

## TEHNO-EKONOMSKO VREDNOVANJE VARIJANTI SEKSIONISANJA NISKONAPONSKIH NADZEMNIH MREŽA

N. Rajaković, Elektrotehnički Fakultet, Beograd <sup>1</sup>  
V. M. Šiljkut, PD „Elektrodistribucija Beograd“ d.o.o. <sup>2</sup>  
D. Nikolić, Inovacioni Centar Elektrotehničkog Fakulteta, Beograd <sup>3</sup>

### UVOD

U uslovima liberalizovanog tržišta električne energije i deregulacije energetskog sektora sve su veći potreba i značaj poboljšanja pokazatelja pouzdanosti tj. smanjenja prosečnih vrednosti intenziteta i vremena trajanja kvarova. Ovaj rad razmatra i vrednuje različite varijante sekcionisanja nadzemne niskonaponske elektrodistributivne mreže. Sekcionisanje, naime, predstavlja jednu od tehničkih mogućnosti i preduslova, kojim bi se mogao smanjiti prosečan broj kupaca zahvaćenih kvarom, odnosno smanjilo prosečno vreme trajanja beznaponskog stanja. Time bi se umanjili troškovi, koje će ubuduće, i u Srbiji, elektrodistributivna preduzeća snositi zbog neisporučene električne energije.

### 1 POSTOJEĆE STANJE I PRETHODNA ISKUSTVA

Broj otkaza u našim niskonaponskim (NN) nadzemnim mrežama je veliki, pa postoji potreba za povećanjem kvaliteta isporuke električne energije. Podaci o pokazateljima pouzdanosti, korišćeni u tehno-ekonomskoj analizi koja je tema ovog rada, prikazani su u Tabeli 1. Krajnjim potrošačima (kupcima) na niskom naponu, električna energija se isporučuje preko transformatora u distributivnim trafostanicama (TS) 10(20)/0,4 kV, sa nekoliko izvoda na NN strani. Izvodi se po pravilu štite niskonaponskim visokoučinskim (NV) tzv. nožastim osiguračima na NN razvodnoj tabli u TS. U većini slučajeva, sledeći hijerarhijski nivo zaštite nalazi se tek na kraju kućnog priključka, odnosno u merno razvodnom ormanu (MRO), smeštenom u/na objektu koji se napaja. U elektrodistributivnim preduzećima u Srbiji su, pre više decenija, kućni priključci šticeći tzv. "Weckmar" osiguračima na stubu. S obzirom na velike probleme koji su se javili tokom njihove eksploatacije, početkom devedestih godina XX veka je, za potrebe „Elektrodistribucije Beograd“ (EDB), urađena je studija [1], u kojoj su razmatrane mogućnosti izrade nadzemnog kućnog priključka bez osigurača na stubu. Pristup kod izrade ove studije bio je zasnovan na određivanju zone koja je na NN nadzemnom izvodu zaštićena NV osiguračima na NN razvodnoj tabli u napojnoj TS 10/0,4 kV. Na osnovu dobijenih rezultata, bila su predložena odgovarajuća rešenja i mere koje, nažalost, nisu primenjene u praksi. Vremenom su osigurači na stubu u potpunosti izbačeni iz upotrebe.

<sup>1</sup> Bul. kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, tel. 011/3370 168; 063/555-375; [nikola.rajakovic@etf.bg.ac.yu](mailto:nikola.rajakovic@etf.bg.ac.yu)

<sup>2</sup> Masarikova 1-3 11000 Beograd, tel. 011/26-36-250; 064/396-0-384; faks: 34-05-017; [vladash@edb.eps.co.yu](mailto:vladash@edb.eps.co.yu)

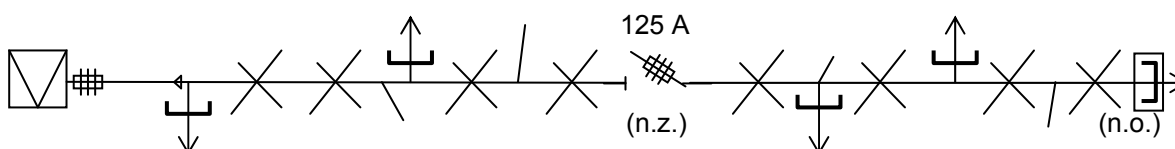
<sup>3</sup> Bul. kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, tel. 064/185-99-26; [dusan.nikolic@etf.bg.ac.yu](mailto:dusan.nikolic@etf.bg.ac.yu)

## 2 OSNOVNA IDEJA I PRIKAZ METODOLOGIJE

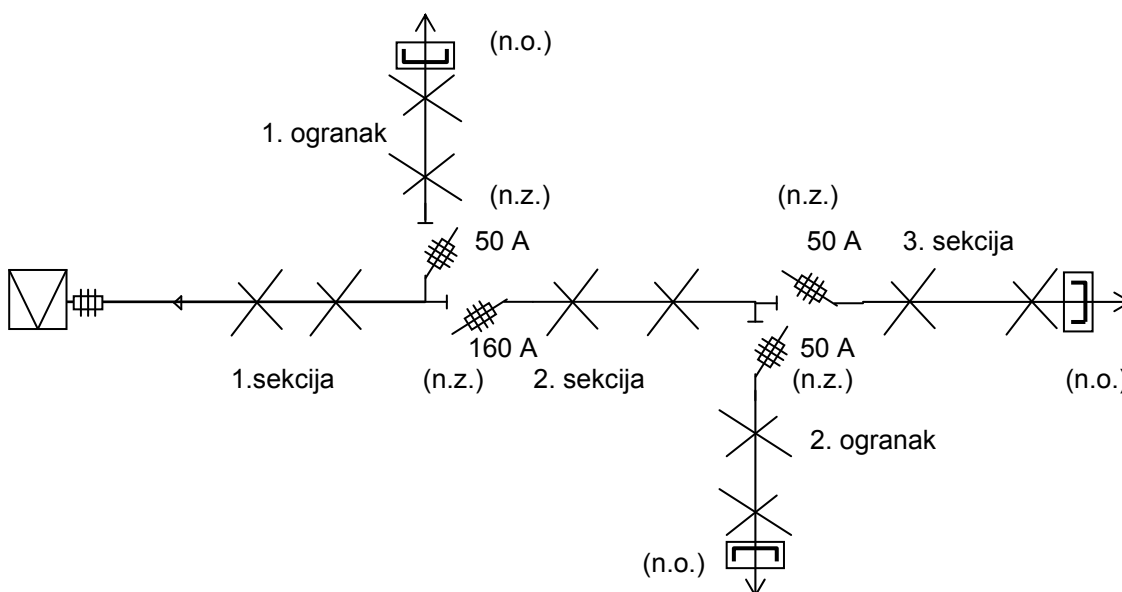
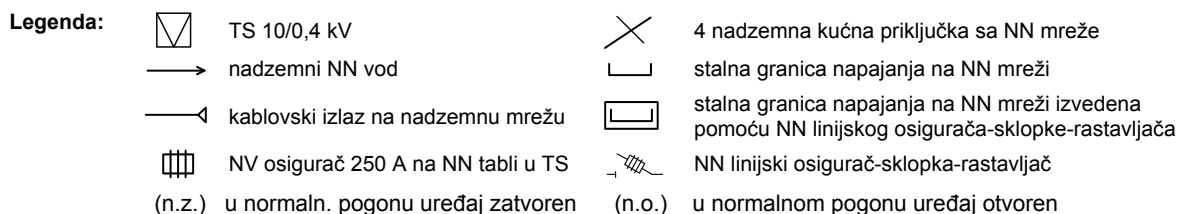
U međuvremenu su se pojavili moderniji uređaji, osigurači-sklopke-rastavljači za spoljašnju montažu, u kućištima od savremenih, polikarbonatskih materijala, koja obezbeđuju viši stepen IP zaštite i eliminišu neke od problema, ranije prisutnih kod osigurača na stubu. Ovi novi uređaji mogu da se koriste ne samo za zaštitu kućnih priključaka kupaca, već i u liniji nadzemne NN mreže, za njeno sekcionisanje, i za postavljanje granica napajanja na poveznim nadzemnim vodovima 1 kV između TS 10(20)/0,4 kV. Patroni osigurača u ovim uređajima mogu biti i za veće struje (do 400 A). Imajući sve ovo u vidu, kao i ranija iskustva i postojeće probleme, navedene u [1] i [2], nametnula se sledeća ideja: ove uređaje treba iskoristiti pre svega za sekcionisanje dužih ili razgranatijih NN izvoda, s tim što njihove prve deonice i dalje treba da štite isključivo NV osigurači na NN tablama u TS 10(20)/0,4 kV uvažavajući selektivnost zaštite. Time bi se i u Srbiji, i na ovom naponskom nivou, pratio opšti trend – da se pri planiranju, projektovanju i eksploataciji distributivnih sistema uračunavaju i troškovi prouzrokovani prekidima napajanja (eng. *outage costs*) i uvode mere za njihovo smanjenje [3].

### 2.1 Varijante sekcionisanja nadzemne NN mreže

Polazeći od realnih konfiguracija postojeće NN nadzemne mreže, razmotrene su moguće varijante njenog sekcionisanja. Najpre su odabrana dva krajnja, idealizovana, slučaja sekcionisanja NN izvoda, prikazana na slikama 1 i 2. Njihove podvarijante su slučajevi kada na poveznim NN vodovima linijski osigurači-sklopka rastavljači postoje (kao na slikama) i kad ih nema na granicama ka rezervnom napajanju sekcija izvoda. Realni slučajevi mreže i varijante sekcionisanja dobijene su kombinovanjem ova dva osnovna slučaja, u određenim, međusobnim odnosima (procentima).



**Slika 1** Prvi idealizovani slučaj sekcionisanja niskonaponskog nadzemnog izvoda



**Slika 2** Drugi idealizovani slučaj sekcionisanja niskonaponskog nadzemnog izvoda

Analizirane su sledeće karakteristične varijante sekcionisanja nadzemne NN mreže:

- Slučaj A: podužno slabo sekcionisana nadzemna NN mreža s ugradnjom osigurača-sklopki-rastavljača kao granica napajanja (Slika 1: tri uređaja po poveznom NN vodu, tj. 1,5 po NN izvodu iz TS; mreža u razmatranom području sekcionisana 100%).
- Slučaj B: podužno i po ograncima jače sekcionisana nadzemna NN mreža s ugradnjom osigurača-sklopki-rastavljača kao granica napajanja (50% izvoda sekcionisano podužno, tj. 1,5 uređaj po izvodu, i 50% sekcionisano kao na slici 2: 5,5 uređaja po izvodu; mreža sekcionisana 100%).
- Slučaj C: podužno i po ograncima umereno sekcionisana nadzemna NN mreža s ugradnjom osigurača-sklopki-rastavljača kao granica napajanja (66,7% izvoda sekcionisano podužno, 33,3% kao na slici 2; mreža u razmatranom području sekcionisana 100%).
- Slučaj D: podužno slabo sekcionisana nadzemna NN mreža sa fiksnim granicama, tj. BEZ ugradnje osigurača-sklopki-rastavljača kao granica napajanja (2 uređaja po poveznom NN vodu, tj. 1 uređaj po NN izvodu iz TS; mreža u razmatranom području sekcionisana 100%).
- Slučaj E: realna mreža; 85% izvoda sa fiksnim granicama, sekcionisanih podužno; 15% radijalnih izvoda bez mogućnosti rezervnog napajanja (blisko realnoj situaciji u EDB), sekcionisanih po ograncima; mreža sekcionisana 100%.

U svim prethodnim slučajevima neophodno je, zbog poštovanja principa selektivnosti zaštite, uvažiti činjenicu da u rednoj vezi ne bi trebalo da bude više od tri osigurača stepenovana od viših naznačenih (nazivnih) struja ka nižima.

## 2.2 Struktura troškova i metodologija za njihovo određivanje

Za idealizovane slučajeve sa slika 1 i 2 i za njihove podvarijante, ponaosob su posmatrani i analizirani slučajevi pojave kvarova na svim mogućim mestima (sekcijama). Pritom su utvrđeni i vrednovani:

- svi početni tj. investicioni troškovi za nabavku i ugradnju uređaja,  $C_o$  (v. Dodatak ovog rada);
- svi godišnji eksploatacioni troškovi,  $C_e$ :
  - o periodično održavanje (revizija i čišćenja uređaja),  $C_{odr}$  i
  - o radovi na uređajima, koji se obavljaju pri pojavi i otklanjanju ovih kvarova:
    - troškovi zamene pregorelih nožastih osigurača u uređajima,  $C_{zam}$  i
    - troškovi manipulacija uređajima pre i posle otklanjanja kvara,  $C_{man}$ .

Za svaki od posmatranih kvarova, utvrđeni su i vrednovani troškovi koji nastaju zbog neisporučene električne energije,  $C'_{nie}$  (v. Dodatak ovog rada). Vrednovanje troškova usled neisporučene električne energije izvršeno je na bazi usvojene prosečne cene električne energije tokom eksploatacionog veka uređaja i odnosa cene isporučenog i neisporučenog kWh. Oni direktno zavise i od intenziteta kvarova,  $\lambda$ , faktora pouzdanosti izraženog u broju kvarova, godišnje, i izraženi su po km dužine voda – za razmatrani slučaj NN nadzemne mreže, v. tabelu 1.

Detalji metodologije, sa specifikacijama radova i materijala i odgovarajućim formulama za sračunavanje ovde navedenih troškova, izloženi su u [2], Poglavlje VII, Dodatak - Opis metodologije proračuna troškova. Na osnovu stvarnih cenovnika i normativa EDB, usvojene su – kao ulazni podaci za analizu – jedinične cene radova i norme u časovima i kilometrima, prikazane u tabeli 2, u nastavku. Suština metodologije sastoji se u tome da su svi eksploatacioni troškovi određeni na godišnjem nivou:

$$C_e = C_{odr} + C_{zam} + C_{man} \quad (1),$$

i aktuelizovani tj. svedeni na sadašnju vrednost, na način uobičajen za ovakve tehno-ekonomske analize [4], množenjem sa faktorom svođenja:

$$f_i = \frac{(1+i)^N - 1}{(1+i)^N \cdot i} \quad (2), \quad \text{gde su:}$$

$i$  – ukupna stopa aktualizacije (u našim uslovima usvaja se da je 9%);

$N$  – broj godina eksploatacionog veka uređaja (usvojeno  $N = 20$ );

tako da se može lako izračunati da je referentna vrednost za proračune:  $f_i = 9,13$ .

Sabiranjem svedenih eksploatacionih troškova sa investicionim, dobijeni su ukupni troškovi uređaja:

$$C_{uk} = C_o + f_i \cdot C_e \quad (3).$$

Oni su potom poređeni s troškovima koji se imaju kod nesekcionisane mreže, jer su troškovi za neisporučenu električnu energiju određeni i za sve kvarove u tom slučaju. Na osnovu investicionih troškova za sekcionisanje mreže i razlike godišnjih eksploatacionih troškova sekcionisane i nesekcionisane mreže,  $\Delta C_{exp}^{god}$ , za usvojenu stopu aktualizacije,  $i$ , određen je period isplativosti investicije,  $N_i$ , za svaku od razmatranih varijanti sekcionisanja, ponaosob:

$$N_i = \frac{\log_{10}\left(\frac{1}{1-i \cdot \frac{C_0}{|\Delta C_{exp}^{god}|}}\right)}{\log_{10}(1+i)} \quad (4).$$

Određen je i potreban broj uređaja u svim varijantama sekcionisanja mreže. Na osnovu dobijenih rezultata, utvrđen je optimalni scenario sekcionisanja NN nadzemnih mreža, koji je realno izvodljiv.

### 2.3 Ulazni podaci za izradu tehno-ekonomske analize

Troškovi (1), (3) i period (rok) otplate investicije(4) zavise od više promenljivih, čije su referentne vrednosti – zasnovane na realnom stanju – prikazane u tabeli 1. Izvršena je i analiza osetljivosti rezultata na promene ovih ulaznih promenljivih, tako što se svaka od njih pojedinačno menja u tehnički i ekonomski realnim granicama, dok ostale zadržavaju usvojene vrednosti. Granice variranja promenljivih takođe su prikazane u tabeli 1. Pri proračunima je pretpostavljen ravnomeran raspored kupaca i opterećenja duž NN izvoda i ista jednovremena vršna snaga svih kupaca,  $P_j^{dom}$ .

TABELA 1 – Referentne vrednosti i opsezi ulaznih parametara za proračun i analizu osetljivosti

| Parametar    | $\lambda$<br>intenzitet<br>kvara | $L_{izv}$ | $t_{tk}$ | $n_k$ broj<br>kupaca | $P_j^{dom}$ | $C_{ur}$<br>cena<br>uređaja | stopa<br>aktuali-<br>zacije i | eksploat.<br>vek<br>uređ., N | proseč.<br>cena<br>el.en. |
|--------------|----------------------------------|-----------|----------|----------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Jedinica     | (kvar /<br>god,km)               | km        | h        | kupaca<br>/ izvod    | kW/dom      | € / kom                     | %                             | godina                       | cent € /<br>kWh           |
| Ref.vrednost | 0,16                             | 0,747     | 5,0      | 75                   | 2,23        | 50                          | 9                             | 20                           | 10                        |
| Min.vrednost | 0,1                              | 0,500     | 3,5      | 40                   | 1,25        | 30                          | 5                             | 10                           | 5                         |
| Max.vrednost | 0,3                              | 1,500     | 10,0     | 100                  | 3,00        | 100                         | 15                            | 30                           | 15                        |

$L_{izv}$  - dužina NN nadzemnog izvoda;  $t_{tk}$  - vreme trajanja kvara;  $P_j^{dom}$  - jednovremena snaga 1 kupca.

TABELA 2 – Jedinične cene i norma-časovi za neophodne poslove i sredstva

| Rad / sredstvo | montaža | revizija | zamena<br>osigur. | manipul. | priprema<br>za mont. | priprema za<br>reviz./zam. | priprema<br>za manip. | hidraul.<br>platforma | putnički<br>automob. |
|----------------|---------|----------|-------------------|----------|----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Cena (din/h)   | 750,00  | 750,00   | 750,00            | 750,00   | 750,00               | 750,00                     | 750,00                | 1.100,00              | 40,00                |
| Norma-čas (h)  | 1,0     | 0,35     | 0,15              | 0,125    | 0,5                  | 0,25                       | 0,15                  | po potr.              | po potr.             |
| br.uređaja/dan | 5       | 15       | po potr.          | po potr. | -                    | pros.norma                 | (km)                  | 30                    | 30                   |
| prosek (km)    | 30      | 30       | 0*                | 0*       | -                    | Cena                       | (din/km)              | 60                    | 30                   |

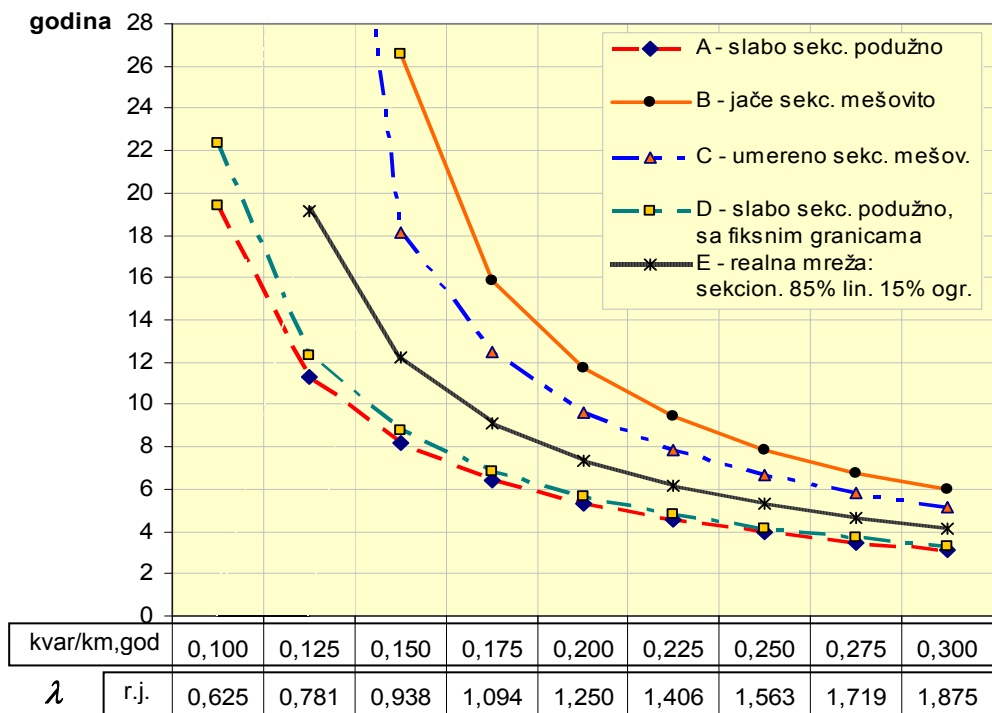
\* Napomena: Kod zamene nožastih osigurača i manipulacija uređajima nema troškova prevoza, jer ista ekipa koja inače otklanja kvar, rukuje i uređajima!

## 3 REZULTATI TEHNO-EKONOMSKE I ANALIZE OSETLJIVOSTI

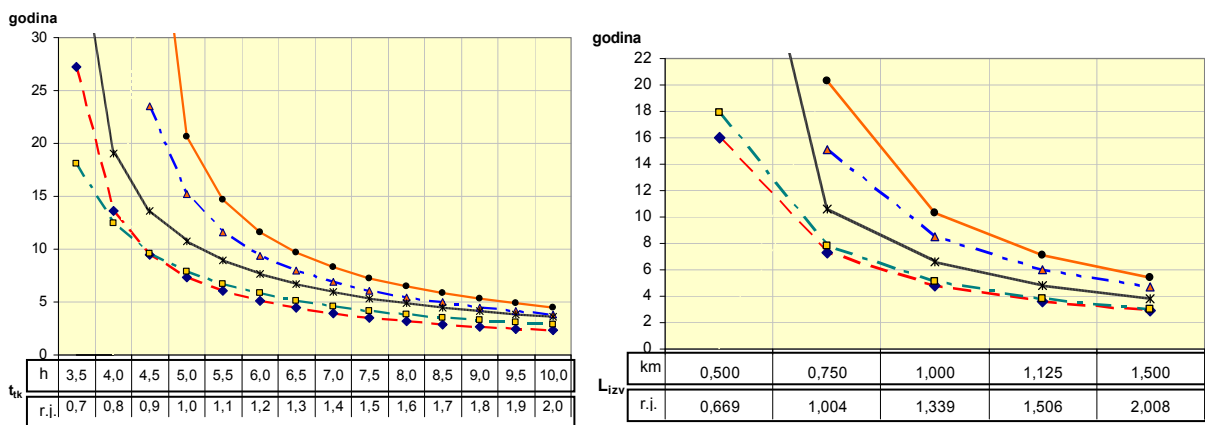
Za referentne vrednosti ulaznih parametara, date u tabeli 1, norme i jedinične cene iz tabele 2, gore navedeni slučajevi sekcionisanja mreže 1 kV imaju rokove otplate investicije i potreban broj uređaja za ugradnju, prikazane u tabeli 3. Rezultati analize osetljivosti prikazani su graficima na slikama 3 do 7. Najkraći rok otplate investicije je u slučaju A (podužno slabo sekcionisana mreža). Minimalan broj uređaja je u slučaju D (isto, samo sa fiksnim granicama napajanja), koji može da bude I faza slučaja A. Granični je slučaj B (50% podužno sekcionisanih izvoda, 50% po ograncima), za koji je rok otplate investicije oko 20 godina, tj. približno jednak usvojenom životnom veku uređaja. Prihvatljivim se mogu smatrati one varijante kod kojih je rok otplate manji ili približno jednak polovini životnog veka.

TABELA 3 – Rezultati proračuna perioda isplativosti investicije za razmatrane slučajeve, pri referentnim vrednostima ulaznih parametara

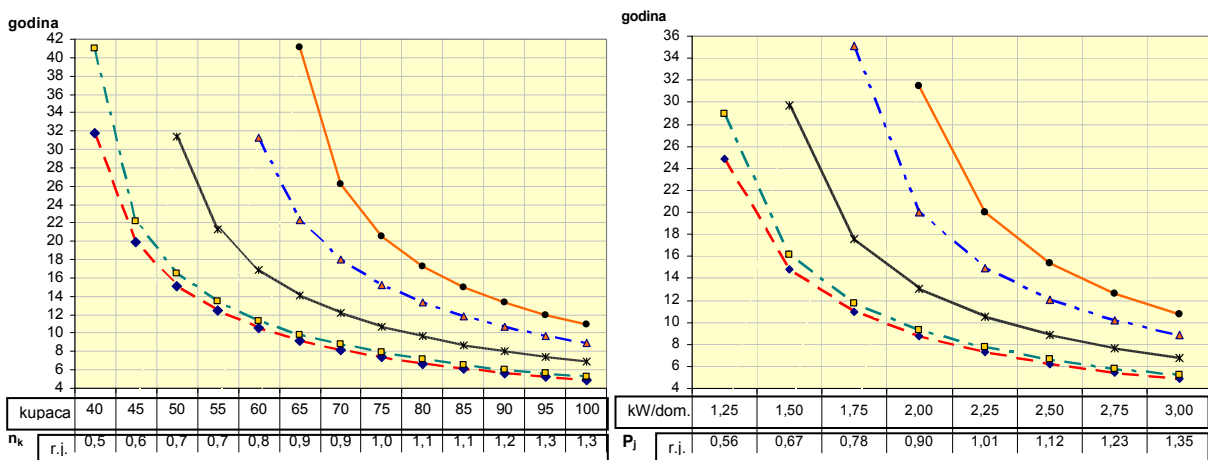
| Varijanta:                 | Slučaj A | Slučaj B | Slučaj C | Slučaj D | Slučaj E |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Period isplativosti (god.) | 7,37     | 20,60    | 15,25    | 7,86     | 10,73    |
| Ukupan broj uređaja        | 13.500   | 31.500   | 25.488   | 9.000    | 13.050   |



Slika 3 Zavisnost roka isplativosti od prosečne vrednosti intenziteta kvarova,  $\lambda$

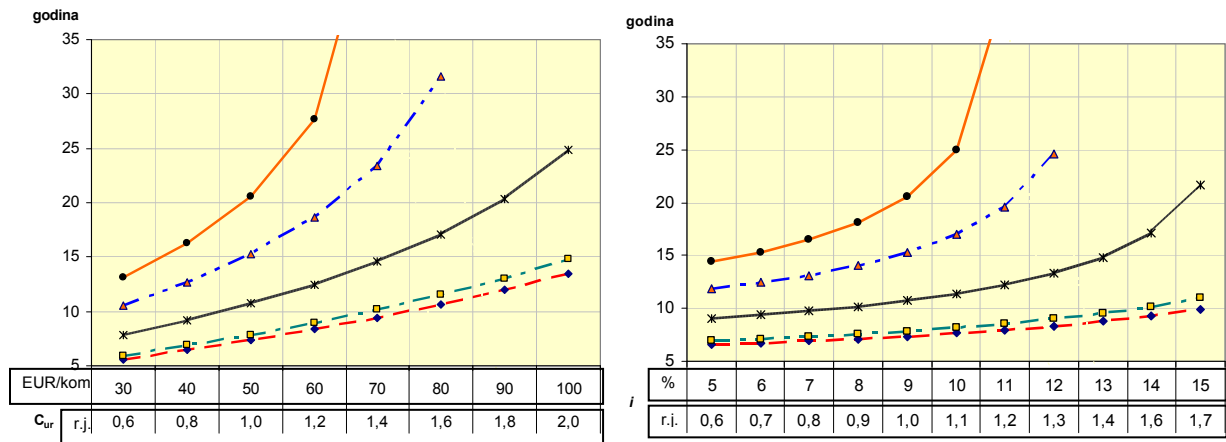


Slika 4 Zavisnost roka isplativosti od prosečnog trajanja kvara (levo) i prosečne dužine izvoda (desno)

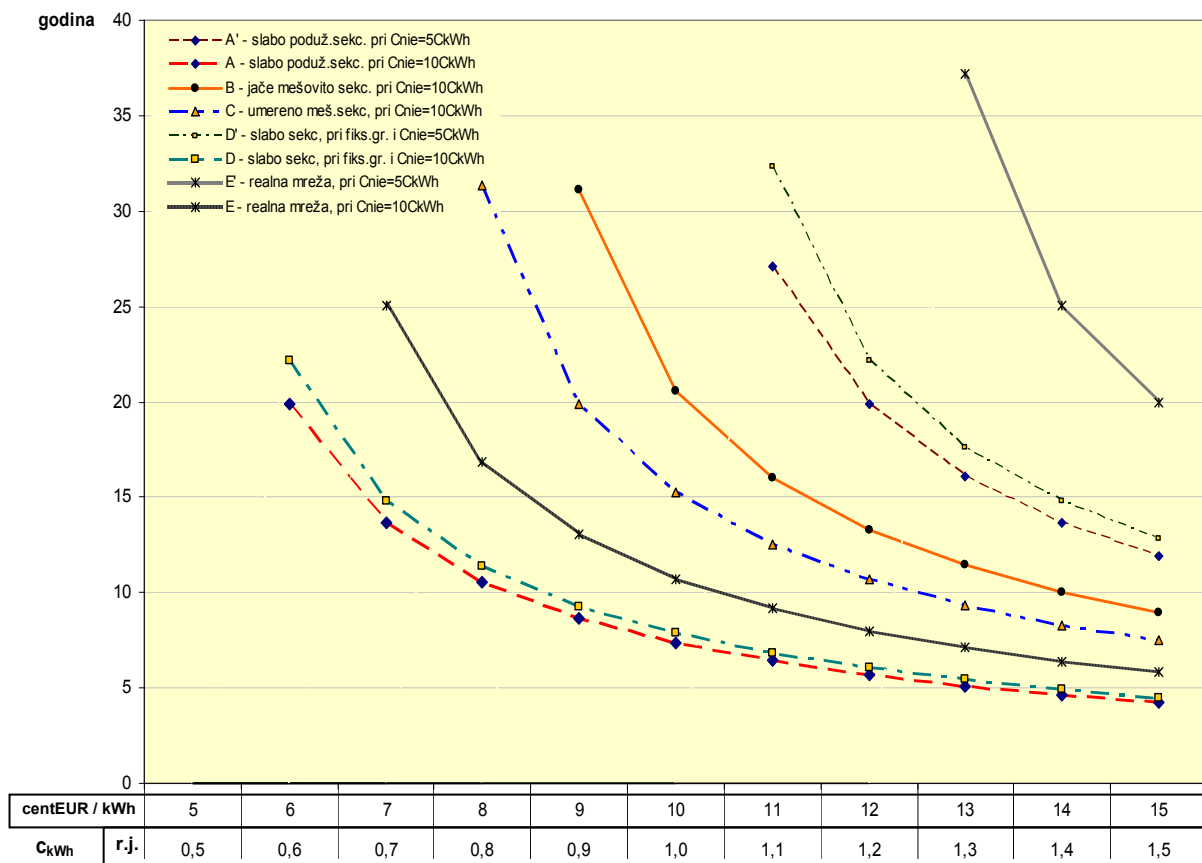


Slika 5 Zavisnost roka isplativosti od broja kupaca na NN izvodu (levo) i od prosečne jednovremene snage kupca koja bi se imala u vreme kvara (desno)

Kao što se to moglo očekivati, imajući u vidu da na vrednost neisporučene električne energije najviše utiče dužina trajanja kvara, na slici 4 – levo, vidi se da je varijanta D podužno i slabo sekcionisane mreže sa fiksnim granicama napajanja, za kraće kvarove isplativija od odgovarajuće varijante A sa uređajima ugrađenim na tim granicama (krive se seku).



Slika 6 Zavisnost roka isplativosti od cene NN linijskog osigurača-sklopke-rastavljača (levo) i od visine stope aktualizacije (desno)



Slika 7 Zavisnost roka isplativosti od cene el.energije i odnosa cena neisporučenog i isporučenog kWh

Na slici 7 su prikazani rezultati koji pokazuju da se – u razmatranom opsegu cene kWh – pri 5 puta skupljem neisporučenom kWh isplate samo: podužno, slabo sekcionisane mreže sa (A') i bez (D') uređaja na granicama napajanja i realna mreža (E') bez uređaja na granicama, sekcionisana 85% podužno i 15% po ograncima (tri krive desno gore na slici 7). Rok isplativosti za te tri varijante je, međutim preko polovine eksploatacionog veka uređaja i pri većim cenama isporučenog kWh (preko 11

cent€/kWh), tako da *de facto* nema prihvatljivih varijanti za ovaj odnos cene neisporučenog i isporučenog kWh.

Analizom slika 3 do 5 i 7 očigledno je da se za isti korak promene ulaznog parametra (na apscisi), pri njegovim manjim apsolutnim vrednostima dobija znatno veća promena roka otplate investicija, nego za isti korak pri većim apsolutnim vrednostima tog parametra. Tako, npr. na slici 4 – levo, vidimo da povećanje vremena trajanja kvara  $\Delta t_{tk}=0,5$  h, sa 3,5 h na 4 h, za slučaj slabo i podužno sekcionisane mreže (prikazan isprekidanom linijom) smanjuje rok otplate investicije za čak 13 godina, dok ga u opsegu od 7 h do 10 h, ( $6 \cdot \Delta t_{tk}$ ), smanjuje neznatno, sa 4 na 2,5 godine. Stoga grafici sa slika 3 do 5 mogu da posluže kao sredstvo kojim se lako dolazi do zaključka na kojim delovima konzuma (kakvih karakteristika) najpre treba izvršiti sekcionisanje NN mreže, da bi se ostvarili najveći efekti i najkraći period isplativosti investicije.

#### 4 ZAKLJUČCI

Efikasna elektrodistributivna mreža trebalo bi da ima ne samo sposobnost da isporuči traženu električnu energiju, već i da poseduje određeni nivo fleksibilnosti, koji bi omogućio povećanje kvaliteta isporuke električne energije. Time se smanjuju troškovi koje isporučio u deregulisanim sistemima i tržišnom okruženju imaju usled penala, koje plaćaju kupcima za neisporučenu električnu energiju. Sekcionisanje NN nadzemne mreže može predstavljati jednu od mera kojom se to postiže.

Prikazana tehno-ekonomska analiza više varijanti sekcionisanja, pokazala je sledeće:

- sekcionisanje nadzemne NN mreže postaje isplativo pri dostizanju prosečne cene od 10 €/kWh i pri vrednovanju neisporučenog kWh (penala) 10 puta većom cenom od cene isporučenog kWh.
- optimalan je sledeći scenario ugradnje NN osigurača-sklopki-rastavljača na nadzemnu NN mrežu: U I fazi treba ugraditi po jedan uređaj na svakom nadzemnom NN izvodu, radi njegovog podužnog sekcionisanja. U II fazi, na poveznim vodovima tj. izvodima s mogućnošću rezervnog napajanja, moguće je ugraditi uređaje na one granice napajanja preko kojih bi se – za slučaj kvara na 1. sekciji – ostvarivalo rezervno napajanje 2. sekcije izvoda (formirane u I fazi). U realnosti, međutim, do 15 % NN izvoda nema mogućnost rezervnog napajanja (uglavnom u ruralnim područjima), pa se predlaže njihovo sekcionisanje po ograncima. Analiza je pokazala da se u takvom, kombinovanom slučaju, može očekivati prihvatljivi rok otplate do oko 10 godina (polovina pretpostavljenog životnog veka uređaja).

Da bi se najbrže postigli što osetniji pozitivni efekti, uređaje za sekcionisanje najpre treba ugrađivati u onim područjima u kojima postoje česti i dugi prekidi napajanja; tj. tamo gde intenzitet kvarova  $\lambda$  i vreme trajanja kvara,  $t_{tk}$ , imaju veće lokalne vrednosti od srednjih vrednosti, za celu NN mrežu.

Pre ugradnje uređaja na realnoj mreži potrebno je – u svakom konkretnom slučaju – odrediti optimalno mesto njegove ugradnje na izvodu i naznačenu struju nožastih osigurača koji se u njega montiraju, uzimajući u obzir: prostornu konfiguraciju izvoda, raspored postojećih kućnih priključaka i kupaca, eventualno planirane nove priključke i kupce i njihove pojedinačne jednovremene vršne snage.

**Ključne reči:** nadzemna niskonaponska mreža, sekcionisanje, troškovi, neisporučena el. energija

#### 5 LITERATURA

- [1] Grupa autora, „Mogućnosti izrade nadzemnog kućnog priključka bez osigurača na stubu“, Studija br. 359302, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“ (1993), Beograd.
- [2] Nikola Rajaković, Vladimir Šiljkut, Dušan Nikolić, „Optimizacija broja niskonaponskih osigurača-sklopki rastavljača u niskonaponskim nadzemnim mrežama“, elaborat, Elektrotehnički fakultet. (2007), Beograd
- [3] Chun-Lien Su, Jen-Ho Teng, „Outage costs quantification for benefit-cost analysis of distribution automation systems“, Electrical Power and Energy Systems, No. 29, (2007), pp. 767-774.
- [4] Nešo Mijušković, „Aktuelizacija troškova u planiranju elektrodistributivne mreže“, „Elektroprivreda“, (1992), br. 7-9, Beograd.
- [5] Grupa autora, „Osnovni tehnički uslovi za planiranje, projektovanje i gradnju niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica 10(20)/0,4 kV stambenih naselja“, Zbirka tehničkih preporuka ED Srbije br. 14b, knjiga II. (2001), Beograd

## 6 DODATAK – Struktura troškova pri sekcionisanju, manipulisanju i održavanju nadzemne NN mreže i struktura troškova usled neisporučene električne energije

Investicioni troškovi osigurača-sklopke-rastavljača mogu se predstaviti kao zbir sledećih troškova:

$$C_o = C_{ur} + C_{ug} + C_{nie}^{ug} \quad (A.1), \text{ gde su:}$$

$C_{ur}$  – cena uređaja (maloprodajna ili velkoprodajna, usvojena je vrednost 50 €);

$C_{ug}$  – ukupni troškovi radova na ugradnji uređaja;

$C_{nie}^{ug}$  – troškovi (penali) koje ED plaća kupcima zbog neisporučene električne energije tokom ugradnje uređaja (jer se uređaj montira u beznaponskom stanju izvoda).

$$C_o = C_{ur} + 3c_{no} + c_{sem} + \left( t_{ug} + \frac{t_{pr} + t_{prev}}{n_{ur}} \right) \cdot (n_{lj} c_{rem} + c_{hv}) + \frac{n_{km} c_{km}}{n_{ur}} + k_{nie} \frac{W_{god}^{dom}}{8760} n_k t_{ug} c_{kwh} \quad (A.1.a)$$

$c_{no}$  – vrednost nožastih osigurača (jer je prikazana cena uređaja bez uračunatih osigurača);

$c_{sem}$  – trošak sitnog elektro-materijala iskorišćenog pri ugradnji jednog uređaja (usvojeno 50 din./kom);

$t_{ug}$  – vreme potrebno za ugradnju jednog uređaja (usvojeno 1 h);

$t_{pr}$  – vreme za pripremu (sprovođenje mera zaštite na radu, usvojeno 0,5 h);

$t_{prev}$  – vreme provedeno u prevozu do i od mesta rada;

$n_{ur}$  – broj uređaja koji se ugrađuje pri jednom izlasku ekipe (usvojeno:  $n_{ur} = 5$ );

$n_{lj}$  – broj ljudi u ekipi (usvojeno 3, pri radu ljudstva sa hidraulične dizalice, tzv. „korpe“);

$c_{rem}$  – vrednost norma časa rada elektromontera (750 din/h, prema tabeli 2);

$c_{hv}$  – cena 1 h angažovanja vozila (vozilo sa platformom, 1.100 din/h, tab. 2);

$n_{km}$  – broj pređenih kilometara, u oba smera (usvojeno 30 km, v. tabelu 2);

$c_{km}$  – cena 1 pređenog kilometra (vozilo sa platformom, 60 din/km, tabela 2);

$k_{nie}$  – faktor uvećanja prosečne angažovane snage tokom godine, za period kada je kupac ostao bez napajanja (usvojeno  $k_{nie} = 3,35$ , određeno prema prenosnoj moći tipskog provodnika NN voda);

$W_{god}^{dom}$  – prosečna godišnja potrošnja električne energije u jednom domaćinstvu na konzumnom području EDB tokom 2005. godine, iznosi 5824 kWh.

$n_k$  – broj kupaca bez napona tokom radova (usvojen je prosečan broj kupaca na jednom izvodu 75, [5], uz pretpostavku da se, tokom rada ekipe, po jedan uređaj ugrađuje na svaki izvod – 1. idealizovani slučaj sa slike 1, ili svi uređaji na isti izvod – 2. idealizovani slučaj sa slike 2.

$c_{kwh}$  – prosečna cena 1 kWh tokom perioda eksploatacije uređaja (usvojena vrednost 10 cent€/kWh);

Prosečni troškovi jedne periodične revizije pojedinačnog uređaja su:

$$C_{odr} = n_{zur} C_{ur} + n_{zno} c_{no} + c_{sem}^{odr} + \left( t_{rev} + \frac{t_{prev} + t_{pripr}^{odr}}{n_{rev}} \right) \cdot (n_{lj} c_{rem} + c_{hv}^{odr}) + \frac{n_{km} c_{km}^{odr}}{n_{rev}} + k_{ks}^{odr} n_{kv} k_{nie} \frac{W_{god}^{dom}}{8760} t_{rev} c_{kwh} \quad (A.2),$$

$n_{zur}$  – broj uređaja zamenjenih zbog oštećenja, u jednom izlasku ekipe (usvojeno: 0,01 uređaja/reviziji);

$n_{zno}$  – pros. broj zamenjenih nož. osigurača po 1 uređaju, tokom 1 izlaska ekipe (0,1 kom/uređ,reviz.);

$c_{sem}^{odr}$  – trošak sitnog elektro-materijala iskorišćenog pri održavanju 1 uređaja (usvojeno 30 din./kom);

$t_{rev}$  – vreme potrebno za reviziju jednog uređaja, usvojeno: 0,35 h/uređaju;

$t_{pripr}^{odr}$  – vreme pripreme (sprovođenja mera zaštite na radu) kod održavanja uređaja;

$n_{rev}$  – broj uređaja pregledan i očišćen pri jednom izlasku ekipe, usvojeno: 15 uređaja/reviziji;

$n_{lj} = n_{lj}^{odr}$  – broj ljudi u ekipi za održavanje, usvojeno:  $n_{lj}^{odr} = 2 \neq n_{lj}^{ug} = 3$ , u (A.1.a);

$c_{hv} = c_{hv}^{odr}$  – cena norma-časa angažovanja putničkog vozila,  $c_{hv}^{odr} = 40$  din/h  $\neq c_{hv}^{ug}$  (tabela 2);

$c_{km} = c_{km}^{odr}$  – cena pređenog kilometra putničkog vozila,  $c_{km}^{odr} = 30$  din/km  $\neq c_{km}^{ug}$  (tabela 2);

$k_{ks}^{odr}$  – odnos broja kupaca na sekciji s revidovanim uređajem i ukupnog broja kupaca na izvodu;

$n_{kv}$  – prosečan broj kupaca na izvodu,  $n_{kv} = 75$ .

Pretpostavljajući da se troškovi održavanja ravnomerno raspoređuju tokom celog eksploatacionog veka,  $N$ , prosečni troškovi održavanja jednog uređaja, svedeni na današnje cene su:

$$C_{odr}^{sved} = \left[ \frac{1}{(1+i)^{\frac{N}{4}}} + \frac{1}{(1+i)^{\frac{N}{2}}} + \frac{1}{(1+i)^{\frac{3N}{4}}} \right] \cdot \frac{C_{odr}}{N} \quad (A.3)$$

Troškovi zamene pregorelih nožastih osigurača u jednom uređaju su:

$$C^{zam} = n_{zpo} \cdot c_{no} + (n_{lj}^{zam} \cdot c_{rem} + c_{hv}^{zam}) \cdot (t_{zno} + t_{pripr}^{zam}) + C_{nie}^{zam} \quad (A.4), \text{ gde su:}$$

$n_{zpo}$  – prosečan broj nožastih osigurača zamenjenih po jednom uređaju, usvojeno: 1,25 kom./uređ;

$n_{lj}^{zam}$  – broj ljudi u ekipi,  $n_{lj}^{zam} = n_{lj}^{odr} = 2$ ;

$c_{hv}^{zam} = c_{hv}^{odr}$ , zbog korišćenja iste vrste vozila kao u slučaju održavanja (v.gore);

$t_{zno}$  – prosečno vreme zamene pregorelih osigurača u jednom uređaju (tabela 2);



$t_{prip}^{zam}$  – prosečno vreme pripreme (spvođenja mera zaštite na radu), pri zameni osigurača (tab. 2);  
 $n_{km}^{zam} = n_{km}^{man} = 0$  i  $t_{prev}^{zam} = t_{prev}^{man} = 0$ , jer ista ekipa koja otklanja kvar menja i pregorele osigurače;

$$C_{nie}^{zam} = (t_{tk} + n_{ur}^{zam} \cdot t_{zno} + t_{prip}^{zam}) \cdot k_{ks}^{zam} \cdot n_{kv} \cdot k_{nie} \cdot \frac{W_{god}^{dom}}{8760} \cdot c_{kWh} \quad (A.5), \text{ gde su:}$$

$t_{tk}$  – vreme trajanja kvara;

$n_{ur}^{zam}$  – broj uređaja na kojima se vrši zamena osigurača (za 1 uređaj:  $n_{ur}^{zam} = 1$ );

$k_{ks}^{zam}$  – odnos broja kupaca na sekciji u kvaru i izvodu (zavisu od varijante sekcionisanja, kao i  $k_{ks}^{odr}$ );

Troškovi manipulacija jednim uređajem radi pomeranja granica napajanja pre i posle otklanjanja kvarova, zavise od slučaja sekcionisanja izvoda i mesta kvara, i mogu se predstaviti relacijom:

$$C_k^{man} = (n_{man} \cdot t_{man} + t_{prip}^{man}) \cdot (n_{lj}^{man} \cdot c_{rem} + c_{hv}^{man}) + C_{nie}^{(j,s)s} \quad (A.6), \text{ gde su:}$$

$n_{lj}^{man}$  – broj ljudi u ekipi,  $n_{lj}^{man} = n_{lj}^{zam} = n_{lj}^{odr} = 2$ ;

$c_{hv}^{man} = c_{hv}^{zam} = c_{hv}^{odr}$ , zbog korišćenja istog tipa vozila pri zameni, održavanju i manipulacijama;

$C_{nie}^{(j,s)s}$  – troškovi zbog neisporučene električne energije do okončanja manipulacija (uspostavljanja rezervnog napajanja), za idealizovani slučaj slabo i podužno sekcionisane mreže (slika 1):

$$C_{nie}^{ss} = \left[ (t_{tk} + n_{man} \cdot t_{man} + t_{prip}^{man}) \cdot k_{ks} + \left( t_{pol} + \frac{t_{prev}}{2} + n_{man} \cdot t_{man} + t_{prip}^{man} \right) \cdot (1 - k_{ks}) \right] \cdot k_{nie} \cdot \frac{W_{god}^{dom}}{8760} \cdot c_{kWh} \quad (A.7.a),$$

a za slučaj jako i po ograncima sekcionisane mreže:

$$C_{nie}^{js} = \left[ (t_{tk} + n_{man} \cdot t_{man} + t_{prip}^{man}) \cdot k_{ks} + \left( t_{pol} + \frac{t_{prev}}{2} + n_{man} \cdot t_{man} + t_{prip}^{man} \right) \cdot k_{mrs} \right] \cdot k_{nie} \cdot \frac{W_{god}^{dom}}{8760} \cdot c_{kWh} \quad (A.7.b).$$

$n_{man}$  – ukupan broj manipulacija koji je potreban, razlikuje se po varijantama;

$t_{man}$  – vreme potrebno za manipulaciju jednim uređajem tj. promenu granice na njemu;

$t_{prip}^{man}$  – prosečno vreme pripreme (spvođenja mera zaštite na radu), pre manipulacija uređajima;

$k_{ks}$  – odnos broja kupaca na sekciji s kvarom i ukupnog broja kupaca na izvodu, različit po varijantama;

$t_{pol}$  – vreme koje protekne od prijave kvara do polaska ekipe na teren (usvojeno: 1 h);

$k_{mrs}$  – odnos broja kupaca na sekcijama na kojima je moguće obezbediti rezervno napajanje, manipulacijama uređajima i ukupnog broja kupaca na izvodu; zavisi od varijanti i mesta kvara.

Ukupni troškovi  $n$  uređaja za sekcionisanje mreže su:

$$C_{uk}(n) = n \cdot C_0 + C_{exp}^{sved} = n \cdot \left[ C_{ur} + 3c_{no} + c_{sem} + \left( t_{ug} + \frac{t_{pr} + t_{prev}}{n_{ur}} \right) \cdot (n_{lj} c_{rem} + c_{hv}) + \frac{n_{km} c_{km}}{n_{ur}} \right] + C_{exp}^{sved} \quad (A.8),$$

$$C_{exp}^{sved} = \left[ \frac{1}{(1+i)^{\frac{N}{4}}} + \frac{1}{(1+i)^{\frac{N}{2}}} + \frac{1}{(1+i)^{\frac{3N}{4}}} \right] \cdot n \cdot C_{odr} + \frac{(1+i)^N - 1}{(1+i)^N \cdot i} \cdot \lambda L_m \sum_k p_{ksi} p_{(j,s)s} n_{ki} C_{zam/man}^k \quad (A.9), \text{ gde je:}$$

$C_0$  – prikazano pomoću (A.1a);  $C_{odr}$  – prikazano pomoću (A.2);  $C_{zam/man}^k$  – dato pomoću (A.4) i (A.6);

$C_{exp}^{sved}$  – ukupni eksploatacioni troškovi svih uređaja, svedeni na sadašnju vrednost;

$\lambda$  – intenzitet kvarova (godišnji broj kvarova po kilometru) na razmatranoj mreži;

$L_m$  – ukupna dužina mreže koja se sekcioniše;

$p_{ksi}$  – udeo sekcije koju je pogodio kvar u ukupnoj dužini (tj. broju kupaca) na izvodu;

$p_{(j,s)s} = p_{js}$  ili  $p_{ss}$ , zavisno od slučaja sekcionisanja izvoda i kvara;

$p_{ss}$  – udeo slabo i podužno sekcionisane mreže u ukupnoj dužini mreže;

$p_{js}$  – udeo jako i po ograncima sekcionisane mreže u ukupnoj mreži; ( $p_{ss} + p_{js} \leq 1,00$ );

$n_{ki}$  – broj mesta na izvodu na kojima se kvar može javiti, a da izazove iste troškove,

( $n_{ki} = 1$  ili  $3$ , zavisno od mesta kvara na mrežama sa slika 1 i 2);

$n$  – ukupan broj osigurača-sklopki-rastavljača na mreži, zavisi od varijante njenog sekcionisanja:

$$n = (p_{ss} \cdot n_{ur}^{ss} + p_{js} \cdot n_{ur}^{js}) \cdot n_{im} \quad (A.10) \text{ gde su:}$$

$n_{ur}^{ss}$  – broj potrebnih uređaja po jednom, slabo i podužno sekcionisanom izvodu;

$n_{ur}^{js}$  – broj potrebnih uređaja po jednom, jako i po ograncima sekcionisanom izvodu;

$n_{im}$  – ukupan broj NN izvoda iz TS 10/(20)/0,4 kV na NN nadzemnu mrežu.

Ukupni troškovi penala za neisporučenu električnu energiju u slučaju nesekcionisane mreže, svedeni na današnju vrednost i ceo eksploatacioni vek od  $N$  godina su:

$$C_{nie}^{uk(n=0)} = f_i \cdot C_{nie}^{god(n=0)} = \frac{(1+i)^N - 1}{(1+i)^N \cdot i} \cdot \lambda \cdot L_m \cdot t_{tk} \cdot n_k \cdot \frac{W_{god}^{dom}}{8760} \cdot k_{nie} \cdot c_{kWh} \quad (A.11), \text{ gde je:}$$

$t_{tk}$  – vreme trajanja kvara (do vraćanja dozvole za rad, usvojeno referentno:  $t_{tk} = 5$  h).