FORMULACIJA VIŠE-PERIODNIH PROBLEMA PLANIRANJA BAZIRANA NA TEORIJI GRAFOVA

Ž.N. Popović, PD Elektrovojvodina, Srbija
D.S. Popović, Telvent DMS, Srbija
V.Đ. Kerleta, Tehnički fakultet "Mihailo Pupin", Srbija

UVOD

Planiranje razvoja distributivnih mreža je veoma kompleksan kombinatorni optimizacioni problem od velikog praktičnog značaja. Veliki broj različitih heurističkih i matematičkih modela je predložen za rešavanje tako kompleksnog problema [1]-[3]. Jedna od osnovnih karakteristika svih predloženih modela je da li se razmatra jedan ili više period planiranja. Iako su više-periodni problemi značajno kompleksniji za modelovanje i rešavanje oni obezbeđuju kvalitetnije i preciznije rezultate. Više-periodni problemi se formulišu kao kompletno dinamički problemi i dekompozicioni problemi.
Kompletni dinamički problemi su više-periodni problema formulisani u okviru jednog (jedinstvenog) algoritma. Tri grupe metoda se koriste za rešavanje takvih problema: metode zasnovane na veštačkoj inteligenciji (AI) [4],[5], metode zasnovane na matematičkoj optimizaciji [1],[6]-[8] i dekompozicione metode [3], [9]-[14].
Kompletno dinamički modeli veštačke inteligencije su uglavnom zasnovani na primeni genetskih algoritama. Oni koriste klasične genetske operatore (mutaciju i ukrštanje) za modelovanje interakcija (međuzavisnosti) koje postoje između pojedinih perioda. Međutim, konvencionalno struktuirani genetski algoritmi su se pokazali neadekvatnim i neefikasnim u rešavanju problema planiranja razvoja distributivnih mreža [15].
Modeli zasnovani na matematičkoj optimizaciji su uglavnom zasnovani na algoritmima mešovitog celobrojnog linearnog programiranja [1], [6]-[8] . Zbog izuzetno velike računarske kompleksnosti, koja se dodatno povećava kod više-periodnih problema, primena ovih modela je ograničena na probleme male dimenzionalnosti.
Dekompozicioni modeli imaju za cilj smanjenje računarske kompleksnosti kompletno dinamičkih modela i rešavanje više-periodnih problema veće dimenzinalnosti. Ovi modeli dele više-periodne probleme u niz statičkih (jedno periodnih) problema koji se nezavisno rešavaju. Najčešće korišćeni dekompozicioni pristupi su zasnovani na konceptu popunjavanja unapred (forward fill-in) [3] i popunjavanja unazad (backward pull-out) [9]-[12]. Ostali dekompozicioni algoritmi, [13] i [14], koriste različite heurističke procedure u okviru kojih se primenjuju statički algoritmi za rešavanje više-periodnih problema. Heuristike koje se koristi u do sada predloženim modelima razmatraju (modeluju) samo deo interakcija koje postoje između pojedinačnih perioda. Takođe, razmatrane interakcije su neprecizno (netačno) modelovane. Zbog toga predloženi dekompozicioni algoritmi ne mogu da nađu najbolje rešenje više-periodnih problema planiranja, bez obzira koji se algoritmi koriste za rešavanje statičkih problema.
U ovome radu je predložena formulacija više-periodnih problema planiranja bazirana na teoriji grafova koja prevazilazi gore pomenute nedostatke. Više-periodni problemi planiranja, sa proizvoljno definisanom kriterijumskom funkcijom (npr. minimizirati investicioni trošak, trošak gubitaka, trošak prekida), se

predstavljaju pomoću težinskog grafa gde čvorovi predstavljaju različite buduće periode a grane, koje povezuju čvorove, predstavljaju interakcije koje postoje između perioda. Granama su asocirani odgovarajući tranzicioni troškovi (težinski faktori) kojima su sve interakcije koje postoje između perioda tačno modelovane. Na ovaj način se više-periodni problemi dekomponuju u niz sekvenci statičkih problema, gde svaki prost (Hamiltonov) put u grafu predstavlja jednu sekvencu (niz) satičkih problema. Prema tome, cilj postaje pronaći prost (Hamiltonov) put sa najmanjom težinim (troškom). Za rešavanje ovoga grafovskog problema je predložen novi algoritam zasnovan na dinamičkom programiranju. Činjenica da su veličine (termički kapaciteti) elemenata u distributivnoj mreži diskretne je iskorišćena da bi se smanjila računarska kompleksnost predloženog algoritma dinamičkog programiranja. Na taj način predloženi pristup omogućava da se na efikasan način pronađe optimalno rešenje više-periodnih problema planiranja većih dimenzija. Dobijeni rezultati pokazuju da predloženi pristup daje kvalitetnija rešenja više-perodnih problema planiranja od do sada predloženih dekompozicionih modela.

FORMULACIJA PROBLEMA

Cilj više-periodnog planiranja distributivnih mreža je da se odredi skup proširenja u mreži (pojačanja i/ili izgradnji) u svakom periodu koji zadovoljava prognozirani rast opterećenja i skup operativnih ograničenja tako da budu ispunjeni ciljevi koje zadaje donosilac odluke (kompanija). Pošto su ciljevi najčešće izraženi u novčanim jedinicama [3], u radu je podrazumevano, bez gubitka generalnosti, da je cilj donosioca odluke minimizacija ukupnih troškova (npr. investicionog troška, troška gubitaka, troška prekida) u celokupnom periodu planiranja. Potrebno je naglasiti da u više-periodnim problemima planiranja na rešenje (odluka šta graditi) u jednom periodu utiču rešenja u svim ostalim periodima. Kompletno i tačno modelovanje ovih (svih) interakcija u više-periodnim problemima planiranja je neophodan uslov za dobijanje (nalaženje) gobalnog optimalnog rešenja i zbog toga čini najavažniji deo više-periodnih problem. Navedeni uslov je u ovde ispunjen formulisanjem više-periodnog problema planiranja u terminima teorije grafova.

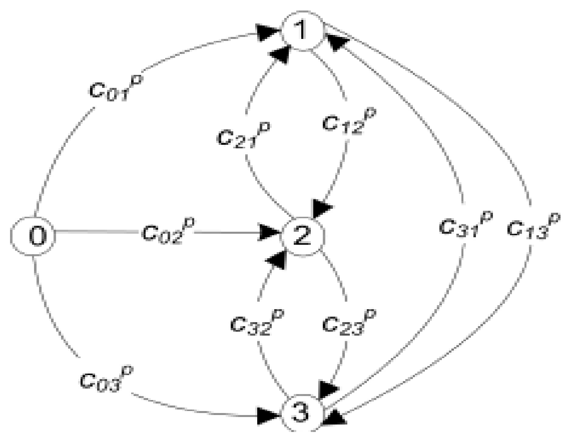
Formulacija više-periodnih problema planiranja u terminima teorije grafova

U cilju prikazivanja principa formulisanja više-periodnog problema planiranja u terminima teorije grafova razmatraće se 3-periodni problem planiranja. Ovaj problem je predstavljen težinskim grafom prikazanim na slici 1. Čvorovi grafa reprezentuju buduće periode u kojima će se određivati skup neophodnih proširenja. Grane, koje povezuje čvorove, reprezentuju interakcije koje postoje između perioda. Granama su asocirani odgovarajući troškovi (težine) prelaska (tranzicije) iz jednog čvora (period) u drugi čvor (period) i kroz njih su uvažene odgovarajuće interakcije. Među svim mogućim putevima koji postoje u težinskom grafu razmatraju se samo oni putevi koji koji povezuju sve čvorove (periode) samo jednom. Ovi putevi, prikazani na slici 2, se nazivaju prosti (Hamiltonovi) putevi. Na slikama 1 i 2 c_{ji}^{p} označava trošak (težinu) prelaska iz čvora (period) *j* u čvor (period) *i* u prostom putu *p*. U nastavku je detaljno razmatran prosti put (0,3,1,2).

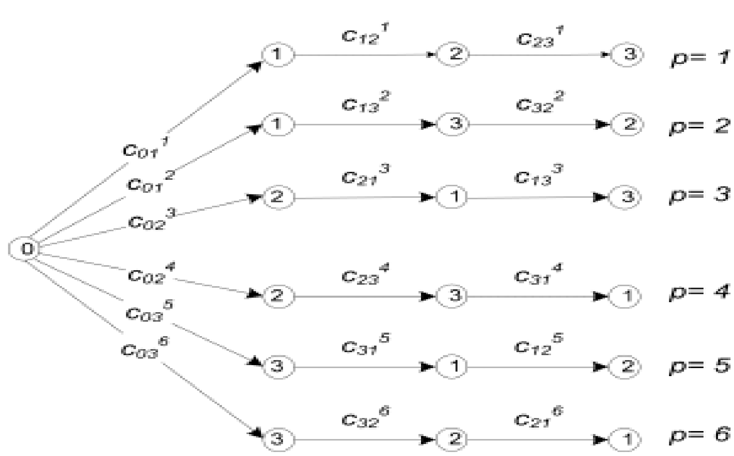
U prostom putu (0,3,1,2) čvor 0 predstavlja sadašnjost. U prvom koraku, polazeći od stanja mreže u početnom periodu (sadašnjosti), određuje se skup proširenja u mreži koji ispunjava ciljeve planiranja u periodu 3 korišćenjem statičkog (jedno-periodnog) pristupa (modela). Ovaj pristup je baziran na predpostavci da se opterećenja u mreži neće menjati do kraja perioda planiranja [2],[3]. Prema tome, cilj je određivanje skupa proširenja u mreži, među svim mogućim (predloženim) pojačanjima i izgradnjama, koji zadovoljava opterećenja i skup operativnih ograničenja u periodu 3 tako da ukupan trošak bude minimalan u preostalom perodu (od perioda 3 do kraja period planiranja). Ovaj problem može biti rešen primenom odgovarajućih statičkih modela (algoritama), na primer, jednog od algoritama predloženih u literaturi [9]–[14]. Nakon određivanja skupa proširenja u periodu 3 ostali troškovi (npr. trošak gubitaka i trošak prekida) u mreži u ovome periodu se mogu izračunati (odrediti). Na ovaj način se određuje ukupan aktualizovani trošak (trošak sveden na početni period) u periodu 3 (npr. suma aktualizovanih troškova investicija, gubitaka i prekida). Taj trošak (c_{03}^{5}) predstavlja trošak tranzicije između period (čvora) 0 i period (čvora) 3, odnosno on predstavlja težinski faktor asociran grani koja povezuje čvor 0 i čvor 3. U sledećem koraku se razmatra period 1. U ovome čvoru se rešava statički problem planiranja za period 1.

Za rešavanje statičkog problema planiranja u ovome periodu, između ostalih, se uzimaju u razmatranje i proširenja korišćena za rešavanje problema planiranja u periodu 3, tj. uticaj koji rešenje problema planiranja u periodu 3 ima na rešavanje problema planiranja u periodu 1 se uzima u obzir. Ovaj uticaj se modeluje kroz odgovarajuće prilagođavanje investicionih troškova proširenja koja su (is)korišćena za rešavanje problema planiranja u periodu, što je detaljno prikazano u sledećem poglavlju. Sada se, koristeći prilagođene investiocione troškove i primenjujući odogvarajući statički algoritam određuje skup proširenja koji ispunjava ciljeve planiranja u periodu 1. Na osnovu toga se određuje ukupni aktualizovani trošak u raznmatranom periodu. Ovaj trošak (c_{31}^{5}) predstavlja trošak tranzicije (prelaska) iz perioda 3 u period 1. Dalje se razmatra čvor 2 u kome se rešava statički problem planiranja za period 2. Za rešavanje problema planiranja u ovome periodu se uzima u obzir uticaj koji rešenja u periodima 3 i 1 imaju na rešavanje problema planiranja u periodu 2. Ovaj uticaj se modeluje kroz odgovarajuće prilagođavanje investicionih troškova proširenja korišćenih za rešavanje problema planiranja u periodima 3 i 1, što je opisano u sledećem poglavlju. Rešenje statičkog problema planiranja i određivanje ukupnog aktualizovanog troška u periodu 2 se dobija na sti način kao i u prethodnim koracima.

Treba primetiti da prost put (0,3,1,2) predstavlja jedno moguće rešenje 3-periodnog problema planiranja dok suma pripadajućih težina predstavlja ukupan aktualizovani trošak dobijenog rešenja. To znači da svaki prost put prikazan na slici 2 generiše jedno moguće rešenje 3-periodnog problema planiranja. Prema tome u 3-periodnom problemu planiranja šest (3!) 3-periodnih rešenja se generiše. Pošto su sve interakcije koje postoje između 3 perioda generisane i modelovane na odgovarajući način, najbolje od svih generisanih rešenja će predstavljati optimalno rešenje 3-periodnog problema, podrazumevajući da se optimalnost može garantovati za svaki statički problem koji se rešava.



Slika 1. Grafovska predstava 3-periodnog problema planiranja



Slika 2. Prosti putevi za 3-periodni problem planiranja

Na osnovu prethodnoga se može formulisati više-periodni problem planiranja u terminima teorije grafova: U težinskom grafu je potrebno pronaći prost (Hamiltonov) put sa najmanjom težinom (troškom). Najdirektnije rešenje ovog grafovskog problema je da se obrade svi mogući prosti putevi i da se vidi koji od njih je najjeftiniji. Koristeći tehniku dinamičkog programiranja ovaj problem može se rešiti efikasnije. Zbog nedostataka prostora algoritam dinamičkog programiranja za rešavanje definisanog grafovskog problema nije prikazan u ovome radu.

Modelovanje interakcija između perioda

Modelovanje interakcija koje postoje između perioda će biti prikazano na primeru prostog puta (0,3,1,2). Pošto se u prvom koraku rešava statički problem planiranja za period 3 investicioni trošak svih mogućih (predloženih) proširenja u mreži se prilagođava na sledeći način:

$$C_{ab}^{(3,5)} = C_{ab}^{0} \cdot \left(\frac{1}{1+d}\right)^{n_3}, \; ab \in \text{PE} \qquad (1)$$

U (1), $C_{ab}^{(3,5)}$ je svedeni trošak pojačanja ili izgradnje elemnta *a* na presek (veličinu) *b* u periodu 3 u putu p=5, PE je skup svih mogućih (predloženih) proširenja u mreži u celokupnom periodu planiranja, C_{ab}^{0} je trošak pojačanja ili izgradnje elementa *a* na presek (veličinu) *b* u sadašnjosti (početnom periodu), n_3 je broj godina između početnog perioda (sadašnjosti) i perioda 3. Nakon prilagođavanja troškova se primenjuje odgovarajući statički model i dobija se skup proširenja E(3,5) koji ispunjava ciljeve planiranja u periodu 3, tj. rešava se statički problem planiranja u periodu 3.
U sledećem koraku se rešava statički problem planiranja u periodu 1. Uticaj koji rešenje problema planiranja u periodu 3 ima na rešavanje problema planiranja u periodu 1 se modeluje prilagođavanjem investicionih troškova proširenja koja pripadaju skupu E(3,5):

$$C_{ab}^{(1,5)} = C_{ab}^{0} \cdot \left(\frac{1}{1+d}\right)^{n_1} - C_{ab}^{0} \cdot \left(\frac{1}{1+d}\right)^{n_3}, \forall ab \in \text{E}(3,5) \qquad (2)$$

Treba primetiti da (1) daje trošak izgradnje elementa *ab* u periodu 3. Ukoliko bi se isti elemet koristio za rešavanje problema planiranja u periodu 1, tj. ukoliko bi se on gradio u periodu 1 umesto u periodu 3, njegov investicioni trošak, dat relacijom (1), bi porastao tačno za iznos dat relacijom (2). Prema tome, investicioni trošak izgradnje elementa *ab* u perodu 1 bi bio dobijen kao suma troškova definisanih relacijama (1) i (2). Ovo znači da je relacijom (2) tačno opisana mera uticaja koju rešenje problema planiranja u periodu 3 ima na rešavanje problema planiranja u periodu 1.
Investicioni trošak ostalih mogućih proširenja ($ab \in$ PE \ E(3,5)) se prilagođava shodno relaciji (1). Nakon prilagođavanja troškova se primenjuje odgovarajući statički model i dobija se skup proširenja E(1,5) koji ispunjava ciljeve planiranja u periodu 1, tj. rešava se statički problem planiranja u periodu 1. Treba primetiti da za tačno prilagođavanje investicionog troška nekog proširenja trebaju znati periodi (period) u kojima se dato proširenje već koristilo za rešanje statičkog problema planiranja. Zbog toga se definiše skup SE(*i*,*p*) za period *i* u putu *p* koji sadrži sve prethodno određene (dobijene) skupove proširenja uključujući i skup proširenja određen u poslednjem razmatranom periodu. Prema tome, SE(3,5)={E(3,5)} i SE(1,5) ={E(3,5), E(1,5)}.
U narednom koraku se rešava statički problem planiranja u periodu 2. Uticaj koji rešenja u periodima 3 i 1 imaju na rešavanje problema planiranja u periodu 2 se modeluje prilagođavanjem investicionih troškova proširenja koja pripadaju skupu SE(1,5)={E(3,5),E(1,5)}. Investicioni trošak proširenja koja pripadaju skupu E(3,5) se prilagođava shodno relaciji (2). Proširenja koja pripadaju skupu E(1,5) se tretiraju kao postojeća u periodu 2. Shodno tome, investicioni trošak ovih proširenja je jednak 0. Investicioni trošak proširenja koje istovremeno pripada skupu E(1,5) i skupu E(3,5) se definiše na osnovu manje od tih vrednosti, odnosno postaje jednak 0. Investicioni trošak ostalih mogućih proširenja ($ab \in$(PE\SE(1,5)) se prilagođava shodno relaciji (1). Nakon prilagođavanja troškova se primenjuje odgovarajući statički model i dobija se skup proširenja E(2,5) koji ispunjava ciljeve planiranja u periodu 2, tj. rešava se statički problem planiranja u periodu 2.
Na osnovu prethodnog se može definisati generalna procedura za prilagođavanje investicionog troška elemnta *ab* u periodu *i* koji je povezan sa periodom *j* u putu *p*. Procedura je sledeća:

1. Ako element $ab \in PE \wedge ab \notin SE(j,p)$, njegov investicioni trošak se prilagođava na sledeći način:

$$C_{ab}^{(i,p)} = C_{ab}^{0} \cdot \left(\frac{1}{1+d}\right)^{n_i} \tag{3}$$

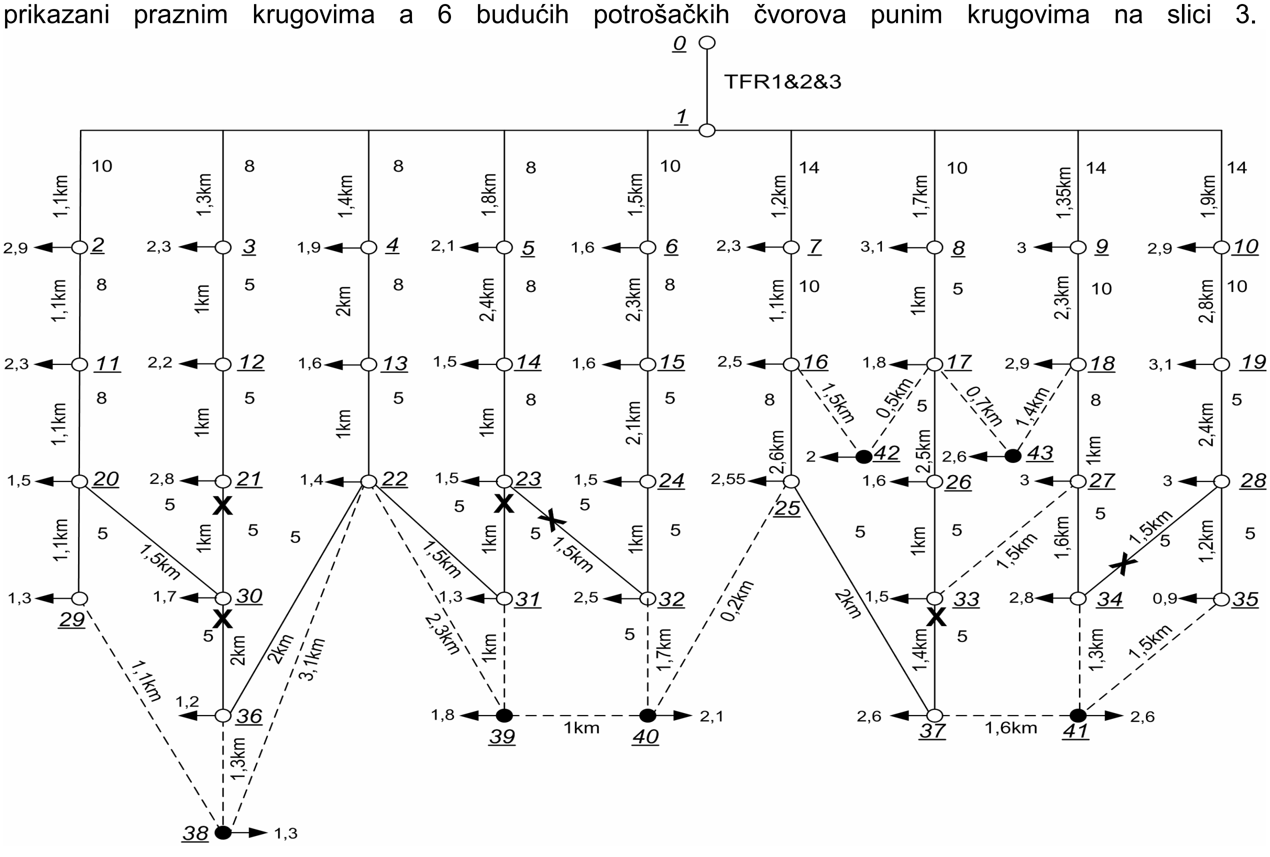
U suprotnom se prelazi na sledeći korak.

2. U skupu $SE(j,p)$ odrediti periode j, tj. skupove $E_j(j,p)$ u kojima je element *ab* korišćen. Ako postoji period *j* takav da $j<i$ ($n_j<n_i$), onda je $C_{ab}^{(i,p)} = 0$. U suprotnom, odrediti period *j* koji je najbliži periodu *i* i prilagoditi investicioni trošak na sledeći način: $C_{ab}^{(i,p)} = C_{ab}^{0} \cdot \left(\frac{1}{1+d}\right)^{n_i} - C_{ab}^{0} \cdot \left(\frac{1}{1+d}\right)^{n_j}$ (4)

Koristeći predloženu proceduru interakcije između perioda se mogu tačno modelovati čime se omogućuje dekompozicija više-periodnih problema planiranja bez gubitka tačnosti.

NUMERIČKI REZULTATI

Predloženi pristup je korišćen za nalaženje 4-periodnog rešenja sa minimalnim investicionim troškom za 20 kV test sistem prikazan na slici 3. Dužina perioda od dve godine između prva tri perioda i četiri godine između trećeg i četvrtog perioda je razmatrana. Test sistem se satoji od jedne napojne TS, 44 postojeće grane (pune linije) i 14 mogućih novih grana (isprekidane linije). U napojnoj TS postoje 3 transformatora kapaciteta po 31,5 MVA. Kapacitet TS se može povećati sa maksimalno 2 nova transformatora čija ugradnja košta 725 k$ po transformatoru. Četiri moguća preseka (veličine) za izgradnju novih i pojačanje postojećih grana se razmatraju. U Tabeli 1 su prikazani troškovi pojačanja/izgradnje za svaki presek. Kapacitet postojećih grana je dat u MVA i prikazan je na slici 3. Postojeći potrošački čvorovi (36) su prikazani praznim krugovima a 6 budućih potrošačkih čvorova punim krugovima na slici 3.



Slika 3. Test sistem

TABELA 1 - INSTALACIONI TROŠAK

	Instalacioni trošak [$ x 10^3/km]			
Na / Sa	5 [MVA]	8 [MVA]	10 [MVA]	14 [MVA]
5 [MVA]	60	72	91	120
8 [MVA]	-	80	85	105
10 [MVA]	-	-	100	90
14[MVA]	-	-	-	140

TABELA 2 - POREĐENJE ALGORITAMA

Algoritam	Popunjavanje unapred	Klasično popunjavanje unazad	Unapređeno popunjavanje unazad	Predloženi algoritam
Investicioni trošak [x10^3$]	921,4	968,3	937,8	883,4

Potrošnja u čvoru ***40*** se pojavljuje u periodu 1, u čvorovima ***39, 42, 43*** u periodu 2 i u čvorovima ***44*** i ***45*** u periodu 4. Prognoza rasta opterećenja u svim potrošačkim čvorovima je zasnovana na jedinstvenoj stopi rasta od 3% po periodu, polazeći od inicijalnih vrednosti opterećenja u MVA prikazanih na slici 3. Diskontna stopa od 15 % godišnje je korišćena. Za rešavanje statičkih problema planiranja je korišćen model zasnovan na mešovitom celobrojnom linearnom programiranju, koji zbog nedostatka prostora nije prikazan u ovome radu.
Korišćenjem predloženog pristupa 24 (4!) moguća 4-periodna rešenja (prosta puta) su generisan i upoređena. Optimalno 4-periodno rešenje odgovara prostom putu (0,1,3,2,4) sa ukupnim aktualizovanim investicionim troškom od 883,4 k$. Više-periodna rešenja definisana prostim putevima (0,1,2,3,4) i (0,4,3,2,1) odgovaraju rešenjima koja bi se dobila primenom najčešće korišćenih dekompozicionih pristupa (algoritama). Prosti put (0,1,2,3,4) odgovara konceptu popunjavanja unapred (forward fill-in) [3]. Koncept popunjavanja unazad (backward pull-out) [9]-[12] odgovara prostom putu (0,4,3,2,1). Potrebno je napomenuti da će ovaj put uvek dati (generisati) bolje rešenje ili u najgorem slučaju rešenje istog kvaliteta kao i klasični koncept popunjavanja unazad, odnosno prosti put (0,4,3,2,1) predstavlja unapređeni kocept popunjavanja unazad. Ovo je zbog toga što klasični algoritam popunjavanja unazad koristi samo skup proširenja dobijen u poslednjem (horizontnom) periodu za rešavanje statičkih problema planiranja u svim ostalim periodima. Poređenje rezultata dobijenih primenom ranije predloženih dekompozicionih algoritama i pristupa predloženog u ovome radu su prikazani u Tabeli 2. Ovi rezultati pokazuju da predloženi pristup daje bolja (kvalitetnija) rešenja nego razmatrani dekompozicioni modeli. Osnovni razlog je što ranije predloženi dekompozicioni pristupi razmatraju samo manji deo interakcija koje postoje između perioda. Prema tome, svaki dekompozicioni pristup koji ne modeluje kompletno i tačno interakcije između perioda će dati lošije rešenje od pristupa predloženog u ovom radu.

ZAKLJUČAK

U ovome radu je predložena novi način formulisanja više-periodnih problema planiranja baziran na teoriji grafova. Više-periodni problem planiranja sa proizvoljno definisanim ciljem se predstavlja pomoću težinskog grafa i cilj postaje pronaći prosti (Hamiltonov) put u težinskom grafu sa najmanjom težinom (troškom). Ovakva reprezentacija omogućuje da se sve interakcije koje postoje između perioda tačno modeluju. Na taj način se omogućuje dekomponovanje više-periodnih problema u odgovarajući broj nizova (prostih puteva) statičkih problema bez gubitka tačnosti. Predloženi pristup prevazilazi nedostatke ranije predloženih dekompozicionih pristupa i može bitno da unapredi kvalitet više-periodnog procesa planiranja.

LITERATURA

[1] T. Gonen and I. Ramirez-Rosado, 1986, “Review of distribution system planning models: a model for optimal multi-stage planning”*, IEE Proc-C*, Vol. 133, no. 7, 397-408.

[2] S.K. Khator and L.C.Leung, 1997, “Power distribution planning: a review of models and issues”, *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 12, No. 3, 1151-1159.

[3] H.L. Willis, 1997, “*Power distribution planning reference book*”, Marcel Dekker Inc.,New York.

[4] V. Miranda, J.V. Ranito and L.M. Proenca, 1994, “Genetic algorithms in optimal multistage distribution network planning”, *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 9, No. 4, 1927-1933.

[5] V. Neiname, 2001, “*On development planning of electricity distribution networks*”, Ph.D. dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

[6] T. Gonen and B.L. Foote, 1982, “Mathematical dynamic optimization model for electrical distribution system planning” , *Elect. Power Energy Syst*., vol. 4, no. 2, 129-136.

[7] M. Vaziri, K. Tomsovic and A. Bose, 2004, “A directed graph formulation of the multistage distribution expansion problem”, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 19, No. 3, 1335-1341.

[8] S. Haffner, L. F. A. Pereira, L. A. Pereira and L. S. Barreto, 2008, “Multistage model for distribution expansion planning with distributed generation-part I: problem formulation” *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 23, no. 2, 915-923.

[9] Y. Tang, 1996, “Power distribution system planning with reliability modeling and optimization”, *IEEE Trans .on Power Systems*, Vol. 11, no. 1,181-189.

[10] D. I. Sun, D.R. Farris, P.J. Cote, R.R. Shoults and M.S. Chen, 1982, “Optimal distribution substation and primary feeder planning via fixed charge network formulation”, *IEEE Trans. on Power App. Syst.*, Vol. PAS-101, 602-609.

[11] I.J. Ramirez-Rosado and T. Gonen, 1991, “Pseudodynamic planning for expansion of power distribution systems”, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, no. 1, 245-253.

[12] W.H. Quintana, H.K. Temraz and K.W Hipel, 1993, “Two-stage power system distribution planning algorithm”, *IEE Proc-C*, vol. 104, no. 1,17-29.

[13] I.J. Ramirez-Rosado and J.L. Bernal-Agustin, 1998, “Genetic algorithms applied to the design of large power distribution systems”, *IEEE Trans. on Power Systems,* Vol. 13, No. 3, 696-703.

[14] K. Nara, T. Satch, K. Aoki and M. Kitagawa, “Multi-year expansion planning for distribution systems”, *IEEE Trans. on Power Systems,* Vol. 6, no. 3, pp. 952-958, August 1991.

[15] E. G. Carrano, L. A. E. Soares, R. H. C. Takahashi, R. R. Saldanah and O. M. Neto, 2006, “Electric distribution network multiobjective design using a problem-specific genetic algorithm”, *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 21, no. 2, 995-1005.

Kontakt informacije autora:
Željko Popović,
PD Elektrovojvodina, ED „Subotica“, Subotica
zeljko.popovic@su.ev.rs
tel.: +381 (0)24 552702
fax: +381 (0)24 546 380