

## Optimalne lokacije rasklopne opreme u distributivnim mrežama različitih koncepcija napajanja potrošača

Vladica Mijailović

Tehnički fakultet Čačak  
[miltea@tfc.kg.ac.rs](mailto:miltea@tfc.kg.ac.rs)

**Kratak sadržaj:** U radu je prikazana uporedna analiza nekih mera kojima se poboljšava pouzdanost napajanja potrošača. Konkretno, analizirani su uticaj ugradnje pojedinih tipova rasklopne opreme i mogućnosti dvostranog napajanja potrošača iz susednog izvoda. Navedeni su izrazi za proračun pokazatelja *SAIDI* i količine očekivane neisporučene električne energije  $\Delta W$  potrošačima. Efekti pojedinih mera su izračunati za jedan SN- izvod za slučaj radijalnog napajanja potrošača i za slučajeve kada se ima mogućnost dvostranog napajanja. Mesta ugradnje pojedinih tipova rasklopne opreme za dati koncept napajanja određena su po kriterijumu minimalne vrednosti pokazatelja *SAIDI* i po kriterijumu minimalne vrednosti  $\Delta W$ .

**Glavne reči:** rasklopna oprema, distributivna mreža, potrošač

### 1. Uvod

Deregulacija i poslovanje na tržišnim principima primoravaju isporučioce električne energije da maksimalno poboljšaju pouzdanost snabdevanja potrošača, u smislu snižavanja broja i trajanja prekida napajanja. Istovremeno, to zahteva od isporučilaca da ulože znatna finansijska sredstva, koja su često ograničena. Opravdanost svake investicije se proverava uporednom analizom potrebnih troškova sa očekivanim uštedama.

Tipične mere za poboljšanje pouzdanosti jednog distributivnog sistema ili njegovog dela su:

- a) nabavka rezervne opreme, za postrojenja i vodove, čime se utiče na vreme trajanja otklanjanja kvarova na nivou sistema ili njegovog dela. Ova mera je analizirana u [1, 2] i ovde neće biti obrađivana.

- b) ugradnja rasklopne opreme na vodovima, čime se snižava broj pogođenih potrošača i skraćuje vreme prekida napajanja potrošača koji se napajaju sa ispravnih deonica. Ovo je mera čijom se realizacijom poboljšava pouzdanost posmatranog voda ili dela sistema.
- c) rekonfiguracija mreže, uspostavljanjem napajanja preko drugog izvoda.

U ovom radu biće analizirani uticaj vrste i lokacije rasklopne opreme i konfiguracije mreže na pouzdanost napajanja potrošača. Konkretno, analiziraće se uticaj automatizovane rasklopne opreme (prekidači, rekloseri i sekcionalizatori) i ručno pokretanih rastavljača i mogućnosti dvostranog napajanja potrošača iz susednog izvoda. Za sve analizirane slučajeve, pouzdanost napajanja potrošača biće merena preko sistemskog pokazatelja *SAIDI* i preko količine očekivane neisporučene električne energije  $\Delta W$ .

Pokazatelj *SAIDI* (*System Average Interruption Duration Index*) predstavlja prosečno trajanje dugotrajnih prekida napajanja potrošača tokom analiziranog perioda (obično godina). Računa se kao količnik zbira ukupnog trajanja prekida napajanja u toku jedne godine i ukupnog broja potrošača na području koje se analizira:

$$SAIDI = \frac{\sum_p \lambda_p \cdot r_p \cdot N_p}{N_T} \cdot \left( \frac{h(min)}{god} \right) \quad (1)$$

gde su:

$\lambda_p$  - intenzitet prekida  $p$ ;

$r_p$  - trajanje prekida napajanja tokom događaja  $p$ ;

$N_p$  - broj potrošača koji su ostali bez napajanja prilikom prekida  $p$ ,

Indeksom  $p$  obuhvataju se svi prekidi koji su se dogodili tokom jedne godine.

### Spisak oznaka

TS- transformatorska stanica,

$\lambda_{TS}$  - intenzitet kvarova napojne TS,

$r_{TS}$  - vreme potrebno za ponovno uspostavljanje napajanja iz TS,

$\lambda_z$  - intenzitet kvarova deonice desno od tačke  $z$ ,

$N_z$  - broj potrošača koji će ostati bez napajanja ako se dogodi kvar desno od tačke  $z$ ,

$P_z$  - neisporučena snaga potrošačima koji će ostati bez napajanja ako se dogodi kvar desno od tačke  $z$ ,

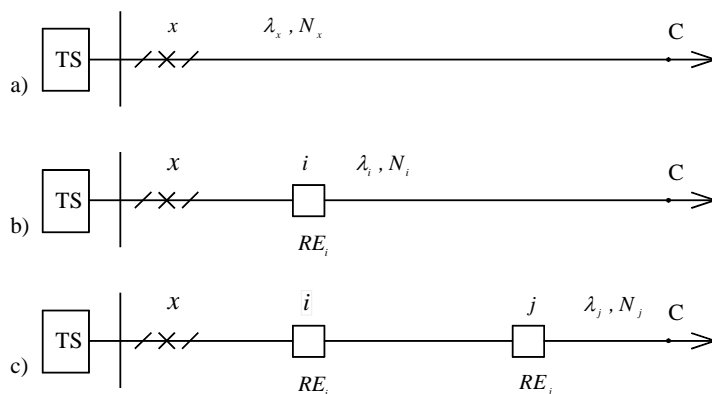
$\Delta W$  - očekivana neisporučena električna energija potrošačima tokom jedne godine,

$N_T$  - ukupan broj potrošača na analiziranom području,

$P_T$  - ukupna snaga koja se isporučuje,  
 $r_k$  - vreme potrebno za otklanjanje kvara,  
 $r_{m,z}$  - vreme trajanja manipulacije rasklopnim elementom u tački  $z$ ,  
 $RE_Q$  - rasklopni element u tački  $Q$ ,  
 $NO$  - normalno otvoreni rasklopni element,  
 $r_{m,NO}$  - vreme trajanja manipulacije normalno otvorenim rasklopnim elementom.

## 2. Uticaj vrste i lokacije rasklopne opreme

Uticaj vrste i lokacija pojedinih vrsta rasklopne opreme na sistemske pokazatelje pouzdanosti biće analiziran za konfiguracije čije su jednopolne šeme prikazane na sl.1 i sl.2. Na sl.1 prikazan je jedan srednjenaponski radijalno napajani izvod, bez mogućnosti dvostranog napajanja, na čijem početku postoji prekidač. U tačkama  $i$  i  $j$  mogu postojati rasklopni elementi (automatski ili sa ručnim pokretanjem). Mesta i vrsta upotrebljenih rasklopnih elemenata su određeni tako da se minimizira vrednost pokazatelja *SAIDI* ili količina neisporučene električne energije  $\Delta W$ . Na sl.2 prikazane su dve moguće konfiguracije koje omogućavaju dvostrano napajanje potrošača na posmatranom izvodu ukoliko dođe do ispada napojnog postrojenja. Generalno posmatrano, na osnovu izraza napisanih za analizirane konfiguracije, može se odrediti proizvoljno veliki broj rasklopnih uređaja koje treba ugraditi na datom izvodu. Na sl.2-b), tačka  $k$  u kojoj će biti uspostavljeno napajanje iz rezervnog pravca biće određena, takođe, po kriterijumu minimalne vrednosti pokazatelja *SAIDI* ili minimalne vrednosti  $\Delta W$ .



Sl.1 Analizirane konfiguracije SN radijalnog izvoda bez mogućnosti dvostranog napajanja

Konfiguracija na sl.1-a) predstavlja najjednostavniji primer: U slučaju da ispadne iz pogona napojna TS ili da nastane kvar na bilo kom mestu na izvodu svi potrošači će ostati bez napajanja ( $N_x = N_T$ ). Pokazatelj *SAIDI* za ovaj slučaj ima vrednost:

$$SAIDI = \frac{\lambda_{TS} \cdot r_{TS} \cdot N_T + \lambda_x \cdot r_k \cdot N_x}{N_T} = \lambda_{TS} \cdot r_{TS} + \lambda_x \cdot r_k = SAIDI_{R-0} \quad (2)$$

Neisporučena električna energija  $\Delta W_{R-0}$  potrošačima tokom jedne godine iznosi:

$$\Delta W_{R-0} = (\lambda_{TS} \cdot r_{TS} + \lambda_x \cdot r_k) \cdot P_T \quad (3)$$

Ako je na izvodu u tački *i* ugrađen rasklopni element (sekcionalizator ili rastavljač sa ručnim pokretanjem), sl.1-b), može se zaključiti sledeće:

- ako ispadne iz pogona napojna TS bez napajanja će ostati svi potrošači,  $N_T$ , a prekid će trajati dok se ne otkloni kvar.
- ako se dogodi kvar između tačke *x* i tačke *i* ( sa intenzitetom  $(\lambda_x - \lambda_i)$  ) bez napajanja će ostati svi potrošači,  $N_T$ , a prekid će trajati dok se ne otkloni kvar.
- ako se dogodi kvar desno od tačke *i*, sa intenzitetom  $\lambda_i$ :

\*) potrošači levo od tačke *i*, njih  $(N_T - N_i)$ , biće bez napajanja dok se ne obavi manipulacija (otvaranje) rasklopnog elementa, odnosno trajanje prekida biće jednako vremenu trajanja manipulacije;

\*) potrošači desno od tačke *i*, njih  $N_i$ , biće bez napajanja dok se ne otkloni kvar.

Za ovaj slučaj vrednost pokazatelja *SAIDI*,  $SAIDI_{R-i}$ , računa se iz izraza:

$$\begin{aligned} SAIDI_{R-i} &= \lambda_{TS} \cdot r_{TS} + \frac{1}{N_T} \cdot [(\lambda_x - \lambda_i) \cdot r_k \cdot N_T + \lambda_i \cdot r_{m,i} \cdot (N_T - N_i) + \lambda_i \cdot r_k \cdot N_i] = \\ &= SAIDI_{R-0} - \frac{1}{N_T} \cdot \lambda_i \cdot (r_k - r_{m,i}) \cdot (N_T - N_i) \end{aligned} \quad (4)$$

a neisporučena električna energija  $\Delta W_{R-i}$ :

$$\Delta W_{R-i} = \Delta W_{R-0} - \lambda_i \cdot (r_k - r_{m,i}) \cdot (P_T - P_i) \quad (5)$$

Analogno se dolazi do izraza za proračun pokazatelja *SAIDI* i neisporučene električne energije  $\Delta W$  kada su rasklopni uređaji ugrađeni u tački *i* i tački *j*,  $SAIDI_{R-i-j}$ , sl.1-c):

$$SAIDI_{R-i-j} = SAIDI_{R-i} - \frac{\lambda_j}{N_T} \cdot \left[ (r_{m,i} - r_{m,j}) \cdot N_T + r_k \cdot (N_i - N_j) - (r_{m,i} \cdot N_i - r_{m,j} \cdot N_j) \right] \quad (6)$$

$$\Delta W_{R-i-j} = \Delta W_{R-i} - \lambda_j \cdot (r_{m,i} - r_{m,j}) \cdot P_T - \lambda_j \cdot r_k \cdot (P_i - P_j) + \lambda_j \cdot (r_{m,i} \cdot P_i - r_{m,j} \cdot P_j) \quad (7)$$

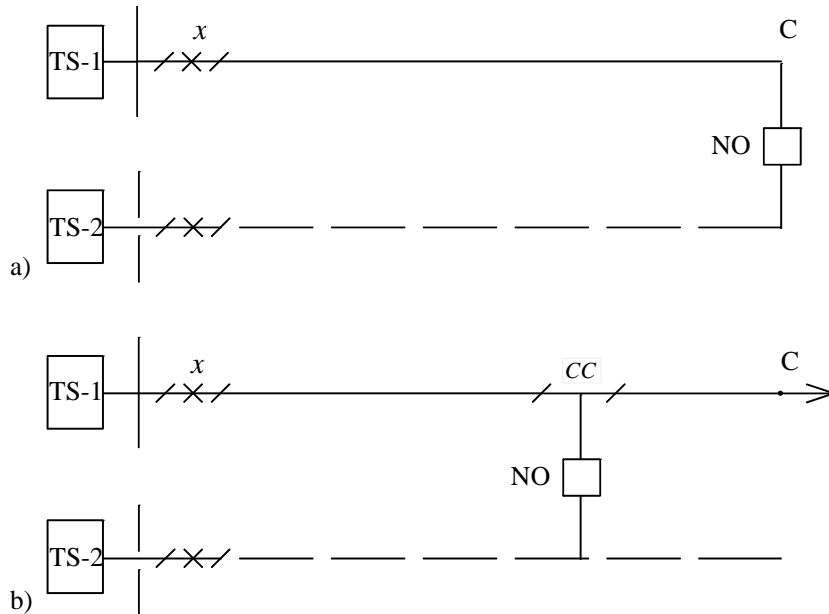
Daljim razmatranjem mogu se napisati odgovarajući izrazi za slučaj kada su rasklopni uređaji ugrađeni u tački  $i$ , tački  $j$  i tački  $k$ , između tačke  $j$  i tačke  $C$ :

$$SAIDI_{R-i-j-k} = SAIDI_{R-i-j} - \frac{\lambda_k}{N_T} \cdot \left[ (r_{m,j} - r_{m,k}) \cdot N_T + r_k \cdot (N_j - N_k) - (r_{m,j} \cdot N_j - r_{m,k} \cdot N_k) \right] \quad (8)$$

$$\Delta W_{R-i-j-k} = \Delta W_{R-i-j} - \lambda_k \cdot (r_{m,j} - r_{m,k}) \cdot P_T - \lambda_k \cdot r_k \cdot (P_j - P_k) + \lambda_k \cdot (r_{m,j} \cdot P_j - r_{m,k} \cdot P_k) \quad (9)$$

Sada ćemo razmotriti konfiguracije sa sl.2. Ako izvod ima mogućnost dvostranog napajanja prema sl.2-a) može se zaključiti sledeće:

- ako ispadne iz pogona napojna TS bez napajanja će ostati svi potrošači,  $N_T$ , a prekid će trajati dok se ne obavi zatvaranje NO-elementa, odnosno trajanje prekida biće jednako vremenu trajanja manipulacije  $r_{m,NO}$ .
- ako nastane kvar na bilo kom mestu na izvodu, desno od tačke  $x$ , svi potrošači će ostati bez napajanja.



Sl.2 Analizirane konfiguracije SN radijalnog izvoda sa mogućnošću dvostranog napajanja

Vrednost pokazatelja SAIDI,  $SAIDI_{C-0}$  računa se prema izrazu:

$$SAIDI_{C-0} = \lambda_{TS} \cdot r_{m,NO} + \lambda_x \cdot r_k = SAIDI_{R-0} - \lambda_{TS} \cdot (r_{TS} - r_{m,NO}) \quad (10)$$

a očekivana neisporučena energija potrošačima:

$$\Delta W_{C-0} = \Delta W_{R-0} - \lambda_{TS} \cdot (r_{TS} - r_{m,NO}) \cdot P_T \quad (11)$$

Ako je na izvodu u tački  $i$ , između tačke  $x$  i tačke C, ugrađen rasklopni element može se zaključiti sledeće:

- ako ispadne iz pogona napojna TS bez napajanja će ostati svi potrošači,  $N_T$ , a prekid će trajati dok se ne obavi zatvaranje NO-elementa, odnosno trajanje prekida biće jednako vremenu trajanja manipulacije  $r_{m,NO}$ .

- ako se dogodi kvar između tačke  $x$  i tačke  $i$ , sa intenzitetom  $(\lambda_x - \lambda_i)$ :

\*) potrošači levo od tačke  $i$ , njih  $(N_T - N_i)$ , biće bez napajanja dok se ne otkloni kvar.

\*) potrošači desno od tačke  $i$ , njih  $N_i$ , biće bez napajanja dok se ne obavi manipulacija (otvaranje i zatvaranje) rasklopnim elementima, odnosno trajanje prekida biće jednako vremenu  $r_{R,i}$  uspostavljanja napajanja preko NO grane.

- ako se dogodi kvar desno od tačke  $i$ , sa intenzitetom  $\lambda_i$ :

\*) potrošači levo od tačke  $i$ , njih  $(N_T - N_i)$ , biće bez napajanja dok se ne obavi manipulacija (otvaranje) rasklopnog elementa u tački  $i$ , odnosno trajanje prekida biće jednako vremenu trajanja manipulacije;

\*) potrošači desno od tačke  $i$ , njih  $N_i$ , biće bez napajanja dok se ne otkloni kvar.

Za ovaj slučaj vrednost pokazatelja SAIDI,  $SAIDI_{C-i}$ , kao i neisporučena električna energija računaju se iz izraza:

$$SAIDI_{C-i} = \lambda_{TS} \cdot r_{m,NO} + \frac{1}{N_T} \cdot [(\lambda_x - \lambda_i) \cdot r_k \cdot (N_T - N_i) + (\lambda_x - \lambda_i) \cdot r_{max,i} \cdot N_i] + \frac{1}{N_T} \cdot [\lambda_i \cdot r_{m,i} \cdot (N_T - N_i) + \lambda_i \cdot r_k \cdot N_i] \quad (12)$$

$$\Delta W_{C-i} = \lambda_{TS} \cdot r_{m,NO} \cdot P_T + [(\lambda_x - \lambda_i) \cdot r_k \cdot (P_T - P_i) + (\lambda_x - \lambda_i) \cdot r_{max,i} \cdot P_i] + [\lambda_i \cdot r_{m,i} \cdot (P_T - P_i) + \lambda_i \cdot r_k \cdot P_i] \quad (13)$$

$$r_{max,i} = \max(r_{m,i}; r_{m,NO}) \quad (14)$$

Ako je dvostrano napajanje omogućeno prema šemi na sl.2-b) može se zaključiti sledeće:

- ako ispadne iz pogona napojna TS bez napajanja će ostati svi potrošači,  $N_T$ , a prekid će trajati dok se ne obavi zatvaranje *NO*-elementa, odnosno trajanje prekida biće jednako vremenu trajanja manipulacije  $r_{m,NO}$ .

- ako se dogodi kvar između tačke  $x$  i tačke  $CC$ , sa intenzitetom  $(\lambda_x - \lambda_{CC})$ :

\*) potrošači levo od tačke  $CC$ , njih  $(N_T - N_{CC})$ , biće bez napajanja dok se ne otkloni kvar;

\*) potrošači desno od tačke  $CC$ , njih  $N_{CC}$ , biće bez napajanja dok se ne obavi manipulacija (otvaranje) rasklopnog elementa levo od tačke  $CC$ , odnosno trajanje prekida biće jednako vremenu uspostavljanja napajanja preko *NO*-elementa.

- ako se dogodi kvar desno od tačke  $CC$  sa intenzitetom  $\lambda_{CC}$ :

\*) potrošači levo od tačke  $CC$ , njih  $(N_T - N_{CC})$ , biće bez napajanja dok se ne obavi manipulacija (otvaranje) rasklopnog elementa u tački  $CC$ , odnosno trajanje prekida biće jednako vremenu trajanja manipulacije;

\*) potrošači desno od tačke  $CC$ , njih  $N_{CC}$ , biće bez napajanja dok se ne otkloni kvar.

Za ovaj slučaj, odgovarajući izrazi su:

$$SAIDI_{CC-0} = \lambda_{TS} \cdot r_{m,NO} + \frac{1}{N_T} \cdot [(\lambda_x - \lambda_{CC}) \cdot r_k \cdot (N_T - N_{CC}) + (\lambda_x - \lambda_{CC}) \cdot r_{m,NO} \cdot N_{CC}] + \frac{1}{N_T} \cdot [\lambda_{CC} \cdot r_{m,NO} \cdot (N_T - N_{CC}) + \lambda_{CC} \cdot r_k \cdot N_{CC}] \quad (15)$$

$$\Delta W_{CC-0} = \lambda_{TS} \cdot r_{m,NO} \cdot P_T + [(\lambda_x - \lambda_{CC}) \cdot r_k \cdot (P_T - P_{CC}) + (\lambda_x - \lambda_{CC}) \cdot r_{m,NO} \cdot P_{CC}] + [\lambda_{CC} \cdot r_{m,NO} \cdot (P_T - P_{CC}) + \lambda_{CC} \cdot r_k \cdot P_{CC}] \quad (16)$$

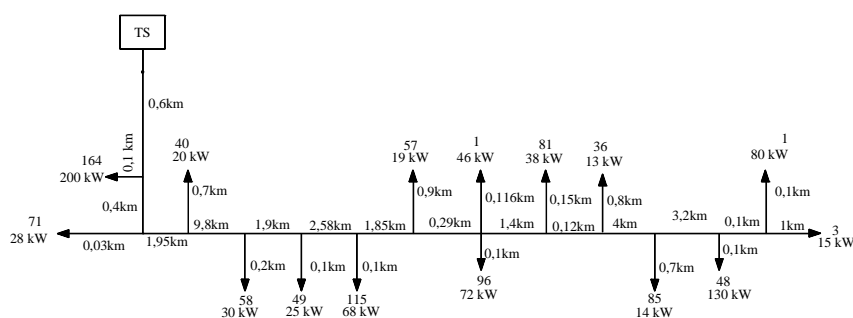
### 3. Primer proračuna

Primena napred izložene metodologije biće ilustrovana na izvodu čija je šema prikazana na sl.3. Na slici su dati podaci o dužinama pojedinih deonica (u *km*), broju potrošača koji se napajaju iz pojedinih TS 10/0,4 kV/kV i maksimalnoj snazi (u *kW*). Radi preglednosti, na sl.4 brojevima su označene deonice, a zaokruženim brojevima označeni su čvorovi.

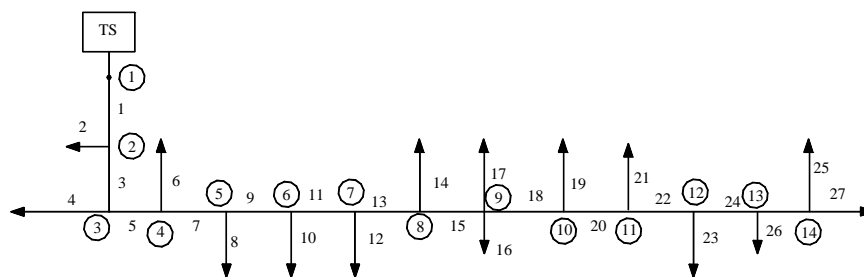
Mesta ugradnje pojedinih vrsta rasklopne opreme biće određena prema kriterijumu minimalne vrednosti pokazatelja *SAIDI* i prema kriterijumu minimalne količine neisporučene energije.

Pretpostavlja se da su, u slučaju kvara, raspoloživi neophodni rezervni elementi. Intenzitet kvarova napojne TS je  $\lambda_{TS} = 0,05 \frac{1}{god}$ , a vreme potrebno za otklanjanje kvara-  $r_{TS} = 8 h$ .

Usvojeno je da je intenzitet kvarova nadzemnih vodova  $\lambda = 0,02 \frac{1}{km, god}$  a da je vreme trajanja otklanjanja kvara  $r_k = 4h$ . Vreme potrebno za ručnu manipulaciju rastavljačima je  $r_m = 1 h$ , a vreme manipulacije rastavljačima sa daljinskim upravljanjem-  $r_{m,NO} = 10 min$ . U NO-grani nalazi se prekidač ili rekloser. Ako se njima manipuliše daljinski-  $r_{m,NO} = 10 min$ , a ako se manipuliše na licu mesta-  $r_{m,NO} = 1 h$ .



Sl.3 Šema analiziranog izvoda sa naznačenim dužinama deonica, brojem potrošača i maksimalnom snagom



Sl.4 Šema analiziranog izvoda sa označenim brojevima deonica i brojevima čvorova

Mesta ugradnje pojedinih tipova rasklopne opreme biće određena po kriterijumu minimalne vrednosti pokazatelja SAIDI i po kriterijumu minimalne količine neisporučene električne energije  $\Delta W$ . Oznaka z-l znači da je rasklopni element postavljen sa leve strane čvora br.z. Analogno, oznaka z-d znači da je rasklopni element postavljen sa desne strane čvora br.z.

Podrazumeva se da analizirani izvod na početku ima ugrađen prekidač i prateće rastavljače.



Rezultati proračuna su:

**1) Izvod na sl.3 nema mogućnost dvostranog napajanja**

**1-0) Ako duž izvoda nema ugrađene rasklopne opreme, početne vrednosti pojedinih veličina su:**

$$SAIDI_{R-0} = 3,07088 \text{ h/god} \quad , \quad \Delta W_{R-0} = 2444,42 \text{ kWh/god} \cdot$$

**1-1) Ugradnja prvog rasklopnog elementa**

Primenom izraza (4) i (5) izračunate su vrednosti  $SAIDI_{R-i}$  i  $\Delta W_{R-i}$  za slučaj ugradnje rasklopne opreme sa leve (*l*) i desne (*d*) strane svakog čvora. Najpovoljniji rezultati su:

Čvor <i>i</i>	Klasični rastavljač	Daljinski upravljivi rastavljač	Čvor <i>i</i>	Klasični rastavljač	Daljinski upravljivi rastavljač
2- <i>d</i>	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $SAIDI_{R-i}$		3- <i>d</i>	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $\Delta W_{R-i}$	
$SAIDI_{R-2}$	1,10972	0,564953	$\Delta W_{R-3}$	2003,16	1880,59

**1-2) Ugradnja drugog rasklopnog elementa**

Mesto ugradnje drugog rasklopnog elementa određeno je primenom izraza (6) i (7). Najpovoljniji rezultati su:

Čvor <i>i</i> Čvor <i>j</i>	Klasični rastavljači	Daljinski upravljivi rastavljači	Čvor <i>i</i> Čvor <i>j</i>	Klasični rastavljači	Daljinski upravljivi rastavljači
2- <i>d</i> 10- <i>d</i>	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $SAIDI_{R-i-j}$		3- <i>d</i> 9- <i>d</i>	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $\Delta W_{R-i-j}$	
$SAIDI_{R-2-10}$	0,7286	0,07800	$\Delta W_{R-3-9}$	1808,50	1631,86

**1-3) Ugradnja trećeg rasklopnog elementa nije opravdana, jer su poboljšanja zanemarljiva.**

**2) Izvod na sl.3 ima mogućnost dvostranog napajanja u čvoru br.14 (C = 14)**

**2-0) Ako duž izvoda nema ugrađene rasklopne opreme, početne vrednosti pojedinih veličina su:**

$$SAIDI_{C-0} = 2,70421 \text{ h/god} \quad , \quad \Delta W_{C-0} = 2152,55 \text{ kWh/god} \cdot$$

**2-1) Ugradnja prvog rasklopnog elementa**

Primenom izraza (12) i (13) izračunate su vrednosti  $SAIDI_{C-i}$  i  $\Delta W_{C-i}$  za slučaj ugradnje rasklopne opreme sa leve ( $l$ ) i desne ( $d$ ) strane svakog čvora. Najpovoljniji rezultati su:

Čvor $i$	Klasični rastavljač	Daljinski upravljivi rastavljač	Čvor $i$	Klasični rastavljač	Daljinski upravljivi rastavljač
7- $l$	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $SAIDI_{C-i}$		7- $l$	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $\Delta W_{C-i}$	
$SAIDI_{C-7}$	1,68705	1,51061	$\Delta W_{C-3}$	1336,29	1200,07

### 2-2) Ugradnja drugog rasklopnog elementa

Mesto ugradnje drugog rasklopnog elementa određeno je pod pretpostavkom da je ugrađen prvi element u tački 7- $l$ . Najpovoljniji rezultati su:

Čvor $i$ Čvor $j$	Klasični rastavljači	Daljinski upravljivi rastavljači	Čvor $i$ Čvor $j$	Klasični rastavljači	Daljinski upravljivi rastavljači
7- $l$ 11- $l$	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $SAIDI_{C-i-j}$		7- $l$ 11- $l$	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $\Delta W_{C-i-j}$	
$SAIDI_{C-7-11}$	0,778065	0,53076	$\Delta W_{C-7-11}$	1115,70	930,864

**2-3) Ugradnja trećeg rasklopnog elementa nije opravdana, jer su poboljšanja zanemarljiva.**

### 3) Izvod na sl.3 ima mogućnost rezervnog napajanja prema šemi na sl.2-a

**3-0)** Tačka CC se nalazi levo od čvora br.7, bez obzira da li se minimizira vrednost pokazatelja  $SAIDI$  ili neisporučene električne energije. Za slučaj bez ugrađene rasklopne opreme duž izvoda i ako su sa obe strane tačke CC daljinski upravljivi rastavljači rezultati su:

$$SAIDI_{CC-7} = 1,3795, \quad \Delta W_{CC-7} = 1106,08 \text{ kWh} .$$

### 3-1) Ugradnja prvog rasklopnog elementa

Najpovoljniji rezultati se imaju ako se rasklopni element ugradi sa leve strane čvora br.4:

Čvor $i$	Klasični rastavljač	Daljinski upravljivi rastavljač	Čvor $i$	Klasični rastavljač	Daljinski upravljivi rastavljač
4-I	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $SAIDI_{CC-i}$		4-I	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $\Delta W_{CC-i}$	
$SAIDI_{CC-4}$	1,14109	1,03696	$\Delta W_{CC-4}$	892,07	804,849

### 3-2) Ugradnja drugog rasklopnog elementa

Ako je tačka CC levo od čvora br.7 i ako je rasklopni element ugrađen levo od čvora br.4 dalje poboljšanje se postiže ugradnjom rasklopnog elementa levo od čvora br.11:

Čvor $i$ Čvor $j$	Klasični rastavljači	Daljinski upravljivi rastavljači	Čvor $i$ Čvor $j$	Klasični rastavljači	Daljinski upravljivi rastavljači
4-I 11-I	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $SAIDI_{CC-i-j}$		4-I 11-I	Kriterijum određivanja mesta: minimalna vrednost $\Delta W_{CC-i-j}$	
$SAIDI_{CC-4-11}$	0,979395	0,740455	$\Delta W_{CC-4-11}$	797,97	620,082

## 4. Zaključak

U radu je prikazan praktičan postupak određivanja najpovoljnijih lokacija rasklopne opreme za različite konfiguracije SN izvoda, prema dva kriterijuma: jedan je minimizacija pokazatelja  $SAIDI$ , a drugi- minimizacija neisporučene električne energije potrošačima. Pokazano je da se lokacije ugrađene opreme, u nekim slučajevima, mogu razlikovati, zavisno od postavljenog kriterijuma, što je posledica nejednake gustine opterećenja i broja potrošača duž izvoda. Za slučaj radijalnog napajanja potrošača na sl.3, upotrebom daljinski upravljivih rastavljača može se ostvariti kratko **prosečno** trajanje prekida napajanja ( $0,078 \cdot 60 \text{ min} = 4,68 \text{ min}$ ), ali je vrednost očekivane neisporučene električne energije relativno visoka ( $1631,86 \text{ kWh}$ ). Ako je omogućeno rezervno napajanje prema šemi na sl.2-a količina neisporučene električne energije se smanjuje za oko  $700 \text{ kWh}$  godišnje, a ako je rezervno napajanje omogućeno prema šemi na sl.2-b- za  $1011 \text{ kWh}$  godišnje.

## Literatura

- [1] J.Nahman, M.Tanaskovic, „Probability Models for Optimal Sparing of Distribution Network Transformers“, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 24, Issue 2, april 2009.
- [2] V.Mijailovic, „Optimal spares availability strategy for power transformer components“, *EPSR*, Vol.80 (2010), pp. 987-992
- [3] IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, (IEEE Std 1366, 2001.)
- [4] R. Billinton and J.R. Acharya, „Weather-based distribution system reliability evaluation“, *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.* Vol. 153, No. 5, September 2006.
- [5] R. Allan, R.Billinton, „Probabilistic Assessment of Power Systems“ *Proceedings of the IEEE*, Vol. 88, No. 2, February 2000.
- [6] Kai Zou, W. W. L. Keerthipala and S. Perera, „SAIDI minimization of a remote distribution feeder“, *AUPEC 2007*, Perth, Western Australia, 9-12 December, 2007.
- [7] „The Application of Reclosers on Future Distribution Systems“, ABB paper, Jan. 1999.

**Abstract:** This paper presents a comparative analysis of some measures that can improve the reliability of medium-voltage (MV) distribution feeder. Strictly speaking, the impact of certain types of switching equipment installed on the feeder and possibilities of backup supply from the adjacent feeders were analyzed. For each analyzed case, equations for the calculation of System Average Interruption Duration Index and energy not delivered to the customers are given. The effects of certain measures are calculated for one real MV-feeder for radial supply to customers and in cases of possible backup supply to the customers. Installation locations of certain types of switching equipment for the given concept of energy supply are determined according to the criterion of minimum value of System Average Interruption Duration Index and according to the criterion of minimum value of energy not delivered to the customers

**Keywords:** Switching equipment, Distribution network, Customers

# **Optimal Placement of Switching Equipment in Reconfigurable Distribution Systems**

Rad primljen u uredništvo 12.09..2011. godine  
Rad prihvaćen 3.10.2011. godine