

VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA ODLUČIVANJA O ZAMENI PREKIDAČA SNAGE U TS 110/X KV

Aleksandar Janjić, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U radu se predlaže praktična metoda za odlučivanje o opravdanosti zamene postojećih prekidača snage u TS 110/x kV, na bazi kombinovanja dve metode za višekriterijumsku analizu: Analitičkih Hijerarhijskih Procesa (AHP) i metode težinskih koeficijenata (WSM). Za postavljanje modela rizika iskorišćena je grafička tehnika dijagrama uticaja. Kao kriterijumi, razmatrani su ekonomski, socijalni i bezbednosni rizik koji predstavljaju prekidači, a kao moguće alternative, pored zadržavanja postojećih, razmatrana je i ugradnja novih SF6 prekidača ili rekonstrukcija postojećih. Procena svakog pojedinačnog rizika vršena je na osnovu dostupnih rezultata ispitivanja i procene štetnih uticaja. Metoda je ilustrovana na primeru TS 110/10 kV sa malouljnim prekidačima.

Ključne reči: AHP, prekidači snage, rizik, težinski koeficijenti, višekriterijumska analiza

SUMMARY

In this paper, practical method for the decision making about the replacement of existing circuit breakers in TS 110/x kV is presented. Methodology is composed of two methods: Analytical Hierarchical Processes (AHP) and weighted sum method (WSM). The graphical technique of influence diagram is used for the model representation. Criteria for the decision are economic, social and safety risk imposed by the breaker. Possible alternatives are: keeping existing breakers in service, breakers rehabilitation, or introduction of new SF6 breakers in the substation. The assessment of each individual risk is performed using available test results and by the evaluation of consequences of breaker faults.

Key words: AHP, circuit breakers, multicriteria analysis, risk, weighted sum

UVOD

Elektrodistribucije Srbije raspolažu sa približno 200 transformatorskih stanica naponskog nivoa 110/X kV/kV. Veliki broj ovih stanica je u pogonu i preko 50 godina. Starost opreme i nedostatak rezervnih

delova, ali i zastarela konceptijska rešenja stanica su glavni problem koji smanjuje nivo pouzdanosti ovih postrojenja. Povećanje pouzdanosti postrojenja sve više dolazi u žižu interesovanja distributivnih preduzeća, pre svega zbog novih zahteva Agencije za eneregetiku u pogledu praćenja pouzdanosti napajanja. Sa druge strane, i porast nacionalne ekonomije, kao i zadovoljstvo potrošača, zavise od kvalitetnog napajanja električnom energijom.

Revitalizacija zastarelih postrojenja u cilju povećanja pouzdanosti, ali i sniženja ukupnih troškova preduzeća je neophodan korak. Međutim, potrebno je napraviti optimalan balans između neophodnih investicionih sredstava i prihvaćenog nivoa rizika. Ova investiciona sredstva odobrava Agencija za eneregetiku na osnovu maksimalno odobrenog prihoda, ali je potrebno da deo koji se odnosi na revitalizaciju opreme bude zasnovan na jasnim kriterijumima.

Planiranje održavanja, razvoja ili rekonstrukcije distributivne mreže, predstavlja ključnu aktivnost u upravljanju osnovnim sredstvima (asset management) u distributivnim mrežama, Odluka o optimalnom nivou održavanja zavisi od više kriterijuma različite prirode. Oni obuhvataju, ali se ne ograničavaju na sledećim kriterijumima:

- Tehničkom
- Ekonomskom
- Kriterijumu bezbednosti na radu
- Zaštiti životne okoline
- Javnom mnjenju
- Zahtevima regulatorne agencije

Neophodno je, dakle, razviti strategiju revitalizacije 110 kV objekata u Elektrodistribucijama Srbije, koja će sveobuhvatno sagledati više kriterijuma (troškovi, bezbednost, ekologija) i više alternativa za revitalizaciju (potpuna zamena opreme, delimična zamena, promena tehnologije ili reinženjering cele stanice). Neophodno je da se ova strategija realizuje sistemskim pristupom upravljanja rizikom. Problemi donošenja odluka u planiranju održavanja i revitalizaciji objekata imaju nekoliko aspekata koji moraju da se uzmu u obzir, a obuhvataju tehničke, finansijske i operativne aspekte. Zbog toga su potrebne tehnike multiatributnog donošenja odluka (Multi Attribute Decision Making – MADM), koje su prilagođene strategijskom i operativnom planiranju u distributivnim mrežama. Drugo glavno svojstvo upravljanja sredstvima je uvođenje pojma rizika, kao ključnog faktora u analizi odluka. Više metoda, uključujući MADM i analizu rizika do sada je korišćeno za rešavanje ovog problema. Neka od skorašnjih istraživanja posvećena prenosu i distribuciji predstavljena su u radovima (1-7). U svim ovima pristupima, rizik je definisan kao kombinacija verovatnoće nekog događaja i posledica koje taj događaj prouzrokuje u mreži. Međutim, međuzavisnost različitih kriterijuma i povratne sprege u procesu odlučivanja zahtevale su dodatnu pažnju.

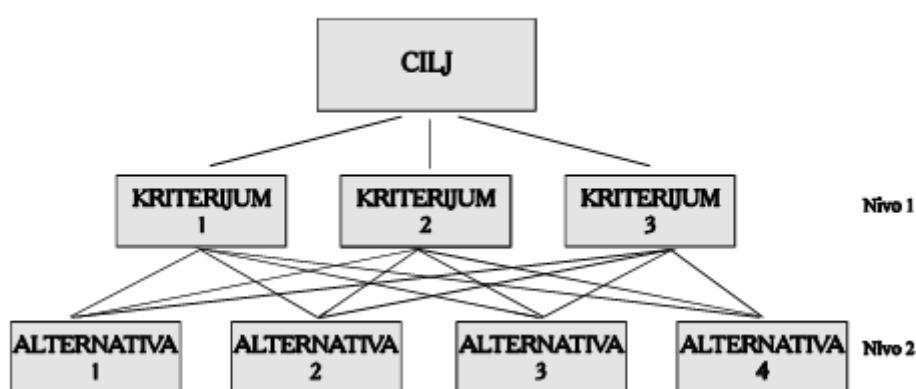
Nova forma prikaza ovih uticaja su dijagrami uticaja (influence diagram), koji su u isto vreme i formalni opis problema koji može da bude tretiran kompjuterskom obradom i jednostavna, lako shvatljiva predstava procesa. Formalna teorija ovih uticaja je data u (8). Rešavanje dijagrama uticaja zasnovano je na Bajesovim mrežama. Međutim, umesto verovatnoća, rešavanje dijagrama uticaja može da bude zasnovano i na fazi logici. Korišćenje fazi logike dovelo je i do tehnike Fazi Dijagrama Uticaja koji su uspešno korišćeni za rešavanje više problema odlučivanja (9, 10).

U ovom radu, izbor odgovarajuće aktivnosti zasnovan je na proceni rizika određene komponente, ili rizika kompletnog distributivnog objekta. Upotrebljena je tehnika dijagrama uticaja kako bi se odredili svi bitni faktori, i opisale njihove međusobne veze. Najzad, izbor strategije održavanja je izvršen na bazi višeatributne optimizacije predloženih aktivnosti. Ovaj model omogućuje procenu uticaja svake pojedinačne komponente u procesu donošenja odluka o održavanju ili revitalizaciji. Metodologija je i ilustrovana na primeru prekidača snage u distributivnoj transformatorskoj stanici za koju je potrebno doneti odluku o eventualnoj revitalizaciji.

ANALITIČKI HIJERARHIJSKI PROCESI

Analitički hijerarhijski proces spada u klasu metoda za meku optimizaciju. U osnovi se radi o specifičnom alatu za formiranje i analizu hijerarhija odlučivanja. AHP najpre omogućava interaktivno kreiranje hijerarhije problema kao pripremu scenarija odlučivanja, a zatim vrednovanje u parovima elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterijuma i alternativa) u top-down smeru. Na kraju se vrši sinteza svih vrednovanja i po strogo utvrđenom matematičkom modelu određuju težinski koeficijenti svih elemenata hijerarhije. Zbir težinskih koeficijenata elemenata na svakom nivou hijerarhije jednak je 1 što omogućava donosiocu odluka da rangira sve elemente u horizontalnom i vertikalnom smislu. AHP

omogućava interaktivnu analizu osetljivosti postupka vrednovanja na konačne rangove elemenata hijerarhije. Pored toga, tokom vrednovanja elemenata hijerarhije, sve do kraja procedure i sinteze rezultata, proverava se konzistentnost rezonovanja donosioca odluka i utvrđuje ispravnost dobijenih rangova alternativa i kriterijuma, kao i njihovih težinskih vrednosti. Metodološki posmatrano, AHP je višekriterijumska tehnika koja se zasniva na razlaganju složenog problema u hijerarhiju. Cilj se nalazi na vrhu hijerarhije, dok su kriterijumi, podkriterijumi i alternative na nižim nivoima. Kao ilustracija, na slici 1 data je hijerarhija koju čine cilj, tri kriterijuma i četiri alternative. Hijerarhija ne mora da bude kompletna; npr. element na nekom nivou ne mora da bude kriterijum za sve elemente u podnivou, tako da se hijerarhija može podeliti na podhijerarhije kojima je zajednički jedino element na vrhu hijerarhije. Analitički hijerarhijski proces je fleksibilan jer omogućava da se kod složenih problema sa mnogo kriterijuma i alternativa relativno lako nađu relacije između uticajnih faktora, prepozna njihov eksplicitni ili relativni uticaj i značaj u realnim uslovima i odredi dominantnost jednog faktora u odnosu na drugi. Metod, naime, anticipira činjenicu da se i najsloženiji problem može razložiti na hijerarhiju i to tako da su u dalju analizu uključeni i kvalitativni i kvantitativni aspekti problema. AHP drži sve delove hijerarhije u vezi, tako da je jednostavno videti kako promena jednog faktora utiče na ostale faktore.



Slika 1. Hijerarhijski model poređenja različitih alternativa

Neka je n broj kriterijuma (ili alternativa) čije težine w_i (prioritete) treba odrediti na temelju procene vrednosti njihovih odnosa koji se označavaju sa $a_{ij} = w_i/w_j$. Od odnosa relativnih važnosti a_{ij} formira se matrica relativnih važnosti.

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Ukoliko matrica A sadrži nekonzistentne procene (u praktičnim primjerima gotovo uvek je tako), vektor težina w može se dobiti rešavanjem sledećeg sistema jednačina:

$$(A - \lambda_{max} I)w = 0, \quad \sum_i w_i = 1. \quad (2)$$

gde je λ_{max} najveća sopstvena vrednost matrice.

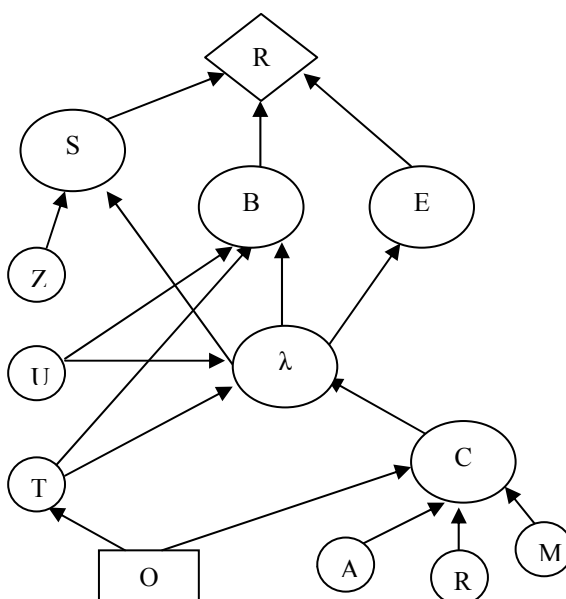
OCENA RIZIKA POSTROJENJA

Za ocenu rizika koji prekidači predstavljaju za postrojenje, korišće se dijagrami uticaji. Rizik koji po postrojenje predstavljaju prekidači snage u jednoj 110/x kV transformatorskoj stanici predstavljen je

odgovarajućim dijagramom uticaja (slika 2). Rizik je i ovde definisan kao kombinacija posledica i verovatnoće štetnog događaja, pri čemu se ne koristi prosta linearna kombinacija (proizvod posledice i verovatnoće), već i složenije kombinacije koje proističu iz proračuna parametara pouzdanosti. Prema predstavljenom dijagramu, ukupni rizik postrojenja računa se kao kombinacija tri pojedinačna rizika, a to su:

- rizik po zdravlje i bezbednost, pre svega rukovaoca u postrojenju,
- ekonomski rizik usled mogućih izdataka za opravku kvarova i šteta usled neisporučene električne energije,
- socijalni rizik, kao moguće reakcije javnosti usled velikog broja i trajanja prekida

Za evaluaciju dijagrama uticaja redukcijom stanja koristiće se pristup „od dna ka vrhu“. Najpre se računaju ocene stanja čvorova sa najmanjim rednim brojevima. Šema za ocenu rizika predstavljena je u narednim tabelama.



Slika 2. Dijagram uticaja za procenu rizika prekidača; oznake: R – ukupni rizik, S – socijalni rizik, B – bezbednosni rizik, E – ekonomski rizik, Z – značaj postrojenja, λ – intenzitet otkaza postrojenja, U – spoljašnji uticaji, T – tehnologija, C – stanje prekidača, A – ambijentalni uslovi, R – rezultati ispitivanja, M – nivo održavanja, O – odluka o mogućim alternativama

Stanje prekidača (C)

Prema dijagramu sa slike, uočljivo je da stanje prekidača zavisi od tri komponente, koje predstavljaju zadate vrednosti, na koje ne možemo da utičemo, te su zato predstavljene krugom. Ove tri komponente predstavljaju:

- Starost prekidača
- Rezultate ispitivanja
- Nivo održavanja

U narednoj tabeli je predstavljen način ocene rizika stanja prekidača.

Tabela 1. Stanje prekidača

| | Ocena | Težinski faktor | Ponderisana ocena= (1) x (2) | Ukupna ocena= (p1+p2+p3) |
|-----------------------|-------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Starost | 1-10 | 0-1 | p1 | |
| Održavanje | 1-10 | 0-1 | p2 | |
| Rezultati ispitivanja | 1-10 | 0-1 | p3 | |

Ukupna ocena računa se kao količnik zbira pojedinačnih ocena i maksimalnog mogućeg skora. Usvojen je princip da manja ocena znači manji rizik i samim tim je povoljnija. Pojedinačne ocene su u opsegu od 1 -5 ili od 1 -10, pri čemu širina opsega odgovara samoj prirodi veličine koja je procenjuje. Isti princip primenjen je i na procenu ostalih čvorova za koje su prikazane tabele u nastavku. Težinski faktori predstavljaju preferenciju donosioca odluke prema određenim kriterijumima i načih njihovog izračunavanja biće prikazan u nastavku.

Svaki od elemenata dijagrama procenjuje se na osnovu uticaja „roditeljskih“ čvorova, metodom višekriterijumske analize. Za ilustraciju, određićemo stanje prekidača (čvor 1) na osnovu starosti prekidača, rezultata ispitivanja i nivoa održavanja putem metode analitičkih hijerarhijskih procesa (AHP).

U sledećoj tabeli data je matrica međusobnih relativnih težina na osnovu procene donosioca odluke. Starost prekidača je po mišljenju donosioca odluke dva puta manje važna od nivoa održavanja, pa je zbog toga u tabelu unet broj $\frac{1}{2}$. Sa druge strane, rezultati ispitivanja su tri puta važniji od starosti, pa je zbog toga unet broj 3 u ovo polje u matrici.

Tabela 2. Matrica međusobnih odnosa kriterijuma

| | Starost | Održavanje | Rezultati |
|------------|---------|---------------|---------------|
| Starost | 1 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{3}$ |
| Održavanje | 2 | 1 | $\frac{1}{2}$ |
| Rezultati | 3 | 2 | 1 |

Nakon popunjavanja matrice, proračunavaju se sopstvene vrednosti matrice, koje se normalizuju na vrednost 1, kako bi dale relativne težinske faktore. U ovom konkretnom slučaju, vrednosti su sledeće: $w_1=0,158$, $w_2=0,29$, $w_3=0,54$. Izračunate vrednosti kazuju da rezultati ispitivanja imaju najveći uticaj na procenu stanja prekidača, a da zatim sledi nivo održavanja i na kraju starost samog prekidača. Težinski faktori mogu da se zadaju i na drugi način, pojedinačnim ocenama koje izabere donosilac odluke.

a) Starost prekidača

Za ocenu starosti prekidača predviđena je ocena u opsegu od 1 do 10, pri čemu niže vrednosti označavaju bolje stanje opreme (“manje je veće”). Za automatsko određivanje ove ocene, I studiji je predviđena je linearna interpolacija, mada je moguće u svakoj fazi procesa uvažiti i preferencije donosioca odluke ili upisati druge vrednosti.

b) Rezultati ispitivanja

Obim i učestanost ispitivanja predviđena je odgovarajućim uputstvima proizvođača prekidača, internim pravilnicima i zakonskim propisima. Budući da je predmet metodologije revitalizacija, a ona podrazumeva ne zamenu pojedinačnih elemenata, pojedinačnih prekidača ili njihovih delova, sve navedene komponente predstavljaju prosečne vrednosti za sve prekidače. U slučaju da pojedinačni prekidač znatno nadmašuje dozvoljene vrednosti, pretpostavka je da će korektivno održavanje, ili zamena tog prekidača uslediti odmah nakon registrovanja ovih vrednosti. Prednost ove metodologije je što može da uvaži i nedostatake određenih rezultata ispitivanja.

c) Nivo održavanja

Redovnost i kvalitet održavanja predstavljaju jedan od bitnih faktora koji utiču na stanje same opreme. Kvalitet održavanja podrazumeva više faktora:

- periodičnost i obim ispitivanja,
- obučenosť osoblja koje vrši održavanje,
- dostupnosť rezervnih delova
- monitoring stanja prekidača

Zbog toga je za ocenu nivoa održavanja predviđeno opisno ocenjivanje, sa 10 nivoa ocenjivanja.

Nakon određivanja ocena za sve tri komponente, pristupa se oceni stanja samog prekidača, prema tabeli 1. Sledeći čvor koji se procenjuje je čvor intenziteta otkaza.

Intenzitet otkaza prekidača

Zavisno od primenjene tehnologije, svaki element postrojenja odlikuje se određenim intenzitetom otkaza koji se može nazvati karakterističnim i koji je odlika same tehnologije. U slučaju prekidača, tipične su vrednosti intenziteta otkaza za malouljne, vakuumske ili prekidače u SF6 tehnicima. Prema dostupnim podacima, tipične vrednosti intenziteta otkaza prekidača iznose:

Tabela 3. Tipični intenziteti otkaza

| Postrojenja izolovana vazduhom | λ (1/god) x 10 ⁻³ |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| Naznačeni napon kV | |
| 6-20 | 0,5-40 |
| 35 | 5-20 |
| 110 | 5-50 |
| SF6 postrojenja | 0,000022 |

Međutim, stvarni intenzitet kvarova zavisi od mnogo dodatnih faktora, što je i razlog ovako širokom opsegu vrednosti intenziteta otkaza. U radui su ovi dodatni faktori svedeni samo na dva:

Uslove (eksploatacione i i ambijentalne) u kojima prekidač operiše
Stanje samog prekidača koje ove tipične vrednosti pomera ka krajnjim vrednostima

Eksploatacioni uslovi odnose se na: nivo opterećenja, stanje zaštite, stanje mreže koju napaja ova transformatorska stanica. Ambijentalni uslovi odnose se pre svega na temperaturu u samoj stanici koja bitno utiče na stanje opreme. Kako je svaki od ovih uticaja vrlo teško kvantifikovati, u studiji je usvojen princip korekcionog faktora, koji određuje realniju vrednost intenziteta otkaza prema sledećem izrazu:

$$\lambda = (1 - k)\lambda_{\min} + k\lambda_{\max} \quad (3)$$

λ_{\min} - donja vrednost intenziteta otkaza
 λ_{\max} - gornja vrednost intenziteta otkaza
k - korekcionni faktor

Ambijentalni i operativni uslovi u kojima dejstvuje prekidač ocenjuju se ocenom od 1 – 10. Nakon procene uslova, određuje se i vrednost korekcionog faktora i intenziteta otkaza, te možemo pristupiti proračunu pouzdanosti postrojenja i određivanju parametara koji su potrebni za proračun narednih čvorova dijagrama.

Socijalni rizik

Socijalni rizik uglavnom se meri već odomaćenim parametrima vezanim za broj i trajanje prekida, a to su SAIFI i SAIDI. Na kraju, ekonomski rizik, koji snosi distributer, a ne potrošač, meri se neisporučenom količinom električne energije.

Tabela 4. Socijalni rizik

| | Ocena | Težinski faktor | Ocena (1)x(2) |
|--------------|-------|-----------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Značaj TS | 1-5 | 0-1 | |
| SAIFI | 1-5 | 0-1 | |
| SAIDI | 1-5 | 0-1 | |
| Ukupna ocena | | | Σ |

Bezbednosni rizik

Za proračun bezbednosnog rizika, to je ukupni broj prekida, jer svaki prekid čiji je uzrok prekidač, iziskuje i određene manipulacije usled prenapajanja, izolovanja elementa u kvaru i opravke ili zamene tog elementa. Svaka manipulacija, sa druge strane, direktno povećava rizik od povrede rukovaoca.

Tabela 5 Bezbednosni rizik

| | Ocena | Težinski faktor | Ocena (1)x(2) |
|--------------|-------|-----------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Broj prekida | 1-5 | 0-1 | |
| Uslovi | 1-5 | 0-1 | |
| Tehnologija | 1-5 | 0-1 | |
| Ukupna ocena | | | Σ |

Ekonomski rizik

Tabela 6. Ekonomski rizik

| | Ocena | Težinski faktor | Ocena (1)x(2) |
|----------------|-------|-----------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| ENS | 1-5 | 0-1 | |
| Troškovi kvara | 1-5 | 0-1 | |
| Ukupna ocena | | | Σ |

Ukupni rizik

Tabela 7. UKUPNI RIZIK

| | Ocena | Težinski faktor | Ocena (1)x(2) |
|-------------------|-------|-----------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Bezbednosni rizik | 1-5 | 0-1 | |
| Socijalni rizik | 1-5 | 0-1 | |
| Ekonomski rizik | 1-5 | 0-1 | |
| Ukupni rizik | | | Σ |

Radi ilustracije, razmotrićemo ocenu za malouljne prekidače starosti 30 godina u jednoj TS 110/10 kV. Kako je po karakteristikama koje je dao proizvođač, životni vek ovih prekidača 50 godina, linearnom interpolacijom dobija se vrednost ocene: 6,3. Na osnovu tabele za nivoe održavanja pretpostavićemo da je nivo održavanja prekidača u ovoj stanici srednjeg nivoa, te ga ocenjujemo ocenom 5. Na osnovu rezultata ispitivanja, ocenjujemo prekidače ocenom 6. Pretpostavljamo da su uslovi u kojima prekidači rade odlični, te ih na osnovu tabele ocenjujemo ocenom 2. Nakon određivanja korekcionog faktora i intenziteta otkaza, možemo pristupiti proračunu pouzdanosti postrojenja i određivanju parametara koji su potrebni za proračun narednih čvorova dijagrama. Razmatrane su tri funkcije prekida u postrojenju:

- prekid cele snage postrojenja 20 MVA
- ispad jednog transformatora 8,5 MVA
- ispad jednog voda 2 MVA

Na osnovu izračunatih vrednosti za parametre pouzdanosti (ENS = 25,45MWh, SAFI=0,39 i SAIDI = 0,7h) dobijaju se vrednosti za Socijalni rizik = 2,85, Bezbednosni rizik = 2,6 i Ekonomski rizik = 3,3, što daje ukupnu ocenu rizika od 2,83 u opsegu od ocena od 1 do 5.

ZAKLJUČAK

Problemi donošenja odluka u planiranju održavanja imaju nekoliko aspekata koji moraju da se uzmu u obzir, a obuhvataju tehničke, finansijske i operativne aspekte. Izbor odgovarajuće aktivnosti zasnovan je na proceni rizika određene komponente, ili rizika kompletnog distributivnog objekta. U ovom radu, upotrebljena je tehnika dijagrama uticaja kako bi se odredili svi bitni faktori, i opisale njihove međusobne veze radi donošenja odluke o eventualnoj zameni prekidača u TS 110/x kV. Izbor strategije održavanja je izvršen na bazi višeatributne optimizacije predloženih aktivnosti. Ovaj model omogućuje procenu uticaja svake pojedinačne komponente u procesu donošenja odluka o održavanju ili revitalizaciji. Metodologija je ilustrovana na primeru izbora strategije održavanja prekidača snage u jednoj distributivnoj transformatorskoj stanici.

LITERATURA

- [1] J. Pan, Y. Teklu, S. Rahman, and A. de Castro, "An Interval-Based MADM Approach to the identification of candidate alternatives in strategic resource planning" IEEE Transactions on Power Systems, vol. 15, no. 4, november 2000, pp 1441-1446
- [2] E. Daza, L. Canha et al. "Multi – Criteria Analysis for Establishing Automatic Priority Levels for Maintenance Activities in Distribution Systems Using Fuzzy Techniques", 19th International Conference of Electricity Distribution, CIRED, Vienna, 21 – 24 May, 2007.
- [3] Y. Jiang, J. D. McCalley, T. Van Voorhis, "Risk-Based Resource Optimization for Transmission System Maintenance", IEEE Trans Power Systems, Vol. 21, No 3. August 2006
- [4] S. Natti, M. Kezunovic, "A Risk Based Decision Approach for Maintenance Scheduling Strategies for Transmission System Equipment",
- [5] R. K. Yeddanapudi, Y. Li, J. D. McCalley, A. Chowdhury, W. Jewell, "Risk-Based Allocation of Distribution System Maintenance Resources", IEEE Trans Power Systems, Vol. 21, No2, May 2008.
- [6] A. D. Janjic, D. S. Popovic, "Selective Maintenance schedule of distribution networks based on risk management approach", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 22, No 2, pp. 616-623, May 2007.
- [7] A. Janjic, Z. Stajić, V. Ljubić, "Prioritizing of Asset Management Activities in Distribution Utilities", The 2009. World Congress on Power and Energy Engineering, October 5'8, 2009. Cairo
- [8] R. Howard, J. Matheson, "Influence Diagrams", Decision Analysis, Vol. 2, No.3, September 2005
- [9] N. H. Mateou, A. P. Hadjiprokapis, A.S. Andreou, Fuzzy Influence Diagrams: An Alternative Approach to Decision Making Under Uncertainty, Proceedings of the 2005 International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, (CIMCA-IAWTIC05)
- [10] N. An, J. Liu, Z. Bai, Fuzzy Influence Diagrams: An Approach to Customer Satisfaction Measurement, Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2007.
- [11] L. Hui, X. Yan Ling, The Traffic Flow Study Based on Fuzzy Influence Diagram Theory, Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2009.
- [12] A. Janjic, Z. Stajić, Fuzzy Influence Diagram for Distribution Network Decision Support, ICDQM-2010, 13. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću" / 1. Međunarodna konferencija "Life Cycle Engineering and Management", Beograd, 29-30 Jun 2010.
- [13] "Risk Management – Principles and guidelines" ISO/DFIS 31000 International Standard, 2009
- [14] Moubrey John, Reliability Centered Maintenance, second edition, Industrial Press, 1997.
- [15] Jovan Nahman, "Dependability of Engineering Systems", Springer –Verlag Berlin Heidelberg, 2002.
- [16] IEEE Std. 493 – 2007. Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems, IEEE, 2007.