određivanje oportunitetnog troška hidroelektrana, a samim time i nuđenje ponudnih parova (cijena, količina) burzi i danas ostaje zahtjevno tehno-ekonomsko pitanje, čak i uz osvijestjenost o trošku propuštene prilike.

Italija je u prethodno navedenom slučaju iz 80-ih mogla znati o padalinama u Dalmaciji i da su akumulacije hidropotencijalne električne energije takve da Jugoslavija ima mogućnost ili prelijevati vodu mimo turbine ili ju izvoziti, što joj je mogao biti argument za pregovore o prijenosnom omjeru za razmjenu po principu *energija za energiju*. U burzovnom modelu toga nema, odnosno kome će se hidropotencijalna energija dostaviti i koliku će cijenu postići - određuje satna ponuda upućena burzi za hidroelektranu kao i ostale ponude za kupnju i prodaju. Umijeće je u izradi anonimne ponude za hidroelektranu, što je izazovno i u slučaju visoko motiviranog privatnog vlasnika hidroelektrane.

Povezivanje izvorišta električne energije i potrošačkih točaka

Motiv za izgradnju prvoga hrvatskoga elektroenergetskoga sustava 1895. bila je potreba za tokom električne energije namijenjenog za šibensku javnu rasvjetu, dakle za namirenje predmnijevane potrošnje. Po uzoru na prijenos ostvaren u Njemačkoj 1891., motiv je protagonista bio i u prijenosu njemačkog pionirskog pothvata na hrvatsko tlo. Potrošačka točka je od izvorišne bila udaljena jedanaest kilometara.

Otegotna okolnost u širenju dalmatinske elektroenergetske mreže bila je u opstrukciji zadarskoga gradonačelnika čijoj je zavisti smetala činjenica što su protagonisti bili hrvatski inženjeri, a kao opasnost isticala se mogućnost uništenja dalekovoda od dalmatinskih Vlaha.

Ovaj primjer svjedoči da nije dovoljno promatrati predmnijevana potrošačka središta i proizvodne potencijale te kako inženjerski osigurati njihovo povezivanje, nego i da je za razumijevanje potrebno proučavanje društvenih silnica u dovoljnoj mjeri.

U stanju s neiskorištenim dobrim proizvodnim potencijalima, kao što je bilo neko vrijeme od kraja Drugoga svjetskoga rata, pažnja je prirodno usredotočena na izgradnju elektrana. U zapadnoj Europi bila je žurba za iskorištavanjem hidroenergetskih potencijala (engl. *hydro rush*). Kada se iskoristi najbolje proizvodne potencijale na svojem teritoriju, onda usredotočenost prelazi na povezivanje elektroenergetskih sustava, to je i razlog zašto su zapadne države krenule sa *Yougelexport* inicijativom o kojoj će biti riječi kasnije.

Simbolička moć uspješnica utječe na odlučivanje, takva je bila simbolička moć 700 km prijenosa električne energije od francuskoga Nancya preko Švicarske do

talijanskoga Milana 1921., kao i korištenje tih prijenosnih mogućnosti za spašavanje talijanskog sustava od prisilnih ograničenja potrošnje (redukcije) u stanju s malim padalinama i vrućim ljetom, što se i zbilo 1922. godine.

Dva su osmisliatelja europske elektroenergetske mreže javno iznijela svoje planove izgradnje europske mreže, bile su predviđene za rad na 400 kV-i (pod imenom 380 kV-i). Nakon navedene 700 kilometarske uspješnice, Oskar Oliven 1930. u svom je planu zamislio da dalmatinska visokonaponska mreža treba postojati kao dio europske mreže, a George Viel 1929. pak ne vidi Dalmaciju u svojoj europskoj mreži. O njihovim razlozima glede mrežnog povezivanja Dalmacije autor ne zna.

Uz već spomenuti smještaj potencijala za proizvodnju električne energije, predmnijevana potrošačka središta predodređuju razvoj mreže dalekovoda koji povezuju točke u prostoru. Osmisliteljima elektroenergetske mreže postojeća potrošačka središta predstavljaju zatečeno stanje, a uz to oni predviđaju nastanak novih potrošačkih točaka kao i promjene u postojećim točkama.

Ostvarenje svrhe koju su osmisliitelji namijenili mreži također je neizvjesna, jer je elektroenergetski sustav sklon evoluirati – podmorski kabel između Danske i Švedske planiran je za izvoz viška švedske hidroenergije u Dansku, a kasnije je služio i za suprotni tok energije.

Osmislitelji u stanju s nepoznanicama oko potrošačkih središta i potencijala za proizvodnju električne energije, neznanim svrhama sustava u budućnosti, kao i s željom za tehno-ekonomskim optimumom, uz možebitno ostvarenje međudržavnih interesa po principu *daj mi da ti dam* - osmišljavaju elektroenergetsku mrežu.

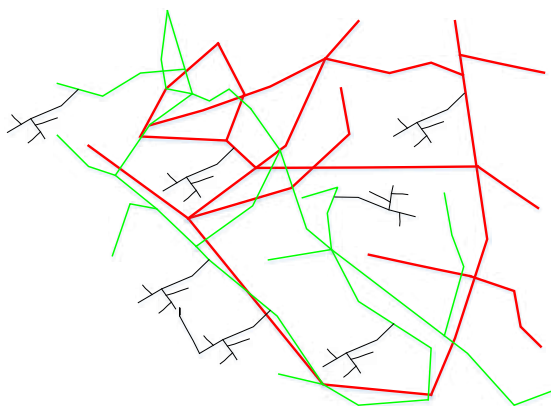
Elektroenergetsku mrežu možemo zamisliti kao krvožilni sustav gdje su iznosi prijenosnih napona analogni širini žila. Dalekovodi višeg napona zauzimaju više prostora, daju veću prijenosnu moć uz manje gubitke električne energije. Za veće udaljenosti potrebni su dalekovodi višeg napona. U Hrvatskoj su razdjelni, distribucijski izvodi, vidljivi po gradovima i selima, bili napajani iz trafostanica koje pretvaraju napon u sredjenaponski. Navedeni su izvodi tijekom pogona zrakasti (radijalni), dok su visokonaponski vodovi upetljani (uzamčeni).

Primjer prijenosnih dalekovoda (400 kV, 220 kV) koji se prostiru kroz više država i vodova distribucijske mreže (sredjenaponski, 230 V-ni vodovi) dan je na Sl. 2. Fizički tokovi energije od izvorišta do potrošačkih točaka teku jače onim putevima gdje im je manji otpor. U promatranom razdoblju nisu postojali transformatori koji su omogućavali usmjeravanje tokova energije (*phase shifting transformer*). Primjer je ilustrativan i ne predstavlja vjerno jugoslavenski sustav.

Europske potrošačke i proizvodne potencijalne točke su, u usporedbi s potrošačkim točkama u sovjetskom dijelu Euroazije, bile gušće raspoređene u prostoru.

Tako su dva niže navedena dalekovodna sustava drukčije izgrađivana. Devet desetina izvorišta za proizvodnju električne energije u Sovjetskom savezu nalazilo se daleko od potrošačkih središta. Električna energija je od Sovjetskog saveza do Mađarske dolazila 750 kV-nim dalekovodom s možebitnim utjecajem na elektroenergetske prilike Hrvatskoj, a u Europi su u primjeni bili naponi do 380 (400) kV-i.

Snižavanje napona na putu električne energije iz višenaponske na niženaponsku razinu iziskuje dodatne troškove te se stoga traži optimalan broj i iznos naponskih razina. U Hrvatskoj je razvoj na prijenosnoj razini doveo do tronaponskog sustava: 110, 220 i 400 kV-i, iako je 1962. postojao glas koji je ukazivao da bi dvije naponske razine bile optimalne: 110 i 400 kV-i. Čak i tijekom projekta *Yougelexport* gdje se odustalo od 400 kV dalekovoda jer je to rješenje bilo preskupo (Wilhelm Fleischer). Prvi 400 kV-ni stup podignut je u Hrvatskoj 1974., a od 1973. do 1983. nije izgrađen ni jedan novi 220 kV-ni vod i u isto vrijeme nije se usporio razvoj (u kilometrima) 110 kV-ne mreže. Uslijed nedostatnosti već izgrađene 220 kV-ne razine da zadovolji potrebe, u Jugoslaviji se gradi 400 kV-na mreža. Primjerice, u surječju s hidroelektranom *HE Đerdap* navodi se da su potrebe prijenosa prerasle 220 kV-nu razinu. Razlog za prelazak na 400 kV-nu razinu bila je potreba da se na ekonomski najpovoljniji način prenese energija iz *HE Đerdap* prema potrošačkim središtima u Beogradu i Boru. Imajući u vidu da se više od polovice instalirane snage izvora u Hrvatskoj prenosilo 110 kV-nom mrežom, sagledavajući joj prostornu razvijenost, te znajući da je između potrošača i nje srednjenaponska mreža - promijenila je funkciju: temelj prijenosa postaje 400 kV-na mreža. I druge europske države koristile su tronaponski sustav (400, 220, 110 kV) u prijenosnoj mreži, recimo Austrija³.



Sl. 2. Uzamčeni prijenosni sustav i radialni distribucijski izvodi: crveni prijenosni vodovi – 400 kV-i, zeleni prijenosni vodovi 220 kV-i, crni vodovi – srednjonaponski i 230 V-i

³ Pogledati udjele ovih naponskih razina u europskim državama: ENTSO-E (2014.), *ENTSO-E Overview of transmission tariffs in Europe: Synthesis 2014*, str. 23.

Usljed sukoba Jugoslavije i SSSR-a, hidropotencijal Dunava između Rumunjske i Jugoslavije počeo je davati električnu energiju objema državama tek 1972., a izgradnja brane na Đerdapu – ‘Željeznoj kapiji’ (engl. Iron Gate) – započela je 1964. Prvotni plan iz 1956. predviđao je proizvodnju od 35 TWh što je 1963. smanjeno na 10,7 TWh. Budući da je 1950. u zapadnoj Europi već bila iskorištena većina dobrih hidropotencijala, pokrenuta je inicijativa *Yougelexport* u okviru koje bi se investiralo u tadašnji neiskorišten hidropotencijal u Jugoslaviji. Jugoslavenska mreža tada nije bila dostatna ni za razmjene električne energije unutar Jugoslavije, dok su planovi podrazumijevali izgradnju dalekovoda i prema zapadnoj Europi. Postojala su međurepublička trvenja tijekom projekta *Yougelexport*. Jugoslavenski inženjeri, pretežno slovenski i srbijanski, smatrali su u kontekstu *Yougelexport* da će projekti usredotočeni na izvoz električne energije dovesti do zanemarenja jugoslavenske elektroenergetske infrastrukture. Slovenski stručnjaci, inženjeri i menadžeri bili su suprotstavljeni predanosti hrvatskih i srbijanskih predstavnika tome projektu. Inicijativa nije polučila planirani ishod. Kasnije će slovenski predstavnici uspješno zagovarati projekt SUDEL. Kod projekta *Iron Gate* i Bugarska je pokazala interes za sudjelovanjem, iako Bugarska u konačnici nije sudjelovala.

Prvi široki paralelni rad u Jugoslaviji 1957.

Hidroelektrana Vinodol je prva elektrana izgrađena 1953. za cjelokupni elektroenergetski sustav. Vezano za tu svrhu hidroelektrane *Vinodol*, četiri godine kasnije na 110 kV-noj razini na teritoriju Hrvatske, Bosne i Hercegovine, dijelu Srbije bez Kosova i na teritoriju Crne Gore, bez Makedonije – počeo je paralelni (sinkroni) rad elektroenergetske mreže. Dakle razmjena električne energije na istoj frekvenciji u iznosu i vremenu – to znači da elektroenergija koju u mrežu preda *HE Vinodol* može doći u bilo koju točku povezanu u paralelnom pogonu.

Uspostavljanje paralelnog rada nije išlo lako, uslijed razlika u tehnikama uzemljenja dvaju prethodno nepovezanih sustava. Do rješenja toga problema, dio se zapadne mreže odjeljivao i priključivao na istočni dio mreže prema Jajcu. Nakon što su 1958. povezane dalekovodom, na taj način su se odvijale razmjene između Mađarske i Hrvatske, tako da se dio jednog sustav prebaci u otočni pogon i priključi u paralelni rad s drugim sustavom. Navedeni postupci su alternativa trajnom paralelnom radu dvaju ili više sustava.

U tome stanju su 1957. Dalmacija, kao i Slavonija, bile povezane mrežom sa sjeverozapadnom Hrvatskom posredno preko Bosne i Hercegovine, a na teritoriju Istre nije ni bilo 110 kV-ne mreže, osim rubno na istočnom dijelu gdje je mreža povezana sa Slovenijom. Slovenija je od 1940. do 1948. bila 132 kV visokonaponskim vodom

povezana s Italijom. Sjeveroistočna i sjeverozapadna Hrvatska nisu preko teritorija Hrvatske bile povezane 110 kV-nim vodom. Vojvodina u tome pogonu nije bila izravno povezana 110 kV-nom mrežom sa sjeveroistočnom Hrvatskom. Između Crne Gore i Srbije ne bijaše 110 kV-nih vodova.

Tada imamo tri 110 kV-na pravca prema Bosni i Hercegovini iz Hrvatske (iz Slavonije, iz sjeverozapadne Hrvatske, iz Dalmacije), dok je Bosna i Hercegovina sa Srbijom povezana jednim 110 kV-nim pravcem, kao i s Crnom Gorom. Bosna i Hercegovina je posredno povezivala Dalmaciju, Slavoniju i sjeverozapadnu Hrvatsku.

Dakle, o međurepubličkim razmjenama za 1957. smisleno je govoriti samo o onima između Hrvatske te Bosne i Hercegovine, kao i između Hrvatske i Slovenije. Iako, uvozno-izvozne mogućnosti iz Bosne i Hercegovine sa Srbijom te s Crnom Gorom mogle su utjecati na uvozno-izvozne razmjene Bosne i Hercegovine s Hrvatskom, što se uvodi u pojam pod nazivom *nesusjedna razmjena*. Ono što se ne razmjenjuje na hrvatskoj granici utječe na elektroenergetsko stanje u Hrvatskoj tako da se bez toga ne može razumjeti hrvatsko elektroenergetsko stanje.

Makedonija se ubrzo povezuje s jugoslavenskim sustavom (1958.), dok su Kosovo i Makedonija prethodno međusobno povezane najkasnije 1957.

Valja reći da je 1954. bio zatvoren elektroenergetski prsten na prostoru sjeverozapadne Hrvatske i Slovenije (110 kV), kada Bosna i Hercegovina ima tri razdvojene mreže (110 kV, 35 kV) a međurepubličku vezu samo s Dalmacijom (110 kV). Dvije godine kasnije u Hrvatskoj prijenos električne energije postaje samostalna djelatnost (1956.).

Povezivanje Dalmacije sa sjeverozapadnom Hrvatskom

Povezivanje Dalmacije sa sjeverozapadnom Hrvatskom teritorijem Hrvatske zbilo se 1962. Skupljene su činjenice koje nam mogu na tome primjeru dočarati izgradnju elektroenergetске infrastrukture u društvenom okolišu.

Već smo spomenuli europske planove izgradnje mreže u kontekstu Dalmacije: Oliven (1930.) i Viel (1929.).

Postojala su dva rana domaća plana na hrvatskom tlu oko izravnoga povezivanja Dalmacije sa sjeverozapadnom Hrvatskom: ponuda francuskog *La Dalmatien* iz 1932. kao vlasnika *HE Kraljevac* da će besplatno povezati Dalmaciju sa Zagrebom, kao i plan elektrifikacije Živojina Pecića iz 1937. koji je u okviru elektrifikacije Jugoslavije predviđao izravno povezivanje Dalmacije i sjeverozapadne Hrvatske. Prvi je propao zbog nestašice kapitala uslijed svjetske ekonomske krize.

Kasniji državni jugoslavenski plan iz 1947. nije predviđao izravno povezivanje Dalmacije i sjeverozapadne Hrvatske.

Dokument za *United Nations Technical Assistance Mission to Yugoslavia* na engleskom jeziku, koji je u Beogradu izradio A. V. Karpov 1953., predviđao je izgradnju elektrana i elektroenergetske mreže u Dalmaciji za 1955. i za 1961., s centraliziranom organizacijom toga posla uz središnju agenciju koja bi se bavila izvozom električne energije, te bi već 1955. i 1956. izvoz po njemu bio 1 TWh godišnje a 1961. i 1962. 10 TWh godišnje. Tražio se kredit za 1953. godinu.

Stručni savjet *Zajednice elektroprivrednih poduzeća Hrvatske* (ZEPH) 1954. godine izradio je smjernice za projektiranje vodova iznad 110 kV-i, čiji je neposredni zadatak bio projekt izgradnje voda za povezivanje Dalmacije i sjeverozapadne Hrvatske, a *Izvršno vijeće Sabora NR Hrvatske* iste je godine odobrilo investicijski plan.

Godine 1958. izgrađen je ispitni vod na Zrmanji za motrenje klimatoloških uvjeta s ciljem toga povezivanja. Bilo je zagovornika da to izravno povezivanje ide preko bosansko-hercegovačkoga teritorija, ali ja ipak prevladao prijedlog hrvatske elektroprivrede da ide jadranskom trasom. Zagovarao se u Jugoslaviji projekt autoceste Zagreb-Split preko Bihaća koja bi bila 75 kilometra kraća od današnje⁴, koji zajedno s dalekovodnim rješenjem svjedoči o utjecaju društvenoga konteksta na tehnološke čimbenike odabranoga rješenja.

Kasnije će biti riječi o drugim propuštenim projektima povezivanja Dalmacije do 1962.

Znatna prisilna ograničenje potrošnje i raspad sustava

U Hrvatskoj je 1964. redukcija potrošnje bez suglasnosti potrošača iznosila 9,63% godišnje potrošnje. U razdoblju od 1948. do 1983. količina redukcija je bila veća od ničice u trideset slučajeva, za pet godina nema podataka, a u jednom je slučaju relativni iznos redukcija bio jednak ničici.

Od uspostave zapadnoeuropskoga UCPT-a u državama zapadno od *Željezne zavjese* nisu zabilježene znatne redukcije. Slučajevi redukcija u UCPT-u spominju se rubno. Recimo kod ekstremno jake zime 1984. gotovo da i nije došlo do redukcija električne energije u UCPT-u, iako su bile redukcije u potrošnji prirodnoga plina u nekim područjima zbog namirenja potrošnje u drugim područjima. Kod ekstremno jake zime 1987. u istočnoj Francuskoj došlo je do redukcija električne energije, a zahva-

⁴ Jakša Miličić, „AUTOCESTA SPLIT – ZAGREB“, <https://www.matica.hr/hr/336/autocesta-split-zagreb-20942/>, pristupljeno 18. 10. 2024., Hrvatska revija 4, 2004.

ljujući usklađenom djelovanju Španjolske, Njemačke, Nizozemske i Belgije, potrošači u zapadnoj Francuskoj i u ostatku UCPTÉ-a nisu osjetili poremećaj - taj se slučaj koristio kao simbolični događaj za oprimjerenje učinkovitog odziva na elektroenergetski poremećaj.

Od 1984. do 1990. nema podataka o iznosima godišnjih redukcija u Jugoslaviji, ali ima o raspadima i razdvajanjima jugoslavenskog sustava. Raspad: 12. srpnja 1984., 1. kolovoza 1986., zagrebačkog područja 6. srpnja 1988., sistema istok 12. srpnja 1988., djelomični raspad 6. kolovoza 1988. godine. Razdvajanja: 24. srpnja 1987. na istočni, i zapadni koji je radio paralelno s dijelom talijanske mreže odvojen od ostatka UCPTÉ-a, 6. srpnja 1988. razdvajanje UCPTÉ-a kao i jugoslavenskoga sustava, gdje je jedan dio jugoslavenskoga sustava radio paralelno s grčkim sustavom, a drugi od zagrebačkog Zrinjevca s UCPTÉ-om, 6. srpnja 1988. i 6. kolovoza 1988.

Troškovi prisilnih ograničenja su visoka vrijednost neisporučene energije (engl. *high value of lost load*, VOLL), recimo zbog troškova propadanja hrane u zamrzivačima i hladnjacima, propadanja proizvoda u metaloprerađivačkim industrijama - što gledajući s državne razine može biti motivirajući razlog za izgradnju infrastrukture.

Razlozi za znatna prisilna ograničenja potrošnje električne energije (redukcije) u Jugoslaviji nastajali su ne u manjku električne energije, nego u nedovoljnoj izgrađenosti mreže. Prvo prisilno ograničenje potrošnje iz 1954. dovelo je do izgradnje dalekovoda između Hrvatske (Zagreb) i Bosne (Jajce), a drugo iz 1973. do izgradnje 400 kV-nog dalekovodnoga prstena kroz cijelu Jugoslaviju (prsten *Nikola Tesla*). Povodom znatnih redukcija građene su u Hrvatskoj elektrane, recimo 1976. elektrane *PTE Osijek* i *PTE Jertovec*. Razdvajanja i raspad bili su i zbog neodgovarajućeg stanja s jalovom snagom.

U biologiziranom (darwinističkom) društvenom svjetonazoru promjena okoliša dovodi do promjene ponašanja (npr. redukcija → izgradnja elektrane), dok je alternativa preduhitriti promjenu u stvarnosti (npr. predmnijevana redukcija → izgradnja elektrane). Komunistički sustav u Jugoslaviji je pomoću darvinizma ideologizirao društvo putem javnog školstva⁵, i tako je mogao doprinijeti zakašnjelim radnjama.

Jedan od ozbiljnih razloga zbog kojih se dalekovodima nisu dostatno povezivala izvorišta električne energije i potrošačke točke, je u tome što se vjerovalo da izgradnja prijenosne mreže smanjuje vjerojatnost za izgradnju vlastitih izvora energije. Bit će da je tu razlog u nedovoljnom međurepubličkom povjerenju, koje bi u protivnom za stanje nestašice električne energije tražilo oslanjanje na energiju iz drugih republika. Primjerice, nakon ustavnih promjena iz 1974. druge republike nisu htjele investirati u

⁵ Josip Balabanić (2009.), „Darvinizam u Hrvatskoj između znanosti i ideologije“.

Iron Gate 2 na teritoriju Srbije, koji je u konačnici izgrađen temeljem rumunjskog kredita koji je Srbija vraćala po principu *energija za kredit* kroz 23 godine (85% energije iz te elektrane išlo je u Rumunjsku a ostatak u Srbiju). Kašnjenje u izgradnji bilo je više ili manje i zbog birokratskih razloga, a moglo bi biti da se tu radilo o opstrukciji posla od strane izvršitelja. Sporo povezivanje hrvatskih područja preko teritorija današnje Republike Hrvatske objašnjavano je izduženošću prostora oblika lastavice u letu i političkom uključenošću Hrvatske u šire prostore.



Sl. 3. Neprecizne trase izgrađenih autocesta - stanje 1990. (nacrtano prema videu na YouTube kanalu Na Hrvatskim Cestama)

Moglo bi se u smislu izgradnje elektroenergetskoga sustava govoriti o prioritetima iz ograničenih jugoslavenskih investicijskih sredstava: recimo odluka o izgradnji ove ili one elektrane, ili odluka o izgradnji jednog ili drugog dalekovoda, ili pak alternativni infrastrukturni projekti kao autoceste ili željeznice. Autoceste su slabije povezivale teritorij Jugoslavije nego visokonaponski dalekovodi, što se vidi usporedbom stanja 1990. - Sl. 3. i Sl. 5.

Infrastrukturno cestovno povezivanje Ljubljane, Zagreba, Beograda i Skoplja projektom *Bratstvo i jedinstvo* imalo je prioritet, uz pripadni govor o ojačanju jugoslavenskog identiteta. Iako, projektom nije obuhvaćeno ni Sarajevo ni Podgorica a do Skoplja nije ni stigla. Posharliev se u disertaciji *The Road to Socialism Transport Infrastructure in Socialist Bulgaria and Yugoslavia (1945–1989)* publiciranoj u obliku knjige 2023. pozabavio ovim pitanjem. Tu se ogleda moderan pristup povijesnoga proučavanja razvoja infrastrukture.

Promašene investicije 70-ih godina u Jugoslaviji bijahu pravilom (npr. Obrovac, Feni), za razliku od onih u razvijenom Zapadu – to je dovelo da posljedične stagnacije u produktivnosti krajem 70-ih i u 80-im godinama. Prema pisanju Ratka Boškovića 1990. moglo bi biti da ulaganje u elektroenergetsku infrastrukturu i nije bilo

promašeno ili da se nije žalilo nakon izgradnje dalekovoda, što se zaključuje iz toga da ne spominje promašenost takvih investicija. Navedeno 'promašeno investiranje' bi se moglo povezati s državnom propagandom tijekom 70-ih protiv tehnomenadžera, kada ih je proganjala i jugoslavenska tajna služba, a kojima je oduzeta dosegnuta moć odlučivanja u razvoju elektroenergetike. Iako, oni nikada nisu dosegнули razinu utjecaja na politiku koju su imali tehnomenadžeri u SAD-ovom sustavu, ipak su bili manje izloženi partijskim ciljevima u odnosu na sovjetske. U konačnici, bili su pod utjecajem socijalističke ideologije. Partija se odlučila da ih oslabi jer bi inače riskirala gubitak moći u ekonomiji. Disertacijom iz uvoda (Rupčić) je pokazano da je potrebno prevrednovati ustaljeno mišljenje o njima te ih gledati u zbiljskom kontekstu koji je zapravo pozitivan.

Jalova snaga

Ranije je navedeno da se jugoslavenski sustav raspadao nekoliko puta uslijed neodgovarajuće jalove snage.

Nedovoljna opterećenost 400 kV-ne mreže stavljala je naglasak na neodgovarajuću jalovu snagu, a samim time na pripadne infrastrukturne uređaje koji ublažavaju probleme s jalovom snagom s ciljem poboljšanja mogućnosti prijenosa električne energije.

Recimo, 1964. je u trafostanici Mraclin ugrađen sinkroni kompenzator snage od 50 MVar-a, sa svrhom da poveća mogućnost prijenosa električne energije u zagrebačko područje, dakle i prije stanja s nisko opterećenom 400 kV-nom mrežom.

U trafostanici *TS 220/100 kV Đakovo* ugrađen je regulacijski transformator i sinkroni kompenzator 50 MVar-a, a s izgradnjom te trafostanice utrostručena je mogućnost prijenosa električne energije za područje Slavonije i Baranje - čime se pokazuje da je i snaga a i dostupnost jalove snage trafostanica ograničavala ograničavala prijenos elektroenergije.

Godine 1978. zbog velikog toka energije iz Hercegovine i iz hidroelektrana oko Splita, do Šibenika, u dalmatinsku trafostanicu Bilice snage 150 MVA-a ugrađena je kondenzatorska baterija snage 63 MVar-a.

Nakon stavljanja u pogon sjeverne 400 kV-ne magistrale, u slučajevima kada je ona bila nisko opterećena, pojavljivao se višak kapacitivne snage i previsoki naponi, koje je trebalo umanjiti (kompenzirati) prigušnicama.

Visoki naponi su otežavali spajanje sjeverne s južnom 400 kV-nom magistralom. Na 400 kV-noj razini bilo je viška jalove snage a na 110 kV-noj mreži manjak jalove snage.

U jednom slučaju su dugi 400 kV-ni vodovi, npr. *Konjsko – Melina* 281 km, proizvodili toliko jalove snage da je došlo do prorade zaštite - kada je 7. listopada 1981. došlo do puštanja vodova *Konjsko – Mostar* i *Konjsko - Melina* pod 220 kV-ni napon. U slučaju neodgovarajuće jalove snage podopterećenog dalekovoda, isti se ovisno o utjecaju na ostatak mreže isključivao.

Ulazak u pogon *Nuklearne elektrane Krško* 1981. omogućio je znatnu regulaciju napona podopterećene 400 kV-ne mreže (do 273 MVar-a u kapacitivnom području), a uz to su njime smanjeni gubici u *Elektroprenosu Zagreb*. Imajući u vidu da elektrane u Hrvatskoj, osim u slučaju *RHE Velebit* (1984.), nisu priključivane na 400 kV-nu mrežu, to se ističe važnost 110 kV-ne i pogotovo 220 kV-ne mreže za prijenos električne energije u Hrvatskoj.

U Jugoslaviji se nedovoljna pozornost posvećivala potrebi za upravljanjem jalovim tokom snage.

Cjenovne energetske prisile i sustavske potrebe

U stanju nestašice električne energije stanovnici sela koja su bila blizu šume (npr. 500 metara), kao i stanovnici na centralnom grijanju na mazut, koristili su električne grijalice. Potrošač koji može birati između različitih energenata za grijanje, to će činiti prema odnosu jediničnih cijena tih energenata. Vidimo tu da projektiranje cjenovnih prisila, kada taj posao preuzima državna vlast bez slobodnoga tržišta, treba sagledavati ne samo elektroenergetski nego valja gledati i druga energetska područja.

Jugoslavija je nastojala utjecati na korištenje električne energije različitim cijenama u vremenu (do podne, noću, vikendom, državnim praznicima, ljeti), što je davalo željene ishode u smislu manje potrošnje zimi i veće potrošnje noću (smanjena je potreba za vršnom energijom i snagom u odnosu na 60-e), dok navedene prisile nisu mogle utjecati na povećanje potrošnje ljeti. Budući da se nije mogla postići veća potrošnja ljeti, to je vodilo lošoj korisnosti rada termoelektrana uslijed nižeg opterećenja, što se donekle rješavalo izvozom sezonskih viškova drugim republikama i inozemstvu. Učinkovitost pretvorbe goriva u termoelektrani veća je uz veći izlazni tok električne energije iz nje.

Postojao je stalan porast potrošnje električne energije od 1954. do 1987. u 80-ima nepovezan s makroekonomskom situacijom (s BDP-om). Redukcijama su pogodovala neodgovarajuće socijalističke cjenovne prisile prema potrošačima energije, o čemu se u Jugoslaviji pisalo (Hrvoje Požar, Milan Ivanović, Jure Šimović).

Jedinična cijena koju plaća potrošač, utječe na to kako će on koristiti električnu energiju. Ako u stanju nedovoljnog toka energije na izvorištima sustav ne pošalje

visoku jediničnu cijenu kao signal prisile, onda će se prosječan potrošač ponašati protivno potrebama sustava. Kada državna vlast bez slobodnoga tržišta preuzme na sebe određivanje jediničnih cijena potrošačima, teško joj je upravljati cjenovnim prisilama prema potrebama sustava. Poteškoća joj je obzir prema svijesti potrošača i složenost toga posla, kao i potrebna brzina odlučivanja koju državna vlast teško postiže. Akumulacija deviza sastavnica je sigurnosti opskrbe električnom energijom, čemu ne doprinosi pristup gdje se kratkoročno i kratkovidno želi postizati najniža cijena energije za potrošače.

Pregovori oko međudržavnih i međurepubličkih razmjenskih veličina (jedinične cijene, prijenosni omjeri) kao cjenovnih signala nisu u odnosu država-potrošač, koji je inače obilježen populizmom, stoga su izloženi tržišnim principima. O njima više na drugom mjestu.

Hrvatska (ZEOH) je 23. ožujka 1990. bila dužna 0,89 milijardi dinara i bio joj je blokiran račun. Srbija te Bosna i Hercegovina su joj najavile obustavu isporuke električne energije i objavljeno je da JUGEL ne može za ZEOH uvoziti iz Čehoslovačke električnu energiju, dok je Slovenija namjeravala dio električne energije iz *NE Krško* koji isporučuje Hrvatskoj izvesti. INA-Naftaplin najavila je obustavu isporuke nafte Hrvatskoj⁶. Navedeno je moglo imati veze s otegotnim okolnostima koje ZEOH-u nisu omogućavale povećanje cijene električne energije. Savezno izvršno vijeće Jugoslavije moralo je 1987. ZEOH-u odobriti povećanje cijena električne energije za potrošače, dakle ZEOH nije mogao samostalno donijeti tu odluku. Postojala je u Jugoslaviji trajna borba između tržišne i planske ekonomije.

Izgradnja dalekovoda i redukcije

Osim prethodno navedenih, postoje i drugi čimbenici koji su određivali izgradnju infrastrukture: recimo društvene sile koje sprječavaju izgradnju i suprotstavljene sile koje su je težile izgraditi.

Na primjeru istraživanja plina i nafte u jugoslavenskom dijelu jadranskog podmorja, kao i povezivanje autocestom Dalmacije i sjeverozapadne Hrvatske (Split – Zagreb) – dokumentirano je da je ono bilo otežano utjecajem komunističke ideologije.

Napori komunista u Hrvatskoj imali su težnju da se autocesta i istraživanje podmorja omogući u suradnji s talijanskim gospodarstvom dajući talijanskoj strani koncesije. Hrvatski komunisti, nastojeći da se ostvare ti projekti – bezuspješno su pokušali 1966. dokazati da lenjinizam nije bio protiv koncesija jer da koncesija po hrvat-

⁶ Borba, 23. 3. 1990.

skim komunistima ne dovodi do »rasprodaje socijalizma«. Na odstupanje od marksističke dogme kao svjetonazora moglo se gledati kao na grijeh, što se objašnjava time da je marksizam politička religija (Vejas Liulevicius 2024., *University of Tennessee*).

Mjesecima nakon upada vojske u Čehoslovačku 1968. i prijetnje ulaska istočnoeuropske vojske u Jugoslaviju - oko povezivanja Zagreba i Splita autocestom sustavno se u Jugoslaviji stvarala paranoja od napada NATO pakta, koji bi predmnijevanu autocestu mogao koristiti za prijevoz tenkova s kojima bi pregazio Jugoslaviju.

Organizacija UNECE godine 1952. srednjoročno gleda Jugoslaviju kao izvoznicu hidroenergije u Austriju i Njemačku. Uz sudjelovanje Austrije, Italije, Zapadne Njemačke i Jugoslavije osnovana je 1952. komisija pod nazivom *Yougelexport*. U okviru te komisije namjeravalo se graditi mrežu na teritoriju Jugoslavije, povezanu s državama zapadno od *Željezne zavjese*. Bila je ideja da zapadnoeuropski investitori financiraju izgradnju dalekovoda a da zauzvrat Jugoslavija isporučuje električnu energiju ili druge proizvode (*energija za dalekovod, roba za dalekovod*). Do realizacije 1955. nije došlo zbog 'financijsko-političkih razloga'. Slovenski predstavnici (npr. Milan Vidmar) smatrali su da se taj projekt ne treba izvesti jer da bi njime jugoslavenski nacionalni potencijali podržavali ekonomije drugih nacija i da bi ih Jugoslavija trebala staviti u funkciju vlastitoga industrijskoga razvoja. Izrađene studije iz toga projekta bile su poticaj za povezivanje Dalmacije i sjeverozapadne Hrvatske. Na kasniji SUDEL projekt može se gledati kao na uspješan odvjetak *Yougelexporta*.

Projekt *Yougelexport* podrazumijevao je prijenosnu mrežu Dalmacije povezanu sa sjeverozapadnom Hrvatskom teritorijem Hrvatske. Postojao je problem financiranja, jer međunarodne banke nisu htjele dati jedan kredit za više država istodobno, a Jugoslavija nije dozvoljavala uknjiživanje u vlasništvo objekata u slučaju kada bi kredit za izgradnju na teritoriju Jugoslavije preuzela strana država – što je problem jugoslavenskih ideoloških postavki. Zapadna Njemačka je dala kredit Jugoslaviji, koji je ona prenamijenila za druge svrhe tvrdeći da je to novac za ratnu odštetu, što je izazvalo skandal i to nije ulijevalo povjerenje da će se Jugoslavija držati sporazuma.

U konačnici su se 1959. članovi *Yougelexporta* usredotočili samo na elektranu Lika-Gacka. Elektranu na Trebišnjici su na kraju financirale Sjedinjene Američke Države kao pomoć Jugoslaviji, a Jugoslavija je sama financirala elektranu na Cetini.

Iako se ideja prekomorskog povezivanja Italije i Dalmacije iz 1957. i 1958. pokazala ekonomičnom, ona je propala jer talijanska strana nije bila spremna na sufinanciranje. Odbacivanje te mogućnosti obrazloženo je time da bi Jugoslavija kao izvoznik

⁷ Predavanje na *Lex Fridman Podcast*, objavljeno 20. rujna 2024. <https://www.youtube.com/watch?v=sioTH4Sjvzg>, pristupljeno 25. 10. 2024.

potpuno ovisila o volji jednog kupca koji bi diktirao uvjete kupovanja energije, što je čudna argumentacija. Ta je ideja razmatrana na UNIPED-ovom kongresu 1958. Prijenos je trebao biti 500 MW-a. Treba tu pripomenuti da su zbog ekspanzionističke sastavnice jugoslavenske politike prema Italiji (Trst), odnosi dvaju država bili zatrovani sve do 1954. kada je postignut dogovor, dok inače nije za očekivati brz povratak međudržavnoga povjerenja.

Slika neodgovarajućih mogućnosti mreže za prijenos iz područja s viškom električne energije (npr. u 1968. Bosna i Hercegovina, Crna Gora) u područja s manjom električne energije (npr. u 1968. Srbija, Slovenija, a najviše Hrvatska, Makedonija) - opisana je događajima iz 1970. Tada je prelijevana voda iz hidroelektrana uz prisilna ograničenja potrošnje, dok su termoelektrane radile punom parom. Tu je ekonomski razlog za izgradnju mreže mogao biti izbjegavanje troška neisporučene električne energije potrošačima i šteta od gubitka hidroenergije. Iako, međurepublička razmjena bila je 1968. godine na razini 23% ukupne proizvodnje električne energije u Jugoslaviji, dakle veliki udio razmijenjene količine ne znači da su postojale dostatne prijenosne mogućnosti. Procjenjivalo se da bi u slučaju postojanja međudržavnih dalekovoda za uvoz, kriza mogla biti izbjegnuta ili znatno umanjena. Procjenjivalo se da proširenje trafostanice s Grčkom (T.S. Bitola) može na grčko-jugoslavenskoj granici povećati propusne mogućnosti s 50 na 100 MW-a.

Zgodno se prisjetiti slučaja kada su francuski i švicarski sustav 'spasili' talijanski elektroenergetski sustav od prisilnog gašenja tvornica početkom 20-ih godina 20. stoljeća, gdje je nedostajuću električnu energiju Francuska isporučivala u Švicarsku, a potom Švicarska u Italiju, sve kao *nesusjedna razmjena*. Promidžba korištenjem takvih simboličkih događaja može otkloniti nepovjerenje prema inače neintuitivnim i teško shvatljivim konceptima izvan uskog kruga specijalista.

Hrvatski je sustav bio hidroelektrični a mađarski termoelektrični, što kao u slučaju ranijeg povezivanja Zagreba i Karlovca (1930.) stvara interes za povezivanjem, a unatoč tome hrvatski i mađarski sustav praktički su bili nepovezani. Dalekovod napona 120 kV-i koji je imao prijenosnu moć 90 MVA i transformator snage 50 MVA te snagu prijenosa 40 MW - imao je sve manji i manji angažman a bilo je godina kada uopće nije bio u funkciji.

Sedamdesetih godina proučavana je mogućnost povezivanja Mađarske sa sjeverozapadnom Hrvatskom (Virovitica – Barcs) kao i Baranje s Mađarskom (B. Manastir – Beremend). Za povezivanje s Baranjom već je bila odabrana trasa kao i podjela troškova izgradnje u kontaktima JUGEL-a i mađarskog MVM-a, ali gradnja nikada nije započela. Vojvodina je s Mađarskom povezana 1960. (110 kV) i 1988. (400 kV), dok između Vojvodine i sjeveroistočne Hrvatske nema dalekovoda sve do 1977. (110 kV) a 1978. postoji dalekovod pod 400 kV-nim naponom.

Makroekonomija i nestašice električne energije

Svjedočanstvo iz 2024. govori da je beogradskome krugu bilo poznato da je Jugoslavija izvozila električnu energiju za vrijeme nestašica energije. Izvozila se da bi se u stanju nakon zaduženja vraćali dugovi. Na primjeru rumunjsko-jugoslaven-ske suradnje vidi se da je Jugoslavija dugoročno isporučivala električnu energiju u Rumunjsku po principu *energija za kredit* koji je dobila od Rumunjske, što se moglo odvijati istovremeno s redukcijama.

Za uvoz električne energije iz drugih država u Jugoslaviju kao i za uvoz energenata za proizvodnju električne energije, bilo je važno imati novac u stranoj valuti (devize).

U kontekstu novoga zakona o devizama održan je sastanak 1984. na kojemu je sudjelovao i JUGEL, gdje se govorilo kako doći do potrebnih deviza za uvoz. JUGEL je ukazao da će se devizna prava utvrđivati u okviru JUGEL-a, ali će se JUGEL za svaki slučaj povezati sa dvadesetak svojih potrošača i izvoznika. *Večernji list* je izvijestio 1984. da je vraćen dug za uvoz električne energije susjednim zemljama. Razlog za prisilno smanjenje potrošnje (redukcije) u Jugoslaviji bio je i u nedostatku deviza za uvoz mazuta i za uvoz električne energije, a navedeno je posljedica lošeg stanja jugoslavenskog ekonomskog sustava pokazanog kvantitativno, slika 4.

Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske (ZEOH) je 7. studenoga 1980., u kontekstu rasta cijene nafte i nestašice deviza, u načelu podržala prelazak termoelektrane *TE Rijeka I - Urinj* s lož ulja na ugljen i plin, a uslijed ponude američke tvrtke za opskrbu ugljenom koji se ne bi plaćao u devizama nego u dinarima po jugoslavenskom deviznom tečaju.

U šest dokumenata iz 1983. vidljiva je korespondencija koja svjedoči o problemu strateškog manjka deviza u hrvatskoj elektroprivredi (ZEOH). Uočljive su u dokumentima mogućnosti izvoza električne energije po principu *energija za novac*. ZEOH navodi da ne može nikako ostvariti devize niti može izvesti struju a ne može ni uvjetovati davanje energije plaćanjem u devizama. Devize su mu potrebne za prethodna dugovanja, održavanje i sirovine za *NE Krško*, uvoz opreme za *RHE Obrovac* (danas *RHE Velebit*) i za objekte u drugim republikama. Potrebna im je suglasnost za zaduženje, među ostalim, za izgradnju 400 kV-ne mreže.

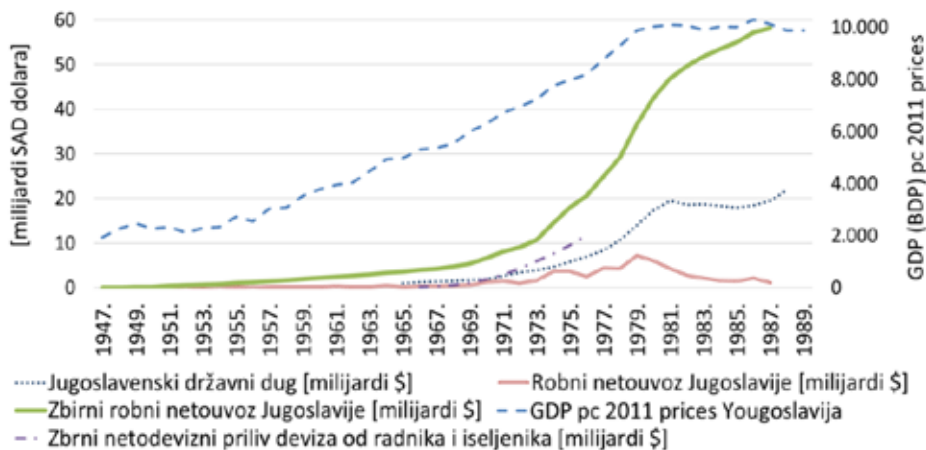
ZEOH se prijeti da ako im se ne ispuni zahtjev »da će ograničiti isporuku ugovorene količine električne energije u 1983. od 1.680 GWh za 45,36% a od nas sustegnutu energiju izvesti na konvertibilno tržište i time ostvariti devizni priliv od US\$ 30,482.684,00 koji bi uz ograničenje raspolaganja devizama od 25% bio dovoljan za pokriće nas traženih deviza tj. US\$ 22,862.013,00«.

Republički komitet za energetiku, industriju, rudarstvo i zanatstvo navodi:

»Poznato je da elektroprivreda nije u stanju izvoziti električnu energiju (nema je ni za podmirenje svojih potreba), pa prema tome nije u mogućnosti da ostvari devizni priliv, što joj stvara nepremostive teškoće u izvršenju deviznih obaveza«. Jedno od rješenja u skladu s člankom 66. Zakona o deviznom poslovanju i kreditnim odnosima s inozemstvom bilo je: da veći potrošači električne energije, koji su i izvoznici, za električnu energiju plaćaju ZEOH-u u devizama.

Koordinacija za oblast financija Izvršnog vijeća sabora zaključila je, među ostalim: »S obzirom da se je u razdoblju siječanj-travanj 1983. uspjelo vratiti dugovanje električne energije Italiji, Švicarskoj i Austriji nastalo u 1982. godini što ukazuje da je uz nadplanski sadržaj akumulacija i dobrim radom NE Krško moguće ostvariti određene količine viška električne energije, Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske treba poduzeti sve mjere da dio vlastitih deviznih obaveza pokrije izvozom električne energije«. Valja za dublji uvid dometnuti da je priliv deviza od radnika u inozemstvu i iseljenika bio znatan, podaci od 1966. do 1977. vidljivi su na Sl. 3. Osim toga je zanimljiva pojava ilegalnog deviznog tržišta, tzv. šticung, što znači da tržišna ekonomija pronalazi svoj put.

Poljski predstavnici bili su zainteresirani za izvoz električne energije u UCPTE i radi priskrbljivanja strane valute (deviza), a i Bugarska je povezavši se sa svim susjedima cijnila stranu valutu dobivenu za električnu energiju koju je izvozila. Prema tome, potreba za zapadnim devizama postojala i u drugim socijalističkim državama. Tu se oslikava da je akumulacija vrijednosti u novcu bila sastavnica sigurnosti opskrbe električnom energijom.



Sl. 4. Jugoslavenski državni dug, robni netouvoz Jugoslavije ($N_{u,g}$), zbirni robni netouvoz Jugoslavije ($N_{u,g}$), BDP (GDP_g) Jugoslavije (desna ordinata) i zbirni »neto devizni priliv od doznaka radnika i iseljenika« ($N_{u,g}$)

Iz Memoranduma *Saveznog sekreterijata za inostrane poslove* od 4. ožujka 1988. podnesenog *Saveznom izvršnom vijeću*, koji je obuhvatio razdoblje od 1977. do 1986., slijedi da su jugoslavenski makroekonomski pokazatelji nepovoljni - državni dug, BDP, izvoz, nezaposlenost od 7,4% u 1977. do 10,3% 1986. godine - te da izazivaju ozbiljne i dugoročno nepovoljne socijalne posljedice. Kako je drugdje spominjano, navedeno se objašnjava time što je, za razliku od razvijenog Zapada, promašeno investiranje od sredine 70-ih u Jugoslaviji postalo pravilom – ishod bijaše da se produktivnost od kraja 70-ih do kraja 80-ih gotovo da nije povećala a da je investiranje recimo 1988. palo ispod donje granice za društvenu reprodukciju, čime se ušlo u slijepu razvojnu ulicu.

Za izgradnju 400 kV-ne (380 kV-ne) mreže bilo je potrebno 1,15 milijardi dolara što je osigurano namjenskim povećanjem cijena električne energije, kao i kreditima od: Međunarodne banke za obnovu i razvoj, Europske investicijske banke i Njemačke banke (*Hilfe kapital*). Jugoslavija je 1972. sklopila ugovor s Međunarodnom bankom za financiranje 400 kV-ne mreže, i to ne samo za elektroenergetsku mrežu. Zatim 1976. kreditom od Europske ekonomske zajednice za 400 kV-nu mrežu i autocestu *Bratstvo i Jedinstvo*. Zatim 1980. je kredit od Europske investicijske banke dobila za 400 kV-nu mrežu, autocestu *Bratstvo i jedinstvo* i željeznicu *Jasenice-Djevdjelija*. Potom 1985. opet za spomenutu autocestu, a planirala je dodatne kredite ne samo za infrastrukturne projekte. Ovdje se ne tvrdi da je to cjelovit pregled zaduživanja Jugoslavije za infrastrukturne projekte. Ranije je, 1965., Jugoslaviji zajam dao Sovjetski savez za hidroelektrične proizvodne jedinice (23 milijuna američkih dolara).

Ako se rukovodi isplativošću investicije koju kreditira, voljnost banke za financiranjem u neku je ruku jamstvo predmnijevane isplativosti investicije – ali u slučaju samostojećeg privatnog vlasnika. U jugoslavenskom razdoblju barem na primjeru jedne investicije to se nije razumijevalo – u slučaju tvornice Feni mislilo se u Jugoslaviji da je voljnost američke banke *Exim* za financiranjem te tvornice predstavljalo to jamstvo, međutim supergarancije je dala država Jugoslavija tako da banku nije zanimala sudbina investicije, nego sudbina Jugoslavije kao države-jamca.

Prema zapadnoeuropskim državama organiziranima u UCPTE

Odlučnim slovenskim koracima, a zahvaljujući dobrim kontaktima s austrijskim i talijanskim stručnjacima - došlo je do postupne prevage u većinskom jugoslavenskom mišljenju, čime je, uz podršku glavnog direktora JUGEL-a odnosno Jugoslavenske zajednice elektroprivrede, uspostavljen SUDEL. Budući da su, u okviru SUDEL-a, predstavnici JUGEL-a radili iz Ljubljane, te da su, prema statutu SUDEL-

a, morali imati menadžerske uloge u svojim tvrtkama – mogli su provoditi odluke SUDEL-a u djelo. U slučaju kada je jedna od triju strana imala problema u opskrbi svojih potrošača, mogla je tražiti pomoć od druga dva člana SUDEL-a.

Prije no što se 1971. SUDEL-ovim prstenom električna energija počela razmjenjivati, a čiji je dio na slovenskom teritoriju izgradila tvrtka *Dalekovod*, između Jugoslavije te Austrije i Italije bila se razmjenjivala električna energija na 110 kV-noj razini, koja se pokazala nedovoljnom. Grčka se pridružila SUDEL-u 1972. s kojim je u paralelnom pogonu počela raditi kasnije. Albanija je 1988. u sinkronom radu s UCP-TE-om i na grčkoj i na jugoslavenskoj granici.

Logika iza SUDEL-ovog 220 kV-nog prstena na teritoriju Slovenije, Austrije i Italije bila je da se električna energija iz Jugoslavije u Italiju i Austriju izvozi u zimskim mjesecima, a ljeti, kada je nizak vodostaj rijeka, da energiju jugoslavenskim potrošačima daju austrijski i talijanski sustav.

Godine 1977. nije postojala odluka s kojim će sustavom (CDU VERE ili UCP-TE) jugoslavenski sustav ući u trajni paralelni rad a tehnički gledano nije mogao raditi paralelno s oba. Zanimljivo je da je 1975. bio proveden uspješan pokusni paralelni rad jugoslavenskog elektroenergetskog sustava (od 5. do 7. srpnja) preko Bugarske i Rumunjske s državama CDU VERE-a, kao i preko bugarskoga sustava s SSSR-om. Spominje se da je od rujna 1981. započeo neprekinuti sinkroni rad jugoslavenskoga sustava s UCPTE-om na 400 kV-noj razini, dok je 1980./1. pušten u pogon 400 kV-ni vod između Slovenije i Italije.



Sl. 5. Primjer prelaska dvaju područja u paralelni rad 10. listopada 2004.⁸

U kontekstu povezivanja u okviru SUDEL-a i kasnije odluke o trajnom paralelnom pogonu s UCPTE-om, treba gledati mogućnosti koje je republikama omogućila promjena jugoslavenskog Ustava nakon amandmana iz 1971. i ustava 1974. Naime,

⁸ Slika: preuzeta iz https://www.hops.hr/page-file/RVjNy3kWRgNOyYgVW3vEF7/ostale-publikacije/Hops_rekonekcija_2014.pdf, pristupljeno 24. 10. 2024.

republikama je Ustavom omogućeno da u okviru jugoslavenske vanjske politike mogu stupiti u suradnju s tijelima druge države. Tako su Slovenija i Hrvatska 1978. zajedno s područjima Austrije i Italije i uz sudjelovanje Bavarske osnovali *Radnu skupinu Alpe-Jadran*⁹, čiji je cilj bio informiranje i koordiniranje zajedničkih napora i na području energije. Nije beznačajno da su Italija i Jugoslavija 1975. potpisale *Osimske sporazume*, godinu dana nakon paralelnog pogona Jugoslavije s Italijom.

Jugoslavenski sustav regulacije frekvencije i snage razmjene bio je preduvjet za sinkroni rad s UCPTE-om u okviru SUDEL-a, a omogućavao je dvije mogućnosti rada - u granicama Hrvatske i u granicama JUGEL-a. Ovaj sustav doprinosi održavanju zajedničke frekvencije cjelokupnoga sustava u paralelnome pogonu u iznosu i vremenu, iako frekvencija nije u cijelom sustavu potpuno ista.

Druga je svrha održavanje snage razmjene na jugoslavenskim granicama koje su bile u paralelnom pogonu: talijanska od 1974., austrijska od 1975. i grčka od 1977. Odstupanje snage razmjene je razlika između mjerenog fizičkog toka energije na granicama paralelnog pogona i ekonomskog toka energije na istim granicama. Ekonomski tok energije proizlazi iz prethodno ugovorenih razmjena neovisno o tome kako su dvije ugovorne strane ugovorile razmjenu (energija za novac, energija za robu, energija za energiju i sl.). Logika je spriječiti da jugoslavenski sustav isporučuje u druge sustave više električne energije nego što je prodao, i da ne uzima veću količinu energije nego što je u pojedinom satu kupio. Ekonomski tok gleda se u neto iznosu zbrajajući iznose po svim granicama u paralelnom pogonu, što se odnosi i na zbirni fizički tok. Imamo jednu neto vrijednost za ekonomski tok i drugu neto vrijednost za fizički tok u istom satu. Tu su uvrštene samo granice s UCPTE-om, ostale se gledaju kao da su izvori ili ponori električne energije unutar jugoslavenskoga sustava.

Istovremeno su obje svrhe u istome matematičkom izrazu. Ako zajednička frekvencija poraste uslijed velikog ispada elektrana recimo u Francuskoj, kroz frekvencijski član matematičkoga izraza jugoslavenski će sustav, ako želi biti u ravnoteži ili uredan prema preuzetim obvezama, trebati isporučiti UCPTE-u veći fizički tok energije od ekonomskoga toka energije i time nadomjestiti dio ispalih francuskih elektrana.

Izgledna je povezanost SUDEL-ovog projekta sa vojnim savezništvom Jugoslavije s NATO-om. U strahu od korejskog scenarija iz 1950. godine Jugoslavija je 1952. pristala na vojni savez sa zapadom, a 1954. je Jugoslavija sklopila *Balkanski savez* s Turskom i Grčkom koje su bile članice NATO-a. Za razliku od SUDEL projekta, projekt *Iron Gate* bio je obilno popraćen u jugoslavenskim medijima i uz to se koristio

⁹ Dalibor Čepulo (2005.). *Hrvatska pravna povijest u europskom kontekstu*. Pravni fakultet sveučilišta u Zagrebu, str. 257.-8.

kao ogledni primjer u pokretu nesvrstanih. Projekt je svjedočio tome što je Jugoslavija spremna izvesti. Na sastanku UNECE-a 1963. su Poljska, Čehoslovačka, Austrija i Jugoslavija tražile da se istraže mogućnosti pojačanja prekograničnih vodova između država s dvije strane *Željezne zavjese* te je za to načinjen plan. Većina zapadnoeuropskih država bila je suzdržana prema tome planu, a Velika Britanija, SAD i Belgija bili su protiv.

Jugoslavija je u konačnici poslužila NATO-u da se preko njezina teritorija Grčka, kao NATO saveznica, elektroenergetski u paralelnom pogonu poveže sa europskim državama zapadno od *Željezne zavjese*, što se zbilo 1977. Da bi tome moglo biti tako, govori to da je NATO-v ECONAD 1964. jačim povezivanjem sovjetskih satelita uz pomoć Jugoslavije, želio smanjiti njihovu ovisnost o SSSR-u, a počinje slabiti protivljenje SAD-a elektroenergetskom povezivanju s obje strane *Željezne zavjese*.

Nakon uključenja Grčke u SUDEL, pa i Albanije putem veze s Grčkom, Austrija i Jugoslavija su putem studije SUDEL ENERGO PULL željeli ujediniti sve europske države na jugoistoku u UCPTE, a to će reći s Bugarskom, Rumunjskom i Turskom. To je kasnije izraslo u projekt BALKEL uspostavljen u ranim 90-ima. Godine 1980. je Jugoslavija u okviru SUDEL-a priopćila da su bugarski, turski, rumunjski, mađarski, čehoslovački i albanski upravljači sustava zainteresirani za paralelni rad sa SUDEL-om u okviru UCPTE-a, dok su 1982. prvi puta predstavnici sustava u Bukureštu raspravljali o mogućnosti stvaranja jedinstvenog elektroenergetskoga sustava jugoistočne Europe.

Povjerljivo Izvješće od 14. ožujka 1988. govori o snažnoj jugoslavenskoj makroekonomskoj povezanosti za zapadnu Europu: 1,1 milijun jugoslavenskih državljana na privremenom radu u zapadnoj Europi što je osiguralo priliv deviza, tri četvrtine robne razmjene Jugoslavije je sa zapadnom Europom, skoro ukupan devizni priliv iz turizma je od turista koji dolaze iz zapadne Europe i najveći udio jugoslavenskoga duga je prema zapadnoj Europi.

Primjer povezivanja s dvije strane *Željezne zavjese* je elektroenergetsko povezivanje Grčke i Bugarske, gdje je Grčka iz Bugarske namirivala svoje potrebe za uvozom elektroenergije, a također i Turska od 1975. namiruje svoje potrebe za električnom energijom iz Bugarske. Bugarski sustav je počeo sloviti od nekoga trenutka kao elektroenergetsko središte (engl. *power hub*), uslijed bogatstva izvora za proizvodnju električne energije i znatnih mogućnosti razmjena električne energije s SSSR-om.

SUDEL-ov projekt je povećao sigurnost opskrbe električnom energijom u Jugoslaviji. Jugoslavenski sustav nije mogao istovremeno raditi u paralelnom radu sa zapadnoeuropskim UCPTE-om i istočnoeuropskim CDU VERE-om. Odlučio se za paralelni rad s UCPTE-om. Dva su načina na koji su države u paralelnom radu predvođenom UCPTE-om mogle razmjenjivati elektroenergiju s istočnoeuropskim CDU VERE-om.

Jedan je način da se izmjenična elektroenergija pretvara u istosmjernu u energetskim pretvaračima. Zatim se istosmjerna pretvara u izmjeničnu prilagođene frekvencije u iznosu i vremenu na onu drugoga sustava, koja se kao takva isporučuje u drugi sustav. To je HVDC tehnologija kojom je Austrija koja nije bila u NATO paktu a bila je u UCPTE-u, od 1983. razmjenjivala znatne količine električne energije na granici s Čehoslovačkom koja je bila u CDU VERE-u (*back-to-back* HVDC stanicom). Austrija je dobivala zahtjeve za razmjenama kojima nije mogla udovoljiti ni trafostanica dvostruko veće snage. U tome načinu razmjene može se energetskom elektronikom upravljati s iznosom razmjene, za razliku od razmjene na jednom od više izmjeničnih dalekovoda na granicama paralelnoga pogona. Ovaj se HVDC način nikada nije primjenjivao na jugoslavenskim granicama. HVDC tehnologija je skupa, a nisu je primijenili ni Grčka i ni Italija koje su bile u NATO paktu, unatoč potrebama Grčke za izravnim fizičkim tokom energije iz Italije. Prvi komercijalni HVDC vod između Škotske i Gothlanda bio je 1954.

Jugoslavija je primjenjivala drugi način razmjene s CDU VERE-om. Dio se jugoslavenskoga sustava odjeljivao od jugoslavenskoga sustava (otočni pogon) i priključivao u paralelni pogon sa sustavom CDU VERE. Jednako tako je CDU VERE mogao dio svojega sustava prebaciti u otočni pogon i na jugoslavenskoj granici se priključiti u paralelni rad s UCPTE-ovim sustavom. Na ovaj način električnu energiju su razmjenjivale recimo Turska i Bugarska - kao i Jugoslavija s Albanijom te Jugoslavija sa Rumunjskom, kada je Jugoslavija za rumunjske potrebe prenosila ekonomski tok energije iz Albanije u Rumunjsku kao tranzit. To nije tranzit u modernom smislu, kod kojega nema izdvajanja u otočni pogon.

Ekonomsko-interesne silnice u Mađarskoj težile su povezivanju s UCPTE-om u paralelnom radu, a to će reći i s Hrvatskom. Početkom 1989. zaključen je predugovor o godišnjoj isporuci od 12 do 14 TWh-i električne energije sa snagom od 2.000 MW-a u razdoblju između 1995. i 2006., iz SSSR-a u talijanski sustav. To je trebala biti razmjena za ugradnju talijanskih plinskih turbina u SSSR-u u sustavu energija za robu. Za taj tranzit preko mađarske i jugoslavenske mreže provedene su analize.

U jednoj inačici bi prijenos na mađarsko-jugoslavenskoj granici išao posredstvom HVDC stanice na granici (*back-to-back*). U drugoj bi varijanti Mađarska bila u sinkronom pogonu s UCPTE-om, a na granici između Mađarske i istočnog sinkronog sustava bile bi na svim čvorištima ispravljačke stanice (HVDC). Na sastanku predstavnika sovjetske, mađarske, talijanske i jugoslavenske elektroprivrede krajem 1989. u Zagrebu, preliminarno su prihvaćena pojačavanja mreže koja proizlaze iz inačice koju je zagovarala mađarska elektroprivreda odnosno paralelni pogon mađarskog sustava s UCPTE-om.

Potreba za zgusnutim znanjem i decentraliziranim odlučivanjem

Kada nastaju specijalizirane institucije s podrškom država? U drugoj polovici 18. stoljeća europske države, recimo Pruska merkantilističkog vladara Fridrika II. Velikog, počinju shvaćati da je za upravljanje državom s ciljem društvenog blagostanja njezinih državljana potrebno stvaranje i skupljanje zgusnutog znanja u institucijama, kao što je potrebna profesionalna državna birokracija. U poljoprivrednoj 18. stoljetnoj Europi nastaju poljoprivredna društva i državne akademije. Tek u 18. stoljeću nastaje suvlast vladara i činovništva. Do tada su ekonomske aktivnosti bile regulirane kao instrumenti moći države. Ipak, Hrvatska je imala prekid u tome razvoju do 1990., a sustav se ne razvije preko noći. Čepulo tvrdi da je takav razvoj uvjetovao autoritarno nasljeđe i doživljaj institucija kao sporedni dio poretka što je preživjelo ulazak Hrvatske u Europsku uniju 2013.¹⁰ Nobelova nagrada za ekonomiju je u 2024. dodijeljena autorima Daron Acemoglu, Simon Johnson i James Robinson, koji su pokazali da su upravo institucije najvažnije za postizanje društvenog blagostanja.

Do sada izneseni elektroenergetski sadržaj ukazuje da je za odgovarajuće odluke o izgradnji elektroenergetskoga sustava potreban posvećeni rad profesionalaca iz tehničkih i društvenih područja, dok znatizeljnici ne stječu ni sposobnost praćenja.

Tako je u jugoslavenskoj elektroenergetici nastala potreba za slobodom istraživanja i raspravljanja, kao i za akumuliranjem prikupljenoga i stvorenoga znanja. Spomenimo povezivanje jugoslavenskih stručnjaka preko organizacije JUKO CIGRÉ-a osnovane 1951., sa specijaliziranom institucijom za velike elektroenergetske sustave CIGRÉ osnovane 1921.

U ozračju sintagme *Partijska istina*, kako ju je nazvao povjesničar Mladen Ančić (r. 1955.), koja je jugoslavenskim institucijama uvelike predodređivala ishode istraživanja - jugoslavenski inženjeri bili su suočeni sa znatnim godišnjim porastima u potrošnji električne energije, što je političku vlast moglo nagnati da im omogući izgradnju pripadne infrastrukture: elektrana i dalekovoda, kao i da im otvori puteve međusobne i međunarodne razmjene znanja. Za usporedbu kineska gospodarska produktivnost u modernom razdoblju porasla je i siromaštvo se bilo smanjilo, zahvaljujući antirežimskim tržišno-ekonomskim postupcima seljaka i usprkos suzbijanju takvoga razvoja od kineskoga režima, a i uz slobodnotržišno djelovanje Hong Konga (Kate Xiao Zhou, 1996.).

¹⁰ Dalibor Čepulo (2023.), *Hrvatska pravna povijest u europskom kontekstu od srednjeg vijeka do suvremenog doba*, Pravni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 382.

Vezano za međunarodnu suradnju, inženjer Tomislav Pavlović je kao stipendist Tehničke pomoći Ujedinjenih naroda boravio 1961. u Švedskoj, Finskoj i Švicarskoj. Nakon putovanja izvijestio je o navedenim sustavima u smislu međudržavnih razmjena s opisom regulacije frekvencije i snage razmijene. Preporučao je temeljem toga iskustva za Jugoslaviju, koja je imala velika odstupanja frekvencije (normalno $\pm 0,2$ Hz, a dosežalo je 1 Hz), zapadna rješenja koja je uočio na službenome putovanju.

Jugoslavija i Rumunjska dogovarale su u veljači 1980. uspostavu stručno-tehničke suradnje u području rada, razvoja i funkcioniranja rumunjskoga i jugoslaven-skoga elektroenergetskoga sustava te se pripremao dokument na temelju kojega bi se to izvelo.

Jugoslavenska kadrovska politika dovela je do pozitivne radne klime u elektroenergetici, kako su je vidjeli protagonisti toga razdoblja. Postojala je sloboda stručnog djelovanja, burne rasprave i kako protagonisti govore odabir kadrova neovisan o politici. Objašnjenja za pozitivnu klimu su u tome što su to bili pionirski pothvati neopterećeni »zaslužnim kadrovima« uz pripadno natjecanje s prijenosnim tvrtkama u Jugoslaviji i inozemstvu te u drugim razlozima. Moglo bi biti da su to bili umjetno slobodni radni okviri, bez utjecaja i unošenja birokratsko-političkih i izvana vođenih i kontroliranih smetnji. To se izgledno odnosilo na tehnička pitanja, a ne i na društvene i ekonomske teme, recimo slobodno tržište u okviru potrebe za privatnim vlasništvom. Hrvatski intelektualac Slavko Kulić (r. 1941.) je bio skoro ubijen nakon što je dovodio u pitanje samoupravni socijalizam.

Zapadnoeuropski inženjeri su u 20. stoljeću imali izričitu strategiju kojom su raspravu o elektroenergetskom povezivanju Europe učinili prestručnom (engl. *technify*). Cilj je bio što više umanjiti utjecaj političkih dionika, kao i ljudi koji nisu iz struke, na povezivanje europskih elektroenergetskih sustava. Dodamo li ovoj pojavi zanemarivanje tehnološkog razvoja u povijesnim analizama dobivamo koncept *hidden integration* - uveden 2008. za navedeno razdoblje (Johan Schot).

Sociološko-tehničko obilježje elektroenergetskoga sustava dovelo je u zapadnoj Europi do nastanka poslovnih subjekata koji su bili u stanju graditi i voditi složene elektroenergetske sustave (njem. *Unternehmensgeschäfte*), uvažavajući tehnološke, institucionalne, organizacijske i pravne sastavnice kao i predmnijevane nacionalne proizvodne mogućnosti.

Osnivanje stručne organizacije za elektroenergetske sustave CIGRÉ 1921. poklopila se s već navedenim prijenosom električne energije na udaljenosti od 700 kilometara iz iste godine. CIGRÉ se bavio velikim elektroenergetskim sustavima; nacionalnim pravnim okvirima vezanima za razdjelu električne energije; prijenosom električne energije; uvozom i izvozom električne energije. CIGRÉ je imao princip da su mišljenja sudionika predstavljala njihova privatna mišljenja, čime se omogućila

nesebična razmjena znanja na korist nadnacionalnog sveopćeg društvenog blagostanja, imajući u vidu da su problemi bili zajednički i da je za dijeljenje znanja potrebna sloboda. Danas se može čuti sintagma da se *znanje dijeljenjem uvećava*. Moglo bi se reći da je ova organizacija nastala kada je nastala potreba za takvom organizacijom.

Općenito govoreći, države u strahu od propasti uslijed nagomilanih poslova počinju težiti k decentralizaciji. Pritom treba imati na umu razliku između dekoncentracije od decentralizacije.

Pogledi na primjerenu organizaciju

Zgodno je usporediti bitno različitu austrijsku i jugoslavensku organizaciju elektroenergetskoga sustava i društva. Prikladna organizacija sustava može biti protivna intuiciji.

Austrija je imala svjetske odličnike u tržišnoj ekonomiji kao što su autor sintagme *creative destruction* Joseph Alois Schumpeter (r. 1883.), i Friedrich August von Hayek koji je u promatranom razdoblju izvršio utjecaj na britansku predsjednicu Vlade Margaret Thatcher (knjiga *The Road to Serfdom* iz 1944.), dok je u Jugoslaviji vodila isključiva anti-tržišna paradigma.

Krajem 80-ih godina postojali su barem deklarativni javni zagovornici zapadno-tržišnih principa, a zamislivo je da je to javno zagovaranje tržišnoga sustava bilo uvjetovano zapadnom pomoću kojom se održavao inače neodrživ netržišni sustav. Zapad je na taj način vjerojatno htio smanjiti troškove pomoći koju je davao za održavanje jugoslavenskoga sustava i osigurati vraćanje kredita.

Međunarodni monetarni fond (MMF) uvidjevši da prema makroekonomskim pokazateljima Jugoslavija ide prema raspadu, daljnje kreditiranje 80-ih MMF uvjetuje preoblikovanjem jugoslavenskoga sustava. Za temu međurepubličkih i međudržavnih razmjena električne energije bitni su zahtjevi za liberalizacijom tržišta: tržišni tečaj dinara prema dolaru, liberalizacija cijena na domaćem jugoslavenskom tržištu koja bi dovela do obuzdavanja potrošnje i omogućila izvoz proizvoda. Stanovništvo se štrajkovima protivilo tom preoblikovanju¹¹.

Alojzije Šćap je 1957. u jugoslavenskom časopisu *Energija* opovrgavao predrađuju da je u tržišnom sustavu, kakav je austrijski, nemoguće voditi ekonomičan pogon, obrazlažući način na koji je to u Austriji postignuto. Međurepubličke razmjene

¹¹ Jake Lowinger (2009.), „ECONOMIC REFORM AND THE DOUBLE MOVEMENT IN YUGOSLAVIA: AN ANALYSIS OF LABOR UNREST AND ETHNO-NATIONALISM IN THE 1980S“, doktorska disertacija, str. 51.-2.

razvijene su 1945. godine između devet austrijskih republika po tržišnim principima, što podrazumijeva da je svaka austrijska republika slobodno nabavljala energiju za sebe. Državno poduzeće otkupljuje električnu energiju od državnih elektrana i prodaje ju republikama po jedinstvenim cijenama, a republike imaju i svoje elektrane od kojih državno poduzeće otkupljuje samo viškove. Republike su odlučivale hoće li kupovati električnu energiju od državnog poduzeća, u ovisnosti o cijeni te energije prema cijeni i dostupnoj količini vlastite proizvodnje. Osim toga je svaka austrijska republika mogla slobodno određivati cijene za svoje potrošače.

Početkom 60-ih zapad je obustavljao pomoć Jugoslaviji što je dovelo do ozbiljne gospodarske krize i do odluke za put u reformu. Hrvatski i slovenski politički predstavnici borili su se za svoje političke i gospodarske interese kroz decentralizaciju, dok su se srpski te političari iz slabije razvijenih republika uz podršku JNA borili za centralizaciju¹². 1963. se na inzistiranje hrvatskih i slovenskih društveno-političkih predstavnika, kasnije uz podršku bosanskohercegovačkih, prema literaturi išlo u decentralizaciju upravljanja elektroenergetskim sustavom, što bi ipak mogla biti dekoncentracija. Do 1965. glavni *dispečer Zajednice jugoslavenske elektroprivrede* (JUGEL) imao je ulogu u provedbi ekonomskih načela, utječući na razmjenu električne energije između elektroprivrednih zajednica, potičući proizvodnju jeftinije električne energije i njen prijenos u područja s višom proizvodnom cijenom. Od 1. srpnja 1965. odgovornost za razvoj i rad elektroenergetskoga sustava preteže s jugoslavenske države na njezine republike.

Srbijanski elektroinženjer Miroslav Jovanović smatrao je da je planiranje na razini pojedinih republika vodilo u ekonomsko i najvećim dijelom razvojno zatvaranje republičkih elektroprivreda u sebe. Nadalje, po njemu je takvom organizacijom onemogućen najracionalniji opseg investicija u elektrane i prijenosni sustav, čime je po njemu spriječeno postizanje minimalizacije troškova prijenosa i proizvodnje električne energije na jugoslavenskoj razini, a i da je, po njemu, s time razbijeno jedinstveno jugoslavensko tržište električne energije.

Vidljiva su dva uvjerenja o potrebnosti razini centralizacije jugoslavenskoga elektroenergetskoga sustava, a kao i u UCPTE-u i prethodno među austrijskim republikama, prevladao je u Jugoslaviji smjer prema decentralizaciji sustava. Inače, euroazijski sustavi su skloni centralizaciji a zapadnoeuropski decentralizaciji. U zapadnoj misli infrastruktura se povezivala s modernitetom i napretkom, a u suprotstavljenom sovjetskom svjetonazoru promatrana je kao industrijalizacija i mehanizacija.

U organizaciji UCPTE pobijedila je ideja decentralizacije i slobodno tržišnih

¹² Dalibor Čepulo (2005.). *Hrvatska pravna povijest u europskom kontekstu*. Pravni fakultet sveučilišta u Zagrebu, str. 241.-2.

međudržavnih odnosa, što je »kompleksna slagalica« gdje svi imaju jednaka prava i odgovornosti, nasuprot »totalitarnom projektu apsolutne makroekonomske logike« .

Ideja SAD-a, koji je materijalno pomagao zapadnoj Europi i Jugoslaviji, bila je da se u zapadnoj Europi nakon Drugoga svjetskoga rata put k optimumu u elektroenergetici uspostavi tako da se uklone ograničenja u razmjeni električne energije (engl. *customs union theory*), i da se projektira jedinstvena europska mreža i sustav elektrana, gdje vlasništvo ne bi bilo vlasništvo države niti bi se pogon nacionalne mreže vodio nacionalno. To se razlikovalo u odnosu na ono kako su željele i na kraju radile europske nacionalne države, gdje su one gradile svoje nacionalne mreže i s njima upravljale, pritom međudržavno surađujući. Razlika između Sjedinjenih Američkih Država i europskih država, je u tome što je nastanak granica europskih država rezultat višestoljetnih povijesnih procesa s nagomilanim raznovrsnim tradicijama i identitetima, i što je Europa za razliku od SAD-a višenacionalna i višejezična bez snažnog objedinjujućega državnoga identiteta a takva je bila i Jugoslavija. Tako europske države ne žele olako žrtvovati svoje identitete radi obećanoga zajedničkoga društvenoga blagostanja, zato možda žele imati vlastite državne elektroenergetske sustave koje mogu urediti prema svojim potrebama.

Kada dolazi do djelomičnog povezivanja na jugoslavenskoj 110 kV-noj razini 1957., u okviru UCPTE-a već su liberalizirane međudržavne razmjene električne energije i uspostavljeni su slobodni međudržavni tržišni odnosi. Od 1951. do 1959. su razmjene električne energije u UCPTE-u rasle brže nego li porast potrošnje, tranzit se odvijao bez ikakvih carinskih i deviznih poteškoća uz načelo energija za energiju uz korekcijske faktore, kao i s načelom energija za novac (devizna plaćanja). Gotovo sve austrijske, belgijske, nizozemske, švicarske i zapadnonjemačke elektrane su u sinkronom pogonu već 1958. (220 kV-i). Nadalje, 60-ih su godina UCPTE-ove mreže povezane na brojnim točkama, a vodovi tvore visokonaponske mrežne prstenove.

Operatori elektroenergetskih sustava u tijelima UCPTE-a samo su se povremeno bavili optimalnim voznim redovima elektrana, jer su vjerovali da će samoregulirajuće tržišne sile dovesti do ekonomski optimalnoga rada elektrana (vozni redovi). Tržišne sile mogle su staviti u pogon slobodne kapacitete u elektranama vrlo brzo i time osiguravati da na razini Europe rade one elektrane koje imaju najmanje varijabilne troškove (engl. *lowest incremental costs*). UCPTE-u bijaše zabranjeno trgovati električnom energijom. U usporedbenoj analizi valja znati da je razlika između UCPTE-a i JUGEL-a u tome je što je UCPTE bio organizacija državnih elektroprivreda kao pridatak (*plugin*), a JUGEL organizacija republičkih elektroprivreda u okviru jedne države.

Rasprave o investicijama u elektrane nisu bile u UCPTE-ovom djelokrugu rada, iako se raspravljalo o pogonskim problemima uz predmnijevane elektrane. UCPTE je

javno objavljivao planove za razdoblje do godinu dana unaprijed (procjena potrošnje, potreba za uvozom i sigurnosti opskrbe). Kako bi se državni sustavi UCPT-e-a mogli približavati globalnom optimumu, bila je potrebna razmjena informacija koja je očito postojala, kao i sloboda ustupljena dionicima da nude tržišne cijene, također i sloboda dionika u odlučivanju o tome koja će elektrana raditi.

Postoji slika stanja iz 1961. zapadno od *Željezne zavjese*. U švedskom sustavu bilo je više od pola elektrana u privatnom vlasništvu, čiji je rad određivan prema tržišnim principima, dok su im upravitelji, prema potrošnji koju moraju namiriti, i u ovisnosti o cijenama te dostupnosti vlastite proizvodnje prema cijenama i dostupnosti proizvodnje drugih proizvođača i potrošnji koju ti drugi moraju namiriti, s njima slobodno trgovali, dok su švedski potrošači imali sigurnu i kvalitetnu opskrbu električnom energijom. Švedske državne elektrane igrale su ulogu razmjenjivanja električne energije s Danskom, Norveškom i Finskom. Finski slučaj je s organizacijskog gledišta sličan švedskom. Skandinavske države imale su zavidnu razinu međusobnoga povjerenja i volju za slobodnim tržištem, veću od zapadnoeuropskih država UCPT-e-a.

S druge je strane 1961. u Švicarskoj postojao veliki broj različitih vlasnika elektroprivrednih objekata, a imala je u odnosu na skandinavske države drugačiji položaj, jer je bila jače ovisna o susjednim sustavima. Imala je intenzivnu razmjenu sa susjedima čemu je doprinosila činjenica da su joj gotovo sve elektrane bile hidroelektrane. Različiti dionici u Švicarskoj samostalno su trgovali, pa se događalo da je u isto vrijeme jedan švicarski dionik izvezio električnu energiju a drugi ju uvezio. Bilo je nekoliko graničnih elektrana koje su pripadale i subjektima iz drugih država. Tehnički gledano švicarski je sustav dobro funkcionirao.

Jugoslavenski osmisliitelji sustava uz prijetnju prisila državne vlasti nisu ni smjeli slobodno analizirati i predlagati sustav koji bi dozvolio elektrane u privatnom vlasništvu, kao što je to u gore navedenim zapadnoeuropskim primjerima.

Godine 1990. u Hrvatskoj je kod izlaska iz socijalističkoga sustava Goran Granić izjavio: »*Za samo nekoliko dana uspjeli smo iz jednog glomaznog sistema, koji je po svojoj organizaciji više sličio društveno-političkoj zajednici nego ekonomskom sistemu, prijeći na tipični zapadni način vođenja poduzeća*«. Očito ozračje olakšanja.

Unutar Hrvatske elektroprivrede (HEP) je 1991. po prvi puta uspostavljena jedinstvena funkcija prijenosa električne energije i vođenja elektroenergetskog sustava u istoj organizacijskoj jedinici: *Direkciji za prijenos i upravljanje*. Također su objedinjena bivša područna poduzeća u jedinstvenu organizacijsku cjelinu.

Hrvatska i Slovenija su istupile iz JUGEL-a 15. siječnja 1992.¹³

¹³ Borba, 6.4.1992.

Jugoslavija, Rumunjska, Turska, Grčka, Bugarska i Albanija susrele su se 1990. u Tirani gdje su pokušali dogovoriti uspostavu organizacije sličnoj SUDEL-u na svojem području. To je BALKEL projekt.

Potreba za međunacionalnim institucijama

Rusija se silno trudila uspostaviti trgovinske odnose s Kinom. Iz razloga što u Rusiji nije bio dostupan prevoditelj, dokument kojim Kina poziva Rusiju na trgovinu i uspostavljanje diplomatskih odnosa leži nepreveden od 1620. do 1675. Prije nego što je dokument preveden, Rusija od 1660. neuspješno nastojali postići ono što su im Kinezi već ponudili tim dokumentom iz 1620. Problemi su bili i u ponižavajućim ritualima koje su trebali ruski predstavnici izvesti ispred kineskih.¹⁴ Prvi sporazum između Kine i Rusije *Pactum Nertschiae* bio je potpisan 1689. uz pomoć isusovaca koji su za posredovanje koristili latinski jezik.

Analognu ulogu prethodno navedenoj pogotovo u suradnji između dvaju strana *Željezne zavjese* na području elektroenergetike, odigrala je organizacija UNIPED osnovana 1925. kao udruženje proizvođača i distributera električne energije. Udruženje koje obuhvaća cjelokupnu elektroindustriju EURELECTRIC osnovana je 1990. i kasnije su se ova dva udruženja ujedinila (1997.). Drukčiji svjetonazori i nedostatak razmijene misli teško da može voditi optimalnome blagostanju. Na UNIPED-ovoj konferenciji Jugoslavija je 1974. iskoristila je priliku zagovarati čvršće veze između UCPTE-a i CDU VERE-a te korištenje oba voda između Jugoslavije i UCPTE-a u sinkronom pogonu, umjesto da se druge vodove koristi samo kada je ekonomski isplativo. UNIPED je 1988. podržavao inicijativu za povezivanjem istočne i zapadne Njemačke, rekavši da će se općenito otklanjanjem zapreka koje postoje u povezivanju europskih elektroenergetskih sustava, doći do povoljnoga učinka na optimizaciju sustava u ekonomskome smislu. Osim toga UNIPED je tu smatrao da bi dalekovodi osim razmjene električne energije mogli donijeti poruku mira, koja bi se mogla povoljno odraziti na sve. Bavila se perspektivnim planiranjem te ekonomskim, financijskim i pravnim pitanjima elektroenergetskih sustava. Prepoznavanje zajedničkih interesa i voljnost za njihovim ostvarivanjem treba doći prije no što prođe *baba s kolačima*.

UNECE je osnovana 1947. i već je spomenuta njezina uloga za Jugoslaviju (*Yogelexport*, SUDEL), a inače je kao i UNIPED bila važna za elektroenergetsko povezivanje s dviju strana *Željezne zavjese*.

Već spomenuta organizacija UCPTE osnovana je 1951. i najizravnije je orga-

¹⁴ Ivo Dragičević (2002.). Kina od Nebeskoga carstva do naših dana, str. 180.-1.

nizirala elektroenergetske sustave zapadnoeuropskih država koje su joj bile članovi: Austrija, Belgija, Francuska, Italija, Luksemburg, Nizozemska, zapadna Njemačka. Godine 1964. u paralelni rad s UCPTE-om se uključuju države članice UFIPTTE-a: Francuska koja je već bila član UCPTE-a, i uz nju Portugal i Španjolska. S tim državama, kao što je već rečeno, Jugoslavija je bila u paralelnom radu, a postala je punopravna članica UCPTE-a tek 1987., kada i UFIPTTE, a dosta kasno uslijed tadašnjih diktatorskih državnih režima.

Povjerenje među igračima

Već je navedeno postojanje mišljenja u Jugoslaviji da izgradnja dalekovoda smanjuje vjerojatnost za izgradnju vlastitih elektrana. Tu možemo doći do problema koje je UCPTE stavio u prvi plan – povjerenje između država. Ključno je pitanje: kako se za vlastitu sposobnost opskrbe električnom energijom osloniti na ugovor kojim ti druga država treba isporučivati električnu energiju, čak i kada se toj državi uslijed stanja u njoj ne isplati poštivati ugovorne odredbe?

Međusobno povjerenje bilo je u Europi najsnažnije razvijeno u skandinavskim državama, koje su bile odmaknute od ideoloških sukoba dvaju strana *Željezne zavjese*, a podrška za elektroenergetskim povezivanjem bijaše i od stanovništva i od politike.

Zatim dolazi razina povjerenja kod UCPTE-a koja bijaše manja, tako je UCPTE imao prvenstveni cilj povećati međusobno povjerenje svojih članica – to znači da je slabo povjerenje tek trebalo osnažiti. Navedeno je razumljivo ima li se u vidu da su države iz te organizacije u Drugom svjetskom ratu međusobno ratovala. Schumanova ideja iz 1950. za ugovor između Francuske i Njemačke, vezan za ugljen i čelik ostvaren 1952., imala je za cilj obesmisлити razloge za novi rat između Francuske i Njemačke. Kao što je već navedeno, povijesna proučavanja zanemarivala su povezivanje elektroenergetskih sustava i to ne samo zapadno o *Željezne zavjese*, vjerojatno imajući u vidu navedeni kontekst.

Godine 1954. u okviru *Yougelexporta* u pravnom odboru postignuta je suglasnost da će se razmjene električne energije temeljiti na: jamstvu isporuke električne energije, slobodi u odabiru načina isplate, nemogućnosti promjene oblika u kojemu će isporuka obračunavati (novac ili drugi način razmjenske vrijednosti) i nemogućnosti promjene poreza i naknada na razmjenu električne energije.

Jugoslavenski svjetonazor o susjednim državama koji je mogao utjecati na međudržavne razmjene, očituje se u ondašnjoj kovanici iz početnih slova okolnih država - da je Jugoslavija okružena BRIGAMA. Ni 1990. nije bilo razvijeno povjerenje između

đu Jugoslavije i okolnih država, što se očituje primjerice u dvama strogo povjerljivim jugoslavenskim izvještajima iz 1988.

U jugoslavenskom slučaju pojavljuje se dodatan sloj: unutardržavna međurepublička razina povjerenja. Za razliku od Austrije koja je također imala republike, Jugoslavija je bila višenacionalna, višekonfesionalna i višejezična zajednica. Narodi koji su se zatekli u Jugoslaviji su u Drugome svjetskome ratu međusobno ratovali. Jugoslavenski cilj je bio postići *bratstvo i jedinstvo* među narodima u Jugoslaviji, tako da se suzbijao govor koji bi umanjio međunacionalno nerazumijevanje (npr. *hrvatska šutnja*).

U usporedbi sa skandinavskim i UCPTTE-ovim slučajem, u Jugoslaviji bijaše niža razina međusobnog povjerenja. To se najbolje očitovalo u kritičnim situacijama, kada su se činjenice inače *skrивane ispod tepiha* pojavljivale u dnevnim tiskovinama. Dnevne tiskovine predstavljaju često i jedini dostupan izvor o tehničko-društvenom opisu nekih raspada elektroenergetskih sustava, iako su se poneki raspadi elektroenergetskih sustava isključivo sa tehničke strane opisivali u časopisu *Energija*. Općenito je pitanje međurepubličkih i međudržavnih razmjena električne energije prema dostupnim javnim materijalima vođeno kao *tabu tema*, stoga su dostupni izvori o njima oskudni.

Hrvatska i Slovenija su nakon *NE Krško* trebale zajednički graditi nuklearnu elektranu u Hrvatskoj. Hrvatska je kako je već navedeno bila ovisna o uvozu električne energije. Skupština Jugoslavije, na poticaj Slovenije, donijela je 27. prosinca 1988. odluku o moratoriju na izgradnju nuklearnih elektrana, čime se dovelo u pitanje izgradnju dugoselske *NE Prevlaka* u Hrvatskoj. Prethodno je JUGEL zajedno s tri druge institucije iskazao protivljenje moratoriju na izgradnju nuklearnih elektrana u Jugoslaviji¹⁵. Oko nuklearnog programa valja uvažavati složevinu ekološkoga antinuklearnoga pokreta u Jugoslaviji, kao i totalitarnu narav jugoslavenskoga sustava koji je upravljao medijima možebitno i za međurepubličke obračune, možebitno po principu *tko je jači taj i tlači*. U kontekst treba uvesti republičke postupke povezane uz naslućivani raspad Jugoslavije i uz trajanje izgradnje nuklearne elektrane. Nije za zanemariti ni prednost koju imaju republike s energentima uz mogućnost izvoza električne energije, poput elektrana uz ugljenokope.

Jugoslavenske republike su zajednički gradile elektrane. Tako je Hrvatska sudjelovala u izgradnji termoelektrane *Tuzla IV*, a zauzvrat je trebala dobivati električnu energiju iz nje. Međutim kršio se sporazum, u jednom slučaju Hrvatskoj tjednima nije isporučivana električna energija iz te elektrane. Miodrag Šajatović je 1985. tu izveo zaključak o povjerenju između igrača na jugoslavenskom tržištu: »*Nepročišćeni računi*

¹⁵ Borba 3. ožujka 1988.

iz prošlosti bit će velika prepreka u dogovorima kako zajednički najpovoljnije koristiti energetske resurse u zemlji, umjesto da svaka republika ili pokrajina gradi kod sebe koliko treba, bez obzira na buduću cijenu kilovata».

Jugoslavija je neovlašteno povlačila električnu energiju iz UCTPE-a, a s druge strane je neovlašteno i isporučivala električnu energiju UCPTE-u koji joj je po pravilima njegovoga rada energiju vraćao kasnije (energija za energiju). Rumunjska je mimo dogovora uzimala električnu energiju iz hidroelektrane Đerdap, dok je bila sklona stvarati dugove za električnu energiju prema Jugoslaviji.

Zbog odustajanja od gradnje hidroelektrane na Tari i odluke Ustavnog suda Jugoslavije, predstavnici savezne i republičkih vlada, donijeli su u rujnu 1987. godi- ne odluku na Cetinju da Crnoj Gori sve jugoslavenske republike i pokrajine ukupno godišnje isporučuju 970 GWh električne energije, jer je Crna Gora odustala od svake gradnje te hidroelektrane. Taj sporazum nije proveden.

Dojam je da je nepoštivanje sporazuma bilo svojstveno ondašnjim socijalističkim društvima. Recimo, bugarska električna energija je od 1975. do 1985. isporučivana u tursko područje. Pripadnost Turske i Bugarske suprotstavljenim vojnim savezima, gdje je Turska bila u NATO-u a Bugarska u Varšavskom paktu, nije onemogućila njihovo elektroenergetsko povezivanje. Tek je 1985. socijalističko bugarsko političko vodstvo odlučilo prekršiti međudržavni sporazum - prekinuvši isporuku električne energije Turskoj, umjesto alternativne koja je bila u prisilnom ograničenju potrošnje na bugarskom teritoriju. Navedeni događaj pogoršao je tursko-bugarske odnose.

Državnom intervencijom ZEPH se od 1965. do 1968. razdvajao na tri područna poduzeća (Rijeka, Zagreb i Split), gdje su se elektrane građene zajedničkim novcem, uglavnom iz Zagreba, odjednom našle izvan zagrebačkoga područja te prešle u riječko i splitsko područje od kojih je Zagreb trebao kupovati elektroenergiju, što je izazivalo trvenja među trima hrvatskim područjima. Tu je možda primijenjen princip *zavadi pa vladaj*.

Ipak, iz tih oskudnih izvora nastalih uglavnom u kriznim situacijama, još uvijek se ne može izvući konačan zaključak o suradnji u nekriznim situacijama. Jugoslavenske republike međusobno i Jugoslavija s okolnim državama, bile su osuđene na suradnju i surađivalo se, a razina suradnje ovisila je o razini međusobnoga povjerenja i sili interesa.

Korištenje pograničnih rijeka između Italije i Jugoslavije

Italija se žalila Jugoslaviji oko korištenja rijeke Soče koje je bilo definirano Ugovorom o miru od 10. veljače 1947. između ove dvije države. Jugoslavija je kod korištenja budućih hidroelektrana imala obvezu puštati vodu za navodnjavanje Italije u iznosu uobičajenom u prošlosti. Navedenim Ugovorom nisu spominjane buduće talijanske hidroelektrane. To je opisano u Dokumentu od 24. lipnja 1959.

Spominje se postojanje pet manjih talijanskih elektrana na kanalu Dettori ukupne snage 1,6 MW i godišnje proizvodnje 12 GWh, uz to na talijanskoj strani tri elektrane na Soči (jedna 2,9 MW i dvije manje 0,3 MW) i elektrana na Krminsko-gradskom kanalu (6 MW).

Ugovorom je predviđena mogućnost da se nakon deset godina preispitaju njegove odredbe. Nakon isteka moguće je pozivanje na međunarodne običaje i predviđeno je rješavanje diplomatskim putem posredstvom u Ugovoru navedenih država. Pošto je prošlo deset godina Italija je od Jugoslavije zatražila preispitivanje odredbi Ugovora.

Jugoslavija je bila zainteresirana za ugovaranje novih odnosa uvažavajući svu složenost korištenja voda povezanih s pograničnim korištenjem rijeka od kojih Soča nije jedina, tu su: Učēja, Nadiža, Idrija, Vipava. Na Idriji je planirana hidroelektrana ali ona nije granična rijeka, iako je na slivu pogranične Soče. Željela je otvoriti i pitanje Notranjske rijeke u Istri, gdje bi se gradila hidroelektrana i sustav navodnjavanja.

Takvo stanje ostalo je nepromijenjeno 1964. Tada se primjećuje da u zapadnoj Hrvatskoj i Sloveniji ima viškova električne energije noću i manjkova danju te da je u rijetkim hidroelektranama moguće prebacivati noćnu hidropotencijalnu energiju u dnevnu, gdje su elektrane na Soči najveće. To slijedi iz Dokumenta od 12. svibnja 1964.

Slovenska strana navodi da bi trebalo energetske izgraditi Soču i hidroelektranu *Osp*, jer da bi to bilo korisno i za Jugoslaviju i za Italiju. Soča je bujična rijeka i zadržavanje velikih voda bi Jugoslaviji dalo energetske koristi, koje bi i Italija mogla imati proporcionalno s predmnijevanom investicijom u izgradnju elektrane na Soči. Slovenci se pozivaju na simbolički primjer suradnje koju Italija ima s Francuskom oko izgradnje akumulacije na Mont Cenisu prema Ugovoru od 14. rujna 1960. godine. Italija bi sa elektranom Soča dobila ravnomjernije navodnjavanje. Izražena je sa strane Jugoslavije spremnost na promjenu Ugovora po principu *daj mi da ti dam*.

Slovenska strana dakle traži izgradnju prve nove elektrane na Soči nakon 1945., to bi bila hidroelektrana *HE Trnovo* s dva agregata ukupne snage 110 MW koja u srednjesušnoj godini daju 430 GWh. Na talijanskoj strani bi sprječavala poplave. Slovenska strana smatra da bi talijanska strana od te elektrane mogla imati samo koristi. Jugoslavenska država se načelno usuglasila sa slovenskim prijedlogom uz napomenu

da treba sveobuhvatno rješavati korištenje voda između Italije i Slovenije. Ovo pitanje ostalo je otvoreno a slovenska strana nastavlja tražiti da Jugoslavija od talijanske strane zatraži možebitne primjedbe na izgradnju elektrane.

Godine 1965. sačinjavani su u Jugoslaviji nacrti dokumenata kojima bi se uspostavila komisija između jugoslavenske i talijanske strane. Prema informacijama iz iste godine talijanska strana je htjela da se pitanja rješavaju jedno po jedno a ne sveobuhvatno.

Dva temeljna ugovora između Italije i Jugoslavije iz 1960. i 1962.

Ugovorom o razmjeni električne energije od 31. srpnja 1960. jugoslavenska (JUGEL) i talijanska strana (SELVOG) ugovorile su razmjenu električne energije iste kvalitete i količine po principu energija za energiju s prijenosnim omjerom 1:1. Razdoblje razmjene je od 1. kolovoza 1960. s izravananjem do 31. srpnja 1961. Svrha je pozajmljivati električnu energiju za potrošnju.

Dnevna energija se treba izravnati s dnevnom (od 6 do 22 sata od ponedjeljka do petka i subotom od 13 do 22 sata), a noćna s noćnom. Noćnom se smatra i energija tijekom jugoslavenskih i talijanskih praznika koji su definirani Ugovorom.

Ako se kod izravnjanja pokaže razlika do 10% isporuke, onda se radi prijenos obveze na sljedeće razdoblje. Ako je razlika između 10 i 20% onda se prenosi u sljedeće razdoblje, s penalizacijom od 20% za stranu koja nije ispunila obvezu. Ako je odstupanje veće od 20% Ugovor se smatra nevažećim i razlika će biti riješena posebnim dogovorom. Predviđena količina u navedenom razdoblju je od 5 do 15 GWh. Način razmjene i vrijeme razmjene dogovara se pismima koja će biti sastavni dio Ugovora.

JUGEL preuzima energiju dalekovodom *Opicine-Divača* u otočnom pogonu u mjesecima utvrđenima sporazumom. Tok preuzimanja energije je do 20 MW-a uz omjer djelatnog i prividnog toka energije od 0,8, na naponu 125 kV-i i frekvenciji 50 Hz-a.

JUGEL isporučuje na 50 kV-nom dalekovodu *Plave-Gorica*, tokom energije ne većim od 15 MW-a i omjera djelatne i prividne snage 0,8. JUGEL će u paralelni rad sa talijanskim SELVOG-om staviti jedan ili više slovenskih (ELES-ovih) agregata izdvojenih iz JUGEL-ove mreže. Isporuka će biti s naponom 52 kV-a frekvencije 50 Hz-a.

Dogovorena je razmjena informacija, način mjerenja, održavanja opreme, način produženja Ugovora i rješavanje sporova.

Talijanska strana je Dopisom od 31. srpnja 1960. najavila isporuku 8 GWh-a energije JUGEL-u što je moguće ravnomjernije u kolovožu i listopadu 1960. Maksimalan dnevni tok energije je 8 MW-a a noćni 4 MW-a. Dogovor o povlačenju za sljedeći tjedan obavlja se četvrtkom. JUGEL će isporučivati SELVOG-u u siječnju i veljači 1961. količinu od 8 GWh što ravnomjernije, maksimalnim dnevnim tokom od 15 MW-a i noćnim 7,5 MW-a.

Ugovor od 31. srpnja 1960. produžen je još godinu dana – od 1. kolovoza 1963. do 31. srpnja 1964. i to temeljem Dopisa od 22. svibnja 1963. Talijanska strana predlaže isporuku u Jugoslaviju na Divači u iznosu od 10 GWh od 31. kolovoza do 31. listopada 1963. ravnomjerno u navedenim mjesecima maksimalnim tokom 15 MW-a danju i 7,5 MW-a noću. Talijani predlažu da povuku iz Jugoslavije kod Gorice (50 kV) 10 GWh-i u siječnju i veljači 1964. toka energije 15 MW-a danju i 7,5 MW-a noću.

Temeljni Ugovor iz 1960. vrijedio je do 31. srpnja 1967. i produžuje se do 31. srpnja 1968. Količina razmjene je 25 GWh-i. Koeficijenti za obračun su od listopada do ožujka 1,00 za dnevnu i 0,77 za noćnu energiju, a od travnja do rujna 0,65 i 0,50. Prethodno su 5. lipnja 1967. Slovenci (tvrtka *Soske elektrarne*) tražili suglasnost da oni produže Ugovor s Talijanima (ELES) i tako koriste svoje viškove i viškove susjednih područja za razmjenu. JUGEL je 27. srpnja 1967. odgovorio da imaju s Talijanima *Kolektivni ugovor o uvozu električne energije za potrebe sistema* te predlažu da se umjesto s dva partnera (JUGEL i *Soske elektrarne*) s Talijanima (ELES) urede ugovorni odnosi samo s JUGEL-om, gdje bi JUGEL to učinio bez ikakve naknade. O tome govore dopisi od 18. i 19. kolovoza 1967.

Uz prethodno opisan Ugovor iz 1960. koji je produžavan kako je ranije opisano, potpisan je Ugovor o isporuci električne energije 24. rujna 1962. između talijanske i jugoslavenske strane. Njime je dogovorena izgradnja 220 kV-ne razmjene do 1. studenoga 1962. na potezu Opicina, Matulji i Vinodol, gdje je Italija već izgradila dio na svojem teritoriju. U početku bi se razmjena provodila na 110 kV-nom naponu kako bi se omogućila razmjena od 40 MW-a. Uz to je ovim Ugovorom dogovorena isporuka energije iz Jugoslavije u Italiju, ne i obratno.

JUGEL se obvezuje imati 30 MW-a, od toga 17 MW-a na Divači i 13 MW na Gorici u svim satima od 1. studenoga 1962. do 31. srpnja 1963. Iznimka se odnosi na siječanj i veljaču 1963. kada JUGEL ne jamči taj razmjenski tok. Italija će dva potrošačka područja odvesti u otočni pogon i svako povezati na drugi jugoslavenski dalekovod. U dogovoru sa slovenskom stranom (ELES) navedena dva područja Italija može povezati. Osim toga talijanska strana može zahtijevati da ELES vozi agregate hidroelektrane *HE Plave* odvojeno od jugoslavenske i paralelno s talijanskom mrežom. Talijanska strana se obvezala preuzeti 6 GWh posebno za svaki mjesec (studen i prosinac 1962.; ožujak, travanj i srpanj 1963.), a ako ne preuzme energiju koju je Jugoslavija

osigurala svejedno ju je dužna platiti. Ukupna količina koju Jugoslavija isporučuje od 1. studenoga 1962. do 31. srpnja 1963. je 52,5 GWh. Primljenu energiju talijanska strana plaća po cijeni od 5 lira/kWh (energija za novac). Plaćanje je na mjesečnoj razini, uz zateznu kamatu u slučaju kašnjenja od 6% godišnje.

Talijanska strana prethodno je potpisivanju Ugovora u rujnu, Dopisom od 6. srpnja 1962. izvijestila jugoslavensku stranu da su obveze iz prethodno potpisanoga Ugovora suspendirane dok se ne izgradi dalekovod na jugoslavenskom teritoriju i transformacija 110/130 kV-i u Dalmaciji te dok taj sustav ne uđe u redovan pogon. Kada uđe u redovan pogon obveze će biti proporcionalno smanjene. Dana 9. srpnja 1962. Slovenija je poslala Ugovor na talijanskom i slovenskom parafriran 6. kolovoza 1962. na suglasnost JUGEL-u. Molila je da se njime ujedno s *Jugobankom* uredi sve potrebno za kreditiranje autotransformatora u Divači.

Rađanje međudržavne razmjene Jugoslavija – Rumunjska 1963.-1964.

Protokol od 28. rujna 1963. načinjen na francuskom jeziku između Jugoslavije i Rumunjske bavio se povezivanjem elektroenergetskih sustava ovih dvaju država i mogućim razmjenama među njima. Zaključeno je da je povezivanje u obostranom interesu i da mu se čim prije treba pristupiti.

Tema je bila izgradnja 110 kV-nog dalekovoda između Kikinde i Temišvara s najvećim tokom energije 30 MW-a. Druga je faza izgradnja 110 kV-nog dalekovoda između Srbobrana i Bečeja (36 km) toka energije 40 MW-a, iz razloga što će se izvozne mogućnosti kikindskoga područja smanjiti kako se u njemu bude povećavala potrošnja. U trećoj fazi bi se gradio dalekovod 220 kV-nog napona između Temišvara i Srbobrana.

Jugoslavenska je strana navodila da ima dovoljno instalirane snage za izvoz ali ne i dovoljnu količinu električne energije. Oskudijeva s količinom za izvoz u siječnju, veljači, rujnu i listopadu, dok je u ostalim mjesecima stanje povoljnije i tu bi jugoslavenska strana mogla jamčiti izvoz s komplementarnom vožnjom termoelektrana. Rumunjska strana bi izvozila energiju u Jugoslaviju u rujnu i listopadu, dok Jugoslaviji u siječnju i veljači ne treba energija. U iznimnim okolnostima bi Jugoslavija mogla isporučivati u siječnju i veljači ali tada ne može jamčiti izvoz.

Jugoslavija je informirala rumunjsku stranu da od ožujka do kolovoza te u studenom i prosincu 1964. i 1965. može izvoziti energiju u Rumunjsku s tokom energije najviše 50 MW-a.

U kasnijem razdoblju Jugoslavija bi iz Rumunjske uvozila u rujnu i listopadu, a izvozila u Rumunjsku u studenom i prosincu te za mjesec za koje je sklopljen ugovor, što bi se odvijalo trafostanicom 220/100 kV i 220 kV-nim dalekovodom do Temišvara, dok bi se s jugoslavenske strane trebao izgraditi 110 kV-ni dalekovod između Srbobrana i Bečeja (36 km) toka energije 40 MW-a. Uz predmnijevani paralelni rad dvaju sustava povezanih 220 kV-nim dalekovodom mogao bi se postići tok energije od 100 MW-a.

Na stolu je bio jugoslavenski prijedlog da rumunjska strana da kredit za izgradnju dalekovoda između Kikinde i Temišvara, što bi rumunjskoj strani bilo nadoknađeno isporukom elektroenergije (energija za kredit). Rumunjska strana je zainteresirana za ovaj prijedlog, i navodi da bi dalekovod na rumunjskom tlu mogao biti gotov do kraja 1963.

Rumunjska strana je navela da će joj trebati energija u zimskom razdoblju, dok će ljeti moći zadovoljiti svoje potrebe. Nakon izgradnje trafostanice *220/110 kV-i Temišvar* postojat će potreba za razmjenom energije, ali navodi da će nakon 1965. vod između Kikinde i Temišvara biti samo za uzajamnu pomoć. Najveće opterećenje grada Temišvara je 43 MW i najniže 20 MW-a. Rumunjska strana je istaknula da nema potrebe za noćnom, nedjeljom ni za energijom u vrijeme praznika.

Spominje se mogućnost da Jugoslavija ponudi različite cijene električne energije kroz osam mjeseci pa bi rumunjskoj strani i tada moglo biti isplativo preuzimati elektroenergiju.

Dogovor o razmjenskoj količini energije bi se dogovarao mjesečno. Količina gubitaka električne energije na dalekovodu će se raspodjeljivati prema dogovorenoj metodi proporcionalno duljini dalekovoda.

Jugoslavenska strana je predložila razlikovanje cijene električne energije po tarifnim razdobljima za višu i nižu tarifu. U višu bi išla energija od šest sati ujutro do deset sati navečer. Osim toga u nižu tarifu išla bi razmjena nedjeljom i državnim praznicima. Cijena dnevne energije bi bila 100 \$/MWh a noćne 60 \$/MWh. Udio noćne energije mora iznositi najmanje 20%. Rumunjskoj strani su predložene cijene previsoke kao što joj je neprihvatljiv uvjet od 20%, a jugoslavenska strana je navela da je njezin stav konačan.

Pitanja oblika i pravne prirode akta o povezivanju ostaje otvoreno, kao i pitanje sklapanja ugovora o razmjeni električne energije. Dogovoren je sljedeći sastanak u listopadu 1963.

Sročeni su i Dodatak istoga datuma kao i Protokol. Spominje se postojeći 110 kV-ni vod *Srbobran-Bečej-Kikinda* s krakom *Bečej-Zrenjanin*. Uvažavajući trenutačno opterećenje u kikindskom i zrenjaninskom okrugu moguće je prenositi tok energije u

zimskom razdoblju 1963.-4. od 30 MW-a i 5 MVar, a u zimskom razdoblju 1964.-5. 30 MW-a i 0 MVar. Ako jalova energija (MVar) u Temišvaru premaši navedene vrijednosti bit će potrebno smanjiti djelatni tok energije (MW) pod uvjetom da napon ostane isti i da faktor snage ne padne ispod 0,9 na četvrtsatnom intervalu.

Sačinjen je Protokol između Rumunjske i Jugoslavije od 5. ožujka 1964. s pratećim Dokumentom istoga datuma. Spominje se Ugovor o isporuci i razmjeni električne energije sklopljen 19. prosinca 1963. između rumunjske i jugoslavenske strane.

Tablice s količinama podijeljene su po mjesecima te po radnim i prazničkim danima te po dnevnoj i noćnoj energiji. Osim toga tu su dijagrami po satima s djelatnim tokom energije i jalovom snagom od 15. ožujka do 15. travnja te za razdoblje studenog i prosinca 1964. Dogovaralo se puštanje u rad 110 kV-nog dalekovoda *Kikinda – Temišvar* pod 110 kV-i. Temišvarski sustav će se staviti u otočni pogon i priključiti na jugoslavenski sustav.

Pored zajamčenih razmjenskih količina obje strane će se međusobno obavijestiti 15 dana prije početka tromjesečja o raspoloživom toku energije i količini energije za sljedeće tromjesečje po mjesecima. Za narednih sedam dana obje strane su se dužne izjasniti o razmjenskoj ponudi te volji da se izmjeni i dopuni Ugovor. Ako se postigne dogovor, on se potvrđuje pisanim putem uz ugovorne uvjete što ima snagu ugovora.

Ako jedna od strana u nekom periodu ima višak električne energije za period kraći od sedam dana, o razmjeni ili ispravci električne energije dogovarat će se jugoslavenski i rumunjski dispečeri za svaki slučaj posebno.

Isporuka je dogovorena od 15. ožujka do 15. travnja te u studenom i prosincu 1964. Tek će se utvrditi količina po mjesecima 1965. s naznakom tokova energije.

Predviđa se i razmjena od ožujka do kolovoza 1966. po principu energija za novac („isporuka uz naplatu“) u oba smjera. Tijekom rujna i listopada 1965. električna energija će se moći razmjenjivati po principu energija za energiju („kao razmjena“) ili energija za novac („isporuka uz naplatu“) iz Rumunjske u Jugoslaviju. Tijekom studenoga i prosinca 1966. moći će se koristiti oba principa s tim da energija ide iz Jugoslavije u Rumunjsku. U siječnju i veljači 1966. vršit će se razmjene po oba principa iz Jugoslavije u Rumunjsku, ako budu povoljne hidrološke prilike u Jugoslaviji i ako obje strane postignu sporazum.

Količine energije i tokovi energije bit će ugovoreni za sljedeću godinu do kraja rujna tekuće godine u okviru ranije određenih granica, a ugovorene količine će se smatrati zajamčenima osim ako se dvije strane drukčije ne dogovore. Dispečeri će dvadeset dana prije početka mjeseca u kojemu se treba dogoditi isporuka usuglasiti mjesečni dijagram, podijeljen po tjednima u okviru ugovorenih količina energije i toka energije. U okviru mjesečnoga dijagrama će do petka u 15:00 utvrditi razmjenske

dijagrame za svaki dan sljedećeg tjedna, koji su obvezujući za obje strane. Izmjene se mogu odviti u slučaju potrebe za havarijskom ispomoći. Potrebno je osigurati da svakoga dana bude isporučeno u višoj tarifi najmanje 15% od ukupne električne energije u danu. Ovime se osigurava da lokalne rumunjske elektrane imaju veću učinkovitost pretvorbe energenta u električnu energiju. Maksimalan tok energije lokalnih elektrana je 14 MW-a. Dozvoljena su odstupanja od $\pm 10\%$ za količinu energije i tok energije. Kod isporuke iz Rumunjske u jugoslavenski sustav, u jugoslavenskome ne će biti u otopnom pogonu priključene jugoslavenske elektrane.

Kod regulacije frekvencije i razmjene, koriste se prosječni tokovi energije kojima se upravlja s dozvoljenim tolerancijama „printomaksigrafo“. Ako to zahtijeva pogonsko stanje, onda dispečeri na temelju operativnog sporazuma mogu odstupiti od pogonskoga plana za period koji nije duži od 24 sata. U slučaju problema u pogonu, nakon događaja se može osnovati mješovita komisija stručnjaka koja će utvrditi uzroke.



Sl. 6. Jugoslavenska mreža 220 kV-ne i 400 kV-ne razine 1989.: iscertkani vodovi su u izgradnji, nisu prikazani 110 kV-ni vodovi (Ljubiša 2004.)

Posebno se utvrđuje količina razmijenjene električne energije u slučaju kada se ona razmjenjuje kao havarijska ispomoć (međusobna ispomoć).

Uređuje se pitanje mjerenja, utvrđivanja količine gubitaka, kao i više sile koja kada nastane može osloboditi stranu u ugovoru od nekih obveza.

Službeni jezik međusobnih dogovora je francuski.

Jugoslavenske međurepubličke i državne razmjene od sredine 70-ih

U Jugoslaviji je vladalo načelo po kojemu je svaka republika zadužena za osiguravanje električne energije za sebe. To se osim gradnje elektrana u vlastitoj republici osiguravalo gradnjom elektrana na teritorijima druge republike, čija je proizvodnja u dijelu ili u cijelosti bila namijenjena za namirenje potrošnje u vlastitoj republici. Navedeno je pojedina republika osiguravala i izgradnjom prijenosnih vodova na svojem teritoriju a i izgradnjom prijenosnih vodova na teritoriju drugih republika. Viškovi proizvedene električne energije su se raspodjeljivali među drugim jugoslavenskim republikama i u inozemstvu preko republičkih dispečera, a putem JUGEL-a je vršena dodatna dobava elektroenergije.

Najkasnije od sredine 70-ih međurepubličke razmjene električne energije mogle su ići po principu *energija za energiju*. Primjerice, jedna republika izvozi 2,5 MWh električne energije noću, a zauzvrat dobije 1 MWh električne energije danju – najviši omjer je bio 1:2,5 dok su ostali bili 1:1, 1:1,5, 1:2 i tako dalje.

Najveći relativni apsolutni iznos razlike između međudržavnoga uvoza i izvoza zbio se 1982. i iznosio je 3,26%, dok su vrijednosti za ostale godine grafički prikazane gdje su vidljive oscilacije ovoga parametra, slika 7. Publikacija iz koje su iznosi uvoza i izvoza preuzeti isti nisu definirani, o tome na drugome mjestu. Autoru nisu dostupni podaci za 1988., 89. i 90. godinu.

Zbroj apsolutnog iznosa međudržavnoga uvoza i apsolutnog međudržavnoga iznosa izvoza prikazan je na istoj slici (Sl. 7). Maksimalni zbroj uvoza i izvoza prema potrošnji se za Jugoslaviju zbio 1984. i iznosio je 10% (6,6 prema 66,9 TWh) dok je istovremeni netoizvoz prema potrošnji iznosio 1,69% (1,1 TWh prema 69,9 TWh). Zbirni uvoz i izvoz postiže vrijednost veću od 1 TWh-a 1972., veću od 2 TWh-a 1975., veću od 3 TWh 1979., veću 4 TWh 1982., prvi i jedini put više od 6 TWh 1984., a u razdoblju od 1982. do 1987. ovaj se pokazatelj nije spuštao ispod 4,3 TWh-a.

Uobičajena varijabla koja se promatra je tranzit, to je tok energije koji prolazi kroz dotični sustav za potrebe okolnih sustava. Od 1974. do 1987. prosječan godišnji

tranzit je bio 1,3 TWh-a, a od 1984. do 1987. nije padao ispod 2 TW-a što je činilo od 2,9 do 4,1% prema potrošnji. Graf pogledati na Sl. 7. Ali i tu je problem što se ne zna kako su definirani uvoz i izvoz, o tome kasnije.

Godine 1974. postojalo je tržište električne energije na kojemu su međurepubličke razmjene išle po principu *energija za novac*, gdje su se cijene određivale međurepubličkim dogovorima, a dogovori su se okončavali kratkoročnim sporazumima. Često bi kupoprodaja išla noću, potvrđivala se »depešama« a onda bi se kasnije išlo na formalizaciju dogovora i plaćanje troškova za energiju.

Sve do nekoga trenutka međurepubličke i međudržavne razmjene su se obavljale preko središnje jugoslavenske organizacije JUGEL, a 1985. republike su mogle samostalno kupovati, prodavati (energija za novac) i zamjenjivati električnu energiju (energija za energiju), kako međusobno tako i s drugim državama, dok je tehnička koordinacija i plaćanje za energiju išlo preko JUGEL-a.

Za 1986. je u kontekstu cjelokupnoga jugoslavenskoga sustava dostupan podatak koji govori upravo o razmjeni i po principu *energija za energiju* i po principu *energija za novac*.

Švicarski EGL u Laufenbergu bio je veliki partner države Jugoslavije u kontekstu međudržavnih razmjena energije.

Postojao je inženjer za planiranje sutrašnjeg dana 'day ahead dispečer' koji je po iskustvenoj metodi prognozirao potrošnju po satima. Predviđenu potrošnju je popunjavao raspoloživim mu domaćim izvorima. Nedostajuću energiju nabavljao je po drugim republikama ili u drugoj državi, slično ako je bilo viška energije. Tu treba imati u vidu razmjene po ranije navedenom principu investicija u elektranu za energiju. Pristup Hrvoja Požara (»metoda konstantne i varijabilne energije«) bio je više teoretski jer je 'day ahead dispečer', kod slaganja elektrana, radio više iskustveno.

Postojao je u Hrvatskoj program *Instituta za elektroprivredu* namijenjen za planiranje u današnjem danu za sutrašnji dan, za kojeg se 1988. obučavalo osoblje u hrvatskome Republičkome dispečerskom centru. Svoj je plan inženjer za planiranje sutrašnjeg dana slao do 13:00 u hrvatsko dispečersko središte.

Tijekom samoga pogona provodili su se postupci kojima se uravnoteživao elektroenergetski sustav. Navedeno se odnosi na doprinos jugoslavenskoga sustava zajedničkoj frekvenciji UCPTE-a i na istovremeno održavanje programa razmjene snage (engl. *control program*) jugoslavenskoga sustava s drugim sustavima (sekundarna regulacija, tercijarna regulacija), što je drugdje objašnjeno.

JUGEL, čije je središte bilo u Beogradu, utvrđivao je zajedničku grešku jugoslavenskoga sustava (engl. *area control error*), kao i odstupanja pojedinog republič-

kog područja, te slao signale u republička središta koji su ulazili u sustav sekundarne regulacije. Navedenu su zadaću u Hrvatskoj obavljale elektrane *HE Zakućac*, *HE Senj* i *HE Vinodol*.

Ako tri navedene elektrane nisu mogle izvršiti zadatak, izravnim se naložima elektranama (ili velikim potrošačima), za povećanjem ili za smanjenjem toka energije, otklanjala pogreška (tercijarna regulacija). Ako ni to nije pomagalo, onda su se međurepubličkim dispečerskim dogovorom vršile razmjene po principu energija za energiju (do 1:2,5).

Bilo je slučajeva kada je Jugoslavija UCPTE-u, ako nije imala dovoljno energije, namjerno prijavljivala nižu potrošnju od dobivene prognoze, pa je posljedično, kada se u pogonu pojavila stvarna potrošnja, Jugoslavija povlačila od UCPTE-a više energije od dogovorenog npr. 400 MWh u satu kao razliku između izmjerene razmjene energije i programa razmjene. Slično je za slučaj kada je Jugoslavija imala previše hidroenergije pa je prijavljivala nerealno visoku potrošnju, te je onda u pogonu isporučivala više električne energije od dogovorenog npr. 400 MWh po satu umjesto da je voda u hidroelektranama prelijevana ili nepoštivanjem dogovorenog programa razmjene snage. U konačnici su se te razlike nadoknađivale po principu energija za energiju, preko plana satne kompenzacije za sljedeći tjedan po tarifnim grupama.

Takav neuredan rad uočavali su u UCPTE-u, pogotovo ako su takve namjerne neravnoteže dovodile do poremećaja u frekvenciji UCPTE-a, nakon čega je JUGEL dobivao oštre kritike. Prethodno navedeno se odnosi na djelatnu (radnu) energiju, međutim Jugoslavija je stvarala probleme UCPTE-u s dugotrajnom neodgovarajućom razmjenom jalove snage, zbog čega je Austrija barem u jednom slučaju prekinula elektroenergetsku vezu s jugoslavenskim elektroenergetskim sustavom.

Kosovo i Makedonija su se 1965. dogovorile da će se na Kosovu izgraditi elektrana Kosovo II, iz koje je Kosovo trebalo za Makedoniju isporučivati električnu energiju za *Železaru Skoplje*. Kasnilo se s izgradnjom elektrane, pa je srbijanski ZEP (ZEPS) isporučivao elektroenergiju Makedoniji, što je trebala biti obaveza Kosova. Za elektroenergiju koju je ZEP isporučivao Makedoniji, Kosovo je plaćalo ZEP-u po cijeni koju je ZEP primjenjivao za međurepubličke razmjene. Ali, ZEP je Kosovu za elektroenergiju proizvedenu na Kosovu plaćao po proizvodnoj cijeni, a istovremeno je ZEP Kosovu elektroenergiju za Makedoniju prodavao po nižoj cijeni. Ta je praksa kasnije ukinuta. Prema tome se čini da je ZEP tada primjenjivao jednaku cijenu za sve međurepubličke razmjene.

Direktor željezare Skoplje se 1989. bunio na veću cijenu koju su plaćali za električnu energiju u odnosu na cijenu po kojoj se električna energija isporučuje drugima, jer da su oni investirali u elektrane na Kosovu. Iz njegove se izjave vidi prelazak iz jednoga tipa ekonomskoga sustava u drugi: »Čini se da se u nas stalno ide iz jedne

u drugu krajnost. Najprije smo imali državno-centralističku privredu koja praktički nije marila za ekonomsku logiku privređivanja. Sada idemo na neki, ja bih to nazvao neoliberalistički koncept, u kojemu uopće nema države».

Kod povezivanja Grčke s Jugoslavijom, bilo je 1957. isticano da se razmjena ne će vršiti prema principu energija za novac, nego prema principu energija za energiju (engl. *returns, balancing*). Indikativan je odjek toga u grčkim novinama gdje je napisano da plaćanja ne će biti u novcu (engl. *no payment in currency*). Iako, Grčka je za razmjene u hladnoratovskom razdoblju koristila način nadoknade po principu energija za energiju, energija za robu, a čak i princip energija za novac. U razdoblju od 1961. do 1995. Grčka je uvozila električnu energiju preko Jugoslavije iz izvorišta u današnjoj Rusiji i Italiji, preko Albanije iz Švicarske, a putem Bugarske iz Austrije.

Nakon izlaska Hrvatske i Slovenije iz JUGEL-a 15. siječnja 1992. i ratnih razaranja elektroenergetske mreže u Hrvatskoj, časopis Borba (6. 4. 1992.) daje pregled ugovorenih razmjenskih odnosa. Hrvatska i Slovenija su platile sve dugove prema JUGEL-u. Srbija zbog razbijanja elektroenergetskoga sustava u istočnoj Slavoniji nije mogla isporučiti ugovorenu količinu električne energije Sloveniji. Prema Ugovoru s Mađarskom je od 26. ožujka 1992. prijenos struje do Slovenije (1,2 GWh dnevno) trebao ići mađarskim sustavom, ali zbog održavanje mreže u mađarskom sustavu ovaj prijenos do Slovenije nije bio ostvarivan. Srbija je dugovala Sloveniji 150 GWh, a obje strane su bile zainteresirane za taj prijenos, pogotovo jer je Slovenija bila spremna struju platiti kupovinom dijelova za elektrane (energija za robu). Navodi se da iako su Hrvatska i Slovenija izišle van iz JUGEL-a, da će JUGEL nastaviti ubirati iznos za tranzit u iznosu od 1,2% na svakih 100 kilometara.

Primjer UCPTE – Jugoslavija – CDU VERE

Jugoslavija je 1970. bila neznatan neto uvoznik iz UCPTE-a i iz CDU VERE-a, dok je u 1980. bila znatan neto uvoznik iz CDU VERE-a (957 GWh) i neto izvoznik prema UCPTE-u (785 GWh). Kroz nju u godišnjoj bilanci ulazi elektroenergija iz jednog a iz nje izlazi u drugi sustav kao tranzit ne nužno istovremeno u stvarnom vremenu (npr. sezonski), a s CDU VERE-om ne putem HVCD tehnologije, nego tako da se jedan dio jugoslavenskog sustava prebaci u otočni pogon i bude priključen na CDU VERE mrežu, a da drugi ostane u sinkronom pogonu s UCPTE-om.

Iz drugoga izvora za istu 1980. na slici 5. vidi se najjači izvoz iz Jugoslavije u Bugarsku (CDU VERE) te uvoz iz Čehoslovačke (CDU VERE) i istočne Njemačke (CDU VERE) preko austrijske (UCPTE) i mađarske granice (CDU VERE). Vidljiv je tranzit iz Austrije preko Jugoslavije za Grčku (UCPTE) i tranzit iz Sovjetskog saveza (SEV) preko Rumunjske (CDU VERE) i Jugoslavije (UCPTE) za Grčku (UCPTE) te

tranzit iz Albanije preko Jugoslavije za Rumunjsku. Iz Čehoslovačke tranzit za Jugoslaviju ide i preko Austrije i preko Mađarske (CDU VERE).

Disertacija iz siječnja 2025. oprimjeruje naslovne razmjene: 1987. između Jugoslavije i Čehoslovačke¹⁶, 1988. zajedničke rezerve snage i razmjene s Italijom¹⁷, 1988. tranzit iz Bugarske kroz Jugoslaviju do Švicarske uz jamstvo Jugoslaviji od Sovjetsko-ga saveza i Turske¹⁸.

Uvodno za odnos Rumunjska – Jugoslavija – Albanija od 1976. nadalje

Jugoslavija je prema raspoloživom uzorku ugovora isporučivala električnu energiju Rumunjskoj po principu jugoslavenska energija za rumunjsku robu npr. mineralna ulja, papirna celuloza, pšenica, dinamo lim, turističke usluge. Također i po principu jugoslavenska energija za dug jugoslavenskih tvrtki prema rumunjskim tvrtkama, kao i principom rumunjski dug prema Jugoslaviji za albansku energiju koju osigurava Rumunjska. Jednako tako principom jugoslavenska energija za kredit koji je Jugoslavija dobila od Rumunjske za izgradnju hidroelektrane *HE Đerdap*, osim toga jugoslavenska strana je nudila energiju za rekonstrukciju dalekovoda u rumunjskoj izvedbi.

Elektroenergiju za Rumunjsku su dobavljale najmanje tri elektroprivrede: srbijska (*ZEP-Beograd*), slovenska (*EGS-Maribor*) i kosovska (*Elektroprivreda Kosova*) elektroprivreda, dok su što se tiče robne razmjenske vrijednosti bile uključene brojne jugoslavenske i rumunjske tvrtke. Rumunjska je oskudijevala s električnom energijom.

Otvarala su se pitanja kršenja sporazuma, u smislu neodgovarajuće kvalitete isporučene rumunjske robe i odgađanja ugovorenih rokova isporuke, kao i uskraćivanje načelne suglasnosti rumunjske tvrtke za dogovorno plaćanje po principu jugoslavenska energija za jugoslavenski dug prema rumunjskoj strani.

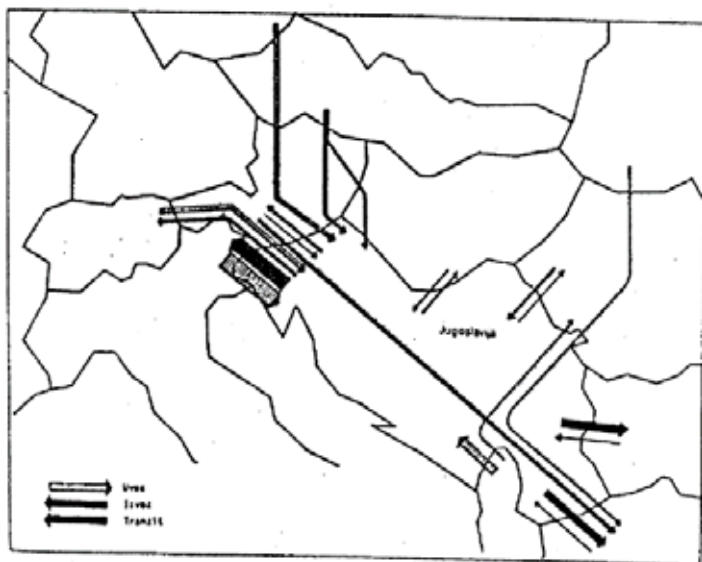
Prvotni Ugovor od 10. listopada 1984. bio je da će električnu energiju koju će Jugoslavija isporučiti Rumunjskoj biti po principu energija za energiju. Kasnijim Ugovorom od 2. kolovoza 1985. dogovoreno je da će prethodno isporučena energija od 82

¹⁶ AY, 850, 403 Saradnja izmedju jugoslavenske i čehoslovačke elektroprivrede, 12. II. 1987.. 1-4.

¹⁷ AY, 850, 403, Sporazum izmedju ENEL i JUGEL za formiranje rezerve, 1.10.1989.

¹⁸ AY, 850, 403, Izvještaj o vodjenim pregovorima izmedju predstavnika JUGEL i asocijacije ENERGETIKA BUGARSEK, 4.4.1988., 1-2.

GWh (od čega u obliku „prirodne razmjene“ 74 GWh i 8 GWh u obliku „obostrane razmjene“) ići prema principu energija za robu prema cijenama: 41,3 u višoj i 28,0 \$/MWh u nižoj tarifi, umjesto kako je ranije ugovoreno za tu energiju po principu energija za energiju. Također rumunjska strana bila je sklona stvarati dug - recimo u razgovorima održanima od 17. do 19. prosinca 1985. spominje se stvoreni dug od 63 GWh po principu energija za novac za koji je dogovoreno da će se poništiti uvozom iz Albanije, i dodatno dug za 82 GWh po principu energija za robu po Ugovoru iz 2. kolovoza 1985. godine. Jugoslavija je prema Protokolu istoga datuma ponudila rumunjskoj strani 200 GWh u slučaju povoljnih energetske okolnosti u Jugoslaviji, za razdoblje isporuke od kolovoza 1985. do ožujka 1986. po principu energija za robu (kolovoz-rujan 1958. 40,8 i 27,2 \$/MWh i do ožujka 1986. 49,0 i 32,5 \$/MWh). Jedinичne cijene služe da bi se odredila vrijednost robe koja se uvozi iz Rumunjske.



Sl. 7. Međudržavne razmjene električne energije (uvoz, izvoz, tranzit) Jugoslavije u 1985. godini, bez razmjene elektroenergije između Austrije i Italije preko jugoslavenske mreže (Bakić, Jakl, Plaper, 1987.)

Općenito govoreći Jugoslavija je provodila tranzit električne energije iz Albanije preko svoje mreže u Rumunjsku, a spominje se i tranzit iz Sovjetskog saveza preko Jugoslavije do Grčke.

Bili su u rumunjsko-jugoslavenskim odnosima prijemori oko zajedničkog korištenja hidropotencijala na hidroelektrani Đerdap, koje je uvjetovalo isporuku električne energije iz Jugoslavije u Rumunjsku.

Ostaje dojam da je to bio složen posao, s analizama robe koje Jugoslavija ima

viška i robe kojom oskudijeva, kao i da je obilježen nepovjerenjem u jugoslavensku i rumunjsku valutu uslijed čega se koristio američki dolar. Moguće da je da se uslijed slabosti vlastitih ekonomija i nemogućnosti uspostavljanja slobodnotržišnih odnosa uslijed prevelike uloge države u ekonomiji, pošlo prema uspostavi upetljanih razmjenskih odnosa po principu roba za energiju.

Ugovoreni okvir 1976.-7.: Rumunjska – Jugoslavija – Albanija

Rumunjska i Jugoslavija su imale sklopljen Ugovor od 7. travnja 1976. na neodređeno s njegovim Dodatkom od 20. svibnja 1977. koji se bavi tranzitom kroz Jugoslaviju. Ugovorni odnos bavi se s: međusobnom razmjenom električne energije, međusobnom kupoprodajom električne energije, međusobnom havarijskom ispomoći i tranzitom električne energije. Načelno se do 15. prosinca tekuće za sljedeću godinu, utvrđuje mjesečna dinamika količina energije, cijene i drugi uvjeti kupoprodaje, a mogući su ugovori i unutar godine.

Svrha razmjena je bila da se periodičnim razmjenama iskoriste proizvodne i prijenosne mogućnosti dvaju mreža, kao i da se uspješnije prođe kroz krizna razdoblja. Dogovori su se potvrđivali telefaksom. U razmjeni s principom energija za energiju dogovoren je prijenosni omjer 1:1 u istom tarifnom razdoblju, iako su mogući i drukčiji omjeri. Dogovoreno je da će se težiti da uvažavajući te koeficijente razmjena iz Jugoslavije u Rumunjsku i obratno bude oko nišnice. Neponištene količine se obračunavaju prema principu energija za novac (21,0 \$/MWh viša i 11,0 \$/MWh za nižu tarifu), ili se u dogovoru neponišteni dio energije prenosi u sljedeću godinu. I havarijska ispomoć ide po istim koeficijentima i cijenama.

Viša tarifa je od ponedjeljka do subote (osim praznicima definiranim kao 1. i 2. siječanj te 1. i 2. svibanj) od 6:00 do 22:00, dok je ostalo niža tarifa. Odvojeno se gledaju razmjene po principu energija za energiju, energija za novac i za havarijsku ispomoć.

Tehnički se razmjene odvijaju preko dva dalekovoda: *400 kV Portile de Fier - Đerdap* (izdvajanjem jednog ili više agregata hidroelektrane *HE Portile de Fier* ili *HE Đerdap* i njihovim priključenjem na jugoslavenski odnosno rumunjski sustav, uvjeti za paralelni rad se najavljuje kada budu ispunjeni uvjeti za to) i *110 kV Caprinis - Ki-kinda* i *35 kV Gura Vali - Sip* (s ova dva dalekovoda u otočnom radu, izdvajanjem potrošačkog područja jednoga sustava na drugi sustav).

Vozni redovi po principu energija za energiju i energija za novac, usuglašavaju se petkom do 12 sati za naredni tjedan, ili ako je kraći period do 12 sati današnjega dana za sutrašnji, dok se potvrđivanje i promjene voznih redova tijekom razmjene potvrđuju telefaksom.

Obračun i računi se ispostavljaju do 5. dana tekućega mjeseca za prethodni a plaćanje se vrši u dolarima, zatezna kamata je 6%. Predviđena su posebna prava i obveze za vrijeme više sile.

I konačno, u spomenutom Dodatku iz 1977. tranzit je preciznije definiran. Maksimalni tok energije tranzita koji Jugoslavija preuzima iz Albanije za Rumunjsku iznosi 100 MW-a u dnevnom i 60 MW-a u noćnom periodu, nedjeljom i praznicima. Predviđena godišnja količina tranzita je 96 GWh od toga 60 GWh dnevne i 36 GWh noćne, nedjeljne i prazničke energije. Najviše tranzita predviđeno je u svibnju (50 GWh), a manje u lipnju (16 GWh), studenom (14 GWh) i prosincu (16 GWh). Sporazumno se te količine mogu povećati. Jugoslavija preuzima energiju iz Albanije dalekovodom 220 kV *Mao-Ce-Tung - Titograd*, a isporučuje u Rumunjsku već navedenim 400 kV-nim dalekovodom. Za troškove tranzita Jugoslavija uzima 7% preuzete albanske energije za sebe. Prijedlog isporuke daje albanska strana do 9 sati a dogovori traju do 10 sati, i proslijeđuju se ishodi pregovora rumunjskoj strani do 13 sati. Električna energija se na rumunjskoj strani isporučuje po tarifnim razdobljima. Kod mjerenja se uvažavaju razmjene za ostale partnere. Albanskoj strani za tranzit preko Jugoslavije plaća rumunjska strana.

1978. – 1980. primjer Rumunjska – Jugoslavija – Albanija

Protokolom od 2. lipnja 1978. dogovorio se: tranzit iz Albanije u Rumunjsku preko Jugoslavije (100 GWh uz tok energije 50 MW i trošak od 15% količine tranzita), isporuka električne energije iz Jugoslavije Rumunjskoj s naslova kredita za hidroelektranu Đerdap i prodaja električne energije Rumunjskoj.

Dogovoreno je da se trošak tranzita plaća Jugoslaviji u dolarima (15% primijenjeno na količinu energije i cijene 37,1 u višoj i 22,3 \$/MWh u nižoj tarifi), osim ako postoji istovremena kupoprodaja Rumunjskoj kada se trošak tranzita obračunava po principu trošak tranzita za energiju. Ako kupoprodaja počne u srpnju, dotadašnji trošak tranzita će se također obračunavati po principu trošak tranzita za energiju. Rumunjska strana je trebala obavijestiti jugoslavensku o prihvatanju tih uvjeta, a jugoslavenska o prihvatanju troškova tranzita u iznosu 15%.

Za vraćanje kredita za hidroelektranu *HE Đerdap* za period od siječnja do studenoga 1978. u količini 110 GWh, dva generatora *HE Đerdap* bit će priključena na rumunjski sustav.

Jugoslavija je nudila kupoprodaju električne energije na dva načina: preko *HE Đerdap* (od 17. srpnja do kraja lipnja 1978. 100 GWh, te od kolovoza do prosinca 1978. od 100 GWh) i preko *DV 400 kV Niš-Stolnik* (tokom energije 100 MW u lipnju i srpnju

1978.). Za temeljnu energiju u lipnju nudi 20,5 \$/MWh, za treće tromjesečje za dnevnu tarifu nudi 28,5 a za noćnu 18,0 \$/MWh, dok za četvrto tromjesečje nudi 30,0 za dnevnu i 20,0 \$/MWh za noćnu energiju. Jugoslavija je tražila princip energija za novac ali i da će se nastojati postići razmjenu po principu energija za robu. Rumunjska strana trebala se izjasniti o ovome prijedlogu.

Zatim je sklopljen Protokol od 27. listopada 1978. temeljem vođenih pregovora od 23. do 27. listopada na iste teme. Dogovoren je tranzit u četvrtom tromjesečju toka energije 50 MW-a, a za svrhu ukupne razmjene koja obuhvaća i ostale razmjene spaja se jugoslavenski agregat s tokom energije u Rumunjsku od 175 ili 350 MW-a. Trošak tranzita je dogovoren u iznosu od 3,71 €/MWh u višoj i 2,23 \$/MWh u nižoj tarifi. Za negativnu zbirnu razmjenu kod Kikinde, jugoslavenska strana je izrazila spremnost da preuzima iz Albanije 8,2 GWh u višoj i 7,8 GWh u nižoj tarifi kada jugoslavenska strana bude imala interes za time, a isporuku iz Albanije osigurat će Rumunjska. Za vraćanje kredita potrebno je isporučiti još 38 GWh što se planira izvršiti do kraja 1978. U kolovozu i rujnu 1978. jugoslavenska strana isporučila je 8,9 GWh u višoj i 3,1 GWh u nižoj tarifi kao pomoć rumunjskom sustavu, za koju razmjenu je rumunjska inzistirala da se smanje cijene prema onima iz Ugovora od 2. lipnja, što jugoslavenska strana nije prihvaćala. U konačnici je dogovoreno da cijene budu 28,5 i 18,0 \$/MWh. Tranša za otplatu kredita iznosila je 256 GWh o čemu je dogovoreno da će se zaključiti ugovor za 1979. na dotadašnji način. Jugoslavija je najavila da će imati energije za prodaju i isporuku u 1979. godini.

Ukupan iznos razmjene i tranzita između Jugoslavije i Rumunjske 1979. iznosio je 1 TWh. U Protokolu od 6. veljače 1980. spominje se u tome surječju potreba za sporazumom za operativnu provedbu pomoći u slučaju havarije i za kratkotrajne razmjene električne energije. Rumunjska strana je tražila tranzit iz Albanije preko Jugoslavije do Rumunjske u iznosu od 300 GWh u prvom, drugom i četvrtom tromjesečju. Jugoslavenska je strana ukazala na tehničko-tehnološke probleme i najavila da će nastojati osigurati tranzit u iznosu od 100 GWh u travnju i svibnju 1980. po 50 GWh-i u svakom mjesecu. Troškovi tranzita su stavljeni na 15% količine tranzita. Uvjet je da se odvija istovremeno s isporukom električne energije Rumunjskoj za kredit upotrijebljen za *HE Derdap* i s ostalim dodatnim isporukama Rumunjskoj, a kako bi se moglo izdvojiti dva jugoslavenska generatora snage 350 MW iz jugoslavenskoga u rumunjski sustav. U konačnici je dogovoren tranzit od 100 GWh od 15. ožujka do 15. lipnja 1980. stalnog toka energije od 70 MW-a uz 15%-tne troškove tranzita uz isporuku iz *HE Derdap* izdvajanjem dva agregata snage 350 MW-a. Istovremeno se isporučuje 172 GWh-a za kredit koji je Jugoslavija dobila od Rumunjske za *HE Derdap* u istome razdoblju. Uz sve to dogovorena je dodatna količina od 250 GWh toka energije 170 MW-a u istom razdoblju. Rumunjska strana se obvezala polovicu energije vraćati od 1. srpnja 1980. po principu energija za energiju na dalekovodu *Carpinis-Kikinda*, s mjesečnim

količinama od 18 do 22 GWh sve dok ne isporuči 125 GWh umanjeno za koeficijent 0,95. Drugu polovicu od 125 GWh će rumunjska strana vraćati od 1. rujna do 30. studenoga 1980. izdvajanjem jednog generatora *HE Đerdap* na jugoslavenski sustav ili na drugi način koji dvije strane dogovore. Uz to je rumunjska strana još jednom molila jugoslavensku da omogući dodatnih 200 GWh tranzita iz Albanije u 1980. godini.

Na istom sastanku su rumunjska i jugoslavenska strana pregovarale o rekonstrukciji dalekovoda *Gura Văii-Sip* s 35 na 110 kV-ni napon. Jugoslavenska strana će snositi troškove tako da će isporučiti električnu energiju u Rumunjsku.

Potom je sklopljen 6. veljače 1980. godine Dodatak Ugovora koji podrazumijeva isporuku 250 GWh s naslova vraćanja kamata i kredita u 1980. po nejednolikim količinama po mjesecima, od 19 GWh do 25 GWh. Navodi se da su količine od siječnja do ožujka 1980. bile isporučene 1979. i da će se fakture za njih ispostaviti 15. veljače 1980.

1985. – 1987. primjer Rumunjska – Jugoslavija – Albanija

Na spomenutom sastanku iz prosinca 1985. rumunjska je strana iskazala interes za uvozom 300-400 GWh električne energije iz Jugoslavije s razmjenskim principom energija za robu, dok je jugoslavenska strana tražila plaćanje po principu energija za novac (konvertibilnim sredstvima plaćanja, od siječnja do ožujka 49,0 i 32,5 €/MWh, a ostatak po 40,8 i 27,2 €/MWh) ili eventualno principom energija za robu. Osim toga rumunjska strana je predlagala da po principu energija za energiju Jugoslavija isporuči tijekom 1986. godine 200 GWh koje bi rumunjska strana vratila u 1988. po istoj dinamici i tarifnim razdobljima, gdje je jugoslavenska strana najavila odgovor na taj prijedlog. Rumunjska je strana predvidjela u 1986. tranzit iz Albanije od 280 GWh kroz Jugoslaviju, na što je jugoslavenska strana ukazala da bi to mogla ostvariti od travnja do kolovoza 1986. tokom energije od 80 MW-a.

Prema Ugovoru sklopljenom 7. ožujka 1986. između JUGEL-a i rumunjske tvrtke ugovorena je isporuka električne energije iz Jugoslavije u Rumunjsku: 200 GWh u ožujku i 300 GWh ravnomjerno od travnja do rujna 1986. U razdoblju od 1. ožujka do 30. srpnja 1986. se u Dokumentu od 1. kolovoza 1986. navodi da je isporučeno iz Jugoslavije u Rumunjsku 455 GWh u vrijednosti 16,7 milijuna dolara.

Dogovaranje isporuke u okviru ugovorenih količina vrši se po tome Ugovoru svakoga petka za naredni tjedan. Dogovoreno preuzimanje ne može se jednostrano otkazati, osim u ugovorenim slučajevima. Isporuka se odvija s konstantnom snagom uz maksimalno odstupanje od ± 10 MW. Odvija se preko 400 kV-nog dalekovoda *Đerdap Portile - de Fier*. JUGEL preuzima vrijednost od 4,8 milijuna dolara koju jugosla-

venskoj tvrtki duuguje rumunjska tvrtka (jugoslavenski dug prema rumunjskoj tvrtki za jugoslavensku energiju, dug tvrtke *Brodmaterijal Rijeka* uvoznika za *Cementaru Našice* prema tvrtki *Uzinexportimport Bukurešt*), dok će se 13,7 milijuna dolara ostvariti po principu rumunjska roba za jugoslavensku energiju. Vrijednost električne energije utvrđivala se po cijeni 45 \$/MWh u višoj i 30 \$/MWh u nižoj tarifi za ožujak, a za ostalo razdoblje 39 \$/MWh i 27 \$/MWh.

Jugoslavija se obvezala isporučivati električnu energiju u opsegu u kojem će ista biti pokrivena isporukama robe iz Rumunjske u Jugoslaviju. Jugoslavija je imala pravo smanjiti ili obustaviti isporuku energije ako se kota Đerdapskog jezera spusti ispod 69,5 metara i ukoliko spuštanje ispod te razine bude prouzročeno od rumunjske strane. Negativne posljedice oko razine Đerdapskog jezera snosi rumunjska strana koja može utjecati na povećanje razine jezera. Izvornik Ugovora je načinjen na francuskom jeziku. Pozivaju se u tome ugovoru na spomenuti Ugovor koji je zaključen između navedenih strana 7. travnja 1976.

Održan je sastanak 25. i 26. veljače 1986. gdje je prema Bilješci vidljiv motiv za rumunjsko-jugoslavenske razmjene električne energije. Rumunjska je imala probleme u dobavi električne energije za potrošače, a Jugoslavija probleme u osiguranju sredstava za izgradnju elektroenergetske infrastrukture gdje jugoslavenska strana spominje rumunjskoj strani da se investicije prvenstveno osiguravaju iz sredstava elektroprivrede.

Rumunjska je tražila od Jugoslavije dobavu 500 GWh električne energije od 1. ožujka 1986. u iznosu 10 GWh dnevno, a Jugoslavija da je spremna na to ali u ožujku s 8 GWh dnevno. Rumunjska je do potpisivanja ugovora po principu energija za robu, izrazila spremnost za razmjenu po principu energija za novac.

Jugoslavija je upozorila rumunjsku stranu da nije platila prethodno stvorene dugove, a rumunjska strana se obvezala podmiriti dug isporukom iz Albanije u Jugoslaviju što je bilo u tijeku (energija za dug).

Jugoslavija na tome sastanku prigovara rumunjskoj strani da krši odredbe *Konvencije i Pravilnika o eksploataciji Sistema Djerdap I* snižavajući nivo ušća Nere bez suglasnosti jugoslavenske strane, čime čini velike štete jugoslavenskoj strani kod elektrane *HE Đerdap I*. Rumunjska strana obvezala se poduzeti mjere da se navedeni dokumenti poštuju, i da će počevši od 18. studenoga 1985. izmiriti usuglašene obveze jugoslavenskoj strani prouzrokovane nižom kotom od dogovorene na ušću Nere. Uočeni su problemi korištenja sustava *HE Đerdap I*. kod kriznih situacija koji uzrokuju štetu objema stranama, i dogovoreno je da će se proučiti kako se ponašati u takvim situacijama, recimo uvođenjem plaćanja za isporuke energije u takvim slučajevima.

Rumunjska strana je prema Dokumentu od 20. lipnja 1986. tražila da joj jugo-

slavenska strana pozajmi od 1. do 31. srpnja 1986. 2 GWh dnevno iz *HE Derdap I.* i da joj rumunjska strana ne vraća tu energiju u tome razdoblju, nego da rumunjska strana vraća tu energiju u iznosu od 1 GWh dnevno u listopadu i studenome 1986. Osim toga prema istom Dokumentu rumunjska strana od Jugoslavije traži preuzimanje 1 TWh od Jugoslavije 1987. na što je jugoslavenska strana rekla da posjeduje proizvodne kapacitete za taj izvoz. Tu je informacija da je Jugoslavija za rumunjsku stranu obavila u prvoj polovici 1986. tranzit u iznosu od 150 GWh te informacija da rumunjska strana traži za drugo polugodište tranzit iz Albanije od 160 GWh. Jugoslavenska strana se očitovala da nema mogućnost provedbe toga tranzita u tako velikoj količini u drugoj polovici 1986. Spominje se Protokol od 7. ožujka 1986. po kojemu se odvija tranzit.

Sklopljen je potom Ugovor od 30. srpnja 1986. za isporuku 500 GWh iz Jugoslavije u Rumunjsku po principu energija za robu (Jugoslavija je posebno zahtijevala pšenicu) u razdoblju isporuke od 1. kolovoza do 31. prosinca 1986.

Sastavljena je Bilješka od 1. kolovoza 1986. u kojoj se navodi da je usuglašena količina tranzita ostvarena do 30. lipnja 1986. i to iz Albanije preko Jugoslavije do Rumunjske. Rumunjska je strana tražila dodatni tranzit iz Albanije kroz Jugoslaviju u Rumunjsku od 1. kolovoza do 31. prosinca 1986. u iznosu od 200 GWh. Htjela je da tranzit ide usporedno s isporukama električne energije iz Jugoslavije u Rumunjsku tokovima energije od 50 do 55 MW-a, te je jugoslavenska strana obećala prijedlog analizirati te se o njemu očitovati.

U Dokumentu od 16. listopada 1986. navodi se da je isporučeno po dvama ugovorima 815 GWh u vrijednosti od 29,3 milijuna dolara od čega je naplaćeno 15,8 milijuna dolara. Slovenska i srbijanska elektroprivreda (naziv ZEP) obustavili su isporuku 18. kolovoza 1986. a kosovska 19. rujna 1986. godine. Srbijanska elektroprivreda, koja je po prvom Ugovoru (73.) isporučila 248 GWh od 500 GWh a po drugom (30.7.) isporučila 72 GWh od 500 GWh, upozorila je da pod takvim uvjetima ne želi ulaziti u odnose s rumunjskom stranom.

Prema Dokumentu od 11. ožujka 1987. navodi se da je Jugoslavija po dvama sklopljenim ugovorima iz 1986. (73. i 30.7.), koji obuhvaćaju dobavu iz triju jugoslavenskih elektroprivreda, zaključno s 30. rujnom 1986. isporučila za rumunjsku tvrtku 818 GWh u vrijednosti 29,4 milijuna dolara. U tome surječju navodi se da je rumunjska strana isporučila za tu primljenu električnu energiju povratnu robnu vrijednost od 27,2 milijuna dolara odnosno 97% iznosa od vrijednosti ostvarenoga izvoza u rumunjsku.

Zatim je 27. svibnja 1987. sklopljen Ugovor sa sličnim odredbama za isporuku 500 GWh-i od 1. lipnja do 30. rujna 1987. U njem piše da se dio rumunjske mreže izdvaja i priključuje na jugoslavensku mrežu.

1988.-89. primjer Rumunjska – Jugoslavija – Albanija

Prema Bilješci datiranoj na 25. ožujka 1988. godine Jugoslavija ne namjerava isporučivati električnu energiju za 1988. dok se dug Rumunjske prema Jugoslaviji ne podmiri. Potom je Dokumentom od 8. travnja 1988. Jugoslavija podsjetila rumunjsku stranu da je rumunjska strana ostala dužna isporučiti robu za razdoblje od 1985. do 1987. i da je jedan ugovor o isporuci robe za energiju rumunjska strana jednostrano raskinula.

Jugoslavenski Dokument od 19. lipnja 1989. govori o razlici između vrijednosti isporučene električne energije za rumunjsku stranu od jugoslavenske strane, i vrijednosti robe koja je po principu energija za robu poslana u Jugoslaviju. Rumunjska strana tvrdila je u veljači 1989. da je vrijednost robe veća od vrijednosti isporučene energije, što se nije slagalo s jugoslavenskom evidencijom (JUGEL-ovom). Tvrdi se da je rumunjska evidencija kriva, ali da jedna jugoslavenska tvrtka nije ni javila JUGEL-u da je preuzela robu niti je istu JUGEL-u platila.

Na sastanku održanom 5. i 6. travnja 1989. jugoslavenska strana je informirala rumunjsku stranu da pošto je dobila novac od tvrtke koja je preuzela robu i uz to da je tada vrijednost robe bila veća od vrijednosti isporučene energije rumunjskoj strani, da će Jugoslavija isporučiti dodatne količine energije Rumunjskoj i također je iskazala spremnost da ako rumunjska strana isporuči još robe da će jugoslavenska isporučiti dodatnu energiju.

Budući da količina energije koju je jugoslavenska strana obećala nije isporučena, na sastanku održanom 15. svibnja 1989. rumunjska strana je obavijestila jugoslavensku da će prekinuti isporuku robe. Potom je rumunjska strana 12. lipnja 1989. pristala isporučiti dodatnu robu čime je povećana vrijednost robe u odnosu na vrijednost isporučene energije. U Dokumentu se opisuje kako JUGEL naplaćuje vrijednost za robu koja je uvezena i piše da nije poznato koja će jugoslavenska elektroprivreda osigurati energiju. Za unutarjugoslavenske odnose problem je predstavljao promjenjiv tečaj jugoslavenske valute dinar.

Nakon sastanka iz rujna 1988. sačinjen je Protokol za gospodarsku suradnju između Rumunjske i Jugoslavije koji je potpisan 12. rujna 1988. Prema Protokolu dana 22. svibnja 1987. potpisan je Sporazum povezan s daljnjim proširenjem suradnje oko korištenja hidropotencijala Dunava za proizvodnju električne energije u smislu povećanja instalirane snage na *HE Đerdap I*. Dogovarao se tranzit električne energije iz Albanije preko Jugoslavije u Rumunjsku. Uz to je dogovarana suradnja oko istraživanja nafte i plina u pograničnim područjima.

Infrastruktura CDU VERE-a

Najkasnije 1974. snažne su veze CDU VERE-a na zapadnim SSSR-ovim granicama, a ukupni SSSR-ov neto izvoz 1972. bio je 7 TWh. Sovjetski CZU EVER i CDU VERE počinju 1978. raditi u sinkronom pogonu (npr. Mađarska – Ukrajina na 750 kV).

Mađarski sustav je 1952. povezan s čehoslovačkim, a 1959. gotovo cijelim mađarskim teritorijem razgranata je visokonaponska mreža. Mađarska je povezana s Ukrajinom 1969. (400 kV privremeno pod 220 kV-i) zbog mađarskih potreba za energijom.



Sl. 8. Mreža zapadno od SSSR-a i istočno od Željezne zavjese 1962. (u pogonu, u izgradnji, planirana) – 220 kV-i si 400 kV-i (CIA 1962., djelomično prevedeno)

Hrvatska je 1958. (120 kV) povezana s tim mađarskim sustavom, 1960. Srbija s Mađarskom (110 kV) a 1961. Srbija s Bugarskom (110 kV), dok je 1964. povezana Rumunjska sa Srbijom (110 kV) i Bugarska je povezana preko Rumunjske s ostatkom CDU VERE-a 1967. (220 kV). Zatim je Bugarska 1972. povezana s SSSR-om i Molda-

vijom preko Rumunjske (400 kV) i s Turskom 1975. (400 kV). Bugarska i Makedonija povezane su 1980. (110 kV). Navedeni dalekovodi za razmjenu energije s državama istočno od *Željezne zavjese* govore o važnosti elektroenergetskih procesa u tim sustavima za Jugoslaviju.

U okviru koncepta *nesusjedna razmjena*, a ima li se u vidu paralelni rad jugoslavenskoga sustava od sredine 70-ih sa snažno uvezanim UCPTE-im sustavom kojemu pripada Austrija - valja reći da Austrija 1963. razmjenjuje električnu energiju s Čehoslovačkom na sezonskoj razini (s HVDC-om) a s Mađarskom je Austrija povezana 1968. (220 kV, bez HVDC-a).

COMECON je bila slična ekonomska organizacija kao i *European Economic Community* - davala je plodove u smislu bilateralnih dogovora o prekograničnim vodovima koje je koordinirao *Central Dispatch Organization of the Interconnected Power Systems* (CDO / IPS). Djelovala je u Pragu od 1959. do 1962.

Godine 1962. potpisan je sporazum za uspostavu CDU VERE-a, koji je služio za organizaciju državnih elektroenergetskih sustava istočno od *Željezne zavjese* izvan SSSR-a.

Primjer UCPTE – CDU VERE – SEV

Od 1985. teče novi ugovor o razmjeni sa Sovjetskim savezom (SEV sustav) za isporuke ljetne i vršne energije iz Austrije (UCPTE) kroz međusustav CDU VERE, te za isporuke zimske termoenenergije iz Sovjetskog saveza u Austriju, čime se ostvaruju uštede goriva u oba sustava.

Austrija isporučuje od svibnja do kraja kolovoza danju 590 GWh Sovjetskom savezu, a odande uzima noću 472 GWh od siječnja do kraja travnja i od 15. listopada do 15. prosinca. Ključ je, dakle, 1,25:1. Ugovor je zaključen na 20 godina.

Austrija je dobivala zahtjeve za razmjenama kojima ne bi mogla udovoljiti ni HVDC stanica dvostruko veće snage od ugrađene.

Između Austrije (UCPTE) i Poljske (CDU VERE) je 1975. bio potpisan dugoročni ugovor, kojim je 1983. zaključena godišnja isporuka 1,6 TWh-i iz Poljske (CDU VERE) za Austriju (UCPTE) preko mreže Čehoslovačke (CDU VERE).

Godine 1980. razmatrana je mogućnost tranzita iz Sovjetskoga saveza (SEV) preko Rumunjske (CDU VERE) i Jugoslavije (UCPTE) za Grčku (UCPTE) u iznosu 200 GWh. U Protokolu od 6. veljače 1980. jugoslavenska i rumunjska strana zaključile su da nisu našle zadovoljavajuće rješenje da taj tranzit provedu.

Prema Protokolu od 2. kolovoza 1985. između Jugoslavije i Rumunjske stoji informacija da je bio predviđen tranzit od Sovjetskoga saveza preko Rumunjske do Jugoslavije a i do Grčke. Tu su pomalo proturječne informacije oko smjera tranzita. Na dan 31. srpnja 1985. ostalo je za tranzitirati 29 GWh isporukom iz Jugoslavije u Rumunjsku. U drugoj točki se navodi da u surjeću s tim tranzitom ide isporuka iz Rumunjske u Jugoslaviju od 1. do 20. kolovoza 1985. do količine od 21 GWh s tokom energije od 50 MW-a. U trećoj točki oko toga tranzita se navodi da će se količina od 8 GWh po nižoj tarifi nadoknađivati kroz isporuku energije nego po principu rumunjska roba za energiju. Moguće je da je bio dvosmjernan tranzit, ili, što je izglednije - da su se obveze iz sovjetsko-VERE-UCPTE tranzita poništavale s bilateralnim razmjenskim odnosima između Rumunjske i Jugoslavije što se Sovjetskoga saveza i Grčke nije trebalo ticati.

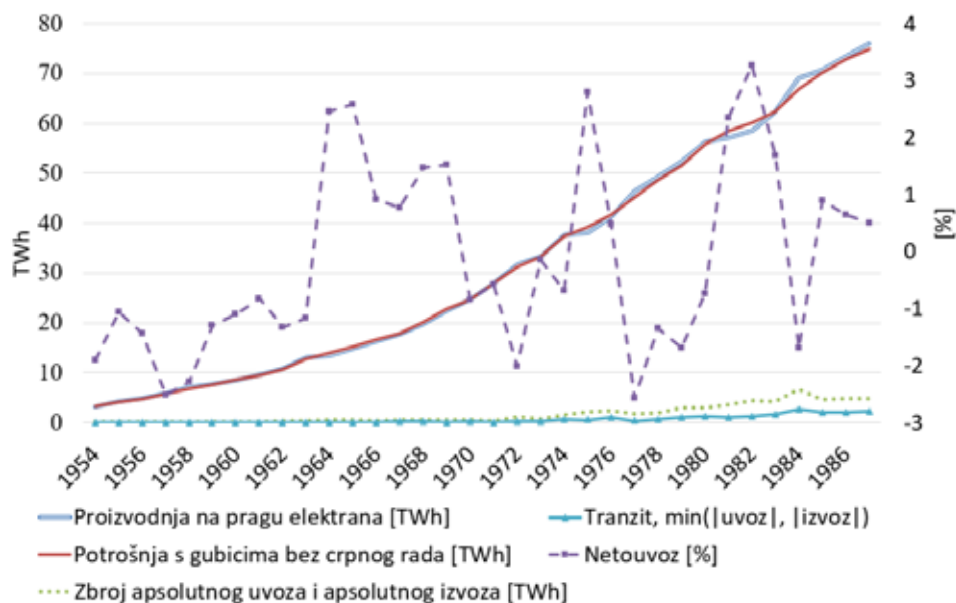
Neosmotrivost razmjenskih potreba u jugoslavenskom razdoblju

Koliko bi informacija izgubili ako bi imali samo prikaze godišnje količine proizvedene električne energije iz vjetroelektrana, zajedno s recimo s godišnjom količinom nuklearne električne energije? Ako želimo odrediti razmjenske potrebe s okolnim sustavima, trebamo znati odnos tokova vjetroelektrične energije iz izvorišta na satnoj razini u odnosu na tok električne energije u potrošačkim točkama, recimo kroz statističke podatke. To ne možemo dobiti iz godišnjih količina proizvedene vjetroelektrične energije. Današnja irska vjetroelektrična energija ima temeljni dio, dalmatinska nema. Treba se imati u vidu slabe mogućnosti skladištenja elektroenergije, kao i ostale elektrane čiji tok elektroenergije nije lako ili je štetno zaustaviti (engl. *must-run*).

Na temelju podataka u literaturi moguće je načiniti prikaz na slici 9. koji ne omogućava razmatranje unutargodišnjih tokova energije.

U obuhvaćenom razdoblju nije bilo vjetroelektrana ni snažnih računalnih alata za izradu grafičkih i statističkih prikaza, poput ovoga <https://www.energy-charts.info/>. Međutim, u promatranom razdoblju nema ni periodičnih prikaza karakterističnih slučajeva unutar godine iz kojih bi se zaključilo o razmjenskim potrebama. Postoje kvalitativni opisi koji su određivali svrhu izgradnje infrastrukture, poput opisa logike iza SUDEL-ovog prstena, a koji su navedeni drugdje u ovome radu.

Osim toga, uslijed nedovoljne istančanosti jezika u publikacijama, nije omogućen jasan uvid u količine razmjena električne energije.



Sl. 9. Količine proizvodnje električne energije na pragu elektrane, potrošnja električne energije s gubicima električne energije bez crpnog rada (E_p), zbroj apsolutnog uvoza i apsolutnog izvoza električne energije ($|E_u| + |E_i|$), tranzit $\{\min(|E_u|, |E_i|)\}$ udio neto uvoza $\{(|E_u| - |E_i|)/|E_p|\}$ od 1954. do 1987. u Jugoslaviji

Potrebno je razlikovati ekonomske tokove energija, koje se nalaze u ugovorima i po kojima se vrijednost električne energije nadoknađuje i koji ulaze u program razmjene cjelokupnoga jugoslavenskoga sustava prema UCPTE-u, od fizičkih tokova energija koje se mogu na pojedinoj UCPTE granici izmjeriti. Treba razlikovati bruto iznose od neto iznosa razmijenjenih količina energija.

Treba znati imamo li zbroj na pojedinim granicama (mogući su različiti smjerovi na različitim dalekovodima iste granice), ili neto vrijednost za sve granice istovremeno npr. zbrajanje različitih smjerova razmjene u satu na svim granicama.

Zaključak

Povijesno-razvojni narativ usklađen je s onome što govore povijesni tragovi, gdje su brojni sadržaji povezani s naslovnom temom bili u Jugoslaviji tabu tema. Tek će se s istraživanjem neobjavljene građe iz arhiva te možebitnim objavljivanjem sjećanja protagonista doći do novih živopisnih informacija.

Porast potrošnje električne energije u Jugoslaviji je bio znatan kao i na svjetskoj razini. To je bilo razdoblje izrastanja europskih elektroenergetskih sustava iz *pelena*. Munjevito narastanje potrošnje podrazumijevalo je izgradnju elektrana i popratnih dalekovoda, koje su jugoslavenski inženjeri u izvedbi jugoslavenskih tvrtki uspješno projektirali. Inženjeri su bili podržani diplomacijom koja je osigurala zapadne kredite.

Doprinijele su povoljne geopolitičke okolnosti, jer je zapad na primjeru Jugoslavije htio europskim državama iza *Željezne zavjese* pokazati put iz socijalističkoga sustava, a uz to je preko jugoslavenskoga sustava kao tranzitnog sustava htio elektroenergetski povezati Grčku sa zapadnoeuropskim državama.

Potrebne su bile diplomatske aktivnosti kako bi se jugoslavenski sustav povezao sa sustavima okolnih država. Jugoslavija se uspjela dalekovodima povezati sa svim okolnim državama, a Hrvatska je bila nedovoljno povezana s Mađarskom. Jugoslavija nije iskoristila sve mogućnosti povezivanja koje su joj sa zapada bile nuđene. U početku je u okviru suradnje s drugim državama bio naglasak na izgradnju elektrana, dok nakon toga naglasak prelazi na izgradnju dalekovoda i povezivanje Jugoslavije s drugim državama.

Međutim, nije postojala potreba samo za gradnjom materijalne infrastrukture, nego i za projektiranjem načina korištenja infrastrukture u okviru međurepubličkih i međudržavnih razmjena električne energije, u čemu je jugoslavenski sustav zaostajao u odnosu na zapadni sustav. Tako je 1990. u Hrvatskoj raspad takvoga tehničko-ekonomskoga sustava s organizacijskoga gledišta donio olakšanje, prema načelu *čist račun - duga ljubav*. Otvorio se tada put prema vođenju tehničko-ekonomskoga sustava na zapadni način rasterećen od socijalističke ideologije koja je više orijentirana na materijalizam isključujući pritom privatno vlasništvo.

Projektiranje nematerijalnih odrednica sustava bilo je jače razvijano u zapadnim sustavima. UCPTE je prilikom već potpuno liberaliziranih međudržavnih razmjena električne energije vjerovao da će principi slobodnog tržišta voditi elektroenergetske sustave i makrosustav kao cjelinu do optimalne točke. Ipak, UCPTE je izražavao rezerviranost sredinom 80-ih kada se htjelo poći u uvišestručenje subjekata i njihovih odnosa unutar pojedinih elektroenergetskih sustava i među njima, uvođenjem nadređene europske zakonske norme. Razvoj elektroenergetskoga sustava nije samo u izgradnji materijalne infrastrukture.

Ne samo u jugoslavenskim međurepubličkim odnosima nego i u odnosima Jugoslavije s drugim državama, bilo je nedostatno povjerenje, ključno za put prema optimalnoj izgradnji infrastrukture i prema optimalnim razmjenama električne energije. Dojam je da socijalistički sustavi nepovoljno utječu na dotično povjerenje. Pобоljšanje međudržavnoga povjerenja u zapadnoeuropskim državama bilo je javno iskazani cilj UCPTE-a stoga ga je i tu bilo potrebno razvijati.

Pokazano je da jugoslavenski socijalistički sustav ni uz bespovratnu pomoć i kreditiranje iz zapadnih država nije ispunjavao potrebe koji su pred njega postavljali potrošači električne energije. Zapadne države UCPTE-a uspjele su ispuniti potrebe svojih potrošača.

Osim nedovoljno izgrađene materijalne infrastrukture, nemogućnost ispunjavanja potreba jugoslavenskih potrošača bila je prouzročena neodgovarajućim cjenovnim pritiscima. Troškovi se nisu dovoljno zrcalili na cijene koje su plaćali potrošači.

S druge strane privatnim investitorima nije bila ni omogućena izgradnja elektrana kojima bi upravljali i pritom razvijali ekonomski racionalne koncepte. Odabir voznih redova elektrana u svakoj republici bio je prepušten isključivo dispečeru koji je vodio i republički elektroenergetski sustav. Danas je vođenje elektroenergetskoga sustava razdvojeno od odabira voznih redova elektrana koji je prepušten tržišnim subjektima – suvremeni operator prijenosnog sustava vodi elektroenergetski sustav a slobodno-tržišni postupci tržišnih sudionika određuju vozne redove elektrana. Operator se upliće samo kako bi se osiguralo da elektroenergetska mreža može održati pogonsku sigurnost.

U Kraljevini Jugoslaviji talijanska tvrtka je ponudila besplatno izgraditi dalekovod od Dalmacije do Zagreba 1932., dok su navedena područja izravno povezana preko teritorija Hrvatske tek 1962. samo zahvaljujući borbi hrvatskih predstavnika, jer je jugoslavenska država htjela povezivanje preko Bosne i Hercegovine. Otvara se pitanje: zašto tako kasno i je li to imalo veze s međunacionalnim odnosima u Jugoslaviji?

Razvoj elektroenergetskoga sustava bio je vezan za makroekonomsko stanje Jugoslavije. Ono nije bilo povoljno, među ostalim zbog promašenih državnih investicija koje su bile pravilom, za razliku od zapadnih sustava gdje su bile iznimka.

Jugoslavija je sredinom 70-ih počela paralelni rad s UCPTE-om, dok je sa sustavima CDU VERE-a radila tako, da se jedan dio sustava izdvoji u otočni pogon i priključi na drugi. Austrija je kao država u paralelnom radu s UCPTE-om. Austrija je na granici s Čehoslovačkom, koja je paralelno radila s CDU VERE-om, razmjenjivala elektroenergiju HVDC tehnologijom, dakle bez potrebe izdvajanja u otočni pogon. Istovremeno su Austrija i Mađarska u predmetnom razdoblju razmjenjivale elektroenergiju putem izdvajanja dijelova sustava u otočni pogon.

Jugoslavija je tranzitirala električnu energiju, recimo od Albanije do Rumunjske, od zapadnih država UCPTE-a do Grčke. Međutim, tranzit se nije uvijek odnosio na ugovorne odnose sa susjednim državama, tako je postojao tranzit iz Sovjetskoga saveza preko CDU VERE-a do austrijsko-čehoslovačke granice.

Jugoslavija je naplaćivala troškove tranzita za prolaznu energiju, što je i očekivano budući da to može stvoriti dodatne gubitke električne energije, a ako je riječ o tranzitu povezanom s CDU VERE-om troškovi mogu nastati uslijed potrebe za prebacivanjem u otočni pogon. Postojala je nadoknada tranzita povezanog s CDU VERE-om tako da Jugoslavija preuzme više energije u odnosu na energiju tranzita koju isporuči, kao energija za troškove tranzita.

Sustavski podatci za Jugoslaviju u zrelijem stadiju govore da je ona bila tranzitna država iz CDU VERE-a u UCPTE. Hrvatska je oskudijevala s električnom energijom, stoga je investirala u gradnju elektrana u drugim republikama i iz njih dobivala znatne količine energije pravilom investicija za energiju, što je moglo biti iz razloga da je to bilo isplativije od izgradnje elektrane na teritoriju Hrvatske. Zamislivo je da je to bio prevladavajući način međurepubličke dobave električne energije za Hrvatsku. Za takve odluke trebala je imati povjerenje u vodstvo drugih republika.

U slučaju nuklearne energije dogovor je bio da Slovenija i Hrvatska zajednički izgrade nuklearnu elektranu u Sloveniji i potom da zajednički izgrade nuklearnu elektranu u Hrvatskoj. Gradnja nuklearne elektrane u Hrvatskoj nije započeta jer je jugoslavenska država uvela moratorij na izgradnju nuklearne elektrane. Postoji neistraženi prostor koji treba istražiti oko toga, posebno u smislu naslućivanoga raspada Jugoslavije. Dovodjenje u pitanje sintagme *bratstvo i jedinstvo* mogla je biti smrtonosna hereza, tako da je i očekivano da se o raspadu nije smjelo ni misliti.

U međurepubličkim odnosima bile su razmjene po principu energija za energiju prema unaprijed određenim razmjenskim omjerima, a i po principu energija za novac. Jugoslavija je s drugim državama razmjenjivala električnu energiju po raznim principima: energija za novac, energija za robu, energija za kredit, energija za dug, energija za tranzit.

Razvoj unutar jugoslavenskog tržišta električne energije može se povezati s uvjetovanjem MMF-a za daljnje kreditiranje, u stanju kada Jugoslavija nije mogla vraćati ni postojeće dugove.

Zahvala

Zahvaljujem Tijani Rupčić na dostavljenim arhivskim dokumentima.

Davorin Brkić

INTERSTATE, INTER-REPUBLIC AND INTER-REGIONAL EXCHANGE OF ELECTRICITY UNTIL 1990. IN THE CROATIAN CONTEXT

Summary: The title topic is presented narratively based on information from previously processed sources. It focuses on the Croatian context, but is not limited to the territory of the Republic of Croatia. The paper deals with the reasons that predetermined the achieved level of development. Factors are considered comprehensively, both technical and social factors. Thus, the paper can be used as a template with theoretical foundations for further research of history and philosophy behind the exchanges and mainly for the 1960-1990 period.

Keywords: electric power industry, electric power system, electricity market

Marijan Andrašec, Vilko Žiljak, Žarko Prnić

MODELIRANJE PROCESA KAO POTPORA GRADNJI I PUŠTANJU U RAD TVORNICE UMJETNIH GNOJIVA U KUTINI I RAFINERIJE NAFTE U BOSANSKOM BRODU; 1967. – 1973.

Sažetak: Krajem 60tih godina pokrenuti su projekti gradnje velikih proizvodnih sustava kemijske i naftne procesne industrije. Sustavi te veličine i složenosti, opremljeni modernom mjernom i regulacijskom instrumentacijom, nisu do tada postojali na ovim prostorima. Dnevno praćenje proizvodnje, pouzdanim utvrđivanjem materijalnih i energetske bilanci u umreženom sustavu postrojenja uz prisustvo povratnih tokova i neočekivanih poremećaja, kao i netočnosti i ispada pojedinih mjernih instrumenata bio je velik izazov. U to vrijeme pojavila se prva literatura koja je obrazlagala ideju i postupke matematičkog modeliranja takvih procesa i simulacije njihova rada korištenjem računala; formiralo se stručno područje pod tadašnjim nazivom 'sistemsko inženjerstvo'. Praktična primjena na postrojenjima nije još bila ostvarena.

U projektnoj organizaciji Industroprojekt u Zagrebu osnovana je 1967. godine prva takva grupa, koja je u periodu do početka 70tih radila na projektima gradnje, puštanja u rad i poboljšanja rada na Tvornici umjetnih gnojiva u Kutini i na Rafineriji nafte u Bosanskom Brodu. Surađivalo se na praktičnoj primjeni prvog takvog programa za modeliranje u suradnji sa grupom iz SAD, te je kasnije razvijen i vlastiti simulacijski program. Unutar tih nekoliko godina razvijane su i druge ideje primjene modeliranja, te primjene računa vjerojatnosti i matematike redova, na industrijske procese i prometne sustave. Unatoč uspješnom radu i razvoju, okolnosti u okruženju su bile vrlo nepovoljne za stabilan rad i razvoj. Reorganizacijama i spajanjem Industroprojekta i INA-Inženjeringa iza 1975. mijenjali su se odnosi, te je djelovanje u području sistemskog

inženjerstva i simulacija unutar te organizacije zamrlo. Članovi toga tima su dotadašnjim radom stekli dragocjena znanja i iskustva, te su u novim sredinama bili vrlo uspješni, a neki su ostvarili zapažene akademske karijere.

U radu je opisano djelovanje u periodu 1967. – 1973. prema sjećanjima autora i rijetkim pisanim izvorima. Opisana su zbivanja u tom periodu i u srodnoj strukturi u SAD i Njemačkoj prema svjedočenju autora i uspoređena s domaćom situacijom.

Ključne riječi: modeliranje procesa, sistemsko inženjerstvo, Tvornica umjetnih gnojiva Kutina, Rafinerija nafte Bosanski brod, PACER, Josip Lončarić, Industroprojekt Zagreb

Uvod – lokalne i globalne okolnosti

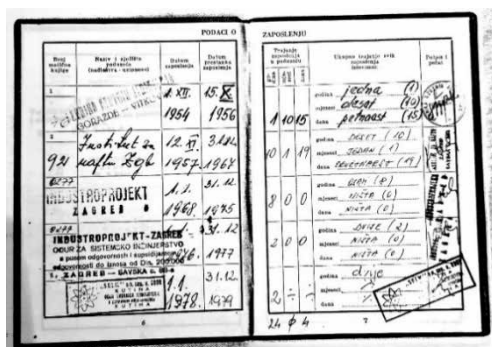
Koncem 60tih godina pokrenuti su projekti gradnje velikih proizvodnih sustava kemijske i naftne procesne industrije. Sustavi te veličine i složenosti, opremljeni modernom mjernom i regulacijskom instrumentacijom, nisu do tada postojali na ovim prostorima. Dnevno praćenje proizvodnje, pouzdanim utvrđivanjem materijalnih i energetskih bilanci u umreženom sustavu postrojenja uz prisustvo povratnih tokova i neočekivanih poremećaja, kao i netočnosti i ispada pojedinih mjernih instrumenata bio je velik izazov. U to vrijeme pojavila se prva literatura, koja je obrazlagala ideju i postupke matematskog modeliranja takvih procesa i simulacije njihova rada korištenjem računala. Praktična primjena na postrojenjima usporedbom rezultata računalnih simulacija sa mjerenim podacima na postrojenjima nije još bila ostvarena, modeli su imali uglavnom u edukacijsku namjenu. Formiralo se stručno područje pod tadašnjim nazivom „sistemsko inženjerstvo“.

Projektna organizacija Industroprojekt u Zagrebu (INZ) bila je u to vrijeme jedna od vodećih u Jugoslaviji, te je imala važnu ulogu u projektiranju i gradnji tvornice umjetnih gnojiva u Kutini i Rafinerije nafte u Bosanskom Brodu. Do 1967. naziv je bio Institut za naftu, a 1968. je preimenovan u Industroprojekt. Direktor je bio Anđelko Bubanj, koji je za tadašnje okolnosti vodio projektну organizaciju na vrlo moderan način, ostavljajući organizacijskim dijelovima slobodu odlučivanja i razvoja. Industroprojekt je, na poticaj Josipa Lončarića, osnovao 1967. godine grupu/odjel za sistemsko inženjerstvo, koja je u periodu do početka 70tih radila na projektima gradnje, puštanja u rad i poboljšanja rada u Tvornici umjetnih gnojiva u Kutini i Rafineriji nafte u Bosanskom Brodu, te širila djelovanje i na druge projekte u naftnoj industriji i prometu. Koncem 1960tih uspostavljena je dobra suradnja sa grupom sa Dartmouth College, Illinois, USA, koja je napravila prvi program za simulaciju rada procesnih postrojenja – PACER, koji je korišten u Kutini i Bosanskom Brodu.

Do 1973. godine grupa je znatno ojačala, ali je nakon nekoliko godina na osnovu političkih odluka Industroprojekt spojen sa INA Inženjeringom, a „Sistemska inženjerstvo“ se polako ugasio.

Josip Lončarić [1][5]

Josip Lončarić, fizičar, rođen je 1929. u Skradu – Gorski Kotar, studirao je u Zagrebu. Prvo zaposlenje mu je bilo u Tvornici Azot-Goražde, gdje se bavio procesnom instrumentacijom i regulacijama u procesu. U Institutu za naftu je počeo raditi 1957. godine, te je do 1967. uspješno vodio različite odjele, kada je potaknuo rad u području „sistemskog inženjerstva“. Industroprojekt je napustio 1977. godine.



Sl.1 Radna knjižica Josipa Lončarića



Sl.2 Josip Lončarić

U vremenu do 1967., kada je potaknuo aktivnost Industroprojekta u području sistemskog inženjerstva, bavio se instrumentacijom u procesnim postrojenjima i primjenom računala i računalnih postupaka u industrijskom okruženju. Napisao je nekoliko dobrih studija o tim temama, ali je malo objavljivao, te su ti radovi korišteni kao interna dokumentacija Industroprojekta.

- J. Lončarić: Studija o instrumentiranju i automatizaciji pripreme plina i proizvodnje amonijaka u Tvornici AZOT - Goražde, INZ (1963.)
- J. Lončarić: Upotreba računskih strojeva u procesnoj industriji, *Automatika* Vol. 7, No 5-6 (1966.), p.324.
- J. Lončarić: Conditions for Proces Instrumentation for fertilizer Plant Kutina, INZ 1966.
- J. Lončarić, D. Franekić: Studija o upravljanju procesom proizvodnje amonijaka u HIP Pančevo, pomoću ERS, INZ 1966.

- J. Lončarić, D. Franekić: Studija o upravljanju proizvodnje amonijaka u TDG; Kutina pomoću ERS, INZ 1966.
- J. Lončarić: Program projektiranja i planiranja računskih sistema u procesnim postrojenjima, INZ 1966.

U dokumentaciji porodice Lončarić nađene su bilješke s prikazom rada iz perioda u Industroprojektu, sa mnogim zanimljivim detaljima o aktivnostima i projektima.

Odjel za sistemsko inženjerstvo – osnivanje, ljudi i odnosi [1][2][3][4][5]

Pripreme za osnivanje grupe za sistemsko inženjerstvo počele su 1967. godine, kada je poslije Lončarića u ožujku kao prvi zaposleni došao Marijan Andrašec. Osnovno poduzeće je 1967. još nosilo naziv Institut za naftu, a 1968. preimenovano je u Industroprojekt -Zagreb (INZ). Ubrzo je zaposleno još ljudi, pojedinačnim dogovorom s Lončarićem, ili kasnije putem natječaja i provjere kroz testove. Grupa je vremenom prerasla u odjel, a odjel je vremenom prerastao u OOUR (Osnovna organizacija udruženog rada) s vlastitim financiranjem. Na kraju je taj dio prerastao u Sektor s nekoliko OOURa.

Lončarić u svojim bilješkama [5] piše: „OOUR za sistem inženjering je lijepo napredovao. Počeo je da sam prvo bio sam, ali je brzo rastao. Uspio sam pribaviti toliko poslova da smo imali znatne viškove – dodatne plaće. Usput je rastao broj ljudi, u maksimumu ih je bilo oko 60. Uz tek malog broja radnika srednje stručne spreme, sve su to bili mladi ljudi završenog fakulteta (kemija, fizika, matematika, informatika, ekonomija). U početku složni mladi ljudi željni znanja i uspjeha.“, *konac citata*.

Prema sjećanjima [1][2][3], u periodu do početka 70tih došli su: Josip Lončarić, Marijan Andrašec, Zvezdana Gregorina, Žarko Prnić, Mladen Einspiegel, Vlasta Čizmić, Franjo Čataj, Milan Badovinac, Filip Čorlukić, Luka Omejec, Ratimir Kvaternik, Jasna Domes, Vilko Žiljak, Višnja Čović, Vedrana Skračić, Eduard Beer, Igor Semenov, Igor Dragičević, Ivo Jeričević, Lavoslav Palinkaš, Damir Vekić, Antun Brumnić, Zlatko Pintarić.

Mladi ljudi su tada formirali svoje živote, te su česta bila vjenčanja, zaruke, rođenja djece, useljavanja u stanove, rođendani, imendani i sve što je moglo biti povod za malu feštu i druženje. Vladao je radni entuzijazam i vedra atmosfera. Nakon nekoliko godina neki su odlazili, te je i to bio razlog za oproštajno druženje. Lončarić je uveo običaj slanja razglednica s putovanja, te su to svi činili; primjeri iz arhive [1]:



Sl.3 Razglednica Lončarić, 1967.,
Institut za naftu



Sl.4 Razglednica Lončarić, 1968.,
Industroprojekt

U rujnu 1970-te Marijan Andrašec je otišao iz Industroprojekta u BASF u Ludwigshafen am Rhein, te je oproštajno druženje održano 03. 09. 1970. u Sv, Ivanu-Zelini u vikendici porodice Žiljak [1].



Sl.5 Vilko Žiljak domaćinski kuha kavu



Sl.6 Druženje u vikendici obitelji Žiljak
03.09.1970.

Prijateljski odnosi ostali su i nakon nečijeg odlaska iz grupe, te su održavani kontakti i druženja [1].

Početkom 70tih, unatoč dobre situacije u poduzeću, svi su mnogo naučili i sazrijevali su, nekoliko ljudi je otišlo tražeći nove izazove i prilike za razvoj. Prema sjećanju otišli su: Mladen Einspiegel, Luka Omejec, Ratko Kvaternik, Višnja Čović, Vlasta Čizmić, Filip Čorlukić, Žarko Prnić.

Kada je Industroprojekt spojen sa INA Inženjeringom u INA Projekt promijenila se politika tvrtke, te je područje sistemskog inženjerstva polako smanjivalo aktivnosti. Nakon prestanka postojanja, zaposlenici su se godinama sastajali na godišnjicu



Sl.7. Kolege Einspiegel i Omejec najavljaju posjetu Andrašecu u Ludwigshafen



Sl.8 Čestitka „Sistemskog inženjeringa“ Andrašecu u Ludwigshafen za Novu Godinu 1970./1971

prestanka zajedničkog rada i postojanja.

Zanimljiv je bio odlazak Višnje Čović, koja je u Industroprojekt došla 1968. nakon diplome na Tehnološkom fakultetu u Zagrebu. Kod preuzimanja programa PACER za modeliranje procesnih postrojenja pomagali su nam suradnici profesora Shannona sa Purdue University. Jedan od njih, Stanley A. Gembicki, zaljubio se u Višnju, veza je postala ozbiljna, te je Višnja otišla s njim u SAD i udala se za njega.

Računalni programi i oprema[1][2][3][4][5]

Rad na računalnom modeliranju koncem 60tih bio je jako ograničen skromnim kapacitetima računala, a posebno u slučaju male grupe unutar projektne organizacije. Projektanti su tada računali pomoću logaritamskih računala-„šibera“ i pomoću mehaničkih i elektromehaničkih računala.



Friden EC-132 Electronic Calculator

Sl.9 Stolno računalo FRIDEN

Budući da su obavljane pripreme za rad na projektu Tvornica umjetnih gnojiva u Kutini, računalo nam je bilo potrebno za računanje mjernih prigušnica, računanje kod izjednačavanja mjernih podataka i računanja korištenjem računalnih modela.

Tada je nabavljeno stolno elektronsko računalo FRIDEN, koje je imalo ekran sa prikazom svih brojeva.

Nama je bila važna funkcija vađenja drugog korijena, koja je znatno ubrzavala i olakšavala proračun i kontrolu ispravnosti mjernih prigušnica na postrojenjima u Kutini. Stroj je bio mnogostruko skuplji od mehaničkog računala, te se na Radničkom savjetu burno raspravljalo o njegovoj nabavi, jer „s tim strojem može istovremeno raditi samo jedna osoba, a s dvadeset mehaničkih računala dvadeset ljudi“.

O najmu i nabavljanju računala Lončarić piše [5]:

„Ustvari je prvi stroj koga sam, negdje 1968. godine (ako me sjećanje ne vara) nabavio da radimo tehničke proračune, prvenstveno za procesnu industriju, bio “Li-brascope General Precision”, LGP 21. Koliko se sjećam originalno je služio za vojne svrhe u USA. Kad se vojska snabdijela boljim računalima, LGP21 se pojavio na komercijalnom polju. Bio je relativno jeftin i time dostupan i mome odjelu. Za njega je programe radio najviše naš kolega Ratko Kvaternik, tada mlad fizičar, dok su se druge kolege teže upuštale u rad s ovim strojem. Programi i podaci unosili su se pomoću papirne trake, a bilo ga je teško programirati za naše primjene. Negdje 1970 godine počeo sam razgovore da si nabavimo neko “pravo” računalo. Bilo je više ponuda, no ponuda IBM-a mi je najviše odgovarala, jer su tad davali stroj na leasing. Neko je vrijeme trebalo da ishodim da nam poduzeće odstupi prikladne prostorije, a naš je OOUR morao urediti prostor (dvostruki pod, potrebni priključci, a zatim nabaviti poštenu klimu uređaj). Konačno određeni broj mojih službenika morao se školovati, a glavni instruktor bio je ing Ratko Gospodnetić, veoma simpatičan čovjek. Vježbe su se provodile na istom takvom stroju na ETF-u i u Industrogradnji. Pripremni radovi oduzeli su nešto vremena, a kad je stigao IMB1130, pozvali smo upravu poduzeća da otvori računski centar i kolege ostalih odjela da prisustvuju maloj svečanosti. Početna konfiguracija imala je 8 kWords, raspolagala je s dvije bušilice kartica. Kasnije smo postepeno, kad smo mogli zaraditi više novaca, povećali memoriju na 32 kWords, a zatim smo dodali diskovske jedinice, prvo 216 kWords, a zatim i 512 kWords. Stroj je montiran početkom 1971 godine, a radio je sve do početka 1975, kad sam otkazao najam. Namjeravao sam pribaviti drugi, puno veći stroj.“, *konac citata*.

Dnevna provjera i usklađivanje mjernih podataka na složenom sustavu, kao što je Kutinska tvornica zahtijeva posebne metode i računalne mogućnosti. Lončarić je informacije o metodi najmanjih kvadrata s ograničenjima, kojom se to rješava prenesao iz literature 1969. Proveli smo prilagodbu za njeno korištenje u tvornici dušičnih gnojiva u Kutini. Matematski dio rješavao je Žarko Prnić, a modelnu prilagodbu na sustav u Kutini Marijan Andrašec.

Prema sjećanjima Žarka Prnića [2]; Metoda najmanjih kvadrata s ograničenjima:

„Mjerenja su se najprije uvela u geodeziju gdje se je suočilo s problemom pogrešaka. Ruđer Bošković je 1757. prvi spoznao da su pozitivne pogreške jednako vjerojatne negativnim i postavio uvjet da:

1. Zbroj korekcija treba biti jednak nuli.

2. Zbroj svih korekcija bude minimalan.

Pokušalo se je uvesti ove uvjete u mjerenje, ali efikasan algoritam nije nađen pa je problem i dan danas aktualan. Lagrange je 1805., a možda prije njega Gauss, uveli su metodu najmanjih kvadrata koja se pokazala efikasnom.

Razvojem industrije javila se potreba za mjerenjima i korekcijom mjerenja.

Neka je tehnološki sustav opisan s n varijabli $y_1, \dots, y_n$ koje zadovoljavaju sistem od k linearnih jednačbi

$$e_j = a_{j1} y_1 + a_{j2} y_2 + \dots + a_{jn} y_n = 0, \quad j=1, 2, \dots, k$$

Uvedimo pravokutnu matricu $\mathbf{A}$ vektor $\mathbf{y}$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kn} \end{bmatrix}, \dots \mathbf{y}^T = (y_1, \dots, y_n)$$

pa gornji sistem jednačbi pišemo u obliku

$$\mathbf{A} \mathbf{y} = 0$$

Provedimo mjerenja varijabli y'_i koje su podložne slučajnim greškama. Kako su mjerenja nejednake preciznosti, svakom mjerenju y'_i pripisujemo težinu ω_i . To je ključni korak metode. Povjerenje u mjerenja izražavamo dijagonalnom matricom $\mathbf{W}$ čiji su elementi

$$\omega_j = \frac{1}{\sigma_j^2}$$

Drugim riječima minimiziramo

$$\varphi = \sum_{j=1}^n \omega_j (y_j - y'_j)^2$$

Primjenjujemo Lagrangeovu metodu dodavanjem nepoznatih faktora λ_j pomnoženih s e_j .

Minimiziramo, dakle

$$\varphi = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \omega_j (y_j - y'_j)^2 + \sum_{i=1}^k \lambda_i (a_{i1} y_1 + a_{i2} y_2 + \dots + a_{in} y_n)$$

Minimum veličine φ dobivamo dobrim izborom nepoznanica $y_1, \dots, y_n$ i $\lambda_1, \dots, \lambda_k$.

Minimum se postiže kad su parcijalne derivacija po svim nepoznanicama jednake nuli, dakle

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y_j} = \omega_j (y_j - y'_j) + \sum_{i=1}^k \lambda_i a_{ij} = 0, \dots, j=1, 2, \dots, n$$

i

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \lambda_j} = \sum_{i=1}^k a_{ji} y'_i = 0, \quad i=1, 2, \dots, k$$

Nakon malo matematike dobivamo izraz za ispravljena mjerenja

$$\bar{\mathbf{y}} = \mathbf{y}' - \mathbf{W}^{-1} \mathbf{A}^T (\mathbf{A} \mathbf{W}^{-1} \mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{A} \mathbf{y}, \text{ konac citata.}$$

U svojim bilješkama Lončarić piše:

„Svojom orijentacijom na matematičko programiranje procesnih industrijskih procesa bili smo na tom području daleko najnapredniji stručni skup priznat u Jugoslaviji. Surađivali smo s dosta svjetskih instituta, čak i s Novosibirskom.“

„Uspio sam dovući Amerikance, dobili smo skup programa za matematičku simulaciju rafinerijskih ili drugih kemijskih procesa, program PACER razvijen na sveučilištu Dartmouth. Kod nas su boravila dva asistenta, da nas uvedu u način rada. Radi svoje veličine PACER se nije moga postaviti na IBM 1130, već smo radili na velikom računalu u INI.“, *kraj citata*.

Svi suradnici su prošli obuku iz korištenja programskog jezika FORTRAN na Elektrotehničkom fakultetu kod Ratka Gospodnetića, a Ratko Kvaternik je osposobljavan za korištenje programskih strojnih jezika. Pratili smo literaturu, a prva nama dostupna knjiga o modeliranju je bila „D.M. Himmelblau, K. B. Bischoff, Process Analysis and Simulation, Deterministic Systems“ [17].

Za modeliranje procesnih sustava nije bilo potrebnih alata, te je iskorištena prilika, što je uspostavom kontakta sa prof. Shannonom sa Purdue University omogućeno korištenje programa PACER, koji je u to vrijeme predstavljen i stavljen sveučilištima na raspolaganje. Nisu još postojala iskustva u industrijskoj primjeni, te je projekt u Kutini bio i za američku ekipu zanimljiv. Treba naglasiti da se radilo o pionirskom pothvatu, PACER je bio prvi takav program, te su se iza toga, nastavno na taj rad, razvili drugi, složeniji programi.

O programu PACER je u [16] navedeno (*prijevod citata*):

„Profesor Paul T. Shannon na Sveučilištu Purdue razvio je široko publiciran računalno potpomognuti program za projektiranje kemijskih procesa pod nazivom PACER (Process Assembly Case Evaluator Routine), a o njemu je izvješteno 1963. godine. Postao je dostupan odjelima kemijskog inženjerstva na sveučilištima nakon instruktivne radionice PACER na Dartmouth Collegeu, od 23. do 28. travnja 1967., kojoj je prisustvovalo 20 profesora kemijskog inženjerstva iz Sjedinjenih Država i Kanade. PACER je uglavnom bio modularni izvršni program za usmjeravanje izračuna bilance materijala i energije u stacionarnom stanju za dijagrame toka koji su mogli uključivati reciklirajuće tokove. PACER je imao ograničenu biblioteku modela jedinica-operacija i nedostajao mu je paket za procjenu fizičkih svojstava. Međutim, bio je otvorenog tipa, tako da su korisnici mogli dodavati modele rada i svojstava.“, *kraj citata*.

Kod uvođenja programa pomagao je P. Shannonov suradnik Stanley Gembicki, koji je boravio neko vrijeme u Zagrebu. Stanley je cijeloj ekipi ostao u dobroj uspomeni po svojoj jednostavnosti i dobronamjernom ponašanju. Kao što je ranije prikazano, Stanley i naša kolegica Višnja Čović zbližili su se, te su se i vjenčali. Obzirom na okolnosti, nekoliko riječi o bračnom paru Gembicki [13][14][15]. Višnja je u SAD, unatoč diplome iz Zagreba, krenula na studij inženjerstva u Dartmouth University-Thayer School of Engineering, gdje je 1973. godine diplomirala kao jedna od prvih žena u toj struci [13]. Kasnije je radila u svjetski poznatoj kompaniji UOP.



Sl.10 Višnja Gembicki, 1973. na studiju [13]



Sl.11 Bračni par Gembicki u mirovini na Floridi <https://fortmyers.floridaweekly.com/articles/and-the-award-goes-to/>, preuzeto 23. 03. 2015

Stanley P. Gembicki je neko vrijeme radio u konzultantskoj tvrtki Digital Systems Corp., koju je osnovao P. Shannon, te je 1972. prešao u UOP. Vremenom se razvio u struci istaknutog inženjera, koji je odlikovan i na kraju bio na vodećoj poziciji u UOP [14][15]. U 2025-toj je kod pripreme ovog rada uspostavljen kontakt sa Gembickima, koji su u mirovini i žive na Floridi, te su bili dragocjeni za upotpunjavanje informacija o događanjima koncem 60tih.

Program PACER, iako vrlo koristan u početnim radovima, bio je u razvojnoj fazi, te su odmah pokrenute aktivnosti na njegovom poboljšavanju, pa čak i zamjeni. Žarko Prnić je razvio novi program SOP, koji je bio znatno složeniji i upotrebljiviji za procesne simulacije, te je kasnije korišten i na Rafineriji u Bosanskom Brodu [7][8], a PACER je napušten u upotrebi.

Profesor Paul Shannon preminuo je 2012. godine u 101. godini života.

Modeli i simulacije primijenjeni u navedenim projektima bili su deterministički, te nisu bili primjenljivi na stohastičke procese. Lončarić je, nastojeći proširiti aktivnosti na druge projekte pokrenuo rad na stohastičkim procesima, te je na tom području 1970te zaposlio Vilka Žiljaka, koji je idućih godina razvio to područje i radio na čitavom nizu projekata, koji nisu bili izravno povezani s gradnjama u Kutini i Bosanskom Brodu.

Kada je koncem 1970te Industroprojekt nabavio računalni stroj IBM1130, Žiljak je preuzeo upravljanje tim računalnim centrom.

Rad na postrojenju Tvornice umjetnih gnojiva – Kutina [1][2] [4][5] [9][10][11][12]

Gradnja tvornice umjetnih gnojiva - Kutina (TUG-Kutina) bila je 1968. pred završetkom, te su provedene prve tehničke provjere od strane institucija i formiranih zajedničkih komisija. Uočene manjkavosti u izvedbi, prvenstveno vezano uz sigurnost, vatrogasne propise, sanitarne propise, kvalitetu montažnih radova i sl. uklanjale su se u hodu. Manji nedostaci uklanjani su kasnije, kada je tvornica već proradila.



Sl.12 Parkiralište pred upravnom zgradom krajem 60-tih [10]



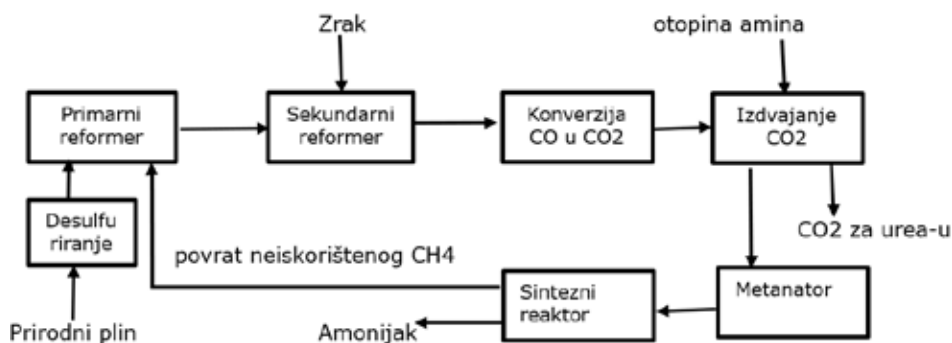
Sl.13 Gradnja TUG u Kutini [10]



Sl.14 Tehnički pregled postrojenja – Zapisnik zajedničke komisije [9]

Trebalo je provesti provjeru funkcionalnosti postrojenja, a posebno parametara garantiranih od strane Foster Wheelera, radom kroz nekoliko dana s punim kapacitetom uz praćenje svih garantiranih veličina kao kapacitet, kvaliteta, potrošnja energije, iskorištenje sirovine i slično. Procedura se označavala kao „test-run“ i bila je dobro opisana u ugovorima o gradnji. Praćenje rada testiranog postrojenja nezavisno su organizirali partneri: General Contractor – Foster Wheeler i TUG Kutina – u izgradnji, te su rezultati na kraju uspoređivani i obrazlagani na finalnom sastanku. Zapisnik o provedbi tog postupka nažalost nije sačuvan u TUG Kutina. Prvi „test-run“ obavljen je na postrojenju za proizvodnju amonijaka kapaciteta 650 tona dnevno, kao osnovi za sva proizvodna postrojenja: UREA, KAN, NPK.

Postrojenje za proizvodnju amonijaka u Kutini 1967. - Postupak Foster Wheeler
(Pojednostavljena shema postupka)



Postrojenje se sastoji od niza katalitičkih reaktora, apsorpcijske kolone, stripera za CO₂, kompresora, te različite druge opreme; prisutna je visoka temperatura i pritisak. Radi opasnosti od difundiranja vodika i samozapaljenja, sigurnosne mjere su na najvišoj razini. Mjerenja protoka na vodovima između pojedinih reaktora su teško provediva, te se mjere samo izlazne veličine, koje omogućuju bilanciranje prema sumarnoj jednadžbi sinteze amonijaka:



Obzirom da se NH₃ koristi na postrojenjima UREA, KAN i NPK, te se mjeri i količina u skladištu, cjelovita bilanca sustava omogućuje kontrolu bilance amonijaka, ugljika i dušika. Bilanca ugljika je važna, jer se odnosi na ulazni prirodni plin, koji se plaća dobavljaču.

Gradnju tvornice vodio je inženjer Ivan Čepelnik, postrojenje amonijaka Duško Preradović, postrojenje urea Eduard Beer, postrojenje NPK Ante Martinović, analitički laboratorij Zlata Martinović, Odjel za obračun proizvodnje Rozalija Peić Cvok.

TUG Kutina je ugovorila s Industroprojektom, koji je obavljao niz projektnih i inženjerskih radova na gradnji, da organizira praćenje „test-run-a“ postrojenja proizvodnje amonijaka. Ugovoreno je i osnivanje centralne službe za dnevno praćenje proizvodnje ukupnog sustava, bilanciranje i izvještavanje Uprave. Posao je preuzeo Odjel za sistemsko inženjerstvo: kontrola ispravnosti dimenzioniranja, ugradnje i rada protočnih mjerila, dnevno snimanje podataka za izradu ulazno-izlazne bilance, usklađivanje podataka pripremljenom metodom, kontrola podataka na grube pogreške pomoću matematskog modela procesa, izrada dnevnih izvještaja za TUG, izrada konačnog izvještaja za „test-run“ postrojenja amonijaka, rasprava na finalnom sastanku s General Contractorom- Foster Wheelerom.

Podjela zadataka:

- Zvezdana Gregorina: kontrola ispravnosti dimenzioniranja, ugradnje i rada protočnih mjerila
- Marijan Andrašec i Mladen Einspiegel: dnevno snimanje podataka za izradu ulazno-izlazne bilance
- Žarko Prnić: usklađivanje podataka pripremljenom metodom
- Marijan Andrašec: kontrola podataka na grube pogreške pomoću matematskog modela procesa, izrada dnevnih izvještaja za TUG, izrada konačnog izvještaja za „test-run“ postrojenja amonijaka
- Josip Lončarić: rasprava na finalnom sastanku s General Contractorom- Foster Wheelerom.

Kod praćenja „test-run-a“ postrojenja amonijaka, nismo imali kompjutor za računanja na lokaciji, te je kolega Prnić morao inverzije matrica (5x5) svakog dana u Kutini provoditi ručno na računalnom stroju FRIDEN. Stalno 24satno praćenje rada postrojenja, te snimanje i obrada podataka Industroprojektov malobrojan tim savlađivao je uz velik napor, nespavanje i puno mladenačkog entuzijazma.

Na postrojenju amonijaka bila je korisna dobra suradnja sa upraviteljem postrojenja Duškom Preradovićem i njegovim pomoćnikom Sabrijom Lampom. U suradnji sa Rozalijom Peić Cvok napravljene su procedure i alati za rad centralne službe za dnevno praćenje proizvodnje ukupnog sustava, bilanciranje i izvještavanje Uprave.

Kasnije su rađeni modeli za postrojenje amonijaka korištenjem programa PACER, koji je na početku bio upotrebljiv, ali se pokazao nedovoljno precizan, te je tek kasnijim radom Žarka Prnića stvoren simulacijski program SOP podoban za takvu namjenu.

Rad na postrojenju Rafinerije nafte – Bosanski Brod[1][2][5][6][8]

Početak aktivnosti u Rafineriji nafte u Bosanskom Brodu u smislu modeliranja bio je nešto kasnije od radova u Kutini. Tamo je poslove vezane uz instrumentaciju obavljao Filip Čorlukić, koji je već ranije radio sa Lončarićem u Azotari Goražde. Od novijih članova u Bosanskom Brodu najviše su bili aktivni Franjo Čataj i Milan Badovinac. U kasnijoj fazi uključila se Jasna Domes, a nakon toga je s programom SAP simulaciju radio Eduard Beer [8].

Rad u Rafineriji najopsežnije je opisao Filip Čorlukić u svojoj knjizi sjećanja, te se ovdje iznose isjecci iz tog teksta:

„Kad sam došao u poduzeće Sekardi mi je zadovoljno rekao da mi je osigurao izvrstan posao nadzornog organa na izgradnji nove rafinerije u Bos. Brodu. Ukupan nadzor je dobilo zagrebačko poduzeće Ingradinvest, a budući da oni nisu mogli naći stručnjaka za instrumentaciju obratili su se njemu, pa im je Industroprojekt u za nas vrlo povoljnim Ugovorom iznajmio mene. Da bih stalno mogao imati dnevnicе, svaki mjesec trebam doći u Industroprojekt, formalno radi podnošenja izvještaja i tada uzeti novi putni nalog po kojemu imam i pravo na naplatu putnih troškova vlastitim automobilom. Prema Ingradinvestu nemam nikakvih obveza, a sva novčana primanja primam na blagajni Industroprojekta.

U Bosanskom Brodu sam počeo raditi početkom svibnja 1967. g. Došavši u rafineriju javio sam se tehničkom direktoru Đoki Buriću, a on me je proveo kroz radišće, gdje su radovi bili u punom zamahu. Zatim smo zajedno otišli na sastanak radne grupe, gdje sam upoznao predstavnika talijanskog isporučitelja opreme gospodina Colomba, predstavnike montažera opreme, šefa Ingradinvestove nadzorne grupe, a tu je bio i moj poznanik iz ATM-a inženjer Božo Vučićević. On je bio šef grupe ATM-ovih montažera instrumentacije. Dogovorili smo se da svoj ured smjestim u njihovoj baraci koja se nalazi ispred glavnog ulaza u rafineriju. U rafineriji je radio i inženjer Drago Milošević, kojega sam poznavao još iz vremena mojih gimnazijskih dana u Derventi, a moj gimnazijski kolega inženjer Nikola Milošević bio je predsjednik općine u Bos. Brodu. Prigodom mojih svakomjesečnih dolazaka u Zagreb, nakon što sam uzeo novi putni nalog i dnevnicе, obično sam se jedno vrijeme zadržavao s kolegama iz Celprojekta i kod Jože Lončarića. Jožu je zanimalo kakva je situacija u rafineriji i da li bih mu mogao osigurati posjetu, jer bi on mogao ponuditi jedan američki kompjuterski program za praćenje proizvodnje. Kad sam se vratio u rafineriju razgovarao sam s tehničkim direktorom Đokom Burićem. On je odmah pokazao naglašeno zanimanje za taj suvremeni način praćenja proizvodnje, pa je veza brzo uspostavljena. Potpisan je ugovor, a Joža je odredio inženjere Milana Badovinca i Franju Čataja da počnu sa teh-

nološkim i energetskeim snimanjem rafinerijskih pogona, a rafinerija je trebala odrediti stručnu osobu koja će preuzimati taj posao. Instrumentacija u postojećim pogonima bila je već zastarjela, a organizacija održavanja neodgovarajuća. Za nova postrojenja rafinerija je uposlila tri mlada inženjera početnika, koji su sa mnom pratili izgradnju i učili, pa ni jedan od njih još nije bio pogodan za rad s Industroprojektivim inženjerima. Stoga sam smatrao da bi za taj posao najviše odgovarao Inženjer Drago Milošević. Njega je par godina ranije rafinerija poslala na tromjesečnu instrumentarsku praksu u Njemačku, da bi ga po aktualnoj potrebi kasnije odredili za šefa energane.“

„On je nadprosječno dobro poznao ne samo energetiku i instrumentaciju, nego i cio proces proizvodnje, pa sam tehničkom direktoru njega predložio da on od strane rafinerije preuzme posao s Industroprojektom. Dragi o tomu nisam ništa govorio. To je i usvojeno, a za Dragu je to bio izlazak iz slijepe ulice.“

„Od Jožinih inženjera samo je još Badovinac redovno odlazio u rafineriju, pa smo se dogovorili da skupa putujemo njegovim Wartburgom. Na žalost prigodom jednog ulaska u Brod on je izgubio kontrolu vozeći preko hrpe pijeska, skrenuo je preko jarka, udarili smo u debelo drvo i automobil se prevrnuo na krov tako da je kabina slobodno visila između dvije obale jarka. Izišao sam kroz prozor, Milan je glavom udario u volan pa je bio u kratkoj nesvjestici. Mi smo srećom dobro prošli a automobil je pretrpio totalnu štetu. Jedna djevojka nas je svojim automobilom odvezla u rafineriju. Ja sam se javio tvorničkom liječniku, pregledao me je i rekao da mu se javim ako budem imamo bilo kakvih teškoća. Kad sam u subotu došao u Zagreb pa se u kupaoni skinuo i pogledao u ogledalo, vidio sam puno modrica po tijelu. Od tad sam putovao vlakom.“

„Posao nadzornog organa je bio dovršen, ali sam i dalje povremeno odlazio u Bos. Brod u vezi Jožinih planova uvođenja kompjutorskog praćenja tehnoloških procesa. To se preko Fonda za naučni rad proširivalo i na papirni industriju, pa sam u vezi toga krajem siječnja boravio u Maglaju i Banja Luci. Sekardi za to nije bio zainteresiran, a budući da mi nije osigurao neki drugi posao rekao mi je da organizacijski prelazim u Sistem inženjering kod Jože Lončarića.“

„Od trojice mladih inženjera s koji su skupa sa mnom od početka pratili montažu i stjecali praksu, dvojica su bili izvrsni i kao ljudi, dok je jedan bio izrazito podao. On je želio postati šef pa je napisao pismo tehničkom direktoru u kojemu tvrdi da rafineriji ne trebaju Lončarićeve usluge i mene optužuje da namještam Industroprojektu posao koji bi mogao obaviti sarajevski Energoinvest. To sam lako riješio i skupa s Jožom kod komercijalnog direktora Đurđevića dogovorio produženje Ugovora. Završetkom posla u Brodu trebalo je razmisliti što dalje. Poslovi sistemskog inženjerstva kod Jože Lončarić nisu imali one dinamike na koju sam navikao, pa sam se s Bubnjem sam dogovorio da prijedem u odjel koji je specijaliziran za celulozu i papir, koji je već intenzivno radio na tehnološkom projektiranju drvenjače u Fužinama.“, *konac citata.*

Osim stacionarnog – determinističkog modeliranja programom PACER, po uzoru na rad u TUG Kutina, Odjel za matematičko modeliranje velikih sistema vođen Vilkom Žiljakom je, služeći se stohastičkim postupcima i modelima, za Rafineriju u Bosanskom Brodu 1971. rješavao optimalno vođenje procesa za povećanje randmana na željenom gorivu u situaciji promjenljive ulazne nafte i tržišnih potreba.

Unatoč nastojanja Lončarića da djelovanje proširi na druge tvornice u tom području, nije bilo većeg uspjeha, a i rad s Rafinerijom je postepeno prekinut.

Rad na drugim projektima u periodu do 1973. godine [3][5]

Vilko Žiljak se zaposlio u Industroprojektu 1970te godine i odmah se započeo baviti stohastičkim procesima i njihovom simulacijom. To su bili prije svega projekti vezni uz transportne probleme (pomorski transport, transport naftovodom), probleme skladištenja (gnojiva u Kutini, koks u Bakru, rezervoarski kapaciteti u Omišlju i u rafinerijama), optimiranje randmana rafinerije kod promjenljive sirovine i tržišta. Osnovan je „Odjel za matematičko modeliranje velikih sistema“, te je zaposleno nekoliko mladih ljudi: Mira Filipović, Draguška Pivac, Nada Brigljević. Kasnije su uključeni suradnici različitih profila.

Modeli stohastičke simulacije su definirani kao posve nova matematička struktura, a potom pisani kao programi u Fortranu u „Odjelu za matematičko modeliranje velikih sistema“. Programi su bili podređeni brzini računala. Kompleksnost stohastičkog opisa ovisio je o modelima višestruke simulacije različitih povezivanja. Izvođenje programa i trajanje određeno je matematičkim kompleksnostima simulacije na računalima; ICL 192 (INA), IBM 360, i 370 (Luka Rijeka).

U „Odjelu za matematičko modeliranje velikih sistema“ razvijeni su i novi postupci prikazivanja ogromnog broja numeričkih podataka nastalih helikopterskim snimanjem radijacije. Rezultat su bile grafičke karte a koristile su za određivanje naftnih ležišta u Slavoniji. Bili su to 3D prikazi sekcija nekog volumena duboko pod zemljom prikazani kao ispisi na pisačima grafičke karte veličine 3 x 3 m2 s informacijama o nafti. Ista logika i prikaz rudače pod zemljom primijenjena je u određivanju boksita pod zemljom. Podaci su dobiveni jezgrovanjem i analizom boksita duboko pod zemljom.

Grupa se bavila novim projektima, koji nisu bili direktno vezani uz gradnju i pokretanje Tvornice umjetnih gnojiva u Kutini i Rafinerije nafte u Bosanskom Brodu. Za Rafineriju u Bosanskom Brodu 1971. je rješavano optimalno vođenje procesa za povećanje randmana na željenom gorivu u situaciji promjenljive ulazne nafte i tržišnih potreba.

U projektu realizacije naftovoda, za skladišta nafte u Omišlju i transport nafte s tankerima od 80.000 do 160 tisuća tona, simuliran je njihov put od Azije i Afrike, te sve do određenja kapaciteta rezervoara budućeg terminala za prihvat nafte u rafinerijama. Tankeri dolaze s raznih strana, različitih karakteristika nafte, bez dozvoljenog miješanja. Modelima i pripadnim programima su definiranim rezervoari u Omišlju na Krku te u rafinerijama u Sisku, Pančevu, u Mađarskoj i Sloveniji.

Isti stohastički, matematički modeli generatora nizova slučajnih veličina primijenjeni su za optimalizaciju u projektima: skladištenja u Tvornica umjetnih gnojiva Kutina; luka na moru za rasute terete u Bakru i pristan za koksaru Bakar.

Vilko Žiljak je napustio Industroprojekt 1976. godine.

Zaključno

Provjera mjernih podataka i njihovo usklađivanje pri puštanjem u rad TUG Kutina i Rafinerije nafte Bosanski Brod primjenom složenih matematskih postupaka i modela u to je vrijeme bila potpuna novina u prostoru bivše Jugoslavije. Sistemsko inženjerstvo razvijano u projektnoj organizaciji Industroprojekt je doprinijelo stvaranju prve generacije mladih stručnjaka, koji su u svojem kasnijem razvoju odigrali važnu ulogu u modernizaciji inženjerskih postupaka i razvoju struke u Hrvatskoj.

Svjedočenja učesnika u projektima iz tog vremena s iskustvom u različitim geografskim sredinama pokazuju da su početni koraci i procesi koncem 60tih u domaćem okruženju, sveučilišnom i industrijskom okruženju u SAD i industrijskom okruženju u tadašnjoj SR Njemačkoj, bili vrlo slični [1][2][3][14][15]. Zaključeno je da su glavni uzroci dosta skromnih početaka bili: nedovoljna razvijenost programskih alata, računala nedovoljne snage, konzervativan pristup industrije i inženjerske struke, zatvorenost struka prema interdisciplinarnom radu [14][15].

Promatrano na taj način, iskorak grupe iz Industroprojekta, uz resurse, koji su u odnosu na slične grupe u inozemstvu bili zanemarivi, čini se još značajnijim i važnijim. Raspravom unutar postojećih svjedoka zaključeno je da naša velika prednost bila interdisciplinarnost unutar organizacije u kojoj se sve odvijalo, a posebno unutar Odjela za sistemsko inženjerstvo [1][2][3].

Literatura

- [1] Sjećanja Marijan Andrašec
- [2] Sjećanja Žarko Prnić
- [3] Sjećanja Vilko Žiljak
- [4] Fotografije i dokumenti iz arhiva Marijan Andrašec
- [5] Arhiva obitelji Lončarić (sinovi Boran i Ivan)
- [6] Filip Ćorukić, Moja sjećanja na minulo stoljeće, biblioteka Vallis Aurea, knjiga dvadesetišesta, urednik Dragutin Dumančić, naklada CERES, 2015, pogl. 24. Rafinerija nafte Bosanski Brod, str. 385 – 389.
- [7] A.Brumić, Ž.Prnić, ostali; SOP - Sistem programa za simulaciju procesa na digitalnom računalu, *Zbornik radova JUREMA 1975, svezak III, Računala u industriji*, str. 99-103, Zagreb, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, 1975
- [8] E. Beer, A.Brumić, Ž.Prnić, ostali; Praktična primjena sistema programa SOP pri simulaciji postrojenja platforming, *Zbornik radova JUREMA 1975, svezak II, Procesi – Mjerenja – Automatika*, str. 69-76, Zagreb, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, 1975
- [9] Arhiva tvornice Petrokemija Kutina d.d.
- [10] Hrvatski državni arhiv, Zagreb
- [11] Stjepan Leaković, Predstavljamo vam: Petrokemija d.d. – tvornica gnojiva -Kutina, *Kemija u industriji* 60(10) 520 – 534 (2011)
- [12] N. Zečević, A. Jukić, 100 godina industrijske sinteze amonijaka – najnovija postignuća, Međunarodni znanstveno-stručni skup 30. 05. 2019, Kutina; *Kemija u industriji* 68(5-6) (2019) str. 225-234
- [13] Dartmouth Engineering - Thayer School, Women at Thayer: Historic Milestones, Visnja Gembicki GRAD'73 Th'73 (pictured) and Susan Liu Yang Th'73 become the first women to earn MS degrees in engineering, just one year after coeducation is officially adopted at Dartmouth. <https://engineering.dartmouth.edu/news/women-at-thayer-historic-milestones>, preuzeto 23. 03. 2025
- [14] Purdue University, College of Engineering, Distinguished Engineering Alumnus Award to Stanley A. Gembicki, 1999, https://engineering.purdue.edu/Engr/People/Awards/Institutional/DEA/DEA_1999/gembicki, preuzeto 23. 03. 2025
- [15] Komunikacija sa Stanley A. Gembicki i Višnja Gembicki 2025.
- [16] J. D. Seader, Warren D. Seider, History of CACHE and its Evolution, *Computers in Chemical Engineering Education*, Editor Brice Carnahan, 1996 by CACHE Corp., <https://cache.org/sites/default/files/History-of-CACHE-1969-1994.pdf>, preuzeto 23. 03. 2025.
- [17] D.M. Himmelblau, K. B. Bischoff, *Process Analysis and Simulation, Deterministic Systems*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1968

Marijan Andrašec, Žarko Prnić, Vilko Žiljak

PROCESS MODELLING AS A SUPPORT FOR BUILD-UP AND COMMISSIONING OF THE FERTILIZER FACTORY IN KUTINA AND CRUDE OIL RAFINERY IN BOSANSKI BROD; 1967 - 1973

Summary In the late 1960s, projects were launched to build large production systems for the chemical and oil processing industries. Systems of this size and complexity, equipped with modern measuring and control instrumentation, had not existed in this region before. Daily monitoring of production, by reliably determining material and energy balances in a networked system of plants in the presence of return flows and unexpected disturbances, as well as inaccuracies and failures of individual measuring instruments, was a great challenge. At that time, the first literature appeared that explained the idea and procedures of mathematical modeling of such processes and simulation of their operation using computers; a professional field was formed under the then name of “systems engineering”. Practical application in plants has not yet been achieved. In 1967, the first such group was established in the Industroprojekt project organization in Zagreb, which worked on construction, commissioning and improvement projects at the Kutina Fertilizer Factory and the Bosanski Brod Oil Refinery until the early 1970s. They collaborated on the practical application of the first modeling program in collaboration with a group from the USA, and later developed their own simulation program. During these few years, other ideas for applying modeling, as well as the application of probability theory and series mathematics, to industrial processes and traffic systems were also developed. Despite successful work and development, the surrounding circumstances were very unfavorable for stable work and development. With the reorganization and merger of Industroprojekt and INA-Inženjering after 1975, relations changed, and activity in the field of system engineering and

simulation within that organization was on very low level. The members of that team had acquired valuable knowledge and experience through their previous work, and were very successful in their new environments, and some achieved notable academic careers. The paper describes the activities in the period 1967-1974 according to the author's memories and rare written sources. The events in that period and in a related structure in the USA and Germany according to the author's testimony are described and compared with the domestic situation.

Keywords: process modeling, systems engineering, Kutina Fertilizer Factory, Bosanski Brod Oil Refinery, PACER, Josip Lončarić, Industroprojekt Zagreb

Boris Halasz

LABUĐI PJEV ANALOGNIH RAČUNALA

*Komplet od 15 analognih računala za proračun
izgaranja u ložištima parnih kotlova*

Sažetak: Šezdesetih godina dvadesetog stoljeća pod okriljem Tvornice parnih kotlova u Zagrebu napravljen je komplet analognih računala za izračunavanje pojedinih formula za proračun parnih kotlova. Iako impresivan po dosjetljivosti kojom je napravljen, ubrzo je zastario jer su se pojavili elektronički kalkulatori i kompjutori koji su sva dotadašnja računska pomagala jednostavno bacili u povijest. Ipak, način na koji su napravljena zaslužuje pohvalu za domišljatost i trud koji su ljudi nekad ulagali da bi riješili probleme koji se danas čine i jesu jednostavno i lako rješivi.

Ključne riječi: analogna računala, Gvidon Gulič, proračun izgaranja, Tvornica parnih kotlova Zagreb, nomogrami

Uvod

Ovaj komplet analognih računala napravljen je pod okriljem Tvornice parnih kotlova u Zagrebu, po svemu sudeći sredinom šezdesetih godina dvadesetog stoljeća. Igrom slučaja našao se u posjedu autora u drugoj polovini sedamdesetih godina na Katedri za Nauku o toplini Fakulteta strojarstva i brodogradnje. Nakon puno godina izašao je na svjetlo dana i doniran je Tehničkom muzeju Nikola Tesla u Zagrebu, zajedno s vrlo detaljnim opisom matematičke podloge s kojom su osnovana pojedina računala, a čiji skraćeni prikaz je dan ovdje.

Po svemu sudeći, autor tih računala je inženjer Gvidon Gulič, stručnjak za parne kotlove u predratnoj i poslijeratnoj Jugoslaviji, autor niza knjiga i nomograma za izračunavanje pojedinih formula za proračun parnih kotlova. Od niza knjiga koje je objavio, ovdje ćemo spomenuti samo tri na temelju kojih su ova računala napravljena:

Sagorevanje, Beograd, 1964.,

Sagorevanje I dodatak II izdanju, Beograd, 1970.,

Gorivaizgoretine, Beograd, 1964.

Fizički opis računala

Računala su napravljena od ravnih PVC ploča debljine 1,5 i 0,8 milimetara. Od njih 15 čak 11 imaju oblik kruga, tri su oblika kružnog isječka i jedno je oblika pravokutnika, slika 1. Kružna računala se sastoje od jednog većeg diska promjera oko 110 mm i debljine 1,5 mm te jednog ili dva manja diska promjera oko 90 mm i debljine 0,8 mm. Računala oblika kružnog isječka imaju samo jednu ili dvije radijalne kazaljke za očitavanje rezultata.

Zbog lošeg izbora materijala i loše obrade, kod svih je računala došlo do deformacije diskova i kazaljki, tako da se s njima više ne bi moglo jednostavno raditi, ali i takva su pogodna za analizu načina osnivanja i mogućeg rada.

U nastavku su prikazana sva ta analogna računala te opisana matematička podloga za njihovu konstrukciju i način uporabe.

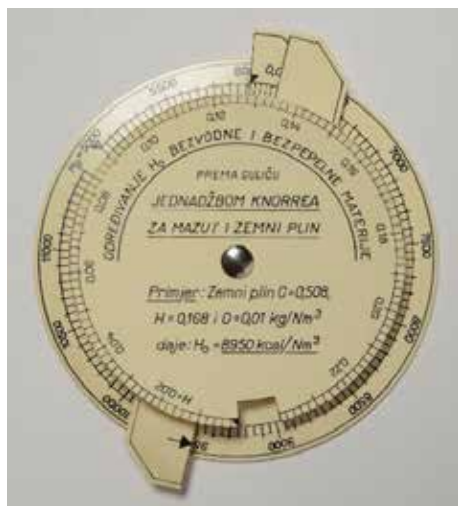
Izvorni “redoslijed” računala, ako se o redoslijedu uopće može govoriti, u nizu nije poznat pa su ovdje poredana po logici kako teče proces izgaranja, pa onda i proračun koji ga slijedi, a to je:

- svojstva goriva i priprema za izgaranje;
- proračun izgaranja;
- kontrola izgaranja i
- zbrinjavanje produkata izgaranja.



Sl.1. Komplet od 15 analognih računala za proračun izgaranja u ložištima parnih kotlova

I. Određivanje H_0 bezvodne i bezpepelne materije prema Guliću jednadžbom Knorrea za mazut i zemni plin



Sl. I.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo se sastoji od većeg stražnjeg većeg diska, manjeg prednjeg manjeg diska i dviju radialnih kazaljki između njih. Kazaljke se *lijevim rubom* poravnavaju s relevantnom vrijednošću na skali.

Jednadžba koja se njime računa je formula za gornju ogrjevnost vrijednost H_0 goriva koje od aktivnih sudionika ima ugljik (C), vodik (H) i kisik (O), a u kojem nema sumpora:

$$H_0 = 8880 \cdot C + 26640 \cdot H - 3330 \cdot O \quad \text{kcal/kg ili kcal/Nm}^3 \quad (\text{I.1})$$

prema prijedlogu Knorrea, jednadžba 31a, citirana u Gulić: »Sagorevanje«, Beograd, 1964., str. 27. Koeficijentima »8880«, »26 640« i »3330« obuhvaćena goriva u knjizi su: mazut i treset. U *kasnijoj knjizi*, Gulić: »Sagorevanje | I DODATAK II IZDA-NJU«, Beograd, 1970., str. 9, primjenljivost iznosa tih koeficijenata proširena je i na zemni plin.

Sadržaj ugljika (C), vodika (H) i kisika (O) iskazuje se kao masa dotičnog sudionika u jedinici goriva:

- za mazut: C [kg/kg_G]; H [kg/kg_G] i O [kg/kg_G] su mase dotičnih sudionika u kilogramu goriva (mazuta). Ako mazut sadrži primjetno sumpora, *jedinica goriva* se definira bez njega!

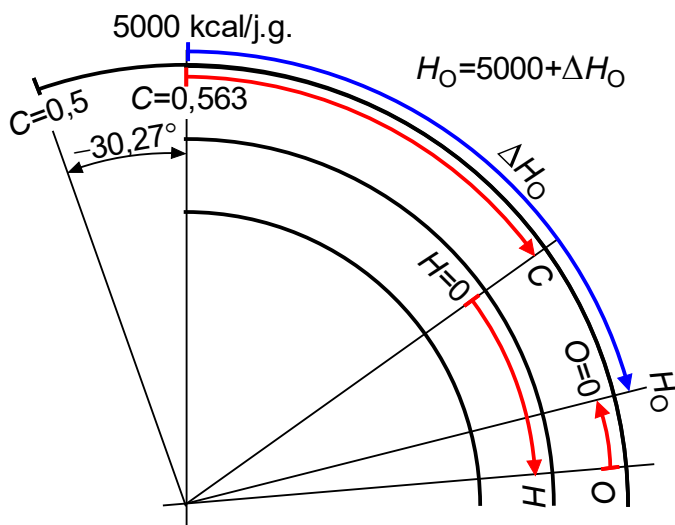
- za zemni plin: C [kg/Nm³]; H [kg/Nm³] i O [kg/Nm³] to su mase dotičnih sudionika u *normnom kubnom metru* goriva (zemnog plina) i njihov zbroj nije jednak jedinici.

Ovisno o vrsti goriva tj. mjernoj jedinici uvrštenih podataka C , H i O , gornja ogrjevna vrijednost H_o se dobije u kcal/kg goriva ili kcal/Nm³ goriva.

Na temelju podataka o stvarnim tehničkim gorivima odabrano je da ulazni podaci budu u granicama: $0,5 \leq C \leq 0,9$; $0 \leq H \leq 0,24$ i $0 \leq O \leq 0,05$. Za ogrjevnju vrijednost koja je rezultat računanja, kao početna vrijednost uzeto je: $H_o = 5000$ kcal/jedinici goriva.

Konstrukcija računala:

Navedena formula je očito zbroj/razlika umnožaka i to je riješeno kao zbrajanje/oduzimanje kutova. Kutovi se na skalama mjere od početnog položaja »12 sati« u smjeru kazaljke na satu. Ishodišna vrijednost svake skale označena je vrhom crne strelice.



Sl. 1.2 Načelna skica 'zbrajanja kutova' – crveno – pribrojnici. Ogrjevna je vrijednost zbroj početne vrijednosti i plavog dodatka i očita se izravno na skali za H_o .

Način uporabe računala:

Redoslijed uporabe skale odgovara redoslijedu članova u formuli, tj. prvo se računa doprinos ugljika, potom vodika, a tek onda se odbija učinak kisika.

1. Prvo se, zakretanjem prednjeg diska, u njegovoj uzubini pronade vrijednost

- masenog udjela ugljika na unutarnjoj skali stražnjeg diska. Prednji se disk desnim rubom svoje uzubine (polovicom vrha strelice) poravnava sa zadanom vrijednošću masenog udjela ugljika, čime se na vanjskoj skali stražnjeg diska odredi dio gornje ogrjevne vrijednosti goriva koji pripada ugljiku (8880 C);
2. Bez pomicanja obaju diskova, vrh strelice na dvokrakoj kazaljci pomakne se na zadanu vrijednost masenog udjela vodika u gorivu na skali prednjeg diska. Time je uzet u obzir doprinos vodika gornjoj ogrjevnoj vrijednosti goriva (+26 640 H);
 3. Bez pomicanja obaju diskova i dvokrake kazaljke, jednokraka se kazaljka podvuče pod dvokraku kazaljku tako da se zadana vrijednost masenog udjela kisika poklopi s vrhom strelice dvokrake kazaljke! Razmakom od vrha strelice dvokrake kazaljke pa do vrha polovice strelice na jednokrakoj kazaljci (pomak ulijevo!) oduzet je utjecaj masenog udjela kisika u gorivu! (3330 O);
 4. Na stražnjem disku se na vanjskoj skali, pod vrhom polovice strelice na jednokrakoj kazaljci očita konačni iznos gornje ogrjevne vrijednosti goriva prema formuli (I.1).

Na prednjoj strani prednjeg diska dan je i primjer za kontrolu računanja s tim računalom kao rezultat dobiven za jedan set podataka:

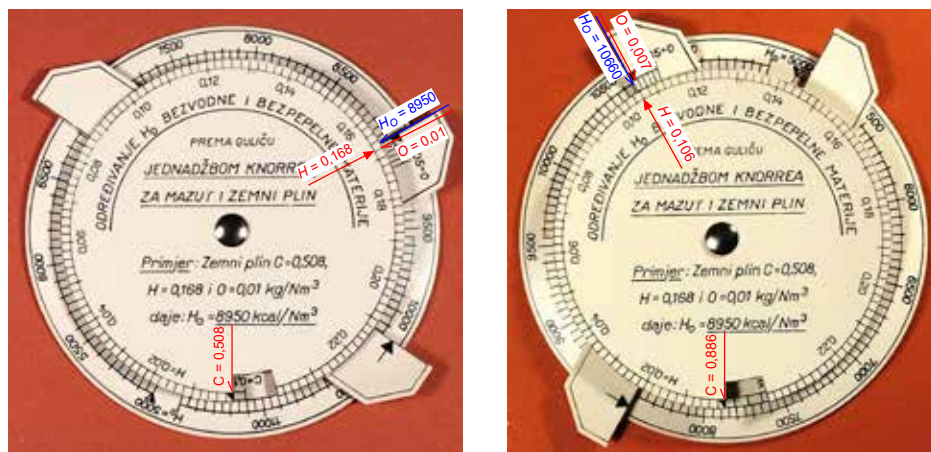
Za zemni plin sastava $C = 0,508 \text{ kg/Nm}^3$; $H = 0,168 \text{ kg/Nm}^3$ i $O = 0,01 \text{ kg/Nm}^3$ gore opisanim postupkom dobije se: $H_o = 8950 \text{ kcal/Nm}^3$.

Izračun jednadžbe (I.1) elektroničkim kalkulatorom: $H_o = 8953,3 \text{ kg/Nm}^3$.

Još jedan primjer proračuna za mazut može se naći na *nomogramu* prikazanom kasnije na slici 2.2:

Za mazut masenog sastava $C = 88,6 \%$; $H = 10,6 \%$ i $O = 0,7 \%$ uz nomogram je navedeno: $H_o = 10\,667 \text{ kcal/kg}$. Pet znamenki u rezultatu nisu posljedica točnosti nomograma nego *malog trećeg pribrojnika*. Ovo računalo daje: $H_o \cong 10\,660 \text{ kcal/kg}$.

Izračun jednadžbe (I.1) elektroničkim kalkulatorom: $H_o = 10\,668 \text{ kcal/kg}$.



Sl. 1.3 Primjeri očitavanja: lijevo za zemni plin i desno za mazut

2. Određivanje H_0 bezvodne i bezpepelne materije prema Guliću jednadžbom Knorrea za mrki ugalj i lignit



Sl. 2.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo jednako je koncipirano kao i računalo #1, a sastoji se od većeg stražnjeg diska, manjeg prednjeg diska i dviju radijalnih kazaljki između njih.

Jednadžba koja se njime računa je formula za gornju ogrjevnu vrijednost H_0 goriva čije su gorive komponente ugljik (C), vodik (H) i kisik (O):

$$H_O = 8700 \cdot C + 26100 \cdot H - 3260 \cdot O \quad \text{kcal/kg} \quad (2.1)$$

prema prijedlogu Knorrea (jednadžba 31a, citirana u Gulič: »Sagorevanje«, Beograd, 1964., str. 27). Koeficijentima »8700«, »26100« i »3260« obuhvaćeno gorivo u knjizi je "mrki" (smeđi) ugljen, a bez izvora u knjizi na ovom računalu uključen je i lignit.

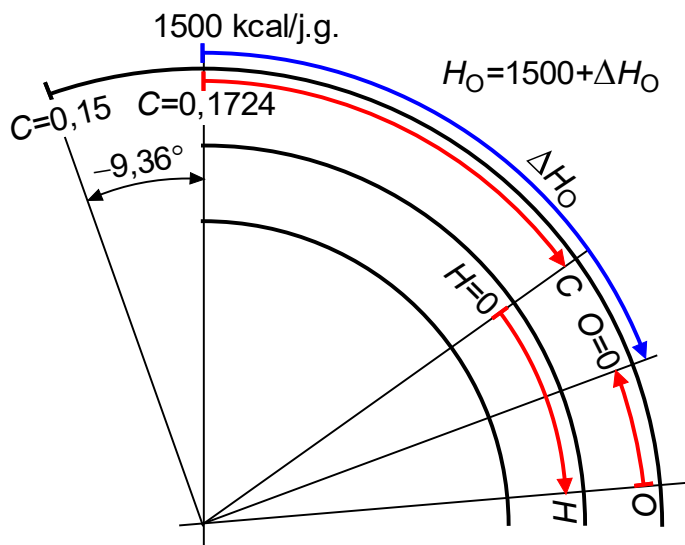
Sve vrste ugljena, pa i mrki i lignit sadrže vlagu i pepeo pa se udjeli: C [kg/kg]; H [kg/kg] i O [kg/kg] svode na *kilogram goriva uključujući sve sudionike osim sumpora*.

Primjer izračuna naveden na prednjoj strani manjeg diska prikazuje udjele ugljika, vodika i kisika koji daju *zbroj manji od jedinice*, dakle, deklarirani su za *gorivo s vlagom i pepelom!*

Konstrukcija računala:

Na temelju podataka o stvarnim ugljenima odabrano je da se ulazni podaci mijenjaju u granicama: $0,15 \leq C \leq 0,80$; $0 \leq H \leq 0,08$; $0 \leq O \leq 0,30$. Za ogrjevnju vrijednost koja je rezultat računanja, kao početna vrijednost uzeto je: $H_O = 1500$ kcal/jedinici goriva.

Navedena formula je očito *zbroj/razlika umnožaka* i to je riješeno na jednak način kao i prethodno računalo.



Sl. 2.2 Načelna skica "zbiranja kutova" – crveno – pribrojnici; ogrjevnja vrijednost je zbroj početne vrijednosti i plavog dodatka i očita se izravno na skali za H_O .

Način uporabe računala:

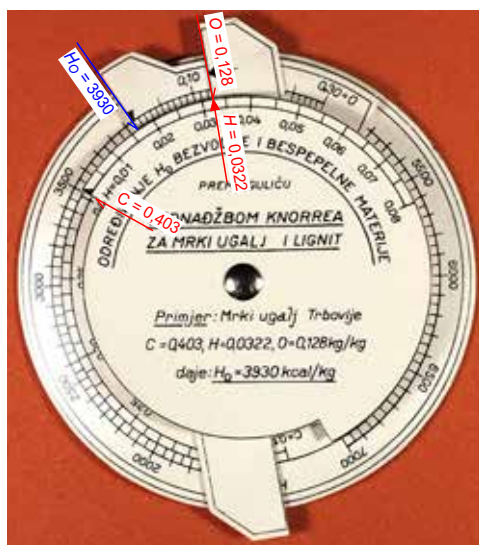
Način uporabe jednak je onom kod računala #1 i odgovara redosljedu članova u formuli, tj. prvo se računa doprinos ugljika, potom vodika, a tek onda se odbija učinak kisika.

1. Prvo se, zakretanjem prednjeg diska, vrh njegove strelice poravna s vrijednosti masenog udjela ugljika na unutarnjoj skali stražnjeg diska. Prednji se disk desnim rubom svoje uzubine (polovicom vrha strelice) poravna sa zadanom vrijednošću masenog udjela ugljika, čime se na vanjskoj skali stražnjeg diska odredi dio gornje ogrjevnice vrijednosti goriva koji pripada ugljiku (8700 *C*).
2. Bez pomicanja obaju diskova, vrh strelice na dvokrakoj kazaljci pomakne se na zadanu vrijednost masenog udjela vodika u gorivu na skali prednjeg diska. Time je uzet u obzir doprinos vodika gornjoj ogrjevnoj vrijednosti goriva (+26 100 *H*).
3. Bez pomicanja obaju diskova i dvokrake kazaljke, jednokraka se kazaljka podvuče pod dvokraku kazaljku tako da se *zadana vrijednost masenog udjela kisika poklopi s vrhom strelice dvokrake kazaljke!* Razmakom od vrha strelice dvokrake kazaljke pa do vrha polovice strelice na jednokrakoj kazaljci (pomak ulijevo!) oduzet je utjecaj masenog udjela kisika u gorivu! (3260 *O*)
4. Na stražnjem disku se na vanjskoj skali, pod vrhom polovice strelice na jednokrakoj kazaljci očita *konačna vrijednost gornje ogrjevnice vrijednosti goriva* prema formuli (2.1).

Na prednjoj strani prednjeg diska dan je i primjer za kontrolu računanja s tim računalom kao rezultat dobiven za jedan set podataka:

Za mrki ugljen *Trbovlje* sastava $C = 0,403 \text{ kg/kg}$; $H = 0,0322 \text{ kg/kg}$ i $O = 0,128 \text{ kg/kg}$ gore opisanim postupkom dobije se: $H_o = 3930 \text{ kcal/kg}$.

Izračun s pomoću elektroničkog kalkulatora daje izravan rezultat: $H_o = 3929,2 \text{ kcal/kg}$.



Sl. 2.3 Primjer očitavanja na računalu #2 za mrki ugljen Trbovlje

3. Određivanje donje toplotne moći H_u svih goriva sa gornjom H_o prema Guliču



Sl. 3.1 Prednja i stražnja strana računala

Ovo računalo određuje donju ogrjevnu vrijednost bilo kojeg goriva čija je gornja ogrjevna vrijednost poznata a izračunata s pomoću računala #1 ili #2 te čiji su poznati maseni udjeli vodika i vlage.

Jednadžba koja se njime rješava je formula za donju ogrjevnu vrijednost goriva koja se dobije iz poznate gornje ogrjevne vrijednosti umanjivanjem za toplinu isparivanja/ishlapljivanja vode koja je sadržana kao vlaga u gorivu W ili koja nastaje izgaranjem vodika H sadržanog u gorivu:

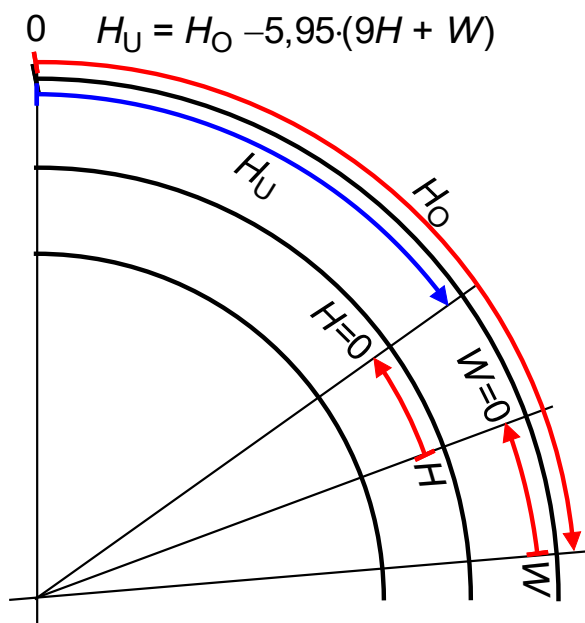
$$H_U = H_O - 5,95 \cdot (9H + W) \quad \text{kcal/kg}, \quad (3.1)$$

a navedena je kao jednadžba (40) u Gulič: »Sagorevanje«, Beograd, 1964., str. 29. Toplina isparivanja vode iznosi 595 kcal/kg vode, a 5,95 vrijedi ako se maseni udjeli H i W uvrstavaju kao postoci umjesto kao decimalni brojevi.

Maksimalni iznosi pretpostavljeni su: $H_{\max} = 30\%$ i $W_{\max} = 100\%$.

Konstrukcija računala:

Navedena formula (3.1) je očito razlika umnožaka i to je riješeno kao *oduzimanje kutova*. Kutovi se na skalama mjere od početnog položaja »12 sati« u smjeru kazaljke na satu.



Sl. 3.2 Načelna skica 'oduzimanja kutova' – crveno – minuendi i suptrahendi, plavo – rezultat; i H_O se nanosi, a H_U se očitava na istoj skali za H_O !

Način uporabe računala:

Način i redoslijed uporabe skala odgovara redoslijedu članova u formuli, tj. prvo se označava gornja ogrjevna vrijednost goriva, potom se odbija smanjenje zbog utjecaja vodika i potom smanjenje zbog utjecaja vlage u gorivu.

1. Prvo se vrh strelice na dvokrakoj kazaljci poravna s iznosom gornje ogrjevnje vrijednosti goriva na skali stražnjeg diska. Palcem lijeve ruke se drugi krak dvokrake kazaljke pritisne na stražnji disk i fiksira u tom položaju;
2. Desnom rukom se kazaljka vodika pomiče tako da se zadan postotak vodika na njenoj skali poklopi s vrhom strelice na dvokrakoj kazaljci. Desnim palcem se fiksira kazaljka vodika na stražnji disk i lijevom rukom se pomiče dvokraka kazaljka tako da se vrh njene strelice poklopi s vrhom strelice na kazaljki vodika. Palcem lijeve ruke se drugi krak dvokrake kazaljke pritisne na stražnji disk i fiksira u tom položaju;
3. Desnom rukom se kazaljka vlage pomiče tako da se zadan postotak vlage na njenoj skali poklopi s vrhom strelice na dvokrakoj kazaljci. Na vrhu strelice kazaljke vlage očita se na skali stražnjeg diska iznos donje ogrjevnje vrijednosti goriva.
4. Prednji disk se ne koristi u računu. On samo vizualno pokriva kazaljke i nosi naziv računala i prikazuje jedan primjer izračuna.

Na prednjoj strani prednjeg diska dan je i primjer za kontrolu računanja s tim računalom kao rezultat dobiven za jedan set podataka:

Za lignit *Velenje* s $H = 2,41\%$, $W = 43,8\%$ i $H_o = 2827$ kcal/kg, gore opisanim postupkom dobije se: $H_U = 2437$ kcal/kg

Izračun s pomoću elektroničkog kalkulatora daje: $H_U = 2437,3$ kcal/kg.

Na stražnjoj strani stražnjeg diska dan je i „ekstra“ primjer za kontrolu računanja s tim računalom kao rezultat dobiven za jedan skup podataka:

Metan CH_4 ima $H_o = 13\,300$ kcal/kg i $H = 25\%$, iz čega slijedi donja ogrjevna vrijednost metana: $H_U = 11\,960$ kcal/kg.

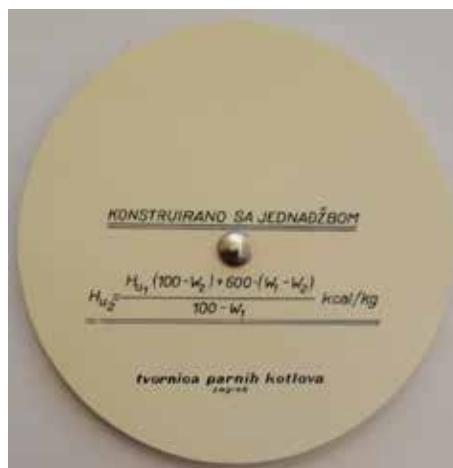
Izračun s pomoću elektroničkog kalkulatora daje: $H_U = 11\,961$ kcal/kg.

Brojevi navedeni u ovim primjerima, napisani na ovom računalu *nisu na njemu očitani!* Skale na njemu nisu tako precizne da bi dale četvrtu znamenku kao rezultat! Ipak, očitavanje na ovom računalu daje približno dobar rezultat.



Sl. 3.3 Primjer očitavanja na računalu #3

4. Povećanje h_u sušenjem prema Guliču



Sl. 4.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo određuje povećanje donje ogrjevne vrijednosti goriva sušenjem, tj. sa smanjenjem sadržaja vlage u gorivu. Zamjetan sadržaj vlage imaju samo čvrsta goriva.

Jednadžba koja se njime rješava je formula za povećanje donje ogrjevne vrijednosti H_{U1} goriva koje sadrži W_1 % vlage na vrijednost H_{U2} goriva kojem se sadržaj vlage smanji sušenjem na W_2 % :

$$H_{U2} = \frac{H_{U1} (100 - W_2) + 600 (W_1 - W_2)}{100 - W_1} \quad \text{kcal/kg} \quad (4.1)$$

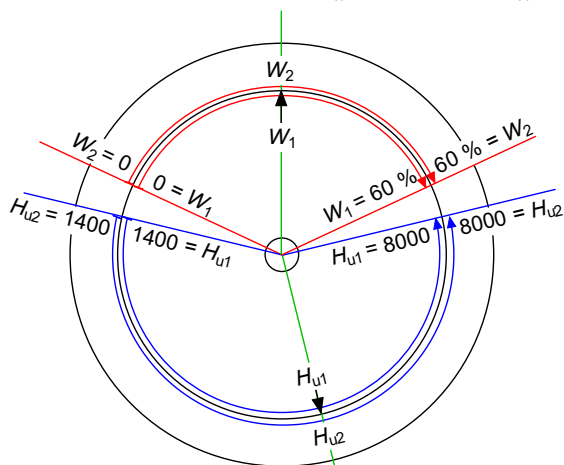
a navedena je kao jednadžba (41) u Gulič: »Sagorevanje«, Beograd, 1964., str. 29. Toplina isparivanja vode uzeta je zaokruženo kao 600 kcal/kg vode. Ta je jednadžba napisana i na poledini stražnjeg diska. Jednadžba (4.1) može se preoblikovati kao:

$$\frac{H_{U2} + 600}{100 - W_2} = \frac{H_{U1} + 600}{100 - W_1} \quad \text{kcal/kg}, \quad (4.2)$$

Formula (4.3) je očito »simetrična« pa su skale na prednjem i na stražnjem disku *jednake*. Ona i na lijevoj i na desnoj strani sadrži *dijeljenje*, a ono se, ako su skale *logaritamske*, svodi na *oduzimanje kutova*!

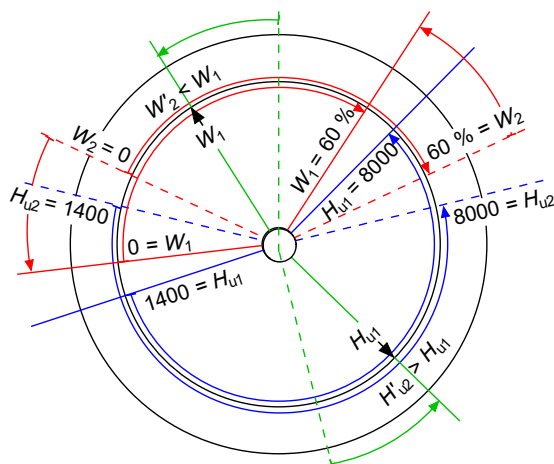
Na ovom računalu W_1 i W_2 se na skalama navode kao *postoci*. Minimalni i maksimalni iznosi obuhvaćeni su: $W_{\min} = 0$ % i $W_{\max} = 60$ %.

Donje ogrjevne vrijednosti H_{U1} i H_{U2} svedene su na kilogram goriva *s uključenom vlagom* W_1 % i W_2 %, dakle, H_{U1} kcal/kg₍₁₎ i H_{U2} kcal/kg₍₂₎.



Sl. 4.2 Shema položaja skala – osnovni položaj

Ilustracija postupka očitavanja prikazana je na slici 4.3.



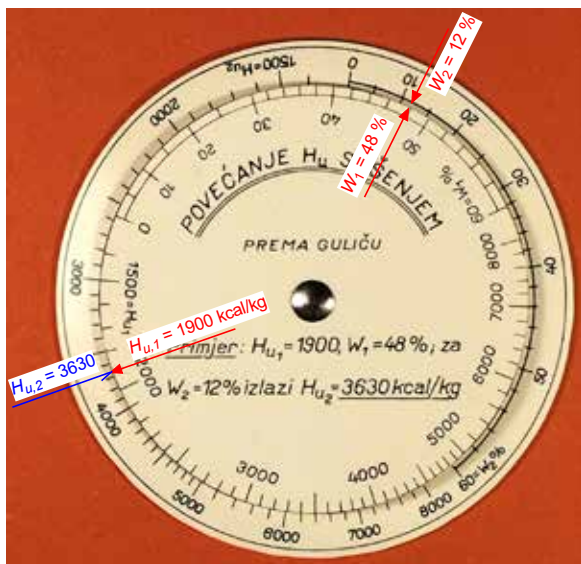
Sl. 4.3 Shema položaja skala –kad se manji disk zakrene tako da se oznaka početnog sadržaja vlage » W_1 « poklopi s oznakom konačnog sadržaja vlage » W_2 « na većem disku, uz oznaku » H_{u1} « na manjem disku, na većem disku se očitava » H_{u2} «.

Način uporabe računala:

Ovo analogno računalo sastoji se od većeg stražnjeg diska i manjeg prednjeg diska. Oba diska su kružnog oblika. Iako bi bila korisna, nema radijalne kazaljke koja bi olakšala postavljanje zadanih vrijednosti pa kod rada treba paziti kako se postavljaju vrijednosti.

Ulazni podaci su vrijednosti H_{u1} , $W_1\%$ i $W_2\%$, a traži se H_{u2} .

1. Na prednjem manjem disku na skali označenoj s » W_1 « nađe se vrijednost početne vlažnosti goriva $W_1\%$ i ona se postavi nasuprot vrijednosti konačne vlažnosti goriva $W_2\%$ na skali označenoj s » W_2 « na stražnjem većem disku.
2. Bez pomicanja diskova, na skali » H_{u1} « manjeg diska nađe se zadana vrijednost H_{u1} i nasuprot njoj se na skali » H_{u2} « većeg diska očitava tražena vrijednost H_{u2} . Time je postupak završen.



Sl. 4.4 Primjer očitavanja povećane donje ogrjevnje vrijednosti goriva

5. Relativna viskoznost mazuta sa osnovom E50 prema Guliču



Sl. 5.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo određuje relativnu viskoznost mazuta u stupnjevima Englera na nekoj temperaturi ako je poznat njen iznos u stupnjevima Englera pri temperaturi 50°C .

Računalo se sastoji od većeg stražnjeg diska i manjeg prednjeg diska. Oba diska su potpuno kružnog oblika. Iako bi bila korisna, nema radijalne kazaljke koja bi olakšala postavljanje zadanih vrijednosti pa u radu treba paziti kako se postavljaju i očitavaju vrijednosti.

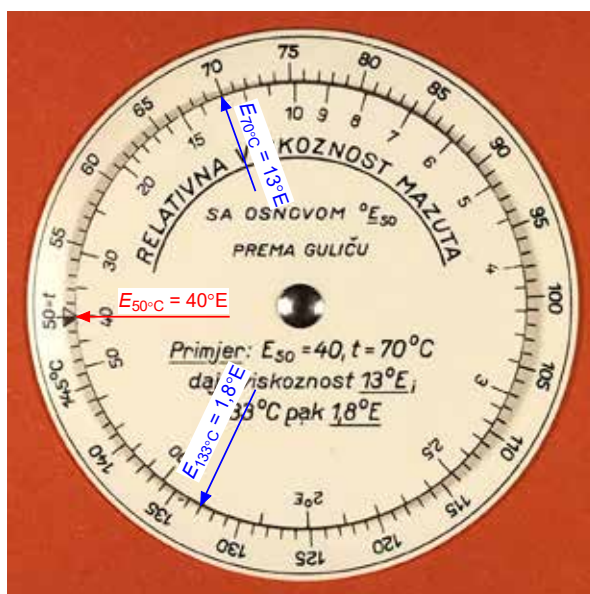
Na manjem prednjem disku nalazi se skala viskoznosti u *stupnjevima Englera* u rasponu od 2 °E pa do 100 °E. Skala nije ravnomjerno raspoređena, podjele su „raste-gnute“ kod manjih vrijednosti, a stisnute za veće vrijednosti *stupnjeva Englera*.

Na većem stražnjem disku je skala temperatura u rasponu od 50 °C do 150 °C. Ta je linearna skala ravnomjerno raspoređena po obodu.

Način uporabe računala:

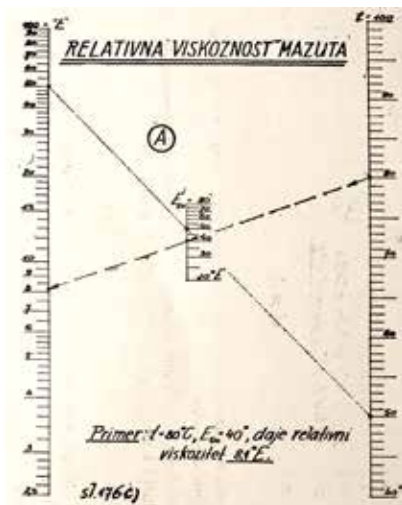
Ulazni podaci su vrijednosti E_{50} i tražena temperatura, a očitava se viskoznost mazuta pri nekoj drugoj temperaturi.

1. Početna vrijednost skale za temperaturu na većem disku (50 °C) označena je crno-bijelim trokutom i na nju se zakretanjem manjeg diska namjesti zadana vrijednost viskoznosti pri 50 °C;
2. Bez pomicanja diskova, na većem se disku nađe temperatura pri kojoj se traži nova vrijednost viskoznosti i uz nju se očitava ta tražena vrijednost na prednjem disku.



Sl. 5.2 Primjer očitavanja relativne viskoznosti mazuta za dvije različite temperature

U knjizi »Sagorevanje« iz 1964. na str. 250 prikazan je nomogram za računanje istog zadatka. Taj nomogram ima tri vertikalne skale: lijevo je skala u *stupnjevima Englera* za traženu viskoznost, desno skala temperature, a u sredini skala s referentnom viskoznošću pri 50 °C.



Sl. 53 Nomogram za određivanje relativne viskoznosti mazuta

6. Carbogram γ i $(CO_2)_{max}$ ulja za loženje prema Guliću



Slika 6.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo određuje maksimalni postotni udio ugljikovog dioksida u dimnim plinovima za ulja za loženje ovisno o njihovoj gustoći, izvoru: specifičnoj težini γ kp/m^3 , i masenom postotnom udjelu sumpora u gorivu.

Veza koju ovo analogno računalo treba prikazati: $(\text{CO}_2)_{\text{max}} = f[\gamma, s]$ nema teorijsku podlogu, nije jednostavna niti jednoznačna, jer nema jednoznačne veze između specifične težine i sastava raznih vrsta ulja za loženje.

Nepostojanje teorijskog analitičkog zakona/jednadžbe može se naslutiti i po konstrukciji računala – ono nema klasične skale kao ostala računala, nego po obodu diskova razmještene radijalne strelice, kao da je autor točku po točku prenosio pojedinačne vrijednosti iz gornjeg dijagrama.

Način uporabe računala:

Ulazni podaci su specifična težina γ [kp/m^3] i s [%] sadržaj sumpora, a očitava se maksimalni postotni udio ugljikovog dioksida u dimnim plinovima $(\text{CO}_2)_{\text{max}} = f[\gamma, s]$:

1. Strelica s oznakom (S) na prednjem (manjem) disku poravna se s poznatom vrijednošću postotka sumpora s [%];
2. Na prednjem disku među radijalnim strelicama nađe se zadana vrijednost specifične težine ulja za loženje γ [kp/m^3] i na većem stražnjem disku se očitava pripadajuća vrijednost $(\text{CO}_2)_{\text{max}}$. Time je postupak završen.

7. "PLINOGRAM" tekućih goriva za pretičak zraka $n = 1,0 \div 1,15$ prema Guliću



Sl. 7.1 Prednja i stražnja strana dijagrama.

Ovaj *dijagram* služi za određivanje suviška (pretička) zraka pri izgaranju tekućih (kapljevitih) goriva na temelju izmjerenih podataka molnih udjela ugljikovog dioksida i ugljikovog monoksida u suhim dimnim plinovima te izračunate vrijednosti $(\text{CO}_2)_{\max}$ iz zadanog sastava goriva:

$$n = f[(\text{CO}'_2), (\text{CO}_2)_{\max}]. \quad (7.1)$$

Formule koje se koriste za račun su jednačbe 122*l* i 122*f* sa stranice 22 i 23 knjige Gulić: »I dodatak II izdanju Sagorevanje«, Beograd, 1970.:

$$\text{CO}'_2 = \frac{100 - (\text{CO}_2 + \text{CO})}{100 - 0,5 \text{ CO}} \% \quad (122l) \quad (7.2)$$

$$i \quad n = 1 + \frac{\text{CO}_{2,\max} + 67,3}{88,3} \left(\frac{\text{CO}_{2,\max}}{\text{CO}'_2} - 1 \right) \quad (122f) \quad (7.3)$$

i služe za kontrolu izgaranja u ložištima parnih kotlova. Veličine $(\text{CO}_2)_{\max}$ i CO'_2 izraženi su u postocima. Postotak $(\text{CO}_2)_{\max}$ ovisi o sastavu goriva, a postotak CO'_2 mjeri se u dimnim plinovima pri izgaranju, ne može bit veći od $(\text{CO}_2)_{\max}$, a *pada s porastom pretička zraka*.

Za ovo pomagalo uzet je raspon veličina $11,5 \% \leq (\text{CO}_2)_{\max} \leq 16,5 \%$ i $1 \leq n \leq 1,15$ i $10 \% \leq \text{CO}'_2 \leq 16,5 \%$ koje su tipične za 'tekuća' goriva.

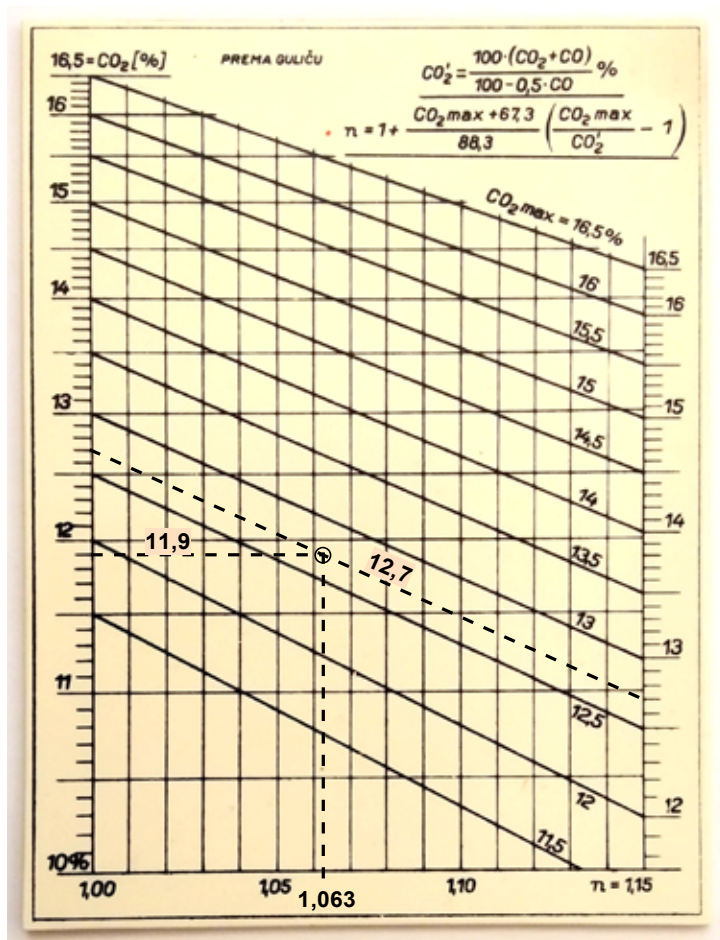
Jednačbu (7.3) možemo prevesti u oblik:

$$\frac{1}{\text{CO}'_2} = \frac{1}{\text{CO}_{2,\max}} + \frac{(n-1) \cdot 88,3}{\text{CO}_{2,\max} (\text{CO}_{2,\max} + 67,3)} = a + b(n-1) \quad (7.4)$$

što je očigledno na desnoj strani *jednačba pravca* koju ne moramo crtati točku po točku, a i kod očitavanja interpolacija će biti jednostavna.

Način uporabe dijagrama:

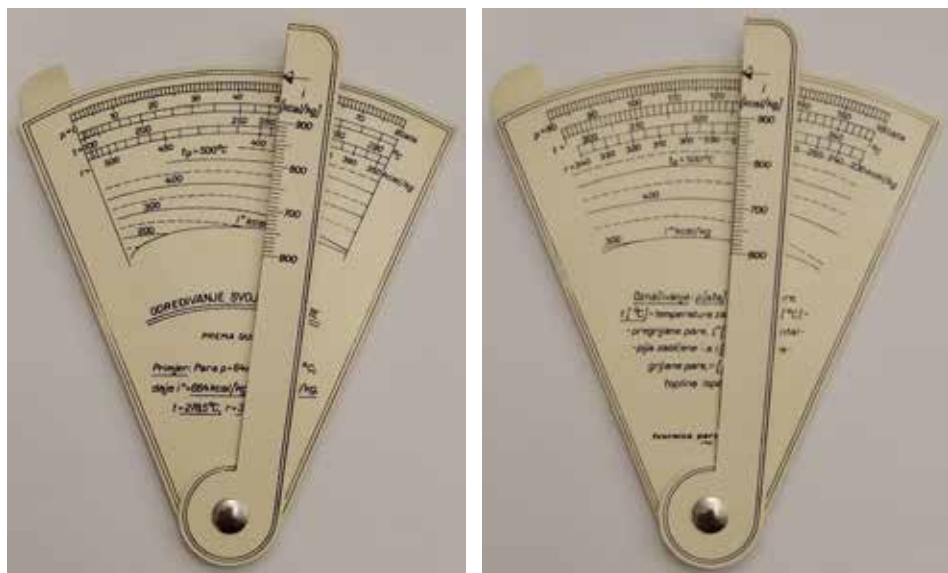
1. Ako je zadan sastav goriva [vrijednost $(\text{CO}_2)_{\max}$] i u dimnim plinovima je izmjeren udio CO'_2 , od iznosa CO'_2 na ordinati povučemo horizontalu do zadane, a po potrebi interpolirane vrijednosti $(\text{CO}_2)_{\max}$, te od tog presjecišta spustimo okomicu do apscise na kojoj očitamo traženu vrijednost faktora pretička zraka.
2. Ako je zadan sastav goriva tj. vrijednost $(\text{CO}_2)_{\max}$ i faktor pretička zraka n , onda se od zadanog iznosa n podigne okomica do zadane a po potrebi interpolirane vrijednosti $(\text{CO}_2)_{\max}$ i od presjecišta se povuče vodoravna crta do lijeve ordinate na kojoj se očitava tražen iznos CO'_2 .



Sl. 7.2 Dijagram s ucrtanim pomoćnim crtama za interpolaciju

8. Određivanje svojstva pare prema Guliču

Ovo je **dvostrano** analogno računalo za očitavanje svojstava vodene pare. Gornje dvije slike prikazuju ‘prednju’ stranu računala s dva položaja kazaljke – izmaknutim radi vidljivosti cijele plohe *tijela* - kružnog isječka koji nosi skale - i u ‘radnom’ položaju, a donje dvije slike “stražnju” stranu na jednak način.



Sl. 8.1 Prednja i stražnja strana računala.

Zanimljiv pokušaj da se vrlo opsežne tablice i veliki dijagrami zamijene malim, ali nažalost nedovoljno točnim pomagalom.

Teorijska podloga jednadžbi za ovo računalo ista je kao i za dijagram i tablice i pripada termodinamici, a ne kotlogradnji i nije navedena u knjigama nabrojanim na početku. Te su jednadžbe previše komplicirane da bi ih se ovdje navodilo.

Način uporabe računala:

Očitavanje svojstava *suhozasićene* i *pregrijane pare* malo se razlikuju.

- I. *Suhozasićena para*: Stanje je zadano ili tlakom pare (u ata) ili temperaturom (u °C).

Ako je zadani tlak pare, na skali »A« namjesti se lijevi rub kazaljke (vrh strelice) na zadani tlak pare i na skali »B« se na lijevom rubu kazaljke očitava pripadajuća temperatura pare.

Ako je zadana temperatura pare, na skali »B« namjesti se lijevi rub kazaljke (vrh strelice) na zadanu temperaturu pare i na skali »A« se očitava pripadajuća vrijednost tlaka pare.

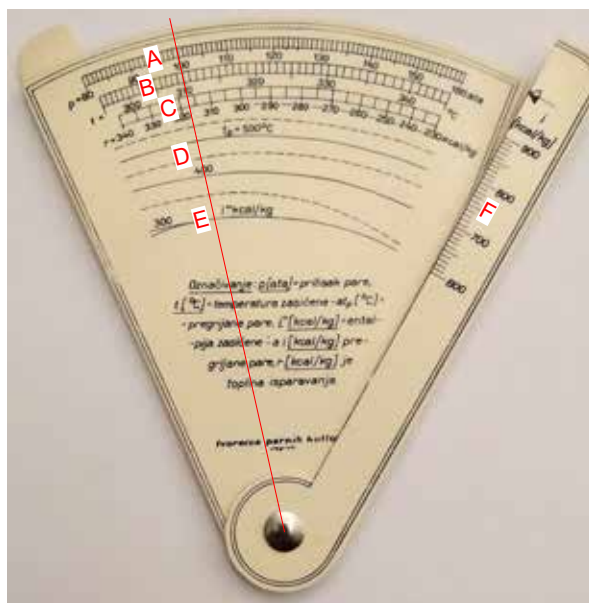
Nakon što je tako namješten lijevi rub kazaljke (vrh strelice) na skali »C« očitava se ispod lijevog ruba kazaljke specifična toplina isparivanja, a na presjecištu lijevog ruba kazaljke i crte »E« očitava se specifična entalpija i'' kcal/kg suhozasićene pare na skali »F«.

2. Pregrijana para: Stanje je zadano tlakom pare (u ata) i temperaturom (u °C).

Na skali (»A«) nađe se zadani tlak pare i lijevi rub skale namjesti se na tu vrijednost. Među crtama »D« nađe se ona koja odgovara zadanoj temperaturi, a međuvrijednosti se vizualno interpoliraju. Na presjecištu lijevog ruba kazaljke i crte »D« očitava se specifična entalpija i kcal/kg pregrijane pare na skali »F«.

Na prednjoj strani računala dan je primjer očitanih vrijednosti: za pregrijanu paru tlaka 64 ata i temperature 500 °C očitana je specifična entalpija pregrijane pare: $i = 817$ kcal/kg, a usput se mogu očitati i pripadajuće vrijednosti za suhozasićenu paru jednakog tlaka: $t = 278,5$ °C i $r = 371$ kcal/kg i $i'' = 664$ kcal/kg.

Napomena: S obzirom na veličinu skala i razmak crtica te na moguću paralaksu očitavanja zbog debljine kazaljke, te vrijednosti nisu mogle biti tako precizno očitane s ovog računala, vrlo vjerojatno su očitane iz tablica.



Sl. 8.2 Način očitavanja svojstava pare s računala. Crvena crta simbolizira položaj kazaljke za očitavanje svojstava pare tlaka 100 ata.

9. Trajanje sagorijevanja čestica goriva prema Guliću



Slika 9.1 Prednja (lijevo) i stražnja (desno) strana računala.

Ovo (dvostrano) analogno računalo služi za izračunavanje trajanja izgaranja čestica goriva u ložištu. Taj podatak je važan za proračun parnog kotla jer neizgorene čestice ne smiju izaći iz ložišta. Izračunati podatak se uspoređuje s vremenom prolaska čestice kroz ložište koja je određena uvjetima strujanja - radom ventilatora za dobavu zraka za izgaranje.

Problem je vrlo zamršen, a kao formula koja služi za računanje navedena je empirijska jednačba (172) sa stranice 208 u knjizi Gulić: »Sagorevanje«, Beograd, 1964.:

$$Z = \frac{A \cdot d^{1.55} \cdot \left(\frac{0.225}{n - 0.76} + 0.063 \right)}{t_f^{0.625}} \text{ sekundi.} \quad (9.1)$$

U formuli su ulazne zadane veličine: d = promjer čestice ugljene prašine u milimetrima, n = faktor pretička zraka za izgaranje i t_f = temperatura dimnih plinova u ložištu.

Za izračunavanje na ovom računalu gornja formula je rastavljena u dva dijela:

$$Z = \frac{C \cdot d^{1.55}}{t_f^{0.625}} \text{ sekundi - računa na prednjoj strani računala} \quad (9.2)$$

$$i \quad C = A \cdot \left(\frac{0.225}{n - 0.76} + 0.063 \right) \text{ na stražnjoj strani računala,} \quad (9.3)$$

pri čemu cijela stražnja strana služi za računanje koeficijenta C iz jednadžbe (9.3) koji ulazi kao ulazni podatak na prednju stranu za izračunavanje vremena izgaranja Z u jednadžbi (9.2). Zbog tog redosljeda računanja prva će se analizirati *stražnja strana računala*.

Stražnja strana: »ODREĐIVANJE VRIJEDNOSTI C «

Jednadžba (9.3) može se logaritmirati i dobije se:

$$\log C = \log A + \log \underbrace{\left(\frac{0,225}{n - 0,76} + 0,063 \right)}_B = \log A + \log B, \quad (9.4)$$

gdje je B izraz u zagradi čija se vrijednost smanjuje s porastom n tako da je za $n = 1$ iznos $B_{\max} = 1,0005 \cong 1$, a za $n = 1,5$ iznos je $B_{\min} = 0,36705$.

Prednja strana: »TRAJANJE SAGORIJEVANJA ČESTICA GORIVA«

Brojčana vrijednost C očitana na stražnjoj strani računala prenosi se (pamti, zapiše) na prednju stranu radi daljnjeg izračunavanja formule (9.2) uz nove ulazne podatke: promjer (tipičan, prosječan?) čestice ugljena d [mm] i temperature u ložištu t_f [°C]

Jednadžba (9.2) može se logaritmirati:

$$\log Z = \log C + 1,55 \cdot \log d - 0,625 \cdot \log t_f \quad (9.5)$$

što je, s logaritamskim skalama, vrlo jednostavan izraz za računanje. Slično kao u kasnijem izrazu (10.5), radi lakšeg računanja malo ga treba preurediti:

$$\log Z = 1,55 \cdot \log d - 0,625 \cdot \log t_f + \log C, \quad (9.6)$$

$$\text{ili} \quad \log Z = \log C - 0,625 \cdot \log t_f + 1,55 \cdot \log d, \quad (9.7)$$

i može se riješiti jednim namještanjem prednjeg diska, bez daljnjeg pomicanja.

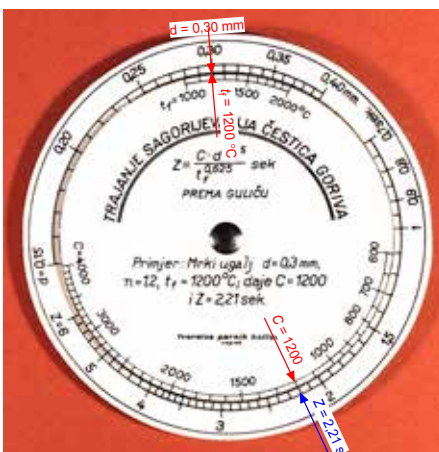
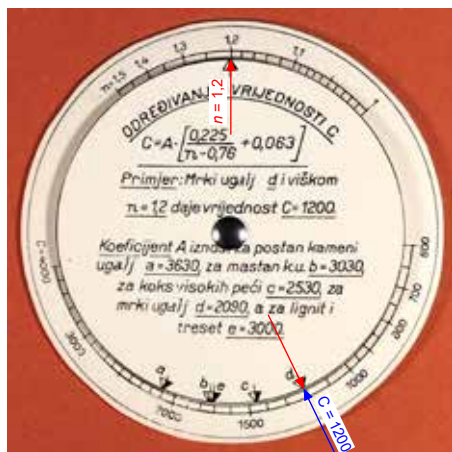
Način uporabe računala:

1. Prvo se na *stražnjoj strani* „usamljena“ strelica na malom disku poravna sa zadanom vrijednošću faktora pretička zraka n na većem disku, a na suprotnoj strani malog diska nađe se jedna od pet strelica koja odgovara zadanoj vrsti goriva i na skali većeg diska očita se vrijednost C ;
2. Na manjem disku *prednje strane* nađe se vrijednost temperature dimnih plinova i ona se poravna sa zadanim promjerom čestice goriva na skali većeg diska;
3. Bez pomicanja diska, na manjem disku *prednje strane* se nađe vrijednost koe-

ficijenta C očitana u koraku #1 i uz nju se na većem disku očitava vrijednost Z , vrijeme izgaranja čestice goriva.

Na manjem disku prednje strane dan je primjer proračuna vremena izgaranja za česticu mrkog ugljena, promjera $d = 0,3$ mm, faktora prelička zraka $n = 1,2$ i temperature dimnih plinova $t_f = 1200$ °C. Koeficijent C izračunat je kao 1200, a trajanje izgaranja $Z = 2,21$ sekunda.

Provjera na elektroničkom kalkulatoru potvrđuje te vrijednosti.

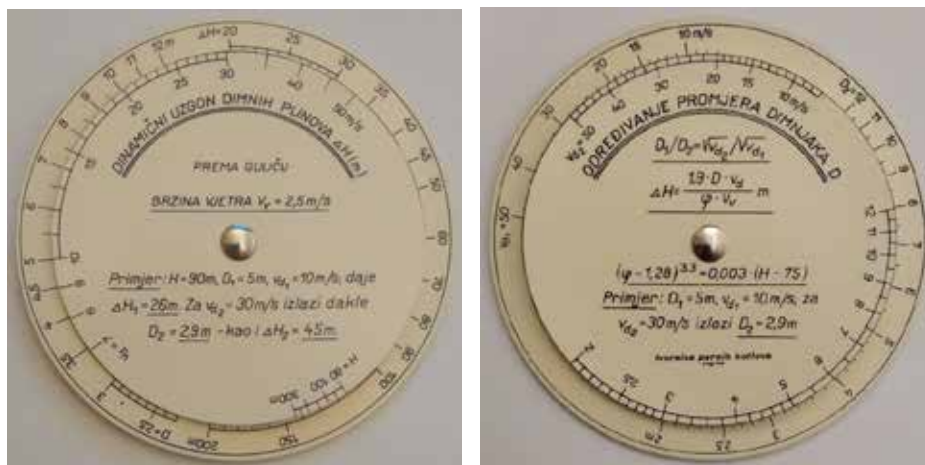


Sl. 9.2 Primjer očitavanja trajanja izgaranja za zadane vrijednosti.

Lijevo: određivanje C na stražnjoj strani

Desno: izračunavanje trajanja izgaranja na prednjoj strani računala

10. Dinamički uzgon dimnih plinova Δh (m) prema Guliču



Sl. 10.1 Prednja (lijevo) i stražnja (desno) strana računala.

Ovo dvostrano analognu računalo namijenjeno je za izračunavanje *dinamičkog uzgona dimnih plinova* te za izračunavanje veze između promjera dimnjaka i brzine strujanja dimnih plinova.

Formule koje se rješavaju ovim računalom naznačene su na stražnjem manjem disku:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{\sqrt{v_{d2}}}{\sqrt{v_{d1}}} \quad \text{na stražnjem disku;} \quad (10.1)$$

$$\Delta H = \frac{1,9 \cdot D \cdot v_d}{\varphi \cdot v_v} \quad \text{m} \quad \text{računa se na prednjem disku;} \quad (10.2)$$

$$(\varphi - 1,28)^{3,3} = 0,003 \cdot (H - 75) \quad (\text{implicitno na prednjem}). \quad (10.3)$$

Formule (10.2) i (10.3) nisu pronađene u literaturi nabrojanoj na početku pa je nejasno potpuno i točno značenje veličina ΔH , φ i v_v , ali se prema opisu na samom računalu dade zaključiti da je:

D [m] – promjer dimnjaka u metrima

v_d [m/s] – brzina strujanja dimnih plinova u dimnjaku

ΔH [m] – u metrima, tzv. »dinamički uzgon dimnih plinova«,

φ – neki faktor povezan s visinom dimnjaka

i v_v [m/s] – brzina vjetra (pretpostavljena je stalna vrijednost 2,5 m/s).

Formula (10.1) je jednadžba kontinuiteta za strujanje nestlačivog fluida kroz okruglu cijev, poznata iz mehanike fluida.

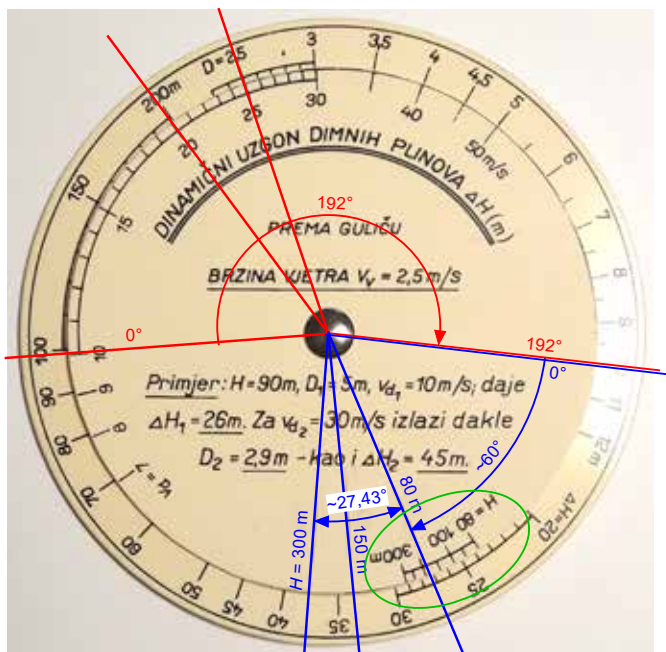
Ni pretraživanje literature ni konzultacije nisu dale pouzdano objašnjenje pojma 'dinamički uzgon dimnih plinova', a nije nađena ni gornja formula za ΔH pa je nejasna njihova uloga u proračunu 'vatrene strane' parnih kotlova.

Nažalost, čini se da je kod tog računa došlo do nekoliko pogrešaka koje ga čine neupotrebljivim:

- možda jednadžbe (10.2) i (10.3) nisu ispravne jer podaci, navedeni u primjeru na prednjoj strani, s pomoću elektroničkog kalkulatora ne daju deklarirane rezultate;

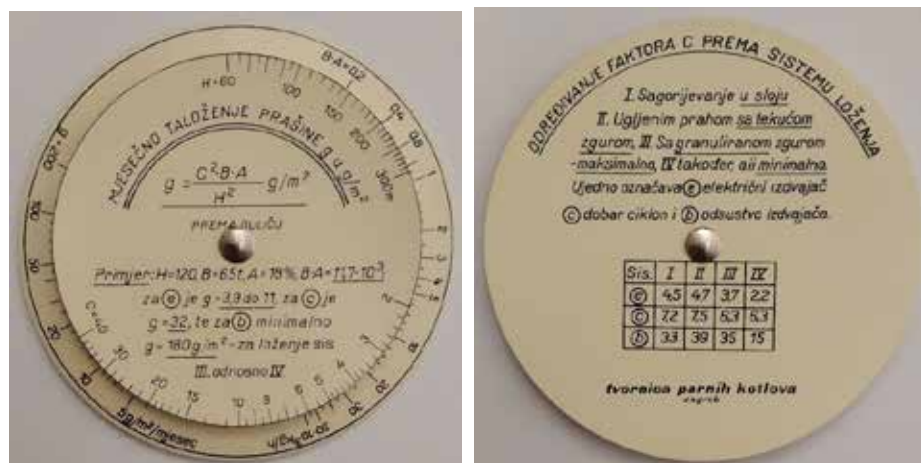
- Jednadžba (10.1) je *ispravna*, ali *skale na stražnjoj strani nisu ispravne!* Primjer dan na stražnjoj strani slučajno je (igrom brojeva) naoko točan.

- ni *sve* *skale na prednjoj strani nisu ispravne*, one za ΔH , D i za v_d jesu usklađene, ali četvrta skala (za ϕ , ali označena kao H) potpuno odstupa, s posljedicom da je cijeli račun na prednjoj strani netočan!



Sl. 10.2 Crvenim zrakama označeni su kutovi preklapanja pojedinih segmenata triju skala: one za ΔH , D i za v_d . Uočljiva je mala nepreciznost crtanja, ali očito sve tri skale imaju ishodište na kutu 0° i kraj na 192° . Plave zrake označavaju mjesto gdje bi se trebala nalaziti skala za ϕ (označena kao H). S obzirom na to da je »H« ulazni podatak za račun, rezultat ne može biti ispravan!

II. Mjesečno taloženje prašine g u g/m^2 prema Guliću



Sl. II.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo služi za računanje mase mjesečno istaložene prašine iz dimnjaka (u gramima po kvadratnom metru površine tla mjesečno) u okolini dimnjaka. Bez ulaženja u njeno porijeklo i pouzdanost, jer radi se o vrlo zamršenom i nepredvidljivom procesu, formula po kojoj se računa glasi:

$$g = \frac{C^2}{2} \cdot g/m^2, \quad (II.1)$$

a navedena je u knjizi »Goriva iz gorotine«, Beograd, 1964. kao jednačba 67 na stranici 157.

Ulazne veličine su:

- H [m] visina dimnjaka,
- B [kg/h] satni potrošak goriva (ugljena),
- A [kg/kg] masa pepela koja nastaje iz kilograma goriva, a
- C je koeficijent čiji se brojevi iznos očitava s poledine većeg diska za navedene načine loženja i navedene vrste odvajanja prašine.

Manji prednji disk također sadrži dvije skale: jednu za zadanu visinu dimnjaka H od 60 do 300 metara i drugu za iznos koeficijenta C očitano na poledini u rasponu od 2 do 40.

Jednačba (II.1) može se logaritmirati i preurediti za računalo u oblik:

$$\log g = \log(B \cdot A) - 2 \cdot \log H + 2 \cdot \log C \quad (11.2)$$

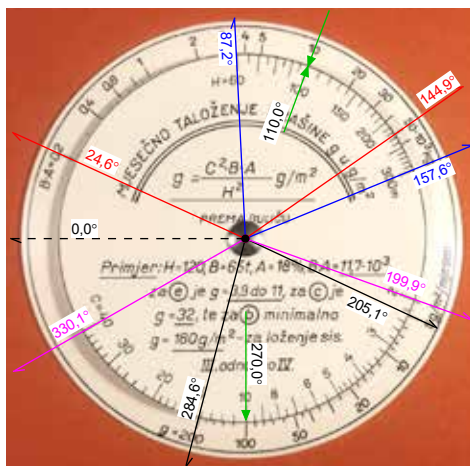
Iako su veličine B i A *neovisne*, kao ulazni podatak u računalo zadržan je njihov umnožak ($B \cdot A$) koji treba izračunati odvojeno prije uporabe ovog računala jer bi inače konstrukcija računala i postupak računanja bili bitno složeniji. S obzirom na to da su u nekom konkretnom računu i potrošak ugljena i njegov sastav konstantni, to i nije neki problem.

Jednadžba (11.2) kaže da sve četiri skale moraju imati jednak *modul* tj. kut koji pripada jednoj logaritamskoj jedinici, ali da se od $\log(B \cdot A)$ oduzima $2 \cdot \log H$ i do-
daje $2 \cdot \log C$ pa skale za $\log H$ i $\log C$ moraju biti *dvostruko rastegnute*! Doista, iz izmjerenih kutova izračunato je da sve četiri skale imaju modul 50° .

Drugo je pitanje kako moraju biti skale *raspoređene po obodu diskova*. Prema jednadžbi (11.2) skale za g i za ($B \cdot A$) moraju biti na jednom (npr. većem) disku, a skale za H i za C na drugom (npr. manjem) disku.

No, još uvijek ostaje pitanje na kojem mjestu oboda svakog diska smjestiti skale jednu u odnosu na drugu.

Ovdje se čini da je za razmještanje skala odabrano da sve osnovne logaritamske “jedinice” (»10« i »100«) za skale budu poravnate (»g« i »C« pod kutom 270° , dotično » $B \cdot A$ « i » H « pod kutom 110° u odnosu na lijevo usmjerenu apscisu označenu s »0,0«), u smjeru kazaljke na satu, zelene zrake) prema slici 11.2. Izbor nekog drugog referentnog pravca mijenjao bi kutove na slici i izraze (11.3) do (11.6), ali ne bi mijenjao raspodjelu crtica na skalama!



Sl. 11.2 Kutovi koje početne i konačne oznake na skalama zatvaraju s “osnovnom crtom” označenom s »0,0«

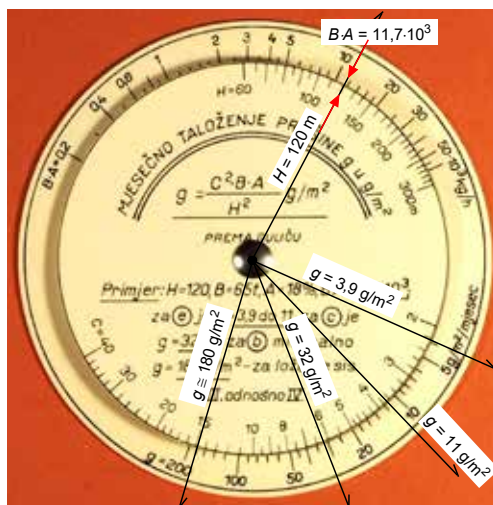
Način uporabe računala:

1. Prvo se na poledini očitava iznos koeficijenta C ;
2. Ako su zadane zasebne vrijednosti za A i B , izračuna se umnožak (BA) ;
3. Na prednjoj strani manjeg diska nađe se vrijednost H i namjesti se na izračunatu vrijednost (BA) na skali većeg diska;
4. Bez pomicanja diskova, na prednjoj strani malog diska na skali za C nađe se u koraku #1 očitana vrijednost C i ispod nje se očitava na skali većeg diska tražena vrijednost g izražena u g/m^2 mjesečno.

Na prednjoj strani manjeg diska navedeno je i nekoliko primjera koje prikazujemo u tablici zajedno s na ovom uzorku računala provjerenim rezultatima i rezultatima izračunatim s pomoću elektroničkog kalkulatora. Zadani su *ulazni podaci*: $H = 120 \text{ m}$; $B = 65\,000 \text{ kg/h}$; $A = 0,18$; $(BA) = 11,7 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$.

Provjera s pomoću elektroničkog kalkulatora potvrđuje te rezultate.

Na ovom računalu jako nedostaje radijalna kazaljka koja bi znatno olakšala namještanje brojeva i očitavanje rezultata.



Sl. 11.3 Vrijednosti očitane s analognog računala i prikazane u Tablici 11.2

12. Koncentracija SO_2 u udaljenosti R – važi za ugljen – prema Guliću



Slika 12.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogni računalu određuje koncentraciju sumporovog dioksida iz dima na udaljenosti R [km] od dimnjaka i samu udaljenost R u ovisnosti o visini dimnjaka H [m] i o masenom postotku sumpora u gorivu S [%].

Jednadžbe koje se koriste za taj račun napisane su na poledini računala:

$$R = 0,1 \cdot H^{0,8} \text{ [km]}, \quad (12.1)$$

pri čemu se visina dimnjaka H uvrštava u metrima, i

$$(\text{SO}_2)_{\text{maks}} = (\text{SO}_2)_R = \frac{70 \cdot S}{H^{0,84}} \text{ mg/m}^3, \quad (12.2)$$

pri čemu se visina dimnjaka H uvrštava u metrima, a S [%] je maseni postotak sumpora u gorivu. Visina dimnjaka predviđena je u rasponu od 80 m do 300 m.

Te jednadžbe nisu pronađene u knjigama nabrojanim na početku pa je njihovo porijeklo nepoznato. Obje te jednadžbe mogu se logaritmirati pa će sve skale na ovom računalu biti logaritamskog karaktera.

Stražnji disk ima na obodu samo jednu skalu koja predstavlja i postotak sumpora u gorivu i masu sumporovog dioksida u mg/m^3 i to u rasponu brojčanih vrijednosti od 1 do 12! Obje te veličine, $(\text{SO}_2)_R$ i S za potrebe crtanja skala označit ćemo malim slovom s . Ta je skala logaritamskog karaktera i obuhvaća kut od 324° (očitan na kutomjeru).

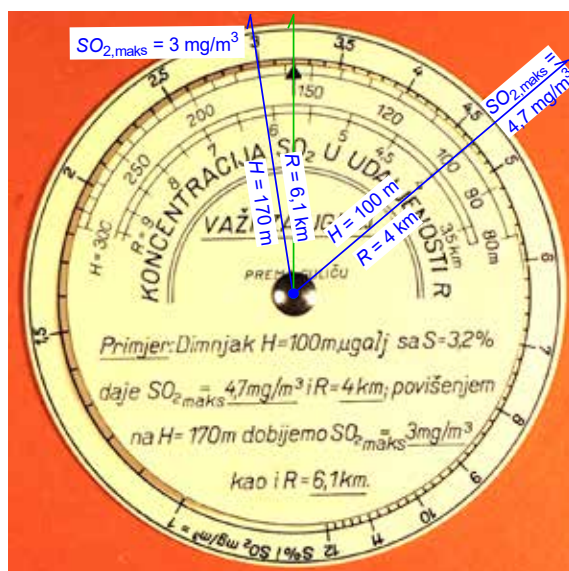
Način uporabe računala:

Ulazni podatak je visina dimnjaka H u metrima, očitava se udaljenost R u kilometrima i koncentracija sumporovog dioksida u mg/m^3 .

1. Na prednjem disku prvo se na vanjskoj skali pronade visina dimnjaka u metrima;
2. Zamišljajući (ili crtajući olovkom) radijalnu crtu kroz zadanu vrijednost H , na unutarnjoj skali očitava se udaljenost R u kilometrima.
3. Vrh strelice namjesti se na zadani postotak sumpora u gorivu, i na skali za H nađe se visina dimnjaka, a onda se na skali stražnjeg diska na tom mjestu očitava koncentracija sumporovog dioksida u mg/m^3 .

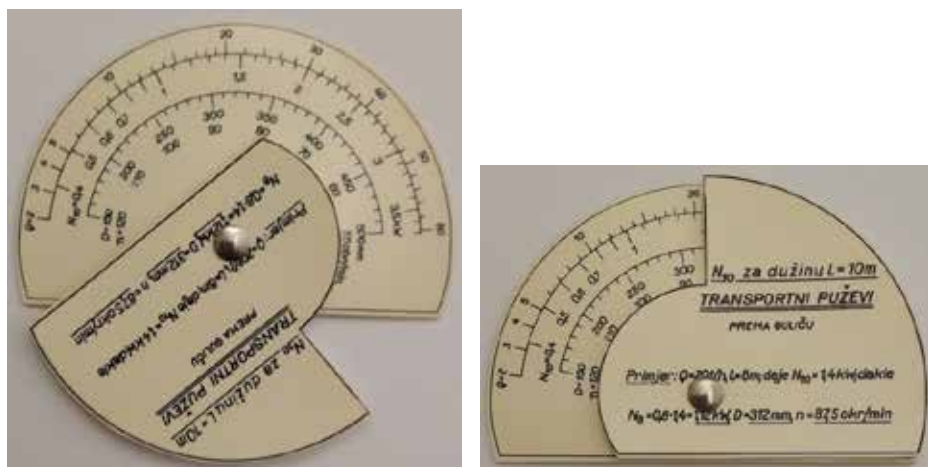
Navedena su dva primjera izračuna:

- a) za visinu dimnjaka $H = 100$ m i ugljen s 3,2 % sumpora očitava se udaljenost $R = 4$ km i $(\text{SO}_2)_{\text{max}} = 4,7 \text{ mg/m}^3$; (kalkulator daje: $R = 3,98$ km i $(\text{SO}_2)_{\text{max}} = 4,68 \text{ mg/m}^3$)
- b) za povećanu visinu dimnjaka $H = 170$ m i isti ugljen očitava se udaljenost $R = 6,1$ km i $(\text{SO}_2)_{\text{max}} = 3 \text{ mg/m}^3$ (kalkulator daje: $R = 6,09$ km i $(\text{SO}_2)_{\text{max}} = 3,0 \text{ mg/m}^3$).



Sl. 12.2 Primjer očitavanja na računalu broj12

13. Transportni puževi prema Guliću



Sl. 13.1 Prednja strana računala. Kazaljka je izmaknuta radi preglednosti.

Ovo analogni računalu treba poslužiti za proračun transportnih puževa za ugljen u parnim kotlovima. Puževi imaju oblik zavojnice i smješteni su u cijevi. Zakretanjem puža ugljen se pomiče uzduž cijevi prema ložištu.

Oblik računala neobičan je, na dijelu kruga (stražnji dio) nalazi se prednji dio neobičnog oblika koji je ustvari samo radijalna kazaljka, a njen prošireni oblik napravljen je da se na njemu ispiše naslov i primjer očitavanja.

Činjenica da su sve skale na jednom „disku“ znači da su sve veličine međusobno jednoznačno povezane, tj. da se izborom jedne veličine sve ostale odmah određene. Očitavanje na kazaljci stoga i nije »računanje«, nego samo očitavanje već ranije izračunatih odnosa.

O transportnim puževima napisano je nešto u knjizi »Gorivaizgoretine«, Beograd, 1964. na stranicama 45 do 50, s nizom praktičnih podataka o dimenzijama, broju okretaja i kapacitetu puža, ali nema izraza za potrebnu snagu za pogon rotora puža. Ipak, ta se snaga navodi na ovom računalu, kao i na nomogramu na slici 41 na stranici 47.

Na disku se nalaze četiri skale. Vodeća je vanjska skala, kapacitet puža Q u tonama ugljena na sat, s rasponom od 2 do 60 t/h. Uz nju je, na unutarnjoj strani iste crte skala za snagu N_{10} za pogon puža (duljine 10 metara) s rasponom od 0,4 do 3,7 kW, a još bliže središtu je jedna dvostruko označena skala – rastuća za promjer puža D s rasponom od 150 do 500 mm i padajuća za broj okretaja n od 120 do 50 okretaja u minuti.

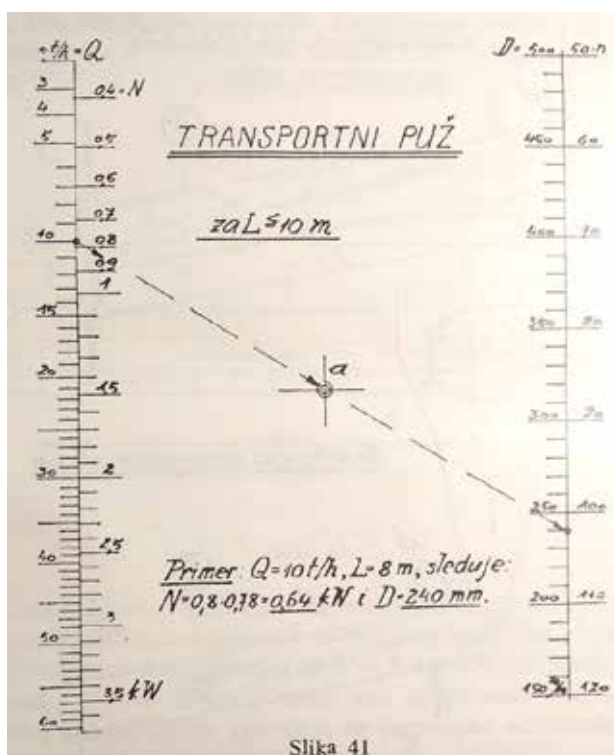
Odabirom jedne veličine (pretpostavljeno: kapaciteta puža Q u tonama ugljena na sat) i namještanjem kazaljke na odabranu vrijednost, svi su ostali podaci određeni.

Snaga za pogon puža prikazana je za puž duljine 10 metara. Za kraći puž (duljine L metara) snaga se dobije množenjem očitane vrijednosti N_{10} faktorom $(L/10)$.

Način uporabe računala:

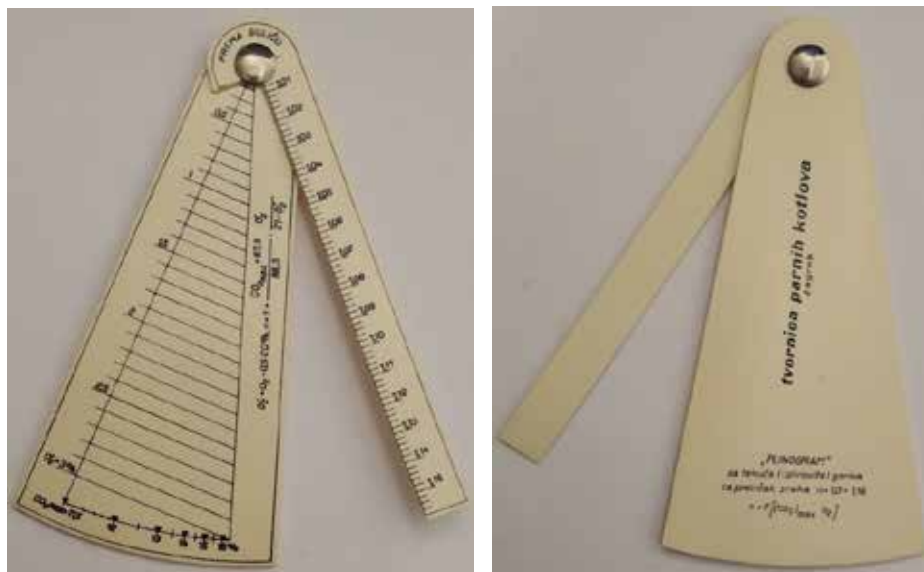
Radijalni rub kazaljke namjesti se na zadani kapacitet puža Q na vanjskoj skali i na ostalim skalama očitaju se vrijednosti; snaga N_{10} , promjer puža D i broj okretaja n .

U knjizi »Gorivaizgoretine«, Beograd, 1964. na slici 41 na stranici 47. navodi se nomogram za određivanje potrebne snage za pogon puža (u kW), potrebnog promjera puža u milimetrima i potrebnog broja okretaja u minuti, sve ovisno o potrebnoj dobavi ugljena u tonama na sat.



Sl. 13.2 Nomogram za određivanje potrebne pogonske snage te promjera i broja okretaja transportnog puža za dobavu ugljena

14. Plinogram za tekuća (i plinovita) goriva za pretičak zraka $n = 1,0 \div 1,16$ prema Guliču



Sl. 14.1 Prednja i stražnja strana računala. Kazaljka je izmaknuta radi preglednosti.

Ovo analogno računalo obavlja isti zadatak kao i *dijagram* broj 7 naziva »PLINOGRAM« za tekuća goriva za pretičak zraka $n = 1,0 \div 1,15$ PREMA GULIČU«, tj. računa faktor pretička zraka za tekuća goriva poznate vrijednosti $(CO_2)_{\max}$ izračunate iz zadanog sastava goriva, ali ne na temelju izmjerenih postotaka molnih udjela *uglji-kovog dioksida i ugljikovog monoksida* u suhim dimnim plinovima kao tamo:

$$n = f[(CO_2'), (CO_2)_{\max}], \quad \text{gdje je} \quad CO_2' = \frac{100 - (CO_2 + CO)}{100 - 0,5 CO} \%,$$

nego na temelju izmjerenih postotaka molnih udjela *kisika* i vrijednosti $(CO_2)_{\max}$:

$$n = f[(O_2'), (CO_2)_{\max}]$$

kako je to opisano jednadžbama 122f, 122m, 122n i 122o na stranicama 22 do 24 knjige Gulič: »I dodatak II izdanju Sagorevanje«, Beograd, 1970.:

$$n = 1 + \frac{CO_{2,\max} + 67,3}{88,3} \left(\frac{CO_{2,\max}}{CO_2'} - 1 \right) \quad (122f)$$

$$\frac{CO_{2,\max}}{CO_2'} = \frac{21}{21 - O_2'} \quad (122m)$$

$$O'_2 = O_2 - 0,5 \text{ CO} \% \quad (122n)$$

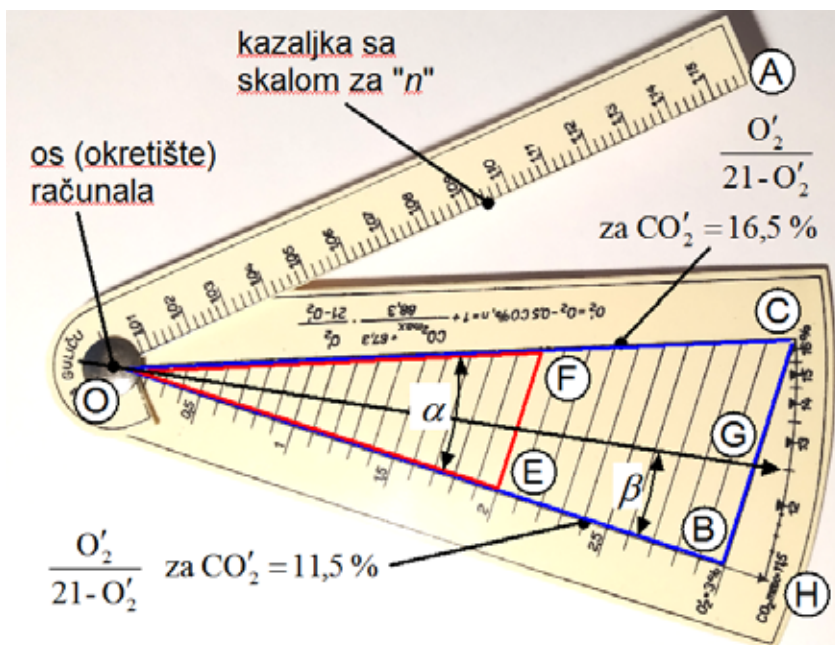
$$n = 1 + \frac{\text{CO}_{2,\text{max}} + 67,3}{88,3} \frac{O'_2}{21 - O'_2} \quad (122o)$$

koje služe za kontrolu izgaranja u ložištima parnih kotlova. Podaci $(\text{CO}_2)_{\text{max}}$ i O'_2 izraženi su u postocima. Postotak $(\text{CO}_2)_{\text{max}}$ ovisi o sastavu goriva, a postotak O'_2 mjeri se u dimnim plinovima pri izgaranju. Jednadžbe (122n) i (122o) napisane su i na samom računalu.

Za ovo pomagalo odabran je raspon $11,5 \% \leq (\text{CO}_2)_{\text{max}} \leq 16,5 \%$, $0 \% \leq O'_2 \leq 3 \%$ i $1 \leq n \leq 1,16$ (zapravo: 1,158) koje su tipične za kapljevita („tekuća“) goriva.

Iako služi za praktički jednak zadatak kao i gore spomenuti *dijagram* #7, ovo je *računalo* koncipirano na sasvim drukčiji način. Množenje naznačeno u jednadžbi (14.1) obavlja se ovdje iskorištavanjem značajki *sličnosti trokuta*.

Osnovu računala čini ploča oblika kružnog isječka kuta oko 20° , ukupne radijalne duljine 120 mm i ima radijalnu kazaljku.



Sl. 14.2 Sličnost trokuta kao osnova konstrukcije računala

Jednadžba (122o) može se preinačiti u oblik:

$$n - 1 = \frac{\text{CO}_{2,\max} + 67,3}{88,3} \cdot \frac{O'_2}{21 - O'_2}, \quad (14.1)$$

pri čemu je vrijednost prvog razlomka na desnoj strani uvijek manja od jedinice jer je odabrano $11,5 \% \leq (\text{CO}_2)_{\max} \leq 16,5 \%$ (a i inače $(\text{CO}_2)_{\max}$ nikako ne može biti veći od 21!). Očito je da *porast* obiju veličina, $(\text{CO}_2)_{\max}$ i O'_2 , *povećava* faktor pretička zraka n .

Gornju jednadžbu možemo za odabranu vrijednost O'_2 pisati kao linearnu funkciju od $(\text{CO}_2)_{\max}$, tj. kao jednadžbu pravca:

$$n - 1 = \frac{O'_2}{21 - O'_2} \cdot \frac{1}{88,3} [\text{CO}_{2,\max} + 67,3] = a \cdot (\text{CO}_{2,\max} + b), \quad (14.2)$$

Maksimalnu vrijednost $(n - 1)$ postiže kad su $(\text{CO}_2)_{\max}$ i O'_2 najveći, tj. kad je $(\text{CO}_2)_{\max} = 16,5 \%$ i $O'_2 = 3 \%$:

$$n - 1 = \frac{(\text{CO}_{2,\max})_{\max} + 67,3}{88,3} \cdot \frac{O'_2}{21 - O'_2} = 0,1582 \quad (14.3)$$

i zato je na kazaljci uzet raspon skale za n do 1,158.

No, kad je, za isti $O'_2 = 3 \%$, $(\text{CO}_2)_{\max} = 11,5 \%$ *manji*, i $(n - 1)$ je manji:

$$n - 1 = \frac{(\text{CO}_{2,\max})_{\min} + 67,3}{88,3} \cdot \frac{O'_2}{21 - O'_2} = 0,1487. \quad (14.4)$$

Početak zasnivanja računala je na radijalnoj kazaljci. Od njene osi (točke okretanja »O« na slici 14.3) do kraja (oznaka »A«) ravnomjerno (linearno) su nanese vrijednosti od $(n - 1) = 0,0$ do $(n - 1) = 0,158$ (iako na kazaljci *piše* »n« od 1,0 do 1,158!).

Pripadajuće iznose $O'_2 / (21 - O'_2)$ za vrijednosti O'_2 od 0 % do 3 % možemo nanijeti na skalu (**O-B**) na slici dolje i ona je *malo kraća* od skale za n na kazaljci (**O-A**). Parametarske crte $O'_2 = \text{konst.}$ ucrtane su tako da budu *okomite na skalu* (**O-B**). (Iako se tako može učiniti na prvi pogled, snop tih crta okomitih na dužinu **O-B** *nije jednoliko razmaknut*, razmak se vrlo malo povećava s udaljenošću od točke **O**!)

Time se stvara *pravokutni trokut* **O-B-C** (plavo) i za stranice (**O-B**) i (**O-C**) vrijedi odnos:

$$\alpha = \arccos \left(\frac{\overline{\text{O-B}}}{\overline{\text{O-C}}} \right) = \arccos \left(\frac{0,1487}{0,1582} \right) = 19,892^\circ. \quad (14.5)$$

Plavim pravokutnim trokutom **O-B-C** i njemu sličnim crvenim pravokutnim trokutom **O-E-F** određene su vrijednosti n za sve O'_2 od 0 % do 3 %, ali samo za dvije krajnje vrijednosti $(CO_2)_{\max} = 11,5 \%$ i $16,5 \%$.

Da bismo uzeli u obzir i međuvrijednosti $11,5 \% < (CO_2)_{\max} < 16,5 \%$, poslužiti ćemo se trigonometrijom. Zamislimo zraku **O-G** koja „cilja“ na zadanu vrijednost $(CO_2)_{\max}$ i koja omeđuje trokut **O-B-G**. Zadatak je naći kut β pri vrhu tog trokuta **O** koji odgovara zadanoj vrijednosti $(CO_2)_{\max}$ da se dobije traženi iznos $(n-1)_{CO_2, \max}$.

$$\text{iz } \frac{\overline{OB}}{\overline{OC}} = \cos(\alpha) = \frac{(n-1)_{11,5\%}}{(n-1)_{16,5\%}} \quad (14.6)$$

$$\text{i } \frac{\overline{OB}}{\overline{OG}} = \cos(\beta) = \frac{(n-1)_{11,5\%}}{(n-1)_{CO_2, \max}} \quad \text{slijedi:} \quad (14.7)$$

$$\overline{OG} = \overline{OC} \frac{\cos(\alpha)}{\cos(\beta)} \quad (14.8)$$

$$\text{i } \frac{\cos(\alpha)}{\cos(\beta)} = \frac{(n-1)_{CO_2, \max}}{(n-1)_{16,5\%}} = \frac{CO_{2, \max} + 67,3}{16,5 + 67,3} \quad (14.9)$$

$$\cos(\beta) = \cos(\alpha) \cdot \frac{16,5 + 67,3}{CO_{2, \max} + 67,3} \quad (14.10)$$

$$\begin{aligned} \beta &= \arccos \left[\cos(\alpha) \cdot \frac{16,5 + 67,3}{CO_{2, \max} + 67,3} \right] = \\ &= \arccos \left[\frac{0,1487}{0,1582} \cdot \frac{16,5 + 67,3}{CO_{2, \max} + 67,3} \right]. \end{aligned} \quad (14.11)$$

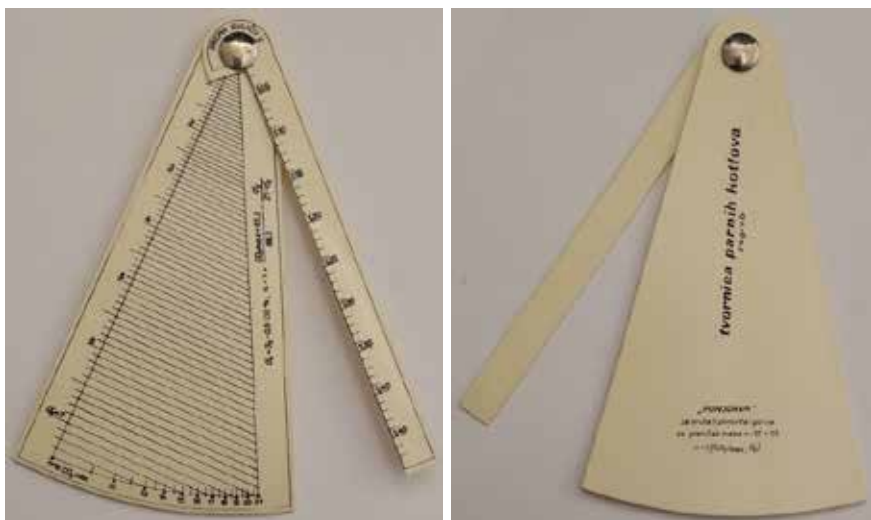
Način uporabe računala:

Iako konstrukcija izgleda komplicirano, uporaba računala je jednostavna:

1. Prvo se kazaljka svojim rubom (skalom **OA**) namjesti na zadanu vrijednost $(CO_2)_{\max}$ na desnom kružnom luku **BC**;
2. Na skali **OB** nađe se zadana vrijednost O'_2 i, služeći se ucrtanim paralelama očita se na kazaljci na skali **OA** tražena vrijednost n .

Time je postupak gotov.

15. Plinogram za kruta (i plinovita) goriva za pretičak zraka $n = 1,0 \div 1,5$ prema Guliću



Sl. 15.1 Prednja i stražnja strana računala. Kazaljka je izmaknuta radi preglednosti.

Ovo analogno računalo obavlja isti zadatak kao i *računalo*#14, ali za drugu vrstu goriva, tj. računa faktor pretička zraka za *kruta (i plinovita) goriva* poznate vrijednosti $(CO_2)_{\max}$ izračunate iz zadanog sastava goriva, na temelju izmjerenih postotaka molnih udjela *kisika* i vrijednosti $(CO_2)_{\max}$:

$$n = f[(O'_2), (O_2)_{\max}]$$

kako je to opisano jednadžbama 122f i 122m na stranicama 22 do 24 knjige Gulić: »I dodatak II izdanju Sagorevanje«, Beograd, 1970.:

Računalo je koncipirano na *potpuno jednak način* kao i prethodno *računalo broj*14: »PLINOGRAM za tekuća (i plinovita) goriva za pretičak zraka $n = 1,0 \div 1,16$ PREMA GULIĆU«. Razlika je samo u vrsti goriva na koje se odnosi i iz toga proizlazećih brojčanih vrijednosti pojedinih parametara. Zato i analiza ovog računala može biti skraćena.

Iako je koncepcija osnivanja računala broj 14 i 15 načelno potpuno jednaka, drukčije odabrane brojčane vrijednosti zbog drukčijih karakteristika izgaranja različitih goriva imaju za posljedicu malo drukčiji redoslijed određivanja rubnih parametara. Uvidom u samo računalo, čini se da je autor odabrao maksimalnu vrijednost za $O'_2 = 7,4\%$ pri minimalnih $(CO_2)_{\max} = 11\%$:

$$n-1 = \frac{(\text{CO}_{2,\text{max}})_{\text{min}} + 67,3}{88,3} \cdot \frac{O'_2}{21 - O'_2} = 0,48250 \quad (15.1)$$

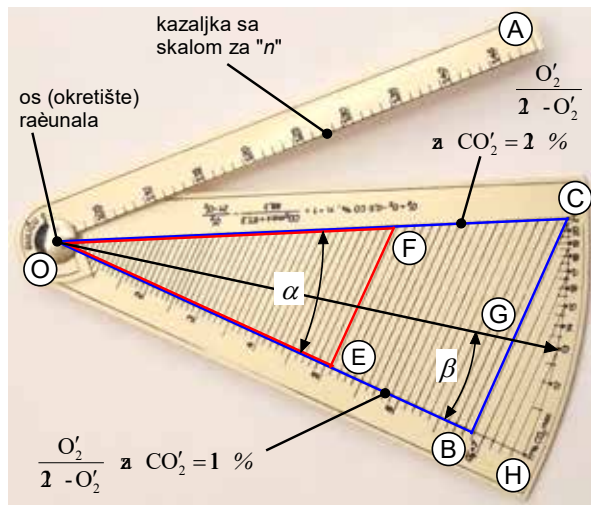
i zato je na kazaljci uzet raspon skale za n od 1 do $\sim 1,4825$.

Na potpuno jednak način kao kod računala broj 14, ali s ovdje pripadajućim brojevima, dolazi se do kuta koji zatvaraju dužine $\overline{OB}$ i $\overline{OC}$:

$$\alpha = 2,5332^\circ, \quad (15.2)$$

a jednažbom poput (14.11) određeni su i kutovi β na kojima se nalaze oznake za $(\text{CO}_2)_{\text{max}}$ na obodnoj skali između točaka H i C .

Osnivanje računala počinje s kružnim isječkom polumjera jednakog duljini skale na kazaljci. Može se na slici 15.2 ucrtati *pravokutni trokut OBC* (plavo).



Sl. 15.2 Sličnost trokuta kao osnova konstrukcije računala

Način uporabe računala:

Uporaba računala je jednostavna.

1. Prvo se kazaljka svojim rubom (skalom OA) namjesti na zadanu vrijednost $(\text{CO}_2)_{\text{max}}$ na desnom kružnom luku BC ;
2. Na skali OB nađe se zadana vrijednost O'_2 i, služeći se ucrtanim paralelama očitava se na kazaljci na skali OA tražena vrijednost n .

Time je postupak očitavanja ovog računala gotov.

Zaključak:

Proračun parnih kotlova iznimno je složen i sastoji se, osim od proračuna ‘vatrene strane’ odnosno dobave i pripreme goriva, izgaranja i zbrinjavanja produkata izgaranja, još i od proračuna ‘parne strane’ tj. termodinamičkog proračuna proizvodnje pare, zatim od ‘dimenzioniranja’ pojedinih sastavnih dijelova parnog kotla sa stano-višta izmjene topline, mehaničke čvrstoće svih dijelova, karakteristika strujanja svih radnih tvari i još niza proračuna: građevinski objekti, eksploatacija...

Prikazani komplet od petnaest analognih računala za proračun ‘vatrene strane’ zadivljujući je primjer pokušaja olakšavanja provedbe računskog postupka u doba kad su računska pomagala bila ‘primitivna’ i spora, a sastojala su se od logaritamskih tablica ili logaritamskog računala (»šibera«) za množenje i dijeljenje i izračunavanje transcendentnih funkcija, papira i olovke ili eventualno mehaničkih računskih strojeva za četiri računске operacije.

Naravno da tih petnaestak formula čije se rješavanje ubrzava ili olakšava spomenutim pomagalima nipošto nisu cijeli proračun ‘vatrene strane’, dakle, to je samo razmjerno mala pomoć proračunu u to doba, ali je zadivljujuće kako su se u to doba ljudi snalazili i da se našao netko spreman uložiti puno truda da bi nekolicini projekta-nata olakšao posao. Malo je vjerojatno da je populacija zainteresirana za ta pomagala bila brojna, možda čak samo ekipa inženjera unutar Tvornice parnih kotlova, i sasvim je sigurno da motiv njihove izrade nije bio komercijalan.

U vrijeme njihova nastanka, ako je točna procjena da se radilo o sredini šezdesetih godina dvadesetog stoljeća, pojavili su se prvi elektronički stolni kalkulatori npr. 1964. Friden 130 i još nekoliko modela s četirima računskim operacijama, ali je razvoj elektroničkih kalkulatora bio nevjerojatno brz, tako da je već nekoliko godina kasnije, krajem šezdesetih, bilo nekoliko modela sa svim mogućim računskim operacijama i izračunavanjem transcendentnih funkcija pa čak i sa skromnom mogućnošću programiranja, da bi već do sredine sedamdesetih bili široko dostupni *džepni* kalkulatori s jednakim mogućnostima i pristupačnim cijenama. Usporedo s tim razvijali su se i kompjutori s još većim mogućnostima.

U tom trenutku praktički je prestala potreba za ovakvim računskim pomagali-ma. Je li njihov autor, u doba kad ih je osmišljavao i realizirao, mogao pretpostaviti tako brzi razvoj i dostupnost modernih elektroničkih pomagala i da će njegova poma-gala za koju godinu postati nepotrebna? Jer, kako god bio vješt i brz njihov korisnik, nije se ni izbliza mogao nositi s prednostima elektroničkih kalkulatora ili kompjutora.

To će ostati tajna, a ovaj komplet analognih računskih pomagala svjedočit će o domišljatosti i spremnosti nekoga da uloži nemali trud ne bi li bar nekolicini drugih olakšao i ubrzao posao.

Literatura

- [1] G.Gulič: *Sagorevanje*, Beograd, 1964.,
- [2] G.Gulič: *Sagorevanje I dodatak II izdanju*, Beograd, 1970.,
- [3] G.Gulič: *Gorivaizgoretine*, Beograd, 1964.
- [4] <https://www.slovenska-biografija.si/oseba/sbi1011570/> ; pristupljeno 22.10.2021.,

Boris Halasz

THE SWAN SONG OF ANALOG COMPUTERS

Summary: In the 1960-s, with the support of the Steam boilers Factory Zagreb - *Tvornica parnih kotlova Zagreb*, a set of fifteen analog calculators was made for the purpose of calculating some formulas in the process of rating the combustion in the steam boilers. Although impressive for the design ingenuity, they were soon obsolete because electronic calculators and computers appeared on the market, simply making all the up to then available calculating aids a history. However, the way these analog calculators were conceived deserves the praise for effort which some people made to solve the problems which today seem to be simple and are simple and easy to solve using today's calculating aids.

Key words: analog calculators, Gvidon Gulič, rating of combustion, Steam boilers Factory Zagreb (*Tvornica parnih kotlova Zagreb*)

Željko Vrzan

CIJEVNI RADIO APARATI RADIOINDUSTRIJE ZAGREB

Sažetak: Nakon što je u NR Hrvatskoj odobrena proizvodnja radio prijamnika 1952. godine, Radioindustrija Zagreb - RIZ kreće s proizvodnjom radio aparata, pa tako 1953. godine plasira na tržište radio aparat MAKSIMIR. U razdoblju od 1953. do 1965. u RIZ-u su proizveli 28 osnovnih modela radio aparata prilagođenih tadašnjoj potražnji na tržištu, kupovnoj moći i dostupnosti elektroničkog materijala.

Ključne riječi: radio aparat, elektronska cijev, Radioindustrija Zagreb

Uvod

U ovom radu se prikazuje razvoj Radioindustrije Zagreb na konstrukciji i izradi radio prijamnika s elektronskim cijevima. To su modeli radio aparata koji obilježavaju početni period hrvatske radio industrije nakon završetka 2. svjetskog rata u periodu od 1953. do 1965. godine. U početku, bilo je to vrijeme kada je bilo jako teško doći do sastavnih dijelova, nešto se dijelova počelo proizvoditi u Srbiji, a pokretala se i proizvodnja u samom RIZ-u.

Iako osnovna namjera osnivanja Radioindustrije Zagreb nije bila proizvodnja radio prijamnika, već odašiljača, te opreme za potrebe Radio Zagreba, u kratkom vremenu, entuzijasti, stručnjaci i tehničari prihvatili su izazov i započeli proizvodnju radio aparata. Svakim novim modelom proizvedenog radio aparata se odjel proizvodnje radio aparata u Božidarevićevoj 13, Zagreb, širio i tehnički i kadrovski napredovao.

Izazovi koji su se javljali prilikom konstruiranja i proizvodnje radio aparata bili su izuzetno veliki. Od kronične nestašice materijala, uvjetovane niskim cijenama gotovog proizvoda, do ogromnog pritiska da se svake godine na tržište 'izbaci' barem jedan novi model radio aparata. Takav ogroman pritisak rezultirao je i modelima radio

aparata skromnijih karakteristika, a ponekad i samo ugrađivanjem iste šasije u drugi oblik kutije, a sve samo da se održi korak s konkurencijom iz drugih republika.

Neosporna je činjenica kako se između republika bivše Jugoslavije, republika Srbija favorizirala, te se u tu republiku slijevalo najviše državnog novca kako bi se što više razvila. Sama politička situacija naginjala je tome, a iz Srbije se upravljalo na neki način razvojem industrija u ostalim republikama, koje su uglavnom dobivale 'mrvice', te su ograničavane u svom razvoju kako ne bi bile naprednije od Srbije.

Radioindustrija Zagreb nametnula se svojim proizvodima cijeloj bivšoj Jugoslaviji bez obzira na ograničenja koja su stavljena pred nju. Nećemo zamjeriti što su konstrukcije i izvedbe radio prijamnika proizvođača iz Europe tog vremena bile daleko ispred RIZ-ovih proizvoda. Radilo se s onim što je bilo na raspolaganju, s puno truda i ljubavi, pa svima koji su sudjelovali u tome treba odati veliko priznanje.

I. Cijevni radio aparati RIZ - Radioindustrije Zagreb



RIZ kao Radioindustrija Zagreb, osnovan je 1948. godine dekretom Narodne Republike Hrvatske, u svrhu proizvodnje i popravaka odašiljača i opreme za Radio Zagreb, pa je već 1949. godine proizveden prvi 15 kW srednjevalni radio odašiljač. Razglasne uređaje i zvučnike RIZ je počeo proizvoditi 1949. godine. Svoje aparate RIZ je označavao skromnim, ali upečatljivim amblemima.



Prvi proizvod RIZ-a, radio odašiljač Učka počinje se serijski proizvoditi od 1952. godine. Električni gramofon s jednom brzinom počeo se proizvoditi 1953. godine, a s tri brzine 1957. godine.

Radio aparat Maksimir, prvi je RIZ-ov radio aparat, proizveden 1953. godine, dok je posljednji radio aparat s elektronskim cijevima proizveden 1965. godine. Do danas ostaju nepoznate količine proizvedenih pojedinih radio aparata. Tijekom vremena tvornice RIZ-a bile su diljem Hrvatske: Slunj (tvornica televizijskih prijamnika), Đurđevac (tvornica Elak za proizvodnju gramofona), Gornje Taborište (tvornica televizijskih prijamnika), Zagreb (tvornica poluvodiča i tvornica telekomunikacijskih uređaja).

Radio aparati s elektronskim cijevima proizvodnje RIZ-a:

Maksimir,	Jadran 59A
Dubrava 54,	Jadran 59B,
Jadran,	Jadran 59C,
Dubrava 55,	Jadran 59 UKV-A,
Tuškanac 56,	Jadran 59 UKV-B,
Tuškanac 56M,	Jadran 59 UKV-C),
RIZ 56,	Jadran 60,
BU-357,	Jadran 60G,
BU-4/58,	Pionir 60,
Pionir	RIZ 594 UKV,
Jadran 57,	RIZ 604 UKV,
Jadran 57A,	RIZ 604S,
RIZ 58,	RIZ 614 i
Jadran 58 UKV,	RIZ 634 [1].

Radio aparat Maksimir



Sl.1.: Radio aparat MAKSIMIR [2]

Pritiskom tadašnjeg Radio Zagreba sa suradnicima, koji su tražili od Vlade Republike Hrvatske pokretanje proizvodnje radio prijamnika u Zagrebu, a koja je do tada bila centralizirana u Beogradu, donesena je odluka *Komiteta za vezu* iz Beograda 1952. godine, kojom je dozvoljeno osnivanje i pokretanje proizvodnje radio prijamnika u Beogradu, Zagrebu i Ljubljani.

Početak proizvodnje cijevnih radio aparata tvornice RIZ, davne 1953. godine bio je sklapanjem radio aparata MAKSIMIR. Riječ je o gotovoj šasiji austrijske firme CZEIJA, model BEMONTE 315-2 koja se stavljala u drvenu kutiju. Tri detalja razlikuju radio aparat MAKSIMIR od radio aparata Bemonte 315-2. Prvi detalj je drugačiji zvučnik, kutija RA Maksimir proizvodila se lokalno i s zadnje strane se razlikuje neznatno od originala, pa je to drugi detalj a treći je oznaka na skali staklu.

Osjetljivost prijamnika:
srednji val 10 μ V,
dugi val 10 μ V.

kratki val 20 μ V,

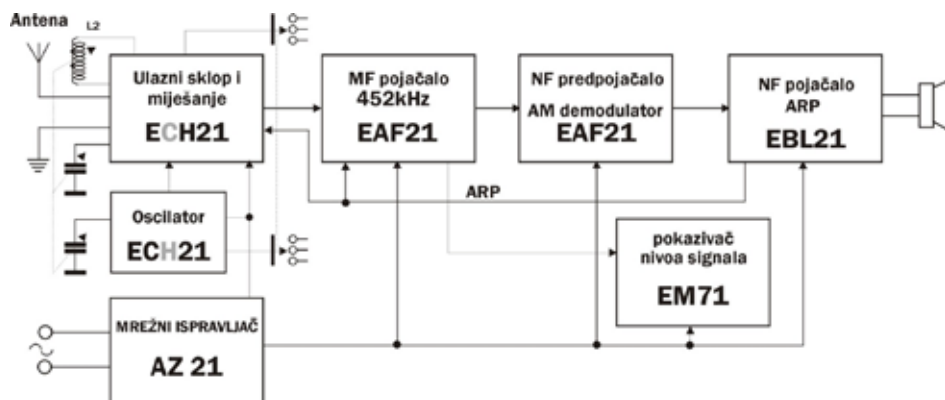
Kutija je ovalnog oblika, dimenzije 46x31x20cm, težine devet kilograma.

Danas se radio prijamnik MAKSIMIR smatra rijetkim kolekcionarskim primjerkom, jer se proizvodio u maloj seriji i kroz kratak period. Na žalost, iza tvornica RIZ-a nije ostala potpuna kolekcija proizvedenih aparata, već se pojedini primjerci mogu vidjeti samo kao dio kolekcije pojedinog kolekcionara.

Princip rada radio aparata MAKSIMIR

Pogledom na shemu radio aparata Maksimir, vidljivo je kako je riječ o ozbiljnom, koncertnom radio aparatu izvedenim kao superheterodin s jednim miješanjem i jednim MF pojačalom frekvencije 452kHz. Upotrebene su elektronske cijevi ECH21 kao ulazni sklop, miješanje i oscilator, prva EAF21 za međufrekventno pojačalo i demodulaciju, druga EAF21 kao NF predpojačalo, EBL21 kao izlazno NF pojačalo i ARP, te EM71, "magično oko" kao atraktivni pokazivač jačine signala i AZ21 koja osigurava punovalno ispravljanje za cijeli radio aparat.

Katode upotrebljenih elektronskih cijevi griju se s 6,3V izmjenično, dok je za katodu AZ21 potrebno 4V izmjeničnog napona. Sama rješenja pojedinih sklopova su neuobičajena i za razumijevanje rada radio aparata MAKSIMIR (BEMONTE 315-2) potrebna je podrobna analiza, što u nastavku slijedi.



Sl.2.: Blok shema radio aparata MAKSIMIR [3]

Zbog ondašnje loše kvalitete napona gradske mreže, na primarnoj strani mrežnog transformatora omogućeno je biranje visine ulaznog napona u rasponu od 110V pa do 240V, preklopnikom s pet položaja na zadnjoj strani šasije.

Danas, oni vlasnici koji posjeduju reparirani radio aparat MAKSIMIR moraju selektor ulaznog napona prebaciti na 240V, jer će time sačuvati mrežne i ostale kondenzatora, a i produžiti životni vijek elektronskih cijevi.

Proizvođač šasije Bemonte 315-2, austrijska firma Czeija predviđjela je mogućnost priključivanja vanjskog FM adaptera. S njime se mogao primati i FM opseg.

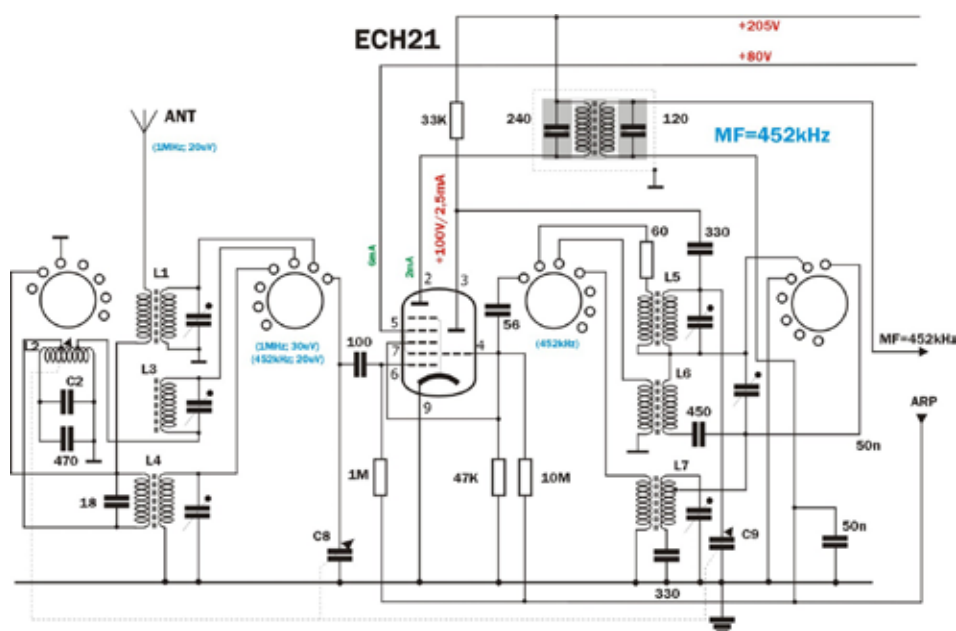
Riz nije proizvodio FM adapter za radio aparat MAKSIMIR, no kako je kupovao gotovu **šasiju** ugrađivao je u svoju kutiju, ostavio je tu mogućnost.

Ispravljački sklop radio aparata MAKSIMIR

Punovalno ispravljanje anodnog napona ostvareno je nakon sekundara mrežnog transformatora s elektronskom cijevi AZ21. Riječ je o dvostrukoj diodi s direktno grijanom katodom. Elektronska cijev AZ21 se prvobitno izrađivala s 9 pinskom bazom B9G, no od 1942. godine baza je izvedena kao 8 pinska Loctal B8G, pa je podnožje u radio aparatu MAKSIMIR B8G.

Ispravljeni napon na katodi elektronske cijevi AZ21 (+290V) filtrira se na polovici dvostrukog mrežnog elektrolitskog kondenzatora (2x32uF), te vodi na srednji izvod izlaznog transformatora. Jedna polovina primarnog namotaja napaja anodu izlazne tonske pentode EBL21 naponom od +260V, dok druga polovina namotaja služi kao mrežna prigušnica koja s drugom polovinom dvostrukog mrežnog elektrolitskog kondenzatora napaja naponom (+205V) ostale elektronske cijevi i drugu mrežicu izlazne pentode.

Antenski signal se dovodi na zavojnicu L1 s koje se induktivnim putem zavisno od odabranog valnog područja vodi na prvu mrežicu heptode ECH21, pin 6. Zanimljivo je kako se induktivitet zavojnice L2 mijenja spregnuto s rotacijom dvostrukog promjenjivog kondenzatora. Na taj način osigurano je optimalno podešavanje ulaznog titrajnog kruga promjenom odabrane frekvencije prijamnika.



Sl.4.: Ulazni sklop, oscilator i miješanje radio aparata MAKSIMIR [3]

Prva sekcija petero segmentnog preklopnika odabire ulazne titrajne krugove zavisno od željenog valnog područja: dugi val, srednji val ili kratki val. Ulazni signal putuje kroz heptodu ECH21 pojačava se i nakon druge mrežice nailazi na signal lokalnog oscilatora, treća mrežica, pin 7. Rezultat miješanja ulaznog signala i signala lokalnog oscilatora pojavljuje se na anodi heksode, pin 2, te se vodi na prvi MF transformator podešen na 452kHz. Induktivnom vezom, MF signal se vodi na MF pojačalo, pin 6 EAF21.

Lokalni oscilator izveden je s triodnim dijelom ECH21. Njegova se frekvencija odabire na drugom i trećem segmentu valnog preklopnika odabirom željenog seta zavojnica.

Napon automatske regulacije pojačanja ARP djeluje na prvu mrežicu heptode i mrežicu triode ECH21 regulirajući pojačanje elektronske cijevi.

452kHz sadrži i NF komponentu. Taj signal se vodi na diodu EAF21, pin 4, koja demodulira NF komponentu iz VF signala.

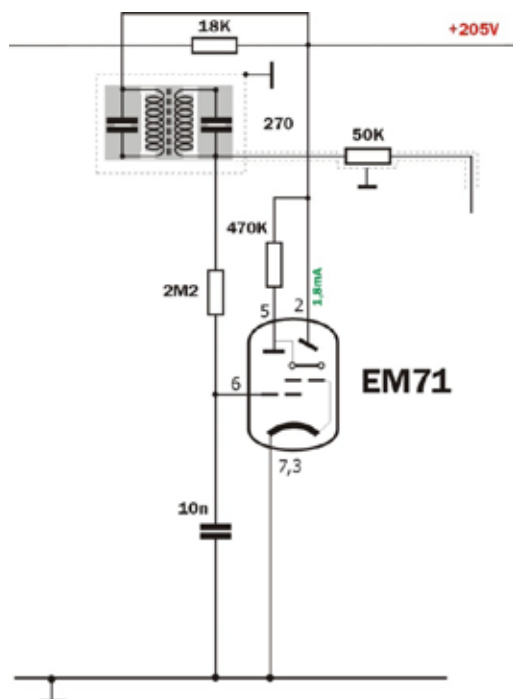
S donjeg izvoda sekundara drugog MF transformatora inducirani NF signal se vodi na sekciju preklopnika ulaza NF predpojačala.

“Magično oko” radio aparata MAKSIMIR

Vanjski izgled radio aparata Maksimir oplemenjen je vizualnim pokazivačem nivoa ulaznog signala - “magičnim okom”. Iako izuzetno atraktivan, sklop “magičnog oka” je izveden krajnje jednostavno. Upotrijebljena je elektronska cijev EM71 s Loctal 8 podnožjem, indirektnim grijanjem katoda naponom 6,3V i sa svega tri pasivna elementa: dva otpornika i jedan kondenzator.

Otpornik 470K, pin 5, služi za omogućavanje statičkih radnih uvjeta, dok se NF signal, koji se snima s ulaza u NF predpojačalo, preko otpornika 2M2 vodi na upravljačku mrežicu, pin 6.

Kondenzator 10nF s upravljačke mrežice prema masi služi za ublažavanje oscilacija ulaznog signala.



Sl.6: Međufrekventno pojačalo i demodulator radio aparata MAKSIMIR [3]

Elektronska cijev EM71 na svojoj upravljačkoj mrežici reagira na negativan dio amplitude signala iz demodulatora. EM71 se počela proizvoditi od 1938. godine i od tada se nalazi u mnogim boljim radio aparatima.

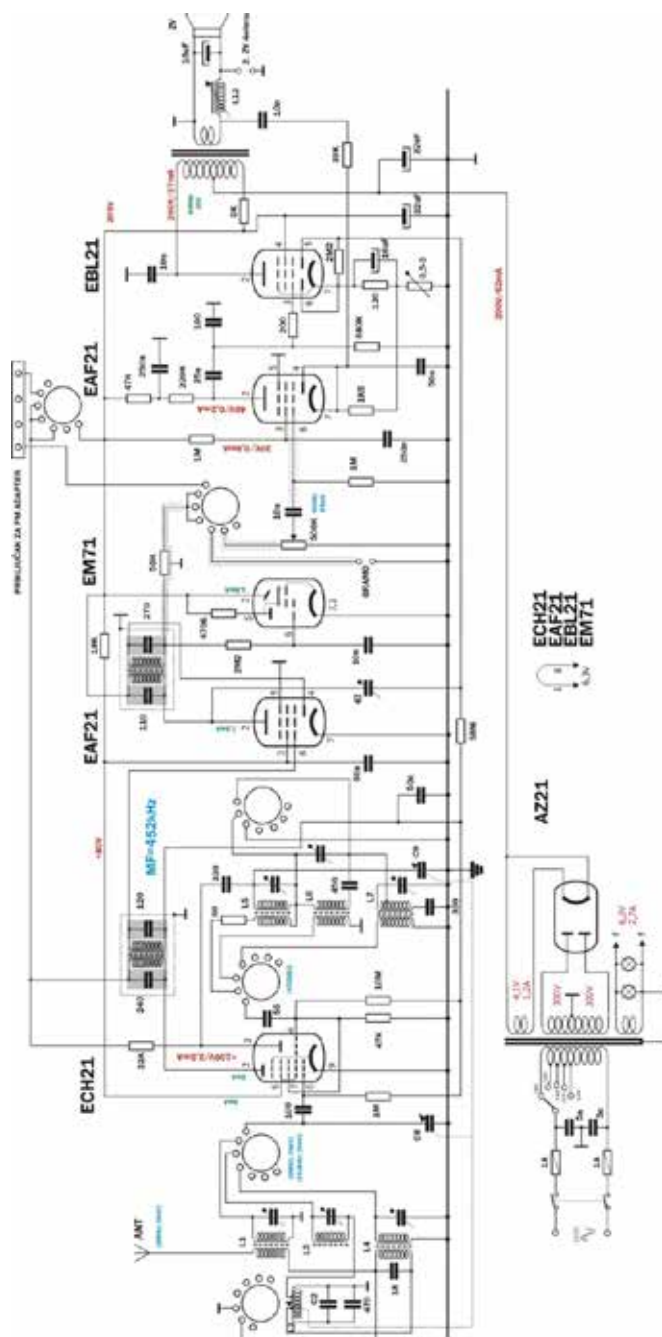
Svojim velikim, preglednim zaslonom bila je omiljeni svjetlosni pokazivač razine signala mnogim konstruktorima radio aparata.



Sl.7.: EM71 [4]

Niskofrekventno pojačalo radio aparata MAKSIMIR

Niskofrekventno pojačalo radio aparata Maksimir sastoji se od predpojačala i izlaznog pojačala. Odabrani ulazni NF signal s preklopnika (signal radio aparata ili gramofona) vodi se na logaritamski potencijometar 500K, te se s njegova klizača preko kondenzatora 10nF vodi na prvu mrežicu elektronske cijevi EAF21, VF trioda i dioda, koja vrši ulogu predpojačala. Stupanj pojačanja EAF21 određen je otpornikom 1M s prve mrežice prema masi, te malim naponom anode od +40V. Katoda nije spojena direktno na masu, već “pliva” u naponu katode EBL21 s kojom je vezana otpornikom 1K5, te



SL9.: Shema radio aparata MAKSIMIR

U nastavku slijedi članak objavljen u časopisu Elektrotehničar 8-9/1957. godine s osnovnim podacima o radio prijamniku MAKSIMIR, te njegovu podešavanju (sl. 10 i 11).

Tvornički radioprijemnik • MAKSIMIR •

Proizvod tvornice
„Radioindustrija Zagreb“

SERVISNI PODACI

Radioprijemnik »Maksimir« tvornice »Radioindustrija Zagreb« je super sa 6 elektronika, 6 ugođenih krugova i 3 valna područja.

Tehnički podaci:

Valna područja:

Kratki val 16 do 50 m (18,75 do 6,0 MHz)

Srednji val 185 do 600 m (1622 do 500 kHz)

Dugi val 800 do 2000 m (375 do 150 kHz)

Međufrekvencija: 452 kHz, širina pojasa 10 ± 0,5 kHz

Priključak za izmjeničnu mrežu napona: 110, 125, 150, 220 i 240 V.

Potrošak snage: cca 45 W.

Zvučnik: permanentno dinamički, promjer membrane 21,5 cm, impedancija titrajne zavojnice kod 400 Hz: 3,9 Ω.

Osetljivost prijemnika:

Dugi val — 10 μV

Nakon ugađanja posljednjeg kruga, jezgre se MF zavojnica ne smiju više dirati. Jezgre je potrebno zaliti voskom.

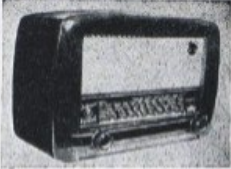
Ulazni i oscilatorski krugovi

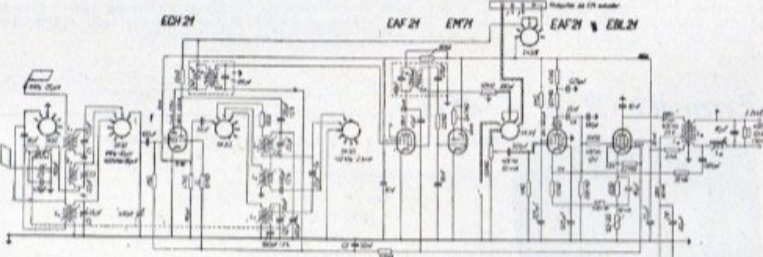
Prije nego što se pristupi ugađanju, potrebno je kontrolirati da li pri zatvorenom promjenljivom kondenzatoru kazaljka stoji na 600 m. Nadalje treba regulator boje tona staviti u položaj »svijetlo«, a na priključke za drugi zvučnik staviti outputmetar.

Ugađanje ulaznih i oscilatorskih krugova treba provesti tek nakon ugođenih i zalivenih jezgri MF transformatora.

Dugi val

Kazaljku postaviti na točku skale koja odgovara 1700 m (170 kHz). Na antenski priključak priključiti preko normalne umjetne antene modularni signal 170 kHz. Prijemnik ugo-





Srednji val — 10 μV

Kratki val — 20 μV

Kutija: Ovalnog je oblika, dimenzije 46×31×20 cm, težina 9 kg.

UGAĐANJE PRIJEMNIKA

Međufrekvencija

Prije samog ugađanja treba:

- valni preklopnik postaviti na srednji val
- otvoriti promjenljivi kondenzator do kraja
- potenciometar regulatora zvuka staviti na maksimum
- na izlaz za drugi zvučnik priključiti outputmetar

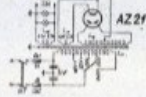
MP krugovi ugađaju se slijedećim redoslijedom:

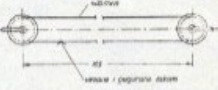
L11, L10, L9, L8

di na maksimalni izlaz prvo jezgrom zavojnice L7, a zatim jezgrom L4. Nakon toga postaviti kazaljku ispod točke koja odgovara valnoj duljini 800 m (375 kHz) i na antenski priključak priključiti modularni signal 375 kHz. Ugoditi na maksimalni izlaz prvo trimrom C6, a zatim trimrom C5. Ugađanje ponavljati tako dugo, dok ugađanje na jednoj frekvenciji nema utjecaja na drugu i obratno.

Srednji val

Kazaljku postaviti ispod točke 550 m, te na ulaz staviti signal od 546 kHz. Ugoditi prijemnik na maksimalni izlaz prvo pomoću L6, a zatim pomoću L3. Poslije toga postaviti kazaljku na 200 m (1500 kHz), te ugađanje izvršiti trimeri-





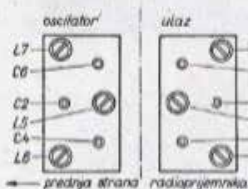
550 m (546 kHz). Ugađanje treba sada provesti trimrom C7. Opisano ugađanje treba ponavljati, sve dok ugađanje na jednoj frekvenciji ne smeta ugađanju na drugoj frekvenciji i obratno.

98

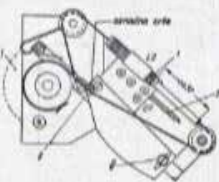
ELEKTROTEHNIČAR 8-9/1957

Kratki val

Ugađanje se provodi na isti način kao kod dugog vala. Točke ugađanja su 42,9 i 20 m, t. j. frekvencije modulatornih signala 7 i 15 MHz. Ugađanje izvršiti s jezgrama zavojnica L5 i L1, kao i trimerima C2 i C1.



Po završenom ugađanju potrebno je sve trimere i jezgre zaliti voskom.

**MJERENJE OSJETLJIVOSTI****Posredna osjetljivost**

Postaviti regulator zvuka na maksimum, a na krajeve potenciome-

tra priključiti napon od 65 mV, frekvencije 400 Hz. Na priključke zvučnika staviti outputmetar, te na njemu očitati izlazni napon. Taj napon mora iznositi 0,44 V (50 mV). Isti napon izlaza mora pokazati outputmetar ako se na rešetku izlazne elektronke EBL21 dovede NF signal napona 1,3 V. Mijenjajući frekvenciju torgeneratora na outputmetru se čita odgovarajuća frekventna karakteristika, koja mora biti linearna u niskofrekventnom području.

Osjetljivost MF stupnja i ulaza

Kod ulaznog signala od 2,1 mV (452 kHz) na rešetki MF elektronke RAF 21, mora napon na izlazu iznositi 0,44 V; isti napon na izlazu mora se dobiti, ako se na prvu rešetku miješalice ECH 21 stavi napon 20 μ V, frekvencije također 452 kHz. Dovede li se na rešetku miješalice signal od 1 MHz, dobit ćemo na izlazu napon od 0,44 V onda, ako je vrijednost modulatornog ulaznog signala 30 μ V. Mjerenje osjetljivosti ulaza vrši se dovođenjem modulatornog signala preko umjetne antene na antensku priključnicu. Izlazni napon od 0,44 V postizava se kod ulaznog signala od 20 μ V.

MEHANIČKI PODACI I ISPITIVANJE

1. Kontrolirati sve dijelove da li su dobro pričvršćeni; vijci i matice dobro pritegnute.
2. Zakivna mjesta moraju biti ispravna.

3. Kontrolirati sve spojeve Ohmmetrom. Svi vrući vodovi MF transformatora moraju biti blizu sesije.

4. Sva lezna mjesta moraju se kontrolirati, da ne postoji opasnost kratkog spoja, naročito kod dijevova R1, C8, C9 i C10.

5. Kontrola stalnog pogona.

Kazaljka treba da je potpuno ravna i bez mrtvog hoda, vrpca zategnuta i ne smije se učitavati. Dugme za traženje stanica mora se lako okretati i ne smije imati mrtvi hod. Pri zatvorenom kondenzatoru mora kazaljka stajati ispod crte 600 m. Vijak za pričvršćenje mora biti čvrsto zategnut na sredini utora. Kod otvorenog kondenzatora mora lijeva strana klizača biti znad oznake naznačene na pertinaks klizača.

6. Ispitivanje valnog preklopnika. Kružni segment valnog preklopnika ne smije imati mrtvi hod. Kontaktni segmenti moraju kod svakog položaja biti na sredini kontaktnih pera. Preklopnik se ne smije zaustaviti na nekom međupoložaju. Kontakti moraju biti svijetli i potpuno čisti. U suprotnom, očistiti benzinom ili tetrahlorom, a zatim namazati uljem, koje ne sadrži kiseline.

7. Mrežni prekidač mora sigurno spojati i prekidati. Dugme za jačinu zvuka, kao i za beju zvuka, mora se lako okretati.

Radio aparat RIZ 594 UKV



Sl.12.: Radio aparat RIZ 594 UKV [6]

Početkom 1959. godine Radioindustrija Zagreb plasira na tržište tada daleko najkvalitetniji radio prijamnik RIZ 594 UKV (sl.: 12).

Riječ je o snažnom radio aparatu impresivnih gabarita, velike izlazne snage s ugrađena četiri zvučnika i 11 elektronskih cijevi! Težina radio aparata RIZ 594 UKV iznosi 17,5kg, dok je kutija dimenzija 700x360x260 mm.

Velika tipkovnica s deset tipki i regulacijom “boje tona” s svake strane smještena je ispod velikog skala stakla s preglednim ispisom frekvencija. Na skala staklu nalazi se prozor za vizualni pokazivač nivoa signala “magično oko”.

Veliko platno iznad skala stakla skriva dva velika zvučnika proizvodnje RIZ, dok su preostala dva visokotonski zvučnici proizvodnje RIZ postavljena bočno iza ukusnih velikih otvora prekrivenih istim platnom kao i prednja strana radio aparata.

Radio prijamnik RIZ 594 UKV omogućava prijam četiri valna područja: dugi val, srednji val, kratki val i UKV i koncipiran je na superheterodinskom principu s dva stupnja MF pojačanja, dvije radne frekvencije MF pojačala, te veoma snažnim izlaznim stupnjem u AB klasi s dvije elektronske cijevi EL84.



Sl.13.: Radio aparat RIZ 594 UKV [6]

Princip rada radio aparata RIZ 594 UKV

Svo znanje i iskustvo Riz-ovih stručnjaka, skupljeno kroz dugogodišnju proizvodnju radio prijamnika, slilo se u ovaj prijamnik. On je nešto najbolje i najkvalitetnije proizvedeno u Radioindustriji Zagreb na polju radio prijamnika.

Koristeći provjerena sklopovska rješenja ostvarena u radio aparatu Jadran 58UKV, posebno mislim na UKV ulazni sklop, samo koncepciju su poboljšali, drugačije su riješili ARP, a posebnu pažnju su posvetili MF pojačanju, radi poboljšanja selektivnosti i osjetljivosti, NF aktivnim filterima “boje tona” te izlaznim NF stupnjem velike snage u “AB” klasi.

Prijamnik radio aparata RIZ 594 UKV koncipiran je na superheterodinskom principu, kao jednostruki super (jedna konverzija frekvencije) s dva stupnja međufrekventnog pojačanja i to i kod AM vrste rada kao i kod FM vrste rada.

Za prijam UKV valnog područja iskorišten je već provjeren UKV ulazni sklop s elektronskom cijevi ECC85.

iznosi 482kHz i on se vodi u prvo MF pojačalo.

Isti sklopovi i iste elektronske cijevi obavljaju MF pojačanje. Međufrekventni transformatori su dvostruki, što znači da se u jednom kućištu nalaze titrajni krugovi rezonantne frekvencije 10,7MHz i titrajni krugovi rezonantne frekvencije 482kHz, te su još k tome spojeni u seriju. Zavisno od ulazne frekvencije u MF transformator rezoniraju određeni parovi titrajnih krugova, dok drugi, ne aktivni titrajni krugovi nemaju utjecaja. Time je ostvareno da se mogu koristiti isti sklopovi na dvije dosta različite frekvencije.

Kako u drugom MF pojačalu jedna dioda generira ARP napon, druga dioda je iskorištena za demodulaciju AM signala. Dobiveni NF signal vodi se dalje u NF stupnjeve, ranije objašnjene.

Napon automatske regulacije pojačanja ARP generiran na diodi drugog MF pojačala direktno ovisi od nivoa ulaznog signala. Što je on viši, to je viši i napon ARP-a. A viši napon ARP-a, koji je negativnog predznaka "koči" prve mrežice heptode ECH81 i EF89, te im smanjuje pojačanje. Jednostavno, a veoma funkcionalno.

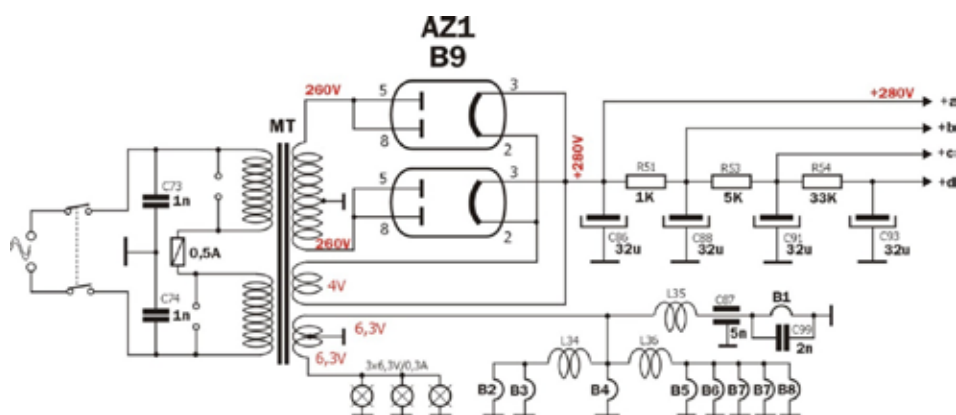
Ispravljački dio posebno je konstruiran, budući da mora osigurati napajanje 11 elektronskih cijevi i tri žaruljice. Jak mrežni transformator osigurava dovoljno struje za grijanje svih elektronskih cijevi, te ima mogućnost odabira ulaznog, mrežnog napona 110V/ 220V.

Ispravljanje anodnog napona ostvareno je do sada neuobičajenim sklopom, s dvije elektronske cijevi AZ1. Umjesto da jedna AZ1 punovalno ispravlja izmjenični napon, u ovom radio prijamniku, anode svake elektronske cijevi su spojene paralelno, pa se cijev se ponaša kao jedna dioda s dvostrukom strujom katode. Dvije cijevi spojene na ovaj način ostvaruju punovalno ispravljanje izmjeničnog napona uz dovoljno struje za pogonjenje svih elektronskih cijevi.

Ispravljački sklop radio aparata RIZ 594 UKV

Nakon snažnog mrežnog transformatora s dvije elektronske cijevi AZ1 punovalno se ispravlja anodni napon. Kod svake elektronske cijevi AZ1 anode su spojene zajedno, pa je time cijev pretvorena u diodu s dvostruko većom katodnom strujom.

Dvije elektronske cijevi u spoju zajedničkih anoda punovalno ispravljaaju izmjenični napon sekundara transformatora u istosmjerni napon +280V na prvom elektrolitskom kondenzatoru C86 (32uF/385V). Nakon prvog elektrolitskog kondenzatora, slijede tri serijski vezana otpornika R51 (1K), R53 (5K) i R54 (33K) stupnjevito smanjujući osnovni napon. Iza svakog od tih otpornika prema masi je spojem mrežni elektrolitski kondenzator dodatno filtrirajući istosmjerni napon.



Sl.14.: Ispravljački sklop RIZ 594 UKV [3]

U ovom ispravljačkom sklopu posebna pažnja je posvećena filtriranju sva četiri istosmjerna napona. Mrežni transformator, osim posebnog namotaja za grijanje direktno grijanih katoda elektronskih cijevi AZ1 (4V/2,5A) posjeduje i dva namotaja izmjeničnog napona 6,3V. Jedan od tih namotaja koristi se za napajanje skala žaruljica, dok se drugi koristi za napajanje svih ostalih elektronskih cijevi.

Zbog sprječavanja utjecaja prodora smetnji iz električne mreže u vlakna grijanja elektronskih cijevi, posebno elektronske cijevi B1 ECC85 u UKV ulaznom sklopu, dodane su prigušnice L34, L35 i L36, te kondenzatori C87 (provodni kondenzator na kućištu UKV modula 5nF) i C99 (2nF) spojen paralelno grijanju elektronske cijevi B1 ECC85.

Dvije elektronske cijevi AZI razvijaju znatnu toplinu, pa su zbog toga montirane na najvišem dijelu šasije radio aparata, odnosno na posebnom nosaču iznad mrežnog transformatora.

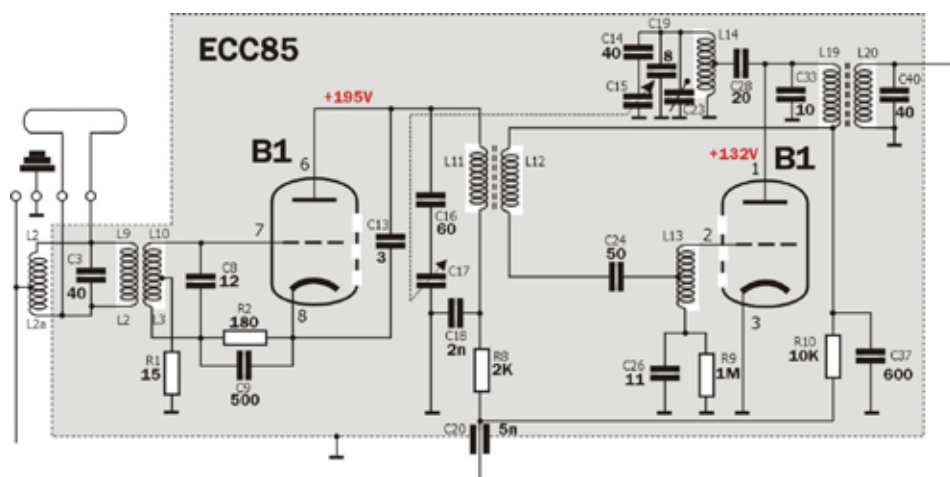


Sl.15.: Ispravljačke cijevi radio aparata RIZ 594 UKV postavljene na mrežni transformator [3]

Ulazni sklop, oscilator i miješanje radio aparata RIZ 594 UKV FM valno područje

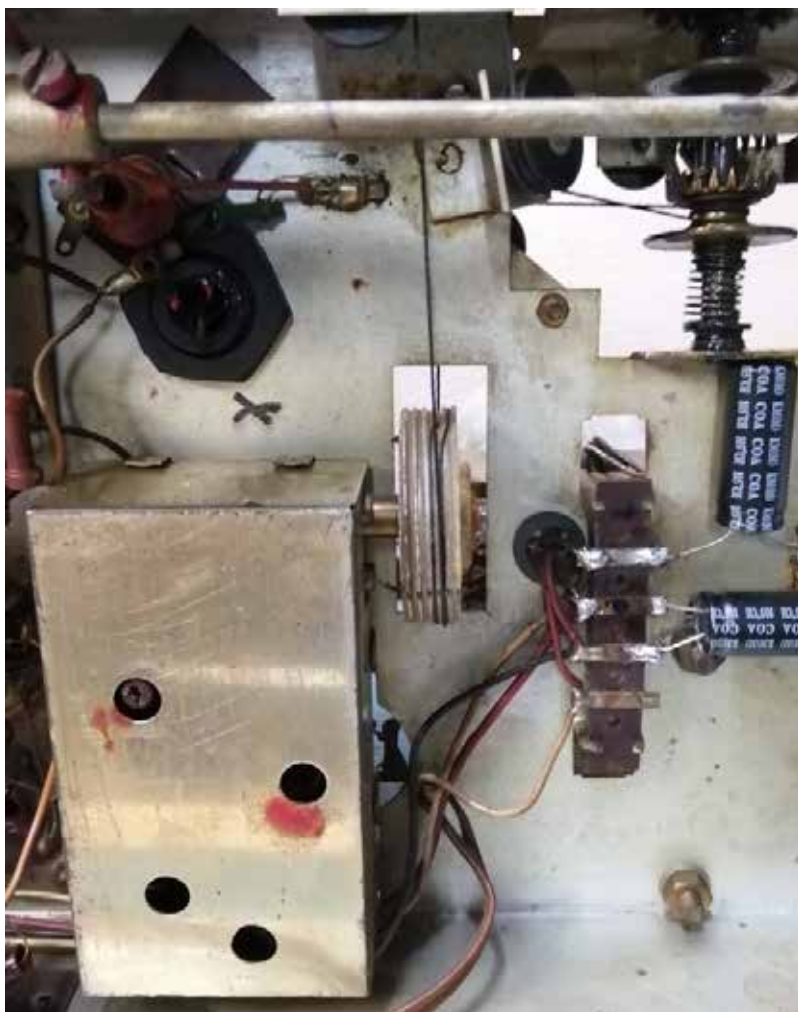
Pojavivši se prvi puta 1958. godine u radio aparatu Jadran 58 UKV, ovaj sklop, nepromijenjen, nastavlja se koristiti u svim radio aparatima Radioindustrije Zagreb. Kvalitetno mehaničko rješenje, odlične temperaturne karakteristike, te odlična osjetljivost, osnovna karakteristika su ovog sklopa.

Ulazni sklop, oscilator i miješanje izvedeno je s elektronskom cijevi B1 ECC85, visoko frekventnom dvostrukom triodom. Ova elektronska cijev stabilno radi, na tada, dosta visokim frekvencijama (reda 100MHz). Raspon frekvencije UKV sklopa iznosi od 87,2 - 100,2 MHz



Sl.16.: Ulazni sklop, oscilator i miješanje radio aparata RIZ 594 UKV FM valno područje [3]

Prvi triodni dio ECC85 vrši funkciju antenskog pojačala, odnosno pojačala ulaznog signala. Druga trioda osim što je lokalni oscilator, vrši i funkciju miješanja pojačanog ulaznog signala s signalom oscilatora, pa se tako dobiva signal međufrekvencije 10,7MHz. Promjena frekvencije ulaznog sklopa i frekvencije oscilatora izvedena je dvostrukim promjenjivim kondenzatorom (C17, C15) koji je sastavni dio FM modula.



Sl.17.: FM modul radio aparata RIZ 594 UKV [3]

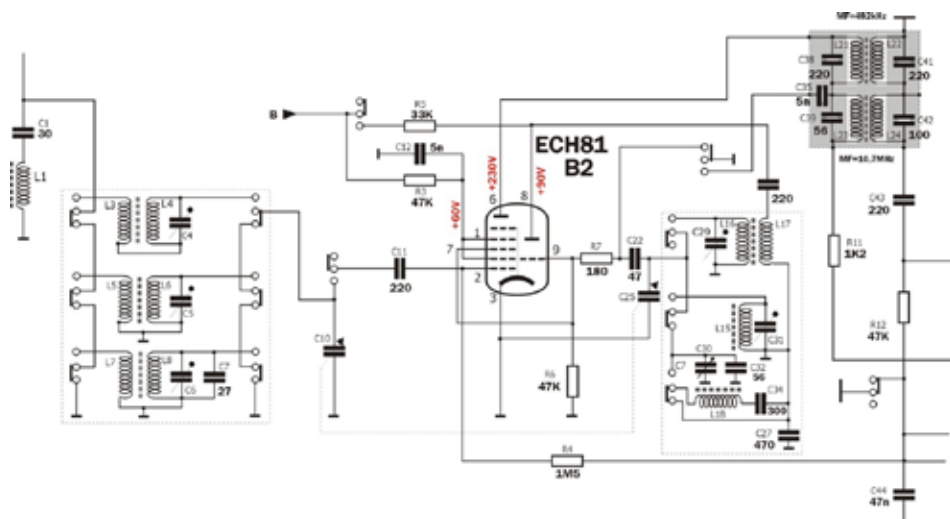
Ulazni sklop, oscilator i miješanje radio aparata RIZ 594 UKV AM valno područje

Signal iz antene preko složenih kombinacija tipkovnice za odabir valnih područja, preko odabranog titrajnog kruga dovodi se na prvu polovinu dvostrukog promjenjivog kondenzatora C_{10} , te preko kondenzatora C_{11} (220pF) na prvu mrežicu heptode ECH81, pin 2. Set odabranih ulaznih zavojnica za pojedino valno područje zajedno s kondenzatorom čine selektivni titrajni krug za odabir ulazne frekvencije. Na samom ulazu antenskog signala u prijamnik, nalazi se serijski titrajni krug ($C_3/30pF$,

L1), fiksne rezonatorske frekvencije 482kHz koji ne dozvoljava ulaz signala samo te frekvencije, radi sprječavanja smetnji koje unosi signal te frekvencije.

Frekvencije AM područja:

- dugi val: 150 - 375kHz (2000-800m), - srednji val: 520 - 1620kHz (576 - 183m)
- kratki val: 5,9-18,75Mhz (50,8 - 16m)



Sl.18.: Ulazni sklop, oscilator i miješanje radio aparata RIZ 594 UKV, AM valno područje [3]

Kako se set zavojnica ulaznog titrajnog kruga odabire tipkovnicom valnih područja, tako se paralelno preklapaju i setovi zavojnica lokalnog oscilatora. Odabrani set zavojnica oscilatora s drugom polovinom promjenjivog kondenzatora C25 čine titrajni krug koji određuje frekvenciju lokalnog oscilatora.

Heptodni dio ECH81 vrši ulogu pojačala ulaznog signala i miješanje tog pojačanog signala s signalom oscilatora koji je realiziran triodnim dijelom iste elektronske cijevi. Na anodi heptode (pin 6) pojavljuje se signal miješanja, frekvencije 482kHz koji se dodatno stabilizira, te filtrira na 1. MF transformatoru. Kondenzatorom C43 (220pF) MF signal se vodi u MF pojačalo.

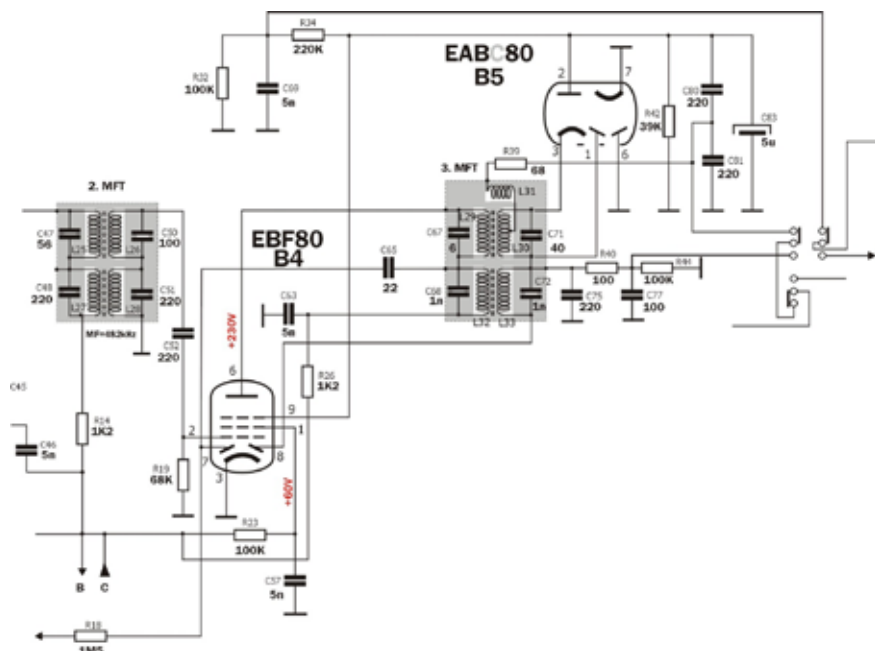
ARP napon djeluje na prvu mrežicu heptode ECH81 (pin2) preko otpornika R4 (1M5) regulirajući pojačanje ulaznog sklopa.

ulazne frekvencije u I. MF pojačalo, rezonira odgovarajući par titrajnih krugova u MF transformatoru. Time je riješena automatska promjena radne frekvencije MF pojačala bez preklopika.

2. Međufrekventno pojačalo i demodulatori radio aparata RIZ 594 UKV

Djelomično pojačan signal iz I. MF pojačala preko kondenzatora C52 (220pF) vodi se iz sekundara I. MF transformatora na upravljačku mrežicu B4 EBF80 (pin 2).

Elektronska cijev EBF80 u svom balonu sadrži pentodu i dvije diode. Pentodni dio EBF80 radi kao 2 stupanj MF pojačanja. S otpornikom R19 (68K) fiksiran je prednaponom prve mrežice. Pojačan signal aktivne međufrekvencije, javlja se na anodi pentode (pin 6). Pojačanje pentode EBF80 regulira se naponom koji se pojavljuje na katodi diode elektronske cijevi B5 EABC80 (pin 2) kada prijamnik radi u FM vrsti prijama kočeći treću mrežicu.



Sl.20.: 2. Međufrekventno pojačalo i demodulatori RIZ 594 UKV [3]

Za vrijeme AM vrste prijama, pojačanje EBF80 ostaje nepromijenjeno, definirano prednaponom prve mrežice, dok se ukupno pojačanje međufrekventnih pojačala regulira ARP naponom koji djeluje na upravljačku mrežicu pentode EF89.

Prva dioda elektronske cijevi EBF80 (pin 7) generira ARP napon kojim se regulira pojačanje elektronske cijevi B3 EF89 u prvom MF pojačalu. Druga dioda

EBF80 (pin 8) vrši demodulaciju AM signala. NF signal pojavljuje se na točki C75 (220pF) i R43 (100) za obje vrste rada (AM, FM), te se vodi dalje u tonske stupnjeve.

Elektronska cijev B5 EABC80 u svom balonu sadrži triodu i tri diode. U ovom sklopu, jedna dioda se ne koristi, pa je neutralizirana (pin 6), dok se druge dvije diode (pin 3,2) i (pin 7,1) upotrebljavaju pri demodulaciji FM signala. Preklopnici na tipkovnici određuje se koji se NF signal vodi u tonski dio radio aparata RIZ 594 UKV.

Cjelovito promatrano svi radio aparati Radioindustrije Zagreb realizirani su sa samo jednim stupnjem MF pojačanja i s dva MF transformatora. Čak i radio aparati s UKV područjem.

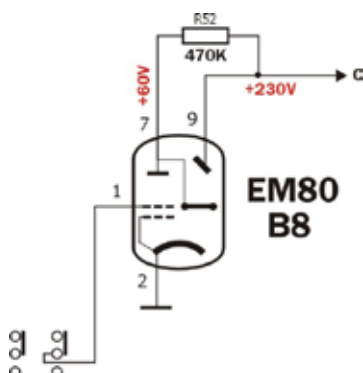
Konstruirajući ovaj radio aparat nastojalo se postići maksimum u kvaliteti prijava i reprodukcije zvuka. Budući da su imali izuzetno kvalitetno riješen ulazni sklop za UKV, te ulazni sklop za prijam dugih, srednjih i kratkih valova poboljšali su karakteristike međufrekventnog pojačala. I to na način da su dodali još jedan stupanj MF pojačanja, pa su tako dobili superheterodinski prijamnik s jednom konverzijom, ali dva stupnja MF pojačanja. No tu nije kraj, odvojena automatska regulacija pojačanja ARP, posebno za AM način rada i posebno za FM način rada dodatno je poboljšala performanse prijamnog dijela.

U odnosu na radio prijamnik Jadran 58 UKV, koji je svojom pojavom na tržištu tada predstavljao remek djelo Radioindustrije Zagreb, ovaj radio prijamnik nadogradnja je svog prethodnika, dovedena skoro do savršenstva, kada govorimo o samom prijamniku. Ne ulazeći u estetske detalje, velika osjetljivost, stabilnost, otpornost na jake signale lokalnih stanica, otpornost na smetnje električne mreže samo su dio njegovih odličnih performansi.

“Magično oko” radio aparata RIZ 594 UKV

U radio aparatu RIZ 594 UKV kao vizualni pokazivač nivoa signala “magično oko” koristi se elektronska cijev B8 EM80. Sklop je krajnje jednostavan, bez obzira da li je radio prijamnik u AM ili FM vrsti prijama.

Preklopnikom koji je dio tipkovnice odabire se ulazni signal koji dolazi s diode elektronske cijevi EABC80 (pin 2) preko otpornika R34 (220K). Kondenzator C69 (5n) i otpornik R32 (100K), jednim krajem spojeni na masu poravnavaju amplitudu ulaznog signala radi dobivanja mirnog prikaza na zaslonu (elementi vidljivi na cjelokupnoj shemi). Katoda EM80 (pin2) je spojena na masu, jedna anoda (pin 9) spojena direktno na +230V, dok je druga spojena preko otpornika R52 (470K) na taj isti napon. Time su ostvareni statički radni uvjeti elektronske cijevi.

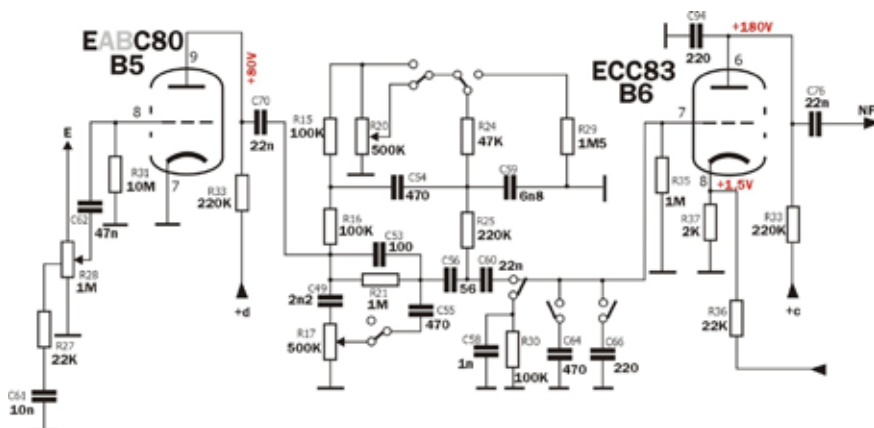


Sl.21.: “Magično oko” radio aparata RIZ 594 UKV [3]

NF predpojačalo radio aparata RIZ 594 UKV

Triodni dio elektronske cijevi B5 EABC80 obavlja funkciju prvog stupnja NF pojačanja. NF signal iz demodulatora odabran preklopnici na tipkovnici dovodi se na regulator glasnoće R28 (1M/ log). Sam regulator posjeduje četiri izvoda, gdje se četvrti izvod koristi za poravnavanje frekventne karakteristike kroz cijeli raspon glasnoće. S klizača R28 signal se vodi na mrežicu elektronske cijevi EABC80 (pin 8) preko kondenzatora C62 (47n). Prednapon mrežice fiksiran je, određen otpornikom R31 (10M), pa je tako i pojačanje fiksirano. Kondenzatorom C70 (22n) pojačan NF signal se vodi na otporno kondenzatorsku mrežu koja omogućava kvalitetno podešavanje “boje tona” s dva regulatora, ali i s nekoliko preklopnika.

Preklopnici su vrijednostima kondenzatora definirani za pojedinu zvučnu sliku, dok dva regulatora omogućuju kontinuiranu regulaciju “boje tona”.



Sl.22.: NF predpojačalo radio aparata RIZ 594 UKV [3]

Ovakav sklop regulacije “boje tona” Radioindustrija Zagreb u svojim radio prijamnicima nije do sada koristila, pa to predstavlja ogroman napredak prema visokoj vjernosti reprodukcije zvuka.

Budući da ovaj sklop filtrirajući, odnosno izdizanjem i gušenjem pojedinih dijelova tonskog frekventnog pojasa značajno oslabi nivo NF signala, bilo je neophodno tako obrađen signal “podignuti” na nivo dostatan za pobuđivanje izlaznog tonskog stupnja.

Za dodatno pojačanje NF signala upotrebljena je polovina dvostruke triode elektronske cijevi B6 ECC83.

Kondenzatorom C60 (22nF) signal se vodi na mrežicu triode (pin 7) koja je uzemljena preko otpornika R35 (1M) čime joj je fiksirano pojačanje. Katoda triode (pin 8) osim što je uzemljena preko otpornika R37 (2K) dobiva dio izmjeničnog napona s sekundara tonskog transformatora koji ipak malo posredno regulira njeno pojačanje. Pojačan NF signal vodi se preko kondenzatora C76 (22n) u izlazni tonski stupanj.

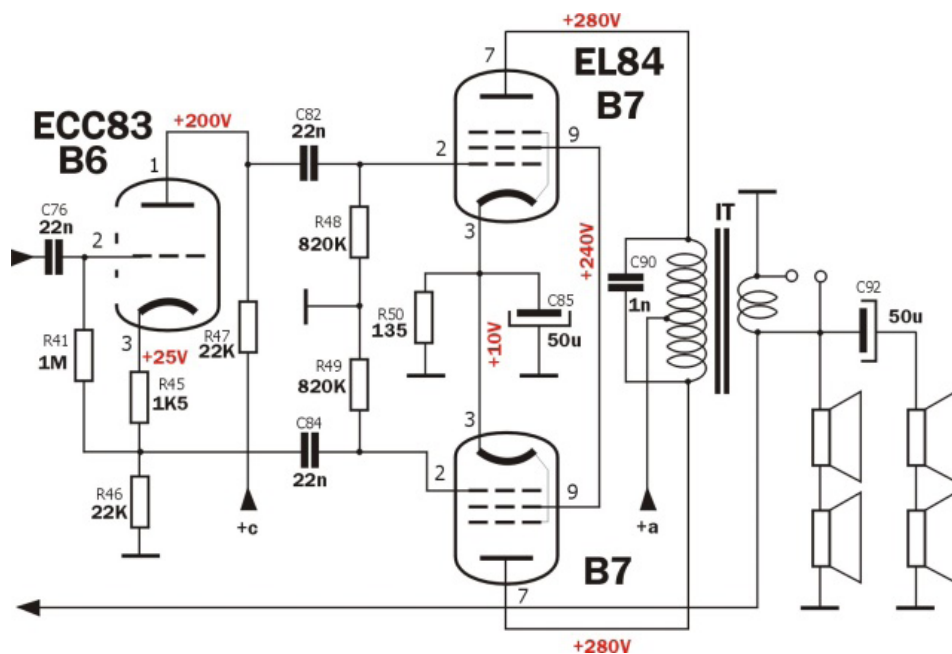
NF pojačalo radio aparata RIZ 594 UKV

Zbog visokih performansi prijamnika i NF predpojačala, bilo je neophodno realizirati izlazni NF stupanj daleko više kvalitete i uzlazne snage, od do sada korištenih izlaznih stupnjeva.

Izbor je pao na izlazno NF pojačalo u protufaznom sklopu “AB” klase. Sklop se sastoji od dvije izlazne pentode B7 EL84 i “okretača faze”, druga trioda elektronske cijevi B6 ECC83.

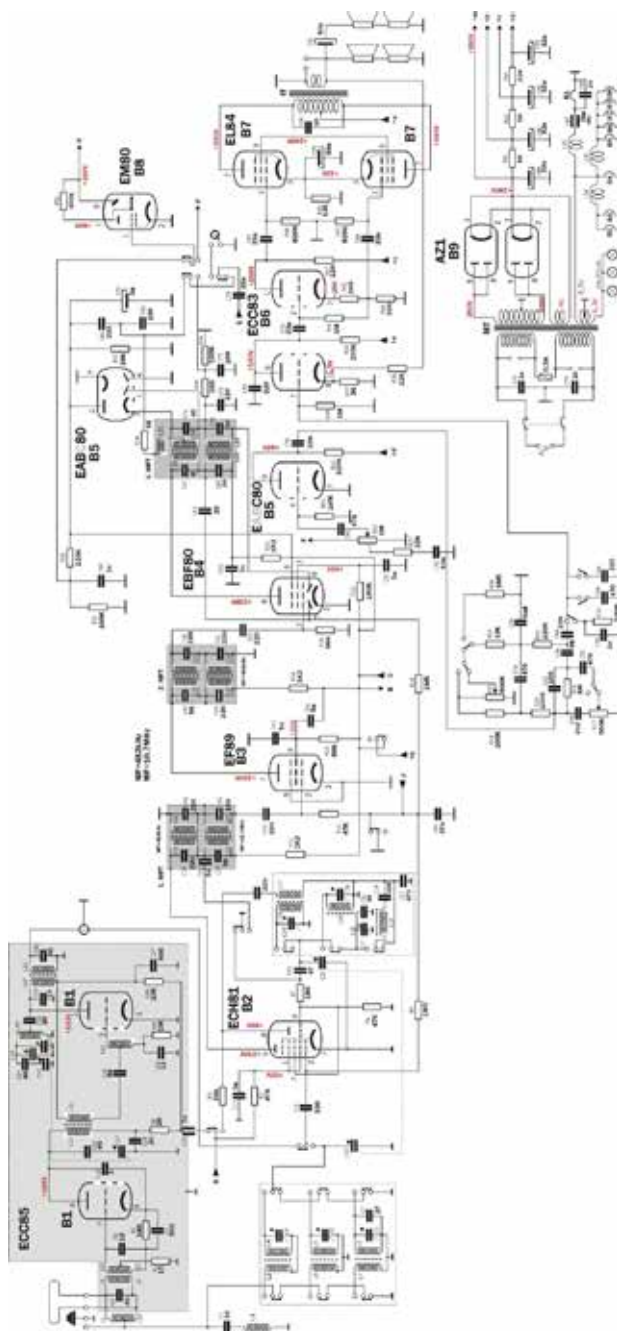
Ne ulazeći u analizu rada “AB” klase izlaznog pojačala, sklop radi načelno ovako:

Ulazni NF signal preko kondenzatora C76 (22n) se dovodi na mrežicu triode B6 ECC83 (pin 2). Na anodi triode (pin 1) pojavljuje se signal pozitivne poluperiode, dok se na katodi (pin 3) javlja signal negativne poluperiode. Signal pozitivne poluperiode se vodi preko kondenzatora C82 (22n) na upravljačku mrežicu (pin 2) jedne izlazne pentode EL84 koji ona pojačava. Za to vrijeme druga izlazna pentoda nije aktivna. Dolaskom pojačanog signala negativne poluperiode, prva izlazna pentoda postaje neaktivna, a druga pojačava signal koji joj dolazi na upravljačku mrežicu (pin 2). Naizmjeničnim radom obje izlazne pentode dobija se dvostruka izlazna snaga u odnosu na snagu jedne pentode, pa je izlazna snaga ovog sklopa oko 10W sinusne snage. Četiri interna zvučnika: dva širokopojasna i dva visokotonska, savršeno reproduciraju zvuk.



Sl.23.: NF pojačalo radio aparata RIZ 594 UKV [3]

Dobivena reprodukcija zvuka jako je blizu visokoj vjernosti zvuka i opravdava sve uloženo u ovaj radio aparat.



Sl.24.: Shema radio aparata RIZ 594 UKV [3]

Zaključak:

Zbog obimnosti materijala, opisao sam samo prvi i jedan od zadnjih radio prijamnika proizvodnje Radioindustrije Zagreb. U knjizi koja slijedi, detaljno su opisani svi radio prijammnici s elektronskim cijevima Radioindustrije Zagreb.

Puno toga bi se moglo i trebalo napisati o Radioindustriji Zagreb. Plejada stručnjaka stvarala je RIZ, nosila se s problemima uzrokovanih onodobnom politikom, nestašicom elektroničkog materijala, rješavanjem sklopovskih, te drugih proizvodnih problema. Od skromnih početaka punih entuzijazma, ti neumorni trudbenici stvorili su moćnu i u svijetu priznatu tvornicu sa zamašnim asortimanom proizvoda široke potrošnje, ali i profesionalne elektronike. Na žalost, kako su teško i mukotrpno zbog politike počinjali, tako su zbog politike i završili. Tvornice su nepovratno ugašene kada su bile na vrhuncu svog stvaranja i proizvodnje.

Iza moćne tvornice Radioindustrija Zagreb, ponosa Hrvatske elektroničke proizvodnje, ostala su samo sjećanja, poneki radio aparat u kolekcijama kolekcionara i gorak okus prolaznosti.

Literatura:

- [1] RIZ.hr/povijest tvrtke; Wikipedia RIZ
- [2] kolekcija Radio muzej Croatia
- [3] Zexinžinjering Petrinja
- [4] The Valve museum
- [5] Elektrotehničar 8-9/1957
- [6] kolekcija Radio muzej Croatia

Željko Vrzan

VACUUM TUBE RADIOS OF THE RADIO INDUSTRY ZAGREB

Summary: After the production of radio receivers was approved in the People's Republic of Croatia in 1952, Radioindustrija Zagreb - RIZ started with the production of radio sets, and in 1953 it placed the radio apparatus MAKSIMIR on the market. In the period from 1953 to 1965, RIZ produced 28 basic models of radios adapted to the then market demand, purchasing power and availability of electronic materials.

Keywords: radio apparatus, electronic tube, Radioindustrija Zagreb

Željko Vrzan

POVIJEST RADIJA NA PODRUČJU BIVŠE JUGOSLAVIJE

Sažetak: u radu je sažet prikaz razvoja radija kao ‘tehnološkog čuda’ onog vremena, te kao medija za prijenos informacija, edukaciju i zabavu. Naglasak je stavljen na razvoj radija, emitiranje i distribuciju informacija. Postavljanje prvih radijskih odašiljača u Europi, na području bivše Jugoslavije i posebno na području Hrvatske. Prikazan je razvoj Radio Zagreba s kratkim osvrtom na početke Televizije Zagreb. Središnji dio članka posvećen je izradi, proizvodnji i prodaji radio aparata na području bivše Jugoslavije.

Ključne riječi: Nikola Tesla, radio, Radio Zagreb, Radioindustrija Zagreb

Uvod

Izum telefona kao uređaja kojim se govor može prenositi na daljinu žičnim paricama pokrenuo je daljnja istraživanja diljem svijeta s ciljem bežičnog prijenosa govora na daljinu. A kada je napokon pokusima krajem 19. i početkom 20. stoljeća omogućen prijenos informacija eterom bez ograničenja koja zahtjeva uporaba žica dolazi do nezaustavljive ekspanzije razvoja mnogih grana elektronike, od razvoja samih predajnika i prijemnika, do popratnih sklopova i uređaja kao što su antenski sistemi, zvučnici, mikrofoni, tonski pultovi itd.

Vrlo brzo se uvidjelo kako radio kao medij posjeduje mnogo pozitivnih karakteristika. U prvi mah, koristio se za informiranje velikog broja slušatelja, no ubrzo su državni organi uočili vrijednost prijenosa informacija i počeli ga koristiti u svoje vojne i civilne svrhe. Mogućnost trenutnog prijenosa informacija mnoštvu udaljenih slušatelja iskorištena je i za edukaciju, emitiranjem raznih obrazovnih i dokumentarnih emisija. A naravno, neizostavna je bila i zabava. Glazbene emisije, te prijenosi koncerata postali su sastavni dio radijskog programa.

Na području bivše Jugoslavije nicali su radionice, što samostalne, što u sklopu trgovina, koje su 'proizvodile' radio prijamnike i plasirale ih na tržište. Kroz vrijeme, neke su se ugasile, dok su neke prerasle u jedno vrijeme u moćne tvornice. Vrijeme nosi svoje, mnogi dokumenti su nestali netragom, a nešto je ipak još sačuvano kroz pisane materijale i sačuvane uređaje. Tekstom koji slijedi nastojim na jednom mjestu sažeti kratak pregled povijesti i razvoja radija.

I. Povijest radija na području bivše Jugoslavije

Izumom i pojavom radija počinje novo vrijeme u kome se informacije brže šire među ljudima. Vrlo brzo nakon pojave i afirmiranja radija u svijetu i Europi i na području bivše Jugoslavije osniva se veliki broj radio postaja.

Sam Drugi svjetski rat, iako je zastao razvoj radija, pokazao je svu svoju važnost u informiranju naroda. Nakon rata, te nakon pojave televizije, radio se našao pred velikim izazovom, no i dalje je ostao ravnopravan medij informiranja do današnjeg vremena.

Primarna je funkcija radija informiranje što većeg broja ljudi, no uz informiranje tu je i obrazovna funkcija (dokumentarne emisije), a na kraju i zabavna - glazba, dramski sadržaji i kontakt emisije.

Za razliku od Amerike gdje su radioprogrami bili orijentirani na zabavu, u Europi su primarno bili naklonjeni kulturi.

Sami počeci radija sežu u 1881. godinu pokusima telefona na međunarodnoj izložbi elektriciteta u Parizu - slušanje opere udaljene nekoliko kilometara putem telefonske žice. Edison 1891. godine konstruira preteču zvučnika, pa je to naredni skok u razvoju prijenosa informacija.

Pokusima s kraja 19. i početka 20. stoljeća talijanski fizičar Guglielmo Marconi, slika 1., 1897. godine patentirao je primjenu elektromagnetnih valova za bežičnu telegrafiju, a 2. lipnja 1896. godine uspio je povezati Europu i Ameriku putem radio veze¹ [1].

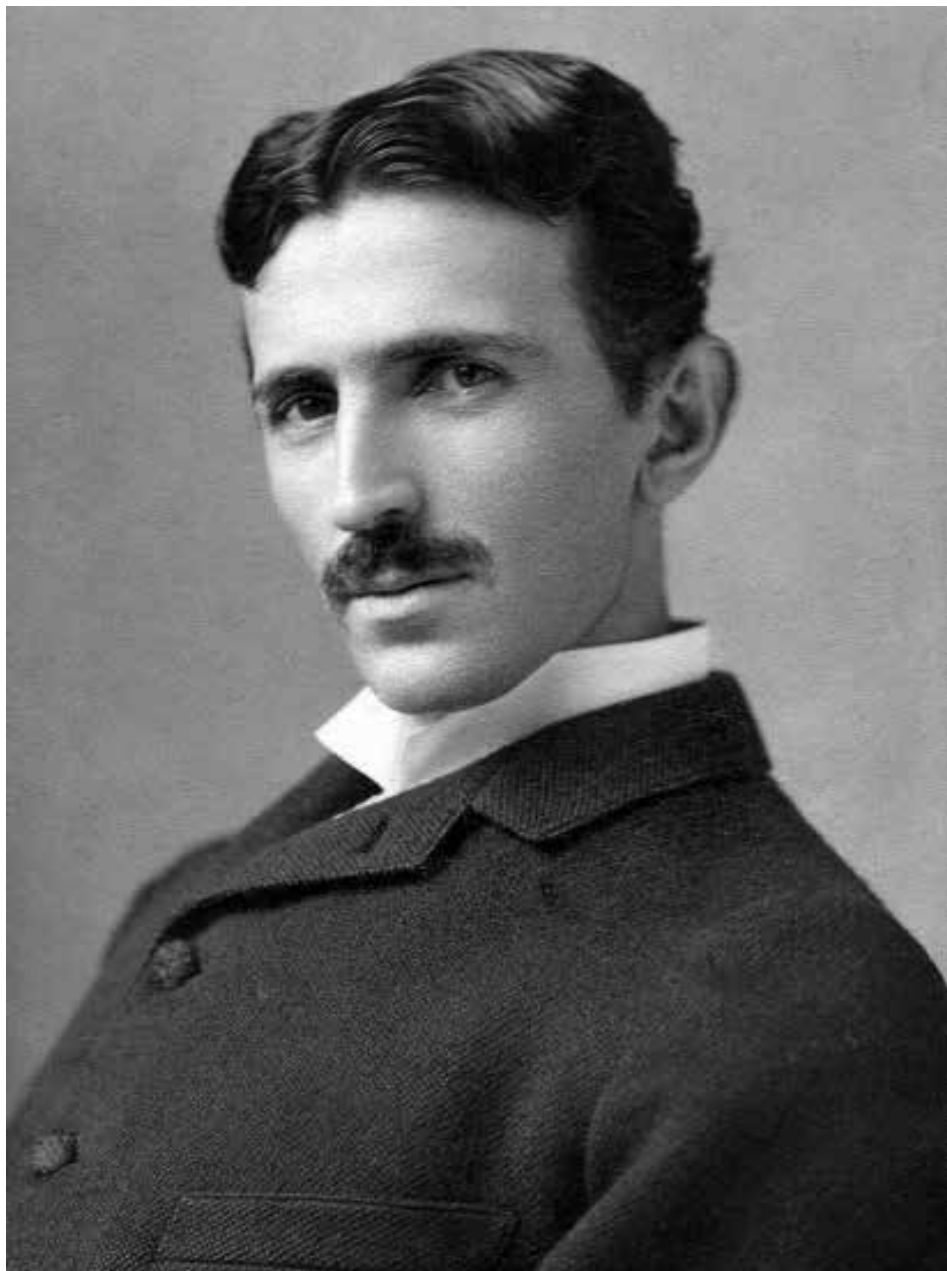
¹ Narod HR, 2. lipnja 2016



Sl. 1.: potret Guliermo Marconi

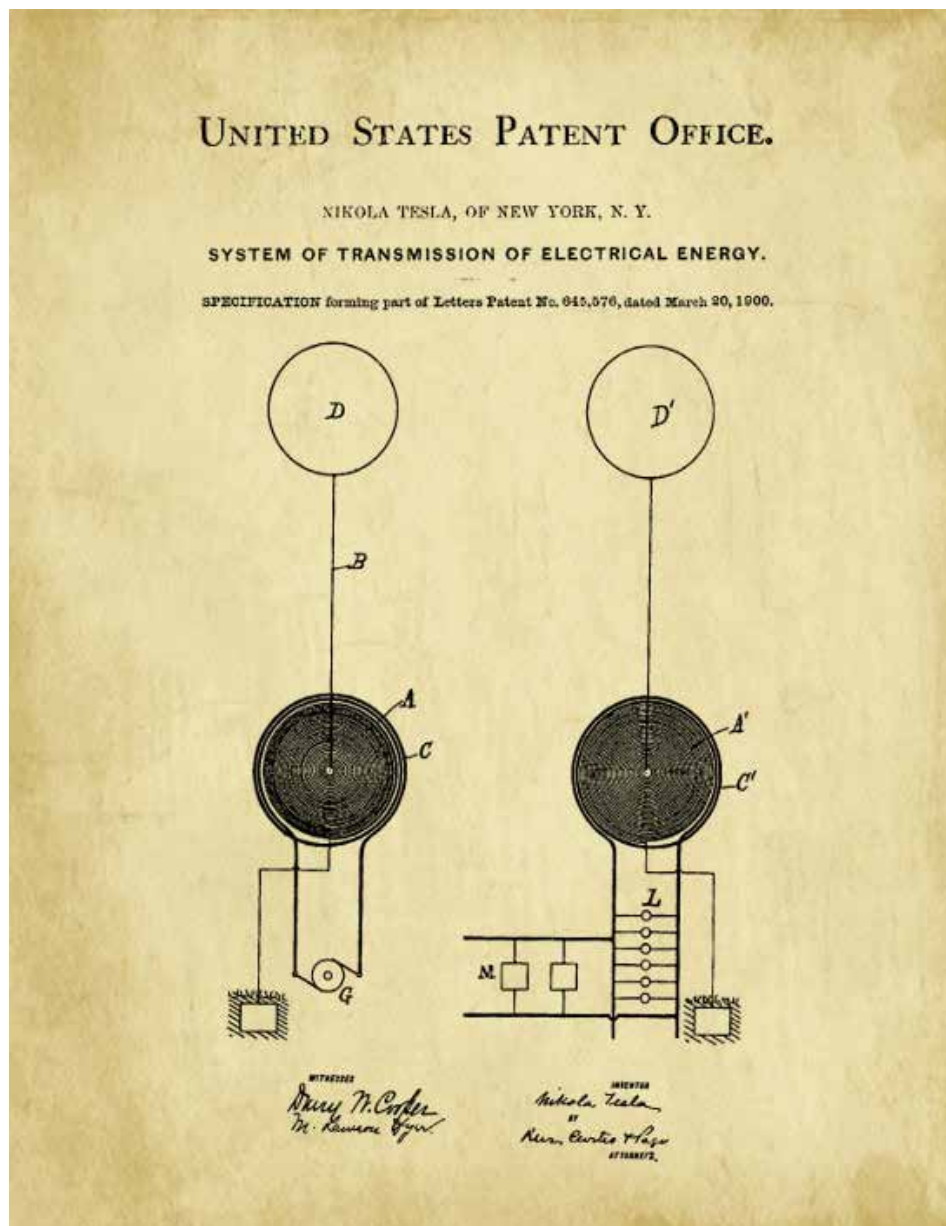
Na temelju Marconijeva patenta, kanadski izumitelj Reginald Aubrey Fessenden 1906. godine odašilje u eter instrumentalnu verziju pjesme. Nakon njega, Charles Herrold 1912. godine, pa Lee De Forest u periodu od 1916. do 1918. godine obavljaju brojne eksperimente. Lee De Forest je prenosio cijeli koncert s gramofonskih ploča putem radio valova.

Iako mnogi smatraju Guilerma Marconija izumiteljem radija, pravi, istinski i priznati pronalazač radija je Nikola Tesla, slika 2. Nikola Tesla je prvi razvio i objasnio način generiranja radio frekvencija, princip usklađenih rezonantnih sklopova u predajnoj i prijamnoj anteni te javno predstavio principe radija i prijenos signala na velike daljine.



Sl. 2.: Nikola Tesla

Za svoj je pronalazak 1897. godine dobio patent br. 645576 za uređaj opisan kao “sustav za bežični prijenos podataka”, slika 3.



Sl. 3.: Teslin patent za radio² [2]

² Wikimedia

Do 1943. godine Marconi je smatran izumiteljem radija, no tada mu je američki Vrhovni sud oduzeo patentno pravo i dodijelio ga Nikoli Tesli koji se danas smatra službenim pronalazačem radija jer je prvi razvio i objasnio način generiranja radio frekvencija, princip usklađenih rezonantnih sklopova u predajnoj i prijamnoj anteni i javno predstavio principe radija i prijenos signala na velike daljine [3].

Američka radijska postaja KDKA iz Pittsburga je 1920. godine počela emitirati stalni radijski program koji se temelji na kombinaciji glazbe i govora voditelja.

Na europskom kontinentu radio je bio u drugom planu zbog ratnih zbivanja do 1918. godine i kasnije zbog posljedica samog rata. U većini europskih država od 1922. do 1926. godine dolazi do početaka emitiranja radio programa.

Ne postoji usaglašen stav, koja je europska zemlja imala prvi radijski program, no većina smatra da je to bilo u Nizozemskoj 1919. godine.

Drugi svjetski rat usporio je razvoj radija u Europi sve do otkrića tranzistora 1952. godine. Tada je porastao životni standard i cijene radio aparata su postale pristupačnije širokim masama.

U Jugoslaviji, početkom 20. stoljeća na području Crne Gore i Hrvatske dolazi do gradnje stanica za komuniciranje, preteče radija. Stanica iznad Bara, izgrađena 1904. godine olakšavala je komunikaciju između Crne Gore i Italije. To je bila prva međunarodna radio veza u Europi.

U blizini Pule, 1909. godine Austro Ugarska gradi stanicu za razgovor na velike udaljenosti, te je to začetak razvoja radio valova na našem području. Slijedi gradnja stanica u Šibeniku, Sarajevu i Kotoru. Prve stanice na istočno jadranskom području su imale prvenstveno vojnu funkciju ali nerijetko su se koristile i za civilne svrhe. to potvrđuje i stanica srpske vojske u Nišu, koja je 1915. godine bila povezana s Atenom i Bukureštom.

U same začetke radiofonije u Jugoslaviji ubrajaju se i stanice na brodovima koje su uveliko pomagale u trgovini, te stanice u Sarajevu, Petrovaradinu, Trebinju i pomorske stanice u Boki i Šibeniku. Kasnije, zahvaljujući ratnim reparacijama Njemačke, a dijelom i vlastitim sredstvima grade se radio stanice u Zagrebu, Ljubljani i Beogradu. Radio klub Zagreb ima veliku ulogu u populariziranju radija na našim područjima. Nakon pritisaka amatera, entuzijasta i financijera, u Beogradu je u kolovozu 1925. godine donesena dozvola o emitiranju radija za narod.

Po dobivenoj dozvoli, skupljanjem opreme, 15. svibnja 1926. godine počeo je s emitiranjem prvi program zagrebačkog radija. Ulažući u opremu i povećavajući doimet svojih odašiljača Radio Zagreb se 1928. godine i međunarodno profilirao kao kulturni radio po uzoru na ostale europske radio stanice, slika 4.



Sl. 4.: prvi odašiljač Radio Zagreba iz 1926. a koristio se od 15.5.1926. do 30.6.1940.³ [4]

³ materijali Tehničkog muzeja Nikola Tesla Zagreb

Dvije godine nakon početka emitiranja Radio Zagreba, javlja se Radio Ljubljana koja za razliku od Radio Zagreba (koji je emitirao gotovo uvijek program iz svijeta kulture) emitirao vjerski program i vijesti.

Kao treća radiostanica na području bivše Jugoslavije 1929. godine javlja se Radio Beograd. Emitirao je informativni, zabavni program, te čitanje djela poznatih domaćih književnika. Pred kraj 1929. godine uvrstili su u svoj program prijenose iz inozemstva.

Radio Skopje osniva se 1941. godine. Uz svoj skromni program emitirao je i program Radio Beograda.

Nakon Prvog svjetskog rata uvelike je porastao broj radiostanica po cijeloj Europi, što dovodi do frekvencijskog kaosa, te je bilo neophodno regulirati razdiobu frekvencija emitiranja. U Ženevi je 1926. godine održan sastanak na kome je donesena razdioba frekvencija emitiranja radio stanica a time je sustav emitiranja postao uređeniji. Završetak Drugog svjetskog rata i upostavom vlasti, dolazi do ponovnog emitiranja radiopostaja širom Jugoslavije: Dubrovnik (od 1944.), Beograd, Skopje, Ljubljana, Sarajevo, Osijek, Split, Prizren i dr. (od 1945.), te Zagreb 1947. godine nakon što je nabavljen novi odašiljač iz Mađarske.

U Jugoslaviji se 1948. godine pokreće proizvodnji radijskih prijamnika. Prvi je takav proizveden pod nazivom "Kosmaj". Iste godine je Radio Zagreb sudjelovao na Zagrebačkom velesajmu, predstavljajući svoju tehniku. Nakon izložbe, osniva se *Radioindustrija Zagreb* koja je proizvodila odašiljače, prijamnike i opremu za funkcioniranje radio sustava. Ova oprema je od 1960. godine korištena i u Radio Ljubljani i Radio Beogradu.

Prvo televizijsko emitiranje u Jugoslaviji počelo je 1956. godine. Televizori su bili postavljeni u Zagrebu, a prenosio se program televizije iz Austrije s namjerom upoznavanja građana s ovim medijem. Nešto kasnije, krenuo je domaći program televizije (informativni program, dokumentarni filmovi, te skromni zabavni sadržaj).

U pedesetima, radio je svojom pristupačnom cijenom postigao značajan uspjeh, dok je televizija neko vrijeme ostala u drugom planu zbog same cijene uređaja, te kvalitete programa. Tadašnja vlast nastojala je povećati broj slušatelja, broj radio aparata izgrađujući mrežu stanica da bi se signal radija čuo u onim dijelovima zemlje gdje još nije bio zastupljen. Tijekom 1950-ih dolazi do izdvajanja dijela tehnike i ljudstva iz Radio Beograda i osnivanja Radio Jugoslavije (1951.) nastojeći "glas" Jugoslavije proširiti i u inozemstvo.

U šezdesetim godinama prošlog stoljeća bilježi se najveći porast radiopostaja. Bilo je to "zlatno doba" radija. Primjerice u SR Hrvatskoj osnovane su nove 43 lokalne postaje, što je udio od 75 % svih radiopostaja u SR Hrvatskoj. Tih godina se širi i Radio

Zagreb, stvarajući tri programa za emitiranje, što je bio prvi takav slučaj u Jugoslaviji.

Tijekom sedamdesetih godina uočava se smanjenje broja slušatelja, te smanjenje kvalitete programa, zbog afirmacije televizije. Osamdesetih godina dolazi do smrti Josipa Broza Tita i narušavanja stabilnosti Jugoslavije, što se posebno očitovalo u gospodarstvu. Kako su sve grane ekonomije osjetile krizu, ni radiopostaje nisu ostale imune na tu pojavu. Posebno se to očitovalo u djelovanju lokalnih radiopostaja koje nisu ulagale u svoju tehniku, pa su se vrlo brzo morale ugasiti.

Zakonom iz 1982. godine nastojalo se pomoći lokalnim postajama, međutim zamišljeni učinak zakona nije se ostvario. Njihov ponovni uspon uslijedit će nakon raspada Jugoslavije i nakon uspostave zakona koji podupiru lokalne postaje, poput Zakona o telekomunikacijama iz Hrvatske iz 1994. godine.⁴ [5]

Danas se radio nosi uz bok televiziji. Istina, na području bivše Jugoslavije ugašeni su svi AM odašiljači (dugi, srednji i kratki val), ali nastavilo se emitirati na UKV području.

Kao novina, postepeno se uvodi DAB (eng. Digital Audio Broadcasting) sustav za emitiranje visoko kvalitetnih digitalnih audio i video programa, te podatkovnih usluga za mobilni, prijenosni i fiksni prijam putem zemaljskih odašiljača.

Iz povijesti Radio Zagreba

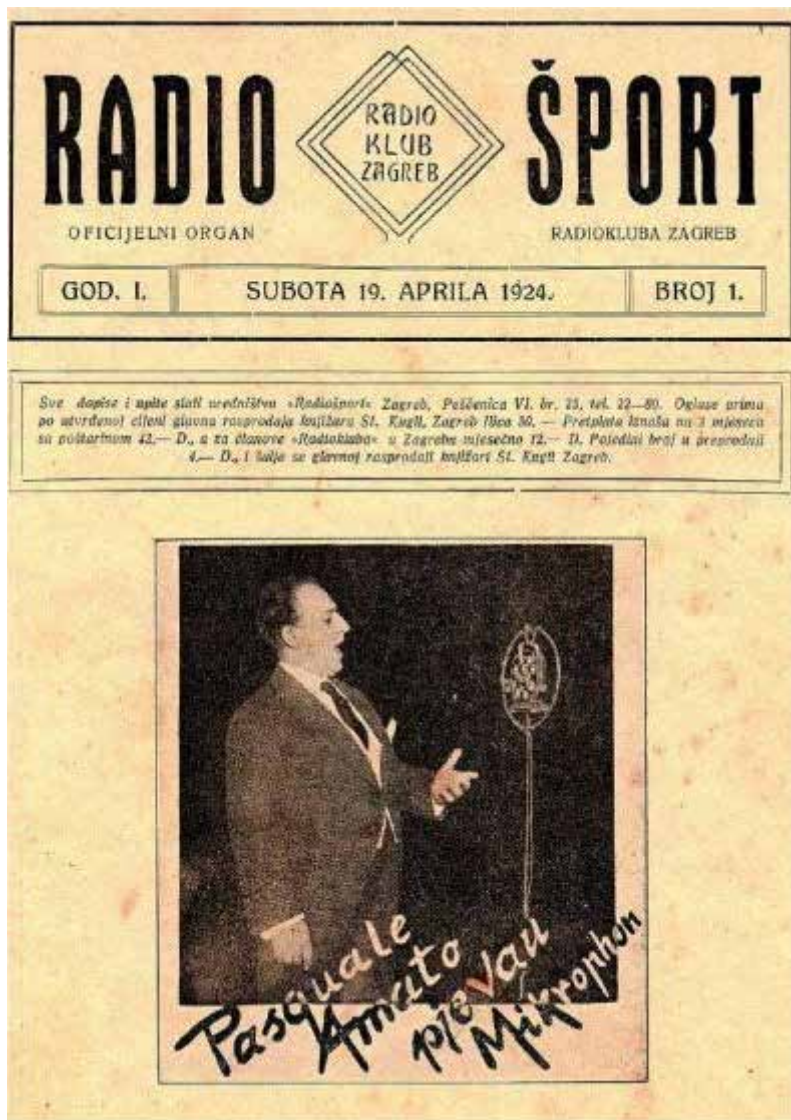
Davnog ožujka 1924. godine, skupina uglednih intelektualaca i poslovnih ljudi osnovala je Radio klub Zagreb.

U odbor Radiokluba Zagreb imenovani su ugledni zagrepčani: prof. dr. Oton Kučera - predsjednik, primarius dr. Franjo Jurčić - potpredsjednik, dr. Dušan Maruzzi - tajnik, inž. Stanko Stiasni - tajnik, Vojko Shauuff - blagajnik, prof. dr. Svetozar Varićak - knjižničar i urednik klupskog glasila, prof. dr. Ljudevit Splait - oružar, dr. Ivan Stern - odbornik, Milan Crlenjak - odbornik, Krešimir Kovačić - odbornik, dr. Dragutin Libermann - odbornik, Jerolim Mise - odbornik, Franjo Rovert - revizor i Stjepan Zubek - revizor.

Dana 19. travnja 1924. godine, izašao je prvi broj popularno-znanstvenog tjednika "RADIOŠPORT", a uređivao ga je prof. dr. Svetozar Varićak. U glasilu su osim brojnih tehničkih informacija i uputa bili objavljeni i podaci što se sa radijskim prijamnikom može čuti u Zagrebu, uvjeti za dobivanje dozvole za nabavku radioaparata, kako naučiti Morseov alfabet i druge zanimljivosti. Radiošport je izlazio 1924. i 1925. godine. U prostorijama radiokluba, u dvorišnoj zgradi na Markovom trgu broj 9, orga-

⁴ Antonio Stuhli, mag. paed. et mag. educ. hist. Odsjek za povijest, Filozofski fakultet u Osijeku Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku: Povijest radija na području bivše Jugoslavije

nizirani su tečajevi za radiofile koji obuhvaćaju tehniku prijama, samogradnju prijmnika i antena. Radioklub je ubrzo imao preko 300 članova. To su ujedno i prvi počeci organiziranog djelovanja i rada zaljubljenika u radiofoniju sa ciljem da putem časopisa zainteresira što veći broj pojedinaca i uputi ih u korist radiofonije i radiotelegrafije.



Sl. 5.: naslovnica časopisa Radio Šport Radiokluba Zagreb⁵ [6]

⁵ Radioklub Zagreb



sl. 6.: Radioklub Zagreb



Sl. 7.: Oton Kučera

Nakon intenzivnih dvogodišnjih napora dobivena je koncesija sa svim potrebnim državnim dozvolama, pa je utemeljena radio postaja Zagreb.

I tako, 15. svibnja 1926. godine u 20.30 sati započela je s emitiranjem prva hrvatska radijska postaja RADIO ZAGREB. Emitiralo se na srednjem valu, frekvenciji od 856,55 kHz odnosno na valnoj duljini 350 m. Radijski program Radio Zagreba bio je prvi u ovom dijelu Europe. Sam program počeo je svečano, emitiranjem hrvatske himne, koju je tom prilikom na glasoviru odsvirao Krsto Odak.



Sl. 8.: Krsto Odak za glasovirom

Nakon izvođenja hrvatske himne, slušateljima se obratio ravnatelj dr. Ivo Stern.

“Halo, halo! Ovdje Radio Zagreb!” To su prve riječi koje je u eter izgovorila književnica i prva spikerica Božena Begović.

Te, prve večeri emitiranja Radio Zagreba, slušatelji su mogli slušati službeni bilten, klasičnu glazbu i na kraju, 15 minutne novosti.



Sl. 9.: Božena Begović

U jesen te iste godine, počela su i prva javljanja s mjesta događaja, a već u studenom i prva izvješća s otvorenog prostora - otkrivanje spomenika J.J. Strossmayeru. Zanimljiv je podatak kako je 1926. godine u Zagrebačkoj direkciji pošte i telegrafa bilo registrirano svega pedesetak radioprijamnika, dok je na području tadašnje države (Kraljevina SHS) bilo svega 290 pretplatnika.

Radio stanica Zagreb je bila u vlasništvu dioničkog društva, da bi je 1. svibnja 1940. Banovina Hrvatska nacionalizirala. Poslije 1945. godine Radio Zagreb djeluje kao državno poduzeće, a kasnije kao društveno i javno poduzeće

- prvo sjedište Radio Zagreba bilo je na adresi Markov trg 9 Zagreb, zatim u Vlaškoj 116 i Šubićevoj 20

- u programu Radija Zagreb, 10. travnja 1941. godine, Slavko Kvatenik je objavio uspostavu NDH.

U to vrijeme Radio postaja Zagreb se zvala Državna krugovalna postaja Zagreb. Ulaskom partizana 1945. godine u Zagreb, naziv Hrvatski krugoval zamijenjen je nazivom Radio Zagreb.

Nakon svega trideset godina od osnivanja, na isti dan 15. svibnja 1956. godine emitiran je i prvi televizijski program. Snaga prvog televizijskog odašiljača smještenog u Tomislavovom domu na Sljemenu iznosila je 50W. Bio je to prvi televizijski odašiljač u tadašnjoj Jugoslaviji, no i prvi televizijski odašiljač u ovom dijelu Europe.



Sl. 10.: iz povijesti Televizije Zagreb

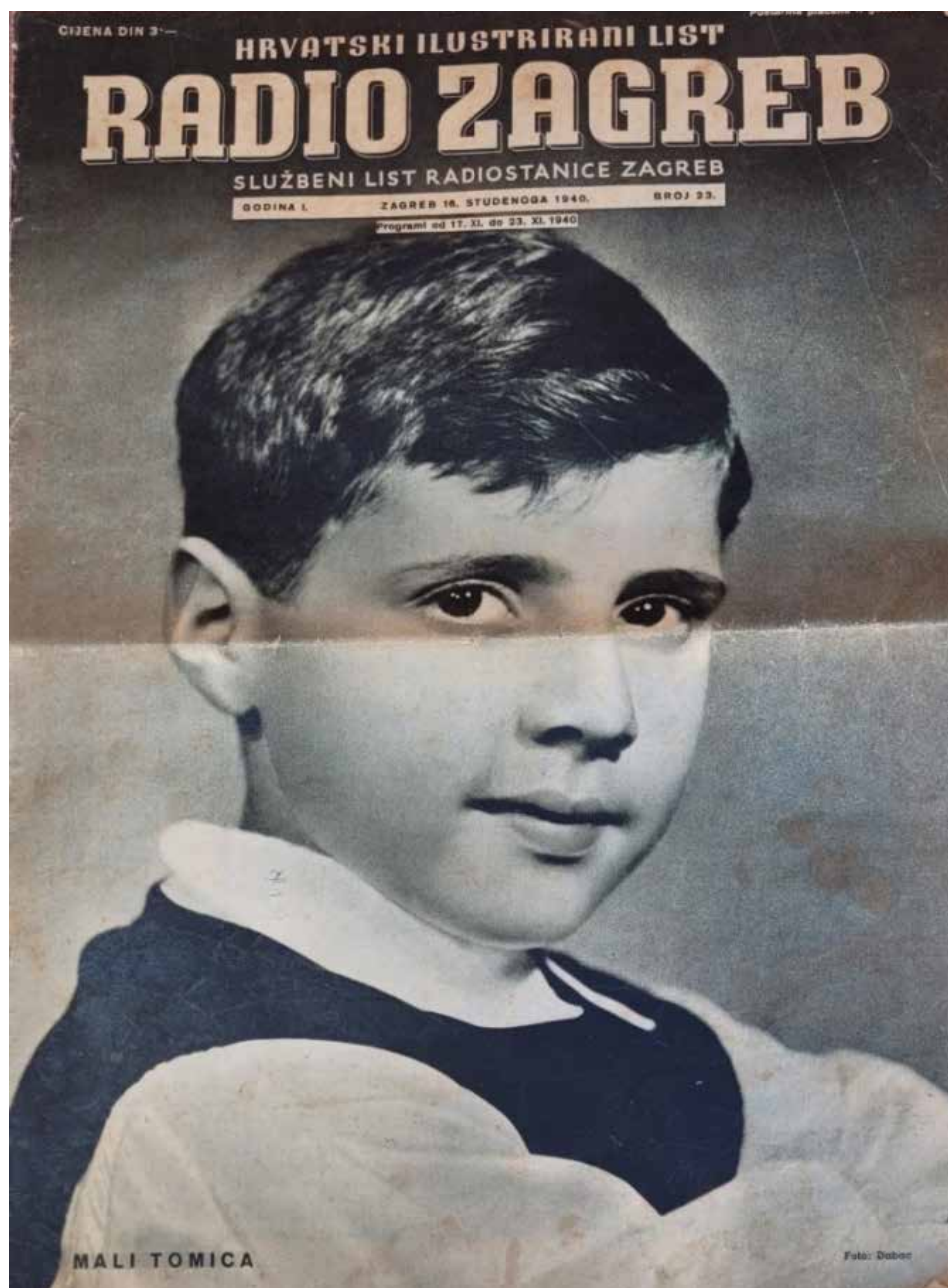
Osnivač i prvi generalni direktor RTV Zagreb bio je narodni heroj Ivan Šibl. Preko Graza i Slovenije, zahvaljujući odašiljaču koji je bio smješten na Tomislavovom domu na Medvednici, slika je stigla iz Beča. U početku se prikazivao program talijanske postaje RAI 1, da bi već u jesen započelo redovno emitiranje eksperimentalnog programa Televizije Zagreb 19. studenog 1956. godine, iz studija u Jurišićevoj 4 u Zagrebu. Iste godine, 7. rujna, ostvaren je i prvi TV prijenos u živo s otvorenja Zagrebačkog velesajma.



Sl. 11.: studio Televizije Zagreb [7]

Odlukom Hrvatskog Sabora, 29. lipnja 1990. godine Radio Zagreb i Televizija Zagreb preimenovani su u Hrvatska radiotelevizija HRT. ⁶[7]

⁶ razni povijesni izvori iz onovremene dokumentacije



Sl. 12.: službeni list radio stanice Zagreb

2. Kristalni radio-detektor

Jedan od prapočetaka radio prijamnika za široke mase, nazivao se kristalni radio ili jednostavno detektor.

Izuzetno jednostavne koncepcije, jednostavan za izradu, bio je dostupan svakom i malo spretnijem korisniku. Velik broj tih prijamnika izrađivao se u samogradnji, a vremenom su zanatlije, pa kasnije i industrija, preuzele njegovu proizvodnju.

U najjednostavnijem obliku kristalni prijamnik sastoji se od oscilatornog kruga s antenom za prijem i izdvajanje željene frekvencije i elementa za demodulaciju.



Sl. 13.: “tvornički” kristalni radio iz vlastite kolekcije

Za demodulaciju se koristio kristal pirita, galenita, bakrenog oksida i dr. i zbog upotrebe kristala dobio i naziv kristalni prijemnik. Ovaj tip prijamnika patio je od slabe selektivnosti i male izlazne snage, jedva dovoljne za pogon naglavnih slušalica. Jačina zvuka u slušalicama direktno je ovisila o nivou signala iz antene, koja je morala biti što duža i kvalitetno izvedena.

Kada bi se koristio jedan od kristala za demodulaciju, stanice su se birale tako, da se komadom zašiljene žice traži po površini kristala mjesto gdje se nešto čuje.

Kasnije su se proizvodili kristali u staklenim cijevima s jednostavnim mehanizmom koji je pomicao žicu po površini kristala.

Iako jednostavan, s jako skromnim mogućnostima, mukotrpnim ‘podešavanjem’ i tihim zvukom, bio je prvi ‘komercijalni radio prijamnik’ koji je informirao i zabavljao tisuće korisnika diljem svijeta.

3. Kratka povijest izrade, proizvodnje i prodaje radio aparata na području bivše Jugoslavije

Prije Drugog svjetskog rata bilo je nekoliko proizvođača koji su sklapali radio aparate, te ih prodavali kao vlastite proizvode:

VIKING RADIO

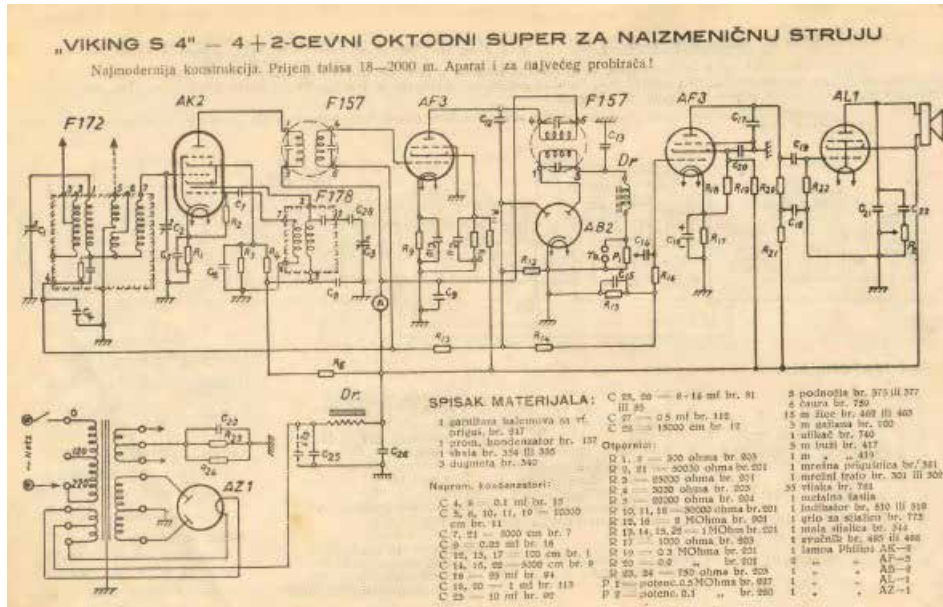
Jedna od najvećih i najpoznatijih, firma je VIKING RADIO. Bila je to jedna od prvih firmi koja je u Zagrebu započela s prodajom radio prijamnika i dijelova za njih, vlasnika Alberta Hajera. Njegova prodavaonica na Jelačićevom trgu broj 11 postojala je od 1925. godine, a imali su prodavaonicu i u Beogradu.⁷[8]



Sl. 14.: VIKING RADIO crtice iz povijesti

⁷ Materijali koje sam koristio pišući članke za knjigu: Zvuk i slika, poglavlje Radio, Zlatko Mumlek, 2022.god; iz fundusa kolekcije Zlatko Mumlek, Radio Muzej Croatia

Pretpostavka je, da su od dijelova koje su prodavali u svojoj trgovini sklapali i vlastite radio prijamnike o čemu svjedoči i ova shema radio aparata:



Sl. 15.: shema radio aparata VIKING RADIO

IVAN PASPA I SINOVI

Zanatska radionica IVAN PASPA I SINOVI započela je s radom 2. svibnja 1907. godine u Zagrebu, Ilica 49, a Gradsko poglavarstvo Zagreba je izdalo odobrenje broj 21402 tek 6. svibnja 1907. godine za njen rad, pa se taj datum može smatrati kao službeni datum osnivanja Paspine tvornice baterija. Paspina tvornica, koja je bazno proizvodila baterije “Croatia” i “Ipis”, te baterijske svjetiljke, pružala je usluge popravaka i održavanja elektro aparata i instalacija. Uspješno je poslovala, pa je 1924. godine bila među najznačajnijim poduzećima elektro struke u Hrvatskoj.

Tvornica je kasnije nazvana “Croatia”.⁸ [9]

⁸ Zagrebačka tvornica baterija i džepnih svjetiljaka do 1945. godine (Prilog povijesti elektroindustrije Jugoslavije; MIRA KOLAR-DIMITRIJEVIĆ Filozofski fakultet, Zagreb, SFRJ)



Sl. 16.: tvornica IVAN PASPAL SINOVI



Sl. 17.: detektorski prijamnik proizvodnje IVAN PASPAL SINOVI

Poznato je, kako je 1927. godine tvornica Ivana Paspas i sinova proizvela detektorski prijamnik koji je omogućavao slušanje emitiranja tada netom pokrenutog Radio Zagreb-a.

Godina 1927. i 1928. u tvornici IVAN PASPA I SINOVI u Zagrebu, serijski je izrađeno više tisuća radio prijamnika po narudžbi Radio Zagreba. Svakom novom pretplatniku besplatno su dostavljeni detektorski aparat s kristalnim detektorom i slušalice.⁹ [10]

PAN RADIO

U Zagrebu je tridesetih godina prošlog stoljeća postojala Radionica radio aparata "PAN". Pan-radio imao je tada ozbiljniju proizvodnju radio prijamnika u Boškovićevoj ulici u Zagrebu. Stakla (skale) je proizvodio gosp. Spevan u Domjanićevoj ulici, dok su vlasnici firme PAN RADIO bili Benešek, Vajc i Kosec. Branko Šterk, te gospođa Anđela, djelatnici su koji su tada radili na organiziranoj proizvodnji.

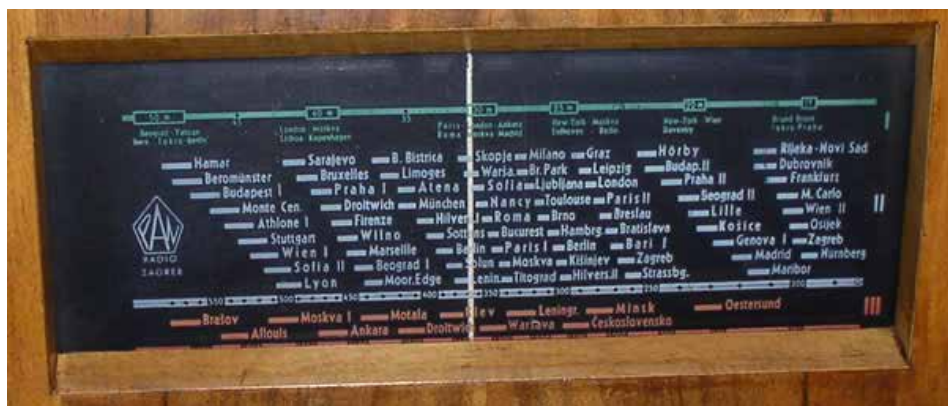


Sl. 18.: logo PAN RADIO ZAGREB

Logo austrijske firme "Panradio Apparate-Vertriebsges.mbH", utemeljene u Beču 1931. godine, pod nazivom Behar - Musicaphon, koja je 1932. godine promijenila naziv u "Panradio" je identičan logu koji se pojavljuje na zagrebačkim radio aparatima, s time da su zagrebački aparati imali ispod logotipa natpis: "ZAGREB". [8]

⁹ Godišnjak 2019. Akademije tehničkih znanosti Hrvatske. str. 363

Zanimljivo je da je austrijska tvrtka PAN ugašena 1935.godine, dok se zagrebački PAN održao sve do 1946. godine.



Sl. 19.: skala staklo s logom PAN RADIO ZAGREB

TEHNOPROMET

Nastao u Zagrebu i samo je jedna u nizu firmi koje su se bavile između ostalog preprodajom dijelova i sklapanjem radio aparatata.

TEHNOSERVIS

Na inicijativu Generalne direkcije pošta, predsjedništvo vlade Federativne Narodne Republike Jugoslavije (FNRJ) donijelo je odluku o spajanju zagrebačke PTT radionice, Odjela slabe struje tvornice Rade Končar i nacionaliziranog poduzeća Fuld u novoosnovani Tehnoservis koji će kasnije prerasti u Tvornicu telekomunikacijskih uređaja Nikola Tesla u Zagrebu.

Prvi direktor tog Tehnoservisa bio je inž. August Adam, koji je dužnost direktora obnašao od 1949. do 1951. godine. Tada je na to mjesto imenovan inž. Petar Kovač, koji je najzaslužniji za razvoj i stvaranje *Nikole Tesle*, te njenu ulogu u razvoju telekomunikacijskih sustava ne samo u Hrvatskoj i bivšoj državi, već i u drugim državama. Počeci proizvodnje 1949. godine su bili obrtnički. Radilo se uglavnom ručno, kao što je uobičajeno u servisnim radionicama.¹⁰ [11]

¹⁰ Godišnjak 2019. Akademije tehničkih znanosti Hrvatske. str. 293,294



Sl. 20.: Reklame zagrebačkih zastupnika ili preprodavača radio aparata iz ranih tridesetih godina prošlog stoljeća [1]

RADIO LABORATORIJ TADEJ

Nakon II. Svjetskog rata, radio industrija se poput svega ostalog nalazila u ruševinama. Države koje nisu imale vlastitu radio industriju morale su uvoziti radio prijamnike, plaćanjem u konvertibilnim valutama, kojih je tada nedostajalo.



Sl. 21.: Logotip poznate zagrebačke radionice i trgovine radio aparatima koju je vodio ing. Miroslav Tadej, u Jurišićevu ulici.

Slabe međuratne zalihe brzo su rasprodane. Najviše se to odnosilo na njemačke nacističke prijaimnike DKE, koji su u sklopu širenja propagande uvoženi na okupirana područja.

Godine 1946., u Jugoslaviju je uvezena manja količina Philipsovog prijaimnika Philetta 209U, koji se prodavao po cijeni od tadašnjih 3.600 dinara. Rat je završio i vrlo brzo su novi vlastodršci uvidjeli potrebu izgradnje vlastite industrije za proizvodnju elektroničkih dijelova. Veliki problem pri tome bili su kadrovi, kojih je kronično nedostajalo.

Tadejev Radio Laboratorij u Jurišićevoj ulici je ubrzo nacionaliziran, logotip je gotovo isti, s time da se iznad pojavljuje natpis "državno poduzeće" kao što se vidi na slici dolje."^[8]



Sl. 22.: Logotip radionice i trgovine radio aparatima nakon nacionalizacije

U Zagrebu u Radio Centru, vrlo brzo je organizirana obuka osposobljavanja za rad u elektrotehnici, posebno invalida, boraca i njihovih obitelji. Nerijetko su ovu obuku vršili i zarobljeni njemački vojnici, dovoljno stručni, a po kazni upućeni na radnu obvezu, uz pomoć stručnjaka radio laboratorija Radio Zagreba. Na kasnijim logotipima pojavljuje se ispod natpisa "Radio Centar" i oznaka R.V.I. - ratni vojni invalidi.

KONRATH-RADIO

Na području Srbije od 1932. godine firma KONRATH-RADIO iz Subotice proizvodi i prodaje radio aparate.

¹¹ Materijali koje sam koristio pišući članke za knjigu: Zvuk i slika, poglavlje Radio, Zlatko Mumlek, 2022.god. iz fundusa kolekcije Zlatko Mumlek, Radio Muzej Croatia

Konrath D.D. Subotica

Sl. 23.: logotip Konrathh D.D. Subotica



Kornel Konrath

Sl. 24.: Kornel Konrath

Počeci sežu od 1921. godine kada je Lipod Glas registrirao zanatsku radionicu za “izradu bravarskih produkata, strojeva, pokućstva, montažu plina i vodovoda”. Ime zanatske radionice mijenja se 15. 06. 1923. godine u Tvornica gvozdene i metalne robe “Hercog i Glas d.d.”. Nedugo nakon ulaska Kornela Konrata (Konrath) 08. 1923. godine, njegovom inicijativom započinje transformacija i odustajanje od ranijeg proizvodnog programa, te se kreće s izradom i sastavljanjem radio aparata.

Ponovna promjena naziva slijedi 1925. godine u “Konrath, tvornica gvozdene i metalne robe d.d.”.

Za sklapanje svojih radio aparata uvoze se dijelovi i pribor iz Njemačke od “Stealth Magnesium a.g.” i “Herman Niedorf”, obje iz Berlina. Povoljne ekonomske prilike, te mnogobrojni događaji u međunarodnoj politici pozitivno su utjecali na proširenje prodaje radio prijemnika, pa su 1939. godine započeli i s prodajom radio aparata na otplatu, a preuzeli su i zastupstvo električnih satova.

Maksimalni godišnji kapacitet proizvodnje iznosio je do 40 vagona robe i 5000 radio aparata! ¹²[12]



¹² Subotička istorija; subotička-fabrika-radio-aparata-konrath-d-d/ (zahvaljujući Dušanu Petrović, muzejskog savjetnika i načelnika Odjeljenja zaštite Muzeja nauke i tehnike Beograd



Sl. 25.: Reklamni materijal firme Konrath Radio

RADIO INDUSTRIJA NIKOLA TESLA BEOGRAD

Osnovana je u Beogradu 1946. godine kao državno poduzeće. Tada je to bila jedina tvornica koja je proizvodila radio aparate odlukom donesenom u Radio komitetu Beograd i koji je tada svojim veliki političkim utjecajem onemogućio ostalima u bivšoj Jugoslaviji proizvodnju radio aparata.¹³ [13]



Sl. 27.: Logotip Radio industrije Nikola Tesla Beograd

MIHAJLO PUPIN BEOGRAD

Institut je osnovan je 1946. godine kada Srpska Akademija Nauka osniva dva instituta: Institut za telekomunikacije i Institut za elektroniku. Vlada FNRJ 1947. godine osniva Centralni radio institut Vlade FNRJ, a već 1948. godine iz njegova sastava formira se Institut za elektroprivredu. Srpska Akademija Nauka 1950. godine objedinjuje ova četiri instituta u Institut Nikola Tesla za ispitivanje električnih pojava. Tek se 1959. godine, izdvajanjem grupe istraživača i znanstvenik osniva Institut za elektroniku i telekomunikacije "Mihajlo Pupin" kao jedan od prvih izdanaka poslijeratne elektronske industrije u Jugoslaviji. Početkom šezdesetih godina prošlog stoljeća tvornice Radio industrija Nikola Tesla Beograd i Mihajlo Pupin Beograd ući će u sastavu Belinda u sastav Elektronske industrije Niš.¹⁴ [14]

¹³ Dušan Petrović, muzejski savjetnik i načelnik Odjeljenja zaštite Muzeja nauke i tehnike Beograd, tekst za katalog izložbe u Brnu: "Nije Tesla kao Tesla" ; Wikipedia

¹⁴ Wikipedija, Institut Mihajlo Pupin



Sl. 28.: logotip Instituta za elektroniku i telekomunikacije Mihajlo Pupin

BELIND (Beogradska elektronska industrija)

Nastala 1959. godine spajanjem manjih laboratorija (Tesla, Pupin i Avala). Veći dio proizvodnje bio je baziran na proizvodnji elektroničkih komponenata, opreme za željezničku signalizaciju, radio aparata i gramofona, te telefona. Postojala je sve do 1962. godine, kada dolazi do spajanja sa Zavodima RR iz Niša i do formiranja Elektronske industrije Niš.¹⁵ [15]



Sl. 29.: Reklama Beogradske elektronske industrije BELIND

¹⁵ Wikiwand Belind, Wikipedia Belind

RR ZAVODI NIŠ

Poduzeće je formalno nastalo 10. travnja 1948. godine. Razlog formiranja je bila nestašica rendgen cijevi. RR je skraćenica od pojmova radio i rendgen cijevi. Uz pomoć njemačkih stručnjaka i opreme nabavljene iz Njemačke, iz pogona Siemens, od 1949. do 1951. godine konstruirali su i počeli proizvoditi prvu elektronsku cijev (AZ1), a 1952. godine i rendgen cijev. Prve rendgen aparate su proizveli 1953. godine. Paralelno s razvojem zavoda RR formirana je i industrijska škola 1949. godine.



Sl. 30.: Logotipi RR zavoda Niš

Velikoserijska proizvodnja radio aparata započinje 1956. godine. Iste godine počinje i priprema za proizvodnju televizijskih prijamnika koja kreće 1958. godine uz suradnju s Philipsom.

Serijska proizvodnja germanijskih točkastih dioda, te tranzistora kreće 1960. / 1961. godinu.

RR zavodi Niš postigli su značajan uspjeh proizvodnjom rendgen aparata, elektronskih cijevi, elektroničkih elemenata, radio i televizijskih aparata. Poduzeće “Zavodi RR” 1950. godine političkom odlukom ulazi u sastav “Ei holdinga”. ¹⁶[16]

¹⁶ Retrospektivni pregled proizvodnje poluprovodnika u okviru Elektronske industrije u Nišu (Univerzitet u Nišu, 06/2013.)

EI NIŠ (Elektronska industrija Niš)



Sl. 31.: Logotip Elektronske industrije Niš

Holding kompanija nastala 1948 godine formiranjem Instituta za proizvodnju radio opreme i rendgen aparata sa sjedištem u Nišu. U sastavu holdinga nalazilo se nekoliko zavisnih poduzeća iz Niša, Beograda, te drugih gradova Srbije.

Integracijom Zavoda RR i BELIND-a je 27.01.1962. godine stvorena Elektronska industrija Niš. Postupna integracija završena je 17.09.1962. godine.

Od 1965. do 1980. godine bilo je zlatno doba za Ei Niš. U to vrijeme pogoni u Nišu, Beogradu, Svrnjigu, Žitorađi, Aleksincu, Đevdeliji (Makedonija), te u Srbu (Hrvatska), oko 50 tvornica i preko 28000 radnika radili su punim kapacitetom.

Velik je bio asortiman proizvoda široke potrošnje, vojnog programa i programa za izvoz u velikim serijama.

Proizvodili su se radio aparati, zvučnici, sistemi za ozvučenje, pojačala, električna brojila, računala, bijela tehnika, televizijski prijamnici, telefonski apati i centrale, radio stanice i VF uređaji, semafori, uređaji željezničke signalizacije i oprema, uređaji za potrebe vojske i policije, industrijska elektronika, štampani elektronički sklopovi, auto elektronika, medicinska elektronička oprema i rendgen uređaji.

Potrebno je istaknuti kako su se elektronske i katodne cijevi proizvodile u visokoj kvaliteti i dan danas su cijenjene i priznate u svijetu.

Naravno, pored svega navedenog, elektronički elementi, otpornici, kondenzatori i poluvodiči, integrirani sklopovi proizvedeni u Ei Niš nalazili su se u svim njihovim

proizvedenim uređajima, ali i u uređajima proizvedenim van granica Jugoslavije. [16]

REK (Radio Elektro Kragujevac)

U periodu od 1954. do 1962. godine postojala je i radio industrija REK koja je proizvodila radio aparate. Nastala od elektro-strojarske radionice koja je u prvo vrijeme proizvodila bakelitna grla i slušalice, a 1954. godine počinje proizvodnju radio aparata *Šumadija 54*. Dvije godine kasnije, proizvode radio aparate *Kragujevac* i *Šumadija 56*. Radio aparati *Super bebi* i *REK 59* počeli su se proizvoditi 1958. godine.

Negdje u srpnju 1962. godine poduzeća REK, Mladost i Proleter integrijaju se u novo poduzeće 21 oktobar i tada prestaje postojati REK. ¹⁷[17]



Sl. 32.: RADIO ELEKTRO KRAGUJEVAC

¹⁷ rek.co.rs



Sl. 34.: logo Radioindustrije Zagreb

Prvi proizvod RIZ-a, radio odašiljač Učka, počinje se serijski proizvoditi od 1952. godine. Električni gramofon s jednom brzinom počeo se proizvoditi 1953. godine, a s tri brzine 1957. godine.

Radio aparat Maksimir, prvi je RIZ-ov radio aparat, proizveden 1953. godine, dok je posljednji radio aparat s elektronskim cijevima proizveden 1965. godine. Prvi televizijski prijamnik proizveden u tadašnjoj državi, model "TV 101", izrađen je 1956. godine po licenci tvornice Philips i izgledao je kao Philipsov model Leonardo. Proizvodnja modela TV 101 bila je usklađena s početkom emitiranja zagrebačkog televizijskog programa. RIZ TV 101 bio je iste godine izložen i na zagrebačkom velesajmu. Dvije godine kasnije, 1958. godine RIZ je proizveo prvi potpuno domaći crno-bijeli televizijski prijamnik pod nazivom Kumrovec. Vremenom se proizvodni program širio, pa su se u pojedinim razdobljima proizvodili odašiljači, radio i TV prijarnici, gramofoni, zvučnici, elektroničke komponente (kondenzatori, tranzistori i integrirani krugovi), uređaji za potrebe vojske, mjerni i laboratorijski uređaji, antene, električna brojila itd. Tvornice RIZ-a bile su diljem Hrvatske: Slunj - tvornica televizijskih prijamnika), Đurđevac - tvornica Elak za proizvodnju gramofona, Gornje Taborište - tvornica televizijskih prijamnika, Zagreb - tvornica poluvodiča i tvornica telekomunikacijskih uređaja.

Radio aparati s elektronskim cijevima RIZ-a: Maksimir, Dubrava, Jadran, Dubrava 55, Tuškanac 56, Tuškanac 56M, RIZ 56, BU-3/57, BU-4/58, Pionir, Jadran 57, Jadran 57A, RIZ 58, Jadran 58 UKV, Jadran 59A (59B, 59C), Jadran 59 UKV-a (59 UKV-B, 59 C), Jadran 60, Jadran 60G, Pionir 60, RIZ 594, RIZ 604, RIZ 604S, RIZ 614 i RIZ 634.¹⁸[18]

¹⁸ RIZ.hr/povijest tvrtke; Wikipedia RIZ

ISKRA

Počeci Iskre sežu od 1945. godine preimenovanjem tvornice “LGW” (Luftfahrt Gerätewerk) u Strojne tovarne Kranj.



Sl. 35.: Logo tvornice Iskra

Sredinom ljeta donesen je prvi tvornički program s velikim asortimanom proizvoda iz raznih područja. Osnovana je 8. ožujka 1946. godine pod nazivom: “Iskra Tovarna za elektrotehniku in fino mehaniko Kranj”. Već u 1946. godini razvijaju se instrumenti s pomičnim svitkom.

Iskra se razvila u značajnu industrijsku silu s puno tvornica diljem Slovenije. Proizvodi se praktički skoro sve u visokoj kvaliteti, od bijele tehnike, elektroničkih sklopova i uređaja, elektroničkih elemenata, mjerne opreme s instrumentima, komunikacijskih uređaja itd.¹⁹[19]

IEV Institut za elektrovezve, Industrija za elektrovezve Ljubljana

Prve radionice radio uređaja na oslobođenom području Slovenije davne 1943. godine preteče su IEV. IEV je osnovan 20. siječnja 1948. godine pod nazivom Institut za elektrovezve. Osnivač i prvi direktor bio je Rudi Jančarj. Promjena naziva uslijedila je 1. siječnja 1958. godine u Industrija za elektrovezve, a ubrzo, 1961. godine ulaze u integraciju zajedno s Iskrom, Telom i Avtomatikom u Iskru–Kranj.

¹⁹ Wikipedia Iskra company; Iskra.si/SI



Sl. 36.: logo Industrija za elektrovezve Ljubljana

Proizvodili su izuzetno kvalitetne i dugovječne uređaje: komunikacijske prijamnike, laboratorijske uređaje, telefoniju, televizijsku opremu.²⁰[20]

TELEKOMUNIKACIJE Ljubljana

Ljeta 1950. godne odcijepljenjem od IEV nastaju: Telekomunikacije Industrijsko podjetje za elektroniko in avtomatizaciju Pržan. Velik je broj modela radio aparata koje su proizveli.



Sl. 37.: Telekomunikacije Ljubljana

Neki od njih su: Bistra 44, Bistra 45, Kras Ra4I, Kras 54, Orion AT603J, Panorama, Sava, nekoliko modela Savica, Soča RA16, Soča 58A, Soča 58B, Soča 60 i 60A, Vesna 35, Vesna 45, Vesna 58A i B, Vesna 6I, Vesna UKV60, itd.²¹[20]

RAFIMUS Murska Sobota

²⁰ Pol stoletja usmerjenih zvez v Sloveniji, Iskra Transmission, d. d., Ljubljana 2004

²¹ Pol stoletja usmerjenih zvez v Sloveniji, Iskra Transmission, d. d., Ljubljana 2004

Tvornica osnovana tijekom 1950. godine proizvodila je šivaće mašine, preciznu mehaniku i radio aparate. Radio aparati koje su proizvodili 1950. godine su bili bazirani na modelu Savica proizvodnje Telekomunikacije Ljubljana. Proizvodnja se ugasila 1965. godine. [22]



Sl. 38.: Logo Rafimus Murska Sobota

RUDI ČAJAVEC Banja Luka

Vlada FNRJ 1950. godine donijela je odluku za formiranje: Fabrike vojne elektronske opreme i uređaja “Rudi Čajavec” u Banja Luci. Razvoj i usvajanje 11 proizvoda iz oblasti autoelektrike i deset novih proizvoda elektronike počinje 1954. /1955. godine.



Sl. 39.: Logo Rudi Čajavec Banja Luka

Proizvodnja radio prijamnika “Tara”, te tranzistorskog radio prijamnika “Slavuj” započinje 1957. godine, dok proizvodnja televizijskog prijamnika započinje godinu dana kasnije, 1958. godine.

Proizvodni pogoni Rudi Čajavec proizvodili su preko stotinu artikala: radio prijame, televizijske prijame, audio pojačala, zvučnike, auto oprema, te visoko sofisticirane vojne opreme, režijskih pultova, sistema za video nadzore, itd. Nalazili su se u Banja Luci, Foči, Laktašima, Čelincu i Ljubiji²³. [22]

²² Museums.eu/pomorje museum Murska Sobota

²³ Rudi Čajavec“ veliki brat iz Banja Luke; mondo.ba

ERMA elektro-radio-mehanika

Elektro radio tovarna ETR Šmarje



Sl. 40.: Logo ETR Šmarje

Poduzeće nastalo u ožujku 1955. godine kod Kopra u mjestu Šmarje. Kako se u blizini nalazila Iskrina tvornica radio prijamnika Sežana, razumljivo je da je dio kadrova te tvornice ili radio u ERMI, ili znanje usvojeno u Iskri prenosilo u ERMU i obučavalo kadrove. Neki od njihovih radio prijamnika su Piran RS2, Šmarje USA, Izola RSi, Portorož RS3, Izola RS7, Piran 58RS8, te Koper S5A. Zahvaljujući otkupljenoj licenci mađarskog Oriona, proizveli su i baterijski prijenosni radio prijamnik.

GORENJE VELENJE



Sl. 41.: Logo firme Gorenje

Odlukom jugoslavenske vlade nacionalizacijom kovačnice u slovenskom selu Gorenje, 1950. godine osnovano je poduzeće Gorenje. Sjedište poduzeća je bilo u Gorenju, a 1960. godine seli se u Velenje. Iako u početku, a i kasnije, osnovna proizvodna djelatnost je bila proizvodnja peći na kruta goriva i bijele tehnike. Tvornica elektronike pokrenuta je u Velenju 1970. godine i radila je do 1991. godine. Potrebno je dodati kako je 1978. godine kupovinom njemačke tvrtke Körting pojačano počela proizvodnja kvalitetnih elektroničkih uređaja. Posebno su se isticali muzički centri, konverteri TV signala, te televizijski prijamnici: TV 950 Color (BTV 950), Color electronic 961 (BTV 102), Akvamarin in live BTV 201 color, Ametist (BTV 301) itd.²⁴ [23]

IRET - industrija za radio-elektroniku i telekomunikacije Split

Negdje 1967. godine formirano je splitsko poduzeće IRET - industrija za radio elektroniku i telekomunikacije. U osnovi, proizvodi komunikacijsku opremu uglavnom vojnog programa.

Ovo je kratak popis samo dijela tvrtki s osnovnim opisom djelatnosti, koje su u svom proizvodnom programu imale proizvodnju radio aparata. Naravno da ih je na području bivše Jugoslavije bilo još, no podaci o njima su teško dostupni i neprovjereni, pa ih stoga nisam niti navodio.

Zaključak

Snaga i moć radija je nemjerljiva. Svojom pojavom omogućio je brz prijenos informacija, te time povezao cijeli svijet. Prilagođavajući se razvoju i napretku tehnike i tehnologije, radio je i danas prisutan u raznim oblicima u našoj svakodnevnici, od prijenosa informacija, edukacije pa do zabave. Policiji, vojsci, vatrogascima i drugim javnim službama s određenim modifikacijama, radio je nezaobilazno sredstvo njihova

²⁴ 60 years of creativity Gorenje

djelovanja. Iako je prijenos slike u prednosti, radio se i dalje razvija, te prilagođava potrebama i uvjetima korištenja. Zahvaljujući svestranom izumitelju Nikoli Tesli čovječanstvo je dobilo jedno od najmoćnijih sredstava komunikacije.

Literatura:

- [1] Narod HR, 2. lipnja 2016.
- [2] Wikimedia
- [3] Narod HR, 2. lipnja 2016.
- [4] materijali Tehničkog muzeja Nikola Tesla Zagreb.
- [5] Antonio Stuhli, mag. paed. et mag. educ. hist. Odsjek za povijest, Filozofski fakultet u Osijeku Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku Povijest radija na području bivše Jugoslavije
- [6] Radioklub Zagreb
- [7] razni povijesni izvori iz onovremene dokumentacije
- [8] Materijali koje sam koristio pišući članke za knjigu: Zvuk i slika, poglavlje Radio, Zlatko Mumlek, 2022.god; iz fundusa kolekcije Zlatko Mumlek, Radio Muzej Croatia
- [9] Zagrebačka tvornica baterija i džepnih svjetiljaka do 1945. godine (Prilog povijesti elektroindustrije Jugoslavije; MIRA KOLAR-DIMITRIJEVIĆ Filozofski fakultet, Zagreb, SFRJ
- [10] Zagrebačka tvornica baterija i džepnih svjetiljaka do 1945. godine (Prilog povijesti elektroindustrije Jugoslavije; MIRA KOLAR-DIMITRIJEVIĆ Filozofski fakultet, Zagreb, SFRJ; Godišnjak 2019. Akademije tehničkih znanosti Hrvatske. str. 363
- [11] Godišnjak 2019. Akademije tehničkih znanosti Hrvatske. str. 293,294
- [12] Subotičkaistorija; subotička-fabrika-radio-aparata-konrath-d-d/ (zahvaljujući Dušanu Petrović, muzejskog savjetnika i načelnika Odjeljenja zaštite Muzeja nauke i tehnike Beograd
- [13] Dušan Petrović, muzejski savjetnik i načelnik Odjeljenja zaštite Muzeja nauke i tehnike Beograd, tekst za katalog izložbe u Brnu: "Nije Tesla kao Tesla"; Wikipedia.
- [14] Wikipedija, Institut Mihajlo Pupin
- [15] Wikiwand Belind, Wikipedia Belind
- [16] Retrospektivni pregled proizvodnje poluprovodnika u okviru Elektronske industrije u Nišu (Univerzitet u Nišu, 06/2013.)
- [17] rek.co.rs
- [18] RIZ.hr/povijest tvrtke; Wikipedia RIZ
- [19] Wikipedia Iskra company; Iskra.si/SI
- [20] Pol stoletja usmerjenih zvez v Sloveniji, Iskra Transmission, d. d., Ljubljana 2004
- [21] Museums.eu/pomorje museum Murska Sobota
- [22] Rudi Čajavec“ veliki brat iz Banja Luke; mondo.ba
- [23] 60 years of creativity Gorenje

Željko Vrzan

HISTORY OF RADIO IN THE FORMER YUGOSLAVIA

Summary: This paper summarizes the development of radio as a ‘technological miracle’ of that time, and as a medium for information transfer, education and entertainment. Emphasis was placed on the development of radio, broadcasting and distribution of information. Installation of the first radio transmitters in Europe, in the territory of the former Yugoslavia and especially in Croatia is given. The development of Radio Zagreb is presented with a brief review of the beginnings of Zagreb Television. The central part of the article is dedicated to the manufacture, production and sale of radios in the former Yugoslavia.

Keywords: Nikola Tesla, radio, Radio Zagreb, Radio Industry Zagreb

Dubravko Rogale, Martin Rogale

ŠPIJUNSKE RADIO STANICE IZ DOBA DRUGOG SVJETSKOG I HLADNOG RATA PRONAĐENE U HRVATSKOJ

Sažetak: U članku su opisane špijunske radio stanice iz Drugog svjetskog i hladnog rata čije je zajedničko obilježje da su pronađene ili izgrađene na teritoriju Republike Hrvatske, a pohranjivane su u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme tijekom zadnjih tridesetak godina. Iz Drugog svjetskog rata prikazane su engleske špijunske radio stanice Paraset Whaddon Mark VII, AP-5 i BP-5, američka SSSTR-1 te sovjetska V-100. Iz doba hladnog rata prikazane su američka RS-1, sovjetske Tensor i Orel-350 te hrvatske špijunske radio stanice RTP-8, RTP-8/3 i špijunska izvedba radio uređaja RU-20. Hrvatske špijunske stanice je od 70-tih do 90-tih godina prošlog stoljeća proizvodila poznata zagrebačka tvornica RIZ. Uz fotografije navedenih špijunskih stanica, dat je i opis njihovih razvoja, tehničkih karakteristika, snaga, sastav, korištene elektronske cijevi te zanimljivosti nastanka i korištenja.

Ključne riječi: špijunske radio stanice, Drugi svjetski rat, hladni rat, tehničke karakteristike

Uvod

Špijunska aktivnost, odnosno prikupljanje tajnih podataka i njihov prijenos je u povijesti ljudskog roda započeo jako rano, već uspostavom prvih neprijateljstava ljudskih zajednica, a kasnije i država, te pojavom njihovih međusobnih sukoba i ratova. Poseban problem predstavljao je prijenos već prikupljenih podataka s obzirom da se u sukobima praktički prekidaju i onemogućuju uspostavljeni komunikacijski kanali, osobito u pogledu zatvaranja teritorija i granica, a time onemogućavanja prometa ljudi i roba. Tada je fizički prijenos podataka korištenjem ljudi ili tehničkih mogućnosti zamjetno smanjen, često i onemogućen.

Razvitkom radiotehnike i radijskih komunikacija postaje moguće da se propagacijom radio valova premoste fizička razgraničenja i uspostavi komunikacija na razmjerno velikim udaljenostima. To je osobito postalo važno pred i za vrijeme Drugog svjetskog rata i kasnije u doba hladnog rata. U to doba snažnog razvoja radijskih komunikacija i tehnike započelo je konstruiranje špijunskih radio stanica posebno ciljanih obilježja. One su morale biti malih dimenzija da bi se neopaženo transportirale, malih masa da bi se lako prenosile i solidne mehaničke otpornosti jer su bile podvrgavane silama i udarcima pri prenošenju i izbacivanju padobranima. Morale su biti električki stabilne i izdržljive, podnositi znatne varijacije napona i imati mogućnosti napajanja iz različitih električnih izvora, konstruirane iz uobičajenih i lako dostupnih komponenti kako bi se uz minimum rezervnih dijelova mogle popraviti na terenu. Rukovanje njima je moralo biti jednostavno i intuitivno jer su agenti najčešće bili obučavani za posebne i neke druge svrhe i već je bilo dostatno da su uz to morali svladati radio telegrafijsku obuku i osnove radiotehnike. Snaga odašiljača i osjetljivost prijemnika su morali zadovoljavati uspostavu sigurne komunikacije od najmanje nekoliko stotina kilometara. Uz to morale su imati mogućnost prilagodbe na različite vrste i duljine antena i otporne sklopove dimenzionirane za nenamjerne pogreške i pogrešnu uporabu.

Mnoge razvijene zemlje izrađivale su svoje špijunске radio stanice, pri čemu su tijekom Drugog svjetskog rata prednjačile SAD i Engleska. Tijekom hladnog rata su nastavile spomenut razvoj ali su se uz njih ubrzo pojavile i druge zemlje poput Sovjetskog saveza, Istočne Njemačke, Francuske, Belgije, Švedske, Finske i dr. Posebno je zanimljivo da je i zagrebačka tvornica RIZ proizvodila tri vrste špijunskih radio stanica izvrsnih karakteristika, opisanih u ovom članku.

Mnoge špijunске stanice nađene su na različite načine i na teritoriju današnje Hrvatske. Začuduje njihov razmjerno velik broj, a nepoznata i dalje ostaje njihova svrha i stvarna namjena. Čak 11 pronađenih špijunskih radio stanica, opisanih u ovom članku, danas je pohranjeno u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme [1,2]. Mnoge su donirane od radioamatera, obitelji sakupljača radio prijemnika, kolekcionara, a neke su kupljene na popularnim sajmištima i preko elektroničkih oglasnika u Hrvatskoj. Većina je vrlo uščuvana i u besprijekornom radnom stanju, a neke su mukotrpno obnavljane i dovedene u estetski dobro i radno izvrsno stanje uz punu funkcionalnost.

1. Engleska špijunска stanica Paraset Whaddon Mark VII

Na početku Drugog svjetskog rata su savezničke snage iznenađujuće brzo potisnute s teritorija zapadne i sjeverne Europe, a saveznički otpor stiješnjen je na kraj-

nji zapad Europe, na otočje Velike Britanije. Ubrzo se pokazala izrazita potreba za točnim i svježim podacima o pokretima i koncentraciji njemačkih trupa na kopnu i moru radi planiranja i usmjeravanja zračnih napada i bombardiranja kao i poruke namijenjene špijunskim skupinama. Meteorološki podaci su također bili od izuzetnog značaja budući da se vremenska prognoza, potrebna za učinkovite zračne napade, u ono doba mogla temeljiti samo na podacima izravno prikupljenim na okupiranom području. Jedini problem bio je nedostatak primjerenih radio uređaja koji bi se mogao dostaviti pripadnicima pokreta otpora, od jugozapada do sjevera Europe. Stoga je britanska obavještajna služba MI6 (engl. *Military Intelligence, Section 6*) započela s razvojem i proizvodnjom više vrsta špijunskih primopredajnika, isprva u Londonu, a od 1940. u malom gradiću Whaddon Hall na jugoistoku Velike Britanije. Prema kronologiji nastanka ovi uređaji su dobivali oznake Whaddon Mark I, II, III, itd., te su bili davani na korištenje specijalnim snagama SOE (engl. *Special Operations Executive*). S obzirom da su mnogi agenti SOE bili izbacivani padobranima duboko u pozadinu njemačkih trupa noseći sa sobom spomenute radiouređaje, ubrzo su ti uređaji dobili nadimak Paraset, koji je postao njihova zbirna imenica, prihvaćena sve do današnjih dana [3].

Osobito se uspješnim pokazao špijunski primopredajnik Paraset Whaddon Mark VII, proizveden 1941. godine i koji se, odmah po pojavi, padobranskim pošiljkama slao pripadnicima pokreta otpora u Francuskoj, Belgiji, Nizozemskoj i Norveškoj. Izrađeno je više inačica Paraseta, isprva u drvenoj kutiji, sl. 1.



Sl. 1.: Originalna verzija špijunskog radiouređaja Paraset Whaddon Mark VII u drvenoj kutiji

Kasnije je Paraset izrađivan u metalnoj kutiji s poklopcem. Jedan primjerak takvog Paraseta, na kojem su tijekom Drugog svjetskog rata ilegalci iz Zagreba tajno održavali radio veze sa saveznicima, pohranjen je u Muzeju grada Zagreba, sl. 2.

Paraset je i za današnje pojmove malen radijski primopredajnik, a ranih 40-tih godina prošlog stoljeća to je zasigurno bio primjer minijaturnog, genijalno konstruiranog, jednostavnog, jeftinog i laganog uređaja, kojim su mogle rukovati osobe skromnijeg radiotehničkog znanja uz šturo uputstvo, sl. 3.

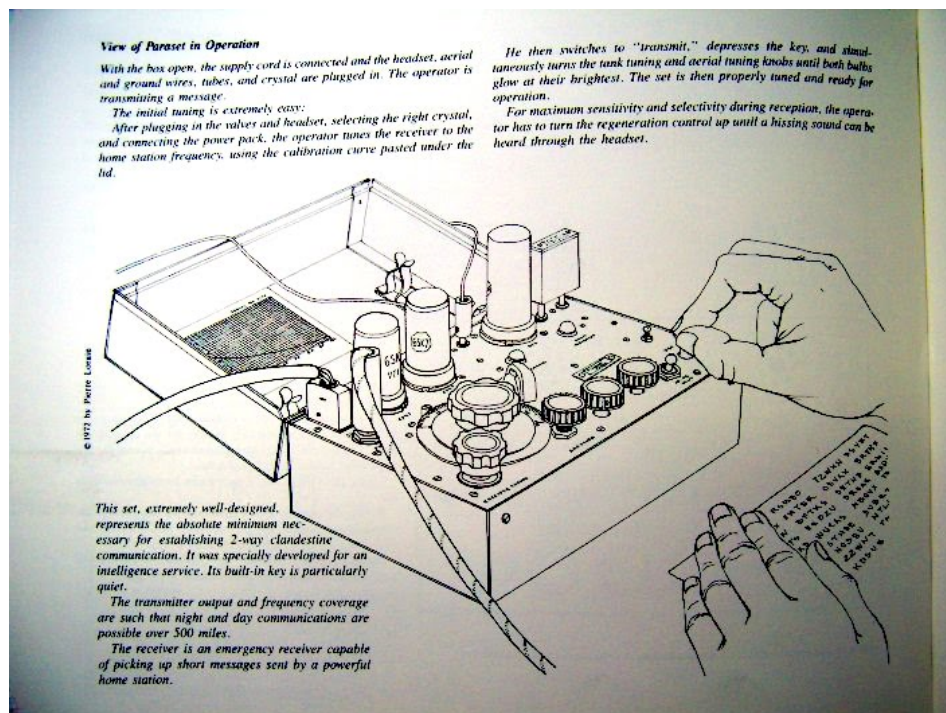
Cijela konstrukcija Paraseta temeljila se na primjeni tri čelične elektronske cijevi. Dvije pentode korištene su u prijemnom dijelu uređaja, a jedna razmjerno snažnija pentoda sačinjavala je predajnik. Predajnik je bio male snage, kontroliran kristalom kvarca. Mogao je raditi samo u telegrafijskom načinu rada (CW), a najveća izlazna snaga mu je bila oko 5 do 6 W. Radio je u frekvencijskom području od približno 3,3 do 7,6 MHz, u dva područja koja su se odabirala uključivanjem jednostavnog prekidača.

Prijemnik je bio regeneracijskog tipa i pokrivao je nešto šire područje frekvencija od predajnika od 3 do 7,6 MHz, ali samo u jednom području pa je selektivnost (prema današnjim shvaćanjima) bila loša.

Napajanje uređaja bilo je izvedeno ispravljačem koji se priključivao na električnu mrežu ili vibratorskim ispravljačem koji se priključivao na olovni akumulator napona 6 V.



Sl. 2.: Kasnija verzija Paraseta u metalnoj kutiji s poklopcem pohranjena u Muzeju grada Zagreba



Sl. 3.: Upute za podešavanje i rukovanje Parasetom

Korištene elektroničke komponente bile su jednostavne i mogle su se razmjerno lako nabaviti s obzirom da su se velikim dijelom koristile i u ondašnjim radiodifuznim kućnim prijemnicima. To je olakšavalo proizvodnju, ali i popravak kvarova na terenu. S obzirom na ratno doba i nestašicu ugradbenog materijala pri proizvodnji, male serije su se znale značajno razlikovati prema porijeklu ugrađenog materijala tako da je danas teško pronaći dva potpuno identična uređaja.

Paraset se transportirao u kožnatim kovčezima uobičajenim za predratno i ratno doba, tako da nije plijenio posebnu pažnju.

Na mrežnim stranicama postoji više električnih shema Paraseta, a zacijelo je najbolja shema koju je izradio Johnny Apell. Shema Paraseta, prikazana na slici 4., je prije svega pregledno i profesionalno nacrtana, točna je i provjerena s obzirom da su autori prema njoj izradili repliku koja ispravno funkcionira.

Sagledavajući shemu i konstrukciju Paraseta brzo se stječe dojam o jednostavnosti sheme i genijalnosti konstruktora. Shema ima minimalan broj elektroničkih komponenti koje su bile uobičajene za ondašnje doba, a dobiven je pouzdan uređaj respektabilnih karakteristika uz malu masu i dimenzije. Engleski konstruktori projektirali su ga za zamišljeni domet do 500 milja, što je uređaj postizao i nadmašivao. Smatra se da je proizvedeno nekoliko tisuća opisanih vrsta uređaja. Mnogi autori smatraju rijetkom pojavom da su proizvedena dva potpuno ista uređaja jer su zbog nestašice ratnog materijala često korištene komponente iz različitih izvora, a kompromisi i improvizacije bili su uobičajeni.

Na žalost, na kraju drugog svjetskog rata, legendarni Winston Churchill je osobno, u strahu od razbuktavanja hladnog rata, naredio uništavanje britanskih špijunskih radijskih uređaja, pa tako i Paraseta kao i uređaja za dešifriranje kodova Enigme. Zbog toga je sačuvan izuzetno mali broj primjeraka i oni danas predstavljaju pravu rijetkost.

Autori su, koristeći umjetnu antenu impedancije $50\ \Omega$ i profesionalni vatmetar BIRD 43, sa sondom 50H snage 50 W, izmjerili da se replikom Paraseta na 80 metarskom radioamaterskom području postiže izlazna snaga od 5 W (QRP) već s anodnim naponom od 260 V, a s naponom od 350 V postiže se, uz anodnu struju od 65 mA, izlazna snaga od 10 W. Na 40 metarskom području, 5 W se postiže uz anodni napon od 275 V i struju od 45 mA, a 10 W izlazne snage dobiva se uz anodni napon od 380 V i anodnu struju od 80 mA. Ukoliko podešenom uređaju odvijete žaruljice da ne svijetle i da ne troše VF energiju, izmjerena izlazna snaga poraste na 12 W, što je već respektabilna snaga za ovaj uređaj. Kad je replika završena, njome su održane tri telegrafske veze, jedna sa stanicom iz Hrvatske, a druge dvije sa stanicom iz Budimpešte i malog mjesta u neposrednoj blizini Pariza [5].

2. Engleska špijunska stanica AP-5

Nakon konstruiranja Paraseta poslove konstrukcije špijunskih radio stanica u Engleskoj preuzima ingeniozni poljski konstruktor Tadeusz Heftman. To je čovjek koji je morao bježati iz Poljske kad su mu zemlju napali nacisti s jedne i komunisti s druge strane i podijelili ju na pola. U Velikoj Britaniji se bavio konstrukcijama vrhunskih radio stanica kako bi poljskom pokretu otpora, ali i svim drugima pokretima otpora u porobljenoj Europi, omogućio komunikaciju sa slobodnim svijetom i borbu za svoju slobodu.

Heftman je svoju edukaciju završio u Njemačkoj, a prve špijunske stanice razvio je još u Poljskoj, u Varšavi (tzv. Pipsztok) u tvornici AVA gdje su Poljaci napravili i prvu kopiju Enigme još prije nego je započeo rat, a o čemu su zapadni saveznici

dugo vremena šutjeli veličajući samo svoju ulogu. Kad su nacisti napali Poljsku, 1939. godine, AVA se prvo seli u Rumunjsku, potom u Francusku, a kad je i ona napadnuta 1940. godine, Heftman odlazi u Veliku Britaniju u Stanmore Park, sjeverozapadno od Londona. Sa sobom je ponio svoju prvu uspješnu špijunsku stanicu Pipsztok i dokumentaciju o njoj te uspješno konstruira stanice A-1 (Nelka) tijekom 1941. godine i kasnije A-2, A-3, A-4 i A-5. Te stanice primarno je koristila britanska špijunska služba SOE (engl. *Special Operations Executive*). One su imale ispravljač ugrađen u tijelo stanice, a kasnije Heftman napušta takvu koncepciju jer su se previše zagrijavale i gradi tzv. B seriju s ispravljačima odvojenim od kućišta stanice i drugim značajkama za špijunski rad u urbanim sredinama. Stanice B-1 i B-2 nastaju 1942., a kasnije slijede BP-3, BP-4 i BP-5, sredinom 1944. godine. Heftmanove stanice bile su kompaktnije i manje, imale su znatno veću snagu i bile su vrlo kvalitetne, a nerijetko i znatno bolje od britanskih. Tijekom Drugog svjetskog rata Heftmanove stanice koristila je Poljska domovinska vojska u egzilu, britanska SOE, francuski, češki, jugoslavenski, albanski i talijanski pokret otpora, OSS na Pacifiku, a poslije rata koristio ih je britanski SIS i američka CIA [6].

Špijunska radio stanica AP-5, sl. 5, namijenjena za rad telegrafijom, izrađena je 1944. godine u Polish Military Wireless Unit (polj. *Polski Wojskowy Warsztat Radiowy*), Stanmore Park, u samo 122 primjerka. Nekolicina se koristila u Poljskoj, a veći dio u britanskoj *Special Operations Executive* (SOE) u okupiranim zapadnim zemljama pa je u ratnom vihoru ostalo sačuvano svega nekoliko primjeraka.



Sl. 5.: Engleska špijunska stanica AP-5 pohranjena u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme

Za razliku od svojih prethodnika nije imala preklopnik prijem/predaja ili rele- je već je po prvi put imala pogodnost uključivanja predaje aktivacijom telegrafskog tipkala tzv. break-in keying. Telegrafski taster ugrađen je na prednju ploču stanice, ali može se koristiti i vanjski taster. Stanica je smještena u metalnu kutiju obojenu u crnu mat boju i ima masu od oko pet kilograma. U kutiji su smješteni prijemnik, odašiljač i ispravljač. Elektronske cijevi smještene su tako da su vidljive i dostupne s prednje plo- če što je rezultiralo manjim zagrijavanjem unutrašnjosti stanice i olakšavalo popravke, sl. 5. Stanica ima oscilator kontroliran kvarcnim kristalom koji radi u frekventnom području od 2 do 16 MHz u tri valna područja označena bijelom, žutom i crvenom bojom, od 2-4 MHz, 4-8 MHz i 8-16 MHz. Izlazna cijev je snažna pentoda oznake 6V6, montirana vodoravno na prednjoj ploči, može dati između 8 i 12 W izlazne snage.

Prijemnik radi također u tri valna područja, ima jednu građiranu skalu od 0 do 100 pa se radna frekvencija mora potražiti na usporedbenim tablicama zalijepljenim na unutrašnjoj strani poklopca stanice. Prijemnik se temelji na radu tri elektronske cijevi: oznake 6K8 koja radi kao heptoda/trioda odnosno kao miješalo i lokalni oscilator, pentoda 6SJ7 kao međufrekventno pojačalo na frekvenciji od 1,5 MHz i na dvostrukoj triodi oznake 6SC7 koja radi kao amplitudni detektor i niskofrekventno pojačalo. Pri- jemni signal se prima slušalicama impedancije 2000 Ω . Osjetljivost prijemnika je vrlo dobra i iznosi 2 μ V, a i selektivnost je bila više nego dovoljna za ono doba.

Ispravljač stanice može se priključiti na izmjenični mrežni napon od 110 ili 220 V, a koristi dvostruku ispravljačicu oznake 5Z4.

Stanica je poklon obitelji koja se bavila sakupljanjem i restauracijom cijevnih radio prijemnika.

3. Engleska špijunska stanica BP-5

Špijunska radiostanica BP-5 (konstruktor također Tadeusz Heftman) je namije- njena za rad telegrafijom i fonijom te je jedna od najpoznatijih špijunskih radiostanica iz doba Drugog svjetskog rata. Počela se proizvoditi 1944. godine kada je uočeno da dotadašnje špijunske radiostanice imaju premalu snagu (5-8 W) što je često bilo ne- dostatno za sigurnu komunikaciju na veće daljine. Stoga je konstruirana radiostanica BP-5 koja je imala izlaznu snagu od 50 W te je osiguravala radijske veze i na udaljeno- stima do nekoliko tisuća kilometara. To je rijedak i vrijedan artefakt ljudske borbe za slobodni, demokratski svijet, te uspomena na genijalnog poljskog radijskog konstruk- tora, inženjera Tadeusza Heftmana koji ju je konstruirao.

Na sl. 6 prikazana je ranija Heftmanova stanica BP-3 s kućištem i kasnija BP-5 bez kućišta.



Sl. 6.: Špijunske radiostanice Tadeusza Heftmana BP-3 i BP-5

Vidljivo je da je BP-5 poprimila manje izmjene na prednjoj ploči te da se u manjoj mjeri razlikuje od BP-3, međutim radiostanica BP-5 je znatno poboljšana u elektroničkom smislu te ima bolja tehnička rješenja. Najveća novina je uvođenje rada fonijom (amplitudnom modulacijom) te stoga dobiva i priključak za mikrofon, sl. 7, na kojoj su prikazani svi elementi prijemnika i odašiljača na prednjoj ploči.

Prijemnik ima uobičajene komande: grubo i fino podešavanje frekvencije prijemnika, preklopnik valnog područja 2-5 i 5-8 MHz, regulator glasnoće, preklopnik vrste prijema fonija/telegrafija i konektor za slušalice. Gore desno je konektor napajanja za cijeli uređaj.

Predajnik ima preklopnik područja rada 2-4 i 4-8 MHz, gumb za podešavanje pobude oscilatora, gumb za podešavanje pobude izlaznog stupnja i preklopnik za podešavanje prilagodbe na antenu. Tu su priključci za antenu, kvarcni kristal, vanjsko tipkalo i mikrofon te ugrađeno telegrafsko tipkalo. Postoje i preklopnici prijem/predaja te preklopnik vrste rada fonija/ podešavanje/ telegrafija.

U prijemniku čelična elektronska cijev 6K8 služi kao miješalo ulaznog signala i kao lokalni oscilator koji zajedno daju međufrekkvenciju od 1530 kHz. To je trioda heksoda, razvijena u USA 1935. godine. Slijedi čelična pentoda 6SK7 razvijena u USA 1935. godine. U BP-5 služi kao prvo međufrekventno pojačalo. Slijedi cijev 6SQ7 u čije kućište je integrirana dvostruka dioda i trioda, a konstruirana je 1939. godine. U ovom prijemniku jedna dioda služi kao demodulator, druga kao miješalo s drugim oscilatorom za izbijanje telegrafije (BFO), a trioda kao niskofrekventno pretpojačalo. Elektronka 6SC7 je dvostruka trioda iz 1938. godine. Prvi triodni sustav služi kao oscilator za izbijanje telegrafije (BFO), a drugi kao niskofrekvencijsko pojačalo za slušalice.



Sl. 7.: Špijunska radiostanica BP-5 pohranjena u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme

U odašiljaču čelična elektronska cijev, snažna pentoda oznake 6V6, služi kao kvarcni oscilator i pobuda za izlaznu cijev. Izlazna cijev je vrlo snažna staklena dvostruka tetroda oznake 829, prvi puta proizvedena 1943. godine, koja bez većih problema može izračiti respektabilnih 50 W izlazne snage.

Iz ovog opisa vidljivo je da je Heftman značajno poboljšao osjetljivost i selektivnost prijemnika dodavši još jednu elektronku u prijemnik. Isto tako dodana je još jedna elektronka i u odašiljač tako da je oscilator nezavisan od izlaznog stupnja. Time je izbjegao cvrkutanje telegrafskog signala (engl. *chirp*). Uz to, radiostanica je izvrsno tehnički koncipirana tako da na vrlo malom prostoru ima sve potrebne komponente za svoj rad, a vrlo vješto su izbjegnute nepoželjne povratne sprege koje bi unosile nestabilnosti u rad uređaja. Za svoj rad treba 12,6 V za žarenje katoda cijevi, 300 V za napajanje sklopova prijemnika i 500 V za izlazni stupanj odašiljača.

Pokvarena i teško devastirana stanica BP-5 kupljena je preko hrvatskog elektoničkog oglasnika što je detaljno opisano u članku s PIFT-a [7], kao i tijekom popravljanja niza sklopova i elemenata. Stanica je sada potpuno ispravna i u originalnom stanju s obzirom da su korištene onodobne komponente.

4. Američka špijunska stanica SSTR-1

Ova američka stanica razvijena je 1942. godine u US Office of Strategic Services (OSS), prethodnikom CIA. Naziv SSTR-1 je dobila od kratice Strategic Services Transmitter Receiver No. 1. Intenzivno se koristila tijekom Drugog svjetskog rata od strane OSS agenata u okupiranoj Europi, te od strane pokreta otpora u Europi, Kini, Burmi i Indiji.

Stanica, namijenjena komunikaciji telegrafijom, bila je smještena u kovčegu u kojem su se nalazili prijemnik, predajnik, ispravljač, pribor i rezervni dijelovi, sl. 8 [8].



Sl. 8.: Kovčeg s američkom špijunskom stanicom SSTR-1 [8] i njezin originalni ispravljač pohranjen u Zbirci

Prijemnik stanice mogao je raditi u području od 2.4 to 16.3 MHz, u dva valna područja (2,4-6,3 MHz, 6,2-16,3 MHz) s međufrekvencijom od 2 MHz. Odašiljač bio je kontroliran kristalom kvarca u području od 3 to 15 MHz u tri područja (3-5 MHz, 5-8 MHz, 8-15 MHz) s izlaznom snagom od 8 do 15 W koristeći dobro poznatu pentodu snage oznake 6L6.

Ispravljač stanice, sl. 8b, mogao se priključiti na izmjenični napon od 90, 110, 125, 150, 200, 230 V frekvencije 40-60 Hz, a mogla se napajati i preko aligatorskih stezaljki na akumulator napona 6 V pa se preko vibratorskog pretvornika napon podizao na 230 V. Izmjenični napon se punovalno ispravljao dvostrukom diodom oznake 7Z4. Kada je ispravljač bio priključen na mrežni izmjenični napon tada se na aligatorskim stezaljkama pojavio istosmjerni napon od 6 V što je omogućavalo punjenje priključenog akumulatora.

Od tri modula špijunske stanice SSTR-I u Zbirci pohranjen je samo ispravljački dio SSP-I-D, također poklon obitelji koja se bavila sakupljanjem i restauracijom cijevnih radio prijemnika. To govori da je stanica bila u Hrvatskoj, ali sudbina prijemnika i odašiljača stanice ostala je nerazjašnjena

5. Sovjetska špijunska stanica V-100

Ova stanica ima zanimljivu povijest nastanka i proizvodnje. Nastala je nakon napada Njemačke na ondašnji SSSR, 1941. godine. Napad je za sovjete bio iznenađan tako da su se nepripremljeni morali vojno povlačiti sve do Moskve. Na okupiranom teritoriju ostale su odsječene mnoge sovjetske trupe s kojima nije bilo moguće komunicirati, a mogle su se koristiti za gerilsko ratovanje u njemačkoj pozadini. Stoga su se sovjetske vlasti obratile za pomoć SAD-u za proizvodnju primjerenih radio stanica koje su mogle ostvariti komunikaciju Moskve sa zauzetim područjima. SAD su pristale i Moskva je morala formirati poduzeće Amtorg u New Jerseyu, a u sklopu Land-Lease programa morali su amerikancima plaćati materijal i usluge u zlatnim dolarima. Amerikanci su im napravili stanicu u tvrtki Pilot Radio Corporation sa svojim dijelovima i elektronkama, ali nazivlje na prednjoj ploči bilo je na ćirilici i ruskom jeziku, sl. 9a. Američko porijeklo odavala je izvana samo raritetna natpisna pločica ispisana na jednoj polovici ćirilicom i na ruskom, a u drugoj polovici latinicom i na engleskom, sl. 9b.

Radio stanica bila je napravljena 1942. godine i odmah se padobranima bacala sovjetskim snagama u pozadini njemačkih trupa. Stanica se isporučivala Sovjetskom savezu sve do kraja rata. Mogla je raditi fonijom, amplitudnom modulacijom, pri čemu je mogla dati izlaznu snagu do 5 W i telegrafijom uz izlaznu snagu od 15 W, što je uz uporabu žičane dipol antene moglo zadovoljiti tražene domete. Stanica je imala

i ručni generator tako da je bila nezavisna od gradske mreže, a prijemnik se mogao napajati suhim baterijama. Radila je u frekventnom području od 3 do 7 MHz. Uz dipol antenu je mogla koristiti i štap antenu uz značajno smanjen domet, a mogla je, radi težeg otkrivanja zapovjednog mjesta od strane njemačkih radiogoniometrista, raditi na izdvojenoj lokaciji udaljenoj do 3 km s pomoću telefonske linije. Nastale su dvije verzije stanica oznake V-100-A i V-100-B s malim razlikama [9].

Kompletan primopredajnik, štap i dipol antena, ručni generator, pribor i rezervni dijelovi su imali masu od 55 kg što su na terenu morala nositi tri poslužitelja. To je znatno odstupalo od engleskih i američkih špijunskih radio stanica malih masa koje su se mogle prenositi u uobičajenom putnom kovčegu, ali sovjeti su dobili vrlo pouzdanu, robusnu i kvalitetnu stanicu namijenjenu radu u teškim poljskim uvjetima bez pristupa električnoj mreži.





(b)

Sl. 9.: Ruska špijunska stanica V-100-A (a) i natpisna pločica (b)

Njemačka protuobavještajna služba tiskala je knjigu, njima neprijateljskih stanica, u kojoj se na stranici D50/13 izdanje iz 1943. u sekciji *United States*, nalazi fotografija zarobljene stanice V-100 bez oznake slova sufiksa, sl. 10. Na slici se na spuštenom poklopcu nalazi originalno, kvalitetno i vrlo poznato američko telegrafsko tipkalo oznake J-37. Navodi se siguran domet stanice od 335 km.

6. Američka špijunska radio stanica RS-1 iz doba hladnog rata

Špijunsku radio stanicu RS-1 razvila je 1948. godine američka *Central Intelligence Agency (CIA)* u svom odjelu *Radio Development and Research Corporation (RDR)*. Sastojala se od tri dijela - prijemnik, odašiljač i ispravljački dio - smještena u robusne metalne kutije s poklopcima i vijcima za stezanje kojim je osigurana vodonepropusnost i sigurnost pri uporabi, transportu i izrazito nepovoljnim uvjetima skladištenja, sl. 11.



Sl. 11.: Američka špijunska stanica RS-1

Već 1950. godine zabilježeni su primjeri terenskog korištenja stanice, sl. 12, CIA-nih agenata u zemljama istočne Europe iza tzv. željezne zavjese, jugoistočnoj Aziji, Vijetnamu, Tibetu i Kubi.

Stanica je tako dobro koncipirana, pouzdana i izrazito kvalitetno napravljena da ju je od 1961. godine koristila i američka vojska (engl. *US Army*) pod oznakom AN/

GRC-109. Stanica se proizvodila do 1964. godine, a koristila se do 70-ih godina prošlog stoljeća [10].

Prijemnik oznake RR-2B je superheterodinski prijemnik s jednostrukom konverzijom i šest elektronskih cijevi: VF pretpojačalo s elektronkom oznake 1T4, lokalni oscilator s miješalom s 1L6, dvije elektronke 1T4 u međufrekventnom pojačalu, niskofrekventnom pojačalu s 1U5, a za prijem telegrafije koristio se oscilator (BFO) s elektronkom oznake 1T4. Prijemnik s međufrekvencijom od 455 kHz je mogao primati signale na jednoj frekvenciji određenoj frekvencijom kristala kvarca ili uz pomoć lokalnog oscilatora u području od 3 do 24 MHz u tri područja 3 - 6 MHz, 6 - 12 MHz i 12 - 24 MHz.

Odašiljač stanice oznake T784 namijenjen je za rad telegrafijom u frekventnom području od 3 do 22 MHz u 4 segmenta (3 do 6, 6 do 9, 9 do 16 i od 16 do 22 MHz). Ima dvije elektronke, pentodu oznake 6AC7 za kvarcni oscilator i izlaznu pentodu 2E26 kao izlazno pojačalo koje je u području od 3 do 15 MHz davalo izlaznu snagu od 12-15 W, a u području od 15 do 22 MHz nešto manju, od 10-12 W.



Sl. 12.: Rad s američkom špijunskom stanicom RS-1, prema uputama za korištenje

Ispravljač oznake RP-2 se može priključiti na izvor izmjeničnog napona od 75, 90, 110, 130, 150, 180, 220 ili 260 V, a frekvencija napona može biti od 40 do 400 Hz. Za žarenje elektronke daje napone od 1,5 i 6,3 V, a za anodne napone daje 108 V za prijemnik i 400 V za odašiljač.

Kompletna stanica RS-1 poklon je jednog od donatora Zbirci. Nije poznato nježno točno porijeklo i namjena u Hrvatskoj.

7. Sovjetski špijunski primopredajnik Tensor

Sovjetski špijunski primopredajnik Tensor bio je, slično kao i V-100-A, razvijen u SAD-u tijekom 1942. godine, a kasnije se proizvodio u bivšem SSSR-u, sl. 13.

Stanicu su za vrijeme Drugog svjetskog rata i kasnije, u doba hladnog rata, koristile sovjetske službe GRU i NKVD, prethodnice sovjetskog KGB-a. Nazivlje na dijelovima stanice je na engleskom jeziku, a korištene elektronke su američke, vjerojatno s namjerom da se zavarava porijeklo uređaja ako bude otkriveno.

Prijemnik stanice je bio vrlo jednostavan, superreakcijski s tri elektronke. Radio je u području od 3,3 do 15 MHz podijeljenom u dva područja: 3,3 - 7 MHz i 7 - 15 MHz. Elektronke prijemnika su smještene unutar metalne kutijice, dok su elektronke u ispravljaču i odašiljaču smještene u podnožjima izvan kutija uređaja, vjerojatno da se smanje dimenzije tijekom tajnog prenošenja uređaja i manjeg zagrijavanja pri radu. Ispravljač je imao dvije elektronke, ispravljačice 5Z4 za anodne napone prijemnika i odašiljača. Za prijemnik je davao napon od 6,3 V za žarenje elektronki i 97 V za anodne napone. Za odašiljač je davao također napon od 6,3 V za žarenje, ali i 300 V anodnog napona za oscilator i 500 V za izlaznu elektronku.



Sl. 13.: Sovjetska špijunska stanica Tensor, prijemnik (lijevo), ispravljač (sredina) i odašiljač (desno) u otvorenoj aktovci

Odašiljač sovjetske špijunske stanice Tensor temelji se na primjeni dvije čelične elektronske cijevi 6F6 kao oscilatorne elektronke i 6L6 kao razmjerno snažne izlazne elektronke, sl. 14.

Odašiljač je konstruiran za rad telegrafijom u području 3,7 do 14,3 MHz na cijelom spomenutom području korištenjem promjenjivog oscilatora ili na jednoj frekvenciji korištenjem kvarcnog kristala. Predajne frekvencije bile su podijeljene u četiri područja: 3,7 – 5,2 MHz, 5,2 – 7,2 MHz, 7,2 – 10,2 MHz i 10,2 – 14,3 MHz. Izlazna snaga bila je do 13 W. Kasnije su sovjeti u ispravljač tijekom 1944. godine ugradili i treću ispravljačicu oznake 5Z4, i podigli anodni napon oscilatora s 300 V na 400 V, a anodni napon izlazne cijevi s 500 V na 650 V pri čemu su postigli znatno višu vršnu snagu od 30 W. Poboľjšani uređaj nosio je oznaku Tensor Mark 2 [11].



Sl. 14.: Odašiljač sovjetske špijunske stanice Tensor

Odašiljač stanice Tensor je, bez elektronki, pronašao i kupio na buvljaku Jakuševac u Zagrebu prijatelj prvog autora i ustupio ga u Zbirku gdje je provjeren, kompletiran i pohranjen u potpuno ispravnom stanju. Porijeklo i sudbina prijemnika i ispravljača nije poznata.

8. Sovjetski primopredajnik Orel R-350-M

Orel R-350M je bio ruski špijunski primopredajnik razvijen u bivšem SSSR-u oko 1957. godine. Bio je poboljšani nasljednik ranijeg R-350 i razvijen je na istraživačkom institutu KGB-a, vjerojatno u Kuchinu (u blizini Moskve). Nije ga koristio samo SSSR, već i druge zemlje Varšavskog Pakta, poput DDR-a (bivša Njemačka Demokratska Republika), zbog čega se proizvodio u prilično velikim količinama.

Kao i njegov prethodnik, R-350, R-350-M je bio dostupan s ruskim ili engleskim prednjim panelom. Potonji je korišten za inozemne „aktivnosti”. Dok je R-350 sadržavao velike i razmjerno nepouz dane elektronske cijevi koje se moglo mijenjati s prednje ploče, R-350-M je u potpunosti izgrađen oko znatno pouzdanijih minijaturnih staklenih elektronskih cijevi sa žičanim izvodima tako da se one više ne mogu lako i brzo zamijeniti na terenu. Uz uređaj se ukupno isporučuje 11 filtarskih zavojnica, od kojih je jedna ugrađena u odašiljač. One se pohranjuju u gornjem poklopcu kućišta, zajedno sa rezervnim zavojnicama odašiljača, žičanom antenom, slušalicama, zglobnom lampom, tasterom i rezervnim dijelovima.

R-350M je potpuno samostalni primopredajnik, s ugrađenim srebro-cink akumulatorom i jedinicom za napajanje koja proizvodi sve napone potrebne za pogon odašiljačkih i prijemnih elektronskih cijevi, sl. 15.

Akumulatorski odjeljak ima ugrađeni grijač koji omogućuje uporabu uređaja pri iznimno niskim temperaturama do -40°C , a grijač pokreće sam akumulator. Primopredajnik se može pokretati i iz vanjskog izvora napajanja od 6 V koji je s lijeve strane spojen na utičnicu. Napojni dio ima tranzistorski pretvornik s 10 učinkovitih tranzistora (što je prilično iznenađujuće za sovjetsku tehnologiju u ono doba kasnih 50-tih godina prošlog stoljeća) koji napone akumulatora od 6 V pretvaraju na napone od 50, 170 i 270 V.

Odašiljač ima snagu od 6 W i radi u frekvencijskom području od 1,8 do 12 MHz što mu osigurava doomet od 1000 km. Temeljen je na pet elektronskih cijevi oznake 1SH29B i tri 1P24B. Odašiljač ima antenski prilagodni sklop koji se može udesiti na najjači izboj, a malena knjižica na gornjem poklopcu uređaja ima za pojedine frekvencije zabilježene postavke za prilagodbe anteni.



Sl. 15.: Sovjetska špijunska radio stanica Orel R-350-M

Superheterodinski prijemnik ima međufrekvenciju od 750 kHz i područje prijema od 1,8 do 7 MHz u dva podopsega (1,8 do 3,52 i od 3,52 do 7 MHz), a koristi pet minijaturnih staklenih elektronki oznake 1SH29B [12].

Ova ruska špijunska stanica je u izuzetno očuvanom stanju kupljena na zagrebačkom buvljaku Jakuševac.

9. Hrvatska špijunska radio stanica RTP-8 SSB/3

Špijunska stanica RTP-8 SSB/3 je projektirana i proizvođena početkom 70-ih godina u zagrebačkoj tvornici RIZ, Institut za Elektroniku, Telekomunikacije i Automatiku, IETA. Napravljena je tako da ima tri kutije u koje su smješteni ispravljač, prijemnik i odašiljač, sl. 16. Sva tri elementa povezuju se vanjskim kablovima s pomoću priključaka smještenih na stražnjim stranicama kutija. Naručitelj je bila UDBA, tajna policija bivše države, a namjena stanice bila je održavanje unutarnje sigurnost države te špijunaža i tajne aktivnosti u susjednim državama.



Sl. 16.: Hrvatska špijunska stanica RTP-8 SSB/3

Stanica je namijenjena za rad telegrafijom, a prijemnik je mogao, osim telegrafskih, primati i fonijske signale SSB (Single Side Band) modulacijom u LSB (Low Side Band) području. Prijemna i predajna frekvencija se u području od 3 do 7 MHz određivala parovima kvarcnih kristala što je osiguravalo izrazitu stabilnost prijemne i predajne frekvencije. Nazivlje na stanici bilo je ispisano engleskim jezikom što je bila uobičajena praksa u mnogim zemljama kako bi se sakrilo porijeklo stanice, sl. 17.

U tom smislu otežavanja određivanja zemlje porijekla uređaja su korišteni gradbeni elementi iz drugih stranih država (iz SAD tvrtke RCA za poluvodiče; Nizozemske tt, Philips za elemente, Njemačke tt. KWG za kristalni filter i Haller za releje te drugi). Visina stanice bila je samo 5,5 cm tako da se mogla prenositi u aktovci čime je doprinosila i sveukupna masa od oko 3 kg. Stanica je mogla raditi u području temperatura od -10 do +50 °C.

Ispravljač stanice bio je smješten u metalnu kutiju dimenzija 5,5x6,5x16 cm (visina, širina, dubina). Mogao se priključiti na mrežni napon od 110 ili 220 V ili na akumulator napona 12 V. Kada stanica nije radila, ispravljačem se mogao nadopunjavati akumulator. Na prijemu je uređaj trošio struju jakosti 40 mA, a na predaji 1,6 A pri naponu napajanja od 12 V.



Sl. 17.: Prednje ploče prijemnika (a) i odašiljača (b) s engleskim nazivljem

Prijemnik je bio superheterodinski s jednostrukom konverzijom, međufrekvencije 9 MHz. Zbog toga se prijemna frekvencija određivala frekvencijom kristala koja je morala biti uvećana za 9 MHz. Mogao je primati signale u području od 3 do 7 MHz. Prijemnik je imao VF pojačalo, miješalo s kristalnim oscilatorom, kristalni filter u međufrekventnom pojačalu koje je osiguravalo izvrsnu selektivnost prijema, demodulator, BFO oscilator za prijem telegrafije i niskofrekventno pojačalo. Imao je i ulazni attenuator od 20 dB za utišavanje prejakih signala. Osjetljivost mu je bila 1 μ V pri prijemu telegrafije i 1,5 μ V pri prijemu fonijskih SSB signala. Smješten je u metalnu kutiju dimenzija 5,5x8,8x23,5 cm.

Predajnik ima izlaznu snagu od 6 – 8 W, može emitirati u području od 3 do 7 MHz u dva područja (3 do 4 MHz i 4 do 7 MHz). Telegrafsko tipkalo smješteno je ispod indikacijskog instrumenta antenske struje u kutiji dimenzija 5,5x12,5x18 cm. Isporučivan je s žičanom antenom dugom osam metara, s bakrenim vodičem površine 0,75 mm² izoliranim PVC izolacijom te s jednim protutegom istih karakteristika. U uputstvima korisniku navedeno je da se protuteg postavlja u smjeru prema korespondentu po zemlji ili podu, a antena što više u zrak i od korespondenta te da će domet ovisiti o stručno postavljenim antenskim elementima [13].

Odašiljač i prijemnik hrvatske špijunske stanice RTP-8 SSB/3 prvom autoru članka poklonio je jedan radioamater. Odašiljač je bio ispravan, a u prijemniku je bio izvađen kristalni filter. Srećom isti takav, originalni filter, našao se u skladištu materijala Zbirke pa je prijemnik vrlo brzo kompletiran i stanica ispravna te se u radnom stanju nalazi u Zbirci.

10. Hrvatska špijunska radio stanica RTP-8 SSB

Ova hrvatska špijunska stanica je također izrađena u RIZ-u Zagreb, a električki i elektronički je potpuno identična hrvatskoj špijunskoj stanici RTP-8 SSB/3, osim što su svi elementi ugrađeni u samo jednu kutiju. Stoga su joj karakteristike i način rukovanja potpuno identični. Smještena je u kutiju dimenzija 5,5x24x20 cm (visina, širina, dubina) pa joj je ukupna masa manja i iznosi 2,4 kg, sl. 18. Natpisi i smještaj upravljačkih elemenata na prednjoj ploči ostao je isti kao i na prethodnom modelu, sl. 19.



Sl. 18.: Hrvatska špijunska stanica RTP-8 SSB/3



Sl. 19.: Prednja ploča hrvatske špijunske stanice RTP-8 SSB

Na prednjoj ploči radio stanice se nalaze svi elementi prijemnika: ATT/RF GAIN, RX TUNE, OFF/VOLUME i CW/SSB, podnožje za prijemni kvarcni kristal RX, a ispod njega priključnica za slušalice. Desno od njih nalaze se elementi za rad s odašiljačem: podnožje za emisioni kristal kvarca TX, a ispod njega je utičnica KEY za vanjsko telegrafsko tipkalo. Slijedi instrument za indikaciju antenske struje, a ispod njega je ugrađeno telegrafsko tipkalo. Desno od tipkala je tipka OUT/BAT, koja upravlja radom indikacijskog instrumenta. Kad je tipka neaktivirana instrument će pokazivati jakost antenske struje odašiljača, odnosno stupanj njegove podešenosti, a aktivirana tipka omogućit će očitavanje napona priključenog akumulatora ili izlaznog napona iz ispravljača. Gumbima LOAD i TUNE podešava se impedancija izlaznog stupnja na impedanciju antene na način da se postigne najveća antenska struja odnosno najveće skretanje kazaljke indikacijskog instrumenta. Ispod navedenih gumba nalazi su preklopni prekidač MC s položajima 3 - 4 i 4 - 7 za odabir emisionog dijela spektra, ovisno o frekvenciji odašiljačkog kristala. Za razliku od prijemnog kristala (gdje se prijemna frekvencija može odrediti ako se od frekvencije kristala oduzme 9 MHz), odašiljač će emitirati točno na frekvenciji emisionog kristala kvarca.

Kao što su RIZ-ovi inženjeri svojom ingenioznošću stvorili uređaj sjajnih tehničkih karakteristika tako je i rukovanje radio stanicom razmjerno jednostavno, bez obzira na njenu složenost. Uključuje su gumbom VOLUME zakretanjem u smjeru kazaljke na satu iz položaja OFF (isključeno). Time se uključuje prekidač montiran na potenciometar glasnoće. Daljnjim zakretanjem potenciometra VOLUME povećava se jačina tona u slušalicama odnosno razina niskofrekventnog pojačanja. Visokofrekventno pojačanje podešava se gumbom ATT/RF GAIN zakretanjem gumba u desno. Ukoliko je ulazni signal vrlo jak, njegova razina može se smanjiti za 20 dB izvlačenjem (oko 4 mm) osovine potenciometra prema van. Rukovanje gumbom RX TUNE je vrlo jednostavno budući da je prijemna frekvencija određena frekvencijom prijemnog kristala kvarca podešavanje prijemnika se svodi na okretanje gumba dok se iz slušalice ne začuje najjači šum. Gumbom CW/SSB određuje se razumljivost signala korespondenta. Ako se prima SSB signal, zakretanjem gumba postiže se prijem najra-

zumljivijeg signala (u radiotehnici poznato kao „clarifier“), a pri prijemu telegrafskog signala izvlačenjem osovine potenciometra uključuje se oscilator za prijem telegrafije dok se visina tona signala može podesiti okretanjem gumba potenciometra.

Podešavanje odašiljača još je jednostavnije. Prvo se postavi emisioni kristal kvarca u podnožje TX, preklopnik MC postavi se u područje frekvencije odašiljanja, a gumbi LOAD i TUNE se postave u krajnji lijevi položaj. Potom se pritisne taster i gumbom TUNE okreće se 24 položajni preklopnik u smjeru kazaljke na satu i promatra otklon kazaljke instrumenta. Kad se pronađe najveći otklon, okretanjem gumba LOAD otklon se dodatno povećava do postizanja maksimuma kad je odašiljač potpuno prilagođen na antenu i u nju teče najjača visokofrekventna struja [14].

Hrvatska špijunska radio stanica RTP-8 SSB s 10 kompleta prijemnih i emisi-onih kristala bila je oglašena u jednom srpskom elektroničkom oglasniku. Budući da predstavlja izuzetan raritet i da je to artefakt hrvatske tehničke ingenioznosti, autori su se automobilom uputili za Srbiju i kupili ju. Nikad prije ni kasnije takvu stanicu nismo imali prigodu nigdje vidjeti. Samo rijetki ljudi su znali za njeno postojanje te je potvrđeno da se u povremeno koristila i u Domovinskom ratu, kao i da su je neki radioamateri kasnije prepravljali i koristili za uspostavljanje veza niskim snagama (tzv. QRP veze) pri čemu su ionako rijetki i malobrojni uređaji bili izgubljeni. Stjecajem sretnih okolnosti oba modela hrvatskih špijunskih stanica proizvedenih u zagrebačkom RIZ-u su spašena i sada se u ispravnom i radnom stanju nalaze izloženi u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske tehnike.

II. Radio uređaj RU-20 kao špijunska stanica

Radio uređaj s oznakom RU-20 počela je krajem 70-ih godina prošlog stoljeća proizvoditi zagrebačka tvornica RIZ. Proizvodila ga je prema licenci kanadske tvrtke Rockwell-Collins za njihov uređaj PRC-515 koji je bio izvrstan vojni radio uređaj. Tvornica RIZ brzo je postigla visoke zahtjeve za proizvodnju vojne opreme pa je RU-20 koristila vojska bivše države kao taktičku radio stanicu ili uređaj za vezu specijalnih postrojbi. Prijemnik je radio u području od 500 kHz do 30 MHz, a odašiljač od 2 do 30 MHz. Radna frekvencija podešavala se u skokovima od 100 Hz BCD prekidačima čime se upravljalo sintezom frekvencija. Vrste rada bile telegrafijom (CW), govorom amplitudnom modulacijom (AM) ili SSB modulacijom na oba bočna pojasa (LSB ili USB). Na prijemu je uređaj trošio svega par desetaka mA uz osjetljivost na prijemu SSB modulacije od 0,5 μ V, a pri AM modulaciji od 2 μ V. Izlazna snaga odašiljača s automatskim antenskim prilagodnikom na antenu bila je 20 W, a pri smanjenoj snazi 2 W. Koristila je štap antenu ili dipol antenu kao dio standardne opreme, a mogla je koristiti i tzv. *End feed Long wire* antenu. Sa štap antenom visokom 2,4 m mogla se us-

postaviti sigurna veza površinskim valom do udaljenosti od 20 km, a žičanim dipolom ili *End feed* antenom na udaljenost od 50 do 2000 km, pa i više, ovisno o dobu dana i stratosferskim propagacijama. Napajanje je izvedeno NiCd akumulatorima napona 25,2 V i kapaciteta 1,8 Ah. Mogla je raditi u ekstremnim temperaturnim uvjetima od -54°C do $+65^{\circ}\text{C}$.

S obzirom na svoju snagu, ugrađen antenski prilagodnik i sve druge tehničke karakteristike, radio uređaj RU-20 bio je vrlo pouzdan, vodonepropustan i čvrst, a uz to razmjerno malen i lagan uređaj. Stoga su sigurnosne strukture bivše države došle na ideju da ga koriste za svoje aktivnosti pa je uređaj iz karakteristične vojne smeđe maslinaste boje za vojne namjene obojan u neutralnu sivu boju i smješten u Samsonite kovčeg radi skrivenog prenošenja. Krajem 80-ih godina prošlog stoljeća takvi kovčezi bili su jako popularni kao aktovke za spise ili manji kovčezi pa su bili uobičajeni u urbanim sredinama, Stoga se radio uređaj sa svim priborom mogao nenapadno prenositi, bez da izazove sumnju prolaznika, sl. 20.



Sl. 20.: Radio uređaj RU-20 kao špijunska stanica

Isto tako je u sivu boju obojana štap antena i kutija s punjivim NiCd baterijama, žica antene također je imala sivu izolaciju, a taster i mikrotelefonska kombinacija su

zadržali svoju crnu boju. Stanica se čvrsto montirala na posebno izrađeno trajno pričvršćeno pokretno postolje tako da se mogla koristiti kad se otvori poklopac kovčega, a da se ne mora vaditi van iz njega. Uz postolje stanice nalazilo se i postolje za mikro-telefonsku kombinaciju i telegrafsko tipkalo tako da su bili čvrsto montirani tijekom transporta, nisu se mogli oštetiti uslijed uobičajenih udaraca i nisu emitirali zvukove pri prenošenju tako da se ničim nije mogla izazvati neželjena pozornost.

Primjerak ispravnog i vrlo očuvanog radio uređaja RU-20 kao špijunske stanice u Samsonite kovčegu s kompletnim priborom i dokumentacijom donirao je jedan radioamater.

Zaključak

U bivšoj državi je vladala paranoja i strah od aktivnosti tzv. unutrašnjeg i vanjskog neprijatelja, podriivanja sigurnosti bivše države, špijunaže i ostalih neprijateljskih aktivnosti, što je osobito bilo izraženo tijekom služenja vojnog roka koji je bio obavezan za sve sposobne i zdrave muškarce. Prvi autor je sa skepsom slušao takva predavanja i smatrao ih pretjerivanjem. Međutim, kako je tijekom proteklih tridesetak godina sve više špijunskih stanica zapadnog i istočnog porijekla pristizalo u *Prvu hrvatsku zbirku mjerne i komunikacijske opreme* može se zaključiti da postoji mogućnost da su se na području Hrvatske ipak odvijale neke aktivnosti nepoznatog intenziteta i sadržaja ili da su neki uređaji bili pohranjeni na području Hrvatske za neki budući slučaj potrebe. Kad je većina uređaja bila donirana ili kupljena bivše je vlasnike bilo vrlo neumjesno pitati za porijeklo tih uređaja i eventualnu svrhu, pa i primjenu. No ipak, rezultat je postignut, pohranjene su špijunske radio stanice kao svjedoci borbe za demokratski uređen, slobodan svijet iz razdoblja Drugog svjetskog rata i hladnog rata i predstavljaju dio hrvatske tehničke baštine. Isto tako pohranjeni su izrazito rijetki i vrijedni artefakti tehničke ingenioznosti stranih i posebno hrvatskih inženjera i konstruktora koji su izrađivali više vrsta vrlo kvalitetnih špijunskih stanica u bivšoj tvornici RIZ, Zagreb.

Literatura

- [1] Rogale, D., Fajt, S., Knezić, Ž., Lukša, D., Prva hrvatska zbirka mjerne i komunikacijske opreme, 7. simpozij PIFT 2018., Zbornik Povijest i filozofija tehnike 7. simpozij PIFT 2018., Zagreb, svibanj 2018., str. 355-364
- [2] Rogale, D., Struktura i artefakti Prve hrvatska zbirka mjerne i komunikacijske opreme, Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske za 2019. godinu: Hrvatska tehnička i industrijska baština, HATZ, Zagreb, str. 323-338
- [3] <https://www.cryptomuseum.com/spy/paraset/>, preuzeto 27.1.2025.
- [4] <https://www.radioremembered.org/Paraset.html>, preuzeto 6.2.2024.
- [5] Rogale, D., Lerota, K., Krkač, S., Primopredajnik Paraset Whaddon Mark VII, Radio HRS, 4, 2014., str. 6 -11
- [6] <https://www.cryptomuseum.com/spy/ap5/index.html>, preuzeto 16. 2. 2025.
- [7] Rogale, D., Rogale M., Restauracija špijunske radiostanice BP-5 iz II svjetskog rata, Zbornik Povijest i filozofija tehnike 10. simpozij PIFT 2021, Zagreb, 2021., str. 577-613
- [8] <https://www.cryptomuseum.com/spy/sstr1/>, preuzeto 12.1.2025.
- [9] https://rkk-museum.ru/vitr_all/exhibits/216.html, preuzeto 12.3.2025.
- [10] <https://www.cryptomuseum.com/spy/rsi/index.htm>, preuzeto 15.3.2025.
- [11] <https://www.cryptomuseum.com/spy/tensor/index.htm>, preuzeto 7.3.2025.
- [12] <https://www.cryptomuseum.com/spy/r350m/index.htm>, preuzeto 23.2.2025.
- [13] <https://www.cryptomuseum.com/spy/rtp8/ssb3.htm>, preuzeto 1.3.2025.
- [14] <https://www.cryptomuseum.com/spy/rtp8/ssb.htm>, preuzeto 12.3.2025.

Dubravko Rogale and Martin Rogale

SPY RADIO STATIONS FROM THE SECOND WORLD WAR AND THE COLD WAR II FOUND IN CROATIA

Summary: The paper describes spy radio stations from the World War II and the Cold War, with a common feature that they were found or built on the territory of the Republic of Croatia and that have been kept in *The first Croatian collection of measuring and communication equipment* for the last thirty years. Described are the British spy radios Paraset Whaddon Mark VII, AP-5 and BP-5, the American SSTR-1 and the Soviet V-100 all from the Second World War. Presented are the American RS-1, the Soviet Tensor and Orel-350 and the Croatian spy radio stations RTP-8, RTP-8/3 and the spy performance of the RU-20 radios all from the Cold War as well. The Croatian spy radio stations were manufactured by the famous RIZ factory in Zagreb until the 1970s to the 1990s. In addition to photos of the spy stations mentioned, descriptions of their development, technical features, power supply features, construction, vacuum tubes used, and historically interesting beginnings and usings are given as well.

Keywords: spy radio station, World War II, cold war, technical characteristics

Zlatko Đurić, Božidar Jančiković

POVIJESNI RAZVOJ I PRIMJENA INFORMATIKE U OBRADI BUŠOTINSKIH PODATAKA

Sažetak: Počeci organiziranog istraživanja nafte na našim hrvatskim prostorima sežu od polovine 19. stoljeća. Tada se nafta vadila ručno iz prirodnih naftnih izvora u Peklenici kod Murskog Središća, u Mikleuški nedaleko Kutine, te u Paklenici, Petrovu Selu i u Baćin Dolu te kod Nove Gradiške. Naftaplin je utemeljen 1952. godine odlukom tadašnje Vlade Narodne Republike Hrvatske, tako da su se spojila poduzeća: Proizvodnja nafte Gojlo, Proizvodnja nafte Šumećani, Materijalnog servisa Glavne direkcije za naftu NR Hrvatske, Zagreb i Poduzeća za elektro-karotažna mjerenja Zagreb i INA - hrvatsko naftno poduzeće sa sjedištem u Zagrebu. Osnovano je 1963. godine pod nazivom Kombinat za naftu i plin, a nastalo je spajanjem poduzeća za istraživanje i proizvodnju nafte i plina Naftaplin (osnovan 1952.), Rafinerije nafte u Rijeci (osnovana 1883.) i Rafinerije nafte u Sisku (osnovana 1927.). Tvrtka je 1964. godine promijenila ime u INA – Industrija nafte. Početak razvoja elektroničke obrade podataka u INA-i datira od 1967. godine kada je nabavom prvih elektroničkih računala osnovan ERC – Elektronički računski centar kao dio instituta INA-e. Računalna obrada seizmičkih podataka primjenjuje se od 1968. godine u INA ERC-u, a obavljala se na računalu TIAC/TIDAR (Texas Instruments), kapaciteta memorije 4K. Koristio se računalni program GSI. Karotaža je krajem 1968. godine počela koristiti na istom računalu program MONIT za obrađivanje numeričkih podataka mjerenih u kanalu bušotine. Daljnjim radom namjera nam je detaljnije opisati povijesni razvoj i doprinos informatike u obradi geofizičkih podataka bušotina kao i dva primjera (prvi je analiza ležišta sa smanjenim obimom geofizičkih mjerenja u bušotinama, a drugi je višedimenzionalna analiza facijesa stijena) samostalnog razvoja sa ciljem unapređenja finalnih analiza i boljeg razumijevanja geološkog podzemlja.

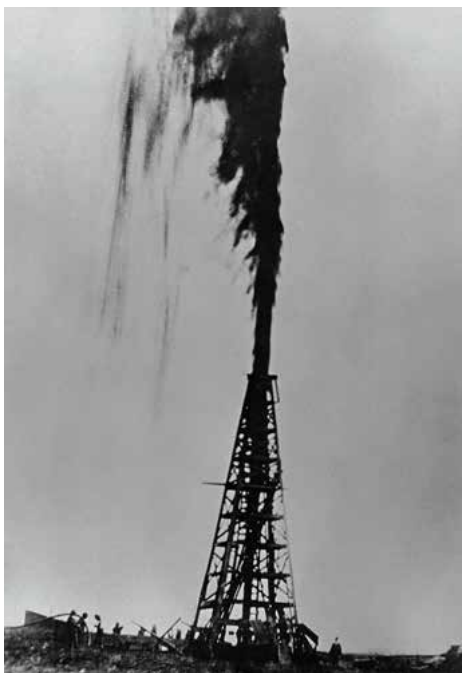
Ključne riječi: karotaža, geofizička mjerenja, računalna obrada podataka, računalni program.

Uvod

Postoje povijesni podaci o postojanju i uporabi nafte stari približno 4000 godina, koji govore o njenom korištenju na područjima oko Kaspijskog jezera, Kavkaza, rijeke Eufrat, Perzijskog zaljeva i Iranske visoravni. Nafta se vadila i u drevnoj Kini, gdje su se bušotine izrađivale od bambusovih cijevi još 347. pr. Kr., a korištena je za grijanje i osvjetljenje.

I. Povijest proizvodnje nafte u svijetu

Prva naftna kompanija u svijetu, *Pennsylvania Rock Oil Company*, kasnije je postala poznata kao *Seneca Oil Company*. Njezin dioničar Edwin Laurentine Drake, poznat i kao “pukovnik Drake”, 1859. godine postavlja željezne cijevi u zemlju do dubine od 21,2 m u gradiću Titusvilleu u Pennsylvaniji, čime je ostvario prvu kontroliranu proizvodnju nafte. Taj događaj označava početak energetske revolucije i sustavnog iskorištavanja naftnih ležišta. Transport nafte i naftnih derivata započeo je u bačvama zapremnine 158,98 l, koje su se zvale bareli – to je mjerna jedinica koja se i danas koristi u svjetskoj trgovini naftom.



Slika 1. Prva eruptivna bušotina kraj Spindeltopa, 1901.g.

Važnu ulogu u povijesti naftne industrije imao je hrvatski iseljenik Anton Lučić (poznat i kao Anthony F. Lucas), rođen u Rijeci. On je 1901. godine otkrio naftno polje kraj Spindletopa u Teksasu, tada najproduktivnije na svijetu, čime su Sjedinjene Američke Države postale vodeći svjetski proizvođač nafte. Lučić je početkom 20. stoljeća revolucionirao naftno rudarstvo uvođenjem inovacija poput rotacijskog bušenja i korištenja glinene isplake (bušačkog radnog fluida), zbog čega ga mnogi smatraju osnivačem naftnog inženjerstva. Svake godine Međunarodna udruga naftnih inženjera (engl. Society of Petroleum Engineers – SPE) dodjeljuje *Zlatnu medalju Anthony F. Lucas* za doprinos u razvoju naftnog inženjerstva.

2. Povijest dobivanja nafte u Hrvatskoj

Hrvatska je među rijetkim zemljama koje su sredinom 19. stoljeća započele istraživanje, dobivanje i preradu nafte. O nalazištima nafte u Hrvatskoj od davnina svjedoče podaci iz područja kao što su Paklenica kod Zadra i Novske, Peklenica u Međimurju, Pakleni otoci pred jugozapadnom obalom Hvara, Smrdelje u zaleđu Šibenika i Uljanik istočno od Garešnice. Ti nazivi vjerojatno potječu od riječi ‘paklina’ (katran ili smola), što se odnosi na crnu, uljenu i zapaljivu tvar karakterističnog mirisa.

Godine 1854. donesen je Opći austrijski rudarski zakon na temelju kojega su dodijeljena prva rudna polja za istraživanje i eksploataciju nafte u Hrvatskoj. Prvu koncesiju za eksploataciju zemne smole, odnosno nafte, dobio je 1860. godine grof Juraj Festetić na svom posjedu u Peklenici kraj Murskog Središća, slika 2. Tamo se nafta vadila ručno iz plitkih okana i koristila se kao kolomaz. Najveći naftni poduzetnik u Međimurju bio je Wilhelm Singer, koji je do 1905. godine izgradio tridesetak naftnih bušotina, naftovod od Selnice do Murskog Središća i osnovao poduzeće Međimursko petrolejsko d.d., koje je surađivalo sa stranim kompanijama.



Sl. 2. Krovno odobrenje za istraživanje nafte u Peklenici dodijeljeno 1. kolovoza 1855. godine.

3. Naftaplin

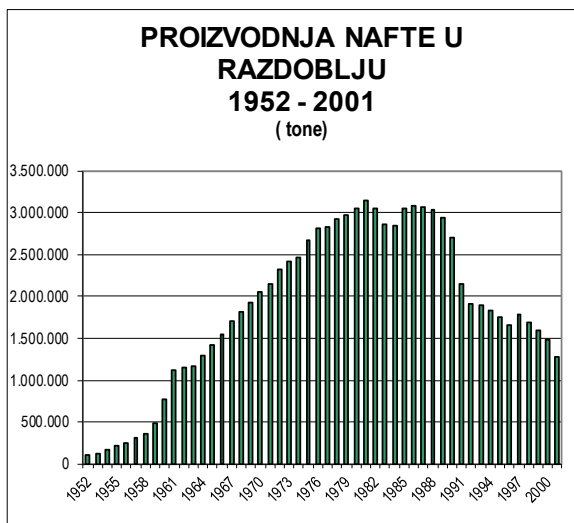
Naftaplin je utemeljen 1952. godine s glavnim zadatkom istraživanja i proizvodnje nafte i plina. U okviru Naftaplina ravnomjerno su se razvijali svi ključni poslovni procesi potrebni za postizanje ciljeva: istraživanje, razrada ležišta, proizvodnja te rudarski servisi, kao što su bušenje i remont, kao i niz drugih potrebitih usluga i to sa ciljem poboljšanja učinkovitosti.

Sektor istraživanja, primjenom suvremenih metoda poput gravimetrije, geoelektrike, magnetometrije, seizmike 2D, a kasnije i 3D, doprinio je otkrićima brojnih naftnih, plinskih i geotermalnih polja.

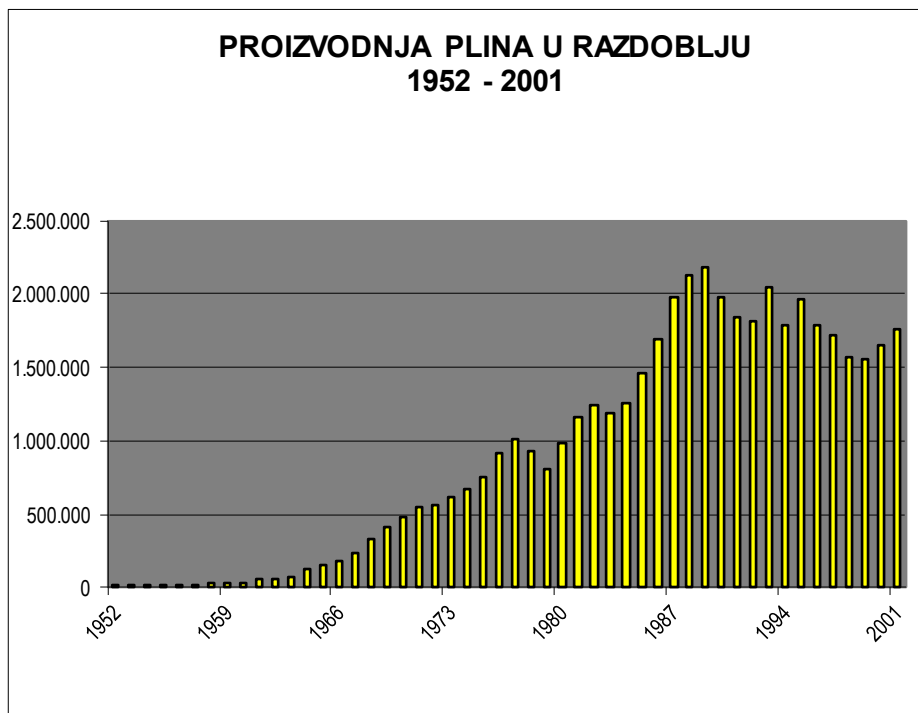
Sektor razrade obuhvaćao je sve aktivnosti od otkrića do prestanka eksploatacije ležišta, uključujući procjene otkrivenih zaliha i analize ponašanja ležišta na temelju interpretacije geofizičkih - karotažnih mjerenja, hidrodinamičkih mjerenja tlakova i drugih dostupnih podataka.

Sektor proizvodnje upravljao je procesom proizvodnje ugljikovodika (nafte, kondenzata, plina i vode) iz bušotina i njihovim transportom unutar sabirnog sustava sve do rafinerije. Za učinkovitije i ekonomičnije iskorištavanje ležišta, razvijene su različite metode proizvodnje i regulacije crpljenja ugljikovodika, koje su uključivale primjenu tehnoloških i znanstvenih metoda.

Razvoju svih sektora Naftaplina od osnutka do kraja 20. stoljeća značajno je doprinijela primjena svjetskih tehnologija.



Sl. 3. a) Proizvodnja nafte po godinama (tone)



Sl. 3. b) Proizvodnja plina po godinama (m³)

U razdoblju od 50 godina na području Hrvatske otkriveno je i proizvedeno 45 naftnih i 30 plinskih odnosno plinsko-kondenzatnih polja. Domaća proizvodnja nafte i prirodnog plina, kao i izgradnja plinskog sustava, omogućili su Naftaplinu da zadovolji gotovo sve potrebe Hrvatske za naftom i plinom tijekom druge polovine 20-tog stoljeća, počevši od 60-ih godina. Najveća godišnja proizvodnja nafte iznosila je 3,7 milijuna m³ (ili 3,1 milijun tona) 1981. godine, a prirodnog plina 2 milijarde m³ 1989. godine. Zlatno doba razvoja bilo je od 1970. do 2000. godine, što se vidi po proizvodnji ugljikovodika - nafte i plina, slike 3.a i 3.b).

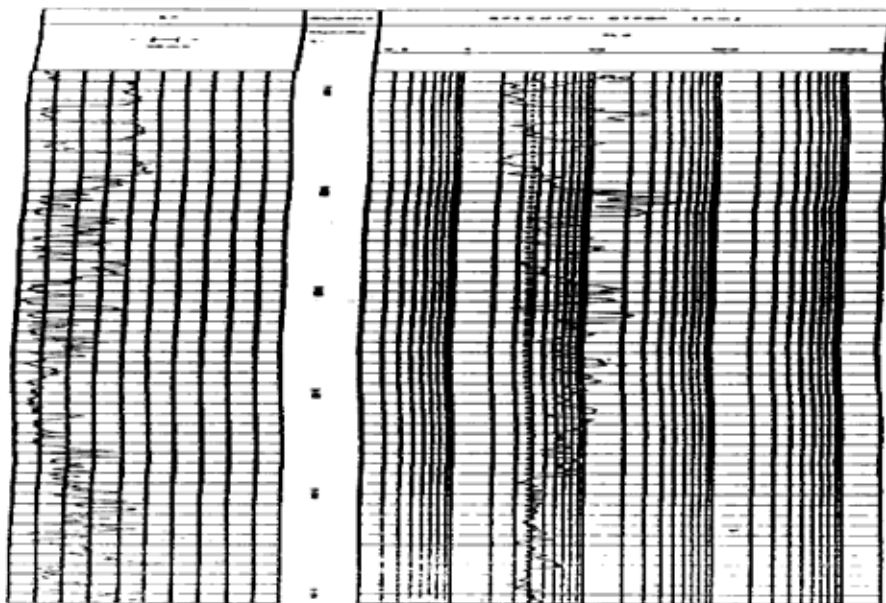
4. Geofizička - karotažna mjerenja

Karotaža – kod autora a i u Naftaplinu - je kolokvijalni naziv za geofizička mjerenja u kanalu bušotine. Mjerenja se vrše u otvorenom i zatvorenom kanalu bušotine.

Poduzeće za elektro-karotažna mjerenja kao jedan od osnivačkih dijelova unutar Naftaplina, tijekom godina razvijao se kao i svi drugi servisi. Nabavkom jedinice za mjerenje geofizičkih podataka u bušotini, tzv. EK (elektrokarotažna) jedinica tvrtke Schlumberger GMC-1 i GMC-2, napravljen je iskorak u obavljanju kvalitetnijih radova kao što su mjerenja u kanalu bušotine, ali isto tako i ostalih poslova (perforiranja, postavljanja čepova, pakera i dr.). Jedan od većih napredaka dogodio se 1977. godine kada je nabavljena nova generacija EK jedinice koja je imala mogućnost da podatke mjerenja bilježi na magnetnu traku.



Sl. 4. Pomoć pri dolasku EK jedinice na bušotinu 1952. godine



Sl. 4. prikaz EK mjerenja

U Naftaplínu smo u početku imali dva odjela koje smo nazivali istim imenom - „Karotaža“. Jedan je bio **Karotaža mjeraci**, u kojem su većinom bili elektro i/ili naftni inženjeri koji su sa specijalnim kamionima izvodili geofizička mjerenja u bušotinama. Dijelili su se na dio koji su mjerili u otvorenom kanalu bušotine i dio koji su mjerili u zatvorenom kanalu bušotine. Mjerenja su se obavljala specijalnim kamionima koji su na sebi imali bubanj sa namotanim čeličnim kablom kroz koji je prolazilo i do deset žica i na koje su bile spojene sonde koje su se uz pomoć kolotura spuštale u kanal bušotine. Organizacijski su pripadali dijelu Rudarskih servisa.

Karotaža interpretatori odnosno interpretatori karotažnih mjerenja (kasnije je Služba promijenila naziv u **Služba za procjenu formacije**) dio su Sektora razrade, članovi su uglavnom bili geološke i/ili naftne struke i imali su zadatak obraditi i analizirati izmjerene bušotinske podatke i takve obrađene podatke predaju dalje na korištenje.

svakoj naftnoj kompaniji je najvažnije imati pouzdana saznanja o karakteristikama ležišta prikupljena iz što više mogućih izvora. Tome jako puno doprinose i kvalitetna snimanja i interpretacija odnosno analiza karotažnih-geofizičkih podataka snimljenih u otvorenom kanalu bušotine. Rezultate analize koriste dalje relevantni stručnjaci u Sektoru istraživanja, razrade i proizvodnje.

5. Kompjutorska obrada karotažnih mjerenja

Kompjutorska obrada karotažnih - geofizičkih podataka snimljenih u bušotinama započela je davne 1968. godine, odnosno početkom 1969. koristeći računalo TIAC/TIDAR. (Texas Instruments) i program MONIT, a numerički su obrađivani ručnom diskriminacijom odabrani i uneseni podaci. Početkom sedamdesetih (1971.) počeo se koristiti napredniji program LOGINT, no ulazni podaci su se dobivali na isti način.

Dakle, to je bilo doba rada sa bušenim trakama odnosno karticama, a podaci izmjereni u kanalu bušotine obrađivali su se numerički. Izmjereni podaci bili su analogni, snimani su na film i kopirani na papir. Tako snimljeni podaci očitavali su se s filma ili papirne kopije, a analizirali su se točkasto, odnosno usrednjavanjem podataka u ležištima. Cilj analize je dobivanja potrebnih izračuna vrijednosti (debljina ležišta, porozitet, zasićenje, propusnost...) koji se koriste za daljnje modeliranje karakteristika ležišta. Krajnji cilj analiza je evaluacije ležišta, odnosno količine zaliha ugljikovodika.

Ključna godina je 1978. kada se nabavom digitalnih mjernih jedinica mjerenje pohranjivalo na magnetske trake, a time je omogućen kontinuirani prikaz i obradu geofizičkih podataka bušotine po vertikalni (osam do deset podataka po metru za svaku izmjerenu krivulju). Prvo se počelo snimati mjerenje nagiba slojeva, a obrađivalo se programom Diplog. Vrlo brzo nabavlja se i Epilog kompjuterski program koji je obrađivao sva geofizička mjerenja. To je bio značajan skok u interpretaciji i analizi podataka jer je omogućena kontinuirana analiza po dubini kroz cijeli izmjereni kanal bušotine. Drugi važan događaj je da se početkom 80-ih godina dovršava izgradnja nove zgrade u Šubićevoj 29, kupuje novi IBM 4143 i pušta u pogon ploterski centar, tj. centar za ispis dužih grafičkih krivulja i karata. Mana je bila što su veliki „jobovi“, a to su bili kompjuterska analiza većih intervala karotažnih – geofizičkih mjerenja u kanalu bušotina ili/i snimljenih seizmičkih profila morali čekati i najčešće su puštani tijekom vikenda.

Godine 1989. Naftaplin kupuje za potrebe Organizacijske jedinice za procjenu formacije - karotaža pet Compaq računala, dva sa procesorom 286 i tri sa procesorima 386, koji su imali novi DOS program WDS - *Well Data System*. Računala su međusobno bila povezana s mrežom Novel verzija 2.15 i serverom organiziranom na jednom računalu. Tada smo po prvi puta imali samostalnu kompletnu jedinicu koja je uključivala ulazne podataka s magnetske trake tipa *Kennedy* ili digitalizatora kao i uređaje za ispis dugačkih dijagrama.

Sam program WDS – *Well Data System* je omogućavao jednostavnu nado gradnju ili bolje reći izradu novih programa koristeći modul „GEN“ koji je generirao program koristeći postojeće sučelje za ulazne i izlazne podatke. Koristio se programski jezik FORTRAN.

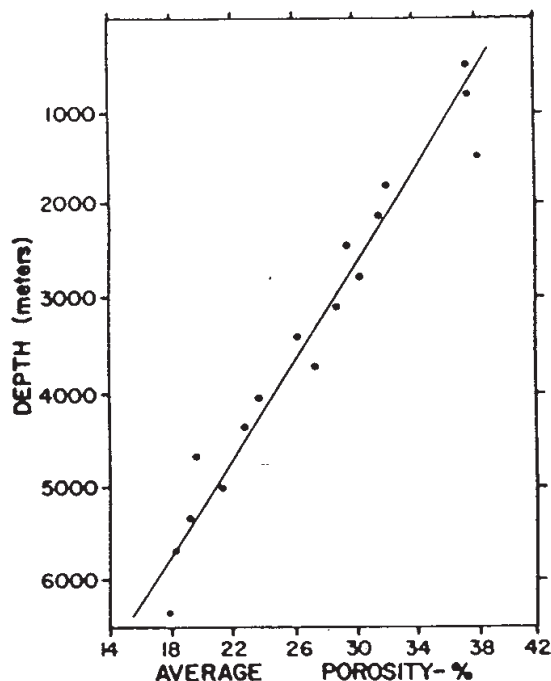
U starijim bušotinama u otvorenom kanalu bušotine imali smo najčešće izmjereni specifični otpor (EL) i propusnost (SP ili GR). Da bi naftni inženjeri mogli analizirati karakteristike ležišta, sa ciljem kvalitetne razrade ležišta, praćenja proizvodnje, izrade elaborata ležišta kao i ekonomske analize, karotaža im je morala dati što korektnije i točnije podatke o dubini i debljini ležišta, ali i o propusnosti i porozitetu ležišta kao i zasićenju. Da bi se takvi proračuni omogućili potrebno je bilo kreirati vlastiti program kojeg smo nazvali R-nula.

Program je imao svoja ograničenja, a to su:

- Upotrebljivo samo na lapor – pješčenjak formaciju;
- Moguće samo za jednu mineralnu analizu formacije.

Osnovna teoretska pretpostavka metode R-nula je uočena i dokazana funkcionalna zavisnost promjene – smanjenja poroziteta s dubinom, a shodno tome i pravilnog povećanja vrijednosti specifičnog otpora naslaga zasićenih slojnom vodom (R-nula).

Na bazi mjerenja poroziteta 17367 uzoraka jezgara Atwater i Miller su dokazali linearnu funkcionalnu zavisnost promjene poroziteta s dubinom (slika 6).



Sl. 6. Linearna zavisnost promjene poroziteta s dubinom

Dakle, u klasičnim plino-kvartarnim naslagama Panonskog bazena i Jadranskog podmorja, brojnim karotažnim mjerenjima ustanovljena je linearna funkcionalna zavisnost vrijednosti specifičnog otpora čistih pješčenjaka zasićenih slojnom vodom (R_n) i dubine.

S obzirom da možemo pretpostaviti da se vrijednost otpora slojne vode R_w neće bitno mijenjati, postojat će i funkcionalna veza između povećanja vrijednosti specifičnog otpora naslaga zasićenih slojnom vodom – R_0 i dubine zalijeganja. Matematički jednačbe možemo izraziti:

$$S_w^n = \frac{1}{\phi^m} \cdot \frac{R_w}{R_t} \quad (1)$$

S_w = zasićenje vodom

n = koeficijent zasićenja (korištena vrijednost je 2)

ϕ = porozitet

m = faktor cementacije (korištena vrijednost je 2)

R_w = specifični otpor slojne vode

R_t = specifični otpor probušenih naslaga

U vodom zasićenim slojevima vrijednost S_w je 1, a otpor R_t prelazi u R_0 pa se izraz pretvara u:

$$1 = \left(\frac{1}{\phi^m} \right) \cdot \left(\frac{R_w}{R_0} \right) \quad (2)$$

što rezultira

$$\phi = \sqrt[m]{\frac{R_w}{R_0}} \quad (3)$$

Odnosno

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{R_0}{R_t}} \quad (4)$$

Liniju R_0 izračuna se iz definiranih minimalnih i maksimalnih vrijednosti

$$R_0 = R_{0_{min}} + \left[\left(\frac{D-SD}{ED-SD} \right) \cdot R_{0_{max}} - R_{0_{min}} \right] \quad (5)$$

gdje su D -trenutačna dubina, SD -početna dubina, ED -krajnja dubina ili kraj definiranog intervala.

$$V_{sh} = \frac{(SP-SP_{min})}{(SP_{max}-SP_{min})} \quad (6)$$

V_{sh} – Volumen lapora (shale), SP - vrijednost krivulje Spontanog potencijala na specifičnoj dubini, SP_{min} -minimalna vrijednost krivulje SP, SP_{max} -maksimalna vrijednost krivulje SP za definirani interval.

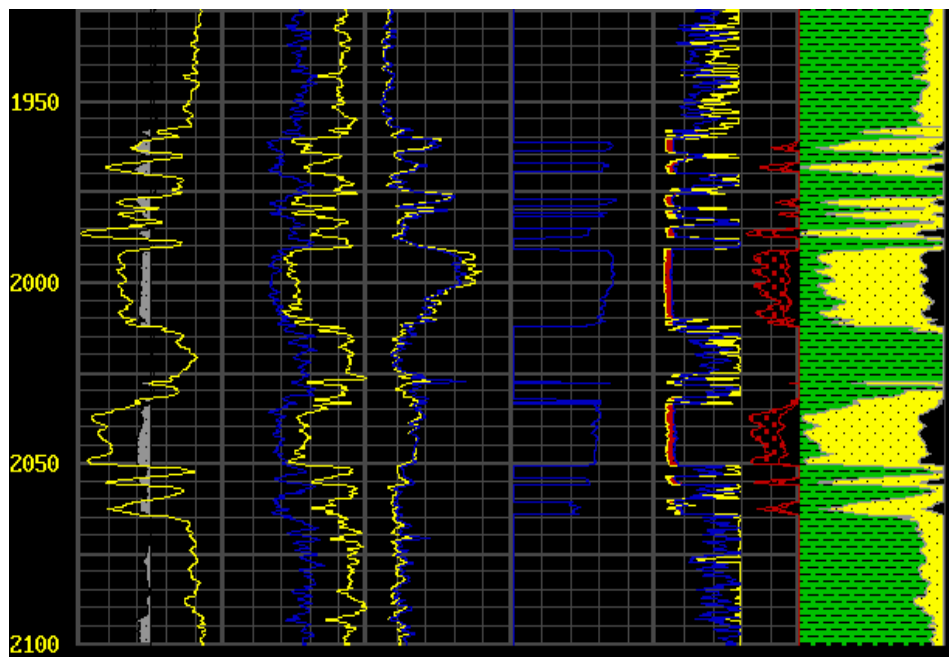
$$\phi_e = \phi - (\phi_{sh} \cdot V_{sh}) \quad (7)$$

ϕ_e =efektivni porozitet, ϕ_{sh} = Porozitet lapora koja se vrijednost određuje iz laboratorijskih mjerenja na jezgrama ili iz kombinacije karotažnih mjerenja na poznatim poljima

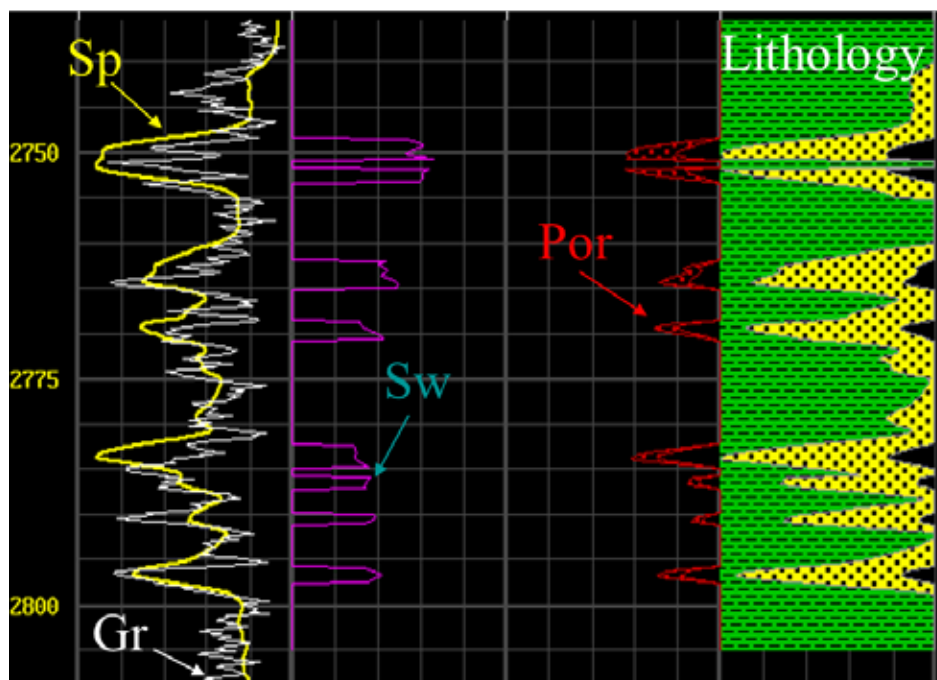
$$\phi_w = S_w \cdot \phi_e \quad (8)$$

ϕ_w = porozitet ležišta zasićen vodom.

Potrebna mjerenja su SP i Rt, a korisnik je definirao R_0 i linije zalaporenja odnosno čiste formacije.



Sl. 7. R nula analiza



Sl. 8. R nula analiza radena na inozemnoj bušotini

Metodu R-nula i njenu dobivenu analizu primijenili smo na veliki broj bušotina, a koristila se i u nekim inozemnim bušotinama na kojima smo imali ugovorene poslove povećanja proizvodnje nafte. Tu metodu prezentirali smo na konferenciji SPWLA (Society of Petrophysicists and Well Log Analysts) u Budimpešti 1990. godine (slika 7).

7. Analiza facijesa stijena

U dubokim naslagama Dravske depresije, na jugozapadnom rubu Panonskog bazena, otkrivena su plinska i plinsko kondenzatna ležišta. Prema procjeni rezervi i dosadašnjoj proizvodnji ova ležišta sadržavala su tada najveće količine ugljikovodika u ovom području. Strukturna, litološka i stratigrafska složenost ovih naslaga Dravske depresije, zajedno s njihovom velikom dubinom zalijeganja, visokom temperaturom i pritiskom te prisutnošću sumporovodika, rezultirale su krajnje teškim uvjetima za jezgrovanje (proces uzimanja valjkastog uzorka nabušene stijene), karotažna mjerenja i testiranja. Ležišne stijene izgrađene su od klastita, evaporita i metamorfita u rasponu starosti od Devona do Miocena, dubinom zalijeganja proizvodnih ležišta od 4000 m, temperaturom od 200°C i pritiskom koji je prelazio 50MP-a (500 bar)

Sveobuhvatna integracija podataka iz različitih izvora bila je neophodna za postizanje zadovoljavajuće razine kvalitete geološke razrade ovih ležišta. Rezultat objedinjavanja podataka karotažnih mjerenja i njihove interpretacije s geološkim i petrofizikalnim podacima iz jezgara bio je utvrđivanje kriterija za razlikovanje pet osnovnih litofacijesa i nekoliko podfacijesa.

8. Određivanje facijesa

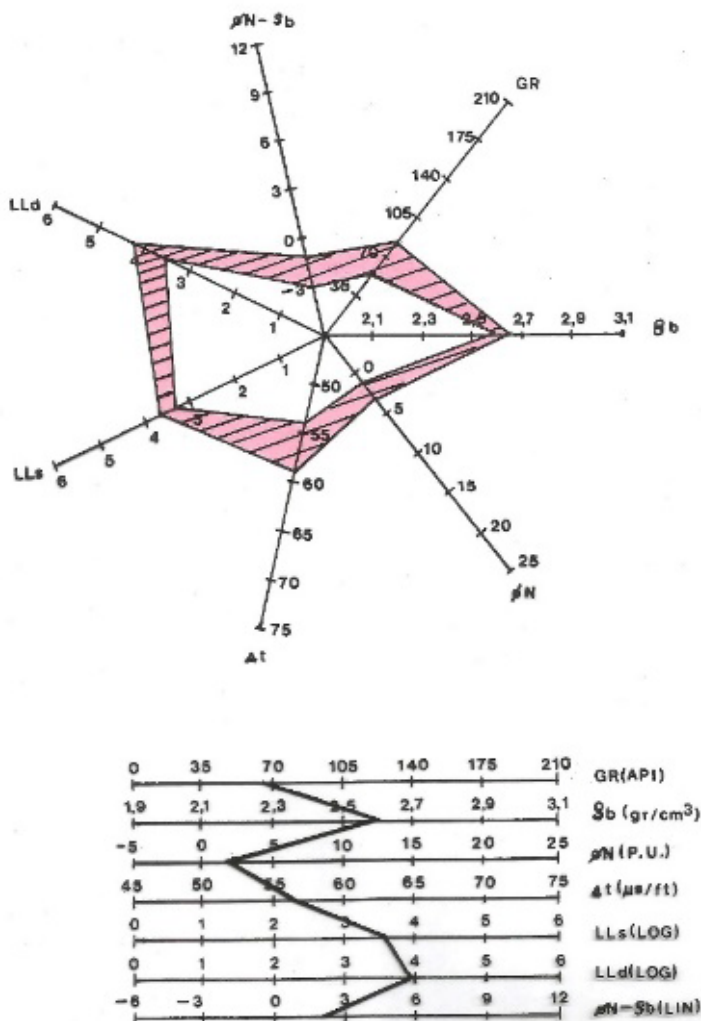
Osnova geološkog modela koji je razvijen na tom području je identifikacija različitih facijesa iz dijagrama karotaže bušotine i podataka analize jezgre te korelacija tih facijesa u cijeloj regiji. To uključuje najvažniju fazu regionalnih terenskih studija. Rad je posebno usmjeren na predviđanje opsega i pojavnosti facijesa na područjima koja se ispituju novim bušotinama, jer uspjeh ili neuspjeh definiranja položaja nove bušotine ne ovisi samo o razmatranjima struktura, već i o prisutnosti određenih litoloških facijesa.

Osnovni paket dijagrama karotaže bušotine je sadržavao dijagrame karotaže gustoće, neutronske, zvučnog gama zračenja i dijagrame karotaže električne otpornosti (duboke i plitke). U ranim danima rada na Dravskoj depresiji, oni su se uglavnom koristili kod manualnog određivanja elektrofacijesa. Za razlikovanje osnovnih elek-

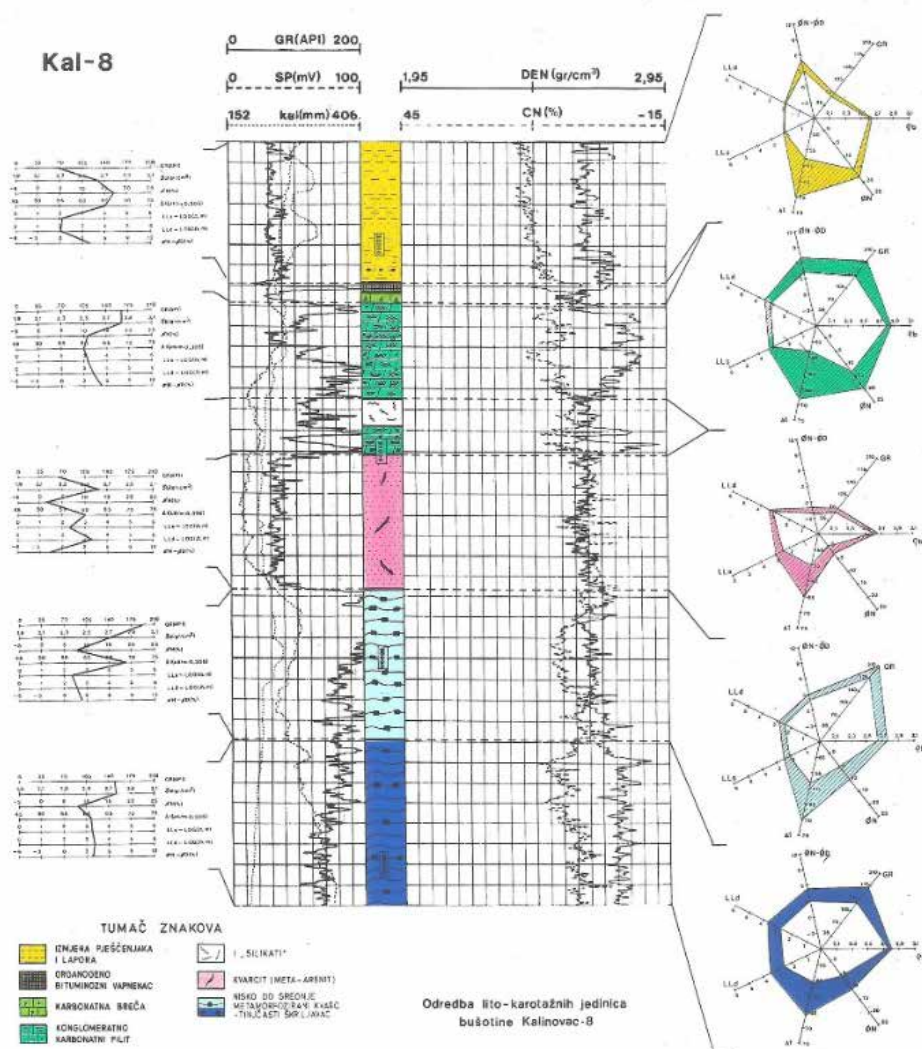
trofacijesa korišteno je nekoliko parametara dijagrama karotaže:

- prirodna radioaktivost GR;
- separacija vrijednosti gustoće DEN i kompenziranog neutrona CNL
- raspon vrijednosti izmjerenih otpornosti

Za tu su svrhu korišteni su dijagrami “Spider-web” i “Ladder”, a karakteristični primjeri su prikazani na slici 8 i 9.



Slika 9. Dijagrami “Spider-web” i “Ladder”,



Sl. 10. Određba lito-karotažnih jedinica (facijesa) na jednoj Podravskoj bušotini

U početku je provedeno pokusno istraživanje na devet bušotina koje su imale najkvalitetnije karotažne podatke i koje su obuhvaćale ukupni interval od 3 457 metara. Na temelju tih podataka i u kombinaciji s geološkim i petrofizičkim podacima iz dostupnih uzoraka jezgri utvrđeno je pet glavnih litofacijesa. Tijekom procesa istraživanja u početku je utvrđeno više sporednih litofacijesa, ali su oni grupirani pod glavnim litofacijesima u nastojanju da se smanji složenost modela. Od tih pet glavnih litofacijesa, dva su kasnije razdijeljena kako bi se dobilo ukupno sedam litofacijesa koji

će se koristiti u karakterizaciji dubokih formacija.

Najvažniji litofacijesi i njihove glavne karakteristike mogu se sažeti kako slijedi. Ilustrativni primjeri karakteristika karotažnih dijagrama prikazani su na slici 10. koja ujedno prikazuje korelaciju facijesa diljem regije.

8. a) Facijesi

Klastiti

Iako su oni prilično varijabilni u litološkom sastavu cijelog područja, općenito su grupirani u jednom litofacijesu. Međutim, u budućoj i detaljnijoj studiji postoji mogućnost podjele ove skupine na preciznije definirane jedinice. Sveukupno gledano, karakteristike dijagrama karotaže za te litofacijese pokazuju umjerene vrijednosti za gama zrake (ali s vrijednostima koje su u cijeloj regiji varijabilne i lateralno i vertikalno), male do negativne separacije neutrona i gustoće (tj. nešto slično rasponu od vapnenca do škriljavca), a tipično je da ovi slojevi imaju nisku otpornost.

Ispitivanje uzoraka jezgre upućuje na to da je to pretežno polimiktni konglomerat tj. onaj koji uključuje mnoge različite vrste stijena među sastavnim klastitima i obuhvaća zaobljene do polu uglaste fragmente stijena vrlo različitih dimenzija. Najčešći fragmenti su dolomiti, gnajsi, tinjčev škriljevac i kvarcni arenit. Vapnenci i vulkanske stijene rijetko se pojavljuju kao klast (sastavni dio). Općenito, klasti su u potpunosti okruženi materijalom matriksa, koji uglavnom sadrži kvarc i glinenac, ali uključuju i minerale tinjaca i gline. Zbog vrlo male poroznosti, ovaj litofacijes nije pogodan kao ležišna stijena.

Bioklastični vapnenac

Drugi glavni litofacijes identificiran u ovom području ima ograničeno prostorno rasprostiranje te se sastoji od bioklastičnih vapnenačkih facijesa. Karotažne karakteristike ove jedinice uključuju niske vrijednosti gama zračenja, tipičan odziv vapnenca na neutronske-gustoćni zapis s vrlo malom separacijom krivulja, dok otpornost pokazuje znatnu varijabilnost, što se pripisuje različitom stupnju zasićenja ugljikovodicima. Poroznost je značajno viša u usporedbi s ostalim litofacijesima i može doseći i do 20%. Analiza jezgri ukazuje na to da se radi o biokalkarenitima do biokalciruditima, koji najčešće sadrže skeletne fragmente veličine pijeska, veće komade koralja, ostatke oceanskih algi i mahovnjaka. Prisutna je izražena poroznost, pa se ovaj litofacijes smatra rezervoarskom stijenom, iako propusnost možda nije očuvana u potpunosti.

feldspata. Taj facijes predstavlja jako dolomitiziranu metamorfnu stijenu i može sadržavati mnogobrojne frakture.

Kvarcit

Kvarcitni litofacijes ima vrlo prepoznatljiv karotažni odziv i potvrđen je na širem području Dravske depresije. Može se pratiti i korelirati od područja Molvi i Kalinovca, preko polja Stari Gradac pa sve do lokaliteta Orešac, gdje su kvarcitni elektrofacijesi zabilježeni na dubinama većim od 5 000 m.

Na karotažnim dijagramima ovaj litofacijes karakterizira:

- niska vrijednost gama zračenja,
- karakteristično kvarceno pozitivno razdvajanje (2–3 jedinice poroznosti) između krivulja neutrona i gustoće,
- visoka električna otpornost,
- te poroznost koja varira s dubinom.

Litofacijes odgovara klastičnom sedimentu koji je podvrgnut jakom metamorfizmu, ali i dalje zadržava dovoljnu poroznost i propusnost da gotovo svugdje gdje se pojavljuje tvori kvalitetnu ležišnu stijenu. Očuvana poroznost pokazuje varijabilnu geometriju – djelomično je mikrofrakturirana, djelomično kavernozna, a djelomično intergranularna. Opisi jezgri ukazuju da se radi o porfiroklastičnom, sericitnom kvarcitu.

U pojedinim bušotinama kvarcit predstavlja jedini litofacijes s dobrim rezervoarskim svojstvima. Njegova sposobnost za akumulaciju ugljikovodika ovisi o strukturnoj poziciji u odnosu na liniju zavodnjenosti – iznad nje može sadržavati proizvodive količine plina i kondenzata, dok ispod nje obično ne sadrži ugljikovodike.

Zbog toga je ključno pravilno prepoznati ovaj facijes u fazi istraživanja i procjene plinskih i plinsko-kondenzatnih polja unutar Dravske depresije. Gotovo bez iznimke, kvarcitni litofacijesi iznad linije zavodnjenosti sadrže proizvodive ugljikovodike. Primjer za to je bušotina Stari Gradac-2, koja je prvotno bila klasificirana kao negativna i neproduktivna. Međutim, ponovna analiza karotažnih zapisa ukazala je na prisutnost kvarcitnog intervala, koji je potom perforiran – rezultirajući dotokom plina i klasifikacijom bušotine kao produktivne. To je omogućilo i proširenje granica polja Stari Gradac prema zapadu.

Na karotažnim dijagramima ovaj litofacijes je karakterističan po niskim vrijednostima gama zračenja, tipičnom kvarceno pozitivnom razdvajanju (plus 2-3 jedinice vapnenačke poroznosti) na krivuljama neutronske i karotaže gustoće, visoke otpornosti i rasponu poroznosti koji varira s dubinom. Ovaj litofacijes odgovara klastičnom

sedimentu, koji je sada jako metamorfiziran, ali zadržava dovoljnu poroznost i propusnost da formira kvalitetnu ležišnu stijenu gotovo svugdje

Podina

Takozvane podinske stijene podijeljene su na dva litofacijesa. Podina je gotovo uvijek prekrivena kvarcnim elektrofacijesom. Njegovi karakteristični karotažni odzivi su relativno visoke vrijednosti gama zraka koje se mijenjaju s dubinom, stvarno nulto odvajanja krivulja neutrona i gustoće, ali i nešto promjenljivim s dubinom i iznimno visokim otpornostima. Ovaj litofacijes rijetko predstavlja ležišnu stijenu, ali povremeno je stijena dovoljno frakturirana da bi proizvela ugljikovodike. Uzorci jezgre ukazuju na to da su ti litofacijesi blasto-miloniti i da predstavljaju rekristalizirane porfiroklaste kvarca i glinenca unutar sitnozrnatog matriksa.

Podina II

Litofacijes poznat kao Podina II sastoji se od zelenog škriljevca i predstavlja najdublje do sada identificirane stratigrafske jedinice u istraživanom području.

Karotažni podaci pokazuju umjerene vrijednosti gama zračenja, izraženo negativnu separaciju neutron-gustoća krivulja (separacija tinjca) te vrlo visoke vrijednosti električne otpornosti.

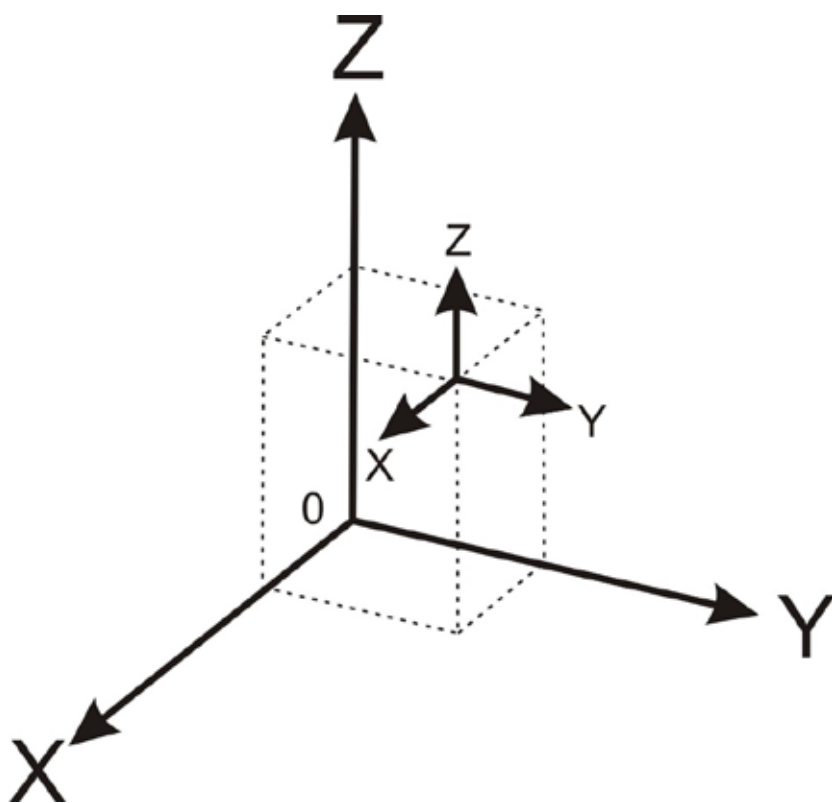
Ovaj facijes nema rezervoarska svojstva, odnosno ne predstavlja ležišnu stijenu. Litološki je vrlo složen i obuhvaća niz slabo metamorfoziranih stijena različitog mineralnog sastava, među kojima dominiraju klorit, albit, kvarc, tinjac, kalcit, sericit i epidot. U većini uzoraka prisutna je dobro razvijena škriljavost, koja je rezultat paralelne orijentacije lamelastih minerala pod djelovanjem dugotrajnih visokih tlakova i povišenih temperatura.

Facijes je litološki predstavljen tinjčevim, kloritnim i albit-sericitnim škriljancima, kao i dinamički i retrogradno metamorfoziranim gnajsima.

9. Informatičko rješenje

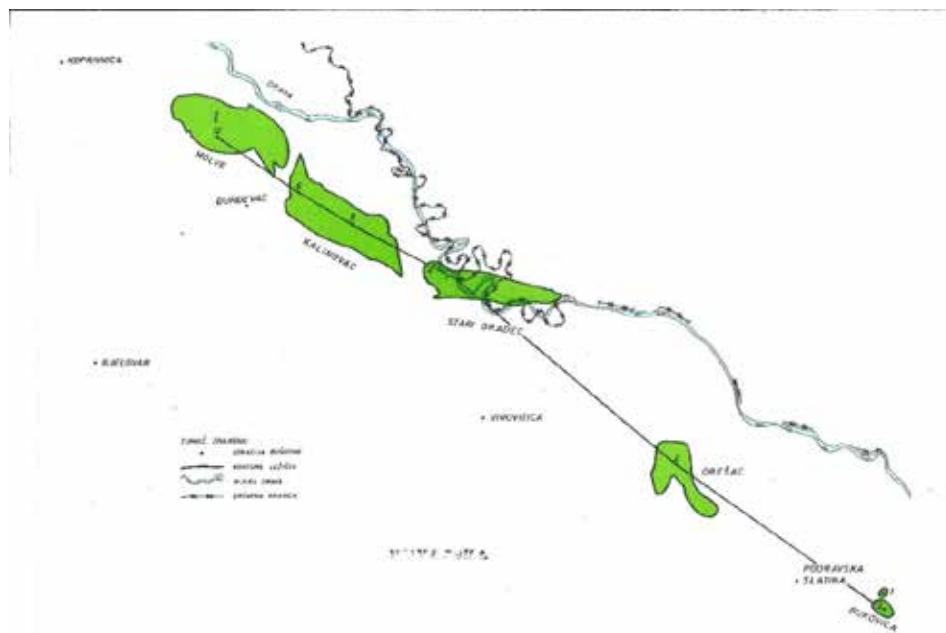
Detaljnije ispitivanje svojstava facijesa bilo je moguće primjenom paketa HORIZON informatičkog programa kompanije Western Atlasa (autora Oliveira i sur., 1989.). Glavna vrijednost ovog paketa je u integraciji kvantitativnih i kvalitativnih podataka kako bi se postigla kategorizacija podataka karotaže koji se mogu podesiti tako da predstavljaju različite facijese. 'Kalibracija' modela kategorizacije omogućena je usporedbom s intervalima jezgrovanja. Baza podataka je organizirana kao višedimenzionalni koordinatni sustavi, slika 12. Našu bazu koju smo koristili koristeći se paketom HORIZON, konstruirali smo iz većeg broja različitih karotažnih dijagrama:

gama zraka, neutronske gustoće, električne otpornosti (duboke) i odvajanja krivulja neutronske, karotaže gustoće i pridruženih brojeva facijesa.



Sl. 12. Višedimenzionalni koordinatni sustav

Nalazeći 'čiste' facijese u snimljenim karotažnim dijagramima definirali smo ulazne podatke za bazu facijesa koristili smo u daljnjoj analizi svih podravskih bušotina gdje je rezultat programa bio iskazan po svakoj točki dubine kao vjerojatnost facijesa, slike 13. i 14.



Slika 13. Područje sjeverne Hrvatske na kojoj je primijenjena analiza



Slika 14. Finalni prikaz analize facijesa

Ova metoda i dobiveni rezultati prezentirani su na SPWLA - 32nd *Annual Logging Symposium*, June 16-19, 1991, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London

10. Zaključak

Ovim radom prikazan je razvoj informatike u kasnim godinama prošlog ti-sućljeća, s posebnim naglaskom na primjenu u Naftaplínu. Prednost Naftaplína bila je njegova orijentacija prema korištenju zapadnih tehnologija, i u opremi, a i u informatici. Rano prihvaćanje najnaprednijih tehnoloških rješenja omogućilo je Naftaplínu značajan napredak, ali i savladavanje brojnih prepreka koje su se pojavljivale na putu razvoja.

Učinkovitost primjene ovih metoda počivala je na velikom broju bušotina što je doprinijelo opsežnoj digitalnoj bazi podataka koja je sadržavala širok spektar podataka karotažnih dijagrama, kao i na snažnim radnim stanicama koje su omogućavale analizu tih podataka. Nadalje, ključan je bio i pristup rezultatima laboratorijskih analiza uzoraka jezgri koji su služili za usporedbu i kalibraciju podataka karotaže. Integrirani naponi geologa, naftnih inženjera i petrofizičara, stručnjaka za analizu karotažnih dijagrama, omogućili su dostizanje razine obrade i razumijevanja podzemlja koju je Naftaplin imao u to vrijeme, kao i danas.

Tih godina, Naftaplin je imao odlučujuću ulogu u energetici Hrvatske, osiguravajući gotovo potpunu opskrbu Hrvatske naftom i plinom, čime je znatno pridonio energetske neovisnosti zemlje.

Literatura (References)

Monografija INA Naftaplin 1952-2002

Monografija 25 GODINA INA INDUSTRIJA NAFTE ZAGREB 1964 - 1989

Atlas Wireline Services Documents: HORIZON.

Bigelow, E.L. 1988. *Reservoir Field Study: Purpose, Methodology and Results*. Transactions of the 11th European Formation Evaluation Symposium, Oslo.

Cizelj, I., Jančiković, B. 1985. i drugi: *Interpretacija rezultata karotažnih mjerenja u bušotinama istočne Slavonije*. DIT No. 15, 1985.

Jančiković, B., Vulama, I., Jungwirth, M. 1988. *New Concept of Deep Sediment of the Drava Depression on the Basis of Well Logging*. DIT No. 23 1988..

Oliveira, A. and J. Dufour. 1989. *Estimating Petrophysical Parameters from Probabilistic Database*. SAID Paris. 1989.

Serra, O. 1984. *Fundamentals of Well Log Interpretation 1: The acquisition of logging data*. Developments in Petroleum Science, 15A. Elsevier, Amsterdam.

Serra, O. 1986. *Fundamentals of Well Log Interpretation 2: The interpretation of logging data*. Developments in Petroleum Science, 15B. Elsevier, Amsterdam.

Serra, O. 1985. *Sedimentary Environments from Wireline Logs*. Schlumberger.

Stowe, I. and M. Hock. 1988. *Facies Analysis and Diagenesis from Well Logs in Zechstein Carbonates Of Northern Germany*. Transactions of the SPWLA 29th Annual Logging Symposium. Paper HH, 1988.

Schlumberger document: Log Interpretation, Volume II - Applications. 1974.

Zlatko Đurić, Božidar Jančiković

HISTORICAL DEVELOPMENT AND DEVELOPMENT OF COMPUTER SCIENCE IN WELL DATA PROCESSING

Abstract: The beginnings of organized oil exploration in Croatia date back to the mid-19th century. At that time, oil was extracted manually from natural oil sources in Peklenica near Mursko Središće, in Mikleuška near Kutina, and in Paklenica, Petrovo Selo and in Baćin Dol and near Nova Gradiška.

Naftaplin - was founded in 1952 by a decision of the then Government of the People's Republic of Croatia, by merging the following companies: Oil Production Gojlo, Oil Production Šumećani, Material Service of the Main Directorate for Oil of the People's Republic of Croatia, Zagreb and the Company for Logging, Zagreb.

INA - Oil Industry d.d. - a Croatian oil company headquartered in Zagreb was founded in 1963 under the name Oil and Gas Plant; it was created by merging the oil and gas exploration and production company Naftaplin (founded in 1952), the Rijeka Oil Refinery (founded in 1883) and the Sisak Oil Refinery (founded in 1927). In 1964, the company changed its name to INA – Oil Industry.

The beginning of the development of electronic data processing at INA dates back to 1967, when the first electronic computers were purchased and the ERC – Electronic Computing Center was established as part of the INA Institute. Computer processing of seismic data has been applied since 1968. At INA ERC, it was performed on a TIAC/TIDAR computer (Texas Instruments), with a memory capacity of 4K. The GSI computer software was used.

At the end of 1968, Logging interpretation began using the MONIT program on the same computer, to process numerical data measured in the well channel.

In further work, we intend to describe in more detail the historical development and contribution of informatics in the processing of geophysical well data, as well as two examples: the first is reservoir analysis with a reduced scope of geophysical measurements in wells, and the second is multidimensional analysis of rock facies, as independent development with the aim of improving final analyses and better understanding of the geological subsurface.

Keywords: logging, geophysical measurements, computer data processing, software.

Marijan Andrašec

STRATEŠKI PROJEKTI TVORNICE INA RAFINERIJA ZAGREB U PERIODU 1991.–2005.

Sažetak: INA Rafinerija Zagreb je u periodu 1990te do 2005te prošla kroz organizacijske, tehnološke i tržišne promjene. Unatoč rada u ratnim uvjetima razvijani su novi proizvodi, osmišljavali su se strateški projekti i tražila se nova tržišta. Pored toga INA je izvršavala zadatke vezane uz ratnu proizvodnju i podupirala neke tvornice, koje su se nalazile u ratnim zonama te nalazila rješenja za budućnost tih kompanija.

Promjene veličine tržišta, strukture tržišta, sirovinskih osnova, te zakonskih okvira, uz objektivno „preveliku“ lokaciju i infrastrukturu koja je postajala nepodobna za postojeću proizvodnju, natjerali su INA Maziva Zagreb da intenzivno rade na traženju novih ideja i spasonosnih strateških projekta. U cijelom ratnom i poratnom periodu stvarani su kvalitetni projekti, te su mnogi dovedeni do visoke razine pripreme za realizaciju. Stalna promjena upravne strukture INA-e, a posebno generalnih direktora, ometala je kontinuitet rada na projektima. Ulazak MOL-a u vlasništvo INA-e posebno je promijenio stanje i utjecao na realizaciju projekata. U radu su prikazani značajniji projekti, opisana zbivanja vezana uz njihovu realizaciju, te druge okolnosti i utjecaji na realizaciju projekata.

Ključne riječi: Maziva Zagreb doo, devedesete godine, strategija razvoja, projekti

Uvod [2] [14] [15] [16]

Proizvodnja industrijskih i specijalnih maziva, te sličnih tekućina u Zagrebu vodi porijeklo od dviju tvrtki - »Iskre«- Zagreb, Heinzelova ulica i Rafinerije nafte »Olex-Sveta Klara kraj Zagreba«. U jednoj od njih, tadašnjoj tvornici »Iskra«, 1927. je započela prva industrijska proizvodnja tehničkih masti i mazivnih masti na ovim prostorima. Zbog srodnih proizvodnji, a time i usporednih razvojnih putova, te dvije tvrtke su se integrirale u jedno novo poduzeće. Nakon osnutka Kombinata nafte i plina u Zagrebu, koji su osnovala »velika trojica« - Rafinerija Rijeka, Rafinerija Sisak i Naf-taplin, u tu veliku obitelj naftne djelatnosti ušla je 1. travnja 1964., pod imenom »ENO-LIS« i zagrebačka rafinerija. Promjenom naziva Kombinata u današnji naziv INA, »ENOLIS« dobiva ime INA-Rafinerija Zagreb. Kako bi se stvorili uvjeti za normalan rad i razvoj, napušteni su neadekvatni prostori na dvije lokacije u Svetoj Klari i Hein-zeovoj ulici, te su vlastitim sredstvima, bez ikakvog kreditnog zaduženja, u razdoblju od 1967. do 1972. godine izrađena nova postrojenja na današnjoj lokaciji na Žitnjaku.

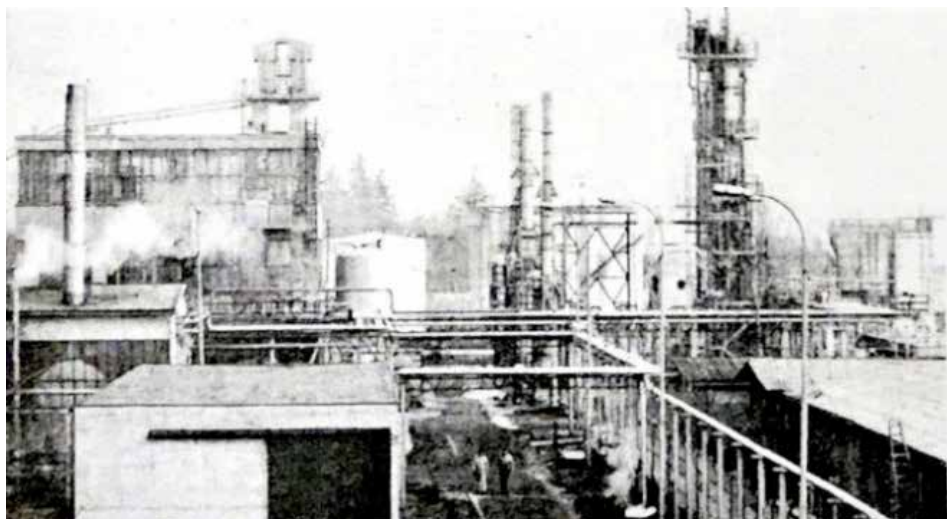
Maziva i srodni proizvodi po svojoj raznolikosti primjene, prisutnosti konkuren-cije na tržištu i stalnim inovacijama zahtijevaju visoku stručnost, stalan rad na po-boljšanjima proizvoda i proizvodnje, te razvijenu službu primjene kao podršku prodaji i kupcima. U tome se maziva unutar INA-e razlikuju od proizvodnje u rafinerijama u Rijeci i Sisku, a gotih i u petrokemijskim postrojenjima u Kutini, na Krku i u Zagrebu, kao dijelovima sustava INA-e. Dodatnu razliku u pristupu daje i razlika u proizvod-nim kapacitetima, koje se u rafinerijama mjeri u milijunima tona, a u mazivima u tisućama i desecima tisuća tona. Razlika je i u jediničnoj tržišnoj cijeni proizvoda, koja je kod maziva višestruko viša od rafinerijskih, tako da su odnosi unutar INA-e bili ovakvi: vrijednosni udio maziva u ukupnoj masi proizvoda INA-e je oko 1,5%, ali je udio u ostvarenoj dobiti više od 30%.

Arhivska dokumentacija Maziva Zagreb doo uglavnom je dobro sačuvana, a u dijelu informacija, objavljenih tekstova i publikacija uredno sređena, zahvaljujući dugogodišnjem radu novinarke Vesne Jakovac. Tekstovi su obično popraćeni fotogra-fijama, koje je snimio fotograf i novinar Branimir Sterle.

Rad u periodu 1991.–1995. [1] [2] [3] [15]

U 80tim godinama prošlog stoljeća napravljen je plan razvoja INA-e do 1990te s okvirnim prikazom ulaganja u novu proizvodnju, uključujući INA Rafineriju Zagreb – ulaganja su bila minimalna. Prema zajedničkom razvojnom programu na bazi po-djela asortimana naftnih proizvoda rafinerija u Zagrebu je imala zadatak prerađivati naftensku naftu te razvijati kapacitet i proizvodnju svih vrsta industrijskih i specijal-nih maziva (mineralnih ulja i masti). Motorna ulja proizvodila su se u Rafineriji Rijeka – lokacija Mlaka.

Lokacija i postrojenja su već ranije osmišljeni i većim dijelom izgrađeni u skladu s tadašnjim tehnološkim, sirovinskim, tržišnim i društvenim okolnostima, karakterizirani veličinom lokacije i niskom gustoćom izgrađenosti. Promjene svih tih okolnosti, a posebno niska gustoća izgrađenosti, stvarali su visoke troškove održavanja, energije i drugih troškova lokacije u nesrazmjeru s veličinom proizvodnje. Ta je situacija bila opterećenje za rentabilnost proizvodnje, te su dijelovi postrojenja, zavisno od promjena u okruženju, postupno uklonjeni, što se vidi usporedbom snimke početne situacije prije 1990te i zračne snimke iz 2025te (Google Maps). Korištenje prostora svedeno je do danas na efektivno cca 35% od ukupne površine unatoč rekonstrukcijama u proizvodnji i preseljenjima nekih proizvodnji iz Rijeke i Siska na tu lokaciju.



Sl.1 Snimak stanja prije 1990. godine



Sl.2 Snimak stanja u travnju 2025. (Google Maps)

Ukazom Hrvatskog sabora u listopadu 1990. osnovano je javno poduzeće INA, čiji je član postala i INA Rafinerija Zagreb. Već 1991. godine Hrvatska se našla u ratnom vrtlogu, a INA-Rafinerija Zagreb u okolnostima promjene svih parametara na kojima se baziralo ranije poslovanje i planiranje budućnosti. U listopadu 1991. g., odlukom predsjednika hrvatske Vlade osnovan je Ratni stožer u INA-i, sa zadaćom organiziranja i zaštite svih resursa INA-e te njenog najvećeg mogućeg uključivanja i korištenja za obranu RH. Poslovanje i proizvodnja u uvjetima uzbuna i opasnosti od zračnih napada zahtijevala je posebnu pozornost u skladištenju goriva u velikim rezervoarima, kako ne bi došlo do velikih požara, kakvi su npr. zadesili Rafineriju Sisak nakon napada.

U novonastaloj situaciji 1991. Poslovni odbor su činili:

Miroslav Sakač, predsjednik
 Marijan Šarić, direktor proizvodnje
 Ranko Dubenik, direktor tehničkih službi
 Branimir Stanišić, direktor komercijalnih službi
 Josip Kalanj, direktor razvoja
 Vinko Soldo, direktor zajedničkih službi

Članovi Poslovnog odbora većim su dijelom ostali na tim pozicijama čitav period 90tih i početka 2000tih. Na početku 90tih Službu razvoja je vodio Nikola Kalanj,

a naslijedio ga je Ivo Legiša. Direktor Miroslav Sakač vodio je INA Maziva Zagreb do 2007. godine.



Sl.3 Članovi poslovnog odbora 1991.



Sl.4 Razmatranje Poslovnog odbora o elaboratu „Strategija razvoja Rafinerije Zagreb“, 29. 01. 1992.

Promjene veličine tržišta, strukture tržišta, sirovinskih osnova, te zakonskih okvira, uz objektivno „preveliku“ lokaciju i infrastrukturu nepodobnu za postojeću proizvodnju, natjerali su INA Maziva Zagreb da intenzivno radi na traženju novih ideja i spasonosnih strateških projekta. Kao podrška na osmišljavanju i razvoju strateških projekata u lipnju 1991. zaposlen je kao Savjetnik direktora za diverzifikaciju proizvodnje s parcijalnim radnim vremenom dr. sc. Marijan Andrašec, te je taj posao obavljao do svibnja 2004. godine.

Sredinom 1991. formirana je Radna grupa za razvoj, koja je nakon opsežnog istraživanja i rasprava formirala studiju Strategija razvoja Rafinerije Zagreb, prosinac 1991., koja je predana kao prilog osnovama za izradu ukupnog plana INE za 1992. go-

dinu i kao smjernica za osmišljavanje projekata INA Maziva Zagreb te aktivnostima za njihovo ostvarenje. Ratne okolnosti unesle su nove zadatke i projekte, koji su bili hitni i prioritetni, a način djelovanja prilagođen tim okolnostima, te su neki drugi strateški projekti morali biti odgođeni.

Mnoge tvrtke, a posebno tvornice, našle su se u poteškoćama, te je Vlada koristila INA-u za njihovu podršku i spašavanje, tako što se one ušle u sustav INA-e ili je INA zadužena za njihovu potporu. Neke su se nalazile u ratnim zonama. Tako je INA 1993. vodila brigu o pedesetak kompanija u svojem vlasništvu i izvan svog sustava. INA Rafinerija Zagreb je korištena za operativnu podršku i za osmišljavanje rješenja za budućnost nekih od tih kompanija.

Unatoč nepovoljnim okolnostima u cijelom ratnom i poratnom periodu stvarani su kvalitetni projekti, te su mnogi dovedeni do visoke razine pripreme za realizaciju, a neki su i realizirani. Gospodarstvo Hrvatske, a posebno industrija, u tom se periodu dramatično mijenjalo, što je pred tvrtke, kao što je bila INA Rafinerija Zagreb, stavljalo velike prepreke i dodatne zahtjeve za ubranu prilagodbu, ali i za preispitivanje strateških ciljeva. Razvojna služba u Rafineriji Zagreb bila je dobro organizirana, raspolagala je laboratorijima i kvalitetnim i iskusnim stručnjacima, te je imala iza sebe dugu tradiciju rada na unapređivanju kvalitete i primjene proizvoda. Posebno je za Rafineriju Zagreb bila važna promjena u metaloprerađivačkoj industriji, gdje su mnoge tvornice smanjile proizvodnju ili čak propale. U idućim godinama intenzivno je rađeno na projektima, tako da je do sredine 90tih nastala lista strateških projekata na kojima se radilo, a koja se nije mijenjala do kraja tog desetljeća, kad se još pojavio projekt proizvodnje biodizela.

INA opterećena organizacijskom strukturom i odnosima naslijeđenim iz perioda prije 90te u duhu samoupravljanja, nije mogla postići jedinstvo akcija, niti osmisliti kvalitetnu strategiju zajedničkog razvoja i djelovanja u novim okolnostima ugroza svih vrsta, što je otežalo planiranje razvoja u rafinerijama, te izazvalo određenu dozu nesigurnosti u osmišljavanju i realizaciji projekata, stalno su se mijenjale upravne strukture INA-e, a posebno generalnih direktora, koji su mijenjali politiku sustava i odnos prema pojedinim projektima.

Ovi su bili generalni direktori INA-e:

Nikica Valentić	od 1990 do 1993
Franjo Gregurić	od 1993 do 1995
Vladimir Košćec	od 1995 do 1995
Andrija Kojaković	od 1995 do 1997
Davor Štern	od 1997 do 2000
Tomislav Dragičević	od 2000 do 2009

Treba naglasiti da su stalne promjene u industriji i državnoj upravi bile prije svega u njihovim upravnim i vlasničkim strukturama, tako da je kod većine subjekata bilo skoro nemoguće postići stabilne i dugoročno važeće dogovore i odnose; improvizacija i brza prilagodba je bilo pravilo funkcioniranja na tržištu i u širem društvu.

Rad u periodu 1995. – 2005. [1] [2] [6] [8] [15]

Završetkom rata obustavljene su proizvodnje posebno potrebne u ratnim uvjetima, npr. gorivo za neke ratne brodove, ali se poslovna situacija nije znatno poboljšala. Obustavljanjem rada mnogih tvornica i poduzeća tržište proizvoda za industriju potpuno se izmijenilo, te je Rafinerija Zagreb ulagala velike napore za prodor na druga tržišta (Slovenija, Rumunjska, Makedonija i dr.) i nastojala se povezati sa većim proizvođačima iz EU radi zajedničke proizvodnje i nastupa. Time je rad na proizvodima i projektima iz prethodnog perioda dobio nove ciljeve i zadatke.



Sl. 5 Miroslav Sakač, Inino znanje, tehnologija i proizvodnja, INA-Glasnik, br. 1754, 24. 04. 2001.

Osim godišnjeg planiranja krajem desetljeća 1998., pokrenut je rad na reviziji strategije razvoja uz donošenju odluka o daljnjem radu na dotad aktualnim projektima. Trebalo je voditi računa o novim vlasničkim odnosima u nastajanju, te interesima pojedinih rafinerija unutar INE. Formiran je Stručni tim za strategiju razvoja do 2007. godine. Strategija je naznačila ciljeve i zadatke za projekte koji su ostali aktivni, a formirana je prema sljedećoj viziji razvoja:

- Tehničko-tehnološku opremljenost INA-e Maziva Zagreb razviti za prilagodljivu proizvodnju.
- Osvježiti asortiman i ponude na tržištu.
- Koristiti postojeće opreme i infrastrukture na lokaciji
- Proizvoditi u skladu s okruženjem i zadovoljiti kriterije zaštite okoliša.
- Stvarati modele i organizacijske strukture za realizaciju složenih razvojnih-diversifikacijskih projekata, koje je moguće brzo realizirati, bez velikih ulaganja.
- Predviđen je rad na slijedećim strateškim projektima (grupama proizvoda):
- Proizvodi za tehnička/industrijska čišćenja i obradu površina
- Proizvodi za dobivanje i preradu nafte i plina
- Aditivi za izgaranje loživih ulja
- Biodizel

Promatrano s današnje pozicije, očito je da se uporan rad u ratnim godinama isplatio; izgledni projekti su pripremljeni, problematične okolnosti razjašnjene i strategija Maziva Zagreb usklađena s realnim okolnostima. U periodu poslije 2005. neki su projekti morali biti napušteni, a za neke su se pojavile nove mogućnosti, te su ušli u proizvodni program Maziva Zagreb.

Koncem 90tih započeo je proces ulaska mađarske tvrtke MOL u vlasničku strukturu INE, a 17. srpnja 2003. Vlada Republike Hrvatske objavljuje odluku o privatizaciji INA-e, prema kojoj se prihvatila ponuda MOL-a. Time mađarska kompanija postaje strateški partner INA-e, te vlasnik 25 % plus jedne dionice, a naknadno su ostvarili i dodatna upravna prava. MOL posjeduje u Mađarskoj svoju proizvodnju maziva, te su tako nastale brojne nedoumice o sudbini INA Maziva Zagreb, koja je upornim radom i postignutim rezultatima ipak uspjela sačuvati svoju poziciju. U travnju 2002. godine osnovana su INA Maziva Zagreb doo, koja od tada djeluju samostalno kao ovisno društvo INA Grupe. Tvrtka je 2012te godine preimenovana u INA Maziva doo.

U skladu s promjenama u strukturi i opsegu proizvodnje mijenjao se i broj zaposlenih: 1991. godina ≈580 zaposlenih; 2000. godina ≈290 zaposlenih, 2024. godina ≈100 zaposlenih. U periodu od 1990. do 2000. broj zaposlenih smanjio se kroz prirodni odljev, ratne posljedice i umirovljenja uz otpremnine.

Projekti [1]-[17]

U ukupnom vremenu od 1991. do 2005. rad na projektima, njihovom ostvarenju i prilagodbi u složenim i promjenljivim okolnostima bio je jednako intenzivan, bez obzira na ponekad frustrirajuće okolnosti. Kod većine projekata u pravilu radi se o grupama proizvoda i/ili promjenama unutar Maziva Zagreb, koji se ne ostvaruju jednokratnim jednostavnim zahvatom, nego se mogu označiti kao proces, te su se u promatranom vremenskom periodu mogli samo djelomično ostvariti. Ostvarenje nekih projekata postignuto je znatno poslije promatranog vremenskog horizonta u ovom radu, ali do njih ne bi došlo bez prethodnih napora u periodu 1991. – 2005.

Br.	Važniji projekti	Početak rada na projektu	Uključeni vanjski subjekti	Ostvarenje projekta
1.	Integralni informacijski sustav i sustav za kvalitetu	Prije 1990.	Bureau Veritas Croatia doo – Rijeka, Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo	2002., postepeno ostvareno
2.	Prilagodbe destilacijskog postrojenja	Prije 1990.	Rafinerija Rijeka, Naftaplin, Rafinerija Sisak, Cosmochemia-Otočac	1998., postrojenje je zatvoreno
3.	Plastificirani bitumeni za cestogradnju	1992.	Rafinerija Rijeka, Hrvatske ceste, IGH, Shell, Bitum doo	2002., projekt je preuzela Rafinerija Rijeka
4.	Aditivi za poboljšanje izgaranja loživih ulja	1998	TE Rijeka, TETO Zagreb, Rafinerija Rijeka, TE Sisak, ELTO Zagreb, Lang Chemie, Ethyl, Lega doo	2004. djelomično
5.	Proizvodi za tehnička/industrijska čišćenja i obradu površina	1991.	Lang Chemie, Hrvatske željeznice, ZET, Koksara Bakar, Rafinerija Rijeka, Torpedo, Končar, JANAF, Đ. Đaković, INA Naftaplin i dr.	kontinuirano ostvarivanje
6.	Projekt povezivanja malotonažnih proizvodnji („tercijara“) u sustavu INA-e	1992.	Rafinerija Sisak – Služba za razvoj male proizvodnje, TUG Kutina – Sektor sekundarne proizvodnje, Cosmochemia -Otočac	2004. djelomično
7.	Proizvodnja biodizela	1998	El Hrvoje Požar, BICRO, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Agronomski fakultet, Ministarstvo poljoprivrede, Vlada RH, Rafinerija Sisak, INA Razvoj i istraživanje	2005., INA dd nije zainteresirana
8.	Proizvodi za pridobivanje i preradu nafte i plina	Prije 1990	Rafinerija Rijeka, Naftaplin, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, INA Razvoj i istraživanje	kontinuirano ostvarivanje

Tablica 1 Lista važnijih strateških projekata INA Rafinerija Zagreb

Lista ne obuhvaća opsežan i intenzivan rad na pojedinim proizvodima iz asor-

timana maziva i srodnih proizvoda u okviru rada Službe za razvoj proizvoda i Službe primjene proizvoda u području kvalitete proizvoda i razvoja novih proizvoda unutar standardnog asortimana. Intenzivno se radilo i na uvođenju sustava za kvalitetu i na certificiranju proizvoda, te sudjelovalo na domaćim i inozemnim skupovima i izložbama.

Dio projekata je po svojem opsegu i uključenim sudionicima zahtijevao odlučivanje na višim razinama, te su početne aktivnosti dijelom bile usmjerene na informiranje Uprave INA, ministarstava i Vlade RH. Uključen je i Poslovno-inovacijski centar Hrvatske – BICRO.

1. Integralni informacijski sustav i sustav za kvalitetu [1] [2] [4]

Tržište maziva raznoliko je kao i primjena maziva; promjenljivo je u skladu s promjenama u tehnici i tehnologiji, te s propisima zaštite okoliša, a tržišna prisutnost jakih europskih i svjetskih kompanija zahtijeva pažljiv i uporan rad na postizanju i održavanju visoke kvalitete vlastitih proizvoda. Visoka kvaliteta i podobnost za korištenje nekog maziva na strojevima, motorima ili drugim uređajima nekog velikog proizvođača, a posebno proizvođača automobila, dokazuje se ispitivanjima i potvrđama (certifikatima) tog proizvođača, što se postiže uz velik trud i troškove. To je u Mazivima Zagreb učinjeno za sve važnije proizvode.



Sl.7 Izvješće stručnog tima za verifikaciju tehnološkog rješenja za integralni IS Rafinerije Zagreb, travanj 1992.

Viša razina pristupa osiguravanju kvalitete proizvoda i poslovanja je uvođenje ISO sustava. INA Maziva Zagreb su prva u INA-i i među prvim u Hrvatskoj uvela integrirani informacijski sustav svih poslovnih aktivnosti po BSPmetodi, preteći kasnijeg SAP-a. Aktivnosti na uvođenju ISO-sustava započete su 1992. u jeku ratnih zbivanja, a godine 1993. donesene su prve odluke za provedbu aktivnosti uvođenja sustava kvalitete po normi ISO 9001:1996., te je za taj sustav 1996. dobiven certifikat, kao prvi u INA-i i kao četvrta tvrtka u Hrvatskoj.

Brigom o razvoju sustava upravljanja i stalnim radom nadalje je postignuto:

- 1999. g. je uspostavljen i certificiran Sustav osiguranja zaštite okoliša po normi ISO 14001:1996.
- 2001. g. u primjeni je Sustav upravljanja zdravljem i sigurnošću po normi OHSAS 18001:1999. (certificiran je 2002. godine)
- 2002. g. certificiran je Sustav upravljanja kvalitetom po novom izdanju norme ISO 9001:2000.
- 2002. g. certificiran je Sustav upravljanja zdravljem i sigurnošću po normi OHSAS 18001:1999.
- 2005. g. recertificiran je Sustav upravljanja kvalitetom, zaštitom okoliša, zdravljem i sigurnošću.

Budući da su sustavi integrirani u jedan cjelovit poslovni sustav upravljanja, Maziva-Zagreb d.o.o. su postala jedna od rijetkih tvrtki koje imaju certifikate za sva tri sustava upravljanja integrirana u cjelovit poslovni sustav. Sredinom 90-ih Hrvatska je uspostavljala sustav za kvalitetu po načelima prihvaćenim u WTO i EU, te je Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo (DZNM) uspostavio kontakte sa INA-om i INA Mazivima Zagreb. Pokrenuto je sudjelovanje u radu Tehničkih odbora i prilagodba proizvoda hrvatskim normama, te priprema za certificiranja proizvoda i akreditaciju laboratorija.

2. Prilagodbe destilacijskog postrojenja [1] [2] [6]

Postrojenje kapaciteta 120 t/dan izgrađeno je i pušteno u rad 1973. godine za preradu naftenske nafte s nalazišta Križ, a u cilju dobivanja naftenskih baznih ulja kao komponente za proizvodnju industrijskih maziva. Po iscrpljenju ležišta s nalazišta Križ, a zbog nemogućnosti nabave naftenske nafte iz drugih izvora 1989. godine je, uz prilagodbu postrojenja, počela prerada parafinske nafte i to samo atmosferski dio, dok je vakuum sekcija destilacije obustavljena i konzervirana.

Početkom 90tih pokazala se potreba proizvodnje posebnog goriva za potrebe ratne mornarice, te su obavljene neke modifikacije na postrojenju, a dio destilata korišten je u energani Rafinerije Zagreb. Nakon što ratna proizvodnja nije više bila potrebna pogon destilacije, iako u dobrom fizičkom stanju, zatvoren je privremeno zbog ekonomskih razloga. Njegovom obustavom oslobođeni su i veliki rezervoarski prostori. Lokacija je tako izgubila tehnološku okosnicu.

Potražena su rješenja za korištenje prisutne opreme i energetske infrastrukture, kako bi se formirala nova okosnica lokacije. Razmatrano je područje specijalnih otapala. Neovisno o velikim promjenama koje su se dogodile na tržištu i u sustavu INA-e, potrebe tržišta opravdavaju bavljenje tim proizvodima, te se razmatralo nekoliko osnovnih proizvoda: ekstrakcijski benzin, testbenzin, whitespirit i aromatska otapala. Pored toga se može nabavom nekih otapala s kisikom, kao npr. butilglikoleter, i miješanjem dobiti potrebne smjese za specijalne potrošače. Potrošači otapala su: proizvodnja i korištenje boja i lakova, čišćenje, proizvodnja jestivih ulja, gumarstvo, proizvodnja ljepila, proizvodnja sredstava za zaštitu bilja, farmaceutska industrija.

Moguće je i dodatnim korištenjem neke opreme iz ostalih dijelova INE, osim blendinga raditi i manje doradne zahvate, korekcije raspona vrelišta i sl.. Obavljeni su razgovori sa Rafinerijom Rijeka (parafinski derivati), Rafinerijom Sisak (aromatski derivati) i Cosmochemiom Otočac (dorade i dalja prerada).

Projekt je dobivao formu i djelovao je izgledno, jer su akteri pokazivali interes za taj projekt. Promjenama u okruženju i unutar INA-e situacija se izmijenila: Rafinerija Rijeka zatvarala je lokaciju Mlaka i koncentrirala se na rješavanje Urinja, Rafinerija Sisak pod pritiskom promijenjenih stavova na razini INA-e odustala je od aktiviranja postrojenja za proizvodnju aromata, Naftaplin nije mogao osiguravati selektivno određene tipove nafte, a Cosmochemia Otočac našla se u procesu privatizacije. Rad na projektu proizvodnje specijalnih otapala u Mazivima Zagreb je morao biti obustavljen.

U svibnju 1998. u Mazivima Zagreb je nakon 25 godina rada, zbog nerentabilnosti obustavljen rad pogona prerade nafte. Preradu nafte je napuštena kada prihod od prodaje derivata nije pokrивao čak niti cijenu nafte ni dio troškova. Svi pokazatelji su ukazivali da je daljnja prerada nafte neopravdana, te da bi financijski rezultati počeli ugrožavati profitabilno poslovanje s mazivima i aditivima.

3. Plastificirani bitumeni za cestogradnju [1][2]

U Mazivima Zagreb je ranijih godina u više navrata razmatrana mogućnost uvođenja asortimana proizvoda na osnovu bitumena. Ideja nije realizirana iz tehnoloških i organizacijskih razloga, te radi nedovoljne dostupnosti znanja o toj proizvodnji. Početkom 90tih pojavile su se povoljne okolnosti u svim segmentima, koji su važni za realizaciju tog projekta, te je ta proizvodnja ponovno razmotrena. Uočeno je da tržište RH, Slovenije i BiH traži niz proizvoda na bazi bitumena, koji se po područjima primjene mogu svrstati na: proizvodi za cestogradnju, proizvodi za visokogradnju i proizvodi za zaštitu od korozije. Tvrtke, koje se bave tim proizvodnjama dijelom su se specijalizirale za pojedina područja primjene i za određenu tehnološku opremu, koja onda uvjetuje i asortiman. Neke od tih tvrtki nalaze se u teškoćama vezanim na promjenu vlasničke strukture i gubitak kvalificiranih kadrova, što je u nekim slučajevima dovelo do odustajanja od dijelova asortimana i tržišta. Pojavile su se nove tvrtke, koje su osnovali vodeći stručnjaci, koji su napustili tradicionalne proizvođače. Pojačane aktivnosti i planovi u cestogradnji i građevinarstvu Hrvatske i okolnih zemalja obećavale su dobar razvoj potrošnje bitumenskih proizvoda.

Preliminarno istraživanje tržišta i kruga proizvođača, te potencijalnih partnerskih tvrtki, uz procjenu stanja opreme u Mazivima Zagreb, dalo je moguću potencijalnu proizvodnju:

- bez većih ulaganja - bitumenske emulzije, cca 2500 t/god
- uz dodatno ulaganje - polimerni bitumen, cca 10 000 t/god.

Početna situacija je bila:

- INA je ključni proizvođač bitumena u RH, te su joj dostupni svi veći potrošači, koji trebaju i prerađeni bitumen.
- Konkurentski pritisak proizvođača bitumena iz Mađarske mogao bi dovesti do pada potrošnje bitumena i uvoza bitumenskih prerađevina radi slabosti domaćih proizvođača. Viša faza prerade u nekim područjima proizvoda stabilizira tržišnu poziciju INA-e.
- Na novootvorenim tržištima u zemljama bivše Jugoslavije INA ima bolje šanse uz kombinirani plasman oplemenjenog asortimana iz bitumena, a ne samo prodajom bitumena.
- Na lokaciji Maziva Zagreb prisutna je nedovoljno iskorištena oprema pogodna za tu proizvodnju.
- U Mazivima Zagreb je pojačana aktivnost na asortimanu proizvoda za zaštitu od korozije, koji obuhvaćaju i proizvode na osnovi bitumena.

- Maziva Zagreb mogu realizirati suradnju sa specijaliziranom tvrtkom, koja u odabranim područjima posjeduju potrebno znanje o proizvodnji, primjeni proizvoda i tržištu.

Razmotrene su prednosti i raspoloživi resursi koji su promotivni za realizaciju tog projekta. Kao ograničavajuća okolnost prvenstveno su se pokazale organizacijske promjene i nedorečenosti u pogledu razvoja na drugim proizvodnim lokacijama INA-e s obzirom na konkurentnost s drugim projektima i proizvodima. U usporedbi s nekim drugim diversifikacijskim projektima, proizvodi na osnovi bitumena označeni su kao projekti nižeg prioriteta u Mazivima Zagreb, te je do daljnjega rad na tim projektima privremeno obustavljen.

Projekt je postao ponovno zanimljiv, kada je planirana obustava pogona destilacije, te su njegovom obustavom oslobođeni i veliki rezervoarski prostori. U Mazivima Zagreb je 1999. godine ponovno razmatrana mogućnost uvođenja asortimana proizvoda na osnovu bitumena. Uspostavljeni su kontakti s tvrtkom Bitum doo iz Zagreba, koja je tražila mogućnost povezivanja s INA-om, kako bi osigurala dobavu sirovog bitumena, a raspolagala je s ekspertnim znanjem iz te proizvodnje. Proizvodnja polimernog bitumena obavljala bi se na lokaciji Maziva Zagreb. Vođeni su i razgovori s tvrtkom Shell, vodećim proizvođačem polimerne komponente. Projekt je morao biti obustavljen 2002. godine, kad je Rafinerija Rijeka objavila sklapanje ugovora sa Shell-om o zajedničkoj proizvodnji polimernog bitumena i osnivanju tvrtke Polybit doo u Rijeci. Projekt nije kasnije realiziran, a Polybit je otišao u stečaj.

4. Aditivi za poboljšanje izgaranja loživih ulja[1][2][7][11]

Procesi izgaranja u ložištima nepotpuni su i ovisni o kvaliteti loživog ulja, te se u dimnim plinovima pojavljuju čestice čađe, CO i SO₂. Pokazalo se ekološki ispravnim, a ekonomski isplativim, dodavanje katalizatora izgaranja, kojim se drastično smanjuju štetne emisije, štiti ložište i postiže bolja toplinska djelotvornost kotla. Poznato je da dobiveno poboljšanje energetske efikasnosti ložišta i druge uštede potpuno kompenziraju troškove aditiviranja. U RH se koncem 90tih ubrzalo izjednačavanje regulative o ograničenju emisija iz ložišta toplinskih trošila s onima koji se primjenjuju u Europi. Time je aditiviranje postalo ne samo sve interesantnije nego i nezaobilazno u postupku usklađivanja emisija iz ložišta, te pospješivanju izgaranja kako komercijalnih tako i otpadnih loživih ulja kod praktički svih, a naročito velikih potrošača. U HEP-u i u nekim dijelovima INA-e provedena su ispitivanja, koristili su se povremeno aditivi, ali nije bilo sustavnog pristupa tom problemu.

Rad na projektu pokrenut je 1998. godine, a 1999. godine Kolegij izvršnog direktora za preradu nafte i trgovinu INA-e odobrio je realizaciju ovog projekta. Na

nivou INA-e je za rad na ovom projektu formiran Stručni tim u sastavu: dr. Marijan Andrašec, mr. Ivica Bilege (voditelj), mr. Ivan Medarac, Eduard Šikić.

Naglašeno je da za razvoj proizvodnje aditiva za loživa ulja Maziva Zagreb imaju prednosti i resurse:

- na lokaciji Maziva Zagreb obustavljena je nerentabilna prerada nafte te je ostalo dosta neiskorištene procesne i manipulativne opreme
- INA je ključni proizvođač loživih ulja u Republici Hrvatskoj, te su joj dostupni svi veći potrošači kao i prodajna mreža za loživa ulja
- INA je i sama veliki potrošač loživih ulja s objektivnom potrebom optimiranja rada svojih energetske i procesne postrojenja
- Maziva Zagreb su pokrenula skupljanje rabljenih ulja i mineralnih emulzija koje se spaljuju u kotlovnica primješavanjem loživim uljima. Ta količina je ograničena energetskim potrebama i karakteristikama instaliranih ložišta, pa je svrsishodno i te jedinice tehnički i ekonomski optimirati
- Maziva Zagreb imaju u različitim područjima proizvodnje dugogodišnju suradnju s inozemnim tvrtkama koje su ujedno i renomirani proizvođači energetskih aditiva, a za koje posjeduju i jedinstvena rješenja. Tu suradnju je relativno lako proširiti i na aditive za loživa ulja.

Stručni tim je organizirao provedbu pokusnog aditiviranja na ložištu u Mazivima Zagreb uspoređujući aditive različitih proizvođača. Tvrtka Lega doo iz Zagreba provela je analizu podataka i provela kompjutorsku simulaciju procesa, te dala preporuke za dalji rad, a posebno za ostvarivanje referentnog ložišta za prijenos rezultata ispitivanja na druga ložišta kod potrošača.

Glasnik Zagreb, 27. lipnja 2004.

Maziva

Aditiv TEKOINA u asortimanu Maziva-Zagreb d.o.o.

Novi ekološki proizvod

* Termoelektrična postrojenja i trošila su najveći potrošači goriva i istodobno najveći izvor zagađenja životne sredine produktima sagorjevanja, pa se stoga aditiviranjem goriva nastoje smanjiti onečišćenja, a smanjenom potrošnjom goriva smanjiti trošak energije. Pored toga smanjuju se troškovi održavanja i produžuje vijek toplinskog trošila

Trošilo prve vrste koje je proizvedeno u Mazivima Zagreb d.o.o. prvi put je na tržištu. TEKOINA, TEKOINA je visokomolekularni aditiv koji dodaje kao dodatni resurs, a smanjuje je potrošnju i trošak goriva. TEKOINA, kao i drugi proizvodi, proizvodi se u skladu s potrebama tržišta. Maziva

*Vesna JAKOVAC
Ivana JAKOVAC*

Sl. 9 Vesna Jakovac, Aditiv TEKOINA u asortimanu Maziva Zagreb doo Novi ekološki proizvod; INA Glasnik, br.27, lipanj 2004.

Projekt je doveden do realizacije 2004. godine, kada je uspostavljena proizvodnja u suradnji s inozemnim proizvođačem.

5. Proizvodi za tehnička/industrijska čišćenja [1][2][5][15][17]

Rafinerija Zagreb je od početka preko svojih maziva bila usko povezana s tržištem metaloprerađivačke industrije, koja je svojim razvojem i promjenama u okruženju mijenjala zahtjeve za proizvode. Proizvodi za tehnička/industrijska čišćenja kao neophodna sredstva nametnuli su se odmah na početku 90tih. Situaciju dobro opisuje tekst sa savjetovanja u Opatiji 1994. godine [17]; citat:

„Industrijska čišćenja su sastavni dio proizvodnih postupaka, faktor sigurnosti u radu i pouzdanosti funkcioniranja postrojenja, očuvanja njegove vrijednosti, kao i osiguranja kvalitete proizvoda. Raznolikost kombinacije parametara “nepoželjna tvar - podloga - radne okolnosti - metode rada”, postavlja zahtjeve na moderna sredstva za industrijska čišćenja, ispunjenje kojih do pred nekoliko godina nije bilo zamislivo. Dodatno su zahtjevi vezani uz zaštitu na radu i zaštitu okoliša doveli do razvoja generacije proizvoda, koji uz pasivna svojstva, zadovoljavanja svih zabrana, preuzimaju aktivnu ulogu u smanjivanju otpada i olakšavanju njegovog zbrinjavanja. Od modernog sredstva za industrijska čišćenja se očekuju da svojom upotrebom ne opterećuje okoliš, nego da doprinosi rješavanju problema onečišćenja otpadnih voda i izdvajanja otpada. Budući razvoj sredstava za industrijska čišćenja biti će u velikoj mjeri pod utjecajem zakonodavstva o zaštiti okoliša. Očekuje se pojava nove generacije proizvoda prilagođenih potrebama tehnologija za reciklažu otpadnih materijala. U radu se iznose tehnički podaci i primjeri iz primjene, te relacije u odnosu na zakonodavstvo.“

Rad na stvaranju asortimana započeo je već 1991. godine. Tijekom postupnog uvođenja ovih proizvoda identificirani su tržišni zahtjevi, te promjene na tržištu, koje su zahtijevale prilagodbu asortimana po kvaliteti proizvoda i po strukturi asortimana. Velik broj mogućih situacija i zahtjeva rješavan je u suradnji s tvrtkom Lang Chemie GmbH iz Beča, što je omogućavalo brz ulazak u tu proizvodnju, a posebno ovladavanje primjenskim znanjem za rješavanje zahtjeva kupaca.

Nekoliko informacija, koje karakteriziraju industrijska čišćenja:

- Svrha industrijskog čišćenja je: osiguravanje funkcionalnosti sredstava za rad, održavanje higijenskih standarda, osiguravanje sigurnosti na radnom mjestu, poboljšanje izgleda objekta/predmeta, osiguranje kvalitete proizvoda.
- Ponekad je čišćenje dio radnog procesa, kao npr. u metaloprerađivačkoj industriji, kod pripreme površine metala odmašćivanjem za dalje proi-

zvodne korake.

- U procesu tehničkog čišćenja učestvuju svojom raznolikosti: površina koju se čisti, onečišćenje, sredstvo za čišćenje, oprema za čišćenje, ljudski rad.
- Uspjeh čišćenja značajno ovisi o izboru i međusobnoj usklađenosti sljedeća četiri faktora:
mehanički rad - kemijsko djelovanje - temperatura - vrijeme.

Od samog početka Rafinerija Zagreb je sudjelovala na stručnim skupovima predstavljajući svoj program i educirajući korisnike o toj temi.



Sl. 10 Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje “Energetska i procesna postrojenja”, Dubrovnik 25-27.05.1994., <https://emdigital.ege.hr/demo/p11>, 18. 04. 2025.

Najvažnija promjena koja se dogodila u tom radnom području je supstitucija proizvoda na osnovi otapala s proizvodima na vodenoj osnovi, te je time potpuno promijenjena dotadašnja praksa u industriji i prometu.

INA **RAFINERIJA ZAGREB I POLIMERI** 16.102 / 5. listopada 1996. **19**

INA-Rafinerija Zagreb

Solveni uspješno čiste

• INA-solveni su potvrđeni kao visokokvalitetna sredstva za tehničko čišćenje • Uporabom solvena Hrvatske su željeznice samo u godinu dana uštedjele oko dva milijuna DEM

Sl. 11 INA Glasnik, br. 1612, 03. listopada 1996.

Najveću pomoć u rješavanju svojih postupaka u radu dobile su Hrvatske željeznice, koje su time postigle i veliku uštedu u radu i efikasnije djelovanje. Iskustva usvojena kod HŽ-u primijenjena su i kod rumunjskih željeznica, koje su oko deset puta veće od hrvatskih, a imale su daleko nepovoljniju situaciju u postupcima održavanja vozila.

Uspješnost na tržištu bila je promjenljiva, prije svega radi neuređenih odnosa i rasprostranjene korupcije u nabavnim službama, posebno poduzeća u državnom vlasništvu. Asortiman je ipak formiran i održao se na tržištu. U katalogu Maziva Zagreb iz 2011. godine [17] prezentira se asortiman proizvoda za tajnička čišćenja: INA Solven RAO 10, INA Solven RAO 11, INA Solven ELO 10, INA Solven RAV 10, INA Solven RAV 11, INA Solven RAV 13, INA Solven RAV 14, INA Solven TPV 10, INA Solven TPV 12.

Proizvodi svojim primjenskim svojstvima omogućuju rješavanje u širokom rasponu od npr. željeznice, zgradarstva i metalurgije do elektronske i elektro-industrije.

6. Projekt povezivanja malotonažnih proizvodnji („tercijara“) u sustavu INA-e [1][2][8]

Unutar pojedinih pogona i poduzeća u INA-i nastale su malotonažne proizvodnje (MTP) sredstava za industriju i za široku potrošnju, koje su izvan osnovnog asortimana na tim lokacijama. Razlozi njihovog osnutka su specifični za pojedine lokacije, ali se uglavnom svode na korištenje prisutnog kadra i opreme, te zapošljavanje invalida. U nekim slučajevima poticaj je bila i potreba za diverzifikacijom osnovnog

asortimana. Takove proizvodnje su prisutne u Rafineriji nafte Sisak, Petrokemiji Kutina i Rafineriji Zagreb. U odnosu na osnovne proizvodnje na tim lokacijama, MTP pokazuju značajne tehnološke, marketinške i razvojne razlike, koje su karakteristične za takove proizvodnje, organizacijska pozicija unutar sustava bila je različita. Njihovi proizvodi pokazali su se kvalitetnim, a tržište ih je prihvatilo. Maziva Zagreb su 1992. započela pojedinačne razgovore o mogućoj suradnji sa voditeljima tih proizvodnji tražeći moguće sinergijsko djelovanje u sustavu INA-e.

U periodu 1991. - 1994. predsjednik Upravnog odbora INA-e bio je Slavko Degoricija, koji je rodom iz Kompolja kraj Otočca, te ga je tadašnji direktor Cosmochemie Ivan Bakarić zamolio za pomoć; INA je tada već bila većinski vlasnik Cosmochemie kao i nekih drugih tvrtki u ratnom periodu. Iz Maziva Zagreb pružana je pomoć tvornici Cosmochemia u Otočcu, koja je bila unutar ratnog područja., a po svojim karakteristikama ulazi u krug spomenutih proizvodnji unutar INA-e. Cosmochemia je uspjela održati proizvodnju kroz cijelo razdoblje rata unatoč granatiranju i oštećenjima:

HINA (1992)

„OTOČAC, 1. siječnja (Hina) - U Otočcu jutros odjekuju eksplozije granata dalekometnih topova upućenih iz terorističkih uporišta u Zalužnici i Vrhovinama. Zbog dvije zračne uzbune Otočani su novogodišnju noć proveli u skloništima. Oko 22 sata zrakoplovi su najprije raketama osvijetlili a potom i raketirali Tvornicu kemijsko-kozmetičkih proizvoda “Cosmochemia” te više obiteljskih kuća. Šteta je velika, ali nitko nije ranjen. 133. otočka brigada i Senjski bataljun III. riječke brigade predvečer su oslobodili jaka četnička uporišta Glavace i Podum. U tim je borbama zarobljeno nekoliko neprijateljskih vojnika, tri tenka, jedan transporter i veće količine streljiva. Kako se saznaje iz Zapovjedništva 133. brigade, u tim je borbama ranjeno šest hrvatskih vojnika. (Hina) zk 010957 MET jan 92“

HINA (1993)

„ININO IZASLANSTVO U OTOČKOJ COSMOSCHEMIJI

21.10.1993. · 18:32

OTOČAC, 21. listopada (Hina) - Predsjednik saborskog Odbora za obnovu i razvoj i predsjednik Inina Upravnog odbora Slavko Degoricija, glavni direktor INA-e dr. Franjo Gregurić sa suradnicima posjetili su Cosmochemiju, tvornicu kemijsko-kozmetičkih proizvoda u Otočcu. U pratnji su bili ličko-senjski župan Ante Frković s dožupanima, inženjerom Milanom Jurkovićem i dr. Draženom Jurkovićem, te čelnici općine Otočac. U tvornici, koje je većinski vlasnik zagrebačka INA, razgovaralo se o proizvodnji svijeća i iskorištenju svih pogona, o proizvodnji kemijskih proizvoda i opremi nakon ratnih razaranja. Ratne štete u Cosmochemii dosežu milijun i dvjestu tisuća njemačkih maraka. Tvornica je paljena i bombardi-

rana, ali je ipak cijelo vrijeme rata kao i danas radila i proizvodila. Kako je danas INA većinski vlasnik Cosmochemie, Consulting INA će pripomoći razvoju pogona koji su u dobrom stanju, ali će se, kako je rečeno, Cosmochemia morati uklopiti i uključiti u pravila ponašanja matičnog poduzeća, INA-e. (Hina) mn 211732 MET oct 93“

U Otočac se u periodu 1992. – 1994. često odlazilo kroz ratno područje s odmorom u Brinju – restoran Santana, prepun vojske, civila nigdje cijelim putem. Direktor Cosmochemie bi se pri dolasku ispričavao radi neidealnih sanitarnih uvjeta „jer su granate padale i na sanitarni čvor“.

Glavni direktori Proizvodnih lokacija Sisak, Kutina i Zagreb inicirali su formiranje zajedničkog rada na analizi stanja tih malotonažnih proizvodnji, te na formiranju prijedloga poslovne suradnje, sustava poslovanja i razvoja. Upravni odbor INA-e je donio odluku o projektu osnivanja posebnog Sektora malotonažne proizvodnje, kolokvijalno „Tercijara“ i povezivanje s INA Mazivima Zagreb. Za voditelja projekta imenovan je Marijan Andrašec.

Pojedine proizvodne lokacije vodili su:

Rafinerija Sisak – Služba za razvoj male proizvodnje	Branko Holcer
TUG Kutina – Sektor sekundarne proizvodnje,	Marijan Sudec
Cosmochemia -Otočac	Ivan Bakarić

Do kraja 1993. intenzivno se radilo na pripremama za osnivanje, kako je tada nazvano, Sektora specijalnih kemijskih proizvoda. Proizvodni programi MPT, te razvojna nastojanja tih četiriju proizvodnih lokacija, obuhvaćaju slijedeće grupe proizvoda:

- Tekuća i kruta gnojiva u malim pakovanjima i/ili posebnoj kvaliteti,
- Kiseline i drugi nusproizvodi iz proizvodnje gnojiva u malim pakovanjima i/ili posebnoj kvaliteti,
- Sredstva za čišćenje i njegu automobila, te za domaćinstva i zanatstvo u formi aerosola,
- Aditivi za motorna goriva i energetiku,
- Specijalna otapala aromatskog i nearomatskog tipa,
- Sredstva za tehnička čišćenja u industriji i zanatstvu,
- Pomoćna sredstva za umjetna gnojiva,
- Sredstva za odleđivanje i protiv zamrzavanja,
- Pomoćna sredstva za pridobivanje i transport nafte i plina,

- Sredstva za čišćenje i njegu u domaćinstvima, ugostiteljstvu i sanitetu.
- Parafinske svijeće, te drugi proizvodi na bazi parafina i voskova,
- Tehničke emulzije.

Ukupni asortiman MTP obuhvaća osamdesetak proizvoda, u ukupnoj količini od cca 8.000 t/g, što je značajno ispod mogućnosti, a uvjetovano je prisutnim tržišnim i drugim okolnostima u tom vremenu.

MTP su na pojedinim lokacijama infrastrukturno povezao s matičnim proizvodnjama, često raspolažu sa kvalitetnom opremom, te tehnološki mogu raditi kao zaokružene cjeline. Osnovni problemi poslovanja i razvoja proizlaze iz strukture “ve-like INA-e”, koja ne prepoznaje posebnosti i potrebe MTP, te nema tržišnu i razvojnu pokretljivost, koja je osnovni preduvjet rada i opstanka MTP.

Zajednički interesi unutar MPT očituju se prvenstveno na slijedećem:

- Razvoj i uvođenje novih proizvoda,
- Marketinški poslovi,
- Maloprodajni specijalizirani punktovi,
- Razmjena proizvoda i sirovina,
- Poslovi primjene proizvoda,
- Suradnja sa vanjskim partnerima.

Rafinerija Zagreb je u dijelu proizvodnje industrijskih pomoćnih sredstava razvila suradnju sa firmom Lang Chemie Austrija, te preuzima dio asortimana za tehnička čišćenja. Radi se o modernim proizvodima visoke kvalitete i ekološke podobnosti, kakovi se u Hrvatskoj ne proizvode. Širina asortimana navedene firme daje mogućnost ulaska i u druga područja za koja Rafinerija Zagreb nema interesa, a koja su od interesa za Rafineriju nafte Sisak, Petrokemiju Kutina i Cosmochemiu. Sve proizvodnje oslanjale bi se u tom slučaju na zajednički asortiman, koristeći sirovine iz INA-e u kombinaciji sa uvoznima, iz suradnje sa stranim partnerima. Prednost takvog povezivanja je u mogućnosti brzog usvajanja kvalitetnih proizvoda, za koje bi inače bio potreban dugogodišnji istraživački rad. U daljim fazama planira se vlastiti razvoj novih proizvoda. Predviđena suradnja obuhvaća oko pedeset proizvoda.

Uprava INA-e je MTP tada smatrala kvalitetnom i za INA-Grupu važnom diverzifikacijskom aktivnošću. Tijekom 1994. godine došlo je do promjena u upravnoj strukturi INA-e, i u drugim dijelovima INA-e, te su stavovi o ovom projektu izmijenjeni. Do kraja godine aktivnosti na projektu su zamrle, a Cosmochemia je uskoro ušla u proces privatizacije i izašla iz dogovora.

Nastavljeni su razgovori s Rafinerijom Sisak, koji su u kasnijoj fazi doveli do preuzimanja proizvodnog programa od strane Maziva Zagreb.

7. Proizvodnja biodizela [1][2][9][10][12][13]

Koncem 90tih pojavila se potreba bavljenja proizvodnjom i primjenom biodizelskog goriva prije svega proizvedenog esterifikacijom s metanolom iz uljane repice. Uz odgovarajuće aditiviranje nastaje gorivo, koje ima svojstva potpuno usporediva s dizelskim gorivom iz nafte. Proizvod ima prednost u niskim emisijama štetnih tvari, biorazgradiv je, a time je povoljan za korištenje na ekološki osjetljivim lokacijama. U koncentraciji iznad 5% u dizelskom gorivu poboljšava mazivost goriva, a u koncentraciji iznad 20% poboljšava emisije štetnih tvari. Proizvodnjom metilnog estera nastaje kao nusproizvod glicerol, koji se koristi u farmaceutskoj industriji, ako ga se lokalno ne koristi za neku drugu proizvodnju. U novije vrijeme dio sirovine za proizvodnju biodizela osigurava se iz skupljanja otpadnih biljnih ulja iz ugostiteljstva, pa i iz domaćinstava.

U Strategiji razvoja do 2007. godine INA Maziva Zagreb predviđela je projekt izgradnje postrojenja za proizvodnju biodizela, uz osnovne konstatacije o projektu:

- Biodizel je gorivo, koje ima svoje mjesto u energetici i sigurno će se pojaviti i u Hrvatskoj. Bilo bi besmisleno uvoziti ga.
- Hrvatska ima potrebu za projektima, kojim se poljoprivreda bolje koristi i za industrijske biljke, te se taj projekt dobro uklapa. Može se dobiti podrška poljoprivrede na tom projektu.
- INA Maziva Zagreb imaju slobodnu opremu, kojom se takva investicija može realizirati uz velike uštede.
- INA Maziva Zagreb time dobiva poticaj u tehničkom korištenju poljoprivrednih sirovina, što ima značajan razvojni potencijal.
- Projekt se uklapa u strategiju razvoja na toj lokaciji, a dobar je odnosu na tržište.

Projekt je podržan na razini INA-e te je zaključeno da je INA je u svakom slučaju zainteresirana za proizvodnju metilnog estera repičinog ulja, te za proizvodnju komercijalnog goriva kao smjese mineralnog dizela i biljnog estera, kao i za distribuciju tog goriva. Proizvodno postrojenje za esterifikaciju u slučaju realizacije bilo bi na lokaciji Maziva Zagreb. Početni predviđeni kapacitet je u prvoj fazi oko 5000 t/god., a kasnije oko 40000 t/god.. Poseban interes INA-e okrenut je mogućem korištenju estera repičinog ulja kao aditiva za poboljšanje mazivosti niskosumpornih dizela. Na nivou

INA-e formirana je radna grupa za pripremu realizacije tog projekta. Za voditelja projekta imenovan je Marijan Andrašec.

Maziva Zagreb povezala su se sa Poslovno-inovacijskim centrom Hrvatske – BICRO, koji je za Vladu Hrvatske pripremio izvještaj o stanju projekta i prijedlog za dalje aktivnosti. U izvještaju BICRO detaljno opisuje stanje projekta, postignute odnose, aktere u projektu i prijedloge za dalje postupanje.

Citat iz Izvještaja BICRO:

„Hrvatska je pokrenula realizaciju proizvodnje biodizelskog goriva očekujući ekonomske, socijalne i ekološke efekte po uzoru na druge europske zemlje, a prije svega relevantan utjecaj na korištenje poljoprivrednih površina, na zapošljavanje i na izvoz.

Vlada RH donijela je odluku o pripremi i realizaciji proizvodnje biodizelskog goriva u Hrvatskoj kao nastavak programa korištenja obnovljivih energenata BIOEN, te je formirana Radna skupina za pripremu projekta uz učešće četiri ministarstva, Sabora RH, Energetskog instituta ‘Hrvoje Požar’ i INA-e. Pored toga su isti sudionici potpisali Sporazum o podupiranju realizacije projekta.

INA je kao jedini gospodarski potpisnik tog Sporazuma istakla interes za taj projekt radi mogućeg korištenja svojeg intelektualnog kapitala, radi korištenja prisutne slobodne opreme i infrastrukture, radi mogućeg korištenju estera repičinog ulja kao komponente za poboljšanje primjenskih i ekoloških karakteristika mineralnih dizelskih goriva, te radi unapređivanja imaga tvrtke.

Projekt proizvodnje biodizelskog goriva pokazuje sve više karakteristike velikog regionalnog projekta koji se može realizirati isključivo u sprezi šireg međunarodnog kruga gospodarskih subjekata. Okrenut je sve više europskom tržištu i izvorima sirovina, uz korištenje lokalnih resursa u mogućem opsegu, te je tako postao širi regionalni projekt. Konzultacije sa tvrtkama u Hrvatskoj pokazale su da je moguće okupiti gospodarski krug za taj projekt. Investicijski fondovi iz EU, te pojedine velike proizvodne i financijske europske tvrtke pokazuju interes za ovaj projekt (Daimler Chrysler Services, Saarberg AG i dr.), tako da se sredstva za realizaciju samo jednim dijelom moraju osigurati od članova buduće alijance u Hrvatskoj“, konac citata.

Rad na projektu proizvodnje biodizelskog goriva u Hrvatskoj odvijao se kroz sljedeće organizacijske oblike:

Radni tim Maziva Zagreb d.o.o.

Radni tim u okviru Sektora strateškog razvoja i istraživanja-INA d.d.

Radna skupina Ministarstva poljoprivrede i šumarstva.

Poslovno-inovacijski centar Hrvatske – BICRO d.o.o.

Prioritetne aktivnosti koje uvjetuju daljnji razvoj projekta (iz Izvještaja BICRO):

- Utvrđivanje mandata BICRO-u od strane Vlade Republike Hrvatske za pripremu realizacije projekta prema prethodno izloženom modelu.
- Definiranje načina zaštite javnog interesa u realizaciji projekta.
- Ostvarivanje načelnih dogovora sa (do sada) identificiranim potencijalnim strateškim partnerima (domaći partneri: INA d.d. Zagreb, IPK Osijek, ABN Zagreb, Chromos A-gro Zagreb, RWA Agro Zagreb, Herbos Sisak, Petrokemija Kutina, Agrokor d.d. Zagreb, te drugi; inozemni partneri: Daimler Chrysler Services GmbH, Saarberg Bioenergije GmbH, te drugi).
- Pisma namjere odnosno okvirni ugovori između strateških partnera.
- Analiza lokacija za smještaj postrojenja u proizvodnom nizu (Zagreb, Sisak, Slavonski Brod, Čepin, Grubišno Polje, Čakovec i dr.).
- Projektiranje poslovnog sustava i izrada studije izvodljivosti na razini ukupnog lanca vrijednosti (proizvodnja repice, proizvodnja ulja, proizvodnja stočne hrane, proizvodnja metilnog estera, proizvodnja motornih goriva), odnosno sustava poslovne i transportne logistike s osloncem na riječne tokove.
- Odluke kojima se ostvaruje zaštita javnog interesa, kao komponenta u razvoju poslovnog sustava.
- Institucionalizacija interesnog kruga strateških partnera.

Prijedloge i dogovore ostvarene do 2002. godine nisu popratile aktivnosti i odluke na razini institucija, prije svega iz kruga poljoprivrede, gdje se i dalje nastojalo progurati model realizacije kroz niz manjih regionalno postavljenih postrojenja, a za koje je već bila dokazana nerentabilnost.

Vlada RH je zatražila pomoć od UNIDO-a, te je formiran tim za izradu Studije podobnosti za uvođenje proizvodnje biodizela u Hrvatsku. Studija je završena 2006. godine s preporukama za realizaciju, koje su bile skoro identične rezultatima iz rada [9] i Izvještaja BICRO iz 2002. godine [9].

Promjene, koje su se tih godina dogodile na razini Vlade RH, ministarstava, BICRO i INA-e potpuno su onemogućile realizaciju postavljenih zadataka i ciljeva, te je rad na projektu praktički prestao, a INA je bila dalje nezainteresirana za realizaciju projekta. U međuvremenu su se promijenile opće okolnosti u tematskom području biodizela: sirovinska osnova, stavovi automobilske industrije u EU, norme i propisi, tržišne okolnosti poljoprivredni ciljevi i odnosi i dr.



PROMOTION OF BIODIESEL PRODUCTION
XP/CRO/03/022
CROATIA

BIODIESEL PRODUCTION PROMOTION
COUNTRYWIDE FEASIBILITY STUDY
FOR A POTENTIAL CROATIAN
BIODIESEL INDUSTRY

Final Technical Report
Prepared for the Government of Croatia
By the United Nations Industrial Development Organization

Project manager: Dr Fatim Ali Mohamed

National project coordinator: Dr Julije Domac

Contributing authors and institutions:



EIHP

Energy Institute Hrvoje Požar
 Velimir Šegon, M.Sc.
 Dr Julije Domac
 Biljana Kulisić, M.Sc.

***BICRO d.o.o.**



Business Innovation Center of Croatia
Faculty of Food Technology and Biotechnology University of Zagreb

Prof dr Branko Tripalo
 Marenka Radoš
 Vlatka Mrkić, M.Sc.

Dr Marijan Andrašec
 Marko Ukrainczyk
 Mladen Brnčić, M.Sc.



Faculty of Agriculture University of Zagreb

Prof dr Tajana Krička
 Neven Voća, M. Sc.
 Prof dr Frane Tomić

Dr Željko Jukić
 Dr Darko Kiš



UNIDO ITPO Italy
 Dr Marco Nardini



Austrian Biofuels Institute
 Dr Werner Koerbitz

Vienna, May 2006

Sl. Biodizel Production Promotion, Final Technical Report, 113 pg., UNIDO, Vienna, May 2006

Projekt proizvodnje biodizela je zanimljiv primjer utjecaja promjena gospodarstvenih, političkih i zakonskih okolnosti u kratkom vremenskom razdoblju, a kojima se situacija mijenja od euforičnog početka, preko složenih odnosa do neprovedivosti projekta. Treba naglasiti da su svi tehnološki problemi bili praktički davno riješeni, jer je postupak proizvodnje biodizela (estera biljnih ulja) star stotinjak godina.

8. Proizvodi za pridobivanje i preradu nafte i plina [2] [6] [8] [15] [17]

Rafinerija Zagreb je već u periodu prije 90tih ocijenila da, s obzirom na lokaciju, infrastrukturu, tehnologiju i stručna znanja, postoje optimalni uvjeti da Maziva postanu atraktivnim centrom malotonažne proizvodnje u INA-i. Unutar sustava INA-e, Rafinerija Rijeka, Rafinerija Sisak, INA Naftaplin i INA Petrokemija Kutina, koriste razna pomoćna sredstva u procesu proizvodnje kao dodatke za podešavanje svojstava proizvoda. Radi se o velikim količinama specijalnih kemijskih proizvoda visoke vrijednosti, koje INA kupuje od specijaliziranih inozemnih proizvođača. Bavljenje tom proizvodnjom podrazumijeva ulazak u kemijsku proizvodnju, za razliku od proizvodnje smjesa, dominantne kod maziva i srodnih proizvoda. Karakteristika takve proizvodnje je visok udio znanja, specijaliziranost, dobra laboratorijska i pogonska opremljenost i dugotrajan istraživački rad u tvornici i kod korisnika, što podrazumijeva i viša ulaganja, nego kod tehnologije smjesa. Fleksibilnost u promjeni pravaca rada je mala, te su promašaji u strateškim odlukama skupi. Rafinerija Zagreb se već sredinom 80ih odlučila za razvoj proizvodnje polimernih aditiva za maziva, te je 1987. pušteno u rad postrojenje za proizvodnju aditiva no osnovi polimetakrilata za poboljšanje viskozimetrijskih svojstava mazivih ulja pod nazivom INA-Viskokril. Polimerni su aditivi visokovrijedni proizvodi koji se dodaju motornim i ostalim uljima, jer poboljšavaju njihova reološka svojstva, odnosno poboljšavaju indeks viskoznosti, a ujedno su i depresori točke tečenja u mineralnom ulju. Proizvod je našao svoju primjenu u Mazivima Zagreb i Rafineriji Rijeka, a ima svoje tržište i u inozemstvu unatoč jakoj konkurenciji inozemnih proizvođača aditiva. U periodu do 2000. godine proizvedeno je preko 26.000 tona, od čega je 3.500 tona izvezeno. Povezivanjem unutar INA-e i prema akademskoj zajednici formiran je krug istraživača na toj temi s respektabilnim potencijalom: Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju Tehnološkog fakulteta u Zagreba, Razvoj i istraživanje INE, Razvoj i istraživanje u Rafineriji Zagreb, Proizvodni tim u Mazivima Zagreb i Proizvodni tim u Rafineriji Rijeka. Nastavljeno je istraživanje u smislu poboljšavanja proizvoda, prilagodbe za nove primjene i unapređivanje postupka proizvodnje, te je u studenom 1998. usvojen nov postupak proizvodnje aditiva na bazi tekućeg inicijatora, umjesto praškastog, koji je štetan za ljude i okoliš. Novim su postupkom dobiveni kvalitetniji proizvodi i niže cijene, a glede viskoznosti, smične stabilnosti i ostatnog monomera, proizvodi su bez mirisa i bolje iskoristivosti, ekološki povoljniji uz povećanu mogućnost kontrole reakcije, odnosno molekularne mase.

U Mazivima Zagreb tim postupkom proizvodi se nekoliko tipova aditiva: INA-Viskokril 100, INA-Viskokril 100NP, INA-Viskokril 100M i INAViskokril 101. Primjena tih aditiva proširena je na poboljšanje svojstava tečenja plinskog kondenzata na Naftaplinovom polju Molve razvojem proizvoda INA Viskokril APK 100.

Znanje stečeno u proizvodnji aditiva za maziva ulja na bazi polimetakrilata i instalirana oprema primjenljivo je i na srodne polimerne aditive na osnovi modificiranih akrilata i za druge namjene izvan područja maziva, pa se u tom segmentu krije značajan razvojni potencijal, te stoga Maziva Zagreb to vide kao jedan od svojih razvojnih prioriteta.

Zaključno

Tvrtka Maziva Zagreb u svojoj je prošlosti, a posebno iza 1990te prošla kroz mnoga iskušenja i transformacije, rješavajući zahtjevne zadatke. Upornim i predanim radom, te dobrim vođenjem ostvarila je mnoge zacrtane projekte, neki dobro zamišljeni i pripremljeni za ostvarenje zaustavljeni su u uslijed turbulentnog okruženja. Osnovna zamisao iz početka 90tih o da Maziva postanu atraktivnim centrom malotonažne proizvodnje u INA-i zapravo je ostvarena preuzimanjem proizvodnje motornih ulja od Rafinerije Rijeka i pripojenjem malotonažne, tzv. tercijarne proizvodnje, iz INA-Rafinerije nafte Sisak.

Unatoč opasnosti od zatvaranja proizvodnje nakon promjene vlasničke strukture u INA-i, zadržana je tržišna pozicija i postignut napredak.

Literatura – izvori informacija

- [1] Marijan Andrašec, dnevnički zapisi i bilješke sa sastanaka 1990 - 2005
- [2] Arhiva Maziva doo, Radnička cesta 175, Zagreb
- [3] Poduzeća u vlasništvu INE, studija, Služba pravnih poslova INA-e, lipanj 1993.
- [4] Miroslav Sakač, Kvaliteta kao strateška odluka, intervju, *info-TREND*, srpanj 1994, br.24
- [5] Marijan Andrašec, Gabriele Kaes, Industrijska čišćenja – sadašnje stanje i buduću razvoj, Suvremeni pristup u eksploataciji i održavanju osnovnih sredstava, stručni skup, Opatija, 3. i 4. studenog 1994.
- [6] Vesna Jakovac, Perspektivni programi umjesto nerentabilnog pogona, *INA Glasnik*, br.1685, 26. 05. 1998.
- [7] Efekti testiranja aditiva pri sagorijevanju loživih ulja u industrijskom trošilu KI u INA- Mazivima Zagreb, elaborat, Lega doo, Zagreb, lipanj 2001
- [8] Miroslav Sakač, Inino znanje, tehnologija i proizvodnja, *INA-Glasnik*, br. 1754, 24. 04. 2001.
- [9] Marijan Andrašec, Gospodarstvo proizvodnog lanca biodizelskog goriva, *Goriva i maziva*, (41)6, str. 363-381, 2002.
- [10] Davor Salamon, Realizacija projekta proizvodnje biodizelskog goriva u Hrvatskoj – Sažeti prikaz stanja projekta i prioriternih aktivnosti, (tekst za informiranje ministarstava i Vlade RH), Poslovno-inovacijski centar Hrvatske – BICRO, 04. studeni 2002.
- [11] Vesna Jakovac, Aditiv TEKOLINA u asortimanu Maziva Zagreb doo - Novi ekološki proizvod; *INA Glasnik*, br.27, lipanj 2004.
- [12] Marijan Andrašec, Miroslav Sakač, Ranko Dubenik, Biodizelsko gorivo u Hrvatskoj – tehnološka i poslovna koncepcija, *Goriva i maziva*, (44)3 str.181-193, 2005.
- [13] Biodiesel Production Promotion Countrywide Feasibility Study for a Potential Croatian Biodiesel Industry, Final Technical Report, Prepared for the Government of Croatia by the United Nations Industrial Development Organization – UNIDO, Vienna, May 2006
- [14] INA Rafinerija Zagreb, 1927–1987, *Šest desetljeća razvoja*, monografija, 1987. izdavač INA d d
- [15] I. Legiša, A. Meleš, V. Krišković, Razvoj industrije maziva u Zagrebu – Prvih 35 godina, *Glasnik AMACIZ*, (16) str. 1-7, svibanj 1997.
- [16] Vesna Jakovac, 80. Obljetnica Maziva - Zagreb d.o.o., *Goriva i maziva*, (46)6, 509-512, 2007.
- [17] *Maziva-katalog proizvoda*, rujan 2011., izdavač Maziva Zagreb doo

Marijan Andrašec

STRATEGIC PROJECTS OF THE INA RAFINERY ZAGREB IN THE 1991-2005 PERIOD

Summary: In the period from 1990 to 2005, INA Refinery Zagreb went through organizational, technological and market changes. Despite working in wartime conditions, new products were developed, strategic projects were designed, and new markets were researched. In addition, it carried out tasks related to wartime production and supported some factories located in war zones and found solutions for the future of these companies.

Changes in the size of the market, market structure, raw material base, and legal framework, along with an objectively “too large” location and infrastructure that was becoming unsuitable for existing production, forced INA Lubricants Zagreb to work intensively on searching for new ideas and life-saving strategic projects. Throughout the war and post-war period, high-quality projects were created, and many were brought to a high level of preparation for implementation. The constant change in INA’s management structure, especially the general directors, hindered the continuity of work on projects. MOL’s entry into INA’s ownership particularly changed the situation and influenced the implementation of projects. The paper presents significant projects, describes events related to their implementation, and describes other circumstances and influences on the implementation of projects.

Keywords: Lubricants Zagreb doo, nineties, development strategy, projects

Branko Hanžek

FIZIČAR PROF. DR. DUŠAN PEJNOVIĆ – ŽIVOT I DJELO¹

Sažetak: Daje se detaljan opis života i djela Dušana Pejnovića. Kod Pejnovića se prvotno pozornost usmjerava na polaganje ispita zrelosti, studiranja, polaganje ispita (*nadopunidbenog* i učiteljskog), strogog ispita za postizanje doktorata znanosti. Zatim se posebno predstavlja postupak izbora za asistenta Fizikalnog kabineta (kasnije: Fizikalnog zavoda) na *Mudroslovnom fakultetu* Sveučilišta u Zagrebu. Pokazuje se i kako je došlo do ustrojavanja drugog odjela Fizikalnog zavoda, što do sada nije dostatno obrađeno. Objelodanjuje se i do sada manje poznata činjenica da je Pejnović bio jedan od kandidata za promociju "sub auspiciis Regis"². Ističe se njegova važna uloga u razvoju kolegija fizikalni praktikum, kod vježbi sa školskim fizikalnim aparatima i pri referatima o pitanjima školske fizike. Uz kompletan popis Pejnovićevih sveučilišnih predavanja i predavanja na Pučkom sveučilištu daje se i osvrt na neke njegove radove. Također se daje najnoviji pokušaj kompletiranja Pejnovićeve autorske bibliografije.

Ključne riječi: fizika, Dušan Pejnović, životopis, *Fizikalni kabinet* (kasnije: *Zavod*) *Mudroslovnog* (kasnije: *Filozofskog*) *fakulteta* Sveučilišta u Zagrebu, autorska bibliografija

Uvod

U školovanju budućih osnovnoškolskih i srednjoškolskih nastavnika fizike važnu ulogu imao je Dušan Pejnović. Tek nakon 32 godine redovni javni profesor na

¹ Rad je prezentiran na 10. simpoziju Povijest i filozofija tehnike, Zagreb, 23. i 24. studenoga 2021.

² Pod kraljevim okriljem

Mudroslovnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu Vinko (Vincenc) Dvořák je 1907. godine uspio od Vlade ishoditi imenovanje privremenog asistenta Dušana Pejnovića. U Redu predavanja na Sveučilištu u Zagrebu za ljetni semestar godine 1907./08. on je naveden kao Dvořákov pomoćnik u Fizikalnom kabinetu Mudroslovnog (poslije Filozofskog danas Prirodoslovno-matematičnog fakulteta). Sve do svoje smrti 1958. godine Pejnović je ostao posvećen fizici (kao profesor koji obrazuje buduće nastavnike fizike u školama ali i kao znanstveni istraživač koji doprinosi razvoju fizike).

I. Fizičar prof. dr. Dušan Pejnović

I.1. Osnovni biografski podaci o Dušanu Pejnoviću



Sl. 1.: Preslika fotografije Dušana Pejnovića (1883.—1958.)

Dušan Pejnović rođen je 4. siječnja 1883. u Sisku kao sin Petra, namještenika sisačkog trgovca, i majke Roze. Godine 1903., 1. srpnja, položio je ispit zrelosti na realnoj gimnaziji u Zagrebu (svjedodžba br. 20) i te godine kao redoviti slušač upisao je Mudroslovni fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Na ispitu zrelosti postigao je, iz obveznih predmeta, ovakav uspjeh: vladanje: uzorno; nauk vjere: izvrstan; hrvatski jezik: izvrstan; njemački jezik: veoma dobar; francuski jezik: veoma dobar; povijest: izvrstan; zemljopis: veoma dobar; matematika: izvrstan; deskriptivna geometrija: veoma dobar; fizika: veoma dobar; kemija: veoma dobar; filozofska propedeutika: veoma dobar; prostoručno risanje: dobar; iz neobveznih predmeta: analitičke kemijske vježbe: veoma dobar.

Završna je ocjena da je ispitanik zakonitim zahtjevima s odlikom zadovoljio te mu je izdana svjedodžba zrelosti za polazak viših tehničkih nauka.

Godine 1907. apsolvirao je zagrebački Mudroslovni fakultet za što je dobio ispravu Absolutorij kojim su rektor Sveučilišta i dekan Mudroslovnog fakulteta svjedočili da je Pejnović odslušao sve propisane predmete, zadovoljio s položenim seminarima i kolokvijima te da mu je vladanje bilo primjereno akademskim propisima. Od 1903. do 1907. Pejnović je upisivao i slušao predavanja kod sljedećih nastavnika: dr. Vladimira Varičaka, matematičara; dr. Franje Markovića, filozofa; dr. Đure Arnolda, filozofa i pedagoga; dr. Davida Segena, matematičara geometričara; dr. Gjura Šurmina; povjesničara književnosti, Stanka Miholića, stenografa; dr. Isidora Kršnjavoga, povjesničara umjetnosti; dr. Vinka Dvořáka, fizičara; dr. Gustava Janečka, kemičara; dr. Ladislava Stjepaneka, teorijskog fizičara; dr. Jurja Majcena, matematičara geometričara; dr. Stjepana Bohničeka, matematičara; dr. Frana Vrbanića, pravnika i statističara.

Od g. 1907. službuje kao privremeni sveučilišni asistent u Fizikalnom instituta Mu-

droslovnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (od 1937. Fizikalni zavod Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu). Svjedodžbu br. 82, koja mu je nakon tri godine nastavničke službe, omogućila dobivanje naziva srednjoškolskog profesora, stekao je 11. svibnja 1908. Promoviran je za doktora filozofije 18. veljače 1911. godine s disertacijskom tezom: Magnetička istraživanja, obranivši disertaciju i položivši ispit iz filozofije. Dekretom vlade od 19. prosinca 1912. br. 30743 dobio je naslov srednjoškolskog profesora. Kao novoimenovani srednjoškolski profesor položio je 24. lipnja 1915. Pejnović zakletvu pred rektorom Sveučilišta. Devet dana prije toga unaprijeđen je Pejnović u IX. činovni razred. Do tog trenutka bio je u X. činovnom razredu. U to ratno doba imao je Pejnović i malo sreće. Naime, kao nesposoban bio je oslobođen služenja vojnog roka. Dana 5. svibnja 1928. postavljen je Dušan Pejnović ukazom br. 7386 za sveučilišnog docenta fizike i prema tadašnjem zakonu mogao je predavati na Sveučilištu. Pejnović postaje izvanredni sveučilišni profesor eksperimentalne fizike 17. srpnja 1940. godine i to na temelju rješenja br. 58687-II-1940. na tadašnjem Filozofskom fakultetu. Rješenje je potpisao Ivan Šubašić tadašnji Ban banovine Hrvatske. Od osnutka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta (u daljnjem tekstu: PMF) 1946. godine pa do 30. svibnja 1951. bio je redovni profesor fizike na tom fakultetu. Mnogo je pridonio osuvremenjivanju nastave fizike. Od 1946. pa do 1952. dostavljao je zadatke iz fizike koji su objavljivani u Glasniku matematičko-fizičko i astronomskom. Kada bi te zadatke riješili napredniji učenici srednjih škola i studenti bili bi izvor informacija i za svoje profesore. Proces preokretanja izvora informacija od nastavnika ka studentima (učenicima) može se smatrati prvim zametkom interaktivne nastave fizike a u tom je procesu Pejnović imao značajnu ulogu. Zanimljivo da o tome ne piše u njegovom osobniku, kojeg nema u fakultetskoj arhivi, nego je u matičnoj knjizi radnika PMF-a upisan podatak da je došao na PMF 8. lipnja 1946. a otišao u mirovinu 30. svibnja 1951. godine. Umro je 19. veljače 1958. u Zagrebu, za svojim radnim stolom³. Prema kazivanju osoba iz uredništva Prirode, prof. dr. D. Pejnović imao je izuzetno dobro pamćenje. Pamtio je sve svoje studente i uvijek se interesirao za svaki njihov daljnji napredak u životu. Nevjerojatno puno je poznao fizikalnu literaturu, imao je razvijen kritički duh, ali je kritike davao u dobronamjernoj, prijateljskoj i nenametljivoj formi. Gubitkom dr. Pejnovića suvremenici su izgubili dobrog, plemenitog i skromnog čovjeka. On je uvijek bio spreman pomoći svakome. Prema kazivanju osoba koje su ga poznavale i s njime surađivale, Dragutina Mayera, prof. (1912.-2010.), i prof. dr. Bože Metzgera (1913.-2012.), može se uočiti kakav je kao čovjek bio Pejnović. Prema njihovim iskazima prof. dr. Pejnović bio je vrlo načitan, osobito štujući hrvatsku književnost, rado pomažući u knjižnici Fizikalnog zavoda svojim poznavanjem mjesta gdje se nalaze određene knjige. Ukratko: prema kazivanju ljudi koji su ga dobro poznavali, konkretno Mayera i Metzgera, Dušan Pejnović bio je duša od čovjeka.

³ Nađen je mrtav za svojim radnim stolom na kome su bili pripremljeni pokusi

1.2. Manje znano o Pejnoviću

Dušan Pejnović je 07. studenoga 1907. godine podnio molbu za polaganje ispita pred Kraljevskim povjerenstvom za ispitivanje kandidata gimnazijskoga i realnoga učiteljstva. Taj ispit ukratko je nazivan učiteljskim ispitom. Nekoliko dana kasnije tj. 16. studenog 1907. godine zadane su mu tri zadaće za domaće radnje te mu je dozvoljen rok izrade od 9 mjeseci. Domaća radnja iz pedagogije pod nazivom potreba konstruktivnih zadataka u obuci geometrijskoj, napisana je na 12 polustrana, ocijenjena je 08. siječnja 1908. godine. Ocjenjivač prof. dr. Đuro Arnold je čak radnju ocijenio kao izvornu. Domaća radnja iz matematike pod nazivom *Površina valova*, napisana je na 76 polustrana ocijenjena je 17. ožujka 1908. godine. Ocjenjivač prof. dr. Vladimir Varičak ocijenio ju je odličnom ocjenom. Treća domaća radnja iz fizike pod naslovom *Princip održavanja energije*, napisana je na 35 polustrana. Ocijenjena je 01.04.1908. godine. Ocjenjivač prof. dr. Vinko Dvořák ocijenio ju je odličnom ocjenom. Naravno, sve tri radnje bile su propisno uvezene. Nakon toga pristupljeno je drugom djelu ispita iz matematike tako da su 27. travnja 1908. zadane klauzarne radnje prijemne i klauzarne radnje poslijepodne. Prvi parcijalni zadatak klauzarne radnje iz matematike glasio je: *Koliko realnih korijena imade jednadžba $X e^{-\sin x/2} (x-1/x) = m$?* a drugi zadatak: *Glavna proširenja pojma određenoga integrala*, a treći zadatak bio je: *Neka se odredi rotacijsko tijelo zadane površine tako da mu volumen bude što je moguće veći. Površina tijela neka dva puta probija os rotacije*. Poslijepodne zadani su ovi zadaci: *Svojstva funkcije pn* kao prvi zadatak i *Analitičko produžavanje funkcija* kao drugi zadatak. Za vrijeme od osam sati kandidat je trebao pod strogim nadzorom (bez pomoćnih sredstava) izraditi radnju. Tehnika izrade: zadavanje prvoga parcijalnoga zadatka pa potom četiri sati izrade, pauza dva sata, zadavanje drugog parcijalnog zadatka pa četiri sati izrade. Profesor Varičak je sve parcijalne zadatke tj. klauzarne radnje ocijenio odličnim uspjehom. Klauzarne radnje iz fizike zadane su 28. travnja 1908. Prva klauzarna radnja iz fizike (prijepodne) bila je pod nazivom: *Brzina širenja za longitudinalno i transversalno gibanje*. Poslijepodne zadana je druga klauzarna radnja iz fizike pod nazivom: *Teorija struja izmjeničnih i vrtivih*. Nakon što je prof. Dvořák 04. svibnja 1908. obje radnje ocijenio odličnim uspjehom pristupilo se usmenom djelu ispita. Na usmenom djelu ispita kandidat je iz matematike odgovarao odlično, iz fizike također odlično, iz hrvatskog (srpskog) jezika odgovarao je dobro i iz njemačkog jezika također dobro. Iz kemije nije usmeno pitan jer je 20. listopada 1907. godine dobio odličan uspjeh iz kolokvija. Na kraju je izrečen konačni sud ispitnog povjerenstva. On je glasio: Dušanu Pejnoviću povjerenstvo priznaje sposobnost da može učiti matematiku i fiziku u čitavoj realci ili realnoj gimnaziji. Svjedodžba o sposobnosti učiteljskoj izdana je Dušanu Pejnoviću 11. svibnja 1908. U potpisu su članovi povjerenstva Vladimir Varičak i Vinko Dvořák, kao i ravnatelj povjerenstva Tomo Maretić.

Već je spomenuto da je Pejnović doktorsku promociju imao 1911. godine. U

svezi s doktorskim promocijama u njegovom se slučaju dogodila zanimljiva, a dosad potpuno nepoznata situacija. Stoga treba malo detaljnije pojasniti o čemu je riječ. U pogledu promocija valja istaknuti da ih je bilo dvojakih. Uz uobičajene, pod presjedanjem rektora i u nazočnosti dekana obavljali su ih redoviti profesori fakulteta, postojale su i povlaštene, uz najviše počasti, zvane "sub auspiciis Regis". O toj povlaštenoj promociji poznato je sljedeće. Tu je promociju odobrio car *Austrijanski i apostolski kralj Ugarske, Hrvatske, Slavonije i Dalmacije* rješenjem od 16. srpnja 1894. Tim rješenjem dopušteno je izvrsne kandidate promovirati na doktorsku čast "sub auspiciis Regis". *Kraljevska Zemaljska Vlada* izdala je naredbu od 18. kolovoza 1894. kojom se propisani uvjeti i ustanovljen postupak za postignuto dopuštenje. Po toj naredbi od kandidata se uglavnom tražilo da je svoje i gimnazijske i sveučilišne nauke s izvrsnim uspjehom završio a sve svoje stroge ispite s odlikom položio. No, prema toj naredbi svake se naukovne godine mogao predložiti samo jedan kandidat za to odlikovanje a i to po mogućnosti svaki put iz drugog fakulteta. Ova je odredba prema spomenici o Sveučilištu iz 1925. tumačena tako da je promocija "cum auspiciis" bila moguća za one koji su uz stroge ispite i državne i srednjoškolske ispite načinili s odličnim uspjehom pa su u znak priznanja stekli tu počast. I spomenica iz 1969. navodi da je od 1894. na Sveučilištu uvedena promocija "sub auspiciis Regis" za one doktorande koji su sve ispite, od srednje škole dalje, položili s odličnim uspjehom. Sama promocija tekla je ovako: Prvo kandidat čita svoju znanstvenu raspravu pred čitavim akademičkim zborom, promotorom, rektorom i zastupnikom Kralja. Nakon toga moli zastupnika i akademičke funkcionare za promaknuće pod okriljem Kralja na doktorsku čast. Potom slijedi kratak govor zastupnika koji u ime Kralja predaje kandidatu doktorski prsten. Taj zlatni doktorski prsten bio je okrunjeni monogram Franje Josipa I. u sitnim dijamantima, položen preko ovalnog kabošona⁴ od modrog emajla (ili crnog oniksa) u okviru od sitnih briljanata, a uokolo su bili veliki prvorazredni briljanti.

Na III. Sjednici profesorskog zbora mudroslovnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu održanoj 11. veljače 1911. godine raspravljalo se, između ostalog, o molbama Dušana Pejnovića i Stjepana Ivšića za promociju *sub auspiciis Regis*. Zanimljivo je da je zapisnik o toj sjednici pisao privatni docent Stanko Hondl. Profesor Đuro Körbler je za tu sjednicu pripremio izvješće o oba kandidata za tu promociju. U izvješću, na početku, Körbler ističe da su oba kandidata u punoj mjeri zadovoljila zahtjeve koji se postavljaju za takvu promociju tj. oba su sve svoje srednjoškolske i sveučilišne nauke okončali s izvrsnim uspjehom. Pejnović je završio četiri razreda više pučke škole realnoga smjera u Sisku, sva četiri razreda u svih osam semestara s odlikom imajući sedam semestara vladanje veoma pohvalno, a samo jedanput (prvo poljeće VII. razreda) pohvalno. Iza toga upisao se u *Kraljevsku realnu zagrebačku gimnaziju* i to u četvrti

⁴ Prirodno brušeni dragi kamen ili njegova imitacija

razred, pa je i tamo sve razrede u svim polugodištima završio s odlikom a vladanje mu je samo dva puta (prvo poljeće IV. i VII. razreda) bilo pohvalno a u osam semestra uzorno. Svjedodžba zrelosti, koju je dobio 1. srpnja 1903., pokazuje izvrstan uspjeh iz četiri predmeta, veoma dobar u osam obveznih i jednom neobveznom predmetu, a dobar uspjeh samo u jednom obveznom predmetu. Kako je položio ispit zrelosti u realnom odjelu dopunio ju je 5. veljače 1910. još *dopunidbenim ispitom* iz latinskog jezika s odlikom pa je proglašen zrelim za polaganje sveučilišnih nauka. O tome ispitu izdana mu je svjedodžba. Tu svjedodžbu morao je Pejnović posjedovati jer bez nje ne bi mogao nastaviti proces stjecanja doktorata znanosti. Naime, molbi za polaganje strogog ispita za stjecanje doktorata znanosti, trebala je, uz ostalo, biti priložena i svjedodžba kandidatova ispita zrelosti na gimnaziji. Podrazumijevalo se da je u pitanju klasična gimnazija koja je među obveznim predmetima imala i latinski jezik.

Predmet: *Pejnović Dušan, ispit zrelosti*
Poslije nadopunidbeni ispit iz latinskog jezika

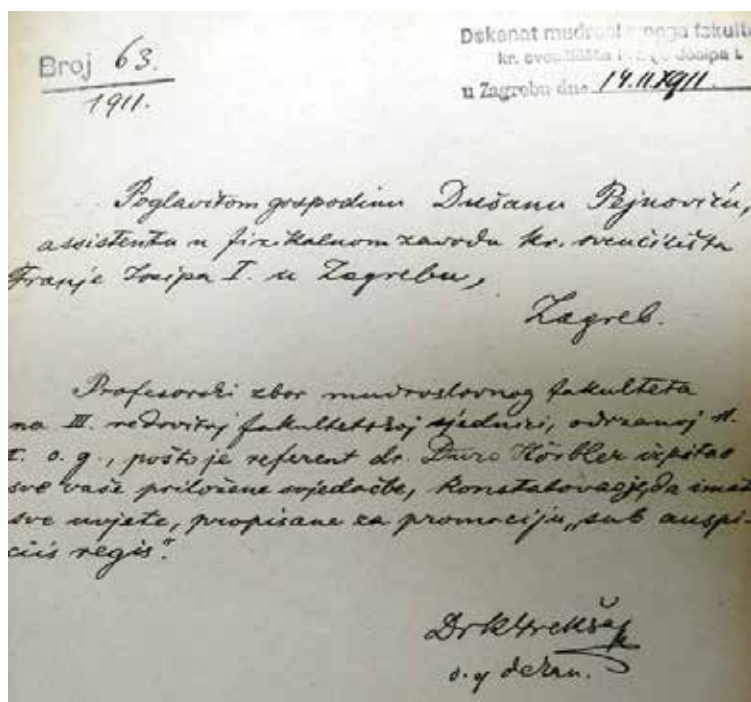
K broju:
Upravniateljstvo ka. realne
gimnazije
Lagreb

Dr. zemaljska vlada odio za bogoslovje
i nastava, dopušta, da. Dušan Pejnović, koji
je dobio u latinskom jeziku odličan uspjeh u
svjedodžbi iz 1. srpnja 1903. u Zagrebu, omogući mu
je polaganje ispit zrelosti u latinskom jeziku
u latinskom odjelu 5. veljače 1910. kao nadopunidbeni
ispit zrelosti iz latinskog jezika.
Poslije 8. 5. 11. b. pramotrije maršala od 30. 11.
1908. br. 6378. imalo se Dušan Pejnović
prije nego što pristupi pismenom
ispitu zrelosti položio predispit u latinskom
i pismenom iz latinskog jezika u općem
znanju, što se za taj predmet propisuje
u V. - VII. razreda toga zvanja.

Do se pt. privrćuje znanja i daljega izveš,
vauja radijo pozivom, da privrću molbenica
i obavješnicu molitelju
U Zagrebu 3 / X. 1909. R.

Sl. 2.: Dopuštenje D. Pejnoviću da polaže nadopunidbeni ispit zrelosti iz latinskog jezika

Budući da je maturалnim ispitom zrelosti iz latinskoga jezika stekao to pravo, položio je oba stroga usmena ispita, stručni ispit 9. ožujka 1910. a ispit iz filozofije 15. prosinca 1910. s izvrsnim uspjehom. Ovdje treba nadopuniti Körblera i napomenuti da je pisana znanstvena rasprava (disertacija) bila pod nazivom Magnetička istraživanja, fizika je bila glavna a matematika popunjujuća struka. Glavni usmeni strogi ispit trajao je dva sata a ispit iz filozofije jedan sat. Usmeni ispiti održali su se pred komisijom: Antun Heinz, Vinko Dvořák, Vladimir Varićak. Disertaciju su povoljno ocijenili Dvořák i Varićak. O Stjepanu Ivšiću izvještava Körbler isto tako pohvalno kao i o Pejnoviću, ali naglašava da je za ovu (1911.) godinu već predložen za navedenu promociju Ivan Pavičić koji je doktorirao na Pravnom fakultetu. Budući da je odlikovanje sub auspiciis Regis 1910. dobio Stjepan Škreb, trebao bi dogodine (1912.), s Mudroslovnog fakulteta biti opet na redu kandidat za to odlikovanje. Ističući načelo pravednosti Körbler je predložio profesorskom zboru da akademikom senatu za odlikovanje predloži Stjepana Ivšića. No, iako je 1911. Pavičić dobio to odlikovanje, 1912. nije ga dobio nitko nego je 1913. odlikovanje dobio Aleksandar Truhelka a 1914., kao posljednji, Rudolf Eckert. Pejnović, vidjevši da nije predložen za odlikovanje, pristupio je uobičajenoj promociji doktora znanosti 18. veljače 1911.



Sl. 3.: Preslik obavijesti Pejnoviću u svezi s promocijom sub auspiciis Regis

Kao što će sada, a i poslije, biti prezentirano, Pejnović je bio siromašan i tražio je načina da ima dovoljno novca za pristojan život. Zahvaljujući suuredniku Nastavnog vjesnika dr. Stanku Hondlu Pejnović je svoju disertaciju objavio u tom časopisu te uštedio dosta novca budući da nije morao priložiti 50 otisaka znanstvene pismene rasprave budući da je naklada tog časopisa uvelike premašivala taj broj. Na taj način Pejnović je zadovoljio sve uvjete za promociju doktora znanosti i dobivanje doktorske diplome. Isto tako, nezadovoljan ministrovim unapređenjem u višu grupu položajne plaće, Pejnović je 1930. podnio tužbu Državnom savjetu Kraljevine Jugoslavije. Savjet je, nakon godinu dana, tužbu odbacio s obrazloženjem da mu se godine koje je proveo kao pristav ne uračunavaju za unapređenje. Ne samo da je ostao bez unapređenja i više novaca zbog toga nego je na kraju morao platiti i taksu od 100 tadašnjih dinara! Također, Pejnović je zamolio Rektorat Sveučilišta, putem računovodstva, da mu od 1. veljače 1933. zaračunava samo 10% poreza za neženje jer je navršio 50 godina života. Srećom, toj je molbi udovoljeno. Ovih nekoliko primjera samo podcrtavaju činjenicu koliko je teško Pejnović živio i s kakvim novčanim poteškoćama se morao nositi.

1.3. Rad Dušana Pejnovića povezan s Fizikalnim kabinetom, kasnije Fizikalnim zavodom, kao i s predavanjima na Sveučilištu u Zagrebu

Osim radova koje je Dušan Pejnović napisao u svom životu treba istaknuti i osvrte Pejnovića na strane knjige te mnogobrojno pisanje o člancima objavljenim u inozemstvu i to počevši od 1920. godine u Nastavnom vjesniku. Zahtjev za potpunim vrednovanjem rada dr. Pejnovića dobiva na težini, ako se uzme u obzir da je on nakon stečene visokoškolske naobrazbe čak 48 godina djelovao na sveučilištu u Zagrebu (1907-1955). Kako je došlo do izbora dr. Pejnovića za asistenta u fizikalnom kabinetu? Na to zanimljivo pitanje može se dati odgovor zahvaljujući pisanim izvorima. Vinko Dvořák, prvi profesor fizike na sveučilištu u Zagrebu u više je navrata štitio slobodu sveučilišta i visoke standarde. Tako je od svog nastupa (1875.) molio kraljevsku zemaljsku vladu za zapošljavanje jednog asistenta u fizikalnom kabinetu, ali su razlozi za odbijanje molbe svaki put bili drugačiji. Jednom se štedjelo na proračunu bez valjane osnove uskraćivanjem plaće za možebitnog zaposlenika na mjestu asistenta, dok se drugi put to onemogućavalo tako da su svi potencijalni najbolji i najdarovitiji kandidati za to mjesto dekretom namješteni u srednje škole. Treći put sam Dvořák nije se htio zauzimati za, sa raznih strana nuđene, loše i nemarne kandidate. Sve to je Dvořák naveo u svojoj zamolbi pismom od 19. srpnja 1907. Pismom od 12. listopada 1907. Dvořák moli drugi put Vladu da od akademske godine 1907./08. imenuje za asistenta u Fizikalnom kabinetu Dušana Pejnovića, nadarenog svršenog slušatelja fizike, koji je imao sve najbolje ocjene. Tim pismom on za to imenovanje moli zato što je uočio da je kandidat Pejnović vrlo siromašan, te bi se trebao zaposliti čim prije, a ne početkom 1908., kako je to namjeravala Vlada.

Konačno, Dvořák je ipak uspio i u listopadu (točnije 23. listopada 1907.) Vlada je otpisom broj 22938 imenovala Dušana Pejnovića za privremenog asistenta u Fizikalnom kabinetu⁵.

*Dušan Pejnović, stručni filozofije
kolokvijas p. ove kolegije sa prijavom:
U ljetnom semestru, 1903/4. kolegij
• "Otopline" (4 sata) s ocnom dobrom uspjehom.
U zimskom semestru, 1904/5. kolegij
• "Mehanika i akustika" (5 sati) s izvrsnim uspjehom.
U ljetnom semestru, 1904/5. kolegij
• "Optika" (5s) s izvrsnim uspjehom.
U zimskom semestru 1905./6. kolegij
• "Magnetizam i magnetna" (5s) s odličnim uspjehom.
U ljetnom semestru, 1905/6. kolegij
• "O križanju i dvostrukom svjetla" (3 sata)
s odličnim uspjehom.
U zimskom semestru 1906/7. kolegij
• "Teorijska mehanika" (1 sat)
s odličnim uspjehom.*

V. Dvořák

Sl. 4.: Preslik dijela (priloga) Dvořákova pisma s Pejnovićevim rukopisom i Dvořákovim potpisom

Značajno je spomenuti da je dr. Dušan Pejnović molio Vladu da mu omogući put u inozemstvo na usavršavanje. Tako je Stanko Hondl, Dvořákov nasljednik na mjestu sveučilišnog profesora, u pismu Vladi istaknuo: „Molba dra. Dušana Pejnovića, srednješk. pravog učitelja i asistenta u fizikalnom zavodu kr. Sveučilišta F.J. I., kojim moli dopust za školsku godinu 1912./13., najtoplije se preporučuje na blagohotno

⁵ Prema Zakonu ob ustrojstvu sveučilišta Franje Josipa I u Zagrebu iz 1874. i 1894. Pejnović je, prema § 8 tog zakona, mogao biti pridjeljen kao pristav profesorima filozofskog fakulteta za matematičko-prirodoslovnu struku. No, to nije bilo moguće jer još nije imao doktorat. Nije mogao biti imenovan niti asistentom jer je ta mogućnost bila moguća tek 1918. izmjenom spomenutog zakona. Stoga je jedina mogućnost bila da se imenuje privremenim asistentom.

uvažavanje, jer molitelj u punoj mjeri zaslužuje da ga se u njegovu nastojanju oko daljnje studija podupre, a i zato, jer bi se promicanjem njegove namjere da se upoznaje sa uređajem srednjoškolskih fizikalnih vježbi u inozemstvu, učinio prvi korak za organizaciju tih vježbi u našoj domovini, kojoj će u organizaciji po mišljenju potpisana i kod nas morati pristupiti“. Konačno je za akademsku godinu 1913./14. odobreno isplaćivanje materijalnih sredstava za znanstveno putovanje, te je Pejnović otišao u inozemstvo u svrhu daljnjeg studija fizike u Fizikalnim zavodima Leipziškog i Göttingenskog sveučilišta, te u svrhu hospitiranja fizikalnih vježbi u njemačkim srednjim školama. Njega je te akademske godine zamijenio Mile Cindrić. Cindrić je 1. ožujka 1921. ponovno pridijeljen sveučilišnom fizikalnom kabinetu kada se Pejnović razbolio pa je bila potrebna zamjena zbog kontinuiteta održavanja visokoškolske nastave fizike.

Vrlo važan događaj za visokoškolsku nastavu fizike, dogodio se krajem 1941. godine. Naime, na prijedlog predstojnika Stanka Hondla Fizikalni zavod je, prema nacrtu Statuta, podijeljen i trebao se sastojati od dva odjela: 1. Laboratorija za znanstveni rad, 2. Laboratorija za školske pokuse. Prijedlog je pisan 3. prosinca 1941., prihvaćen na fakultetskoj sjednici 10. prosinca t. g. te prosljeđen na daljnje postupanje. Taj prijedlog je, u svojstvu dekana, podržao i Stjepan Škreb, uz vrlo ubjedljivo objašnjenje prijedloga. Naime, Škreb je naveo da je, kao bivši školski nadzornik bio svjedokom kako ni obrazovani fizičari ne znaju upotrebljavati ni aparate koje imaju u kabinetima a kamoli jednostavna pomagala tamo gdje nema aparata. Stoga je bilo nužno da Laboratorij za školske pokuse ostane kao dio Fizikalnog zavoda. Tako bi se izbjeglo dvostruko nabavljanje i aparata i knjiga i časopisa. Naravno da je kao voditelj toga laboratorija bio predložen iskusni eksperimentator izvanredni profesor dr. Dušan Pejnović. Nakon dosta proceduralnih peripetija tadašnji ministar nastave ozakonio je 30. rujna 1942. taj akt pod nazivom „Propisnik o osnutku Fizikalnog zavoda na Mudroslovnom fakultetu Hrvatskog sveučilišta u Zagrebu“. U propisniku je, uz ostalo, u prvom članku, stavku b, navedeno je da je svrha zavoda da služi nastavi eksperimentalne fizike Mudroslovnog fakulteta i prema potrebi i drugih fakulteta pripremajući školske pokuse za predavanja i da priprema slušače Mudroslovnog fakulteta za školske pokuse i predavanja u srednjoj školi. Nadstojnici su trebali biti najstariji nastavnici eksperimentalne fizike na fakultetu. To su u tom trenu bili Hondl i Pejnović. Propisnik je pravnu moć zadobio s danom 1. siječnja 1942. Na račun toga Pejnoviću je i doznačen nadstojnički dodatak budući da je preuzeo upravu laboratorija za školske pokuse.

I kao redovni profesor novoosnovanog Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Pejnović je mnogo pridonio osuvremenjivanju nastave fizike. Naime, uz sve svoje obveze dostavljao je od 1946. pa do 1952. zadatke iz fizike koji su objavljivani u *Glasniku matematičko-fizičko i astronomskom*. Te zadatke su zatim rješavali mnogi (sveučilišni profesori, srednjoškolski profesori, napredniji učenici srednjih škola i studenti) i njihova najskladnija i najopćenitija rješenja bila su objavljivana u tom časopisu. Tako su

i studenti, svojim rješavanjem i javnom objavom bili izvor informacija za sve pa i za svoje profesore. Proces preokretanja izvora informacija od nastavnika ka studentima (učenicima) može se smatrati prvim zametkom interaktivne nastave fizike a u tom je procesu Pejnović imao značajnu ulogu.

2. Pejnovićev rad na Sveučilištu u Zagrebu

2.1 Kolegiji na Sveučilištu u Zagrebu i predavanja na Pučkom sveučilištu

Dušan Pejnović je na Sveučilištu u Zagrebu počeo sa predavanjima odnosno vježbama od školske godine 1928/29. i predavao sve do školske godine 1955-1956.

Školska godina 1928/29. u zimskom semestru, kao i u ljetnom semestru, Pejnović je držao fizikalne vježbe dva sata na tjedan i predavao kolegij izmjenične struje jedan sat na tjedan. Školske godine 1929/30. u zimskom semestru držao je fizikalne vježbe dva sata na tjedan u zimskom semestru, a u ljetnom semestru uz fizikalne vježbe dva sata na tjedan predavao je i kolegij *O elektronskoj cijevi* jedan sat na tjedan. U zimskom semestru školske godine 1930/31. držao je fizikalne vježbe dva sata i predavao kolegij *Osnovi radiotelegrafije* jedan sat na tjedan, a u ljetnom semestru te godine uz fizikalne vježbe 2 sata predavao je i kolegij *Osnovi radiotelegrafije i radiotelefonije* jedan sat na tjedan. U zimskom semestru 1931/32. Pejnović je uz fizikalne vježbe dva sata u ljetnom semestru imao kolegij *Izmjenične struje* jedan sat na tjedan, a fizikalne vježbe su u tom semestru trajale tri sata.

U zimskom semestru 1932/33. držao je fizikalne vježbe u trajanju od četiri sata na tjedan, a u ljetnom semestru držao je fizikalne vježbe tri sata na tjedan i predavao kolegij elektronska cijev jedan sat na tjedan. U zimskom i ljetnom semestru 1933/34. Pejnović je uz fizikalne vježbe tri sata predavao kolegij *Osnovi radiotelegrafije i radiotelefonije*. U zimskom i ljetnom semestru 1934/35. držao je fizikalne vježbe tri sata na tjedan. Godine 1935/36. u zimskom i ljetnom semestru držao je fizikalne vježbe tri sata na tjedan. Također je držao fizikalne vježbe tri sata na tjedan godine 1936/37. Godine 1937/38. u zimskom i ljetnom semestru Pejnović je držao fizikalne vježbe četiri sata na tjedan, a u redu predavanja istaknuto je da će vježbe u turnusima biti održane u novom fizikalnom zavodu (danas znamo da se to odnosi na lokaciju na Marulićevom trgu 19 u Zagrebu). U godini 1938/39. Pejnović je držao fizikalne vježbe tri sata na tjedan, a u zimskom semestru uz vježbe predavao je kolegij *Elektronska cijev* jedan sat na tjedan, a u ljetnom semestru kolegij *Elektronska cijev (II)* jedan sat na tjedan. Ista je situacija bila i za godinu 1939/40. u pogledu fizikalnih vježbi, ali je kolegij u zimskom semestru bio pod nazivom *Električni valovi* jedan sat tjedno, a u ljetnom semestru *Električni valovi (II)*, jedan sat na tjedan. Godine 1940/41. Pejnović je držao fizikalne vježbe i školske pokuse tri sata na tjedan i predavao kolegij *Odabrani dijelovi optike* tri sata

na tjedan (u zimskom semestru), dok je u ljetnom semestru te iste godine predavao kolegij *Odabrani dijelovi optike i akustike (II)* tri sata na tjedan i fizikalne vježbe i školski pokusi tri sata na tjedan. U zimskom semestru 1941/42. Pejnović je držao fizikalne vježbe i školske pokuse tri sata na tjedan i predavao kolegij *Odabrani dijelovi optike (III)*. U ljetnom semestru te godine uz fizikalne vježbe i školske pokuse tri sata na tjedan Pejnović je predavao kolegij *Odabrani dijelovi elektriciteta*, tri sata na tjedan. Godine 1942/43. u zimskom semestru Pejnović drži fizikalne vježbe, školske pokuse i referate o pitanjima školske fizike, četiri sata na tjedan i predaje kolegij *Odabrani dijelovi elektriciteta (II)* dva sata na tjedan, dok u ljetnom semestru je situacija u pogledu prvog predmeta ista, a *Odabrani dijelovi elektriciteta* su dva sata na tjedan i to treći dio (III). U zimskom semestru 1943/44. Pejnović drži *Fizikalni praktikum* (mjerjenje, školski pokusi, referati o pitanjima školske fizike) tri sata na tjedan, a uz to drži predavanje iz *Odabranih dijelova optike i akustike* tri sata na tjedan. U ljetnom semestru te godine Pejnović drži *Fizikalni praktikum* tri sata na tjedan i predaje *Odabrane dijelove optike i elektriciteta* tri sata na tjedan. U školskoj godini 1944/45. nastava je (prema redu predavanja) održana samo u zimskom semestru tj. od 1.10.1944. do 15.2.1945. Pejnović je držao *Fizikalni praktikum* tri sata na tjedan i predavao kolegij *Odabrani dijelovi nauke o elektricitetu* tri sata na tjedan.

U ljetnom semestru 1945/46. (koji je trajao od 1.3.1946. do 30.6.1946.) Pejnović je na Filozofskom fakultetu, Matematičko-prirodoslovnom odjelu držao *Fizikalni praktikum* tri sata na tjedan i davao kolegij *Odabrani dijelovi elektriciteta* četiri sata na tjedan. U školskoj godini 1946/47. zimski semestar na novoostvorenom Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu redoviti profesor dr. Pejnović drži *Fizikalni praktikum* četiri sata na tjedan i predaje kolegij *Odabrani dijelovi optike i akustike* četiri sata na tjedan. U ljetnom semestru 1946/47. drži *Fizikalni praktikum* četiri sata na tjedan i predaje *Odabrane dijelove akustike i elektriciteta* četiri sata na tjedan. U godini 1947/48. Pejnović u zimskom semestru drži *Fizikalni praktikum* četiri sata na tjedan i to za treći i više semestre, i predaje *Odabrane dijelove elektriciteta II*, četiri sata na tjedan, a u ljetnom semestru *Fizikalni praktikum* s istim brojem sati na tjedan, ali za četvrti i više semestre. K tome predaje *Odabrane dijelove elektriciteta III* (četvrti i viši semestar) četiri sata na tjedan. U godine 1948/49. uz *Fizički praktikum i školske pokuse* (peti i viši semestar) četiri sata na tjedan drži kolegij *Odabrani dijelovi mehanike i akustike* (peti i viši semestar) četiri sata na tjedan, a sve u zimskom semestru. U ljetnom semestru uz *Fizikalni praktikum i školske pokuse* (šesti i viši semestar) tri sata na tjedan, predaje *Odabrane dijelove mehanike i akustike II* (šesti i viši semestar), sa četiri sata na tjedan. Godine 1949/50. u zimskom semestru predaje *Odabrane dijelove akustike* za peti i sedmi semestar dva sata na tjedan, *Povijest fizike* (sedmi semestar) dva sata na tjedan i vježbe sa školskim fizikalnim aparatima (sedmi semestar) dva sata na tjedan. U ljetnom semestru te godine, predaje *Odabrane dijelove akustike i mehani-*

ke (osmi semestar) dva sata na tjedan, *Povijest fizike* (osmi semestar) dva sata na tjedan i školske pokuse (osmi semestar) dva sata na tjedna. 1950/51. u zimskom semestru predaje *Odabrane dijelove akustike i optike* (sedmi semestar) dva sata na tjedan, *Fizikalne školske pokuse* (sedmi semestar) dva sata na tjedan, *Povijest fizike* (sedmi semestar) jedan sat na tjedan. U ljetnom semestru te godine predaje *Izabrane dijelove akustike i optike* dva sata na tjedan, jedan sat *Vježbi iz fizike* i *Povijest fizike* dva sata na tjedan. U zimskom semestru 1951/52. Pejnović kao honorarni nastavnik (umirovljeni redovni profesor PMF-a) predaje *Odabrane dijelove akustike i optike* (sedmi semestar), dva sata na tjedan, *Fizikalne školske pokuse* (sedmi semestar) jedan sat na tjedan i *Povijest fizike* (sedmi semestar) jedan sat na tjedan. U ljetnom semestru te godine predaje *Povijest fizike* jedan sat na tjedan i *Specijalna predavanja*, dva sata na tjedan i drži jedan sat vježbi. Godine 1952/53. predaje *Povijest fizike* (IV godina) za struku *Eksperimentalna i teoretska fizika*, jedan sat na tjedan i *Odabrane dijelove akustike* (IV godina), za struku *Eksperimentalna fizika* dva sata predavanja i jedan sat vježbi na tjedan, sve to za zimski semestar. Za ljetni semestar te godine predaje *Povijest fizike* (IV godina) za struku *Eksperimentalna i teoretska fizika*, jedan sat na tjedan i *Odabrani dijelovi akustike i optike* (IV godina) struka *Eksperimentalna fizika* dva sata predavanja i jedan sat vježbe na tjedan. 1953/54. u zimskom semestru drži predavanje iz *Povijesti fizike* (VII semestar) za užu struku *Eksperimentalna i teoretska fizika*, jedan sat na tjedan i *Odabrane dijelove akustike* (VII semestar) za užu struku *Eksperimentalna fizika* dva sata predavanja i jedan sat vježbi na tjedan, za ljetni semestar te godine drži predavanje iz *Povijesti fizike* (VIII semestar), za struku *Fizika*, jedan sat na tjedan i *Odabrane dijelove akustike* (VIII semestar) za užu struku *Eksperimentalna fizika* dva sata na tjedan, jedan sat vježbi. U školskoj godini 1954/55. u zimskom semestru predaje *Povijest fizike* (VII semestar), jedan sat na tjedan, za slušače *Eksperimentalne i teorijske fizike* i *Odabrane dijelove akustike* (VII semestar) jedan sat predavanja i jedan sat vježbi za slušače eksperimentalne fizike, a u ljetnom semestru te godine *Povijest fizike* (VIII semestar) za slušače *Eksperimentalne i teoretske fizike* jedan sat na tjedan i *Odabrane dijelove fizike* (VIII semestar) za slušače *Eksperimentalne fizike* dva sata na tjedan. Prema redu predavanja u zimskom i ljetnom semestru školske godine 1955/56. (koji sada dolaze otisnuti skupa u jednoj knjizi) Pejnović predaje posebna predavanja iz eksperimentalne fizike: *Odabrani dijelovi akustike i elektriciteta*, IV godina – smjer *Eksperimentalna fizika*, dva sata na tjedan. To je bilo posljednje Pejnovićevo predavanje. Na Pučkom Sveučilištu, čija su predavanja od 1912. godine integralni dio Sveučilišta samoga, Pejnović je održao četiri predavanja. To su predavanja : *Faraday, njegov život i rad*, 29. studenoga 1931., na kojemu je bio prisutan 101 slušatelj; *Ultrazvučni titraji i njihove primjene*, 18. veljače 1937., prisutno 108 slušatelja; *Pedesetogodišnjica otkrića električnih valova*, 1. ožujka 1938., 152 slušatelja; *Motrenje i slušanje atomskih pojava*, 24. ožujka 1939. , 190 slušatelja.

2.2 Osvrt na neke Pejnovićeve radove

Pisanju o Tesli pridružio se i jedini Dvořákov asistent Dušan Pejnović. On je o Tesli pisao u *Nastavnom vjesniku* u više navrata, pisao je u *Prirodi* i u *Glasniku matematičko-fizičkom i astronomskom*. Zbrojeni ti članci dali bi brojku od 83 stranice, što bi činilo malu knjigu, pisanu vrlo stručno i na fizikalnim osnovama. U svojoj prvoj seriji od tri dijela jednog članka iz 1927. godine Pejnović iznosi dosta biografskih podataka o Tesli navodeći da je i Tesla sam opisao svoj život u Američkoj reviji *Electrical experimenter*, no navodeći da mu ona nije bila dostupna. Bio mu je dostupan samo nejasan prijevod Teslinih članaka koji je izašao u časopisu *Slobodna misao* – koji izlazi u Americi. Pejnović spominje i knjigu gdje se podatak o Teslinom rođenju pogrešno navodi, pa se to uvuklo u leksikone i američke enciklopedije. Teslin rad podijelio je Pejnović u četiri dijela: 1. Novi sistem motora i transformatora, 2. Struja visoke napetosti i visoke frekvencije, njihovo dobivanje i prijenos, 3. Pronalasci iz telegrafije bez žica, 4. Novi sistemi parnih turbina. Pejnović opširno piše o radu Nikole Tesle, slijedeći svoju podjelu, dajući, uz stručno-fizikalni, i povijesni osvrt na otkriće motora na izmjeničnu struju i transformatora. Tu je zanimljivo da je Pejnović istaknuo da je 1881. znanstveni odjel Američkog patentnog ureda odbio patent na transformator zbog razloga da je to fizikalno nemoguće! U svezi otkrića višefaznog motora Pejnović spominje i Ferrarisa, kao prethodnika Tesle, a daje i povijesni razvoj kako se dolazilo, eksperimentalno i teorijskim putem, do zakretnog polja i indukcijskog motora (od Araga iz 1824. do Browna iz 1893.). Pejnović piše i o Teslinim strujama poprativši tekst sa šest preglednih crteža. Daje povijesni prikaz otkrića struja visoke frekvencije počevši od prvog alternatora iz 1889., pa preko generatora visoke frekvencije, sve do Teslinih transformatora – prvih transformatora bez željeza, s pomičnim svitcima, osnovan na rezonanciji primara i sekundara. Taj Teslin pronalazak dolazio je pod imenima: rezonancijski transformator (induktor), titrajni transformator, Teslin oscilator, dok Teslina zavojnica sekundara, nosilac visokog mjerača frekvencije (Slaby – eva multiplikacijskog štapa), Oudinova rezonatora i Seibtova aparata. Pejnović ističe da su Teslin transformator teoretski obradili Oberbeck, Domalip i Kolaček, te poznati Druče, koji je i eksperimentalno istraživao to područje. Važnost drugog dijela članka je u preciznom navođenju izvora odakle su preuzete slike i crteži u članku. U trećem dijelu članka Pejnović opisuje svojstva i učinke struje visoke frekvencije, iznosi osobite pojave izbijanja, te opisuje Teslinu svjetlost (cilj: doći do svjetlosnih izvora bez topline). U svom sustavnom prikazu Pejnović tek 1930. godine nastavlja o Teslinim istraživanjima u vezi s razvojem brzog strujanja bez žica, navodeći povijesne zanimljivosti. Radi usporedbe daju se slike i objašnjenja Teslinih i Braun-Marconijevih uređaja. Pejnović opisuje i visokonaponske pokuse u Coloradu pod imenom Teslin svitak. *Teslin samotransformator* je osnova prvog povezanih sa razmišljanjima Tesle o stojnim električnim valovima u zemlji, o umjetnom elektriziranju zemlje, o brzopavljanju kroz zemlju. Članak

je popraćen sa četiri crteža, a završava opisom Tesline parne turbine. U članku iz 1936. godine pisanom uz osamdesetgodišnjicu života Nikole Tesle, Pejnović navodi svoje ranije članke iz 1927. i 1930. i nadopunjuje ih s nekoliko stavova u kojima spominje povezanost Tesle s Marconijem, Lecherom i G. F. Fitzgeraldom, teoretskom fizičaru koji je izračunao period titranja vodiča veličine zemlje, kao i povezanost s Lodgeom. Pejnović u fusnoti tog članka iznosi zablude koja je proširena u medijima kada je u katalogu predavanja Bečke tehnike otisnuto da je Tesla umro iako je on bio živ. Ističe i zablude u enciklopedijama (Americana i Britanica) da je Graz glavni grad Hrvatske. Iznosi i podatak da je javnost krivo informirana putem tiska, da je Tesla slab đak, iako je on bio odličan đak. Pejnović u članku iz 1936. u Prirodi, iznosi Teslinu biografiju i opširno se osvrće na njegov rad. U svom članku iz 1947. godine Pejnović daje prikaz života i rada Nikole Tesle precizno navodeći članke koji su o njemu objavljivani, a ističe i čuvenu biografiju Tesle, koju je napisao J. O'Neill. Pejnović u fusnoti opisuje i Teslin boravak u Zagrebu, a u drugoj fusnoti iznosi da je O'Neill išao toliko daleko da je Teslino otkriće smatrao pretečom ciklotrona. O'Neill je Teslina otkrića dovodio u vezu s otkrićem kozmičkih zraka, umjetne radioaktivnosti, razbijanje atoma, te elektronskog mikroskopa sa x-zrakama.

3. Autorska bibliografija Dušana Pejnovića

Do sada je o Pejnovićevim znanstvenim i stručnim člancima bilo riječi četiri puta. Prvi put je to učinio Hinko Wolf 1940. godine koji je naveo da je Pejnović do 1940. godine objavio pet znanstvenih članaka u *Nastavnom vjesniku* (Iz života i rada Nikole Tesle - tri članaka - 1927., Teslina istraživanja u vezi s razvojem brzjava bez žice, 1930., Uz 80-godišnjicu Nikole Tesle, 1936.) i jedan (Nekoliko pokusa s lampom-tinjalicom) u *Nastavnom vjesniku* 1925. godine. Wolf dalje navodi i znanstveni rad *Prilog pokusima o ogibu svjetlosti na ultrazvučnim valovima* objavljen 1936. u *Glasniku Hrvatskoga prirodoslovnog društva* te jedan stručni *Određivanje brzine zvuka* objavljen u *Prirodi* 1937. godine⁶. Slijedi pisanje o Pejnovićevim objavljenim radovima u knjizi *Naša domovina* iz 1943⁷. Tamo je navedeno da je D. Pejnović objavio 14 stručnih i znanstvenih radova. Uz već od Wolfa spomenute članke tu se navode još jedan znanstveni, disertacija objavljena u *Nastavnom vjesniku* 1910., i jedan upitni znanstveni – zbog krivog citata – pod nazivom *Utjecaj gibanja na prividnu težinu tjelesa*, navodno objavljen u *Nastavnom vjesniku XLVI*, sv. 10. (1910.) - riječ je zapravo o Hondlovu članku objavljenom u *Nastavnom vjesniku* 1939. godine - i šest stručnih

⁶ Podatci su preuzeti iz Wolfvog članka: Biografije i bibliografije novih sveučilišnih profesora, Alma mater Croatica, IV/1940- 41, str. 152-157.

⁷ Pogledati sv.1 te knjige tiskane u Zagrebu 1943., a tih 14 radova navedeni su na str. 410

članaka objavljenih u *Prirodi: O brzom prenosu slike i televiziji* 1932., *Iz života i rada Nikole Tesle* 1936., *Osnovi nove atomistike*, 1939., *Jubilej dinamo električnog stroja*, 1917., *Život pod visokim tlakom uzduha*, 1917., te *Put u svjetski prostor*, 1928.. Treći koji je objelodanio popis znanstvenih i stručnih radova bio je prof. dr. Mladen Paić u nekrologu iz 1958. godine. Uz već spomenute članke koje je naveo Wolf autor nekrologa navodi još tri: *Prilozi optici ultrazvučnih valova* iz 1942., *Utjecaj Zeemanovog efekta na apsorpciju svjetlosti* – skupa s Branimirom Markovićem - 1953., i *O termomagnetskim mehanizmima J. Stefana i N. Tesle*, 1955. Tako je u nekrologu dan popis od devet objavljenih Pejnovićevih članaka⁸. Četvrti put o Pejnovićevu članku *Kapacitet antene*⁹ osvrtno je dao prof. dr. sc. Zvonimir Jakobović u *Matematičko-fizičkom listu* god. 1964/65¹⁰. Najopsežniji, do sada, popis Pejnovićevih radova dao je B. Hanžek u članku: Fizičari Dušan Pejnović i Gustav Šindler. U tom članku izrijekom je navedeno 26 Pejnovićevih radova. Inače, u kartoteci Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža, a pod autorskom bibliografijom navedeno je 29 radova od čega je jedan zabunom pripisan Pejnoviću. Rad «Karijes zuba» nije napisao Dušan Pejnović. Ipak, valja istaknuti da su u kartoteci popisani Pejnovićevi radovi do 1945. godine.

U ovom radu daje se popis objavljenih članaka i natuknica Dušana Pejnovića koji bi do sada trebao predstavljati njegovu najnoviju i najkompletniju autorsku bibliografiju:

⁸ Paićev nekrolog objavljen je pod naslovom : Prof. dr. Dušanu Pejnoviću in memoriam, Glasnik matematičko-fizički i astronomski, 1958, str. 218-219.

⁹ Taj Pejnovićev rad objavljen je u listu Radio šport, br. 6. i 7., 1924., na str. 3. i 4.

¹⁰ Jakobovićev članak objavljen je pod naslovom: Naši poznati stariji fizičari – prvi radioamateri, Matematičko-fizički list br. 1. /1964-65. na str. 23-25

Radovi u *Nastavnom vjesniku*

1. D. Pejnović: Magnetička istraživanja (disertacija), *Nast. vj. knj.* XVIII, 1910, str. 775-808
2. D. Pejnović: Bošković-kalendar zvjezdarnice hrvatskog prirodoslovnog društva za prostu godinu 1918, uredio: A. pl. Kugler, *Nast. vj. knj.* XXVI, 1917, str. 172-173
3. D. Pejnović: Bošković-kalendar zvjezdarnice hrvatskog prirodoslovnog društva za prostu godinu 1922, uredio: A. pl. Kugler, *Nast. vj. knj.* XXX, 1921, uredio: A. pl. Kugler, str. 169
4. D. Pejnović: Bošković-kalendar zvjezdarnice hrvatskog prirodoslovnog društva za prestupnu godinu 1924, uredio: A. pl. Kugler, *Nast. vj. knj.* XXXII, 1923, str. 137-138
5. D. Pejnović: Bošković-kalendar zvjezdarnice hrvatskog prirodoslovnog društva za prostu godinu 1925, uredio: A. pl. Kugler, *Nast. vj. knj.* XXXIII, 1925, str. 368-369
6. D. Pejnović: Bošković-kalendar zvjezdarnice hrvatskog prirodoslovnog društva za prostu godinu 1926, uredio: A. pl. Kugler, *Nast. vj. knj.* XXXIV, 1926, str. 122-123
7. D. Pejnović: (prikaz časopisa): Glasnik hrvatskoga prirodoslovnoga društva, god. XXXV, sv.I. i 2., uredio dr. F. Šuklje, Zagreb, 1923., str. 188, *Nast. vj. knj.* XXXIII, str. 230-231
8. Fizikalne vježbe u srednjoj školi, *Nastavni vjesnik*, knj. XXXIV, 1926., str. 117-118
9. Deutscher Verein zur Forderung des mathematischen und naturw. Unterricht, *Nastavni vjesnik*, knj. XXXIV, 1926. str. 118.
10. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1920. , V. svezak, *Nast. vj. knj.* XXIX, 1921, str. 468-470
11. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1920. , VI. svezak, *Nast. vj. knj.* XXX, 1922, str. 67-72
12. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1921. , I. svezak, *Nast. vj. knj.* XXX, 1922, str. 267-271
13. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1921. , III. svezak, *Nast. vj. knj.* XXX, 1922, str. 367-369

14. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1921. , IV. svezak, *Nast. vj. knj.* XXX, 1922, str. 527-529
15. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1921 , V. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXI, 1923, str. 116-117
16. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1921 , VI. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXI, 1923, str. 191-192
17. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1922 , I. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXI, 1923, str. 347-349
18. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1922, 2. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXII, 1924, str. 66
19. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1922 , 3. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXII, 1924, str. 139-141
20. D. Pejnović (preporuka): O. B. Brixy: Zadaci iz algebre i geometrije (s uputama i rezultatima) za srednje škole , Zagreb, 1923, str. 234, *Nast. vj. knj.* XXXII, 1924, str. 234
21. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1922 , 4. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXII, 1924, str. 230-231
22. D. Pejnović: S. Škarica i S. Škreblin: Maturalni zadaci iz matematike za više razrede srednjih škola kao priprava za ispit zrelosti, *Nast. vj. knj.* XXXII, 1924, str. 234-235
23. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1922, 5. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXII, 1924, str. 308-312
24. D. Pejnović: Hans Geitel, *Nast. vj. knj.* XXXII, 1923-24, str. 319
25. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1922 , 6. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXII, 1924, str. 368-370
26. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1923, 1.svezak, *Nast. vj. knj.* XXXIII, 1925, str. 159-162

27. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1923 , 3. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXIII, 1925, str. 243-247
28. Nekoliko pokusa s tinjalicom, *Nast. vj. knj.* XXXIII, 1925, str. 298-310
29. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1924 , 1. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXIII, 1925, str. 375-380
30. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1925. , 1. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXIV, 1926, str. 118-122
31. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1925 , 3. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXIV, 1926, str. 252-255
32. D. Pejnović: Friedrich Poske (1852-1925), *Nast. vj. knj.* 34 (XXXIV), 1925-26, str. 389-390
33. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1925, 5. i 6. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXIV, 1926, str. 390-394
34. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1926 , 1. i 2. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXV, 1927, str. 74-78
35. Iz života i rada Nikole Tesle, *Nast. vj. knj.* XXXV, 1927, str. 192-202, 299-306, 345-354
36. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1926 , 3. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXV, 1927, str. 214-216
37. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1926 , 4. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXVI, 1928, str. 77-78
38. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1926 , 6. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXVI, 1928, str. 315-317
39. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1928 , 2. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXVI, 1928, str. 381-382
40. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1928 , III. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXVII, 1929, str. 80-82

41. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1928 , IV svezak, *Nast. vj. knj.* XXXVII, 1929, str. 124-126
42. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1928 , VI. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXVII, 1929, str. 206-207
43. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1928 , VI. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXVII, 1929, str. 247-248
44. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1929 , I. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXVII, 1929, str. 402-403
45. Teslina istraživanja u vezi s razvojem brzovanja bez žice, *Nast. vj. knj.* XXXVIII, 1930, str. 45-56
46. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1929 , 2. i 3. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXVIII, 1930, str. 255-258
47. D. Pejnović (prikaz časopisa): Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, von Dr. F. Poske, Berlin 1929 , 4., 5. i 6. svezak, *Nast. vj. knj.* XXXIX, 1930/31, str. 94-97
48. D. Pejnović (prikaz knjige): R. W. Pohl: Einführung in die Mechanik und Akustik, Berlin 1930., *Nast. vj. knj.* XLI, 1932/33, str. 92-93
49. D. Pejnović (prikaz knjige): R. W. Pohl, Einführung in die Elektrizitätslehre, *Nast. vj. knj.* XLI, 1932/33, str. 93-94
50. D. Pejnović (prikaz knjige): The science master-book, part I: Physics, London 1931., *Nast. vj. knj.* XLI, 1932/33, str. 97-98
51. D. Pejnović (prikaz knjige): J. Tillieux: Lecons elementaries de Physique experimentelle secon les theories modernes, Paris et Liege, 1931. str. 510, *Nast. vj. knj.* XLI, 1932/33, str. 387-389
52. D. Pejnović (prikaz knjige): Dussler G, Spiel und Spielzeug in Physikunterricht, Frankfurt a. M. 1933., *Nast. vj. knj.* XLII, 1933/34, str. 141-142
53. D. Pejnović (prikaz knjige): W. H. Eccless, Wireless, London 1933, *Nast. vj. knj.* XLII, 1933/34, str. 227-228
54. D. Pejnović (prikaz knjige): Wilhelm H. Westphall, Physik, Berlin 1933, *Nast. vj. knj.* XLII, 1933/34, str. 140-141
55. D. Pejnović (prikaz knjige): Grimsehl's Lehrbuch der Physik, *Nast. vj. knj.* XLIV, 1935/36, str. 72-74

56. D. Pejnović (prikaz knjige): Lise Meitner – Max Delbrück: Der Aufbau der Atomkerne, Berlin 1936. *Nast. vj. knj.* XLIV, 1935/36, str. 124-128
57. Uz osamdesetgodišnjicu Nikole Tesle, *Nast. vj. knj.* XLIV, 1935/36, str. 200-205
58. D. Pejnović (nekrolog): U spomen Mili Cindriću, *Nast. vj. knj.* XLIX, 1940/41, str. 225-227

Članci u Prirodi

1. D. Pejnović: Jubilej dinamo-električnog stroja, *Priroda*, 1917, god. VII, br. 1, str. 10-II
2. D. Pejnović: Doživljaji pod tlakom od osam atmosfera, *Priroda*, 1917, god. VII, br. 7, str. 162-166
3. Put u svjetski prostor, *Priroda*, XVIII/1928, br. 8, str. 169-173
4. D. Pejnović: O brzojavnom prenosu slika i televiziji, *Priroda*, XXI/1932, br. 1, str. 2-23
5. D. Pejnović: Iz života i rada Nikole Tesle, *Priroda*, XXVI/1936, br. 7, str. 196-205
6. D. Pejnović: Određivanje brzine zvuka, *Priroda*, XXVII/1937, br. 4, str. 104-109
7. D. Pejnović: Osnovi nove atomistike, *Priroda*, XXIX/1939, br. 9, str. 257-263
8. D. Pejnović: Umro profesor Mile Cindrić, *Priroda*, 1939, XXIX, br. 7, str. 215-216
9. D. Pejnović: Umjetna pomrčina Sunca, *Priroda*, XXXII/1942, br. 3-4, str. 90-91
10. D. Pejnović: Galilei Galileo – Život i rad, *Priroda*, XXXII/1942, br. 5-6, str. 97-107
11. D. Pejnović: Predavanje Maxa Plancka u Zagrebu, *Priroda*, XXXII/1942, br. 7. i 8., str. 184-185
12. D. Pejnović: Novija istraživanja o munji, *Priroda*, XXXIII, 1943, br. 4-6, str. 90-92
13. D. Pejnović: Dr. Vladimir Varićak, *Priroda*, XXXIII, 1943, br. 4-6, str. 94-95
14. D. Pejnović: Nikola Tesla (*10. VII.1856. – †1943), *Priroda*, godište XXXIV, Zagreb, 1944, br. 7-10, str. 99-108
15. D. Pejnović: Dr. Maksimilijan Plotnikov, infracrvena fotografija i njena primjena, *Priroda*, XXXIII, 1946, br. 8, str. 290-291
16. D. Pejnović: O takozvanim smrtnim zrakama, *Priroda*, XXXIV, 1947, br. 4, str. 130-133 Hertzovi električni valovi, ostali razni električni valovi, jaki zvučni valovi i radioaktivne zrake
17. D. Pejnović: Iz života i rada ruskog fizičara Petra Lebedeva (1866-1912), *Priroda*, XXXV, 1948- br. 8, str. 287-289
18. D. Pejnović: „Markopov“, *Priroda*, XXXVI, 1949, br. 5, str. 154
19. D. Pejnović: Laplace i Bošković, *Priroda*, XXXVI, 1949, br. 8, str. 253- 254

20. D. Pejnović: Stogodišnjica rođenja ruske matematičarke Sonje Kovalevske, *Priroda*, XXXVII, 1950, str. 356-357
21. D. Pejnović: O dugi, *Priroda*, XXXVII, 1950, str. 381-385
22. D. Pejnović: Stogodišnjica fizičkoga pokusa o vrtnji Zemlje, *Priroda*, XXXVIII, 1951, br. 8, str. 293-298, Pokus Leona Foucaulta, 1851.
23. D. Pejnović: O dugi, *Priroda*, XXXVII, 1950, str. 381-385
24. D. Pejnović: O električnoj energiji munje, *Priroda*, XXXIX, 1952, br. 1, str. 32-33
25. D. Pejnović: Crtica iz povijesti zrakoplovstva: O izumu našeg zemljaka D. Schwarza, *Priroda*, XXXIX, 1952, br. 9, str. 350-353
26. D. Pejnović: Uspjela fotografija munje, *Priroda*, XL, 1953, br. 8, str. 314-315
27. D. Pejnović: Internacionalne nagrade za naučni rad, *Priroda*, XL, 1953, br. 9, str. 40
28. D. Pejnović: O prvom astronomskom dalekozoru u Zagrebu, *Priroda*, LXI, 1954, str. 105-106
29. D. Pejnović: Djelo Nikole Tesle, *Priroda*, LXIII, 1956, str. 173-180
30. D. Pejnović: O Teslinu transformatoru za vrlo visoku napetost, koji je izrađen u Evropi, *Priroda*, LXIV, 1957, str. 22-23

Odgovori i objašnjenja na pitanja i izjave čitalaca časopisa *Priroda*

1. Odgovor na pitanje Drage Solde: Zašto je brzina zvuka u zraku kod 16° veća nego kod 0° kad je zrak kod 0° gušći nego kod 16° ? *Priroda*, 1949, br. 6, str. 191-193
2. Odgovor na pitanje Josipa Kaurića: Da li prakilogram važi kao jedinica za težinu na svim kontinentima? *Priroda*, 1949, br. 10, str. 318
3. Odgovor na pitanje Josipa Goleca: S koliko grama radija raspolaže Jugoslavija? *Priroda*, 1950, br. 8, str. 319
4. Odgovor na pitanje Gojka Mrkalja: Da li su tri manja Sunca na halou oko Sunca prividna ili stvarna? *Priroda*, 1950, br. 8, str. 319
5. Odgovor na pitanje Petra Zjalića: Gdje i kada se može vidjeti i kako dugo traje „pojava zelenog zraka“? *Priroda*, 1950, br. 8, str. 319-320
6. Odgovor na pitanje Miloša Ljubisavljevića: Da li se povećava sveukupna količina energije na Zemlji i da li će se izjednačiti s energijom Sunca prije nego se Sunce ugasi? *Priroda*, 1950, br. 8, str. 320
7. Odgovori na pitanja Zdravka Tecilazića: 1. Zašto kovna modifikacija elementa selena na svjetlosti ima manji električni otpor nego u mraku? 2. Zašto električni otpor elementa Bizmuta naraste kad ga stavimo u magnetno polje? *Priroda*, 1951, br. 4, str. 157-158

8. Odgovor na pitanje Brune Tadića: Da li je „radio“ izumio Popov ili Markoni, Priroda, 1951, br.6, str. 246
9. Odgovor na pitanje Veljka Popovića: Što je ultrazvučni generator, kako radi i kakva je njegova konstrukcija i upotreba? Priroda, 1951, br.9, str. 357
10. Odgovor na pitanje B.B. o fizičkom pokusu koji pokazuje da gustoća električnog naboja na vodiču zavisi o zakrivljenosti njegove površine, dok mjerenje elektrometrom na poznati način daje stalnu veličinu. Priroda, 1952, br.1, str. 37-38
11. Odgovor na pitanje Josipa Jakušića: Ima li željeznica koja se kreće po jednoj tračnici? Priroda, 1952, br. 1, str. 38
12. Odgovor na pitanje Ive Dobrojevića o Davy-evom lučnom plamenu. Priroda, 1952, br.1, str. 38-39
13. Odgovor na pitanje Gani Lume: Kako je moguće protumačiti pojavu prozirnosti staklenih predmeta kada se svi predmeti sastoje od istih čestica, molekula i atoma? Priroda, 1952, br.1, str. 40
14. Odgovor na pitanje Borivoja Popovića: Da li tijelo zamišljeno u središtu Zemlje ima svoju težinu ili je nema? Priroda 1952, br. 6, str. 239-240
15. Odgovor na pitanje čitaoca iz Visokog: Da li munja ide od Zemlje prema gore ili od oblaka prema dolje? Priroda, 1953, br. 4, str.159
16. Odgovor na pitanje Vasilija Lostinkića: Ako bi jednu stranu bikonveksne ili bikonkavne leće premazali amalgamom cinka, a sa suprotne strane rasvjetlili ovakvu „leću zrcalo“, kako bi se odbijala zraka svjetlosti? Priroda, 1953, br.5, str.200
17. Odgovor na pitanja Ivanke Bais: Koje su zgrade sigurnije od groma, da li one, što imaju uvedenu elektriку, ili one, koje nemaju? Da li se slobodno svijetli za vrijeme oluje? Priroda, 1953, br. 6, str. 246-247
18. Odgovor na pitanje Miroslava Stančića o Newtonovom teleskopu reflektoru. Priroda, 1954, br. 9, str.376
19. Odgovor na 4 pitanja nautičara o Zemaljskom magnetizmu. Priroda, 1955, br. 1, str.40
20. Odgovor na pitanje Sretena Šešuna o pojavi vatri nad tresetnim poljem. Priroda, 1955, br.2, str.80
21. Objašnjenje uzorka kamena kojeg je našao Luka Antolić u Prijedoru i uzorak kristala koji ima radio prijemnik detektora. Priroda, 1956. br.5, str.168
22. Objašnjenje zalaza Sunca prema opažanjima Dubrovčanina M.D. dne 11. listopada 1956. Priroda, 1957, br. 10, str. 367.

Natuknice u Hrvatskoj enciklopediji

1. D. Pejnović: Akustika, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 1, Zagreb, 1941, str. 157-159

2. D. Pejnović: CHLADNI, Ernst Florens Friedrich, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 3, Zagreb, 1942, str. 730-731
3. D. Pejnović: Difrakcija, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 4, Zagreb, 1942, str. 753-756
4. D. Pejnović: Dinamometar, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 5, Zagreb, 1945, str. 20-21
5. D. Pejnović: Disperzija, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 5, Zagreb, 1945, str. 92-94
6. D. Pejnović: Električni titraji (električne oscilacije), *Hrvatska enciklopedija*, sv. 5, Zagreb, 1945, str. 690-693
7. D. Pejnović: Elektroakustika, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 5, Zagreb, 1945, str. 693-695
8. D. Pejnović: Elektrode, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 5, Zagreb, 1945, str. 695
9. D. Pejnović: Elektrofor, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 5, Zagreb, 1945, str. 697-698
10. D. Pejnović: Elektroluminiscencija, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 5, Zagreb, 1945, str. 702
11. D. Pejnović: Elektromagnetski valovi, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 5, Zagreb, 1945, str. 704-708
12. D. Pejnović: Elektromotorna sila, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 5, Zagreb, 1945, str. 708
13. D. Pejnović: Elektrostatski strojevi ili munjila, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 5, Zagreb, 1945, str. 727-730
14. D. Pejnović: Elektrostrikcija, *Hrvatska enciklopedija*, sv. 5, Zagreb, 1945, str. 730.

Glasnik matematičko-fizički i astronomski

1. Dušan Pejnović: Nikola Tesla (1856-1943), *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, serija II, T. 2 – No.2., Zagreb, 1947, str. 77-83.
2. D. Pejnović: Još nešto o Plancku, *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, serija II, T. 2 – No.2., Zagreb, 1947, str. 213.
3. D. Pejnović (prikaz knjige): Dr. Josip Lončar: Osnovi elektrotehnike (drugo izdanje), 1947. str. 235-238
4. D. Pejnović: Nobelova nagrada za fiziku 1947, *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, 1948, str. 62-63
5. D. Pejnović: P. Wessel, Physik für das Studium an technischen Hochschulen und Universitäten uns zum Gerauch in der Praxis (osvrt na knjigu), *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, 1948, str. 8
6. D. Pejnović: O novim česticama – mezonima, *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, 1948, str. 132-136

7. D. Pejnović: Poljski fizičari – žrtve rata, *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, 1948, str. 172
8. D. Pejnović: Francuski fizičari, kemičari i matematičari – žrtve rata, *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, 1948, str. 173-174
9. D. Pejnović: Slavoljub Brix, *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, 1949, str. 37-38
10. D. Pejnović (prikaz knjige): Dr. Josip Lončar: Osnovi elektrotehnike (treće izdanje), 1949. str. 39
11. D. Pejnović: Internacionalna konferencija za utege i mjere, 1949, str. 185-187
12. D. Pejnović: Prilog pokusima o ultrazvučnim valovima u tekućini, *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, 1950, str. 178-187
13. D. Pejnović, B. Marković: Utjecaj Zeemanovog efekta na apsorpciju svjetlosti, *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, 1953, str. 213- 227

Popis objavljenih zadataka koje je zadao D. Pejnović u *Glasniku matematičko-fizičkom i astronomskom*, kao i rješenja tih zadataka kada je on sam, ili kada je bilo više rješavatelja a među njima i Pejnović, riješio zadatke

1. Zadatak br. 7, Zagreb, 1946, str. 44
2. Zadatak br. 8, Zagreb, 1946, str. 44
3. Rješenje zadatka br. 7 (riješio D. Pejnović), Zagreb, 1946. str.142
4. Rješenje zadatka br. 8 (riješio D. Pejnović), Zagreb, 1946. str.142 i 143
5. Zadatak br. 19, Zagreb, 1946, str. 93
6. Zadatak br. 20, Zagreb, 1946, str. 93
7. Zadatak br. 21, Zagreb, 1946, str. 93
8. Rješenje zadatka br. 21 (riješili D. Pejnović i J. Lukatela), Zagreb, 1946. str.191 i 192
9. Zadatak br. 30, Zagreb, 1946, str. 139
10. Zadatak br. 32, Zagreb, 1946, str. 139
11. Zadatak br. 41, Zagreb, 1946, str. 185
12. Zadatak br. 42, Zagreb, 1946, str. 185
13. Zadatak br. 43, Zagreb, 1946, str. 185
14. Zadatak br. 44, Zagreb, 1946, str. 185
15. Zadatak br. 45, Zagreb, 1946, str. 185
16. Zadatak br. 52, Zagreb, 1946, str. 228 rj. str. 42, 1947
17. Zadatak br. 53, Zagreb, 1946, str. 228 rj. str. 42 i 43, 1947
18. Zadatak br. 54, Zagreb, 1946, str. 229
19. Zadatak br. 55, Zagreb, 1946, str. 229 rj. Str. 43, 1947
20. Zadatak br. 65, Zagreb, 1947, str. 38

21. Zadatak br. 66, Zagreb, 1947, str. 38
22. Zadatak br. 67, Zagreb, 1947, str. 38
23. Zadatak br. 68, Zagreb, 1947, str. 38 riješili D. Pejnović, D. Skoko i J. Moser str. 93 i 94, 1949
24. Zadatak br. 73, Zagreb, 1947, str. 86
25. Zadatak br. 77, Zagreb, 1947, str. 137
26. Zadatak br. 81, Zagreb, 1947, str. 137
27. Zadatak br. 88, Zagreb, 1947, str. 238
28. Zadatak br. 117, Zagreb, 1948, str. 182
29. Zadatak br. 130, Zagreb, 1949,
30. Zadatak br. 140, Zagreb, 1950, str. 48
31. Zadatak br. 143, Zagreb, 1950, str. 144
32. Zadatak br. 160, Zagreb, 1952, str. 64

Članci u *Matematičko-fizičkom listu*:

1. D. Pejnović: Nekoliko šaljivih pitanja i odgovora iz srednjoškolske fizike, god. I (1950/51), str. 28-29
1. D. Pejnović: Pedesetgodišnjica Nobelovih nagrada iz fizike, god. I (1950/51), str. 48
1. D. Pejnović: Nekoliko šaljivih pitanja i odgovora iz srednjoškolske fizike, god. I (1950/51), str. 56
2. D. Pejnović: Pitanja iz školske fizike, god. I (1950/51), str. 86-87
3. D. Pejnović: Odgovor na pitanja iz školske fizike (iz 3. broja), god. I (1950/51), str. 117
4. D. Pejnović: Računanje na prste, god. I (1950/51), str. 148
5. D. Pejnović: O životu i pronalascima grčkog matematičara Pitagore, god. II (1951/52), str. 45
6. D. Pejnović: Odgovor na pitanja iz školske fizike, god. II (1951/52), str. 68
7. D. Pejnović: Dva orijaša u carstvu brojeva, god. II (1951/52), str. 125
8. D. Pejnović: Arhimedove «dizanje Zemlje», god. III(1952/53), str. 18-19
9. D. Pejnović: O broju listova na drvetu i broju vlasi na glavi, god. III (1952/53), str. 61
10. D. Pejnović: Iz djetinjstva Nikole Tesle, god. V (1954/55), str. 65-66
11. D. Pejnović: O školovanju Nikole Tesle u Rakovcu, god. VII (1956/57), str. 112

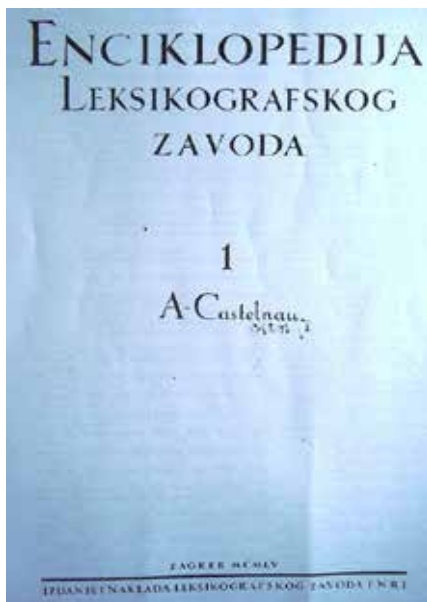
Ostalo

1. D. Pejnović : Doživljaji pod tlakom od osam atmosfera, *Cetinjske novine*, II/1917, br. 119, str. 1-2
2. D.P. (Dušan Pejnović): O broju π , *Omladina*, god. IV/1920., br.3, str. 68.
3. Dušan Pejnović: Kapacitet antene, *Radio -šport* br. 6. i 7. 1924., str 3. i 4. D. Pejnović: Vremenski signali: *Radio-Šport* 1/1924, 8, 3-5, 24/26 1-3; 2/1925, 1, 1-4, 2, 9-II
5. D. Pejnović: Prilog pokusima o ogibu svjetlosti na ultrazvučnim valovima, *Glasnik Hrvatskog prirodoslovnog društva*, Zagreb , 1936, str. 272-282
6. D. Pejnović: Tomobilj, Detroit, *Slobodna misao*, 10/1940, 877, 4
7. D. Pejnović: Prilozi optici ultrazvučnih valova, *Rad JAZU*, knj. 274 (85) (1942), str. 189-212
8. D. Pejnović: Beiträge zur Optik der Ultraschallwellen (Auszug aus «Rad» Bd. 274. s. 189) ; *Bulletin International de l' Académie des sciences et des beauxarts*, 1945, XXXV; str. 46-54.
9. D. Pejnović: Mathieu, J.P.: Otkriće Ramanova efekta, *Bilten dokumentacije inostrane stručne literature*, God I/ 1950., br. 4-5, str. 301.
10. D. Pejnović: Lanoy, Henri: Moderni aeromotori (Aeromoteurs modernes), *Atomes*, br. 34, januar 1949, str. 8, sa 10 slika- B-1412, *Bilten dokumentacija inostrane stručne literature*, Beograd, godina I (1950.) br. 2-3, str. 151.
11. D. Pejnović: O termomagnetskim mehanizmima J. Stefana i N. Tesle, *Bilt, Društvo. Mat.fiz. Makedonije*, 6, (1955), str. 1-7.

Sveukupno ovaj predočeni popis sadrži 192 bibliografske jedinice iz čega se može zaključiti koliko je malo bio poznat Dušan Pejnović kao plodonosni autor tolikog broja bibliografskih jedinica. Na taj način, ovakvim pouzdanim zaključkom, ispravljamo dugogodišnju nepravdu prema Pejnoviću koja je bila uzrokovana našim nedovoljnim poznavanjem njegova opusa objavljenih publikacija koje je on publicirao kao rezultat neiscrpnog, plodonosnog i dugogodišnjeg predanog rada.

4. Ostale aktivnosti D. Pejnovića

Već je spomenuto da je Pejnović bio vrlo načitani i da je rado pomagao u knjižnici Fizikalnog zavoda svojim pomaganjem razmještaja pojedinih knjiga. Kada se tome pridoda i činjenica da je kao suradnik napisao 14 natuknica (vidjeti detaljan popis u ovom radu) u Hrvatskoj enciklopediji (1941. – 1945.) može se reći da je stekao bogato enciklopedijsko iskustvo. Glavni urednik te enciklopedije bio je dr. Mate Ujević a urednik za struku Fizika bio je dr. Stanko Hondl. U *Enciklopediji leksikografskog zavoda*, I. Svezak, I. Izdanje (A – Castelnau), Zagreb, MCMLV, glavni redaktori bili su dr. Marko Kostrenčić i Miroslav Krleža. Redaktor struke Fizika bio je dr. Dušan Pejnović iz Zagreba, tada sveučilišni profesor u mirovini. U predgovoru redakcija te enciklopedije je, između ostalog, naglasila:” ...Ona (enciklopedija) će tako postati trajan podsjetnik pomno razvrstane materije sveukupnog znanja, dokument sigurne budućnosti ljudskog razvoja, osnovanog na pozitivnim, naučnim postignućima bogatog, historijskog iskustva...” Kao redaktor (dotjerivač rukopisa za tisak) bio je Pejnović zadužen za uređivanje uradaka 13 suradnika struke Fizika. To je za njega bilo veliko priznanje i počast jer su među suradnicima bila dva prava člana JAZU (Željko Marković, Josip Goldberg), pet doktora znanosti (Borivoj Jakšić, Branko Maksić, Branimir Marković, Slavko Rozgaj, Vladimir Vranić) i šest uglednih visokoškoloovanih fizičara (Aleksandar Grossman, Marija Luksić, Dragutin Mayer, Božena Peko – Kačić, Srđan Škarić, Gustav Thuro).



Sl.5.: Naslovnica *Enciklopedije Leksikografskog zavoda*

Zaključak

Kada se uzme u obzir sve izneseno očito je da je više nego nedovoljno uočeno značenje D. Pejnovića za hrvatsku fiziku i visokoškolsku nastavu fizike. Pejnović je ipak postigao mnogo više nego što je do danas prepoznato. Osobna povijest Dušana Pejnovića puno je bogatija nego što je isticano.

Literatura:

- [1] Prof. dr. Dušanu Pejnoviću in memoriam, *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, 1958, str. 218-219.
- [2] Prof. dr. Dušan Pejnović, *Priroda*, XLV, 1958, str. 157
- [3] Arhiv Rektorata Sveučilišta u Zagrebu
- [4] Wolf Hinko: Biografije i bibliografije novih sveučilišnih profesora, *Alma mater Croatica*, IV/1940- 41, str. 152-157.
- [5] *Naša domovina*, sv.1, Zagreb, 1943, str. 410
- [6] Dušan Pejnović: Kapacitet antene, *Radio šport* br. 6. i 7. 1924., str 3. i 4.
- [7] Zvonimir Jakobović, Naši poznati stariji fizičari – prvi radioamateri, *Matematičko-fizički list* br. 1. /1964-65. str. 23-25
- [8] B. Hanžek: Fizičari Dušan Pejnović i Gustav Šindler, *Prirodoslovlje* 1-2/07, Petrinja 12. listopada 2007., str. 75-86.
- [9] Kartoteka Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža
- [10] *Priroda*, 1911-1971, Bibliografija, Zagreb, 1975.
- [11. a] *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, Serija II, godina 1948.
- [11. b] *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, Serija II, godina 1949.
- [11. c] *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, Serija II, godina 1950.
- [12. a] Dušan Pejnović: Iz života i rada Nikole Tesle, *Nastavni vjesnik*, knjiga XXXV, Zagreb, 1927, str. 192-202, str. 299-306, str.345-354
- [12. b] Dušan Pejnović: Teslina istraživanja u vezi s razvojem brzjava bez žica, *Nastavni vjesnik*, knjiga XXXVIII, Zagreb, 1930, str. 46-56
- [12. c] Dušan Pejnović: Uz osamdesetodisnjicu Nikole Tesle, *Nastavni vjesnik*, knjiga XLIV, Zagreb, 1935/36, str. 200-205
- [12. d] Dušan Pejnović: Iz života i rada Nikole Tesle, *Priroda*, godište XXVI, Zagreb, 1936, br. 7, str. 196-205
- [12. e] Dušan Pejnović: Nikola Tesla (*10. VII.1856.– †1943), *Priroda*, godište XXXIV, Zagreb, 1944, br. 7–10, str. 99-108
- [12. f] Dušan Pejnović: Nikola Tesla (1856-1943), *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, serija II, T. 2 – No.2., Zagreb, 1947, str. 77-83.
- [13] Branimir Marković: Prof. dr. Dušan Pejnović, *Matematičko-fizički list*, God. VIII, šk.g. 1957-58, br. 4, str.141-142.

Branko Hanžek

PHYSICISTS DUŠAN PEJNOVIĆ PHD, UNIVERSITY PROFESSOR – LIVE AND WORK

Abstract: Live and career of Dušan Pejnović are presented. Development of his professional career started by taking the matriculation exam, and by studying and taking additionally exams (supplementary and teacher exam), to achieve a doctorate of science degree (PhD). After that, the procedure for his selection as an assistant of the Physical Cabinet (later: Physical Institute) at the Faculty of Philosophy of the University of Zagreb is presented in detail. It is also shown how the second department of the Institute of Physics was established, a fact not been sufficiently known so far. The lesser-known fact that Pejnović was one of the candidates for the doctoral promotion of “sub auspiciis Regis” is also revealed. His important roles in the development of the course Physical Practicum, in exercises with school physical apparatus and papers on school physics issues are highlighted. Along with a complete list of Pejnović’s university lectures and lectures at the People’s University, a review of some of his works is given. The latest attempt to complete Pejnović’s author’s bibliography is also given.

Key words: Physics, Dušan Pejnović, Physical, Institute at the Faculty of Philosophy of the Zagreb University, author’s bibliography

