

UPRAVLJANJE RIZIKOM KOD VIŠE-ETAPNOG PLANIRANJA RAZVOJA DISTRIBUTIVNIH MREŽA U PRISUSTVU NEIZVESNOSTI

Ž. N. Popović, PD Elektrovojvodina, Srbija
D. S. Popović, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
V. Đ. Kerleta, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija

UVOD

Planiranje razvoja distributivnih mreža (DM) je veoma kompleksan kombinatorni optimizacioni problem od velikog praktičnog značaja. Veliki broj različitih heurističkih i matematičkih modela predloženih za rešavanje tako kompleksnog problema se može kategorisati na nekoliko načina [1.]-[5.]. Najveći broj predloženih modela koristi deterministički pristup. Međutim planiranje razvoja DM sadrži značajan nivo neizvesnosti, što dodatno povećava kompleksnost problema. Među ostalim, neizvesnost u pogledu iznosa rasta opterećenja ima najveći uticaj na proces planiranja distributivnih mreža [6.]. U prisustvu takve neizvesnosti više mogućih budućnosti se može pojaviti, tj. veliki broj različitih nivoa opterećenja, koji odgovaraju različitim intervalima budućih opterećenja u potrošačkim čvorovima, može da se pojavi u DM u svakoj od etapa razmatranog više-etapnog problema planiranja. Svaka moguća kombinacija jedno-etapnih nivoa opterećenja generiše (definiše) jedan "deterministički" više-etapni problem planiranja. Preme tome, u prisustvu neizvesnosti umesto jednog, kao što je to slučaja kod determinističkog pristupa, veliki broj različitih više-etapnih planova razvoja može postojati. Uzimajući u obzir da se u svakoj etapi može pojaviti više različitih nivoa opterećenja (različitih vrednosti opterećenja u potrošačkim čvorovima), u nekim od više-etapnih planova razvoja se mogu pojaviti preopterećenja pojedinih elemenata a zbog toga i neisporučena električna energija. U ovakvom okruženju cilj donosioca odluke tj. cilj procesa planiranja postaje određivanje takvog više-etapnog plana razvoja koji minimizira rizik od značajnih finansijskih troškova, tj. rizik od značajnih investicionih troškova i troškova nesporučenog električne energije. Uprkos značaju ovoga problema, relativno mali broj predloženih pristupa uvažava postojanje neizvesnosti u planiranju razvoja DM [7.]-[9.]. Jedan od osnovnih nedostatak ovih modela je to što ne uzimaju u obzir troškove neisporučene električne energije usled preopterećenja koja se mogu pojaviti u mreži u normalnim uslovima rada. Samim tim oni ne mogu uvažiti (i oceniti) postojanje različitih programa upravljanja opterećenjem (DSM) koji omogućuju da se izvrši selektivna redukcija opterećenja u mreži i na taj način spreči pojava preopterećenja odnosno neselektivnih isključenja koja prouzrokuju troškove usled neisporučene električne energije. Pored toga, predloženi modeli koriste kriterijum minimalnog žaljenja (minimal Regret) za procenu rizika odnosno izbor najboljeg plana razvoja, što može dovesti do previše

pesimističkog rezultata. Naime, preopterećenja u mreži se mogu pojaviti na više elemenata (više puta) u različitim delovima mreže i u različitim etapama. Zbog toga je potrebno koristiti kriterijume za merenje (ocenu) rizika koji uzimaju u obzir izvesnost (verovatnoću) pojavljivanja preopterećenja (npr. kriterijum maksimalne očekivane vrednosti (max EMV)).

U ovome radu je predložena procedura za više-etapno planiranje razvoja distributivnih mreža u prisustvu neizvesnosti zasnovana na teoriji fazi skupova, novom pseudo dinamičkom algoritmu, fazi mešovitom celobrojnom linearnom programiranju i alatima za upravljenje (ocenu) rizika. Fazi skupovi se koriste za modelovanje neizvesnosti budućeg rasta opterećenja čime se omogućuje uvažavanje više različitih nivoa opterećenja u mreži u svakoj od razmatranih etapa. Da bi praktični više-etapni problemi planiranja u prisustvu neizvesnosti bili računarski izvodljivi (izračunljivi) predložena je nova procedura za generisanje dovoljnog broja "determinističkih" više-etapnih problema planiranja koji u potpunosti opisuju neizvesnost rasta opterećenja. Svaki više-etapni problem planiranja se rešava primenom pseudo dinamičkog algoritma, predstavljenog u [10.]. Time se više-etapni problem dekomponuje u niz jedno-etapnih problema koji se rešavaju primenom odgovarajućeg fazi mešovitog celobrojnog linearnog modela. Za svaki više-etapni plan razvoja se određuje fazi trošak neisporučene električne energije usled preopterećenje kao i odgovarajuća izvesnost pojavljivanja preopterećenja u svakoj od etapa uzimajući u obzir mogućnosti postojećeg (ili budućeg, planiranog) programa upravljanja opterećenjem (DSM). Za određivanje najboljeg više-etapnog plana razvoja se koristi kriterijum maksimalne očekivane korisnosti (dobiti) (max EMV) koji (pr)ocenuje rizik uzimajući u obzir izvesnost pojavljivanja preopterećenja tj. neisporučene električne energije. Na ovaj način predložena procedura omogućuje donosiocu odluke da izabere više-etapni plan razvoja koji obezbeđuje optimalni balans između investicionih troškova i očekivanih troškova usled neisporučene električne energije, tj. koji minimizira rizik od značajnih troškova razvoja distributivne mreže.

PROCEDURA ZA VIŠE-ETAPNO PLANIRANJA DM U PRISUSTVU NEIZVESNOSTI

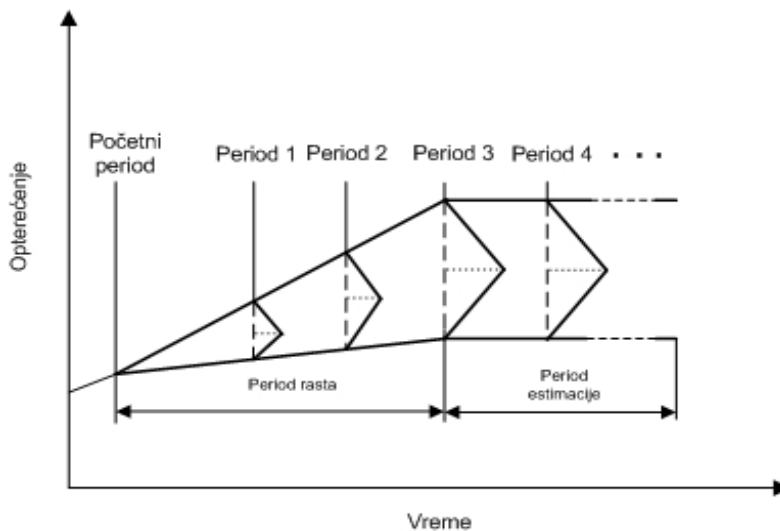
Modelovanje budućeg rasta opterećenja

Celokupni period planiranja se ovde deli u dva perioda: period rasta opterećenja i period estimacije, kao što je prikazano na slici 1. U prvom periodu se određuju sva proširenja (pojačanja postojećih i izgradnja novih elemenata) neophodna da bi se zadovoljio budući rast opterećenja. Ekonomska efikasnost ovih akcija (odluka) se procenjuje u drugom periodu, razmatrajući ceo ekonomski životni vek ugrađene opreme (25-30 godina).

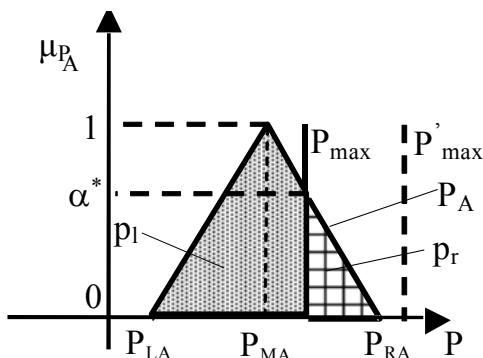
Budući rast opterećenja, koji se pojavljuje u prvom periodu, se ovde modeluje korišćenjem koncepta fazi budućnosti. Ovaj koncept, prikazan na slici 1, odslikava realnost u kojoj iznos budućeg rasta opterećenja može biti određen (procenjen) samo približno kao i činjenicu da stepen (nivo) neizvesnosti raste sa brojem budućih etapa koje se razmatraju [6.,7.]. Predloženi koncept se može opisati na sledeći, lingvistički, način: "u periodu rasta opterećenja (npr. u narednih 10 godina) se očekuje da rast opterećenja bude oko 2% godišnje, ne manji od 1% godišnje i ne veći od 3% godišnje". Ovakvom formulacijom se vrednost budućih opterećenja prevodi u domen fazi veličina i opisuje se pomoću trougaonog fazi broja (TFN) \tilde{P} , prikazanog na slici 2. Ovakav opis znači (definiše) da se očekuje da opterećenje u nekom potrošačkom čvoru i u nekom vremenskom trenutku bude oko srednje vrednosti P_M , ne manje od P_L i ne veće od P_R . Zbog ovakvog načina definisanja opterećenja očigledno je da se u svakom potrošačkom čvoru u svakoj etapi može pojaviti više različitih vrednosti (nivoa) opterećenja pa se prema tome može pojaviti (razmatrati) i više različitih vrednosti snaga koje teku po granama razmatrane mreže.

Modelovanje operativnih ograničenja

Razmatraćemo postojeću granu A koja ima termički kapacitet P_{max} u budućoj etapi t . Iznos snage koja teče preko grane A u etapi t se ovde određuje kao suma svih budućih opterećenja u čvorovima koji se napajaju preko te grane. Pošto su buduća opterećenja opisana kao TFN i tok snage u grani A će takođe biti opisan kao TFN (\tilde{P}_A) dok je termički kapacitet grane predstavljen kao deterministička (crisp) veličina (P_{max}), što je i prikazano na slici 2.



Slika.1. Fazi budućnost



Slika 2. Fazi tok snage i kapacitet grane A.

Neophodnost zadovoljavanja termičkog kapaciteta grane A u fazi notaciji je definisana na sledeći način:

$$\tilde{P}_A \lesssim P_{\max} \quad (1)$$

Ovo fazi ograničenje može biti napisano i u terminima determinističkih (krisp) veličina (defazifikovano) na sledeći način:

$$P_{MA} + \delta \cdot r_{\tilde{P}_A} \leq P_{\max} \quad (2)$$

$$P_{MA} - \delta \cdot l_{\tilde{P}_A} \leq P_{\max} \quad (3)$$

gde je $\delta=1-\alpha$, dok $r_{\tilde{P}_A}$ i $l_{\tilde{P}_A}$ označavaju levi i desni opseg (raspon) fazi broja \tilde{P}_A ($l_{\tilde{P}_A} = P_{MA}-P_{LA}$, $r_{\tilde{P}_A} = P_{RA}-P_{MA}$). Relacija (2) se odnosi na desnu stranu a relacija (3) na levu stranu trouganog fazi broja \tilde{P}_A . Parametar δ definiše nivo opterećenja koji mogu da se pojave u mreži, kao što je to pokazano u nastavku teksta.

Postavljanjem vrednosti $\delta=1$ u relaciji (2) je definisano maksimalno moguće opterećenje koje može da se pojavi u svim potrošačkim čvorovima koji se napajaju preko grane A (u etapi t) a time i maksimalno mogući tok snage koji se može pojaviti na grani A. U ovom slučaju, kao što je prikazano na slici 2, termički kapacitet grane A je narušen i mora biti povećan sa vrednosti P_{\max} na vrednost P'_{\max} u etapi t (preseka grane A mora biti povećan). U slučaju kada je $\delta=\delta^*$ (videti sliku 2), nivo opterećenja (tereta) u svim čvorovima koji se napajaju preko grane A je takav da njihova suma neće biti veća od P_{\max} . Prema tome, u ovom slučaju nije potrebno povećavati kapacitet (preseka) grane A u etapi t . Međutim, sada postoji izvesnost (verovatnoća) da grana A postane preopterećena ako se pojavi tok snage (opterećenje, tj. suma

opterećenja svih čvorova napajanih preko grane A) veći od P_{max} . Verovatnoća pojavljivanja toka snage većeg od P_{max} na grani A se računa na sledeći način [11.]:

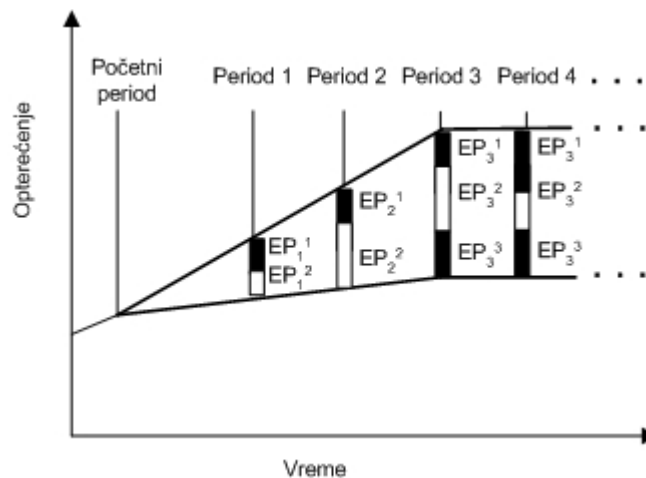
$$S_{\bar{P}_A} = \frac{P_r}{p_l + p_r} \cdot 100 [\%], \quad (4)$$

gde su p_l i p_r površine ispod funkcije pripadnosti trougaonog fazi broja, levo i desno od termičkog kapaciteta P_{max} , respektivno (videti sliku 2). Dakle, sa izvesnošću S_p grana A će biti preopterećena i fazi opterećenja u nekim potrošačkim čvorovima će morati da se isključe da bi se grana A rasteretila. To znači i da će se fazi neisporučena električna energija usled preopterećenja grane A pojaviti sa izvesnošću S_p . Prema tome, menjajući vrednosti parametra δ u intervalu $0 - 1$, u relacijama (2) i (3), za sve grane u razmatranoj mreži, može se generisati (dobiti) veliki broj različitih nivoa opterećenja i njima odgovarajućih posledica (neisporučena električna energija i pripadajuća izvesnost) u svakoj etapi..

Formulisane više-etapnog problema planiranja u prisustvu neizvesnosti

Postojanje više različitih nivoa opterećenja u svakoj etapi razmatranog više-etapnog problema planiranja ima za posledicu i postojanje više različitih više-etapnih problema planiranja. Broj mogućih više-etapnih problema je jednak broju svih mogućih kombinacija jedno-etapnih nivoa opterećenja u svim posmatranim etapama i može biti izuzetno velik. Zbog toga čak i problemi male dimenzionalnosti mogu postati ne izračunljivi u prisustvu neizvesnosti. Međutim, granularnost veličina (preseka, instalisanih snaga) elemenata u distributivnim mrežama (vodova, transformatora) ima za posledicu da će više nivoa opterećenja odgovarati istom planu razvoja tj. da će isti plan razvoja biti optimalan za određeni opseg (interval) opterećenja. Ovaj koncept je prikazan na slici 3 gde je sa EP_j^i označen i -ti jedno-etapni plan razvoja u etapi j koji je optimalan za određeni interval (opseg) opterećenja. Prema predloženom konceptu jedna nivo opterećenja će se razmatrati umesto većeg broja različitih nivoa opterećenja. Ovaj nivo može biti bilo koje od opterećenja iz definisanog intervala (opsega) (npr. maksimalno opterećenje u datom intervalu). Na ovaj način je znatno redukovano broj više-etapnih problema planiranja koji moraju da se rešavaju i postaje jednak ukupnom broju mogućih kombinacija intervala (opsega) opterećenja u svakoj od razmatranih etapa.

Pošto rast opterećenja postoji samo u prvom periodu kompletan više-etapni problem planiranja će se definisati i rešavati samo za one etape koje se nalaze u tom periodu. Na taj način će se dobiti određen broj osnovnih više-etapnih planova razvoja. U nekim od tih planova neisporučena električna energija usled preopterećenja može da se pojavi u poslednjoj etapi prvog period, kao što se može zaključiti sa slike 4. Zbog toga je potrebno proceniti dugoročne posledice (ekonomske efekte) svakog od takvih osnovnih planova. To se radi na sledeći način. Svaki osnovni plan može ostati nepromenjen u drugom periodu što dovodi do pojave neisporučene električne energije usled preopterećenja u svim etapama drugog perioda. Ovakvo rešenje se tertira kao jedan mogući više-etapni plan razvoja za celokupan period



Slika 3. Intervali opterećenja

planiranja – dugoročni više-etapni plan razvoja. Takođe je moguće da se osnovni plan razvoja unapredi (dogradi) u nekoj etapi drugoga perioda tako da se spreči (onemogućí) pojava preopterećenja u toj i u svim nardenim etapama drugog perioda. Na ovaj način se dobija novi dugoročni više-etapni plan razvoja. Prema tome, dograđujući (unapređujući) određeni osnovni više-etapni plan razvoja u svakoj etapi drugoga perioda dobija se niz dugoročnih više-etapnih planova razvoja. Na predloženi način se i ocenjuju moguće dugoročne posledice (troškovi pojačnja, troškovi neisporučene električne energije usled preopterećenja) za svaki od osnovnih više-etapnih planova razvoja.

Izbor najboljeg više-etapnog plana razvoja, među skupom palnova razvoja dobijenim na gore opisani način, nije tako očigledno. Naime, ukoliko se kao najbolji izabere više-etapni plan razvoja koji je optimalan za određenu kombinaciju nivoa (intervala) opterećenja tada će određeni deo novca biti "izgubljen" ako budući rast opterećenja bude veći ili manji od očekivanog. U prvom slučaju će se pojaviti neisporučena električna energija usled preopterećenja i prouzrokovati dodatne troškove dok će u drugome slučaju elementi u mreži postati predimenzionisani i deo novca će biti izgubljen zbog preinvestiranja. Ovo znači da najbolji više-etapni plan razvoja mora da osigura (obezbedi) optimalan balans između investicionih troškova i troškova neisporučene električne energije usled preopterećenja tj. da minimizira rizik od značajnih troškova razvoja (finansijskih gubitaka) u razmatranom periodu planiranja. Zbog toga se u procesu izbora najboljeg više-etapnog plana razvoja moraju koristiti odgovarajući alati za procenu (merenje) rizika.

Na osnovu prethodnih razmatranja, procedura za rešavanje više-etapnih problema planiranja u prisustvu neizvesnosti se sastoji iz sledećih koraka:

1. Primenom fazi mešovitog celobrojnog linearnog modela, koji zbog ograničenosti prostora nije prikazan u radu, određuju se optimalni jedno-etapni planovi razvoja za svaki nivo opterećenja u svakoj etapi prvog perioda, polazeći od stanja mreže u baznoj godini (sadašnjost). Na bazi dobijenih rezultata se određuju intervali (opseg) opterećenja koji odgovaraju istom jedno-etapnom planu razvoja.

2. Bazni više-etapni problemi se definišu za svaku kombinaciju definisanih intervala opterećenja (određenih u prethodnom koraku) i rešavaju primenom pseudo dinamičkog algoritma prikazanog u literaturi [10].

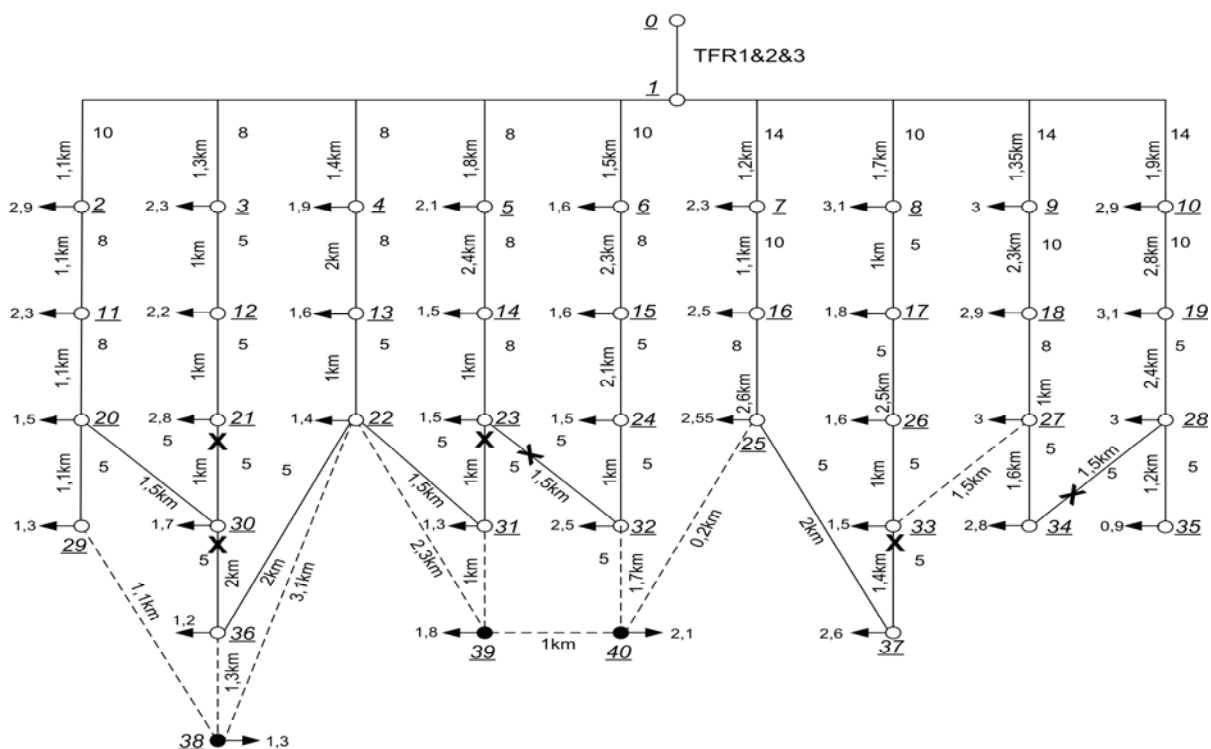
3. Dugoročni više-etapni planovi razvoja se generišu za svaki bazni više-etapni plan razvoja u kome se mogu pojaviti preopterećenja elemenata (tj. neisporučena električna energija usled preopterećenja) u poslednjoj etapi.

4. Moguće posledice (fazi troškovi neisporučene električne energije i pripadajuća izvesnost) se određuju u svakoj etapi svakog dugoročnog više-etapnog plana razvoja.

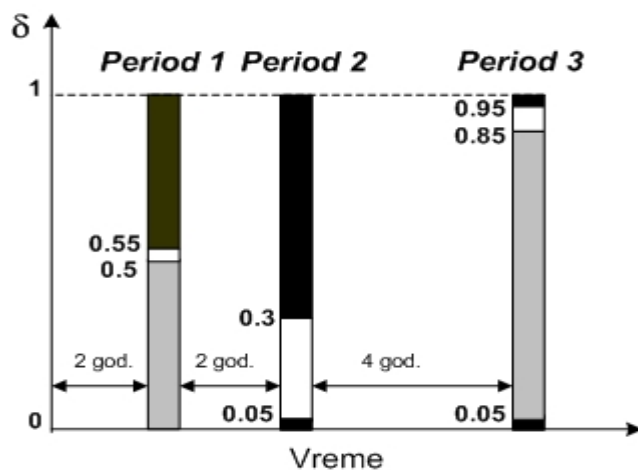
5. Dugoročni više-etapni planovi razvoja, zajedno sa pripadajućim posledicama, se ocenjuju na osnovu kriterijuma za ocenu rizika baziranog na maksimizaciji očekivane dobiti (max EMV) tj. minimizaciji očekivanih troškova [12.] i bira se najbolji više-etapni plan razvoja.

PRIMER PRIMENE

Predložena procedura je primenjena za rešavanje više-etapnog problema planiranja u prisustvu neizvesnosti za DM prikazanu na slici 4. U periodu rasta opterećenja razmatraju se 3 etape (rastojanje između prve dve etape je 2 godine a između druge i treće etape je 4 godine) dok se u periodu estimacije razmatra 6 etapa sa trajanjem od 4 godine između svake etape. Test mreža se sastoji od 44 postojeće grane (pune linija) i 8 mogućih novih grana (isprekidane linije). Svaka grana može da se izgradi ili pojača na jedan od 4 moguća preseka. Troškovi izgradnje i pojačanja za svaki od preseka su prikazani u Tabeli I. Kapaciteti postojećih grana u početnoj godini (u MVA) su označeni odgovarajućim brojem na slici 4 a njihove dužine su date u km. Predpostavljeno je da u svakoj grani postoji prkidački uređaj. Grane sa normalno otvorenim prekidačima su označene sa "X". Praznim kružićima je označeno 36 postojećih potrošačkih čvorova dok su 3 buduća potrošačka čvora označena punim kružićima. Opterećenja u čvorovima su data u MVA. U čvoru **40** opterećenje se pojavljuje u prvoj etapi a opterećenja u čvorovima **38** i **39** u drugoj etapi. Smatra se da rast opterećenja iznosi oko 1% godišnje ali ne više od 3% godišnje u razmatranom 3-etapnom periodu. Ova neizvesnost se prevodi u trougaoni fazi broj (1.01, 1.01, 1.03) a rast opterećenja u svakom čvoru se izračunava kao proizvod opterećenja iz prethodne godine i ovoga fazi broja. Predpostavljeno je da se potrošači u slučaju preopterećenja isključuju 100 časova godišnje. Takođe, dve cene neisporučene električne energije su razmatrane: 0,5 \$/kWh i 10 \$/kWh. Primenjujući prvi korak opisane procedure dobijeni su intervali opterećenja u svakoj od tri etape iz prvog perioda.



Slika 4 – Test sistem



Slika 5 – Intervali opterećenja u etapama prvog perioda

Dobijeni rezultati su prikazani na slici 5, u terminima parametra δ . Na bazi ovih rezultata 36 osnovnih više-etapnih problema je definisano. Za svaki od njih osnovni više-etapni plan razvoja je određen primenom predloženog pseudo dinamičkog algoritma i odgovarajućeg fazi mešovitog celobrojnog modela. Zatim je određeno 6 dugoročnih više-etapnih planova razvoja za svaki od 25 osnovnih planova razvoja u kojima se opterećenja mogu pojaviti u poslednjoj etapi prvog perioda. Tako je dobijen 161 dugoročni više-etapni plan razvoja. Očekivani svedeni fazi troškovi usled neisporučene električne energije su određeni, za obe cene, u svakoj etapi za svako od dugoročnih planova. Konačno, svi dugoročni planovi su ocenjeni na osnovu max EMV kriterijuma za procenu rizika. Tri karakteristična plana razvoja (EP1, EP2, EP3) su detaljnije razmatrana. Za svaki od njih u Tabeli II je dat skup potrebnih proširenja u DM.

Prvi plan (EP1) je karakterističan zato što se neisporučena električna energija ne može pojaviti bez obzira na veličinu opterećenje koja može da se pojavi u budućnosti u potrošačkim čvorovima, tj. pojačanja i izgradnja u DM su takvi da preopterećenja nisu moguća. Svedeni investicioni troškovi ovoga plana razvoja

TABELA I. – TROŠAK IZGRADNJE I POJAČANJA

Trošak [$\$ \times 10^3/\text{km}$]				
Na \ Od	5	8	10	14
0 [MVA]	60	80	100	140
5 [MVA]	-	72	91	120
8 [MVA]	-	-	85	105
10 [MVA]	-	-	-	90

TABELA II. – POJAČANJA I IZGRADNJA

	Grana	EP1	EP2	EP3
		Veličina [MVA]	Veličina [MVA]	Veličina [MVA]
Etapa 1	<u>3 - 12</u>	8	8	8
	<u>7 - 16</u>	14	14	
	<u>8 - 17</u>	8	8	
	<u>25 - 40</u>	5	5	5
Etapa 2	<u>1 - 2</u>	14	14	14
	<u>1 - 5</u>	-	10	10
	<u>7 - 16</u>	-	-	14
	<u>8 - 17</u>	-	-	8
	<u>2 - 11</u>	14	-	
	<u>22 - 39</u>	5	-	
	<u>29 - 38</u>	5	-	
	<u>31 - 39</u>	-	5	5
	<u>36 - 38</u>	-	5	5
Etapa 3	-	-	-	
Etapa 9	<u>2 - 11</u>		14	14

iznose 443324\$ i najveći su među svim razmatranim planovima dok su troškovi neisporučene električne energije najmanji tj. jednaki nuli. Birajući ovaj plan kao optimalan donosilac odluke će "izgubiti" izvesnu količinu novca ukoliko se u budućnosti pojave opterećenja manja od maksimalno mogućih jer će neki od elemenata postati predimenzionisani. Drugi plan (EP2) predstavlja najbolji više-etapni plan razvoja sa stanovišta Max EMV kriterijuma za procenu rizika, uzimajući da je cena neisporučene el. energije 10 \$/kWh. U ovome planu svedeni investicioni troškovi su manji ali se javljaju troškovi usled neisporučene el. energije. Suma svedenih investicionih troškova i očekivanih troškova usled neisporučene električne energije iznosi 437360\$ i najmanja je u ovome planu među svim razmatranim planovima. Birajući ovaj plan kao najbolji donosilac odluke očekuje da će "izgubiti" najmanje novca koji god rast opterećenja da se desi, tj. optimalan balans između investicionih troškova i očekivanih troškova usled neisporučene el. energije je postignut u ovome planu. Treći plan (EP3), sa ukupnim očekivanim svedenim troškom od 422443\$, predstavlja najbolje rešenje, na osnovu usvojenog kriterijuma za merenje rizika, kada je cena neisporučene el. energije 0,5 \$/kWh. Ova cena se može tretirati kao podsticaj koji dobijaju učesnici nekog programa upravljana opterećenjem (DSM programa). Naime, učesnici u nekom DSM programu obično smanjuju potrošnju (dobrovoljno ili putem direktne kontrole rada određenih uređaja od strane distributivne kompanije) i za to dobijaju određene naknade. Plan razvoja EP3 će biti optimalan više-etapni plan razvoja ako postoji (ili se planira njegovo uvođenje) DSM program čijom primenom je moguće sprečiti pojavu bilo kakvih preopterećenja u DM uz davanje naknade učesnicima u akcijama kontrole od 0,5 \$/kWh. Prema tome, koristeći predloženu proceduru planiranja mogu se proceniti dugoročna efikasnost različitih DSM programa. Štaviše, varirajući cene neisporučene el. energije moguće je odrediti koliki treba da budu dugoročni podsticaji učesnicima u određenom DSM programu.

ZAKLJUČAK

U ovome radu je predstavljena nova procedura za više-etapno planiranje DM u prisustvu neizvesnosti. Cilj procedure je da odredi više-etapni plan razvoja koji minimizira rizik od značajnih troškova razvoja, tj. koji obezbeđuje optimalan balans između investicionih troškova i očekivanih troškova neisporučene električne energije usled mogućih preopterećenja u mreži. Ovo zahteva generisanje i ocenu računarski prihvatljivog (izračunljivog) broja više-etapnih planova razvoja i njihovih posledica (neisporučene električne energije i odgovarajućih izvesnosti). To je postignuto primenom teorije fazi skupova i novog načina generisanja više-etapnih problema planiranja. Definisani problemi su rešavani primenom pseudo dinamičkog algoritma i fazi mešovitog celobrojnog linearnog modela. Svi dobijeni planovi razvoja, zajedno sa odgovarajućim posledicama su ocenjeni i najbolji je izabran na osnovu max EMV kriterijuma za procenu rizika. Predložena procedura prevazilazi nekoliko nedostataka ranije predloženih pristupa i omogućava uvažavanje (verifikaciju) različitih DSM programa u procesu planiranja. Dobijeni rezultati su pokazali da predložena procedura ima veliki potencijal da unapredi proces planiranja u prisustvu neizvesnosti.

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. P. Linares, 2002, "Multiple Criteria Decision Making and Risk Analysis as Risk Management Tools for Power Systems Planning", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 17, no. 3, 895-900.
7. V. Miranda, L.M. Proenca, 1995, "A General Methodology for Distribution Planning Under Uncertainty, Including Genetic Algorithms and Fuzzy Models in a Multi-criteria Environment", Proceedings of Stockholm Power Tech SPT'95, 832-837.
8. I.J. Ramirez-Rosado, J.A. Domniguez-Navarro, 2004, "Possibilistic Model Based on Fuzzy Sets for the Multiobjective Optimal Planning of Electric Power Distribution Networks", IEEE Trans. on PWRS, Vol. 19, No. 4, 1801-1810.
9. I.J. Ramirez-Rosado, J.A. Domniguez-Navarro, 2006, "New Multiobjective Tabu Search Algorithm for Fuzzy Optimal Planning of Power Distribution Systems", IEEE Trans. on PWRS, Vol. 21, No. 1, 224-233.
10. Ž. Popović, D. Popović, V. Kerleta, 2007, "Risk Management Based Procedure for Multi-Stage Expansion Planning of Distribution Networks under Uncertainty", in Proceedings of 19th conference on electricity distribution CIRED.
11. J. Nahman, D. Perić, 1999, "The Quality of Supply Assessment of the Technical Limits of a Distribution Network", in Proceedings of the 16th conference on electricity distribution CIRED.
12. D. Popović, Ž. Popović, 2004, "A Risk Management Procedure for Supply Restoration in Distribution Networks", IEEE Trans. on PWRS, vol. 19, no. 1, 221-229.