HRVATSKI KOMITET MEĐUNARODNOG VIJEĆA
ZA VELIKE ELEKTRIČNE SISTEME - ZAGREB

ČETVRTI SIMPOZIJ O DISTRIBUCIJSKOJ DJELATNOSTI
PULA, 12. - 15. svibnja 2002.

Mr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje – Split
Eugen Mudnić, dipl. ing.
FRACTAL d.o.o. Split
Domagoj Milun, dipl. ing.
HEP, DP Elektrodalmacija Split

D 2.01

Diskusija na temu: GUBICI U ELEKTRODISTRIBUTIVNOJ MREŽI

STRUKTURA GUBITAKA SNAGE I ENERGIJE U SREDNJENAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

1. UVOD

Problematika gubitaka u distributivnim mrežama uvijek je vrlo aktualna, a pogotovo pitanje realnog utvrđivanja iznosa tehničkih gubitaka, tj. odjeljivanje tehničkih gubitaka u mreži i gubitaka uzrokovanih greškama mjerenja, nelegalnom potrošnjom i sl. Gubici snage i energije u mreži postaju sve aktualniji i bitniji s obzirom na restruktuiranje i uvođenje tržišnih odnosa u hrvatskom elektroprivrednom sektoru.

U ovom radu ukratko su prikazani preliminarni rezultati istraživanja metodologije za utvrđivanje iznosa gubitaka snage i energije u srednjenaponskoj distributivnoj mreži, kao i njihove strukture odnosno postotnog udjela po elementima mreže. Proračuni su napravljeni na realnoj srednjenaponskoj distributivnoj mreži pogona Trogir - DP Elektrodalmacija, s točnim tehničkim parametrima svih elemenata i na osnovu stvarnih ulaznih podataka vršnih opterećenja i godišnje potrošnje električne energije za 2001. godinu. Za modeliranje mreže i proračune korišten je programski paket PowerCAD 4.1 (lit. 1), koji se za razne analize elektroenergetskih mreža već duži niz godina upotrebljava u Hrvatskoj i BiH.

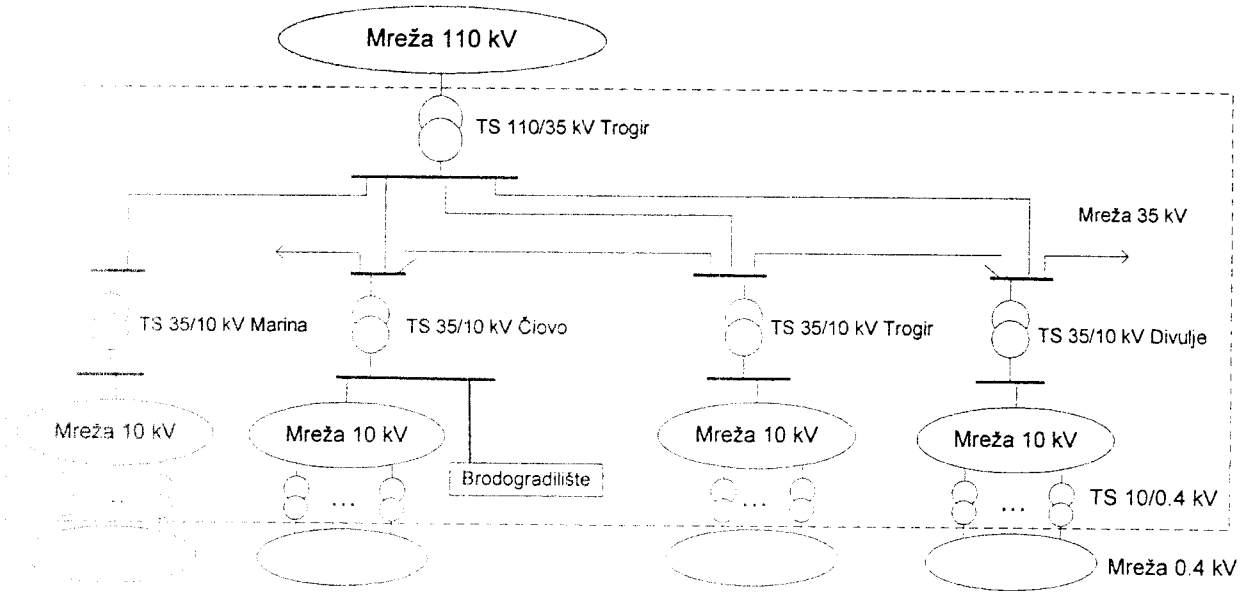
2. MODEL MREŽE I NAČIN PRORAČUNA

Primjer proračuna gubitaka snage i energije napravljen je za kompletnu srednjenaponsku mrežu pogona Trogir, koja uključuje napajanje iz jedne TS 110/35 kV, 35 kV-tne vodove koji napajaju četiri TS 35/10 kV, pripadne 10 kV-tne vodove napajane iz ovih trafostanica, te sve TS 10/0.4 kV. Osnovni energetski pokazatelji za navedenu mrežu u 2001. godini su:

- vršno opterećenje (na 110 kV-tnim sabirnicama) TS 110/35 kV Trogir: 27 MW
- ukupna preuzeta godišnja energija: 102 GWh
- pretpostavljeni faktor snage na 0.4 kV-tnim sabirnicama TS 10/0.4 kV: $\cos\varphi=0.95$

Struktura promatrane mreže, s osnovnim parametrima, prikazana je na slici 1. Posebno je izdvojen veliki potrošač (trogirsko brodogradilište) koji se napaja s 10 kV-tnih sabirnica TS 35/10 kV Čiovo, i to za potrebe proračuna udjela gubitaka u mreži koji ovaj potrošač uzrokuje. Iz TS 35/10 kV Divulje napaja se, zbog nedovoljne izgrađenosti mreže, i dio potrošnje u TS 35/10 kV Kaštela, što nije uključeno u proračun, tj. gornji podaci o vršnom opterećenju i godišnjoj energiji odnose se samo na mrežu

koja obuhvaća pogon Trogir. Također iz TS Čiovo ide i rezervni 35 kV-tni kabelski vod prema TS Šolta, a koji se vrlo rijetko koristi, pa nije uzet u razmatranje.



Slika 1: Srednjenaponska distributivna mreža pogona Trogir

Proračun gubitaka snage u promatranoj mreži pri vršnom opterećenju napravljen je pomoću programskog paketa PowerCAD 4.1, koji omogućava automatsko formiranje bilance gubitaka snage po naponskim nivoima i odabranim područjima mreže. Na osnovu rezultata gubitaka snage pri vršnom opterećenju izvršen je i aproksimativni proračun gubitaka energije na godišnjem nivou, uz slijedeće pretpostavke:

- za transformatore su razdvojeni konstantni gubici praznog hoda koji na godišnjem nivou generiraju gubitke energije u iznosu gubitaka snage praznog hoda pomnožene s godišnjim brojem sati, od gubitaka u bakru koji su ovisni o opterećenju i koji su za proračun gubitaka energije na godišnjem računati aproksimativnom formulom kao i vodovi
- godišnji gubici energije u vodovima i gubici u bakru transformatora računati su aproksimativnom formulom:

$$W_g = \left[a \cdot T_u + (1-a) \cdot \frac{T_u^2}{T} \right] \cdot P_g^{max}, \quad T_u = \frac{W}{P^{max}}$$

gdje su:

T (h) – vremensko razdoblje za koje se računaju gubici energije
W_g (MWh) – gubici energije u mreži za promatrano vremensko razdoblje T
W (MWh) – ukupna potrošnja energije u promatranom vremenskom razdoblju T
P^{max} (MW) – vršna snaga u promatranom vremenskom razdoblju T
P_g^{max} (MW) – gubici snage u mreži za vrijeme vršnog opterećenja
T_u (h) – upotrebno vrijeme
a – konstanta koja se u distributivnim mrežama, ovisno o obliku krivulje trajanja opterećenja, obično kreće u granicama 0.15-0.20, a za koju je u ovom proračunu pretpostavljen iznos 0.17

Opisani način obračuna godišnjih gubitaka energije pokazuje se kao dovoljno pouzdan za ovakve analize, što su pokazala prethodna istraživanja usporedbom s točnijom metodom koja podrazumijeva poznavanje krivulje trajanja opterećenja (lit. 2),. To je vrlo često i jedini mogući izbor, budući da je u praksi vrlo teško doći do podataka na osnovu kojih bi se mogla formirati godišnja krivulja trajanja opterećenja. S druge strane, dodatnu grešku u proračunu čini i pretpostavka konstantnog faktora snage potrošača na 0.4 kV-tnim sabirnicama TS 10/0.4 kV, koji je za vrijeme manjih opterećenja lošiji, tako da je za pretpostaviti ipak nešto veći iznos godišnjih gubitaka od izračunatih. Međutim, prema izvršenim dodatnim simulacijama za minimalno opterećenje mreže, pokazuje se da navedena aproksimacija ne unosi grešku veću od 5%, tj da se rezultati mogu smatrati realnim.

3. REZULTATI PRORAČUNA – STRUKTURA GUBITAKA SNAGE I ENERGIJE

Proračunom tokova snaga pri vršnom opterećenju promatrane distributivne mreže dobiveni su gubici radne snage grupirani na slijedeći način:

a) gubici transformatora 110/35 kV
b) gubici 35 kV-tnih vodova
c) gubici transformatora 35/10 kV
d) gubici 10 kV-tnih vodova
e) gubici transformatora 10/0.4 kV

Ukupni gubici snage pri vršnom opterećenju iznose 1,322 MW odnosno 5,1% u odnosu na ukupnu potrošnju. Rezultati po grupama, u apsolutnim vrijednostima i postotnim udjelima pojedine grupe, prikazani su u tablici 1. Podaci o postotnim udjelima pojedine grupe su prikazani i u varijanti bez uračunatih gubitaka transformatora 110/35 kV, tj. u varijanti kad se ovi gubici pripisuju prijenosnoj mreži.

Tablica 1: Struktura gubitaka snage pri vršnom opterećenju srednjenaponske distributivne mreže pogona Trogir

Grupa	Transform. 110/35 kV	Vodovi 35 kV	Transform. 35/10 kV	Vodovi 10 kV	Transform. 10/0.4 kV	Ukupno
Gubici (kW)	172	109	230	547	264	1322
Udio (%)	13,0	8,2	17,4	41,4	20,0	100
Bez uračunatih gubitaka TS 110/35 kV						
Udio (%)	-	9,5	20,0	47,5	23,0	100

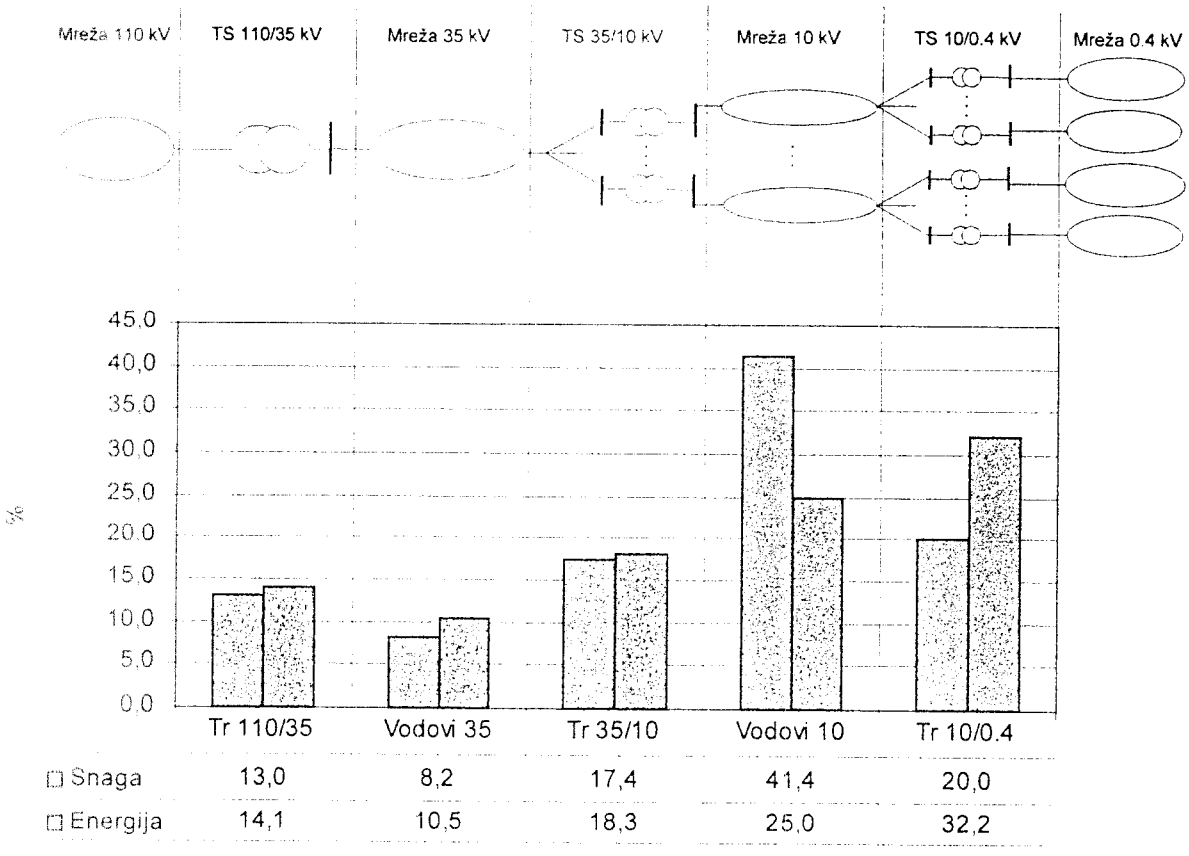
Rezultati proračuna gubitaka energije na godišnjem nivou, uz pretpostavke i način proračuna opisanim u prethodnom poglavlju, daju rezultate prikazane u tablici 2. Ukupni gubici od 4364 MWh iznose 4,5% u odnosu na ukupnu godišnju potrošnju, odnosno 3751 MWh (3,8%) ukoliko se u gubitke energije ne uračunaju gubici transformatora 110/35 kV.

Tablica 2: Struktura godišnjih gubitaka energije srednjenaponske distributivne mreže pogona Trogir

Grupa	Transform. 110/35 kV	Vodovi 35 kV	Transform. 35/10 kV	Vodovi 10 kV	Transform. 10/0.4 kV	Ukupno
Gubici (MWh)	614	459	797	1091	1404	4364
Udio (%)	14,1	10,5	18,2	25,0	32,2	100
Bez uračunatih gubitaka TS 110/35 kV						
Udio (%)	-	12,2	21,3	29,1	37,4	100

Rezultati proračuna gubitaka snage i energije uglavnom su očekivani. Lako se uočava da najveći udio gubitaka generira 10 kV-tna mreža i transformatori 10/0.4 kV. Usporedbom priložene strukture gubitaka snage pri vršnom opterećenju i godišnjih gubitaka energije, najveća razlika se također primjećuje u ovim kategorijama. Naime, gubici snage pri vršnom opterećenju u 10 kV-tnim vodovima približno su dvostruko veći od gubitaka u transformatorima 10/0.4 kV. S druge strane, gubici energije na godišnjem nivou u transformatorima 10/0.4 kV su veći od gubitaka energije u 10 kV-tnim vodovima, što je posljedica relativno velikog broja manjih, slabo opterećenih transformatora koji imaju značajan udio gubitaka praznog hoda. Godišnji gubici energije praznog hoda transformatora 10/0.4 kV približno su jednaki gubicima u bakru, dok su kod transformatora 35/10 kV gubici praznog hoda gotovo 4 puta manji od gubitaka u bakru. Vezano za efekt fiksnih gubitaka u transformatorima, interesantan je i podatak da gubici snage u mreži pri minimalnom godišnjem opterećenju (pretpostavljenom u iznosu od 20% vršnog opterećenja) u postotnom iznosu prema konzumu iznose 5,3%, tj. veći su od gubitaka pri vršnom opterećenju! Najmanji postotni iznos gubitaka ostvaruje se pri potrošnji od 47% u odnosu na vršnu, gdje gubici iznose 3,7% u odnosu na potrošnju. Inače, godišnji gubici praznog hoda svih transformatora u mreži iznose 1925 MWh odnosno 44% u odnosu na ukupne godišnje gubitke energije u mreži (uz uračunate gubitke transformatora 110/35 kV).

Usporedni prikaz strukture gubitaka snage i energije za promatranu mrežu dan je na slici 2, i to u varijanti s uračunatim gubicima transformatora 110/35 kV.



Slika 2 Postotnu udjeli gubitaka snage pri vršnom opterećenju i godišnjih gubitaka energije u srednjenaponskoj mreži pogona Trogir

Dodatno pitanje koje se u ovakvim proračunima može postaviti je koliki udio u gubicima energije u mreži pripisati radu velikog potrošača – trogirskog brodogradilišta priključenog na 10 kV-tne sabirnice TS 35/10 kV Čiovo. Odgovor se može potražiti na više načina, pa su uspoređeni rezultati slijedećih opcija:

a) Velikom potrošaču treba pripisati gubitke u mreži na osnovu postotnog udjela ukupne godišnje potrošnje u odnosu na ukupnu potrošnju u mreži, uzimajući u obzir samo one gubitke koji nastaju do 10 kV-tnih sabirnica TS 35/10 kV. Prema ovakvom proračunu, brodogradilištu se pripisuje 42,8% ukupnih gubitaka (udio TS 110/35 kV, 35 kV-tnih vodova i TS 35/10 kV), i to na razini udjela njegove godišnje potrošnje u ukupnoj potrošnji u mreži. Konkretan iznos gubitaka energije u distributivnoj mreži koje uzrokuje brodogradilište u ovakvom proračunu iznosi 180 MWh.

b) Velikom potrošaču treba pripisati gubitke u mreži na osnovu razlike proračuna godišnjih gubitaka energije u slučaju kad je potrošač priključen na mrežu u odnosu na slučaj kad nije priključen. Dakle, ponavljanjem kompletnog proračuna u varijanti kad brodogradilište nije priključeno na mrežu, dobije se smanjenje gubitaka u iznosu od 251 MWh, što se može interpretirati kao odgovarajuće povećanje gubitaka u mreži koje uzrokuje brodogradilište.

Ovakva, relativno velika razlika, može se protumačiti pomoću najmanje dva bitna razloga. Prvi i osnovni razlog je različito godišnje upotrebno vrijeme brodogradilišta (2315 h) i ostale potrošnje (3778 h). Drugi je razlog što se u varijanti b) razlika dobije na osnovu marginalnih troškova gubitaka uzrokovanih dodatnom potrošnjom u već postojećoj mreži. Oba razloga idu na štetu velikog potrošača u odnosu na varijantu a). Samo je prvi razlog objektivno opravdan i treba ga uzeti u obzir određenom modifikacijom proračuna u b) varijanti ukoliko se ista odabere kao pogodniji model ovakvih proračuna. S druge strane, otvoreno je pitanje treba li uvažiti drugi navedeni razlog koji uvjetuje različite rezultate. Po mišljenju autora ove diskusije, njega ne treba ga uvažiti, tj. objektivniji je pristup u varijanti b), jasno uz prethodnu dopunu po pitanju korekcije rezultata zbog različitog upotrebnog vremena.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu dan je primjer analize strukture gubitaka snage i energije u srednjenaponskoj distributivnoj mreži, od 110 kV-tnog od 0.4 kV-tnog nanponskog nivoa. Primjer je napravljen na realnoj srednjenaponskoj mreži pogona Trogir, napajanoj iz TS 110/35 kV Trogir. Proračuni gubitaka snage, na osnovu odgovarajućeg modela mreže, napravljen je pomoću programskog paketa PowerCAD 4.1, a proračuni gubitaka energije napravljeni su aproksimativnim izrazima za gubitke energije na osnovu poznatih podataka vršnog opterećenja i ukupne potrošnje.

Proračunom je ilustrirana relativno jednostavna metoda utvrđivanja strukture gubitaka snage i energije u srednjenaponskoj mreži, koja se može lako može primijeniti i za brojne dodatne analize gubitaka, kao što je i napravljeno dodatnim primjerom utvrđivanja udjela u gubicima koje uzrokuje veliki potrošač u mreži. Kao i svaki drugi model, i opisani ima svoje manjkavosti i nedostatke, te ga u svakom slučaju treba nastojati poboljšati i testirati na različitim specifičnim slučajevima. Osnovni preduvjeti za ovakve analize su poznavanje što točnijih tehničkih parametara elemenata mreže i odgovarajućih energetskih parametara, dok je sam proračun najmanji problem, jasno uz dobro poznavanje problematike rada distributivne mreže i odgovarajuću programsku podršku.

Posebno se ipak mora razmatrati i proučavati problem gubitaka u niskonaponskoj mreži koji se zbog dimenzija niskonaponske mreže i uvažavanja faktora istovremenosti praktički mora izdvojiti od proračuna u srednjenaponskoj mreži (lit. 3). S druge strane, za niskonaponsku mrežu sam proračun je daleko jednostavniji, ali zahtijeva pažljiv odabir karakterističnih varijanti realnih niskonaponskih mreža na kojima se može napraviti sličan proračun i naknadno bilanciranje rezultata na nivou pogona ili distribucijskog područja u cjelini.

Samo uz pažljivi i odgovoran pristup utvrđivanju realnih tehničkih gubitaka u distributivnoj mreži može se doći i do odgovora na vrlo bitna pitanja kao što su razlaganje tehničkih i ostalih gubitaka, utvrđivanje mjera za saniranje tehničkih gubitaka, te brojnih pitanja koja će se u domeni gubitaka u distributivnoj mreži postaviti širenjem tržišta električne energije u Hrvatskoj.

LITERATURA:

1. Programski paket PowerCAD 4.1 – upute za rad, Fractal d.o.o., ožujak 2002.
2. R. Goić, E. Mudnić, Z. Jadrijev: Primjena programskog paketa PowerCAD za analizu gubitaka snage i energije u distributivnim mrežama, V savjetovanje CIGRE, Cavtat 2001.
3. Programski paket WINdis 2.1 – upute za rad, Fractal d.o.o., veljača 2001.
4. Dokumentacija pogona Trogir, DP Elektrodalmacija, za 2001. godinu

PITANJA ZA DISKUSIJU:

- Praktična iskustva u primjeni programskih paketa za analizu gubitaka u distributivnim mrežama
- Mogućnosti i pouzdanost proračuna gubitaka energije u distributivnoj mreži s obzirom na raspoloživost ulaznih parametara
- Kako će se obračunavati, tko će obračunavati i tko će plaćati gubitke u distributivnoj mreži nakon restruktuiranja HEP-a i šireg otvaranja tržišta električne energije