

Deni Četković, mag.ing.el.  
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[deni.cetkovic@hep.hr](mailto:deni.cetkovic@hep.hr)

Sandro Dubrović, dipl.ing.el.  
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[sandro.dubrovic@hep.hr](mailto:sandro.dubrovic@hep.hr)

## IZBOR PRESJEKA KABELA ZA SN I NN MREŽE

### SAŽETAK

Zbog porasta potrošnje u distribucijskim mrežama te sve veće integracije distribuiranih izvora postavlja se pitanje o optimalnom presjeka kabela za SN i NN mreže. Povećanje presjeka kabela u NN mrežama dovodi do porasta investicijskih troškova ali direktno utječe na smanjenje gubitaka, povećanje mogućnosti za prihvata distribuiranih izvora te poboljšanje naponskih prilika u mreži. Uvođenje NN kabela većeg presjeka smanjilo bi probleme povećanih padova napona u dugačkim NN mrežama te u određenom broju slučajeva smanjilo potrebu za gradnjom novih transformatorskih stanica. Izbor presjeka kabela pitanje je dobrog balansa između svih navedenih faktora, prvenstveno između investicijskih troškova i tehničkih parametara. Izbor presjeka kabela za SN mreže pitanje je balansa između investicijskih troškova te tehničkih parametara kao što su povećanje vršnog opterećenja, očekivano priključenje sve većeg broja distribuiranih izvora, negativnog utjecaja na SN mrežu u vidu povećanja kapacitivnih struja te drugih faktora.

**Ključne riječi:** izbor presjeka kabela; smanjenje gubitaka; padovi napona;

## SELECTION OF CABLE CROSS SECTION FOR SN AND LV NETWORKS

### SUMMARY

Due to the increase in consumption in distribution networks and the increasing integration of distributed sources, the question arises about the optimal cable cross-section for MV and LV networks. The increase in cable cross-section in LV networks leads to an increase in investment costs, but it directly affects the reduction of real power losses, the increase in the possibility of accepting distributed sources and the improvement of voltage conditions in the network. The introduction of LV cables with a larger section would reduce the problems of increased voltage drops in long LV networks and, in a certain number of cases, reduce the need to build new transformer stations. The choice of cable cross-section is a matter of a good balance between all the mentioned factors, primarily between investment costs and technical parameters. The choice of cable cross-section for MV networks is a matter of balance between investment costs and technical parameters such as the increase in peak load, the expected connection of an increasing number of distributed sources, the negative impact on the MV network in the form of an increase in capacitive currents and other factors.

**Key words:** selection of cable cross section; power loss reduction; voltage drops;

## 1. UVOD

Optimalni presjek kabela je onaj presjek koji će operatoru distribucijskog sustava smanjiti ukupne buduće troškove koji su direktna posljedica odabira presjeka.

Kao ukupne buduće troškove koji su direktno ovisni o presjeku kabela mogu se navesti:

- **Trošak investicije kabela** - Povećanjem presjeka kabela povećava se i količina utrošenog materijala a samim time i početni investicijski trošak ugradnje kabela.

- **Trošak gubitaka radne snage** - Povećanjem presjeka kabela smanjuju se gubici radne snage na kabele donosno smanjuje se trošak kupnje električne energije za pokrivanje gubitaka radne snage.

- **Trošak gradnje novopredviđenih trafostanica uslijed prevelikih padova napona u NN mreži** - Smanjenjem presjeka kabela povećava se pad napona te premali odabrani presjek može direktno dovesti do kršenja propisanih naponskih prilika u NN mreži odnosno potrebe za gradnjom novopredviđene TS SN/NN ili značajnih građevinskih radova u svrhu polaganja kabela većeg presjeka odnosno smanjenja padova napona.

- Trošak zamjene kabela u slučaju nedostatne prijenosne moći

U ovom radu fokus će biti na odabiru optimalnog presjeka NN kabela.

## 2. IZBOR OPTIMALNOG PRESJEKA NN KABELA ZA SMANJENJE TROŠKOVA VEZANIH UZ INVESTICIJSKE TROŠKOVE I GUBITKE RADNE SNAGE

### 2.1. Ukupni troškovi uslijed ugradnje kabela određenog presjeka

Ukupni troškovi koji nastaju ugradnjom kabela određenog presjeka mogu se definirati sljedećom relacijom:

$$C_{uk} = C_{izgr} + C_{kb} + C_{gubici} \quad (1)$$

gdje  $C_{izgr}$  predstavlja trošak izgradnje predmetnog kablenskog voda koji ne ovisi o odabiru presjeka pa nije bitan za daljnju analizu,  $C_{kb}$  predstavlja trošak vezan uz cijenu kabela odabranog presjeka a  $C_{gubici}$  predstavlja trošak kupnje električne energije za pokrivanje gubitaka radne snage uzrokovanih ugradnjom kabela odabranog presjeka.

Cijena kabela odabranog presjeka izračunava se prema relaciji:

$$C_{kb} = C_1 \cdot l \quad (2)$$

pri čemu  $C_1$  predstavlja jediničnu cijenu NN kabela odabranog presjeka u €/m, a  $l$  duljinu NN kablenskog voda koji se ugrađuje (u metrima).

Trošak kupnje električne energije za pokrivanje gubitaka radne snage uzrokovanih ugradnjom kabela odabranog presjeka:

$$C_{gubici} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{kb} \cdot l \cdot 0,001 \cdot t_{sati} \cdot t_{životni\_vijek} \cdot C_{el\_en} \quad (3)$$

gdje je  $I$  struja kroz odabrani kabel,  $R_{kb}$  jedinični radni otpor kabela odabranog presjeka u Ω/km,  $l$  duljina NN kablenskog voda (u km),  $0,001$  pretvorbeni faktor za preračunavanje iz W u kW,  $t_{sati}$  broj sati u jednoj godini (8760h),  $t_{životni\_vijek}$  životni vijek kabela (u godinama), a  $C_{el\_en}$  tržišnu cijenu električne energije (€/kWh).

### 2.2. Ulazni parametri za analizu

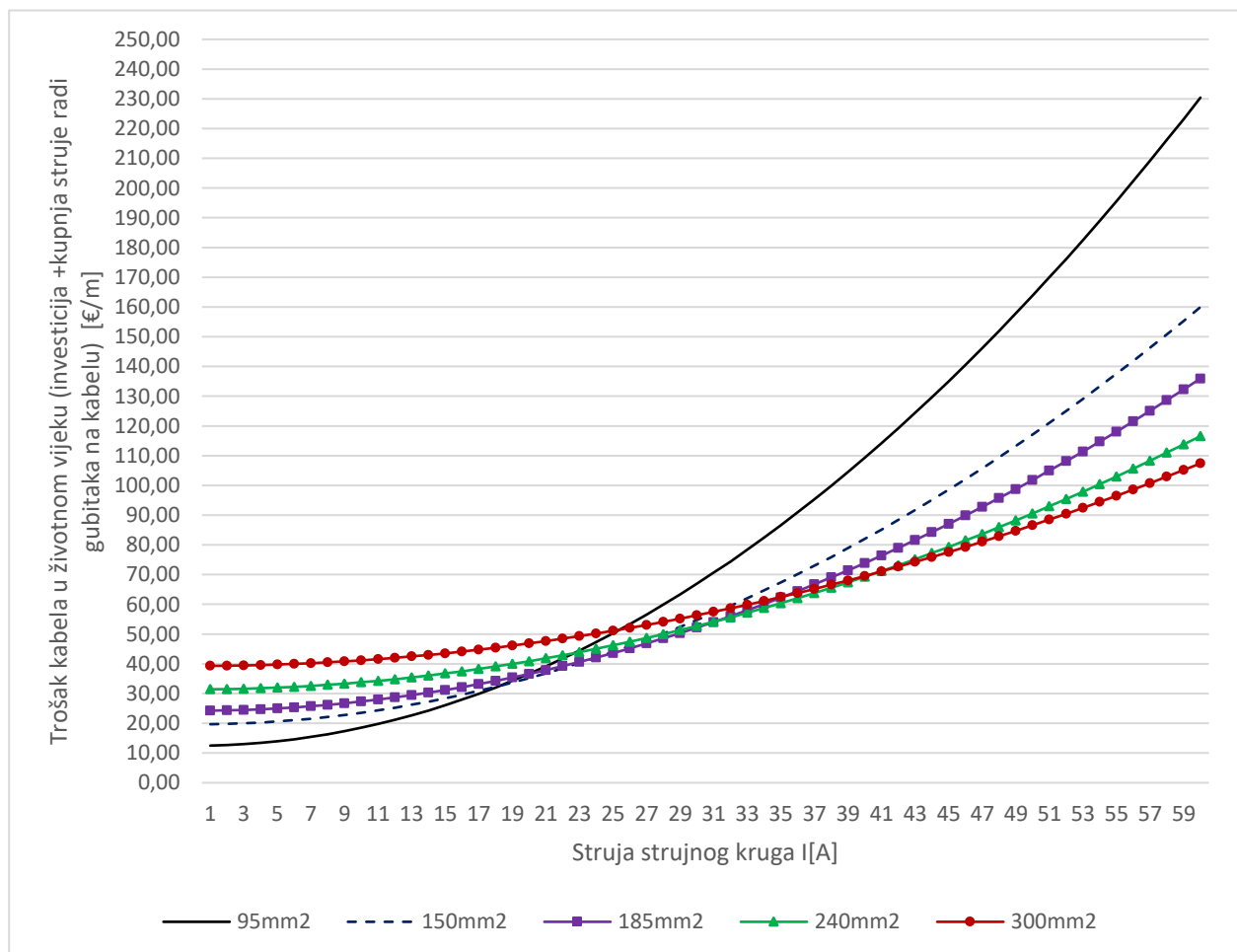
Odabrani parametri koji direktno utječu na izbor optimalnog presjeka NN kabela sa odabranim vrijednostima navedeni su u nastavku:

- Životni vijek kabela = 40 godina
- Cijena električne energije,  $c_{el\_en} = 0,18 \text{ €/kWh}$  (<https://www.cropex.hr/> na dan 11.11.2022.)
- Cijena kabela NA2XY-0 4x95mm<sup>2</sup> – 12,44 €/m
- Cijena kabela NA2XY-0 4x150mm<sup>2</sup> – 19,64 €/m
- Cijena kabela NA2XY-0 4x185mm<sup>2</sup> – 24,22 €/m
- Cijena kabela NA2XY-0 4x240mm<sup>2</sup> – 31,42 €/m
- Cijena kabela NA2XY-0 4x300mm<sup>2</sup> – 39,28 €/m
- Električni otpor kabela NA2XY-0 4x95mm<sup>2</sup> – 0,32 Ω/km
- Električni otpor kabela NA2XY-0 4x150mm<sup>2</sup> – 0,206 Ω/km
- Električni otpor kabela NA2XY-0 4x185mm<sup>2</sup> – 0,164 Ω/km
- Električni otpor kabela NA2XY-0 4x240mm<sup>2</sup> – 0,125 Ω/km
- Električni otpor kabela NA2XY-0 4x300mm<sup>2</sup> – 0,1 Ω/km

Cijene kabela preuzete su sa <https://www.cotra.hr/> na dan 11.11.2022.

### 2.3. Optimalni presjek NN kabela u ovisnosti od struje kroz kabel

Za odabrane ulazne parametre izvršena je izračun ukupnih troškova za kabele različitog presjeka u ovisnosti od struje koja protječe kroz kabel koristeći relaciju (1). Pri tome je ukupni trošak izračen u €/m obzirom da duljina razmatranog kabela jednako utječe na obje varijable iz relacije (1), investicijski trošak kabela i trošak pokrivanja gubitaka nastalih na kabeu.

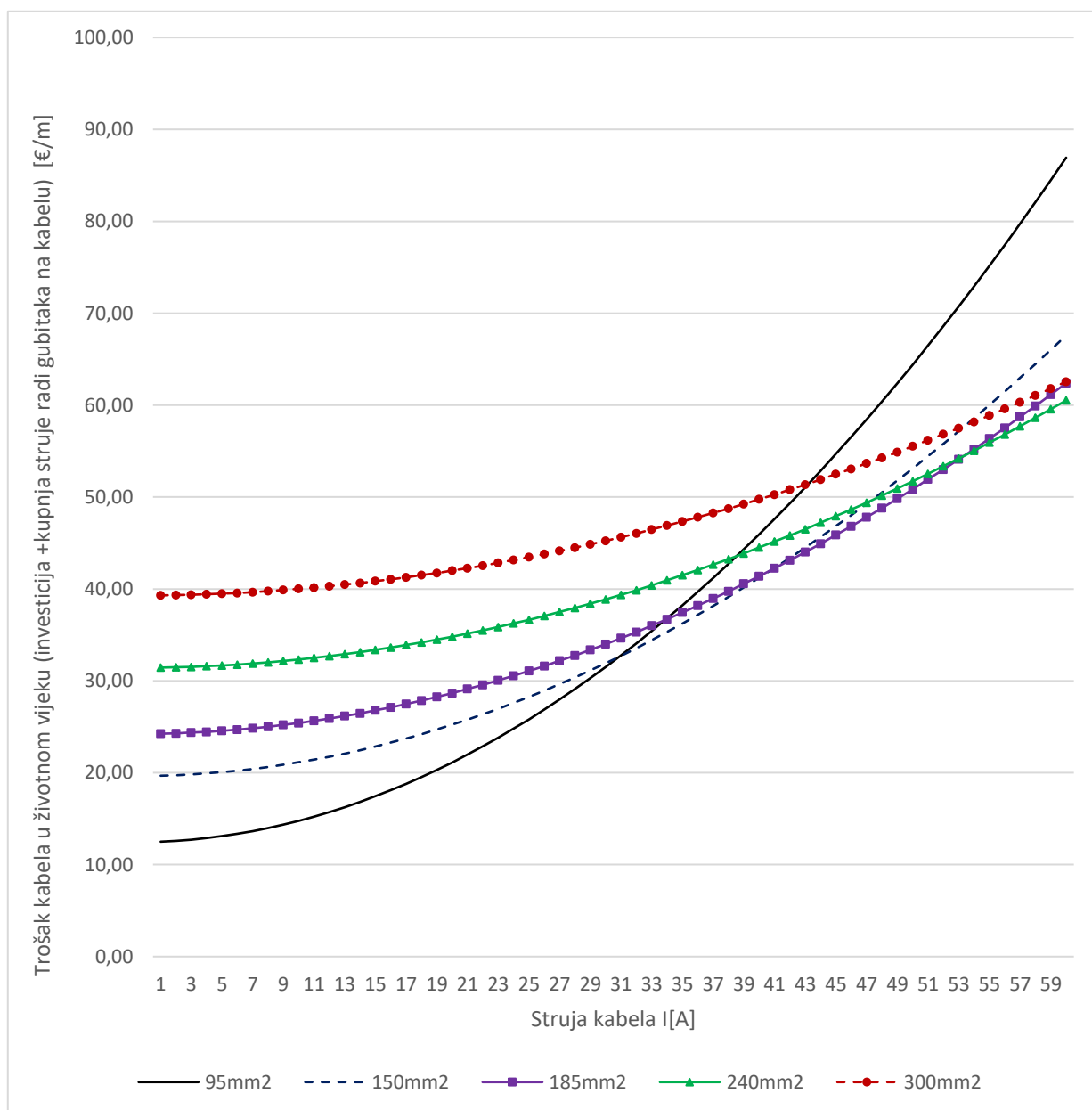


Slika 1. Trošak NN kabela različitih presjeka u životnom vijeku u ovisnosti od struje kroz kabel

Na Slici 1. prikazan je ukupni trošak NN kabela u ovisnosti od struje kroz kabel za različite presjeka kabela i struje kroz kabel. U Tablici 1. prikazan je optimalni presjek za različite struje kroz kabel. Vidljivo je da je do vrijednosti struje od 18A optimalno postavljati kabel presjeka 95 mm<sup>2</sup>. Daljnjim porastom struje optimalnije je polaganje NN kabele većih presjeka.

Struja kroz kabel I [A]	Optimalni presjek
0-18	95mm <sup>2</sup>
19-24	150mm <sup>2</sup>
25-31	185mm <sup>2</sup>
32-40	240mm <sup>2</sup>
> 40	300mm <sup>2</sup>

Tablica 1. Optimalni presjek NN kabela za različite struje kroz kabel



Slika 2. Trošak NN kabela u ovisnosti od ukupne struje strujnog kruga uz pretpostavku linearnog smanjenja struje od početka do kraja voda

Na Slici 2. prikazan je ukupni trošak NN kabela u ovisnosti od struje na početku strujnog kruga pod pretpostavkom linearnog opadanja opterećenja od početka do kraja strujnog kruga. Analiza je pokazala da je u strujnim krugovima gdje je prosječna početna struja strujnog kruga do 30 A optimalno ugrađivati kabel presjeka 95 mm<sup>2</sup>. Za strujne krugove većeg opterećenja optimalno je polaganje NN kabela većih presjeka.

U Tablici 2. prikazan je optimalni presjek za različite struje.

Struja kroz kabel I [A]	Optimalni presjek
0-30	95mm <sup>2</sup>
31-40	150mm <sup>2</sup>
41-53	185mm <sup>2</sup>
54-69	240mm <sup>2</sup>
> 70	300mm <sup>2</sup>

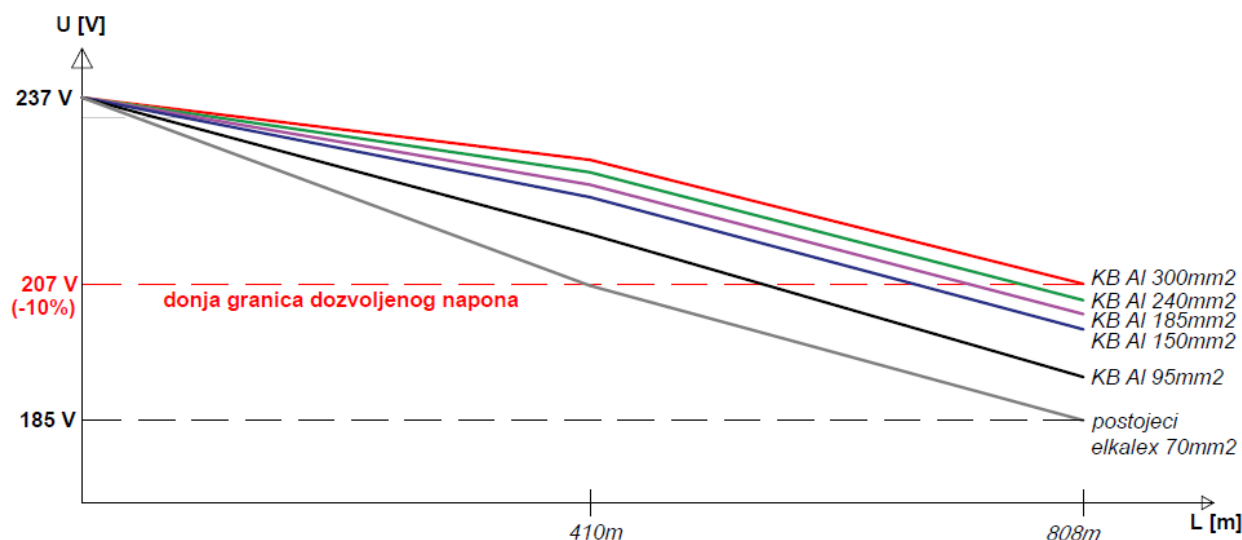
Tablica 2. Optimalni presjek NN kabela za različite početne struje strujnih krugova

### 3. IZBOR OPTIMALNOG PRESJEKA NN KABELA ZA SMANJENJE PADOVA NAPONA U NN MREŽAMA

Prilikom izbora optimalnog presjeka NN kabela ne smije se zanemariti ni utjecaj odabira presjeka na buduće naponske prilike u NN mreži u najkritičnijim uvjetima, sada i u budućnosti. Ovo pogotovo treba uzeti u obzir znajući da je Hrvatska turistička zemlja gdje se u određenim mjesecima strujno opterećenje može višestruko povećati.

Presjek kabela koji je prema tehnokonomskim kriterijima iz Poglavlja 2. temeljem prosječne struje odabran kao najisplativiji može uslijed produljenja NN mreže dovesti do potrebe za gradnjom nove transformatorske stanice.

U nastavku je za primjer jedne realne mreže prosječnog strujnog opterećenja 40-50 A i prosječnog vršnog opterećenja 120 A prikazan utjecaj izbora presjeka kabela kod kabliranja prve dionice (prvih 410 m) na naponske prilike na predmetnom strujnom krugu. Za predmetni strujni krug izveden zračnim vodičem tip 'Elkalex' uslijed rasta potrošnje procjenjuje se da će u najopterećenijem trenutku na kraju mreže napon pasti do 185 V. Razmatrano je kabliranje sa svih pet presjeka kabela.



Slika 3. Dijagram naponskih prilika odabranog NN strujnog kruga u najopterećenijem trenutku za različite presjeka kabliranja prve dionice (prvih 410 m od TS)

Obzirom da se uslijed povećanja potrošnje u većem dijelu godine prosječna struja predmetnog strujnog kruga očekuje između 40 i 50 A prema tehnokonomskim kriterijima iz prethodnog poglavlja moglo

bi se zaključiti da je optimalni presjek kabela  $185 \text{ mm}^2$ . No iz dijagrama naponskih prilika prikazanog na Slici 3. vidljivo je kako bi kabliranje tim kabelom dovelo do toga da bi napon na kraju mreže u najopterećenijim trenucima bio ispod donje granice dozvoljenog napona, oko  $200 \text{ V}$ .

Izbor presjeka kabela  $185 \text{ mm}^2$  doveo bi u budućnosti do potrebe za dodatnim troškovima i radovima, kabliranjem dodatnih dionica ili gradnjom nove transformatorske stanice sa SN priključkom, radi zadovoljavanja naponskih prilika. S druge strane izbor presjeka kabela  $300 \text{ mm}^2$  dovodi do toga da ćemo na kompletnom NN strujnom krugu zadržati napon unutar propisanih naponskih granica.

Stoga je po ovom pitanju optimalan izbor presjeka kabela  $300 \text{ mm}^2$ .

#### **4. IZBOR OPTIMALNOG PRESJEKA SN KABELA**

Za izbor optimalnog presjeka SN kabele po pitanju strujnog opterećenja može se primijeniti ista metodologija korištena u Poglavljima 3. i 4. Ovaj rad dao je prijedlog za način razmatranja pristupa odabiru presjeka samog kabela a u budućim radovima planira se veći fokus staviti na sam izbor presjeka SN kabela.

#### **5. ZAKLJUČAK**

Prilikom izbora optimalnog presjeka NN kabela potrebno je sagledati utjecaj na ukupni trošak kabela koji se sastoji od troška investicije i troška pokrivanja gubitaka nastalih na kabelu (opisan u Poglavlju 2.). Također je potrebno sagledati i utjecaj na naponske prilike u NN mreži u nakritičnijim uvjetima (opisan u Poglavlju 3.) jer se optimalnim odabirom može izbjeći značajne buduće troškove, primjerice izgradnje novih transformatorskih stanica radi sanacije naponskih prilika.

Primjerice, za prosječno strujno opterećenje od  $40\text{-}50\text{A}$  temeljem tehnokonomskih kriterija može se zaključiti da je optimalan presjek kabela  $185 \text{ mm}^2$ . Međutim, u specifičnim okolnostima strujno opterećenje se u nekim NN mrežama može privremeno višestruko povećati, pogotovo uzevši u obzir da je Hrvatska turistička zemlja. Stoga kod odabira kabela treba razmotriti i periode najvećeg opterećenja kao i mogućnosti širenja mreže (dodatnog povećanja potrošnje) i po potrebi odabrati kabel većeg presjeka, primjerice  $240 \text{ mm}^2$ .

Za izbor optimalnog presjeka SN kabele po pitanju strujnog opterećenja može se primijeniti ista metodologija korištena u Poglavljima 3. i 4. Ovaj rad dao je prijedlog za način razmatranja pristupa odabiru presjeka samog kabela a u budućim radovima planira se veći fokus staviti na sam izbor presjeka SN kabela.

#### **6. LITERATURA**

- [1] Mohar T., Optimiranje prereza in strukture SN kabela omrežja, 8.konferenca Slovenskih elektroenergetikov
- [2] <https://www.cotra.hr/> na dan 11.11.2022.
- [3] <https://www.cropex.hr/hr/> , Hrvatska burza električne energije, na dan 11.11.2022.