

Damir Jakus
FESB
damir.jakus@fesb.hr

Petar Sarajčev
FESB
Petar.Sarajcev@fesb.hr

Rade Čađenović
FESB
rcadie00@fesb.hr

Josip Vasilj
FESB
Josip.Vasilj@fesb.hr

OPTIMALNA REKONFIGURACIJA DISTRIBUCIJSKIH MREŽA BAZIRANA NA MJEŠOVITOM CJELOBROJNOM PROGRAMIRANJU UZ APROKSIMACIJU STOŠCEM DRUGOG REDA

SAŽETAK

Iako je većina SN 10(20) kV distribucijskih mreža (DM) u pogonu s radijalnom strukturom, u većini mreža postoje dodatni elementi koji formiraju petlje i koji se iz istog razloga drže isključenim. Ovo znači da u načelu za realne DM postoji više načina napajanja TS 10(20)/0.4 kV odnosno više alternativnih topologija mreže. Problem optimalne rekonfiguracije DM odnosi se upravo na pronalaženje optimalne topologije koja na najbolji način ispunjava postavljenu funkciju cilja. Funkcije cilja koje se uobičajeno razmatraju u spomenutom problemu, uglavnom se odnose na minimizaciju ukupnih gubitaka u DM, ujednačavanje naponskih profila duž SN izvoda, ujednačavanje opterećenja po izvodima ili kombinaciju spomenutih kriterija. Pri tom se vodi računa da se zadrži radijalna struktura napajanja mreže te da se zadovolje različita fizikalna i pogonska ograničenja u mreži. S obzirom na broj mogućih topologija, u većini realnih prstenasto-linijskih distribucijskih mreža jednostavno nije moguće ispitati cjelokupan prostor rješenja te odabrati optimalnu topologiju.

U ovom radu dana je matematička formulacija za rješavanje problema određivanja optimalne topologije DM bazirana na mješovitom cjelobrojnom programiranju uz aproksimaciju ograničenja stošcem drugog reda. Mogućnost primjene opisanog matematičkog modela te unaprjeđenja pogonskih stanja koja se ostvaruju njegovom primjenom prikazana je na realnoj distribucijskoj mreži HEP-ODS-a.

Ključne riječi: matematičko programiranje, optimalna rekonfiguracija, distribucijske mreže, minimizacija gubitaka,

OPTIMAL RECONFIGURATION OF DISTRIBUTION NETWORKS USING MIXED INTEGER SECOND ORDER CONE PROGRAMMING

SUMMARY

Large number of middle voltage 10 (20 kV) distribution networks (DN) have radial topology. In most cases, elements (circuit breakers, power breakers etc.) which are forming loops are kept opened. It means, real DN have more supply lines for substations 10 (20)/0.4 kV. It leads to the conclusion that real DN are reconfigurable. Optimal DN reconfiguration problem represents the process of finding optimal topology which fulfils the given objective function in best manner. In most cases goal is to provide minimum network active power losses, optimal balance element across whole part of DN while fulfilling all radial and physical constraints. In practice, number of possible topologies is too large and search can be time impractical.

This paper presents mathematical formulation of problem solving and determining optimal network topology based on mixed integer second order cone programming. Possibility of model implementation and improvement of system operating conditions is demonstrated on real distribution network owned by HEP DSO.

Key words: mathematical programming, optimal reconfiguration, distribution networks, loss minimization,

1. UVOD

Općenito se DM grade kao upetljane mreže u svom većem ili manjem dijelu, međutim zbog velike kompleksnosti i lakšeg upravljanja se održavaju u radijalnom pogonu. DM su podijeljene u podsustave radijalnih mreža, koje sadrže otvorene i zatvorene sklopke u normalnom režimu rada. Mogućnost topološke promjene omogućava se ugradnjom sklopne opreme na unaprijed određena mjesta u mreži. Sklopnu opremu kojom se može mijenjati topologija DM čine prekidači, rastavljači i sekcijski rastavljači kojima se može lokalno ili daljinski upravljati u cilju postizanja optimalne topologije.

Rekonfiguracija DM podrazumijeva modifikaciju topologije DM kroz zatvaranje sklopki kojima se formira veza između dviju sabirnica u mreži uz istovremeno otvaranje drugih sklopki u mreži čime se osigurava radijalan pogon mreže odnosno sprečava formiranje petlji unutar same mreže. Topološke promjene DM provode se radi poboljšanja performansi mreže, odnosno ostvarivanja minimalnih operativnih troškova mreže, što podrazumijeva minimiziranje gubitaka u mreži, balansiranje opterećenja ili ujednačavanje naponskih prilika u mreži. Prilikom određivanja optimalne topologije DM razmatraju se i druga pogonska ograničenja poput održavanja naponskog profila u dozvoljenim granicama, sprječavanja preopterećenja vodova i transformatora, dozvoljeni broj sklopkih operacija i sl.. Kako svi rastavljači u DM predstavljaju potencijalna mjesta koja mogu biti uključena/isključena u procesu rekonfiguracije DM, u realnim DM postoji široki spektar topoloških rješenja koja zadovoljavaju pogonska ograničenja te poboljšavaju funkciju cilja u većoj ili manjoj mjeri u odnosu na postojeće stanje. Problem rekonfiguracije DM prvi put se spominje u [1], gdje autori predstavljaju metodu za određivanje optimalne topologije mreže koja rezultira minimalnim gubicima snage u mreži.

Prema teoriji grafova, DM se mogu predstaviti kao jedan graf $G(N, B)$ gdje N predstavlja broj čvorova grafa, a B broj grana grafa koje povezuju čvorove grafa. Svaki čvor u DM može predstavljati generatorski čvor (pojna mreža, distribuirani izvor) ili potrošački čvor, dok grane grafa predstavljaju konekciju među čvorovima grafa koje mogu biti otvorene (sklopka zatvorena) ili zatvorene (sklopka otvorena) u normalnom pogonu. Razapinjuće stablo ustvari predstavlja graf koji sadrži $N-1$ grana grafa, pri čemu je svaki čvor sadržan u stablu. Ovakva mreža se naziva radijalna mreža, gdje se svaki čvor napaja iz točno jednog izvornog čvora. Rekonfiguracija DM se svodi na pronalazak radijalne strukture koja minimizira gubitke radne snage/energije ili neku drugu funkciju cilja, pritom ispunjavajući različita pogonska ograničenja, ograničenja vezana uz kvalitetu električne energije osiguravajući dostatne distribucijske kapacitete za pouzdano napajanje potrošača. Prema tome rekonfiguracija DM postaje problem određivanja razapinjućeg stabla (radijalne strukture) danog grafa (mreže) [2].

Kako bi se osigurala radijalna struktura DM nužno je osigurati ispunjenje dva osnovna uvjeta [3]: svi čvorovi/sabirnice su povezane i čine dio podgraфа; i podgraf mora biti povezan, pritom ne stvarajući petlje. Prvim uvjetom se osigurava da svaki čvor/sabirnica ima vezu prema referentnom čvoru/pojnoj točki mreže što je nužan uvjet za napajanje svih potrošača u sustavu. Ovim se uvjetom izbjegava izolacija određenih dijelova DM koja bi rezultirala ne isporukom energije određenom broju potrošača. Drugim uvjetom se osigurava mreža bez petlji odnosno osigurava se da podgraf bude razapinjuće stablo. Navedenim skupom ograničenja ne može se osigurati ispunjenje pogonskih uvjeta vezanih za relevantne pogonske veličine u DM – njihovo ispunjenje se osigurava zasebnim skupom ograničenja koja se uvode u optimizacijski problem.

U ovom radu dana je matematička formulacija za rješavanje problema određivanja optimalne topologije DM bazirana na mješovitom cjelobrojnom programiranju uz aproksimaciju ograničenja stošcem drugog reda. Mogućnosti primjene predstavljene matematičke formulacije prikazane su na realnoj distribucijskoj mreži HEP – ODS-a.

2. OPTIMALNA REKONFIGURACIJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE

2.1. Matematički model

Za upetljanu mrežu s jednom ili više pojnih točaka te ostalim sabirnicama na koje može biti priključena distribuirana proizvodnja (DP) ili potrošači želimo odrediti radijalnu topologiju koja omogućava napajanje potrošača i plasman energije iz DP uz minimalne gubitke u mreži. Pretpostavlja se da se sve grane mreže mogu (ili ne moraju) mijenjati svoj status odnosno sudjelovati u rekonfiguraciji mreže. Ukupni gubici radne snage u DM mogu se dobiti kao razlika ukupno proizvedene/preuzete radne snage i ukupne snage koja je predana krajnjim potrošačima. Isti iznos se dobiva sumiranjem neto injektirane snage po svim čvorištima mreže. Problem optimalne rekonfiguracije DM u svrhu minimizacije gubitaka radne snage može biti definiran kao [4]:

$$\text{minimiziraj } \sum_{i \in B^F} p_i^F \quad (1)$$

Pri tom vodeći računa o:

1. Bilanci toka radne snage u mreži;

$$\sum_{j:(i,j) \in W} p_{ij} + \sum_{j:(j,i) \in W} p_{ji} - \sum_{j:(i,j) \in W} r_{ij} \frac{p_{ij}^2 + q_{ij}^2}{v_i^2} - \sum_{j:(i,j) \in W} r_{ij} \frac{p_{ji}^2 + q_{ji}^2}{v_j^2} = p_i^F, \quad i \in B$$

$$0 \leq p_{ij} \leq Mz_{ij}$$

$$0 \leq p_{ji} \leq Mz_{ji}$$
(2)

2. bilanci toka jalove snage u mreži;

$$\sum_{j:(i,j) \in W} q_{ij} + \sum_{j:(j,i) \in W} q_{ji} - \sum_{j:(i,j) \in W} x_{ij} \frac{p_{ij}^2 + q_{ij}^2}{v_i^2} - \sum_{j:(i,j) \in W} x_{ij} \frac{p_{ji}^2 + q_{ji}^2}{v_j^2} = q_i^F, \quad i \in B$$

$$0 \leq q_{ij} \leq Mz_{ij}$$

$$0 \leq q_{ji} \leq Mz_{ji}$$
(3)

3. naponska ograničenja:

$$v_i^2 = v_j^2 - 2(r_{ij}p_{ji} + x_{ij}q_{ji}) + (r_{ij}^2 + x_{ij}^2) \frac{p_{ji}^2 + q_{ji}^2}{v_j^2} \quad i, j \in B \setminus B^F$$

$$v_j^2 = v_i^2 - 2(r_{ij}p_{ij} + x_{ij}q_{ij}) + (r_{ij}^2 + x_{ij}^2) \frac{p_{ij}^2 + q_{ij}^2}{v_i^2}$$
(4)

4. osiguranja radijalnog napajanja;

$$z_{ij} \geq 0, \quad z_{ji} \geq 0$$

$$z_{if} = 0, \quad f \in B^F$$

$$z_{ij} + z_{ji} = 1, \quad (i, j) \in W \setminus W^S$$

$$z_{ij} + z_{ji} = y_{ij}, \quad (i, j) \in W^S$$

$$\sum_{j:(i,j) \in W} z_{ji} + \sum_{j:(j,i) \in W} z_{ij} = 1, \quad i \in B \setminus B^F$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad (i, j) \in W^S$$
(5)

gdje su:

- B - skup svih čvorova,
- B^F - skup pojmih točaka u mreži,
- W - skup svih vodova,
- W^S - skup svih vodova koji sudjeluju u procesu rekonfiguracije,
- p_i^F / q_i^F - neto injekcija radne/jalove snage u čvoru i ,
- p_{ij} - tok radne snage od čvora i ka čvoru j ,
- q_{ij} - tok jalove snage od čvora i ka čvoru j ,
- M - dovoljno veliki broj,
- z_{ij} - indikator smjera toka snage od čvora i ka čvoru j ,
- y_{ij} - definira status grane između čvorova i i j ,

- r_{ij} – radni otpor grane između čvorova i i j ,
- x_{ij} – reaktancija grane između čvorova i i j .

Skup relacija (5) ukazuje da grana između čvorova i i j pripada razapinjućem stablu ako je tok snage usmjeren od čvora i ka drugom čvoru j ($z_{ij} = 1$) ili ako je tok snage od čvora j ka čvoru i ($z_{ji} = 1$). Također, jednačba (5) definira da za svaki čvor u mreži postoji samo jedan njemu nadređeni čvor. Ovo vrijedi za sve čvorove u mreži osim za pojne čvorove. Varijabla z_{ij} je definirana kao kontinuirana varijabla s vrijednostima većim ili jednakim od 0. Varijabla y_{ij} označava status grane između čvorova i i j i definirana je kao binarna varijabla s vrijednostima 0 (ukoliko grana nije u pogonu) i 1 (ukoliko je grana u pogonu).

Reformulacija problema rekonfiguracije DM može pojednostaviti postupak njegova rješavanja te ubrzati postupak pronalaska optimalnog rješenja. Relaksacija originalnog problema može se osigurati aproksimacijom određenih ograničenja stošcem drugog reda. Ovo dodatno zahtjeva supstituciju određenih izraza odnosno definiranje novih varijabli:

$$\begin{aligned} L_{ij} &= \frac{p_{ij}^2 + q_{ij}^2}{v_i^2} \\ L_{ji} &= \frac{p_{ji}^2 + q_{ji}^2}{v_j^2} \\ v_i^2 &= u_i \end{aligned} \quad (5)$$

Relaksacija ograničenja aproksimacijom stošcem drugog reda:

$$\begin{aligned} L_{ij} = \frac{p_{ij}^2 + q_{ij}^2}{v_i^2 = u_i} \Rightarrow L_{ij} \geq \frac{p_{ij}^2 + q_{ij}^2}{v_i^2 = u_i} \Rightarrow \left\| \begin{matrix} 2p_{ij} \\ 2q_{ij} \\ L_{ij} - u_i \end{matrix} \right\|_2 \leq L_{ij} + u_i \Rightarrow p_{ij}^2 + q_{ij}^2 \leq L_{ij}u_i \\ L_{ji} = \frac{p_{ji}^2 + q_{ji}^2}{v_j^2 = u_j} \Rightarrow L_{ji} \geq \frac{p_{ji}^2 + q_{ji}^2}{v_j^2 = u_j} \Rightarrow \left\| \begin{matrix} 2p_{ji} \\ 2q_{ji} \\ L_{ji} - u_j \end{matrix} \right\|_2 \leq L_{ji} + u_j \Rightarrow p_{ji}^2 + q_{ji}^2 \leq L_{ji}u_j \end{aligned} \quad (6)$$

Uvođenjem novih varijabli, mijenjaju se izrazi za bilancu radne/jalove snage po čvorovima:

$$\begin{aligned} p_i^L &= \sum_{j:(i,j) \in W} [p_{ji} - p_{ij} - r_{ij}L_{ji}] + \sum_{j:(j,i) \in W} [p_{ij} - p_{ji} - r_{ij}L_{ij}] \\ q_i^L &= \sum_{j:(i,j) \in W} [q_{ji} - q_{ij} - x_{ij}L_{ji}] + \sum_{j:(j,i) \in W} [q_{ij} - q_{ji} - x_{ij}L_{ij}] \end{aligned} \quad (7)$$

$$0 \leq L_{ij} \leq Mz_{ij}$$

$$0 \leq L_{ji} \leq Mz_{ji}$$

Uvođenjem novih varijabli, naponska ograničenja redefinišu se na sljedeći način:

$$\begin{aligned} u_i - u_j &\leq (1 - z_{ij})M + 2(r_{ij}p_{ij} + x_{ij}q_{ij}) - (r_{ij}^2 + x_{ij}^2)L_{ij} \\ u_j - u_i &\leq (1 - z_{ji})M + 2(r_{ij}p_{ji} + x_{ij}q_{ji}) - (r_{ij}^2 + x_{ij}^2)L_{ji} \\ u_i - u_j &\geq -(1 - z_{ij})M + 2(r_{ij}p_{ij} + x_{ij}q_{ij}) - (r_{ij}^2 + x_{ij}^2)L_{ij} \\ u_j - u_i &\geq -(1 - z_{ji})M + 2(r_{ij}p_{ji} + x_{ij}q_{ji}) - (r_{ij}^2 + x_{ij}^2)L_{ji} \end{aligned} \quad (8)$$

$$u_i = (v_i^{set})^2 \quad \forall i \in B^F$$

$$(v_i^{MIN})^2 \leq u_i \leq (v_i^{MAX})^2 \quad \forall i \in B \setminus B^F$$

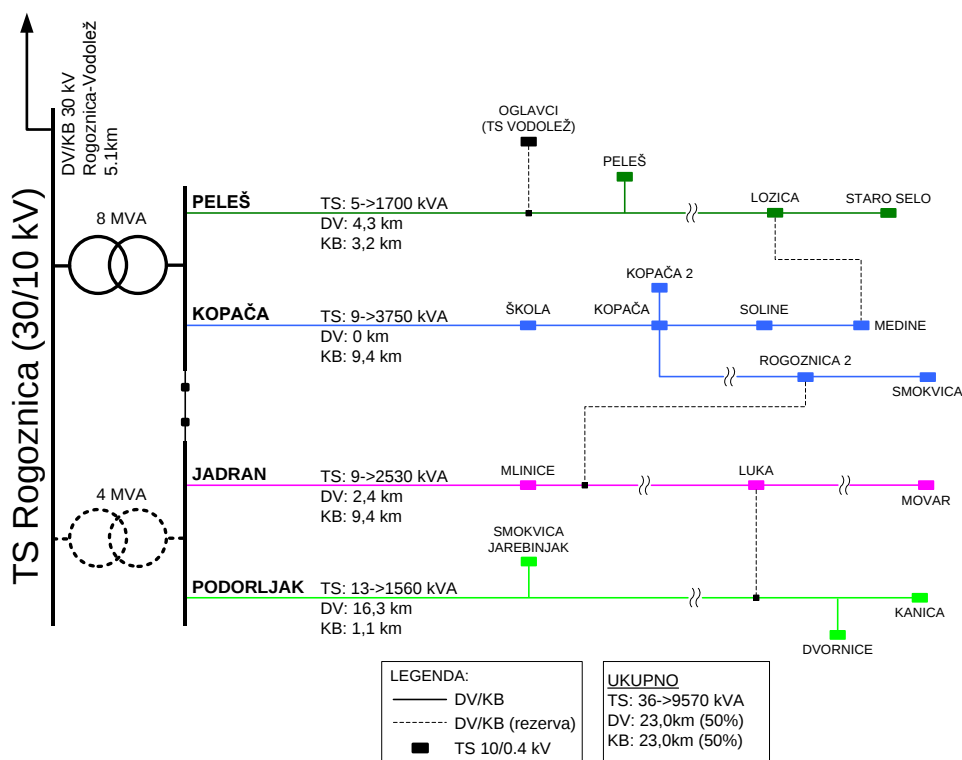
gdje su:

- v_i^2 – kvadrat napona u čvoru i ,
- v_i^{MIN}/v_i^{MAX} – minimalni/maksimalni iznos napona u čvoru i ,
- v_i^{set} – iznos napona u pojnoj točki i ,

3. PRIMJER PRORAČUNA

Prethodno opisani matematički model za utvrđivanje optimalne topologije distribucijske mreže primijenjen je na primjeru realne 10 kV distribucijske mreže napajane preko TS 30/10 kV Rogoznica. Podaci korišteni u ovoj analizi prikupljeni su prilikom izrade studije razvoja SM mreže na području Elektro Šibenik i ne odražavaju trenutno aktualno stanje mreže.

Na slici 1 shematski je prikazana mreža 10 kV napajana iz TS 30/10 kV Rogoznica, sa sumarnim podacima o instaliranoj snazi TS 10/0.4 kV i duljini dalekovoda/kabela po pojedinim izvodima. Na slici je ujedno prikazano i redovno uklopno stanje (stanje iz 2009.g.). Promatranu mrežu 10 kV karakterizira podjednak udio kabelskih i zračnih vodova (po cca. 50 %), s ukupnom duljinom vodova cca. 46 km i ukupnom instaliranom snagom TS 10/0,4 kV od 9570 kVA.



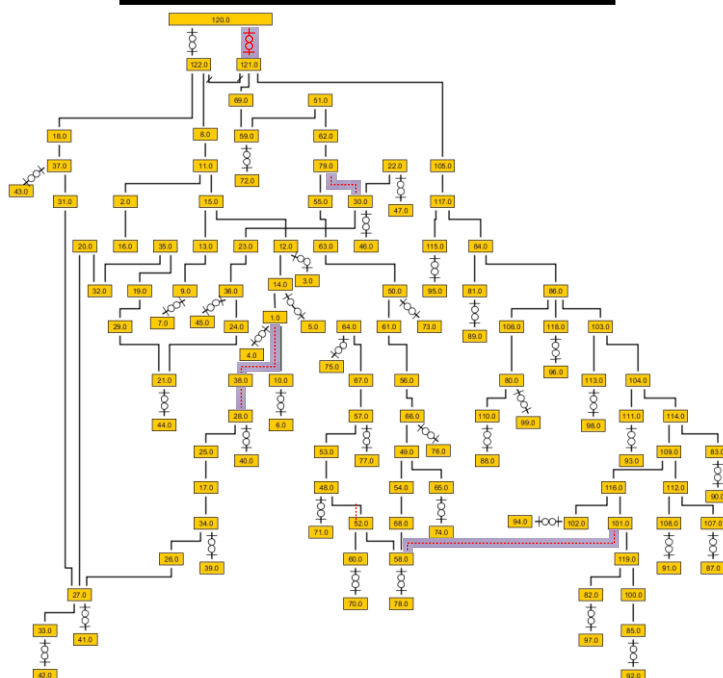
Slika 1. Mreža 10 kV napajana iz TS 30/10 kV Rogoznica, osnovni podaci i redovno uklopno stanje

Model mreže 10 kV napajane iz TS 30/10 kV Rogoznica formiran je na osnovu poznatih tehničkih parametara elektroenergetske mreže, s uklopnim stanjem koje se prakticira u redovnom pogonu mreže (slika 1), te s ukupnim opterećenjem koje približno odgovara izmjerenom za vrijeme vršnog opterećenja TS 30/10 kV Rogoznica. Osim mreže 10 kV model uključuje transformaciju 30/10 kV i 10/0.4 kV, a potrošačka čvorišta ekvivalentirana su na niskonaponskoj strani transformacije 10/0.4 kV. S obzirom da je TS Rogoznica uključena u sustav daljinskog vođenja (SDV) dostupni su satni prosjeci mjerenja napona u trafo poljima na 10 kV, te struje u pojedinim vodnim poljima.

Pojednostavljena reprezentacija mreže prilagođena ulazu u razvijeni program za optimizaciju topologije distribucijske mreže prikazana je na slici 2 gdje je naznačeno i originalno uklopno stanje mreže.

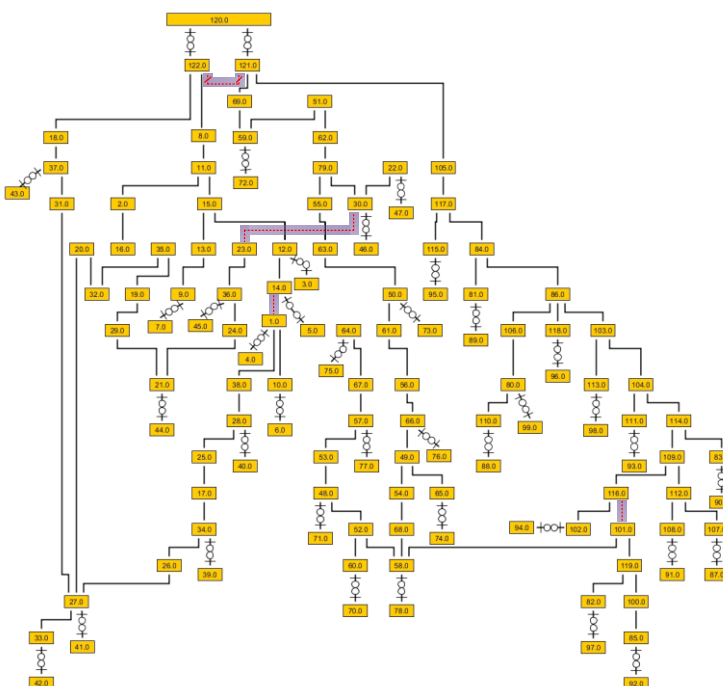
Primjenom opisanog matematičkog modela detektirana je optimalna topologija razmatrane distribucijske mreže koja rezultira minimalnim ukupnim tehničkim gubicima u mreži poštujući pritom pogonska ograničenja mreže u pogledu dozvoljenih opterećenja elementa mreže i naponskih prilika. Pojednostavljeni prikaz optimalne topologije mreže prikazan je na slici 3.

Originalno uklopno stanje mreže



Slika 2. Reprezentacija mreže 10 kV napajane iz TS 30/10 kV Rogoznica u obliku grafa - originalno uklopno stanje -

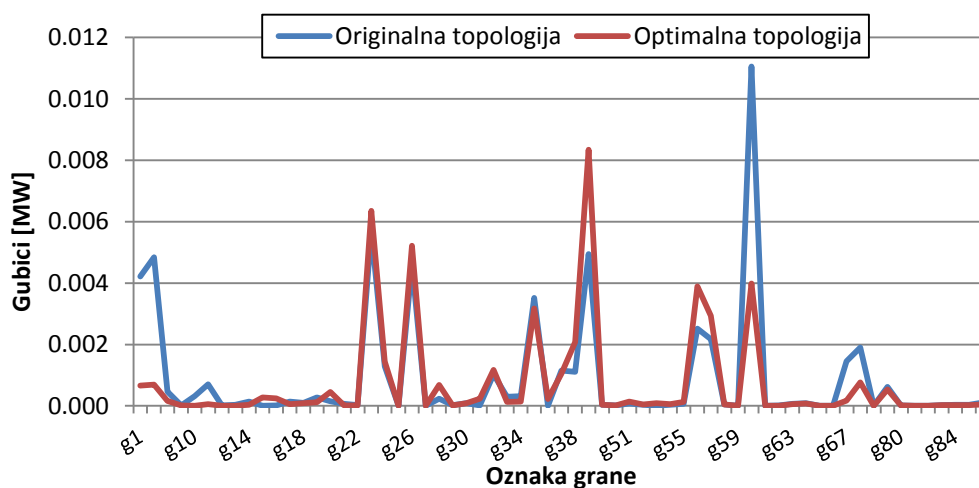
Optimalno uklopno stanje mreže



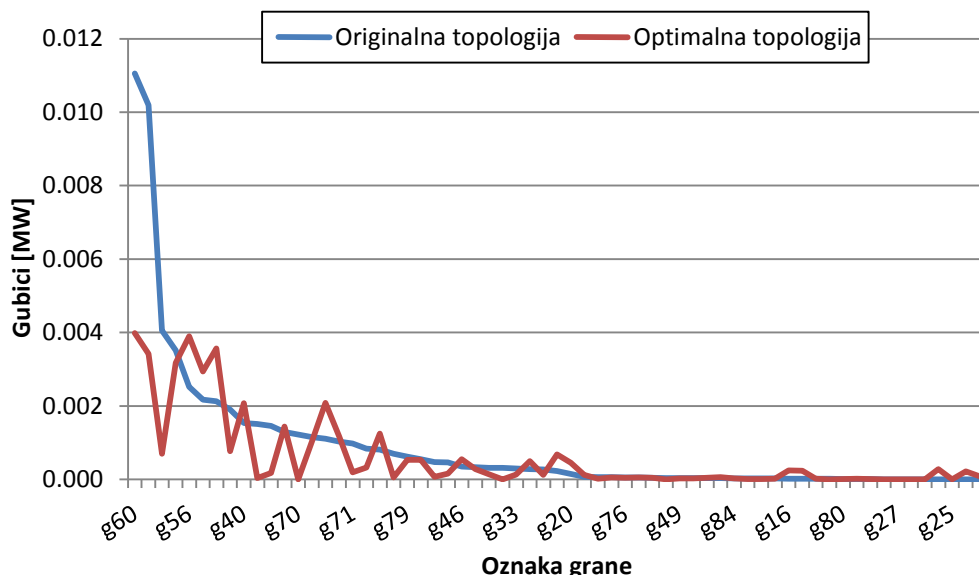
Slika 3. Reprezentacija mreže 10 kV napajane iz TS 30/10 kV Rogoznica u obliku grafa - optimalno uklopno stanje -

Na slikama 4 i 5 prikazani su gubici radne snage na 10 kV vodovima za redovno(originalno) i optimalno uklopno stanje mreže. Sa slika je vidljiva promjena iznosa gubitaka po granama pri čemu na određenim granama dolazi do smanjenja odnosno na nekim do povećanja gubitaka u odnosu na referentno redovno uklopno stanje mreže. Promjene gubitaka nastaju zbog promjene tokova snaga po granama uslijed topoloških promjena u mreži. Sa slike 5. vidljiv je pozitivni efekt primjene opisanog algoritma budući da je ukupno gledajući efekt smanjenja gubitaka na vodovima izraženiji od povećanja gubitaka na pojedinim dionicama. Primjenom opisanog algoritma dolazi do 26.35% smanjenja gubitaka u dijelu koji se odnosi na 10 kV vodove.

Na grafovima nisu prikazani gubici po transformatorima 10/0.4 kV koji su uvaženi u modelu, budući da je utjecaj topoloških promjena u 10 kV mreži beznačajan na iste. Do značajnije promjene u gubicima transformatora dolazi samo na razini pojne TS 30/10 kV, gdje dolazi do promjene uklopnog stanja transformatora u optimalnoj konfiguraciji u odnosu na redovno pogonsko stanje.

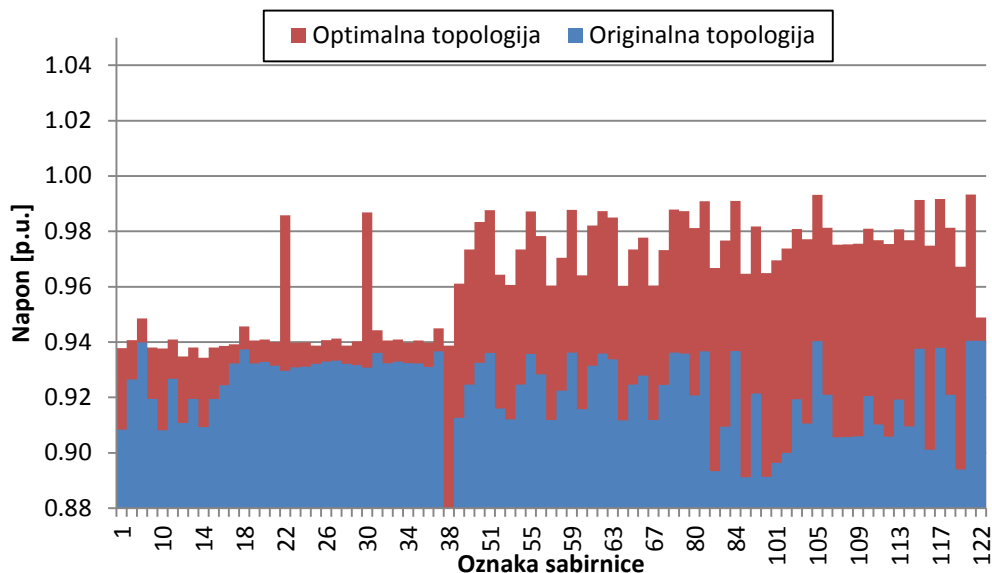


Slika 4. Gubici radne snage po 10 kV vodovima za redovno i optimalno uklopno stanje



Slika 5. Gubici radne snage po 10 kV vodovima za redovno i optimalno uklopno stanje –sortirano prema padajućem iznosu gubitaka za redovno uklopno stanje

Na slici 6 prikazan je naponski profil 10 kV mreže za redovno i optimalno uklopno stanje. Sa slike se jasno očituju loše naponske prilike u značajnom dijelu mreže. Na krajnjim trafostanicama pojedinih izvoda padovi napona su visoki i van dozvoljenih granica. Pozitivni učinci primjene opisanog matematičkog modela uz redukciju gubitaka u mreži očituju se i kroz poboljšanje naponskih prilika u mreži.



Slika 6. Naponske prilike u 10 kV mreži za redovno i optimalno uklopno stanje

4. ZAKLJUČAK

Optimalna rekonfiguracija distribucijskih mreža predstavlja problem utvrđivanja radijalne topologije distribucijske mreže kojom se postižu optimalne pogonske prilike u mreži ili kojom se osigurava ponovna uspostava napajanja dijela ili cijele mreže nakon nastupa kvara. Koordiniranim mijenjanjem položaja sklopne opreme unutar distribucijskih mreža moguće je odrediti i pogonski implementirati radijalnu topologiju distribucijske mreže koja će osigurati sigurno i kvalitetno napajanje potrošača odnosno priključak distribuiranih izvora u mreži. U procesu određivanja optimalne topologije distribucijske mreže, pored osiguranja radijalne strukture mreže mora se voditi računa i o drugim pogonskim ograničenjima (naponske prilike, opterećenje elemenata mreže, raspoloživost elementa i sl.) odnosno o osiguravanju kvalitete električne energije za krajnje korisnike mreže, što predstavlja još jedan skup uvjeta koji se moraju uvažiti u postupku određivanja optimalne topologije distribucijskih mreža.

U ovom radu dana je matematička podloga za određivanje optimalne topologije distribucijske mreže bazirana na mješovitom cjelobrojnom programiranju uz aproksimaciju stošcem drugog reda. Metoda je primijenjena na realnu distribucijsku mrežu napajanu preko TS 30/10 kV Rogoznica. Rezultati primjene opisane metode ukazuju na poboljšanja pogonskih parametara primarno kroz smanjenje gubitaka i poboljšanje naponskih prilika. Nivo poboljšanja koji je ostvariv primjenom opisane metode varira od slučaja do slučaja i ovisi o redovnom ukopnom stanju pa će u određenim mrežama pozitivni efekti biti izraženi dok će u nekim slučajevima biti manje izraženi. Osim toga nivo poboljšanja u direktnoj je vezi i sa samom strukturom mreže odnosno njenom stupnju kompleksnosti koji je direktno vezan sa fleksibilnosti mreže u pogledu mogućnosti implementacije različitih topoloških rješenja.

5. LITERATURA

- [1] „Razvoj SN mreže za razdoblje narednih 20 godina za distribucijsko područje Elektra Šibenik,“ FESB, 2010.
- [2] Jakus, Damir; Čađenović, Rade; Bogdanović, Mia; Sarajčev, Petar; Vasilj, Josip. „Distribution network reconfiguration using hybrid heuristic — genetic algorithm“, Splitech, 2017.

- [3] Jakus, Damir; Bogdanović, Mia; Čađenović, Rade; Vasilj, Josip.: „Optimalna rekonfiguracija distribucijske mreže primjenom heurističkih metoda i genetskih algoritama“, 12. simpozij o sustavu vođenja EES-a, Split, 2016.
- [4] Rade Čađenović, Jakus Damir: „Pregled metoda za optimalnu rekonfiguraciju distribucijskih mreža“, 13. savjetovanje HRO CIGRE, 2017.
- [5] Čađenović, Rade; Jakus, Damir; Sarajčev, Petar; Vasilj, Josip., „Optimal reconfiguration of distribution network using cycle-break/genetic algorithm“, PowerTech, 2017.
- [6] J.A.Taylor: “Convex Optimization of Power Systems”, Cambridge University Press, 2015