

Primena teorije fazi logike za donošenje odluka u elektroenergetskom sektoru

Saša D. Milić
Dejan S. Misović
Elektrotehnički institut Nikola Tesla Univerziteta u
Beogradu
Beograd, Srbija
s-milic@ieent.org
dmisovic@ieent.org

Milan M. Ponjavić
Katedra za elektroniku
Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu
Beograd, Srbija
milan@el.etf.rs

Sažetak—Jedan od većih problema elektroenergetskih preduzeća, kao tehnički i organizaciono složenih sistema, je u tome da se na različitim nivoima, kako tehnike, tako i upravljanja, na osnovu velikog broja raznorodnih pojava i saznanja, usaglasi podjednako veliki broj raznorodnih zaključaka i odluka. Pored tehnički definisanih parametara, čest slučaj je potreba za lingvističkim opisom nekih od njih, kao na primer: jak vetar, visok vodostaj, snažna mašina, niska kamata, dobar predlog itd. Sa druge strane, elektroenergetski sektor, koga u osnovnoj tj. tradicionalnoj podeli čine proizvodnja, prenos i distribucija, ima specifičnosti čija priroda usložnjava donošenje strateških odluka na samom organizacionom vrhu. Zbog toga je primena modernih tehnika i teorija upravljanja i odlučivanja, kako korisna tako i neophodna, u cilju efikasnog rešavanja operativnih i organizacionih problema, počev od procesa planiranja investicija, održavanja i modernizacije, pa do optimalne realizacije proizvodnje. U radu je prikazan novorazvijeni algoritam, baziran na teoriji fazi logike, za rešavanje ovakvih i sličnih problema upravljanja i odlučivanja.

Ključne riječi- elektroenergetski sistem; organizaciona struktura; fazi logički algoritam; proces odlučivanja; model poslovanja

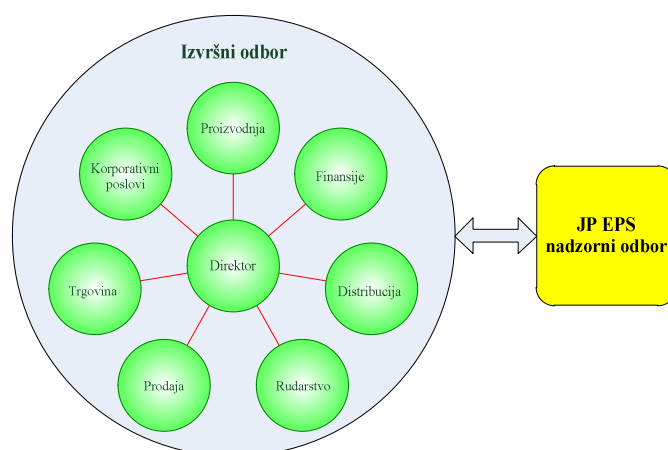
I. UVOD

Potreba za proizvodnjom električne energije je svakim danom sve veća. Dovoljno je posmatrati samo dva parametra: porast životnog standarda i porast industrijalizacije, pa zaključiti da stalno raste i potreba za proizvodnjom električne energije. Kada se posmatra jedan elektroenergetski sistem (EES) sa aspekta procesa donošenja odluka, neophodno je prepoznati sve nivoe donošenja odluka, a zatim i hijerarhijsku strukturu sistema, kako sa aspekta odgovornosti tako i sa aspekta podela uslovljenih definisanim celinama organizacione strukture (Sl. 1).

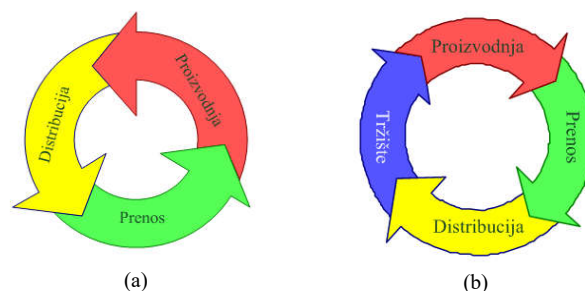
U novije vreme se, pri organizaciji nekog tehnološkog procesa, dosta pažnje posvećuje energetskej efikasnosti, zaštiti životne sredine, očuvanju proizvodnih resursa, deregulaciji tržišta, uvođenju novih tehnologija i sl., što samo dodatno usložnjava proces odlučivanja i upravljanja.

S obzirom na tekući proces deregulacije, odnosno na trend uvođenja niza mera koje se odnose na pripremu

elektroenergetskog sektora za liberalno tržišno poslovanje (Sl. 2), neophodno je da se metodologije i tokovi donošenja odluka takođe modernizuju, unaprede i usaglase sa budućim tržišnim poslovanjem.



Slika 1. Organizaciona struktura elektroenergetskog sistema Srbije



Slika 2. Tradicionalna podela elektroenergetskog sistema: (a) Tržište je regulisano uticajem države (b) postojanje tržišta kao liberalnog subjekta

II. ULOGA I MESTO FAZI LOGIKE U PROCESU DONOŠENJA ODLUKA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU (EES)

Donošenje odluka na bazi većeg broja raznorodnih podataka i informacija predstavlja složen i zahtevan proces. Proces se dodatno usložnjava kada se u njega unesu različiti

stavovi i mišljenja stručnjaka ili se raspolaže sa nedovoljno informacija od kojih su neke čak i nepouzdanе.

U cilju prevazilaženja navedenih problema, azerbejdžanski naučnik i istraživač Lotfi Zadeh je još daleke 1965. godine, na Berkli univerzitetu u Kaliforniji, razvio teoriju fazi logike (Fuzzy Logic). Fazi logika se zasniva na teoriji fazi skupova [1], koji se još zovu i „rasplinuti ili nerazgovetni“ skupovi. Fazi skupovi predstavljaju pogodan matematički aparat za tretiranje neizvesnosti, subjektivnosti, višeznačnosti i neodređenosti.

Teorija fazi logike se pokazala korisnom u složenim sistemima gde postoji neizvesnost u pogledu ulaznih podataka neophodnih za donošenje određenih odluka. Isto tako u određenim situacijama se odluka donosi na osnovu iskustva, intuicije i subjektivne procene određenih parametara od strane donosioca odluke [2].

U početku se fazi logika primenjivala uglavnom u tehnici sa ciljem rešavanja raznih praktičnih inženjerskih problema, da bi do danas evoluirala i svoju primenu našla u brojnim drugim oblastima poput bankarstva, menadžmenta, veštačke

inteligencije i dr. Teorija fazi logike je svoju prvu praktičnu primenu našla u realizaciji kontrolnih i upravljačkih sistema.

Imajući u vidu razlike u modelima i pristupu kreiranja fazi pravila, zatim različitim pristupima praktične realizacije, kao i načinima njene primene u tzv. fazi logičkim kontrolnim sistemima, izvršena je gruba podela fazi kontrola (podela je izvršena za tehničke sisteme, ali se ne odnosi striktno samo na njih) [3]:

- 1) Konvencionalna fazi kontrola
- 2) Fazi proporcionalno-integralno-diferencijalna (PID) kontrola
- 3) Neuro-fazi kontrola
- 4) “Fuzzy-sliding” kontrola
- 5) Adaptivna fazi kontrola
- 6) Fazi kontrola na bazi Takagi–Sugeno (T–S) modela

U radu je prikazana praktična primena fazi logike bazirana na osnovnoj, odnosno bazičnoj strukturi fazi kontrolnih sistema (Sl. 3). Razvijen je fazi model za ocenu poslovanja u EES-u na bazi modela koji se najčešće primenjuju u „konvencionalnoj fazi logici“.



Slika 3. Osnovna struktura fazi kontrolnih sistema

Ulazne promenljive u fazi sistemima predstavljaju tzv. lingvističke promenljive, dok se mogućim vrednostima izlazne promenljive pridružuje odgovarajući stepeni pripadnosti. Na osnovu stepena pripadnosti pojedinih vrednosti izlazne promenljive vrši se tzv. defazifikacija, odnosno izbor jedne vrednosti izlazne promenljive.

S obzirom na mogućnost primene mnogih teorija upravljanja i odlučivanja na različitim hijerarhijskim nivoima i podnivoima [4] - [6], od koji su sačinjeni prikazani subjekti (Sl. 1), ovde će biti predstavljen pojednostavljen algoritam donošenja odluka, na bazi fazi logičkog odlučivanja na nivou nadzornog, odnosno izvršnog odbora EES-a.

III. PRAKTIČNA PRIMENA NOVORAZVIJENOG FAZI LOGIČKOG ALGORITMA ZA OCENU KVALITETA POSLOVANJA EES-A

Pretpostavimo da Izvršni odbor EPS-a (Sl.1) treba da usvoji investicioni plan za naredni period i da je za njegovo usvajanje neophodna ocena poslovanja kompanije iz prethodnog perioda. Ovde je dat algoritam, baziran na fazi logici, pomoću kojeg je moguće dati traženu ocenu poslovanja. Radi pojednostavljenja algoritma ulazne vrednosti su prihod (PR) i rashod (RAS), a izlaz poslovanje (POS). Ulazne vrednosti su pretpostavljene brojne vrednosti dobijene na osnovu velikog broja podataka dobijenih analizom stručnih službi pojedinih ogranaka EPS-a. Pretpostavimo takođe da su

stručne službe sumirale ukupan prihod i rashod kompanije i da je on prikazan na skali poslovanja od 0n.j.–100n.j. (n.j. - novčanih jedinica) vrednostima prihoda PR=55n.j. i rashoda RAS=20n.j.

Sledeće jednačine (1) – (11) predstavljaju analitičke formulacije funkcija pripadnosti izražene fazi brojevima ulaznih veličina prihoda $\mu(PR)$ i rashoda $\mu(RAS)$ i izlazne veličine $\mu(z)$. Radi boljeg razumevanja, izlazna funkcija $\mu(z)$ (pripadnosti) poslovanja je data i grafički na Sl. 4. Jednačine treba da budu reprezentativne zbirnog i relativno ujednačenog, odnosno usaglašenog mišljenja rukovodilaca i/ili službi pojedinih ogranaka (Sl. 1).

Jednačinama (1) – (3) je fazi brojevima prikazana ulazna veličina *prihod (PR)*:

$$\mu_N(PR) = \begin{cases} 1; & 0 \leq PR \leq 10 \\ \frac{30 - PR}{20}; & 10 \leq PR \leq 30 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_S(PR) = \begin{cases} \frac{PR - 10}{20}; & 10 \leq PR \leq 30 \\ 1; & 30 \leq PR \leq 50 \\ \frac{70 - PR}{20}; & 50 \leq PR \leq 70 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_V(PR) = \begin{cases} \frac{PR-50}{20}; & 50 \leq PR \leq 70 \\ 1; & 70 \leq PR \leq 100 \end{cases} \quad (3)$$

Jednačinama (4) – (7) je fazi brojevima prikazana ulazna veličina rashod (RAS):

$$\mu_N(RAS) = \begin{cases} 1; & 0 \leq RAS \leq 10 \\ \frac{30-RAS}{20}; & 10 \leq RAS \leq 30 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_S(RAS) = \begin{cases} \frac{RAS-10}{20}; & 10 \leq RAS \leq 30 \\ \frac{50-RAS}{20}; & 30 \leq RAS \leq 50 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_V(RAS) = \begin{cases} \frac{RAS-30}{20}; & 30 \leq RAS \leq 50 \\ \frac{70-RAS}{20}; & 50 \leq RAS \leq 70 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{ZV}(RAS) = \begin{cases} \frac{RAS-50}{20}; & 50 \leq RAS \leq 70 \\ 1; & 70 \leq RAS \leq 100 \end{cases} \quad (7)$$

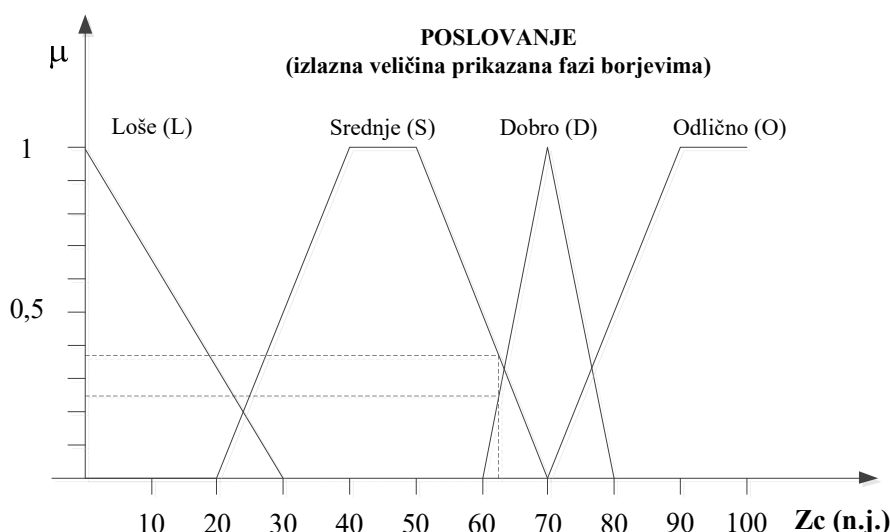
Radi boljeg razumevanja donešene odluke, fazi izlazna funkcija $\mu(z)$ je data analitički (8) – (11) i grafički (Sl. 4).

$$\mu_L(z) = \frac{30-z}{30}; \quad 0 \leq z \leq 30 \quad (8)$$

$$\mu_S(z) = \begin{cases} \frac{z-20}{20}; & 20 \leq z \leq 40 \\ 1; & 40 \leq z \leq 50 \\ \frac{70-z}{20}; & 50 \leq z \leq 70 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_D = \begin{cases} \frac{z-60}{10}; & 60 \leq z \leq 70 \\ \frac{80-z}{10}; & 70 \leq z \leq 80 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_O(z) = \begin{cases} \frac{z-70}{20}; & 70 \leq z \leq 90 \\ 1; & 90 \leq z \leq 100 \end{cases} \quad (11)$$



Slika 4. Lingvističke vrednosti poslovanja prikazane fazi brojevima

Tok izvršenja fazi logičkog algoritma:

- Prvi korak u realizaciji, odnosno primeni ovog fazi logičkog postupka za ocenu kvaliteta poslovanja je proces fazifikacije, odnosno modeliranje ulaza i izlaza lingvističkim promenljivima koje treba da budu njihovi adekvatni reprezenti. Zatim te lingvističke promenljive treba fazifikovati, tj. prevesti ih u fazi oblike, analitičke i grafičke, koristeći potrebne osobine fazi brojeva, fazi skupova i fazi relacija.

- Drugi korak je primena *IF-THEN* pravila i formiranje tabele odlučivanja (Tabela I). “IF – THEN” pravila treba da budu zadata na osnovu stručnih mišljenja i detaljne analize rezultata poslovanja pojedinih sektora u proteklom periodu. Njihovo zbirno prikazivanje treba da bude rezultat rada stručnih službi EES-a. Kod zadavanja pravila, autori su se vodili oštrim kriterijumima odlučivanja sa namerom da u kasnijim procesima odlučivanja i planiranja bude učinjena manja greška i da se ostavi potencijalni prostor u budžetu i investicionim planovima za dodatne korekcije.

TABELA I. IF – THEN PRAVILA

Rashod \ Prihod	Nizak (N)	Srednji (S)	Visok (V)	Zabrinjavaj uče Visok (ZV)
Nizak (N)	Poslovanje je srednje (S)	Poslovanje je loše (L)	Poslovanje je loše (L)	Poslovanje je loše (L)
Srednji (S)	Poslovanje je dobro (D)	Poslovanje je srednje (S)	Poslovanje je loše (L)	Poslovanje je loše (L)
Visok (V)	Poslovanje je odlično (O)	Poslovanje je srednje (S)	Poslovanje je loše (L)	Poslovanje je loše (L)

Prethodna tabela dobija konkretne vrednosti primenom sledećih kontrolnih pravila (8), (9):

$$a_{ij} = \mu(x_0) \wedge \mu(y_0) = \min(\mu(x_0), \mu(y_0)) \quad (12)$$

$$PR_i \wedge RAS_j \wedge a_{ij} = \min(\mu_i(x_0), \mu_j(y_0), \mu_{ij}(z)) \quad (13)$$

Ako pretpostavimo da su ulazne vrednosti takve da je prihod $PR=x_0=55$ n.j. i rashod $RAS=y_0=20$ n.j., a izlazna vrednost $poslovanje=z_{ij}$, tada prethodna tabela, primenom kontrolnih pravila (12) i (13) dobija konkretne vrednosti (Tabela II):

TABELA II. PRIMENA KONTROLNIH PRAVILA

Rashod \ Prihod	Nizak (N)	Srednji (S)	Visok (V)	Zabrinjavajuće Visok (ZV)
$\mu_N(55)=0$	0	0	0	0
$\mu_S(55)=2/3$	$1/2 \wedge \mu_D(z)$	$1/2 \wedge \mu_S(z)$	0	0
$\mu_V(55)=1/3$	$1/3 \wedge \mu_O(z)$	$1/3 \wedge \mu_S(z)$	0	0

- Treći korak je korak agregacije tj. dobijanja izlazne fazi funkcije, čiji je analitički oblik dat izrazom (14):

$$\mu_{agg}(z) = \begin{cases} \frac{z-20}{20}; & 20 \leq z \leq 30 \\ \frac{1}{2}; & 30 \leq z \leq 60 \\ \frac{70-z}{20}; & 60 \leq z \leq 65 \\ \frac{z-60}{10}; & 65 \leq z \leq 68 \\ \frac{1}{2}; & 68 \leq z \leq 75 \\ \frac{80-z}{10}; & 75 \leq z \leq 78 \\ \frac{1}{3}; & 78 \leq z \leq 100 \end{cases} \quad (14)$$

- Četvrti korak je proces defazifikacije kojim se izlazna fazi vrednost promenljive z prevodi u realnu promenljivu z_c . U postupku defazifikacije je korišćen CAM metod (*Center of Area Method*) gde je interval podeljen na 16 jednakih delova (15):

$$z_c = \frac{\sum_{k=1}^{q-1} z_k \cdot \mu_{agg}(z_k)}{\sum_{k=1}^{q-1} \mu_{agg}(z_k)} = \dots = 62,5 \quad (15)$$

- Peti i poslednji korak, u primenjenom fazi logičkom algoritmu, je donošenje ocene o poslovanju na osnovu dobijene brojne vrednosti $z_c=62,5$ i talasnog oblika *poslovanja* prikazanog na slici br.4. Poslovanje je ocenjeno kao SREDNJE. S obzirom na dvostruki presek sa *srednjim* i *dobrim* poslovanjem, u obzir je uzeto rešenje sa većim stepenom pripadnosti, a to je SREDNJE POSLOVANJE.

Ocena poslovanja u izabranom prethodnom periodu, treba da bude ispravno polazište za niz budućih planova koji su neophodni EES-u: planiranje investicija, planiranje resursa (proizvodnih, tehničkih, ljudskih...), planiranje održavanja, projektovanje prihoda i rashoda po ograncima, planiranja cena struje i tržišnog poslovanja...

IV. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana praktična primena teorije fazi logike na proces ocenjivanja i odlučivanja na najvišem hijerarhijskom nivou u elektroenergetskom sistemu. Za primer primene je uzeta struktura EPS-a sa modelovanim mogućim scenarijom postojećih prihoda i rashoda.

Dobijena ocena o poslovanju je rezultat primene algoritma razvijenog na bazi teorije fazi logike i predstavlja nesubjektivnu ocenu poslovanja. Ova ocena može da bude dobra osnova za planiranje proizvodnje, održavanja i budućih investicija. Uz neznatna prilagođenja, prezentovan algoritam može da se primeni i na procenu i ocenu niza drugih faktora koji mogu uticati kako na cenu struje tako i na tržišnu poziciju same kompanije.

Od primene ovakvih algoritama i novih teorija upravljanja i odlučivanja se očekuje da pruži dodatni kvalitet i unapredi postojeći sistem upravljanja i odlučivanja sa ciljem da se smanji uticaj proizvoljnosti i nesigurnosti koji su u manjoj ili većoj merni neminovno prisutni.

Dalji pravac razvoja i istraživanja treba da bude razvoj jedne složene i sveobuhvatne metodologije za procenu poslovanja primenom teorije fazi logike u kombinaciji sa drugim modernim teorijama koje se oslanjaju na upravljanje dobrima (*asset management* - AM), proceni rizika (*risk assesment*), analizi rizika (*risk analysis*), upravljanju održavanjem (*maintenance management*), upravljanju otkazima (*outage management*), procenama i predikcijom životnog veka (*aging assessments and predictions*) i dr.

ZAHVALNICA

Rad je nastao u okviru projekta TR 33024, „Povećanje energetske efikasnosti, pouzdanosti i raspoloživosti elektrana EPS-a utvrđivanjem pogonskih dijagrama generatora i primenom novih metoda ispitivanja i daljinskog nadzora”, koji je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Lotfi A. Zadeh: "Fuzzy Sets", Information and Control, 1965, Pages: 338-353.
- [2] [2] Teodorović D. i Kikuchi S., Uvod u teoriju fuzzy skupova i primene u saobraćaju, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 2. izdanje, Beograd, 1994.
- [3] [3] G. Feng: "A Survey on Analysis and Design of Model-Based Fuzzy Control Systems", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Volume 14, Issue 5, October 2006, Pages: 676-697.
- [4] [4] Saša Milić: "Comprehensive Concept of Diagnostic Centre in Electrical Power Systems", Proceedings of the 10th Mediteran Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion - MedPower 2016, Belgrade, Serbia, November 06-09, 2016, Pages: 1-7.
- [5] [5] Arunraj N.S., Maiti J.: 'Risk-based maintenance – Techniques and applications', Elsevier, Journal of Hazardous Materials 142, 2007, pp. 653–661
- [6] [6] CIGRE WG C1.25: 'Asset Management Decision Making using different Risk Assessment Methodologies', Technical Brochure 541, June 2013

ABSTRACT

APPLICATION OF FUZZY LOGIC TO MAKE DECISIONS IN THE ELECTRICITY SECTOR

Saša D. Milić

Dejan S. Misović

Milan M. Ponjavić

Electricity companies are, both technically and organizationally, very complex systems. The management of such companies includes harmonization of a large number of various phenomena, conclusions and findings. In addition to the technical parameters, often the case is the need for linguistic description of some of them, such as: strong wind, high water levels, powerful engine, low interest rates, good suggestion, etc. This paper presents an algorithm based on fuzzy logic theory for solving these and similar management problems.

On the other hand, the traditional division of the energy sector on the generation, transmission and distribution, frequently complicates the strategic decisions on the highest organization level. Therefore, the application of modern techniques and theories of management and decision-making is useful and necessary, in order to effectively solve the operational and organizational problems, starting from the process of investment planning, maintenance and modernization to the optimal organization of production.