

PLANIRANJE RAZVOJA DISTRIBUTIVNIH MREŽA VELIKIH DIMENZIJA PRIMENOM REKONFIGURACIJE MREŽE I TEHNIKE IZMENE GRANA

Ž. Popović, PD Elektrovojvodina, Srbija
I. Janković, DMS Group, Srbija
V. Marijanović, DMS Group, Srbija

UVOD

Planiranje razvoja distributivnih mreža je jedna od najvažnijih aktivnosti u distributivnim kompanijama. Ono treba da obezbedi dobro organizovano i ekonomično proširenje opreme i uređaja u mreži koji će zadovoljiti buduće zahteve u pogledu potrošnje električne energije uz uvažavanje niza ograničenja (finansijskih, operativnih i sl.). Određivanje plana razvoja distributivne mreže koji obezbeđuje (ispunjava) navedene zahteve predstavlja veoma kompleksan kombinatorni optimizacioni problem. Za rešavanje tako kompleksnog problema je predložen veliki broj heurističkih i matematički zasnovanih optimizacionih modela i pristupa [1– 5]. Optimizacioni modeli, iako mogu obezbediti nalaženje globalnog optimalnog rešenja, su ograničeni na rešavanje problema manjih dimenzija. S druge strane, heuristički pristupi [6–10] ne mogu garantovati dobijanje globalnog optimuma ali mogu obezbediti nalaženje kvalitetnog plana razvoja za mreže realnih veličina.

U ovome radu je predložen novi heuristički algoritam za planiranje razvoja distributivnih mreža velikih dimenzija sa ciljem minimizacije investicionih troškova i troškova gubitaka. Predloženi algoritam je zasnovan na rekonfiguraciji distributivne mreže i tehnici izmene grana. U prvom koraku predloženog algoritma se za poznata buduća opterećenja u potrošačkim čvorovi, poznato (početno) stanje izgrađene mreže i poznate potencijalne koridore (trase) budućih (neizgrađenih) grana primenjuje algoritam najmanjih (minimalnih) struja. Cilj ovoga koraka je da se dobije inicijalna radijalna struktura mreže u kojoj su svi potrošački čvorovi (postojeći i buduć) napojeni ne vodeći računa o investicionim troškovima. Dobijeno radijalno uklopno stanje favorizuje smanjenje troškova usled gubitaka snage (energije) u razmatranoj mreži, odnosno ne obezbeđuje najbolji balans između investicionih troškova i troškova gubitaka. Zbog toga se u drugome koraku primenjuje tehnika izmene grana. Njome se vrši preraspodela opterećenja u mreži, kroz niz skvenci u kojima se otvara jedan zatvoreni i istovremeno se zatvara jedan otvoreni rasklopni uređaja uz očuvanje radijalnosti pogona (mreže), sa ciljem da se postigne što je moguće bolji balans između investicionih troškova i troškova gubitaka. Algoritam izmene grana predložen u ovome radu omogućava dobijanje kvalitetnijih rešenja u odnosu na ona koja se mogu dobiti primenom sličnih algoritama predloženih u literaturi [6,7,9]. Predloženi globalni algoritam je testiran na nizu realnih problem. Dobijeni rezultati su pokazali da razvijeni algoritam predstavlja praktičan i efikasan alat za rešavanju problema planiranja velikih distributivnih mreža.

PROCEDURA PLANIRANJA

Cilj planiranja, koji se razmatra u ovome radu, je da se odredi skup proširenja u distributivnoj mreži tako da se minimiziraju investicionih troškovi i troškovi gubitaka uz zadovoljavanje prognoziranih opterećenja i operativnih ograničenja (termičkih, naponskih i ograničenja radijalnosti). Navedeni cilj se može matematički definisati na sledeći način:

$$\min \sum_{i \in E} (K_I + K_L \cdot I_i^2) \cdot L_i \quad (1)$$

uz ograničenja:

$$\sum_{i \in T_n} I_i - \sum_{i \in F_n} I_i = I_n, \text{ za } \forall n \in N \quad (2)$$

$$I_i \leq I_i^{\max}, \text{ za } \forall i \in E$$

(3)

$$V_n \geq V_n^{\min}, \text{ za } \forall n \in N \quad (4)$$

$$E_{AG} = N - 1 \quad (5)$$

gde je:

I_i – struja u grani i ,

V_n – napon u čvoru n ,

K_I – koeficijent investicionih troškova,

K_L – koeficijent troškova gubitaka računat za ceo životni vek elementa (30 godina)

E – skup svih grana u mreži,

N – skup svih čvorova u mreži,

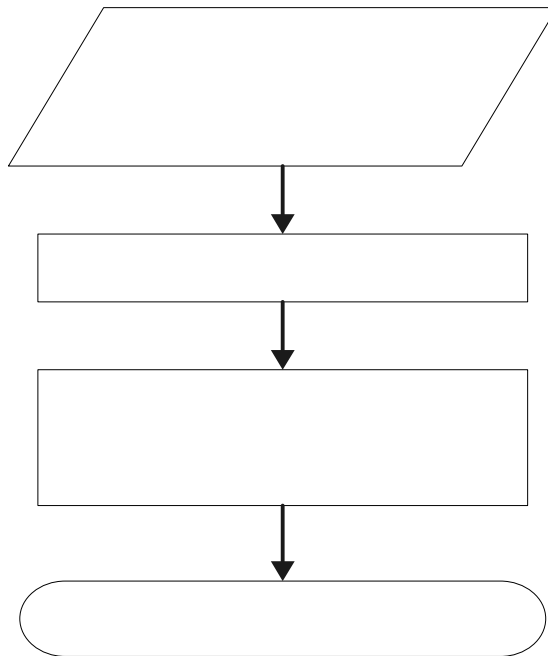
L_i – dužina grane i

I_n – prognozirana potrošnja u čvoru n ,

T_n, F_n – skup grana za koje je čvor n izvorni odnosno terminalni, respektivno,

E_{AG} – skup svih aktivnih grana (grana po kojima postoji tok snage) u mreži.

Za rešavanje problema (1) – (5) u mrežama realnih dimenzija, u kojima je primena matematički zasnovanih optimizacionih procedura veoma otežana, predložen je novi heuristički algoritam zasnovan na algoritmu najmanjih (minimalnih) struja i algoritmu izmene grana. Globalni blok dijagram predloženog algoritma je prikazan na slici 1. U narednim poglavljima će biti detaljnije objašnjeni pojedini koraci.



Slika 1 Globalni blok dijagram predloženog algoritma

Algoritam minimalnih struja

Algoritam minimalnih struja se originalno koristi za određivanje konfiguracije distributivne mreže (DM) sa najmanjim gubicima aktivne snage, pri čemu se svi elementi u mreži predstavljaju svojim rezistansama. Osnovna pretpostavka koja se koristi u ovome algoritmu je da se najbolje performanse u razmatranoj mreži (najmanji gubitci, najbolje naponske prilike) ostvaruju kada su svi vodovi upetljeni, odnosno kada mreža radi kao upetljena („sav bakar je upotrebljen“). Pošto DM trajno rade u radijalnom pogonu, neophodno je odrediti koje rasklopne uređaje treba otvoriti da se uslov radijalnosti zadovolji a da se performanse mreže najmanje degradiraju. Da bi se ispunili navedeni ciljevi potrebno je otvoriti rasklopne uređaje u onim granama u kojima je veličina struje najmanja. Time se dobija radijalna konfiguracija mreža koja najmanje odstupa od početne „optimalne“ (upetljane) konfiguracije („najmanje bakra se stavlja van pogona“) [4,11].

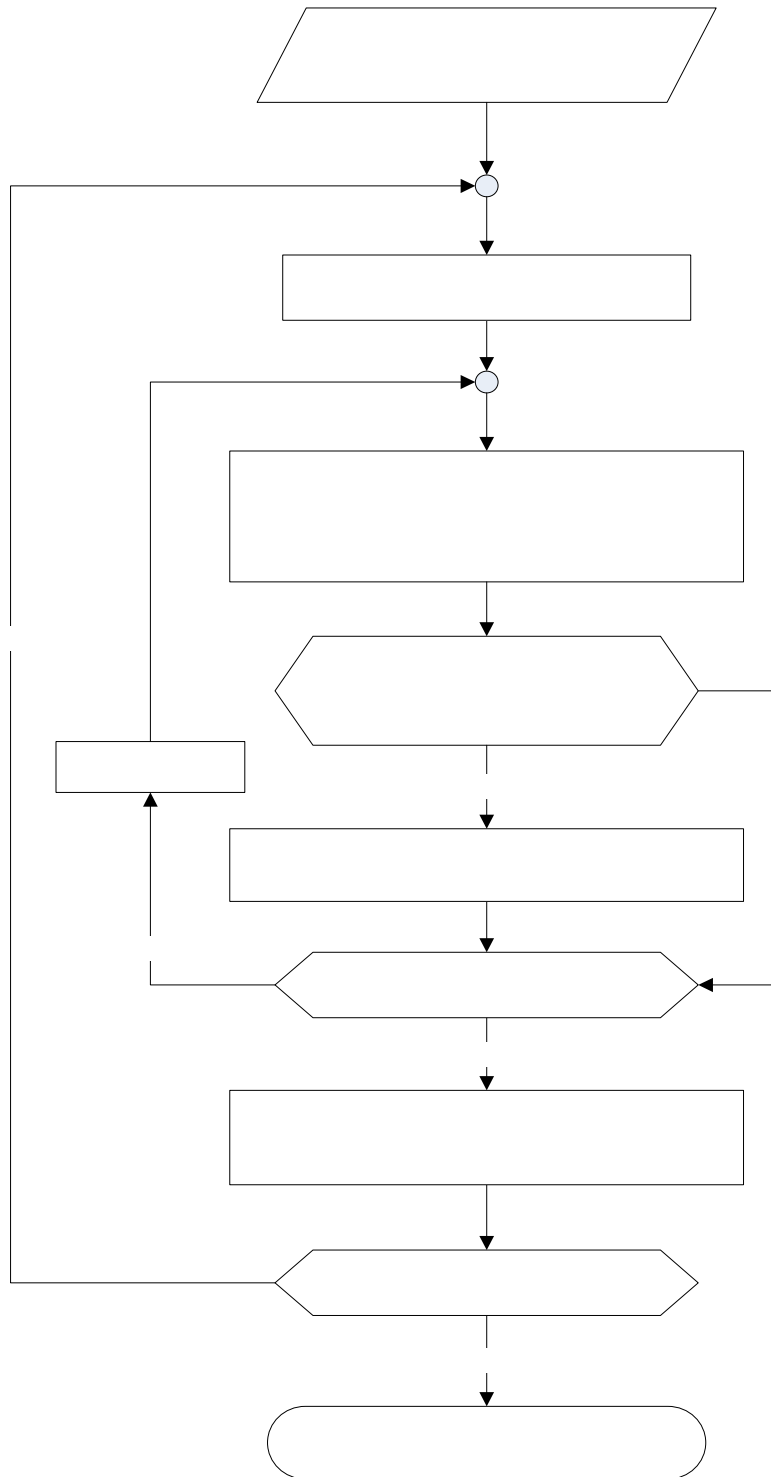
U prvom koraku algoritma se vrši učitavanje svih potrebnih podataka. Njih čine podaci o postojećoj mreži, novim potrošačkim čvorovima, potencijalnim (budućim) granama i čvorovima i prognoziranom opterećenjima u svim potrošačkim čvorovima. Sve potencijalne (neizgrađene) grane, koje su predložene od strane planera za napajanje novih i/ili povezivanje postojećih potrošačkih čvorova se smatraju izgrađenim i to sa minimalnim kapacitetom. Nakon toga se simulira zatvaranje svih rasklopnih uređaja (postojećih i potencijalnih) u mreži, čime se dobija maksimalno upetljena mreža. Zatim se vrši proračun tokova snaga i pronalazi se grana sa najmanjom strujom. U toj grani se otvara rasklopni uređaj, vodeći računa da nakon njegovog otvaranja svi potrošači moraju biti napojeni. To znači da se otvara onaj rasklopni uređaj koji raskida neku petlju. Zatim se ponavlja proračun tokova snaga za tako dobijenu konfiguraciju i ponovo se, kao i u prvom koraku, otvara rasklopni uređaj u grani sa najmanjom strujom. Opisani postupak se nastavlja sve dok se ne dostigne radijalna konfiguracija mreže. Kako se u toku izvršavanja algoritma nije vodilo računa o termičkim i naponskim ograničenjima, može se desiti da u dobijenoj radijalnoj konfiguraciji ona budu narušena. Ukoliko se svi preopterećeni fideri (deonice) pojačaju tako da u postignutoj radijalnoj konfiguraciji nema preopterećenja i izgrade sve potencijalne grane u kojima su rasklopni uređaji zatvoreni, dobija se Inicijalna buduća mreža. Na ovaj način je favorizovan kriterijum gubitaka aktivne snage (energije). Takvo stanje mreže ne obezbeđuje da ukupni razmatrani troškovi (investicioni i troškovi gubitaka) budu minimalni, odnosno da postoji optimalan balans između investicionih troškova i troškova gubitaka. Zbog toga se u sledećem koraku globalnog algoritma (slika 1) primenjuje algoritam izmene grana kojom se vrši balansiranje ovih troškova. Ulazni podaci za tu proceduru su dostignuta radijalna konfiguracija mreže, odnosno Inicijalna mreža definisana skupom svih normalno otvorenih (NO) rasklopnih uređaja, i ukupni troškovi (investicioni troškovi i troškovi gubitaka) koje ona proizvodi. Ovi troškovi predstavljaju Inicijalni ukupni trošak. Ovde je potrebno napomenuti da se troškovi gubitaka računaju za period životnog veka ugrađene opreme, što obično iznosi 30 godina u budućnost [4].

Naponska ograničenja u gradskim distributivnim mrežama, koje potencijalno imaju najveći stepen upetljenosti i za koje je ovaj algoritam prvenstveno namenjen, su veoma retko narušena [4] i zbog toga se ne razmatraju u predloženom algoritmu. Odnosno, ukoliko i ima narušenih naponskih ograničenja, smatra se da će se ona neće rešavati izgradnjom novih ili povećanjem preseka postojećih grana već na neki drugi način (npr. ugradnjom kondenzatorskih baterija).

Algoritam izmene grana

Algoritam izmene grana se zasniva na „izmeni mesta“ jednog NO i jednog NZ (normalno zatvorenog) rasklopnog uređaja u mreži. Naime, ukoliko se dva fidera (ili dva ogranka na istom fideru) u jednoj radijalnoj mreži mogu povezati (upetljati) preko jednog NO rasklopnog uređaja, onda se zatvaranjem toga uređaja i istovremenim otvaranjem nekog drugog, do tada zatvorenog (NZ), rasklopnog uređaja u petlji generiše novo uklopno stanje u mreži. Nastala promena dovodi do preraspodel opterećenja odnosno promene tokova snaga po granama razmatranih fidera, čime se utiče na promenu vrednosti razmatrane kriterijumske funkcije (ukupnih troškova). Postupak „izmene“ mesta se vrši u svim potencijalnim petljama (Izabrane petlje) u mreži u kojima postoje preopterećene ili novoizgrađene grane, u okviru globalnog algoritma prikazanog na slici 2.

U prvom koraku algoritma se bira jedan NO rasklopni uređaji, odnosno jedna potencijalna petlja koja se obrađuje. Ukoliko u tekućoj petlji postoje grane sa narušenim termičkim ograničenjima i/ili novoizrađene grane ona se obrađuje, u suprotnom se prelazi na sledeći NO rasklopni uređaj (sledeću petlju). U izabranoj petlji



Slika 2. Globalni blok dijagram algoritma izmene grana

se vrši „izmena“ NO i jednog NZ rasklopnog uređaja. Nakon izmene se proračunava režim u petlji i određuju se sve preopterećene i/ili novoizgrađene grane. Zatim se određuju sva potrebna pojačanja i/ili izgradnje. Na osnovu toga se izračunavaju investicioni troškovi i troškovi usled gubitaka snage (energije) za razmatrani period (30 godina). Ukoliko dobijeno stanje smanjuje ukupne troškove (u odnosu na

$$n_{NC} = n_{NC} + 1$$

U
m
tro
ra

Postavlj

Za svaku „izmen
uređaja i jednog
petlji proračuna

Da li j
uređa
trošak m

Inicijalne ukupne troškove), ono se pamti a ukupni dobijeni troškovi postaju Tekući ukupni troškovi. Ovaj postupak se ponavlja za svaki par NO i NZ rasklopnog uređaja u tekućoj petlji. Nakon obrade svih „izmena“ u tekućoj petlji pamti se ona „izmena“ koja daje najmanji Tekući ukupni trošak. Nakon toga se prelazi na sledeći NO rasklopni uređaj, odnosno na sledeću Izabranu petlju (u kojoj postoje narušena termička ograničenja grana i/ili novoizgrađene grane). Prethodno opisana procedura se ponavlja i za tekuću petlju. Ukoliko u njoj postoji „izmena“ koja daje manje Tekuće ukupne troškove od do tada ostvarenih, oni se pamte (postaju novi Tekući ukupni troškovi) kao i „izmena“ koja ih generiše. Postupak se nastavlja sve dok svi NO rasklopni uređaji u mreži ne budu obrađeni. Po završetku opisane procedure se dobija jedna zapamćena „izmena“ za celu razmatranu mrežu i njoj odgovarajući Tekući ukupni troškovi. Dobijena „izmena“ dovodi do najvećeg smanjenja Inicijalnih troškova među svim izvršenim „izmenam“. Ta „izmena“ se i sprovodi u Inicijalnoj mreži na taj način što se NO otvoreni rasklopni uređaj iz date „izmene“ proglašava „zaključanim“ odnosno definitivno normalno otvorenim uređajem i izuzima se iz budućih „izmena“. Tekući ukupni troškovi vezani za tu „izmenu“ postaju početni (Inicijalni) za daljne proračune. Prethodno opisani postupak se zatim ponavlja za sve ostale („nezaključane“) NO rasklopne uređaje u mreži. Treba naglasiti da ovakav postupak obezbeđuje da konačno rešenje ne zavisi od redosleda kojim se obrađuju NO rasklopni uređaji i time omogućuje dobijanje kvalitetnijeg rešenja u odnosu na slične metode prikazane u literaturi [6,7,9]. Opisana procedura se nastavlja sve dok postoje NO rasklopni uređaji koji nisu „zaključani“. Krajnji rezultat je skup „zaključanih“ NO rasklopnih uređaja koji definišu radijalnu strukturu mreže i skup svih pojačanja i izgradnji koje treba uraditi u razmatranoj mreži da bi se postigao optimalan balans između investicionih troškova i troškova gubitaka.

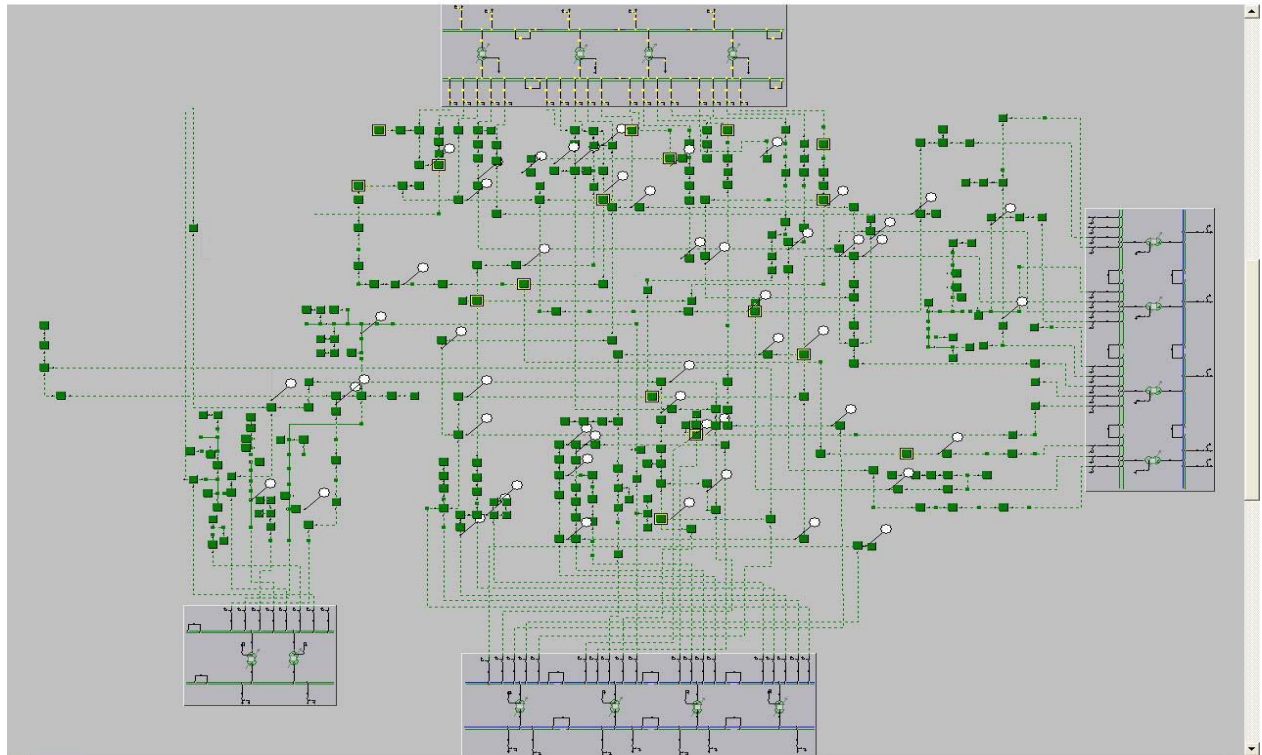
PRIMER PRIMENE

Predloženi algoritam je testirana na više distributivnih mreža realnih dimenzija. Na slici 3 je prikazana jedna realna gradska test mreža koju čini 277 potrošačkih čvorova (distributivnih TS 10/0,4 kV/kV) napajanih iz 4 napojne transformatorske stanice 35/10 kV/kV. Na prikazanoj slici su praznim kružićima označena NO rastavna mesta koja obezbeđuju radijalni pogon u mreži. Za datu mrežu je pretpostavljeno da će u horizontnoj godini opterećenja u svim potrošačkim čvorovima porasti za 15%. Takođe, troškovi izgradnje i pojačanja vodova različitih preseka (kapaciteta) su data u tabeli I, a pretpostavljen je trošak gubitaka od 0,12 \$/kWh.

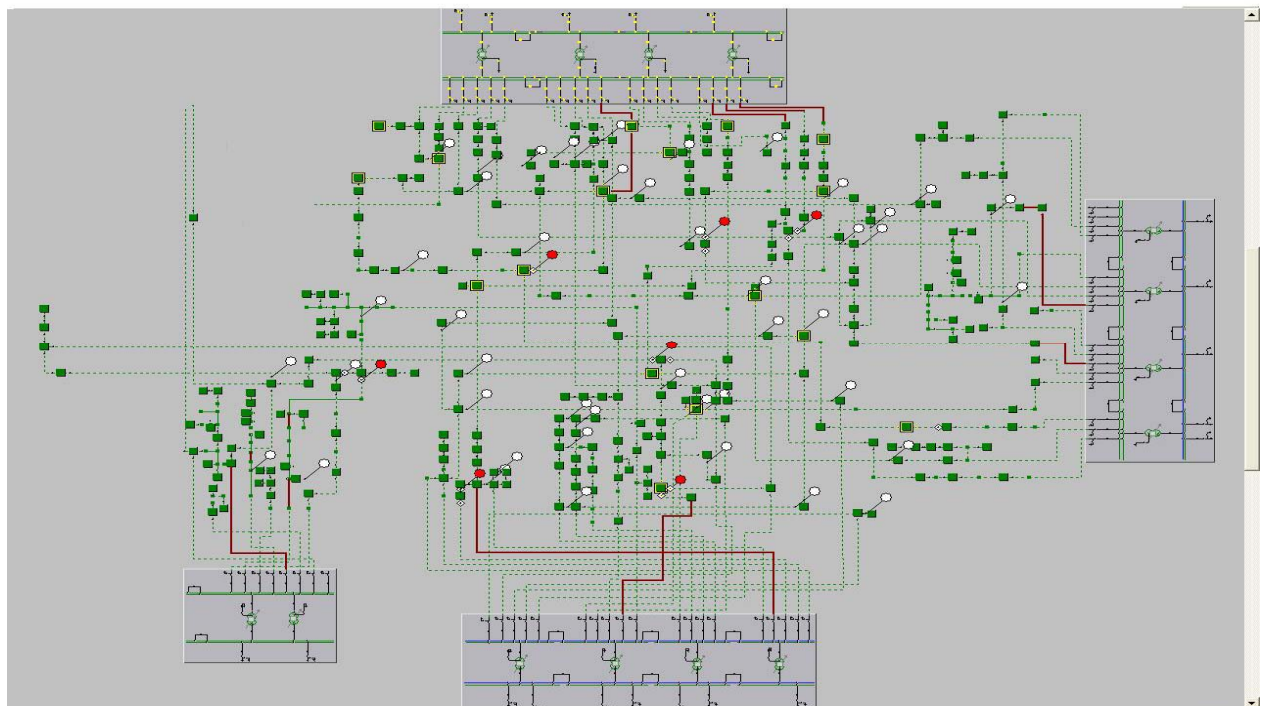
Pri pretpostavljenom rastu opterećenja se javljaju preopterećenja pojedinih grana u mreži. Primenom predloženog algoritma je dobijeno rešenje koje je prikazano na slici 4. Na toj slici su debljim linijama i brojevima označeni grane koje je potrebno pojačati (14 grana) a tamnim kružićima su označena NO rastavna mesta (7 NO rastavnih mesta) koja obezbeđuju radijalni pogan a razlikuju se od NO rastavnih mesta iz početne konfiguracije (slika 3). Dobijeno rešenje definiše da je potrebno pojačati 1,05 km kabla sa preseka 50 mm² na presek 70 mm² i 6,42 km kabla sa preseka 95 mm² na presek 150 mm², što prouzrokuje investicioni trošak od 758100 \$.

TABELA I. – TROŠAK IZGRADNJE I POJAČANJA

		Trošak [\$ x 10 ³ /km]			
	Na	50	70	95	150
Od					
50 [mm ²]		60	80	100	140
70 [mm ²]		-	72	91	120
95 [mm ²]		-	-	85	105
150 [mm ²]		-	-	-	90



Slika 3. Distributivan test mreža



Slika 4. Rešenje problema planiranja za razmatranu test mrežu

ZAKLJUČAK

U ovome radu je prikazan jedan statički heuristički algoritam za planiranje razvoja distributivnih mreža realnih dimenzija sa ciljem minimizacije investicionih troškova i troškova gubitaka. Predloženi algoritam je zasnovan na algoritmu minimalnih struja i algoritmu izmene grane i uvažava postojeću mrežu kao i sve potencijalno nove (buduće) elemente mreže. Algoritam je testiran na nizu realnih distributivnih mreža a dobijeni rezultati pokazuju da on predstavlja praktičan i efikasan alat za određivanje kvalitetnih planova razvoja. Dalji razvoja predložene metodologije treba da omogući uvažavanje kriterijuma pouzdanosti u procesu planiranja kao i ocenu kvaliteta rešenja dobijenih predloženim algoritmom, poredeći ih sa rešenjima matematički zasnovanih optimizacionih procedura.

LITERATURA

1. T. Gonen, I. Ramirez-Rosado, 1986, "Review of distribution system planning models: a model for optimal multi-stage planning", IEEE Proc-C, Vol. 133, no. 7, 397-408.
2. H.L. Willis, H. Tram, M.V. Engel and L. Finley, 1996, "Selecting and applying distribution optimization methods", IEEE Computer Applications in Power, 12-17.
3. S.K. Khator and L.C. Leung, 1997, "Power distribution planning: a review of models and issues", IEEE Trans. on PWRS, Vol. 12, No. 3, 1151-1159. .
4. H.L. Willis, 1997, "Power distribution planning reference book", Marcel Dekker Inc., New York.
5. M. Vaziri, K. Tomsovic, T. Gonen, 2000, "Distribution expansion problem revisited - Part I: Categorical analysis and future directions", Proc. Int. Assoc. Science and Technology for Development, 283-290.
6. K. Nara, T. Satoh, K. Aoki, M. Kitagawa, 1990, "New approximate optimization for distribution system planning", IEEE Trans. On PWRS, Vol. 5, No. 1, 126 – 132.
7. K. Aoki, K. Nara, T. Satoh, M. Kitagawa, K. Yamanaka, 1991, "Multi-Year expansion planning for distribution systems", IEEE Trans. On PWRS, Vol. 6, No. 6, 952 - 958.
8. K. Nara, T. Satoh, K. H. Kuwabara, K. Aoki, M. Kitagawa, , 1992, "Distribution system expansion planning by multi-stage branch exchange", IEEE Trans. On PWRS, Vol. 7, No. 1, 208 – 214.
9. S. K. Goswami, 1997, "Distribution system planning using branch exchange technique", IEEE Trans. On PWRS, Vol. 7, No. 1, 208 – 214.
10. E. Miguez, J. Cidras, E. Diaz-Dorado, J. L. Garcia-Dornelas, 2002, "An improved branch-exchange algorithm for large-scale distribution network planning", IEEE Trans. On PWRS, Vol. 17, No. 4, 931 – 936.
11. D. Popović, D. Bekut, V. Treskanica, 2004, „Specijalizivani DMS algoritmi“, DMS Group, Novi Sad.