

## VIŠEKRITERIJUMSKO PLANIRANJE AKTIVNOSTI NA ODRŽAVANJU NADZEMNE MREŽE

B. KOJIČIĆ, Istraživačko-razvojni centar "Alfatec", Niš, Srbija  
A. JANJIĆ, Elektronski Fakultet, Niš, Srbija

### UVOD

Kako bi ostali konkurentni u tržišnim uslovima, u većini proizvodnih i uslužnih sistema dobra organizacija održavanja sve više postaje kritična funkcionalna oblast. U novije vreme ovo je veoma važno i za sisteme za proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije. Povećana uloga održavanja ogleda se u tome što su izdvajanja za održavanje veoma velika, negde se procenjuje da su oko 30% svih troškova, zapravo troškovi održavanja. Iz tog razloga planiranje održavanja mora postati veoma važan deo planiranja za efikasan rad celog sistema.

Distributivne mreže su deo elektroenergetskog sistema koji bi kako zbog rasprostranjenosti, tako i zbog sigurnosti napajanja potrošača trebalo najintenzivnije održavati. Kako su budžeti za održavanje značajan deo troškova, ova oblast je bila tema velikog broja istraživanja u poslednjih nekoliko godina. Da bi planiranje u elektroenergetskim sistemima bilo što efikasnije i tačnije, neophodno je imati dobre alate za podršku upravljanju resursima i odlučivanju prilikom planiranja održavanja. Efikasnost planiranja može u velikoj meri da zavisi od vrste, cilja i izabranog vremenskog trenutka aktivnosti održavanja.

U radu je predstavljen matematički više-kriterijumski model donošenja odluka kao pomoć pri izboru vremena za preventivno održavanje u distributivnim sistemima, sa tri kriterijuma koji imaju najveći uticaj na donošenje odluka: pouzdanost, troškovi održavanja i zastoji usled održavanja. Model čuva neke važne koncepte iz klasičnih modela, pri čemu uzima kriterijum zastoja u obzir, čime se uvažavaju i neki bitni potrošači kod kojih zastoji, iako planirani, mogu proizvesti velike troškove.

Cilj održavanja je produžavanje radnog veka opreme i/ili smanjanja mogućnosti njenog otkaza. Različite organizacije imaju različite strategije za održavanje opreme. Ove strategije grubo mogu da budu klasifikovane kao korektivne ili preventivne. Korektivno održavanje je takođe poznato kao održavanje pri kome oprema radi sve dok se ne desi neki kvar pri kome ona ne bi bila upotrebljiva. Međutim, preventivno održavanje se izvodi na opremi pre nego što se desi bilo kakav kvar. Tri osnovna pristupa za preventivno održavanje su: 1) vremenski planirano održavanje; 2) održavanje vezano za stanje opreme; i 3) održavanje usmereno na pouzdanost [1].

U ovom radu je fokus na vremenski planiranom održavanju, pa je sa tim u vezi važno pomenuti da je plan održavanja distributivnog sistema akcioni plan čiji je cilj da produži životni ciklus sistema, kako bi se redukovala cena funkcionisanja celog sistema. Održavanje je takođe usko povezano sa pouzdanošću. Ako su akcije održavanja retke, može se doći u takvu situaciju da se ima veliki broj kvarova i nestanaka napajanja, ali ako su

ove akcije česte cena održavanja se drastično povećava. Prema tome, neophodno je napraviti adekvatan balans između cene održavanja i cene nestanka napajanja.

Metodologija predložena u ovom radu određuje optimalni raspored akcija za jedan višegodišnji plan održavanja. Glavna ideja je da se napravi najbolji kompromis između sledeće tri kriterijuma: pouzdanosti, cene održavanja i neraspoloživosti sistema i da se uspostave intervali zamene elemenata sistema. Matematički model korićen kao osnova, a koji je predložen u radu [2] je bazirana na Organizacionoj Metodi Rangiranja Prioriteta za Unapređenu Evaluaciju (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation PROMETHEE) integriše Bajesov pristup sa obzirom na prioritet koji postavlja donosilac odluke.

## MATEMATIČKI ZAHTEVI

U cilju planiranja programa održavanja datog u ovom istraživanju, potrebno je da raspodela verovatnoće otkaza nekog elementa bude takva da se verovatnoća otkaza povećava sa godinama. Weibulov model je najrasprostranjenija raspodela koja zadovoljava ovaj preduslov. Ona se može predstaviti sledećom jednačinom:

$$f(t) = \frac{a}{b} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1}, \quad b, a > 0, t > 0 \quad (1)$$

### Značajni kriterijumi za donošenje odluka

Kako bi se predloženi model ispitao i bolje razumeo, ovde su uzeta tri kriterijuma koji su najuticajniji na zamenu nekog elementa nadzemne elektroenergetske mreže. Pomenuti kriterijumi su:

- Ukupna cena održavanja nekog elementa u jedinici vremena
- Pouzdanost
- Ukupno vreme neraspoloživosti u jedinici vremena

Pouzdanost  $R(t)$  je verovatnoća da će određena komponenta ili deo sistema raditi ispravno i obavljati svoju funkciju za specificirano vreme. [2]

Pouzdanost se može predstaviti jednačinom:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} \quad (2)$$

Gde su:

- $b$  je parametar oblika Weibulove raspodele verovatnoće
- $a$  je parametar skaliranja Weibulove raspodele verovatnoće

Neraspoloživost se odnosi na vreme kad komponenta sistema nije u funkciji zbog kvara. U mnogim slučajevima, ovaj kriterijum je u velikoj meri značajan. To se naročito odražava na one sisteme u kojima je kontinuitet u proizvodnom procesu od vitalnog značaja. Ovaj kriterijum ima tačno izražen optimum, jer je svakako nemoguće izbeći neraspoloživost prilikom preventivnog održavanja. Time se stvara jedan paradoks, a to je da bi se izbegla veliko vreme neraspoloživost zbog kvarova, potrebno je napraviti da sistem bude više puta neraspoloživ ali u ukupnom vremenu koje je kraće od neraspoloživosti zbog kvarova.

Neraspoloživost se može izraziti matematički kao:

$$D(t) = \frac{T_{sp}R(t) + T_{sf}[1-R(t)]}{\int_0^t x f(x) dx + (t + T_{sp})R(t) + T_{sf}[1-R(t)]} \quad (3)$$

Kada se određuje vreme između akcija preventivnog održavanja, uobičajen kriterijum u procesu donošenja odluka je očekivana cena po jedinici vremena, označena sa  $C_m$ . U praksi, ovaj kriterijum opisuje očekivanu cenu na kraju dogovorenog perioda vremena gde je politika zamene već primenjena. Ova cena u sebi sadrži i podatke o ceni zamene elementa pre kvara i ceni zamene nakon kvara. Ove dve cene označene su sa  $C_b$  i  $C_a$ , respektivno. [3]

$$C_m(t) = \frac{C_b R(t) + C_a [1-R(t)]}{\int_0^t x f(x) dx + (t + T_{sp})R(t) + T_{sf}[1-R(t)]} \quad (4)$$

U prethodnim jednačinama odgovarajuće oznake su:

$C_a$  – Cena zamene pre otkaza  
 $C_b$  – Cena zamene zbog otkaza  
 $T_{sp}$  – Vreme potrebno za preventivnu zamenu  
 $T_{sf}$  – Vreme potrebno za zamenu zbog otkaza  
 $t$  – vreme između zamena  
 $R$  – pouzdanost za vreme  $t$   
 $f(x)$  – funkcija raspodele verovatnoće za vreme otkaza

## PROMETHEE II metoda

Nakon procene parametara za Veibull raspodele verovatnoće, evaluacija kriterijuma troškova, pouzdanost i neraspoloživosti, a zatim i donošenje odluka procenjuje se korišćenjem metode PROMETHEE. [2]

Problem izbora ili rangiranja alternativa na osnovu datih evaluacija više kriterijuma nije jednostavan problem. Mnogi kriterijumi su u međusobnim konfliktima, pa prema tome treba uzeti kompromisna rešenja u obzir. Najefikasnije i najkorišćenije metode u ovoj oblasti su iz tog razloga PROMETHEE metode, jer uzimaju u obzir i konflikte kriterijuma i evaluiraju ih. Pri tome se počinje od matrice evaluacija alternativa u odnosu na odgovarajući skup kriterijuma (videti Tabelu 1):

**TABELA 1.** MATRICA PARAMETARA EVALUACIJE

	$f_1$	$f_2$	$f_k$
$a_1$	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	$f_k(a_1)$
$a_2$	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	$f_k(a_2)$
:			
$a_k$	$f_1(a_k)$	$f_2(a_k)$	$f_k(a_k)$
:			
$a_n$	$f_1(a_n)$	$f_2(a_n)$	$f_k(a_n)$

A je prebrojiv skup  $n$  potencijalnih akcija, a  $f_j(\cdot)$ ,  $j=1,2,\dots,k$  je skup evaluacionih kriterijuma. Kao što je pomenuto, ovde su u obzir uzeta tri kriterijuma cena, pouzdanost i neraspoloživost. Skup alternativa A je skup vremenskih intervala za koje je moguće zameniti neku komponentu sistema.

Struktura određivanja prioriteta kod PROMETHEE metoda je zasnovana na poređenju odgovarajućih evaluacionih parova. U ovom slučaju je devijacija evaluacija između dve alternative određenog kriterijuma uzeta u obzir. Za svaki kriterijum se definiše odgovarajuća funkcija prioriteta  $P_j(\cdot)$ . Ova funkcija se koristi za izračunavanje prioriteta povezanog sa devijacijom ili razlikom  $d_j(\cdot)$  između evaluacija kriterijuma  $f_j(\cdot)$  za par alternativa. Što je veća devijacija, veći je prioritet. Prema tome, okvir prioriteta je zasnovan na ovim razlikama, a ne na apsolutnim vrednostima evaluacija alternativa za svaki kriterijum.

$$d_j(a, b) = f_j(a) - f_j(b) \quad (5)$$

$$P_j(a, b) = P_j[d_j(a, b)] \quad (6)$$

Indeks  $P_j(a,b)$  je mera prioriteta a u odnosu na b, kada se u obzir uzmu svi kriterijumi. Ova mera podržava tezu da a ima prioritet nad b na osnovu sledeće relacije:

$$p(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j \quad (7)$$

Slično,  $P_j(b,a)$  označava koliko je b većeg prioriteta u odnosu na a. U većini slučajeva postoje kriterijumi koji favorizuju b, a drugi favorizuju a. Prema tome,  $P_j(b,a)$  i  $P_j(a,b)$  su obično pozitivni.

Nakon određivanja  $P_j(b,a)$  i  $P_j(a,b)$ , izračunaju za svaki par alternativa skupa A, dobija se skup kompletno vrednovanih merenja rangiranja, koji se naziva tok rangiranja.

PROMETHEE metoda izračunava pozitivan i negativan tok rangiranja za svaku alternativu. Pozitivni tok rangiranja ukazuje na to koliko je neka alternativa većeg prioriteta od drugih, a negativni tok rangiranja daje informaciju o tome koliko su ostale alternative većeg prioriteta od izabrane. [3]

$$f^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} p(a, x) \quad (8)$$

Gde je  $f^+$  pozitivan tok rangiranja.

$$f^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} p(x, a) \quad (9)$$

Gde je  $f^-$  negativan tok rangiranja.

Kompletno rangiranje, odnosno neto tok rangiranja, daje razliku između pozitivnog i negativnog toka rangiranja. Prema tome, PROMETHEE II daje kompletno rangiranje mogućih scenarija (alternativa) na osnovu zadatih prioriteta. Pri tome alternativa a ima veći prioritet od b ako važi  $f^+(a) > f^+(b)$  i obrnuto b ima veći prioritet od a ako važi  $f^+(a) < f^+(b)$ , ili su indiferentni kada je  $f^+(a) = f^+(b)$ .

$$f(a) = f^+(a) + f^-(a)$$

Gde je f neto tok rangiranja.

### Provera predloženog modela

Matematički model je predstavljen funkcijama u softverskom paketu MATLAB, gde su izvršeni proračuni.

Za analizu ćemo posmatrati ponašanje određenog elementa distributivnog sistema i njegovu karakteristiku otkaza. Kako kvar elementa sistema pored toga što predstavlja njegov gubitak, rezultira i neraspoloživosti dela sistema za eksploataciju, neophodno je isplanirati njegovu zamenu ili remont. Ukoliko znamo karakteristiku starenja tog elementa, legitimno može biti i to da se zamena ili remont komponente vrši nakon određenog vremena. Korišćenje opisanog matematičkog modela za proračun adekvatnog vremena zamene podrazumeva poznavanje cene zamene ( $C_b$ ) i cene popravke ( $C_a$ ) i uvažavanje tri pomenuta kriterijuma.

U tabeli II dati su ulazni podaci u model. Oni predstavljaju karakteristiku otkaza, cene zamene i cene popravke, kao i vremena potrebno za remont i za zamenu. Ukoliko idemo dalje kroz višekriterijumski model donošenja odluka, kada jednom identifikujemo odgovarajuću komponentu sistema, određujemo i odgovarajuće vremenske alternative za zamenu izabrane komponente sistema.

TABELA 2. ULAZNI PARAMETRI

Weibull	$a$	3.6
	$b$	17500
Cena	$C_b$	400
	$C_a$	3000
Vreme	$T_{sp}$	0.1 h
	$T_{sf}$	2.5 h

U tabeli su date akcije  $T_i$  u određenim vremenskim intervalima u godinama.

TABELA 3. MOGUĆE VREMENSKE ALTERNATIVE ZA ZAMENU ELEMENATA

Moguće alternative	Vreme u godinama
T1	1
T2	2
T3	3
T4	4
T5	5
T6	6
T7	7
T8	8
T9	9

T10	10
-----	----

Nakon identifikacije kritičnog elementa sistema koji je podvrgnut analizi i određivanja ulaznih parametara pristupamo proračunima kako je opisano u definisanom matematičkom modelu. To zapravo znači određivanje evaluacione matrice definisanog problema donošenja odluke. U tabeli 4 data je evaluaciona matrica definisanog problema donošenja odluke u kojoj je za svaku vremensku alternativu izvršen proračunata vrednost kriterijuma za donošenje odluka

**TABELA 4.** EVALUACIONA MATRICA DONOŠENJA ODLUKA

Alternativa	Tp(y)	R(tp)	Cm(tp)	D
T1	1	0.999966	0.40005	0.10007112
T2	2	0.999594	0.200536	0.05048925
T3	3	0.998253	0.134894	0.034743
T4	4	0.995086	0.103301	0.027977
T5	5	0.989061	0.085891	0.02531
T6	6	0.97902	0.076105	0.025173
T7	7	0.963741	0.071174	0.026931
T8	8	0.94202	0.069732	0.03028
T9	9	0.91277	0.071016	0.035409
T10	10	0.87514	0.074544	0.041114

Kada je odrađena evaluacija alternativa data u prethodnoj tabeli, donosilac odluka određuje odgovarajuću funkciju prioriteta (Pj (.)). U tabeli 5 su date izabrane funkcije prioriteta iz [3] i njihove odgovarajuće karakteristike.

**TABELA 5.** FUNKCIJE PRIORITETA I NJIHOVE KARAKTERISTIKE

Karakteristike	R	Cm	D
Max/Min	Max	Min	Min
Težina	0.24	0.5074	0.2526
Funkcija prioriteta	Tip 5	Tip 1	Tip 2
Prag neosetljivosti funkcije	0.001	-	0.005
Prag važenja prioriteta	0.01	-	-

Nakon određivanja funkcija prioriteta, određujemo stepen rangiranja  $P_j(a, b)$  između svakog para akcija za svaki kriterijum posebno, odnosno određujemo stepen prioriteta a u odnosu na b, za sve kriterijume. Sledeći korak u PROMETHEE II metodi koji treba uraditi je da se izračuna pozitivan tok rangiranja, negativan tok rangiranja, kao i neto tok rangiranja za svaku alternativu, uz povezivanje sa odgovarajućim vremenskim alternativama kako je prikazano u tabeli 6. Kada se to uradi, uspostavljamo potpuni raspored alternativa, počev od one sa najvećim odovarajućim neto tokom, do one sa najmanjim neto tokom. Krajnji rezultat primene opisanog matematičkog modela, odnosno višekriterijumskog modela donošenja odluka je kompletan raspored predloženih vremenskih alternativa, kao što se može videti na slici 1.

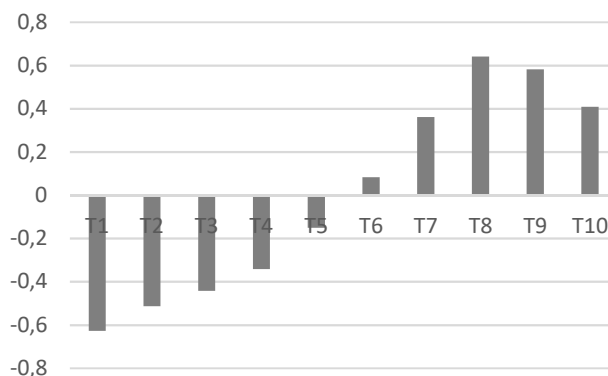
**TABELA 5.** FUNKCIJE PRIORITETA I NJIHOVE KARAKTERISTIKE

Alternativa	Tp(y)	$\phi^+(a)$	$\phi^-(a)$	$\phi(a)$
T1	1	0	5.649102	-0.62768
T2	2	0.5074	5.121827	-0.51271
T3	3	0.562922	4.548021	-0.44279
T4	4	1.056984	4.138402	-0.34238
T5	5	2.382046	3.737	-0.15055
T6	6	3.737	2.9896	0.083044
T7	7	4.9918	1.7348	0.361889
T8	8	6.2466	0.48	0.640733
T9	9	5.9792	0.7474	0.581311
T10	10	5.2044	1.5222	0.409133



## SLIKA 1 . KOMPLETAN RASPORED ALTERNATIVA

Na slici 2 je grafički prikaz vrednosti neto toka na osnovu koga se određuje najbolja vremenska alternativna za zamenu odabranog elementa Sistema. Kako je neto tok najveći za alternativne broj 8, to znači da je najbolje izabrani element Sistema zameniti ili remontovati na 8 godina. Sa slike 1 se može videti da je kompletan raspored alternativna sa slike 1 formiran tako što su slternative poređane od one sa najvećom vrednošću do one sa najmanjom vrednošću. [2] [3]



SLIKA 2 . GRAFIČKI PRIKAZ NETO TOKA ZA SVAKU VREMENSKU ALTERNATIVU

## ZAKLJUČAK

U ovom radu je predložen višekriterijumski model donošenja odluka za planiranje preventivnog održavanja, kojim se odražuje najbolji kompromisni vremenski trenutak za zamenu nekog elementa sistema.

Jedan od najvažnijih ciljeva koji bi trebalo ostvariti daljim razvojem jednog ovakvog pristupa pri planiranju održavanja elektrodistributivnog sistema je taj da se ukaže na važnost šireg sagledavanja stvari prilikom pravljenja politike održavanja. Takođe, tri kriterijuma koja su ovde iskorišćena, nisu apsolutno najvažniji kriterijumi koje bi trebalo uzeti u obzir. Model dozvoljava povećanja broja faktora koji utiču na planiranja održavanja, kao i promenu prioriteta određenog faktora za donosiocje odluka. Sa tim u vezi može se zaključiti da je predloženi model primenljiv na različite sisteme i situacije.

## LITERATURA

1. Abiri-Jahromi, M. Fotuhi-Firuzabadi, E. Abbasi,, "An Efficient Mixed-Integer Linear Formulation for Long-Term Overhead Lines Maintenance Scheduling in Power Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no 4, pp.2043-2053, Oct. 2009
2. Elahe Faghihinia, Naser Mollaverdi, "Building a maintenance policy through a multi-criterion decision-making model", Journal of Industrial Engineering International 2012
3. Cristiano Alexandre Virginio Cavalcante, Ana Paula Cabral Seixas Costa, "Multicriteria model of preventive maintenance", Brazilian Journal of Operations & Production Management, Volume 3, Number 1, 2006, pp. 71-86
4. Aleksandar Janjić, Dragan Popović, "Selective maintenance schedule of distribution networks based on risk management approach"
5. Marjan M. Hudej, "Multi-Variable Methods of Management in Mining", Doctoral disertation, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Belgrade 2013
6. J. P. BRANS, V. U. B. PH. VINCKE, "A PREFERENCE RANKING ORGANISATION METHOD", MANAGEMENT SCIENCE, Vol. 31, No. 6 (Jun., 1985), pp. 647-656
7. Jiang-Jiang Wang \*, You-Yin Jing, Chun-Fa Zhang, Jun-Hong Zhao, "Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making", Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 2263–2278