

Primer optimizacije obratovanja distribucijskega omrežja s prevezavami, obratovanjem v zanki in generiranjem jalove moči

MATEJ PINTARIČ, MIRAN ROŠER & GORAZD ŠTUMBERGER

Povzetek Članek obravnava problematiko povečevanja priključene moči odjema v omrežju, ki že obratuje blizu mejne obremenitve. Za določitev maksimalne še sprejemljive priključne moči so v optimizacijskem postopku ukrepi prevezav, obratovanja v zanki in generacije jalove moči. Vsi so analizirani s pomočjo programa za izračun pretokov energije. Delo prikazuje rezultate izračunov pretokov energije na obstoječem razdeljevalnem omrežju. Izveden je bil izračun maksimalne moči dveh industrijskih odjemalcev, ki želita povečati odjem, na podlagi maksimalne obremenitve omrežja brez upoštevanja razpršene proizvodnje v omrežju. Izvedena je tudi analiza delovanja omrežja v zaključeni zanki pri normalni obremenitvi in obremenitvi z maksimalno močjo. Podana je rešitev problema previsokih napetosti v omrežju ob preveliki generaciji moči razpršenega vira v omrežju.

Ključne besede: • optimizacija • distribucijsko omrežje • prevezave • obratovanje v zanki • generiranje jalove moči •

NASLOV AVTORJEV: Matej Pintarič, Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija, e-pošta: matej.pintaric1@um.si. dr. Miran Rošer, Elektro Celje d.d., Vrunčeva ulica 2a, 3000 Celje, Slovenija. dr. Gorazd Štumberger, redni profesor, Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija.

<https://doi.org/10.18690/978-961-286-071-4.22>

ISBN 978-961-286-071-4

© 2017 Univerzitetna založba Univerze v Mariboru

Dostopno na: <http://press.um.si>.

Optimization of Distribution Network Operation Based on Reconnection, Closed-Loop Operation and Reactive Power Generation – A Case Study

MATEJ PINTARIČ, MIRAN ROŠER & GORAZD ŠTUMBERGER

Abstract The paper deals with problems of increasing the load in the distribution network that already operates near the limit load. Optimization procedure with reconnections, operation in loop and reactive power generation is being used to determinate maximal acceptable load. All analyses are made with program for load flow calculations. This paper shows results of the load flow calculations on the existing distribution network. Maximal power of two industrial consumers, which want to increase their power, was calculated based on the maximal load of the network without considering distribution generation. Operation of network in loop is also analyzed at normal network load and at maximal load. Solution to problem of too high voltage in the network, because of big distribution generation, is presented.

Keywords: • optimization • distribution network • reconnection • closed-loop operation • reactive power generation •

CORRESPONDENCE ADDRESS: Matej Pintarič, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenia, e:mail: matej.pintaric1@um.si. Miran Rošer, Ph.D, Elektro Celje d.d., Vrunčeva ulica 2a, 3000 Celje, Slovenia. Gorazd Štumberger, Ph.D., Full Professor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenia.

<https://doi.org/10.18690/978-961-286-071-4.22>

ISBN 978-961-286-071-4

© 2017 University of Maribor Press

Available at: <http://press.um.si>.

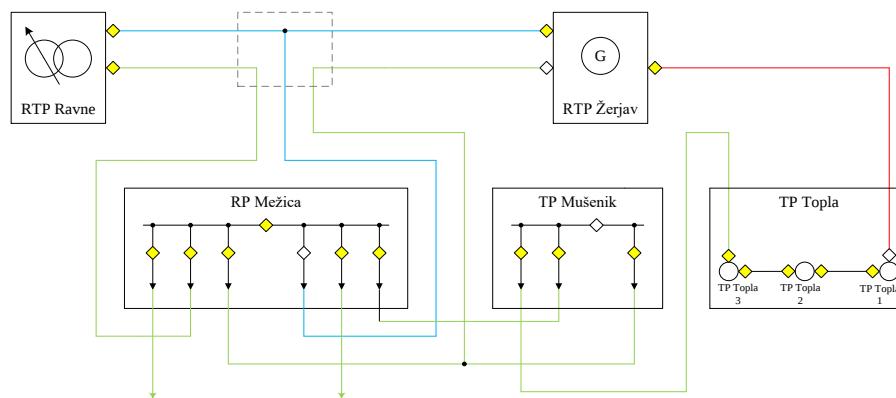
1 Uvod

Povečevanje potrebe po električni energiji povzroča širjenje električnih omrežij. Posledično je zaradi tega potrebno vedeti kako bo stanje v razširjenem omrežju, ali bodo toki vodnikov presegli dovoljeno tokovno obremenitev in ali bodo napetosti znotraj dovoljenih mej, predpisanih s standardi. Te podatke o omrežju je mogoče pridobiti z izračunom pretoka energije. Poleg povečevanja moči odjema v omrežju pa se v omrežje vključuje vedno več razpršenih proizvodnih virov. Vpliv teh virov na stanje v omrežju so podali v [1]. Za vsako spremembo je potrebno preučiti novo stanje.

Z vključevanjem razpršenih virov v razdeljevalna omrežja, pretok energije ni več potekal v eno smer [1]. Ker takega omrežja ni mogoče več obravnavati kot pasivni element, je bilo razvitih več algoritmov za izračune pretoka energije, ker obstoječi algoritmi za prenosna omrežja niso vedno konvergirali. Primer metode "Backward Forward Sweep", BFS, je podan v članku [2]. Osnovni algoritem BFS je primeren le za popolnoma radialna omrežja, za šibko zazankana omrežja je bil ta algoritem modificiran. Ta modifikacija je prikazana v [3].

2 Razdeljevalno omrežje

Obravnavano razdeljevalno omrežje obratuje na 20 kV napetostnem nivoju. Na omrežje je priključeno 57 transformacijskih postaj na katerih je več kot 2500 odjemalcev električne energije. Podrobnejši opis in model omrežja sta podana v [4]. Slika 22.1 prikazuje poenostavljeno shemo omrežja iz katere so razvidni odklopniki, ki zagotavljajo spremembo konfiguracije, ter dva večja industrijska porabnika, RTP Žerjav in TP Topla.



Slika 22.1: Poenostavljena shema razdeljevalnega omrežja

3 Problematika v razdeljevalnem omrežju

V času delovnih ur je, zaradi velikega odjema dveh industrijskih odjemalcev, omrežje na meji prenosnih zmogljivosti. Oba industrijska odjemalca imata željo do leta 2018 povečati moč odjema, zato je bilo potrebno preveriti ali je zelena obremenitev mogoča, oz. kaka je maksimalna moč, da ne prekoračimo omejitve toka in napetosti v omrežju. V RTP Žerjav je želja po povečanju moči iz 6,5 MW na 9 MW, v TP Topla pa iz 6 MW na 6,5 MW.

V omrežju se pojavljajo tudi previsoke napetosti, v času nočnih ur in remontov, zaradi velike generacije moči v RTP Žerjav.

4 Največja možna obremenitev obeh industrijskih odjemalcev

S pomočjo metode BFS [2] in diferenčne evolucije [5] smo izvedli izračun maksimalne moči v RTP Žerjav in TP Topla pri različnih maksimalnih padcih napetostni. Moči ostalih porabnikov v omrežju smo nastavili na vrednosti, ki so bile maksimalne glede na meritve iz leta 2015/16. Rezultati izračuna so podani v tabeli 22.1.

Tabela 22.1: Rezultati izračuna maksimalnih moči brez generacije moči

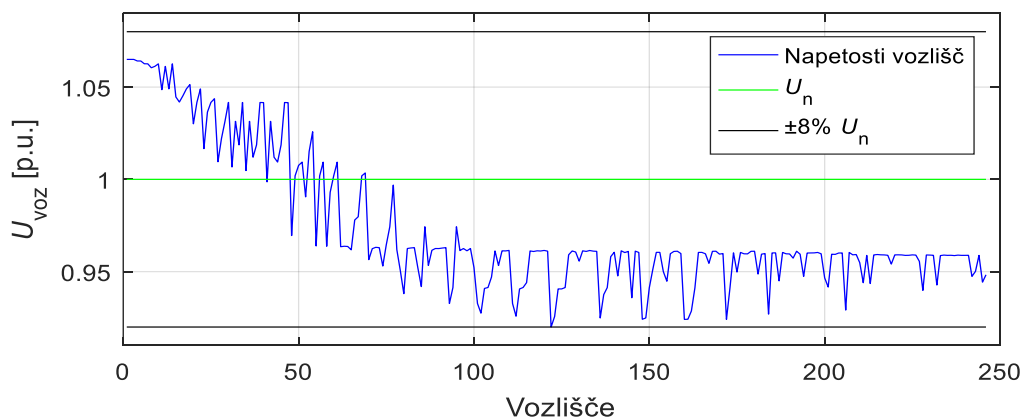
Napetostni pas	Bilančna napetost U_{bil} [kV]	Moč v RTP Žerjav $S_{Žerjav}$ [MVA]	Moč v TP Topla S_{Topla} [MVA]
±3%	20,6	/	/
±5%	21	7,46	3,56
±8%	21,3	10,57*	7,22

Napetostni pas podan v preglednici 1 je vezan na napetostni nivo omrežja 20 kV. Za ±3% sta spodnja in zgornja meja napetosti 19,4 kV in 20,6 kV medfazno. Iz rezultatov izračuna je razvidno, da izračuna pri ±3% napetostnem pasu nismo mogli izvesti, ker so padci napetosti v omrežju, brez upoštevanja RTP Žerjav in TP Topla, preveliki. Ker v RTP Žerjav obstaja neprekinjena generacija moči, smo izračun ponovili ob upoštevanju generacije moči 0,5 MVA pri različnih faktorjih delavnosti $\cos\varphi$. Rezultati so podani v tabeli 22.2. Pri scenarijih, kjer je rezultat označen z *, je bila upoštevana tokovna omejitev in ne napetostna.

Tabela 22.2: Rezultati izračuna maksimalnih moči z generacijo moči

Napetostni pas	Bilančna napetost U_{bil} [kV]	Moč v RTP Žerjav, $S_{Žerjav}$ [MVA]			
		$\cos\varphi = 0,95$	$\cos\varphi = 0,9$	$\cos\varphi = 0,8$	$\cos\varphi = 0,6$
±3%	20,6	/	/	/	/
±5%	21	7,96	7,98	8,00	7,99
±8%	21,3	11,07*	11,06*	11,05*	10,99*

Primer napetostnega profila za dobljene maksimalne vrednosti pri napetostnem pasu ±8% brez upoštevanja generacije moči je prikazan na slika 22.2. RTP žerjav je prikazan v vozlišču 124 in TP Topla v vozlišču 149. Na slika 22.2, in na vseh ostalih slikah v nadaljevanju, so prikazane napetosti vozlišč normirane na napetostni nivo omrežja 20 kV.

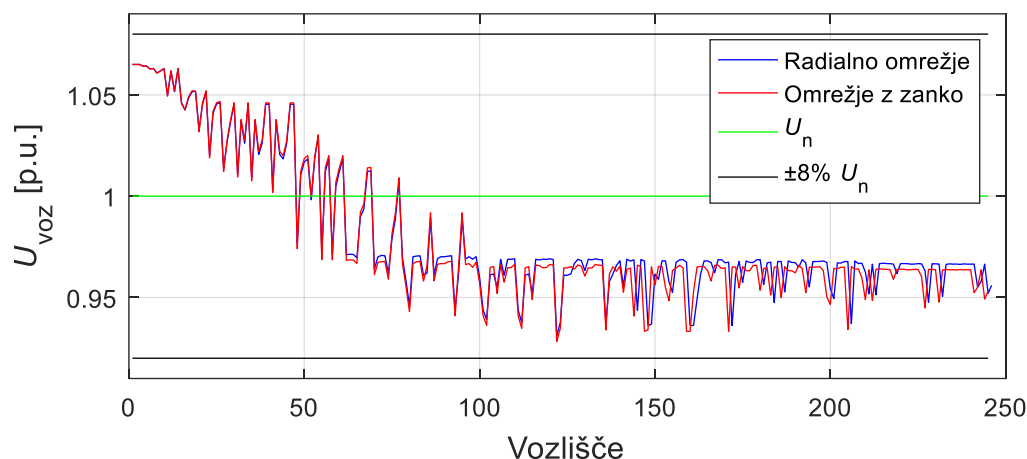


Slika 22.2: Napetostni profil omrežja pri maksimalni obremenitvi za napetostni pas ±8%

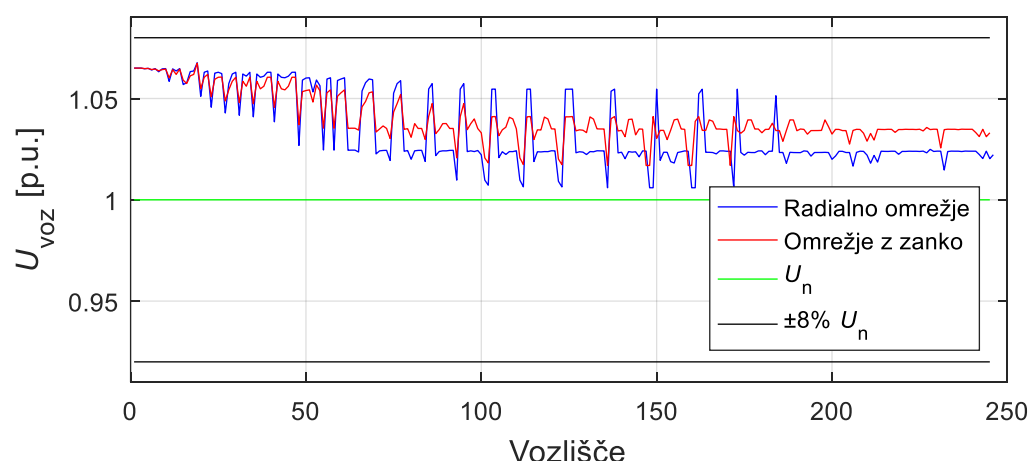
5 Obratovanje omrežja v zanki

Preverili smo ali z obratovanjem z zanko v omrežju lahko povečamo prenosne zmogljivosti. Zanka v omrežju se je zaključila preko RP Mežice in RTP Žerjav. Ta povezava je razvidna iz slika 22.1, kjer se v RTP Žerjav vklopi drugi odklopnik. Za izračun pretoka energije v omrežju z zanko smo morali uporabiti modificirani algoritem BFS [3].

Izvedli smo dva izračuna, pri maksimalni obremenitvi in normalni obremenitvi. Pri maksimalni obremenitvi smo upoštevali moč v RTP Žerjav 9 MW in v TP Topla 6,5 MW. Podatki normalne obremenitve se nahajajo v [4] in te smo izbrali za poljuben dan v aprilu, na podlagi meritev. Primerjava napetostnega profila, med obratovanjem omrežja v radialnem načinu in z zanko, je prikazana slika 22.3 in 4. Slika 22.3 prikazuje primerjavo pri maksimalni obremenitvi in slika 22.4 pri normalni obremenitvi.



Slika 22.3: Primerjava napetostnih profilov v radialnem omrežju in omrežju z zanko pri maksimalni obremenitvi



Slika 22.4: Primerjava napetostnih profilov v radialnem omrežju in omrežju z zanko pri normalni obremenitvi

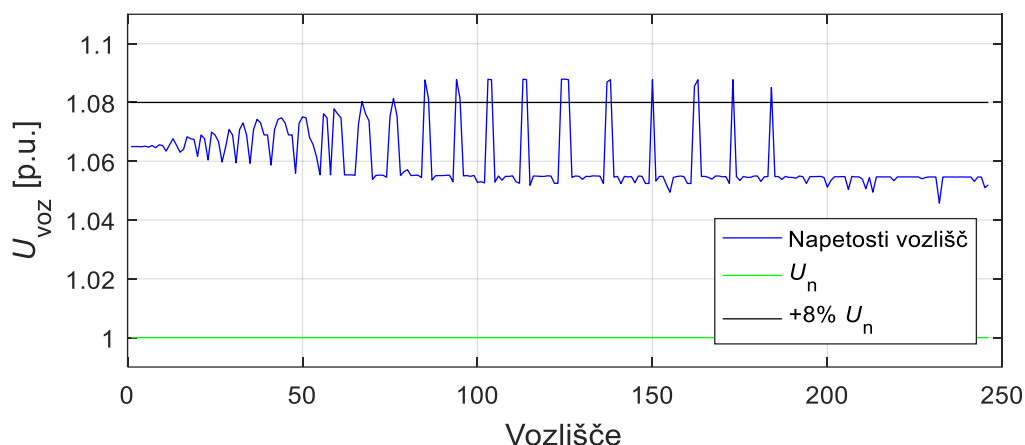
6 Previsoka napetost v omrežju

Do previsokih napetosti v omrežju pride zaradi generacije moči v RTP Žerjav, ko omrežje ni zelo obremenjeno, to je predvsem v nočnih urah in ob remontih v industriji. Problem smo reševali s spreminjanjem konfiguracije in generacijo jalove moči induktivnega značaja.

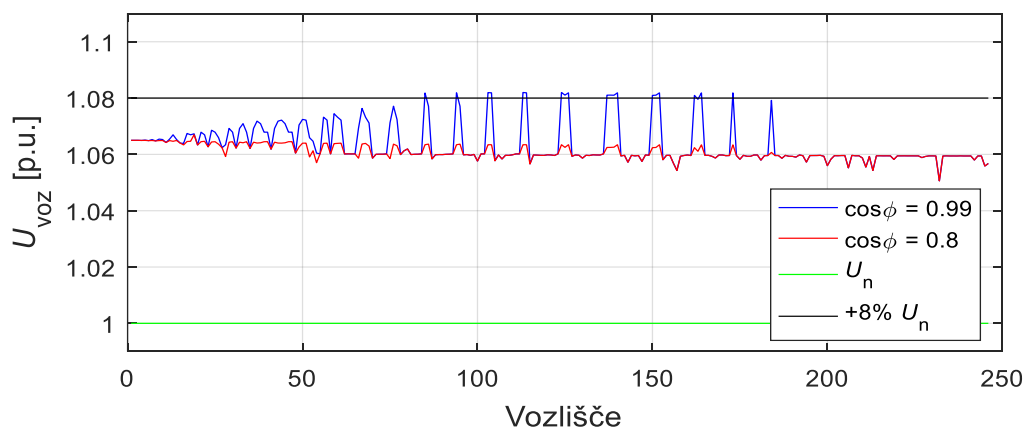
Izvedli smo izračune pretoka energije za tri spremembe konfiguracije:

- preklop TP Topla iz TP Mušenik na RTP Žerjav
- preklop RTP Žerjav iz RTP Ravne na RP Mežica,
- preklop RTP Žerjav iz RTP Ravne na TP Topla.

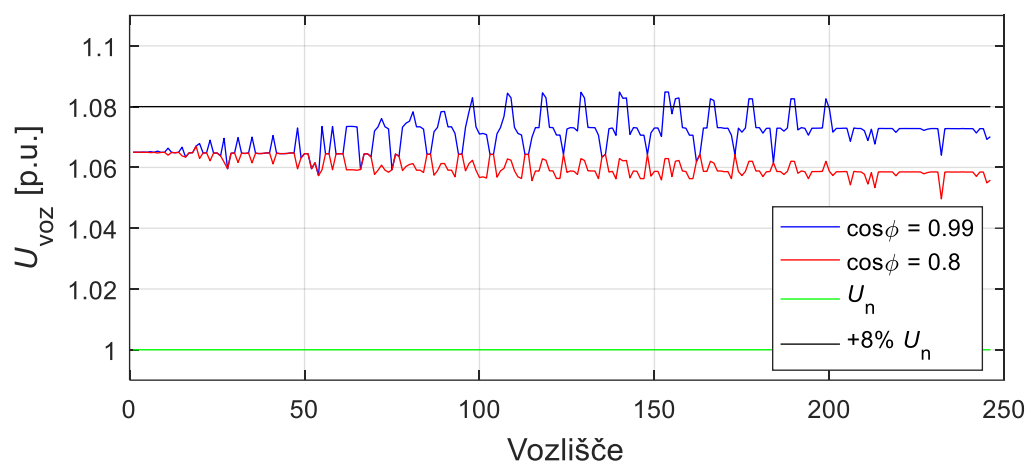
Največje povečanje napetosti v omrežju je nastopilo v času remonta industrije, ko je bila generacija moči v RTP Žerjav 3660 kVA. Podatki ostalih obremenitev so podani v [4]. Slika 22.5 prikazuje napetostni profil omrežja v tem trenutku. Slika 22.6 – 8 prikazuje napetostne profile ob različnih spremembah konfiguracije omrežja, pri faktorju delavnosti, $\cos\phi$, 0,99 in 0,8. Z vsemi tremi rešitvami smo prišli do podobnih rezultatov glede napetosti, razlike se pojavijo v prenosnih izgubah, ki so podane v tabeli 22.3. Z zmanjšanjem faktorja delavnosti v omrežje vsilimo več jalovega toka, kar posledično pomeni večje padce napetosti in izgube.



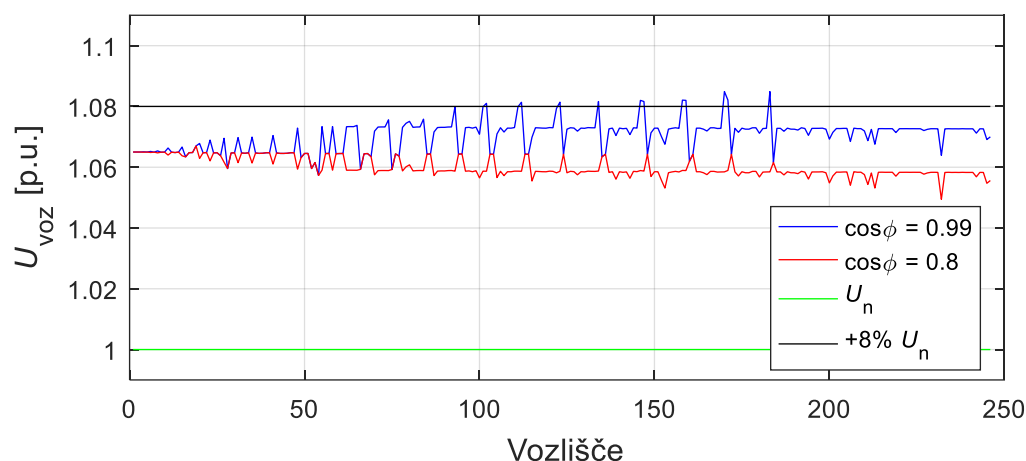
Slika 22.5: Napetostni profil omrežja ob maksimalni generaciji moči v RTP Žerjav



Slika 22.6: Napetostni profil omrežja ob spremembi konfiguracije a)



Slika 22.7: Napetostni profil omrežja ob spremembi konfiguracije b)



Slika 22.8: Napetostni profil ob spremembi konfiguracije c)

Tabela 22.3: Prenosne izgube v omrežju ob različnih spremembah konfiguracije

Konfiguracija	Prenosne izgube P_{izg} [kW]	
	$\cos\phi = 0,99$	$\cos\phi = 0,8$
a)	76,1	92,2
b)	83,5	105,5
c)	86,8	114,7

7 Sklep

V članku so podani rezultati izračunov pretoka energije na obstoječem omrežju z metodo BFS in modificirano metodo BFS za omrežja z zanko. Uporabljen je bil enofazni simetrični model omrežja. Z izračuni smo preverili trenutno stanje v omrežju, možnost povečanja obremenitve v omrežju, delovanja omrežja z zanko in stanje v omrežju ob povečani generaciji razpršenih virov.

Iz izračunov maksimalnih moči v omrežju je vidno, da je želena moč obeh industrijskih odjemalcev možna, ampak pri večjem, kot je dovoljen, padcu napetosti. Skozi vodnike, bi v

takem primeru tekel tudi tok, ki je blizu nazivnega toka vodnika. Problem, bi lahko v nadaljevanju reševali s spreminjanem odcefov na transformatorjih za nizko napetost.

Obratovanje omrežja z zanko je boljše kot brez zanke, ampak le v primeru ko omrežje ni na meji prenosnih zmogljivosti. Takrat se stanje v omrežju bistveno ne spremeni.

Previsoko napetost v omrežju je bila odpravljena s pomočjo spremembe konfiguracije in generacijo jalove moči induktivnega značaja. Podane so bile tri rešitve, ki podajajo podobne rezultate, razlike se pojavljajo predvsem v prenosnih izgubah in mestih preklopa. S stališča manjših prenosnih izgub je rekonfiguracija a) najustreznejša, vendar moramo pri tem upoštevati, da izbrani faktorji delavnosti razpršenega vira niso bili optimizirani za minimalne izgube pri odpravljeni previsoki napetosti. Najenostavnejše preklope nam zagotavlja rekonfiguracija b), kjer sta oba odklopnika na istih zbiralkah.

Viri, literatura

- [1] CIGRE "Impact of increasing contribution of dispersed generation on the power system," Working Group 37.23, 1999.
- [2] Chang G. W., Chu S. Y., Wang H. L. "An Improved backward/Forward Sweep Load Flow Algorithm for Radial Distribution Systems," IEEE Transactions on Power Systems, 22, 2007, str. 882 – 884.
- [3] Wu, W. C., Zhang B. M. "A three-phase power flow algorithm for distribution system power flow based on loop-analysis method," Electrical Power and Energy Systems, 30, 2008, str. 8-15.
- [4] Pintarič, M. "Optimizacija obratovanja razdeljevalnega omrežja s spreminjanjem konfiguracije in generiranjem jalove moči," Magistrsko delo, DKUM, 2016
- [5] Rocca P., Oliveri G., Massa A. "Differential Evolution as Applied to Electromagnetics," IEEE Antennas and Propagation Magazine, 53, 2011, str. 38 – 49.