



## **AUTOR – Branko Paić**

**Rođen** u Šibeniku, 01. siječanj 1943.

**Diplomirao**, 1967. na ETF-Jaka struja

**Zaposlen** u ELKA – Tvornica električnih kabela, Zagreb, 1969. – 2004.  
na poslovima: Tehnolog-konstruktor do Direktor Sektora razvoja i kontrole kvalitete

### **Važniji razvojni poslovi u ELKA:**

- voditelj tima za usvajanje proizvodnje: SN kabela s PE izolacijom, NN SKS i SN kabela s PE-X izolacijom, teškogorivih i vatrootpornih kabela,
- idejno i izvedbeno rješenje VN ispitne stanice za kabele do 110 kV,
- vođenje Pilot proizvodnje svjetlovodnih kabela do predaje u redovnu proizvodnju

### **Ostali važniji poslovi $\geq$ 2004. godine:**

- idejni i izvedbeni tehnološki projekt, ugovaranje i nabavka opreme za novu tvornicu energetskih NN kabela u BiH,
- izvedbeni tehnološki projekt nove opreme kod preseljenja ELKA na novu lokaciju,
- idejni tehnološki projekt proizvodnje NN kabela za tvornicu na Bliskom istoku,
- EDZ – Seminari i stručne radionice

## KRONOLOGIJA

Početak rada na rukopisu: .....	studeni 2018.
Završetak rukopisa i obavijest EDZ .....	rujan 2019.
Izbor recenzenata .....	listopad 2019.
Recenzije završene .....	listopad 2021.
Izbor nakladnika: <del>Kiklop</del> ili Graphis .....	siječanj 2022.
Tisak knjige .....	lipanj 2024.
Predstavljanje knjige .....	studeni 2025.

## Zašto knjiga “Električni kabeli za EE mreže i instalacije”

### STANJE STRUČNE LITERATURE

Samo jedna knjiga na hrvatskom jeziku “V. Srb – KABELSKA TEHNIKA”, vrlo vrijedna knjiga, ali zastarjela, jer se temelji uglavnom na tehnologiji papirnih kabela.

### ZAŠTO NAPISATI KNJIGU?

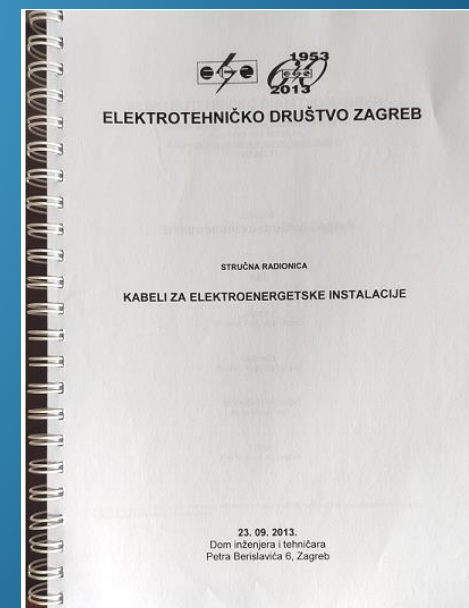
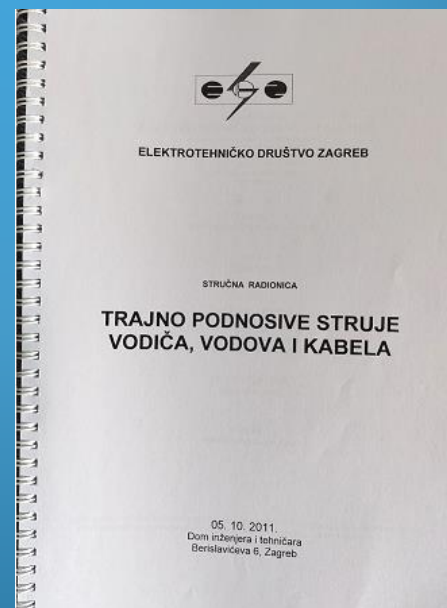
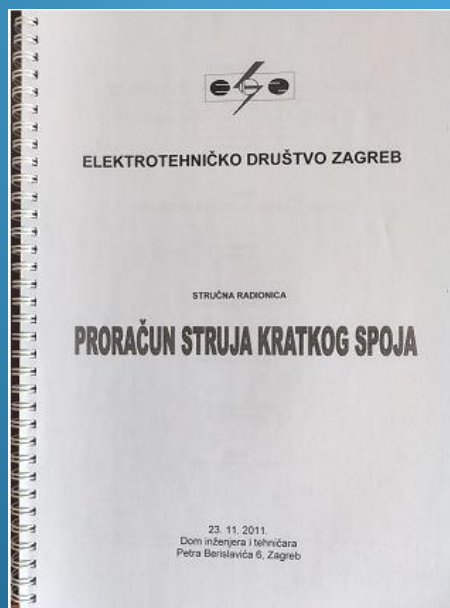
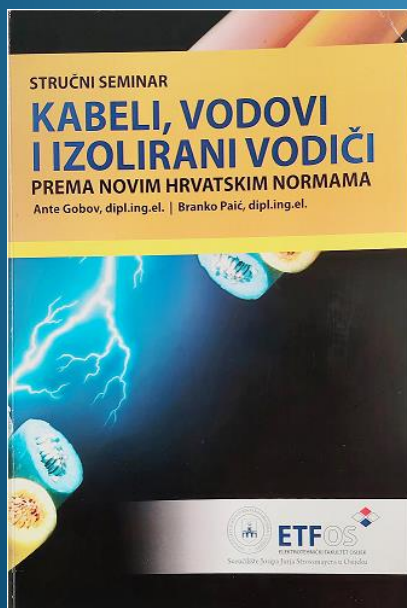
S dugogodišnjim iskustvom na razvoju, ispitivanju i primjeni kabela te projektiranju i izvođenju kabelskih proizvodnih tehnologija, bila mi je namjera napisati knjigu o suvremenim izvedbama kabela za različite sustave elektroenergetskih mreža i instalacija

Knjigom »Električni kabeli za elektroenergetske mreže i instalacije« dao sam detaljni niz podataka o izvedbi, tehnologiji izrade, provjeri značajki i uporabi modernih kabela s izolacijom i plaštom od polimernih smjesa, u skladu s međunarodnim normama IEC, EN, HD i pripadajućim HR normama.

Izvedbe i postupci s kabelima temeljeni su na europskoj praksi koja je široko prihvaćena u Republici Hrvatskoj

## OSNOVNE PODLOGE

- Skripta “KONSTRUKCIJA KABELA” za potrebe doškoloavanja radnika ELKA
- Referati sa Savjetovanja i Simpozija JUKO CIGRE i HO CIGRE
- Skripti iz programa obrazovanja »Elektrotehničkog Društva Zagreb«:



## SADRŽAJ

- POGLAVLJE 1 – Elektroenergetski kabelski sustavi izmjeničnog napona
- POGLAVLJE 2 – Konstrukcija elektroenergetskog kabela
- POGLAVLJE 3 – Materijali za izradu kabela
- POGLAVLJE 4 – Tehnologija proizvodnje kabela
- POGLAVLJE 5 – Pakiranje i postupci s kabelskim bubnjem
- POGLAVLJE 6 – Ispitivanje kabela
- POGLAVLJE 7 – Polaganje izoliranih vodiča i kabela
- POGLAVLJE 8 – Električne značajke kabela
- POGLAVLJE 9 – Toplinsko i naponsko starenje kabela
- POGLAVLJE 10 – Strujno opterećenje kabela
- POGLAVLJE 11 – Strujno opterećenje kabela u kratkom spoju
- POGLAVLJE 12 – Zaštita elektroenergetske instalacije
- POGLAVLJE 13 – Izvedbe i primjena elektroenergetskih kabela
- POGLAVLJE 14 – Elektroenergetski kabeli za posebne namjene

## NAMJENA KNJIGE

- \* odgovornim osobama, za poslove projektiranja, održavanja, kontrole i stručnog nadzora i/ili nostrifikacije kabelskih elektroenergetskih mreža i instalacija
- \* odgovornim osobama, za poslove gradnje javnih NN i VN EE sustava, te izdvojenih mrežnih sustava i podsustava
- \* stručnim osobama na poslovima konstrukcije, proizvodnje, ispitivanja i prodaje u tvornicama kabela, prometa kabelima i kabelskim proizvodima
- \* kao stručna literatura kod dodiplomskog i diplomskog studija elektrotehnike za područje kabelske tehnologije
- \* široj javnosti općeg i tehničkog smjera za upoznavanje suvremenih rješenja primjene kabela i kabelske tehnologije u različitim uvjetima rada

## ZAHTJEVI ZA PRIMJENU ELEKTRIČNIH KABELA

### U TRAJNOM RADU

- da se tijekom rada ne promjene njihova projektirana svojstva
- održati sigurnost opskrbe električnom energijom potrošača

### PRI INCIDENTU

- održati sigurnost ljudstva i opreme od mogućih strujnih udara
- spriječiti nastajanje i širenje požara iz kabela ili od vanjskih izvora
- zaštititi ljudstvo i okoliš opasnosti od izlaganja štetnim produktima izgaranja

## PODRUČJE PRIMJENE ELEKTRIČNIH KABELA

- \* PRIJENOS I DISTRIBUCIJA ELEKTRIČNE ENERGIJE
  - NN kabeli, SN kabeli, VN i VVN kabeli
  
- \* POSEBNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE I PODSUSTAVI
  - BRODSKA ELEKTROENERGETSKA MREŽA
    - NN kabeli, SN kabeli
  
  - MREŽNI PODSUSTAVI U CESTOGRADNJI
    - EE podsustav tunela: NN kabeli, SN kabeli, kontrolno/upravljački kabeli
  
  - MREŽNI PODSUSTAVI ŽELJEŽNICE
    - EE sustav tračničkih vozila: NN kabeli, SN kabeli, kontrolno/upravljački kabeli
    - EE podsustav tunela: NN kabeli, SN kabeli, kontrolno/upravljački kabeli
  
  - MREŽNI PODSUSTAVI U GRAĐEVINAMA
    - EE instalacije javnih objekata (kazališta, trgovački centri, kino i sportske dvorane i sl.)
    - EE instalacije u visokogradnji (poslovno-stambeni tornjevi i sl.) :
      - NN kabeli, kontrolno/upravljački kabeli

## PRIJENOS I DISTRIBUCIJA EL. ENERGIJE

### POLAGANJE U ZEMLJU

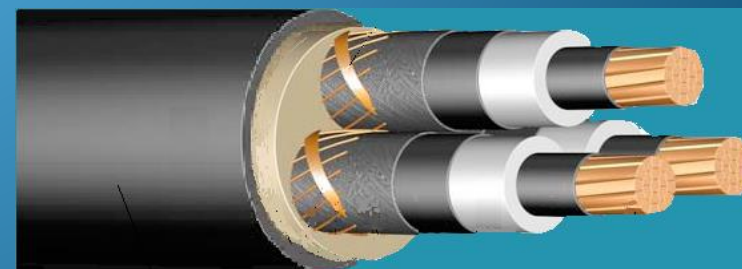
#### NN kabel

- vodič: aluminijsko uže
- izolacija: PVC (eventualno PE-X)
- mehanička zaštita: nema
- zaštitni plašt: PVC (eventualno PE-HD)



#### SN, VN i VVN\* kabel

- vodič: aluminijsko uže
- izolacija: PE-X
- električna zaštita zaštita: Cu žica  
(uzdužna vodonepropustna zaštita)
- zaštitni plašt: PE-HD



\*samo jednožilni kabeli

## PRIJENOS I DISTRIBUCIJA EL. ENERGIJE

### POLAGANJE U ZEMLJU

#### NN armirani kabel

- vodič: aluminijsko uže
- izolacija: PVC (eventualno PE-X)
- mehanička zaštita: Če okrugla žica
- zaštitni plašt: PVC



### POLAGANJE U VODU

#### Podmorski SN, VN i VVN kabel

- vodič: bakreno uže\*
- izolacija: PE-X
- električna zaštita: CU žica + traka\*
- mehanička zaštita: Če okrugla žica
- zaštitni plašt: PE-HD il impregnirana tekstilna vlakna



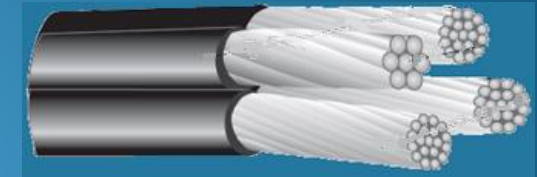
\* uzdužna (poprečna) vodonepropustna zaštita

## PRIJENOS I DISTRIBUCIJA EL. ENERGIJE

### POLAGANJE U ZRAKU - NADZEMNO

#### NN kabel - SKS

- vodič: aluminijsko uže
- nosivo uže: Al legura
- izolacija: PE-X



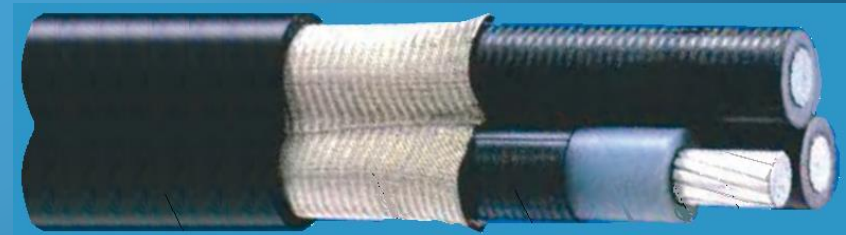
#### SN kabel

- vodič: uže od Al ili Al legure
- nosivo uže: izolirano Če uže
- izolacija: PE-X
- električna zaštita: Cu žice ili Cu pletenica
- zaštitni plašt: PVC ili PO

PAS vodič



Univerzalni kabel



KS  
+ nosivo uže



## POSEBNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE I PODSUSTAVI

### BRODSKI KABELI

NN kabeli za napone:

150/250 V – 230/400 V – 0,6/1 kV – 1,8/3 kV

SN kabeli za napone:

3,6/6 kV – 6/10 kV – 8,7/15 kV

12/20 kV – 18/30 kV



### KABELI ZA TRAIČNIČKA VOZILA

NN kabeli za napone:

300/500 V – 0,6/1 kV – 1,8/3 kV

SN kabeli za napone:

3,6/6 kV



## POSEBNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE I PODSUSTAVI

### CESTOVNI TUNELI

NN kabeli za napone:

300/500 V – 0,6/1 kV – 1,8/3 kV

SN kabeli za napone:

3,6/6 kV – 6/10 kV – 12/20 kV



### ŽELJEZNIČKI TUNELI

NN kabeli za napone:

300/500 V – 0,6/1 kV – 1,8/3 kV

SN kabeli za napone:

3,6/6 kV



## POSEBNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE I PODSUSTAVI

### POSLOVNI TORNJEVI

NN kablovi za napone:  
300/500 V – 0,6/1 kV

SN kablovi za napone:  
6/10 kV – 12/20 kV



### T. CENTRI I S. DVORANE

NN kablovi za napone:  
300/500 V – 0,6/1 kV



## KABELI ZA POSEBNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE

### TEŠKOGORIVI /Flame Retardantant/ KABELI

#### NN kabel energetski

- vodič: bakreno uže
- izolacija LSZH: PO ili PO-X
- zaštitni plašt LSZH: PO ili PO-X



#### NN kabel kontrolno-upravljački

- vodič: bakreno uže
- izolacija LSZH: PO ili PO-X
- električna zaštita (opcija):  
oplet ili omot od bakrene žice
- zaštitni plašt LSZH: PO ili PO-X



#### SN kabel

- vodič: bakreno uže + mika traka
- izolacija LSZH: PE-X ili PO-X
- električna zaštita: oplet ili omot od bakrene žice
- zaštitni plašt LSZH: PO ili PO-X



## KABELI ZA IZDVOJENE ELEKTROENERGETSKE SUSTAVE

### VATROOTPORNI /Fire Resistant/ KABELI

#### NN kabel energetska

- vodič: bakreno uže + mika traka
- izolacija LSZH: PO ili PO-X
- mehanička zaštita: nema
- zaštitni plašt LSZH: PO ili PO-X



#### NN kabel kontrolno-upravljački

- vodič: bakreno uže + mika traka
- izolacija LSZH: PO ili PO-X
- električna zaštita: oplet ili omot od bakrene žice
- zaštitni plašt LSZH : PO ili PO-X



#### SN kabel

- vodič: bakreno uže + mika traka
- izolacija LSZH: PE-X ili PO-X
- električna zaštita: oplet ili omot od bakrene žice
- zaštitni plašt LSZH: PO ili PO-X



## TEŠKOGORIVI I VATROOTPORNI KABELI – ISPITIVANJA

### ISPITIVANJE NA PRENOŠENJE VATRE

- IEC 60332-1

1 uzorak 600 mm, plamen 1 W/45°;

trajanje 1” do 8” za  $\varnothing_k \leq 25$  mm do  $\varnothing_k \geq 75$  mm;

bez zapaljenja polimera



### ISPITIVANJE ŠIRENJA VATRE

- IEC 60332-3

snop kabela širine 300 mm ili 600 mm, duljina uzoraka 3,5 m;

plamen 750 °C;

kat. AF/R ili kat. A, 40',  $\leq 2,5$  m

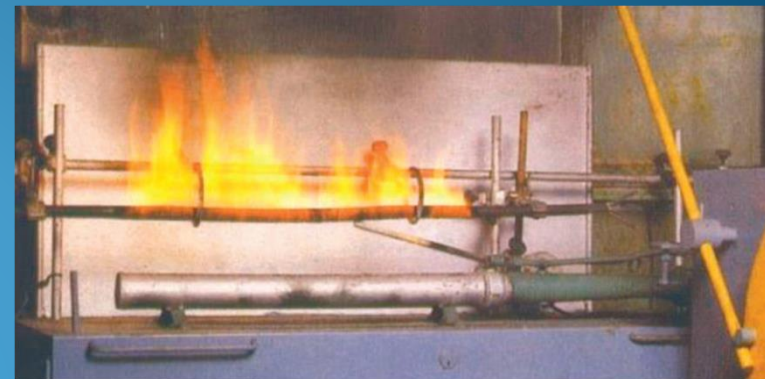


## TEŠKOGORIVI I VATROOTPORNI KABELI – ISPITIVANJA

### ISPITIVANJE CJELOVITOSTI IZOLACIJE U VATRI

- IEC 60331-21

NN kabel  $\leq 0,6/1$  kV, duljina 1,2 m;  
vodiči spojeni preko 2A osigurača na napon;  
plamen 750 °C,  $\geq 90''$ , bez proboja  
DIN VDE 0472-814  $\rightarrow 180''$ , bez proboja

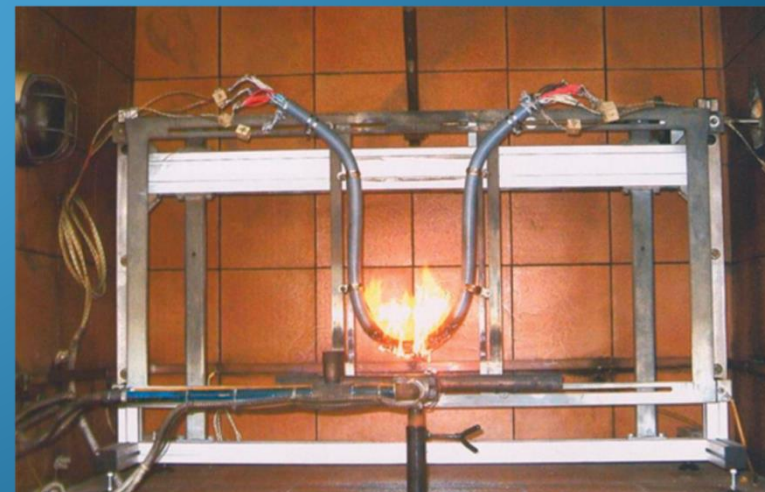


### ISPITIVANJE KABELA U VATRI, S UDAROM

- EN 50200

NN kabel  $\leq 0,6/1$  kV, duljina 1,5 m,  $\varnothing_k \leq 20$  mm  
vodiči spojeni preko 2A osigurača na napon;  
plamen 850 °C, udar svakih 5'', prskajuća voda,  
 $\geq 120''$ , bez proboja

-IEC 60331-1 za  $\varnothing_k \leq 20$  mm  
isto, ali bez prskajuće vode,  
 $\geq 120''$ , bez proboja



## TEŠKOGORIVI I VATROOTPORNI KABELI – ISPITIVANJA

### OČUVANJE FUNKCIJE KABELSKOG SUSTAVA U VATRI

- DIN 4102-12

sustav NN elektroenergetskih i kontrolno-upravljačkih kabela, nazivnog napona  $\leq 1$  kV

2 energetska kabela  $S \geq 50$  mm<sup>2</sup>

2 energetska kabela s najmanjim presjekom vodiča

2 upravljačko-kontrolna kabela

aktivna duljina kabela  $\geq 3$  m

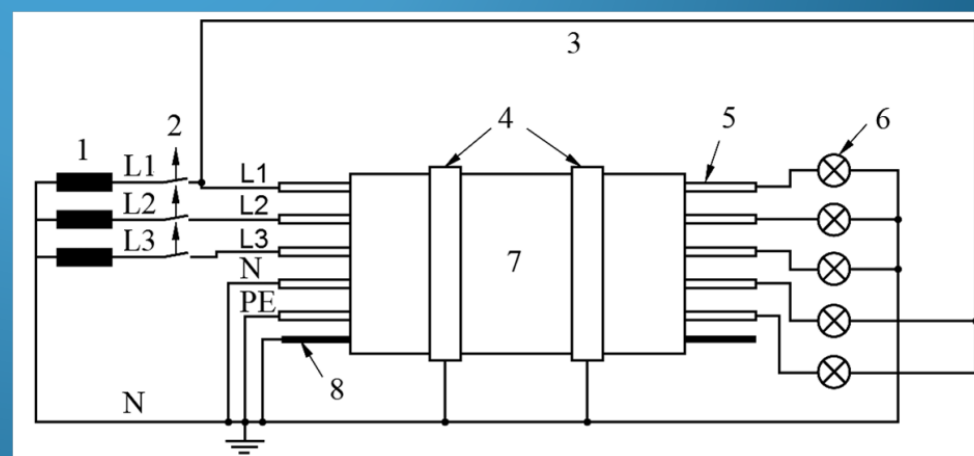
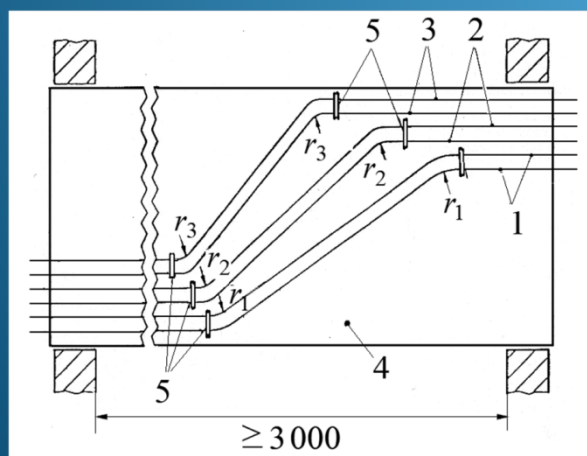
vodiči spojeni preko 3A osigurača na napon 400V (110 V)

temperatura komora na  $\geq 1090$  °C za  $\leq 180''$ , bez proboja

ispitna komora

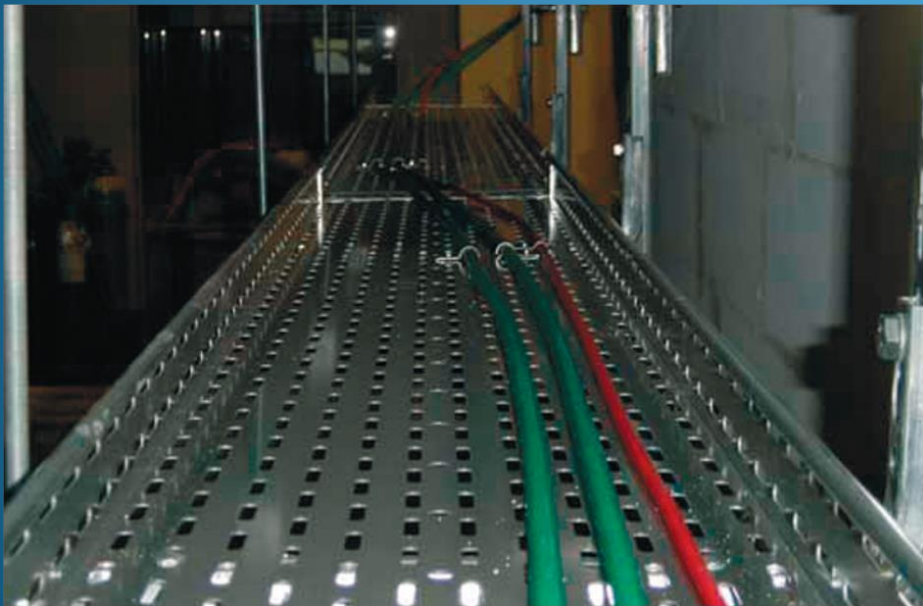
$b \times l \times h = 2,0 \times 3,0 \times 2,5$  m

grijanje plamenicima



## TEŠKOGORIVI I VATROOTPORNI KABELI – ISPITIVANJA

### OČUVANJE FUNKCIJE KABELSKOG SUSTAVA U VATRI



## ZAVRŠNO

Knjigom “Električni kabeli za elektroenergetske mreže i instalacije” se daje:

- sveobuhvatni prikaz novih tehnologija i materijala za proizvodnju i uporabu električnih kabela instaliranih u javnim i posebnim elektroenergetskim sustavima
- uvid u postupke provjere kvalitete kableske instalacije i održanja sigurnosne uporabe iste u različitim uvjetima rada

Knjiga je ujedno i:

- \* prilog tehničkoj literaturi u RH za uporabu suvremene kableske tehnologije u različitim elektroenergetskim sustavima
- \* pouzdani alat projektantima i izvođačima radova na izvedbi javnih kableskih elektroenergetskih sustava niskog i visokog napona, sustava razvoda kabela u industriji, brodogradnji, željeznici, građevinarstvu i cestogradnji
- \* stručna literatura za proizvođače kabela, tvrtke za promet kabelima, dodiplomskim i diplomskim studijima elektrotehnike i drugoj stručnoj javnosti

## ZAHVALA

### Sponzori

### Recenzenti

- prof. dr. sc. Krešimir Fekete
- prof. dr. sc. Dubravko Franković
- mr. sc. Ernst Mihalek, dipl. ing.
- Zdravko Pamić, dipl. ing

### Urednica

- Elizabeta Šunde, dipl. ing.

### Nakladnik Graphis d.o.o.,

- prof. dr. sc. Viktor Šunde

Hvala na pozornosti!