

## **PRIMJENA FUZZY LOGIKE KOD PROCJENE STANJA PODZEMNIH ELEKTROENERGETSKIH KABLOVA I NADZEMNIH VODIČA**

M. Šarić, JP EP BiH d.d. Sarajevo, Podružnica „Elektrodistribucija“ Mostar, Bosna i Hercegovina

S. Špago, Univerzitet Džemal Bijedić Mostar, Bosna i Hercegovina

I. Penava, JP EP BiH d.d. Sarajevo, Podružnica „Elektrodistribucija“ Mostar, Bosna i Hercegovina

### **UVOD**

Planiranje razvoja elektrodistributivnog sistema zahtjeva upravljanje velikom količinom podataka koje je potrebno prikupiti i interpretirati na odgovarajući način. Proces planiranja nalaže grupiranje podataka u razne skupove i podskupove, te kategorizaciju njihovih svojstava. Donošenje odluka koje se odnose na plan razvoja zahtjeva adekvatan logički okvir zaključivanja unutar kojeg je moguće izvršiti kategorizaciju svojstava elemenata određenog skupa, interpretaciju podataka i rangiranje ponuđenih alternativa.

Aristotelova binarna logika prema kojoj svaki logički iskaz mora u potpunosti biti ili tačan ili netačan, u praksi nije ponudila adekvatan okvir za rješavanje različitih praktičnih inženjerskih problema. U klasičnoj teoriji skupova, jednoznačni skupovi su jedinstveno određeni njihovim elementima. Određeni element  $x$  ili pripada skupu  $A$  ( $\chi_A = 1$ ) ili ne pripada skupu  $A$  ( $\chi_A = 0$ ), tako da funkcija pripadnosti može imati samo dvije vrijednosti. Zbog postojanja oštrog granica između dva data skupa, jednoznačni skupovi nisu pogodni za modeliranje određenih fizičkih procesa jer realne pojmove reduciraju na diskretne. Kod rigorozne primjene klasičnih skupova na kategorizaciju intenziteta kvarova ili kategorizacije procjenjenih stanja energetskih vodova dolazi se do sličnih problema jer se značenja prikupljenih vrijednosti vještački reduciraju na diskretne vrijednosti iako su navedeni fizički procesi neprekidni. Navedeni problemi u praksi se prevazilaze korištenjem ekspertnog znanja budući da ljudska apstrakcija ima mekši pristup graničnim područjima skupova te vrši kategorizaciju značenja na osnovu usaglašenih konvencija. U matematičkom smislu, mekši pristup opisu graničnih pojmova, nejasnoća i nepreciznosti može se izvršiti pomoću primjene fuzzy (rasplinute) logike.

U ovom radu je predstavljena primjena fuzzy logike, uvedene sa ciljem prevazilaženja navedenih nedostataka klasične binarne logike, kod modeliranja procesa degradacije elektrodistributivne mreže kao posljedice propadanja podzemnih energetskih kablova i nadzemnih vodiča. Modeliranje je izvršeno pomoću Mamdanijeve metode zaključivanja primjenjene za procjenu degradacije elektrodistributivne mreže na osnovu intenziteta otkaza (kvarova, prekida) i starosti. Navedena metoda je pogotovo korisna za procjenu stanja teško dostupnih vodova i kategorizaciju zona elektrodistributivne mreže na osnovu brzine degradacije energetskih vodova. Numerička vrijednost kriterija, kao rezultat procedure fuzzy logičkog zaključivanja, koristi se kao jedan od kriterija za rangiranje projekata ulaganja u razvoj i obnovu elektrodistributivne mreže. Uvrštavanjem intenziteta otkaza i starosti u skup kriterija nikako se ne iscrpljuje lista ulaznih parametara koji su mjerodavni za proces obnavljanja elektrodistributivne mreže. Proširenjem modeliranja na način da se uključe drugi kriteriji npr. finansijski, pritužbe kupaca, sigurnost itd. ulazi se projektovanje fuzzy ekspertnog sistema za upravljanje raznim procesima u elektrodistributivnom sistemu.

## FUZZY SKUPOVI I FUZZY LOGIKA

Fuzzy skup predstavlja proširenje klasičnih skupova sa mekšim pristupom graničnim područjima. Ako je dat neprazan skup  $X$ , fuzzy skup  $A$  u  $X$  se opisuje funkcijom pripadnosti:

$$\forall x \in A, \quad \mu_A(x) \in [0,1], \quad (1)$$

U datoj relaciji  $\mu_A(x)$  predstavlja stepen pripadnosti elementa  $x$  u fuzzy skupu  $A$  za svako  $x \in X$ .  $X$  se naziva nadskup ili univerzalni skup (Subašić, 1997)(1). Ukoliko je  $X$  konačan skup  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , i  $\mu_i$  stepen pripadnosti elementa  $x_i$  u  $A$ , fuzzy skup  $A$  predstavlja na slijedeći način:

$$A = \frac{\mu_1}{x_1} + \frac{\mu_2}{x_2} + \dots + \frac{\mu_n}{x_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{x_i} \quad (2)$$

Kada je  $X$  beskonačan i neprekidan skup sa elementima  $x \in X$ , tada se fuzzy skup  $A$  obično predstavlja na slijedeći način (1):

$$A = \int_{x \in X} \frac{\mu(x)}{x} \quad (3)$$

Uopštena definicija unije i presjeka u domeni fuzzy skupova može se izvesti preko trokutne norme i konorme. Trokutna norma (t-norma) je binarna operacija na intervalu  $[0,1]$ ,  $T : [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$  koji ima sljedeća svojstva (1):

$$T : [0,1]^2 \rightarrow [0,1] \quad (4)$$

$T(x, y) = T(y, x)$ , komutativnost

$T(T(x, y), z) = T(x, T(y, z))$ , asocijativnost

$T(x, y) \leq T(z, w)$  ako je  $x \leq z$  i  $y \leq w$ , monotonost

Te da je zadovoljen rubni uslov:

$$T(x, 1) = x \quad (5)$$

Ako je  $T$  t-norma, tada je odgovarajuća trokutna konorma  $S : [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$  zadana kao:

$$S(x, y) = 1 - T(1 - x, 1 - y) \quad (6)$$

Unutar teorije fuzzy skupova moguće je konceptualno razmatrati i pojam fuzzy logike. Neodređenosti i nepreciznosti ljudskog jezika i pojedinih fizičkih procesa mogu se modelirati pomoću fuzzy logike koja predstavlja okvir za preslikavanje ekspertnog znanja u procesima zaključivanja (Špago 2009) (2). Danas se tehnike fuzzy logike najviše primjenjuju u području tehnike i procesima regulacije, odlučivanja, upravljanja i dijagnostike. U elektroenergetici zabilježena je najveća primjena fuzzy logike kod upravljanja sistemom, nadzora, stabilnosti, ekspertnih sistema, optimizacije, lokacije kvara i predviđanja (Tomosovic, Chow 2000) (3).

## DEGRADACIJA I INTENZITET OTKAZA ELEKTROENERGETSKIH VODOVA

Sigurnost napajanja električnom energijom zavisi od sigurnosti i efikasnosti performansi pojedinih komponenti elektrodistributivnog sistema. Bitan korak u procesu planiranja razvoja jeste razmatranje podataka koji opisuju pouzdanost sistema. Kvarovi na elektroenergetskim vodovima predstavljaju bitan uzrok zastoja u isporuci električne energije. Glavni faktori koji doprinose povećanju intenziteta kvarova su vremenske prilike, temperatura, zagađenost, starost, neadekvatno održavanje. Vodovi koji su izloženi teškim uslovima eksploatacije brže stare. Starenje kablova je hemijski ili fizički proces koji se odvija na molekularnom nivou i koji se manifestuje nepovratnim promjenama u mehaničkim i električnim svojstvima kao što su smanjenje elastičnosti, povećanje tvrdoće plašta itd. (Čavlina et.al 2009) (4). Razumjevanje procesa starenja energetskih kablova je od suštinske važnosti za pouzdan rad i produženje životnog vijeka. Pogonski uslovi također imaju uticaj na stanje kablova kao i način skladištenja i ugradnje. Praćenje stanja kablova daje informacije o indikatorima koji predstavljaju stepen degradacije i starenja kao što su električni i vizualni indikatori, mehanička i hemijska svojstva, a ostvaruju se pomoću inspekcije, nadgledanja te procjene stanja kablova (4).

Očekivana životna dob električnih komponenti nadzemnih vodova kreće se između 40 i 60 godina sa prosječnom dobi 54 godine, te standardnom devijacijom  $\pm 14$  godina (Bajs 2007) (5). Baš kao i u slučaju podzemnih kablova, životni vijek nadzemnih vodova znatno zavisi od niza faktora kao što su pogonski uslovi, okoliš, klimatske prilike, kvalitet izvedbe itd. Zatezna čvrstoća Al/Cu žica nakon nekoliko desetaka godina postaje znatno smanjena zbog djelovanja korozije, a dolazi i do smanjenja mehaničkih i električnih svojstava usljed povećanja toplotne energije unutar jezgre vodiča (5). Za potrebe analiziranja elektrodistributivne mreže koristi se prosječni godišnji koeficijent kvarova  $\lambda$  koji se može izračunati na sljedeći način (Roos, Lindahl) (6):

$$\lambda = \frac{\text{Broj kvarova}}{\text{Broj razmatranih komponenti} \times \text{broj godina}} \quad (7)$$

Zastoji se dalje dijele na planske i neplanske, dugoročne i kratkoročne i sl. Postoji niz istraživanja čiji je cilj predstavljanje podataka o intenzitetu kvaraova komponenti elektrodistributivnog sistema na osnovu kojih su, za potrebe ovog rada, ustanovljeni dugoročni i kratkoročni koeficijenti intenziteta otkaza na prosječnom (0,93/100 km, godina) i maksimalnom (1,81/100 km, godina) nivou (6). Dobiveni rezultati predstavljeni su u Tabeli 1. Može se zaključiti kako su kratkotrajni kvarovi nadzemnih vodova duži nego u slučaju podzemnih kablova dok suprotno vrijedi u slučaju dugotrajnih kvaraova. Vrijeme popravke znatno je duže u slučaju podzemnih kablova.

	Kratkotrajni	Dugotrajni	Vrijeme popravke
Nadzemni vodovi	1,4/(100km.godina)	0,5/(100km.godina)	54 sata 1 min
Podzemni kablovi	0,15/(100km.godina)	0,95/(100km.godina)	127 sati i 55 min

Tabela 1 Sumarni prikaz godišnjeg koeficijenta otkaza i vremena popravke, izvor (6)

## MAMDANIJEV METOD ZAKLJUČIVANJA

Ovaj model pokazao se kao pogodan za proces zaključivanja na osnovu fuzzy kvantificiranja jezičnih pravila kojima expert opisuje zadati proces (2). U ovom radu predstavljen je Mamdani model fuzzy zaključivanja u sistemu od dvije ulazne varijable  $A$  i  $B$  i izlaznom varijablom  $C$ . Sve varijable su proizvod ekspertnog znanja i predstavljene su fuzzy skupovima  $A$ ,  $B$  i  $C$  koji sadrže pojedinačne fuzzy brojeve  $A_i$ ,  $B_j$  i  $C_k$ :

$$\begin{aligned} A &= \{A_1, A_2, \dots, A_i, A_{i+1}, \dots, A_n\} \\ B &= \{B_1, B_2, \dots, B_j, B_{j+1}, \dots, B_m\} \\ C &= \{C_1, C_2, \dots, C_k, C_{k+1}, \dots, C_l\} \end{aligned} \quad (8)$$

Članovi  $A_i$ ,  $B_j$  i  $C_k$  su fuzzy skupovi definisani kao:

$$\begin{aligned} A_i &= \{(x, \mu_{A_i}(x)) | x \in A_i \subset U_1\}, \quad i = 1, \dots, n \\ B_j &= \{(y, \mu_{B_j}(y)) | y \in B_j \subset U_2\}, \quad j = 1, \dots, m \\ C_k &= \{(z, \mu_{C_k}(z)) | z \in C_k \subset U_3\}, \quad k = 1, \dots, l \end{aligned} \quad (9)$$

Za dizajniranje skupova potrebno je (2):

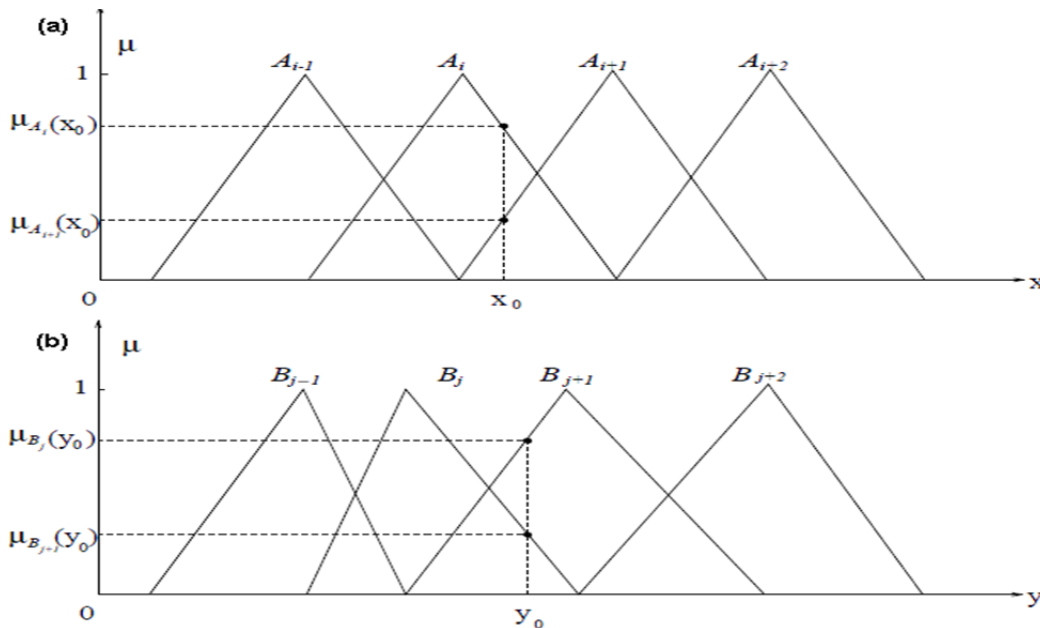
- 1) Odrediti univerzalne skupove  $U_1$ ,  $U_2$  i  $U_3$  baze varijabli  $x$ ,  $y$  i  $z$  za lingvističke varijable označene kao  $A$ ,  $B$  i  $C$ .
- 2) Izabrati formu funkcija pripadnosti izraza (fuzzy skupova)  $A_i$ ,  $B_j$ ,  $C_k$ .
- 3) Specificirati broj fuzzy podskupova, odnosno vrijednosti brojeva  $n$ ,  $m$  i  $l$ .

Provedba Mamdanijevog modela fuzzy logičkog zaključivanja nastavlja se kreiranjem  $n \times m$  AKO...I.ONDA pravila gdje su  $n$  i  $m$  brojevi elemenata skupa ulaznih varijabli i koji daju  $n \times m$  elemenata skupa  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k, C_{k+1}, \dots, C_l\}$  koji predstavljaju izlazne varijable.

Ako imamo da je:  $p_i \equiv x$  je  $A_i$ ,  $q_j \equiv y$  je  $B_j$ ,  $r_k \equiv z$  je  $C_k$  možemo zaključiti da rezultat  $r_k$  dobija formu:

$$\begin{aligned} p_i \wedge q_j &= \min(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_j}(y)), \quad (x, y) \in A \times B \subseteq U_1 \times U_2, \text{ tj:} \\ p_i \wedge q_j \wedge r_k &= \min(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_j}(y), \mu_{C_k}(z)), \quad r_k = r_{ij}, \end{aligned}$$

Za vrijednosti ulaza  $x_0$  i  $y_0$  dobiju se funkcije pripadnosti  $\mu_{A_i}(x_0)$  i  $\mu_{B_j}(y_0)$  odgovarajućih fuzzy podskupova na  $U_1$  za  $x_0$  i  $U_2$  za  $y_0$  gdje njihov broj zavisi od broja preklapanja fuzzy podskupova što je prikazano na slici 1 za dvije ulazne vrijednosti (S. Bojadziev, M. Bojadziev, 2007) (7).



Slika 1 Funkcije pripadnosti  $\mu_{A_i}(x_0)$  i  $\mu_{B_j}(y_0)$  za odgovarajuće vrijednosti  $x_0$  i  $y_0$  Izvor: (7)

Do funkcije pripadnosti  $\mu_{agg}(z)$  fuzzy skupa izlazne varijable dolazi se postupkom koji se naziva agregacija. Formalni izraz za agregaciju je (7):

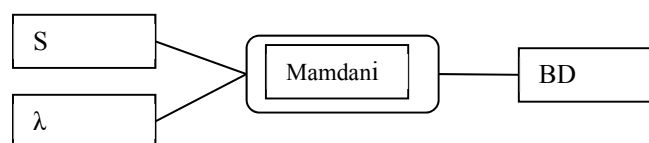
$$\mu_{agg} = (\mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_j}(y_0) \wedge \mu_{C_{ij}}(z)) \vee (\mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_{j+1}}(y_0) \wedge \mu_{C_{i,j+1}}(z)) \vee (\mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_j}(y_0) \wedge \mu_{C_{i+a,j}}(z)) \vee (\mu_{A_{i+a}}(x_0) \wedge \mu_{B_{j+1}}(y_0) \wedge \mu_{C_{i+a,j+1}}(z))$$

Završni korak metode jeste defazifikacija na osnovu koje se odredi jednoznačna izlazna vrijednost. Za određivanje jednoznačne vrijednosti koriste se različite metode postupka defazifikacije, a najpoznatiji su metoda težišta oblika fuzzy skupa, metoda središta, te metod srednje tačke maksimuma. Najčešće korištena metoda je metoda težišta (7).

## PRIMJENA MAMDANI MODELA

Da bi procenili brzinu degradacije (BD) energetskih vodova na osnovu podataka o starosti (S) i koeficijentu intenziteta kvarova ( $\lambda$ ), u ovom dijelu rada se predlaže primjena Mamdani modela zaključivanja sa dvije ulazne varijable (input 1, input 2) i jednom izlaznom varijablom (output).

U ovom primjeru ulazne vrijednosti su S i  $\lambda$  dok je izlazna vrijednosti BD. Prvi korak jeste definisanje fuzzy skupova (fazifikacije) za ulazne vrijednosti, gdje do izražaja dolazi važnost ekspertnog mišljenja. Na osnovu podataka o ulaznim varijablama S i  $\lambda$  primjenom fuzzy (Mamdani) modela zaključivanja dolazi se do procjene izlazne varijable BD u formi fuzzy skupa. Šematski prikaz opisanog Mamdani modela fuzzy zaključivanja prikazan je u sljedećoj šemi:



Slika 2 Šema zaključivanja Mamdanijevom metodom sa dva ulaza Intenzitet kvarova i Starost i jednim izlazom Brzina degradacije

Kao ulazne varijable S i  $\lambda$  koristimo fuzzy skup formiran na osnovu raspoloživih istorijskih podataka i uz pomoć ekspertnog mišljenja. U ovom radu predstavljen je primjer procjene stanja nadzemnog dalekovoda. Konkretno, funkcija pripadnosti ulazne varijable S formirana je na osnovu podataka predstavljenih u literaturi (5) gdje se za *vrlo stara*, sa stepenom pripadnosti 1, uzima period od 60 godina. Funkcija pripadnosti ulazne varijable S predstavljena je u petostepenom obliku. Na sličan način definisana je i druga ulazna varijabla  $\lambda$  gdje su korišteni podaci dostupni u literaturi (6). Ova ulazna varijabla ima trostepeni oblik. Funkcije pripadnosti definisane preko fuzzy skupova predstavljene su na Slici 3 za S i na Slici 4 za  $\lambda$ , a date su sljedećim izrazima:

$$\mu_N(t) = \begin{cases} \frac{10-t}{10} & \text{za } 0 \leq t \leq 10 \\ 0 & \text{za } t > 10 \end{cases} \quad \text{Nova}$$

$$\mu_N(t) = \begin{cases} \frac{0.93-t}{0.93} & \text{za } 0.93 \leq t \leq 0,93 \\ 0 & \text{za } t < 0.93 \text{ i } t > 0,93 \end{cases} \quad \text{Nizak}$$

$$\mu_M(t) = \begin{cases} \frac{t}{10} & \text{za } 0 \leq t \leq 10 \\ \frac{20-t}{10} & \text{za } 10 \leq t \leq 20 \\ 0 & \text{za } t > 20 \end{cases} \quad \text{Mlada}$$

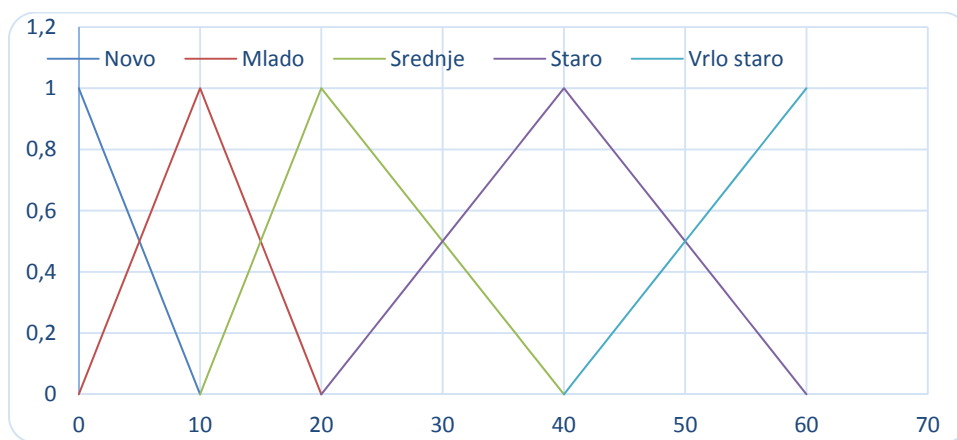
$$\mu_P(t) = \begin{cases} \frac{t}{0.93} & \text{za } 0 \leq t \leq 0.93 \\ \frac{1.81-t}{0.88} & \text{za } 0.93 \leq t \leq 1.81 \\ 0 & \text{za } t < 0.93 \text{ i } t > 1.81 \end{cases} \quad \text{Proječan}$$

$$\mu_S(t) = \begin{cases} \frac{t-10}{10} & \text{za } 10 \leq t \leq 20 \\ \frac{40-t}{20} & \text{za } 20 \leq t \leq 40 \\ 0 & \text{za } t < 10 \text{ i } t > 40 \end{cases} \quad \text{Srednje}$$

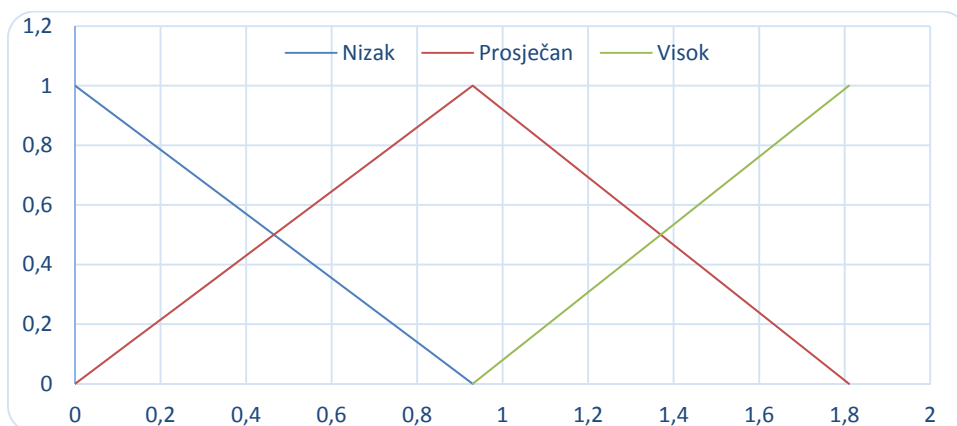
$$\mu_V(t) = \begin{cases} \frac{t-0.93}{0.88} & \text{za } 0.93 \leq t \leq 1.81 \\ 0 & \text{za } t < 0.93 \text{ i } t > 1.81 \end{cases} \quad \text{Visok}$$

$$\mu_{ST}(t) = \begin{cases} \frac{t-20}{20} & \text{za } 20 \leq t \leq 40 \\ \frac{60-t}{20} & \text{za } 40 \leq t \leq 60 \\ 0 & \text{za } t < 20 \text{ i } t > 60 \end{cases} \quad \text{Stara}$$

$$\mu_{VST}(t) = \begin{cases} \frac{t-40}{20} & \text{za } 40 \leq t \leq 60 \\ 0 & \text{za } t < 40 \text{ i } t > 60 \end{cases} \quad \text{Vrlo stara}$$



Slika 3 Ulazna varijabla S definisana preko Fuzzy skupa



Slika 4 Ulazna varijabla  $\lambda$  definisana preko Fuzzy skupa

Na isti način kao i za ulazne varijable konstruisana je funkcija pripadnosti za izlaznu varijablu. Na osnovu ekspertnog mišljenja kao izlaznu varijablu BD koristimo fuzzy skup predstavljen na Slici 5, a koji se matematički može definisati na sljedeći način:

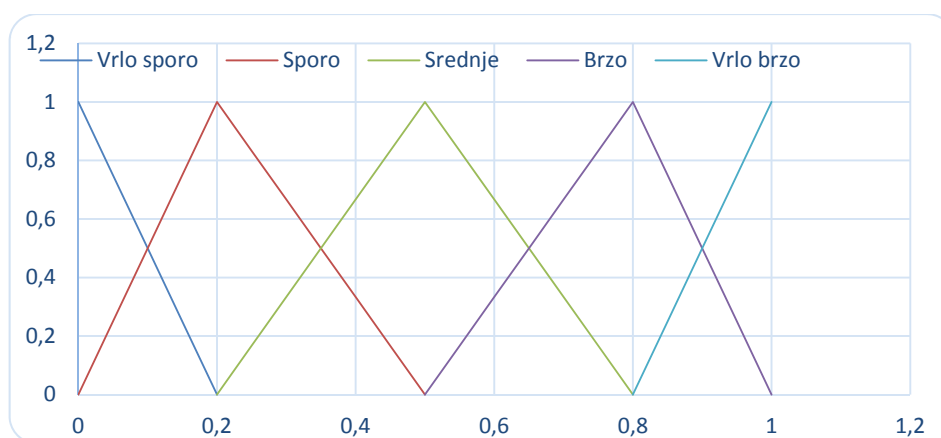
$$\mu_{Vrlo\ sporo}(y) = \begin{cases} \frac{0.2-y}{0.2} & \text{za } 0 \leq y \leq 0.2 \\ 0 & \text{za } y > 0.2 \end{cases}$$

$$\mu_S(y) = \begin{cases} \frac{y}{0.2} & \text{za } 0 \leq y \leq 0.2 \\ \frac{0.50-y}{0.3} & \text{za } 0.2 \leq y \leq 0.50 \end{cases}$$

$$\mu_{Sr}(y) = \begin{cases} \frac{y-0.25}{0.25} & \text{za } 0.25 \leq y \leq 0.50 \\ \frac{0.8-y}{0.3} & \text{za } 0.50 \leq y \leq 0.8 \end{cases}$$

$$\mu_B(y) = \begin{cases} \frac{y-0.50}{0.3} & \text{za } 0.50 \leq y \leq 0.8 \\ \frac{1-y}{0.2} & \text{za } 0.8 \leq y \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu_{Vrlo\ brzo}(y) = \begin{cases} 0 & \text{za } y < 0.8 \\ \frac{y-0.8}{0.2} & \text{za } 0.8 \leq y \leq 1 \end{cases}$$



Slika 5 Izlazna varijabla BD definisana preko fuzzy skupa

U skladu sa procedurom primjene Mamdani modela opisane u prethodnom poglavlju, sljedeći korak jeste formiranje baze pravila odlučivanja koji se dobiju na osnovu AKO...I..ONDA lingvističkih iskaza sastavljenih prema ekspertnom mišljenju. Faza agregacije i defazifikacije u primjeru biće predstavljena korištenjem programskog paketa MatLab sa dodatkom Fuzzy logic Tools. Baza fuzzy pravila predstavljena je u Tabela 2 a u lingvističkom obliku pravila se mogu predstaviti na sljedeći način:

- Pravilo 1.: AKO (Starost je Nova) i ( $\lambda$  je Nizak ), ONDA (Brzina degradacije je Sporo).
- Pravilo 2.: AKO (Starost je Nova) I ( $\lambda$  je Prosječan) ONDA (Brzina degradacije je Brzo).
- Pravilo 3.: AKO (Starost je Nova) I ( $\lambda$  je Visok) ONDA (Brzina degradacije je Vrlo brzo).
- Pravilo 4.: AKO (Starost je Mlada) I ( $\lambda$  je Nizak ) ONDA (Brzina degradacije je Sporo).
- Pravilo 5.: AKO (Starost je Mlada) I ( $\lambda$  je Prosječan) ONDA (Brzina degradacije je Brzo).
- Pravilo 6.: AKO (Starost je Mlada) I ( $\lambda$  je Visok) ONDA (Brzina degradacije je Vrlo brzo).
- Pravilo 7.: AKO (Starost je Srednja) I ( $\lambda$  je Nizak) ONDA (Brzina degradacije je Vrlo sporo).
- Pravilo 8.:AKO (Starost je Srednja) I ( $\lambda$  je Prosječan) ONDA (Brzina degradacije je Srednja).
- Pravilo 9.: AKO (Starost je Srednja) I ( $\lambda$  je Visok) ONDA (Brzina degradacije je Vrlo brzo).
- Pravilo 10.: AKO (Starost je Stara) I ( $\lambda$  je Nizak) ONDA (Brzina degradacije je Vrlo sporo).
- Pravilo 11.: AKO (Starost je Stara) I ( $\lambda$  je Prosječan) ONDA (Brzina degradacije je Sporo).
- Pravilo 12.:AKO (Starost je Stara) I ( $\lambda$  je Visok) ONDA (Brzina degradacije je Brzo).
- Pravilo 13.: AKO (Starost je Vrlo stara) I ( $\lambda$  je Nizak) ONDA (Brzina degradacije je Vrlo sporo).

Pravilo 14.: AKO (Starost je Vrlo stara) I ( $\lambda$  je Prosječan) ONDA (Brzina degradacije je Vrlo sporo).

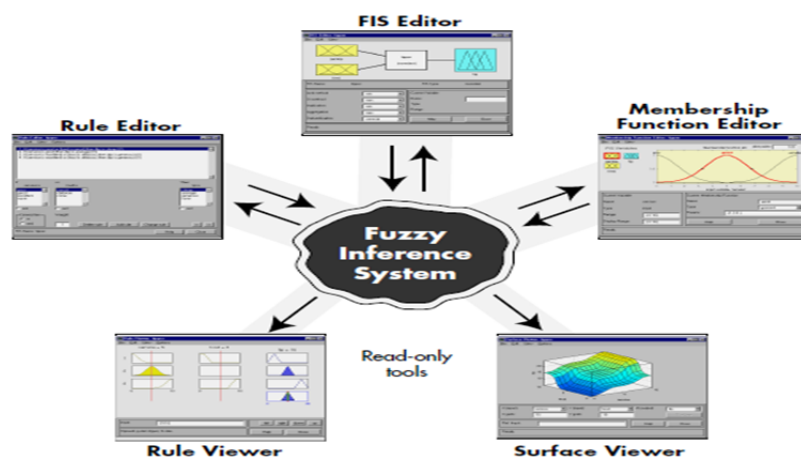
Pravilo 15.: AKO (Starost je Vrlo stara) I ( $\lambda$  je Viosk) ONDA (Brzina degradacije je Srednja).

	$\lambda$	Nizak	Prosječan	Visok
Starost	Nova	Sporo	Brzo	Vrlo brzo
	Mlada	Sporo	Brzo	Vrlo brzo
	Srednje	Vrlo sporo	Srednje	Vrlo brzo
	Stara	Vrlo sporo	Sporo	Brzo
	Vrlo stara	Vrlo sporo	Vrlo sporo	Srednje

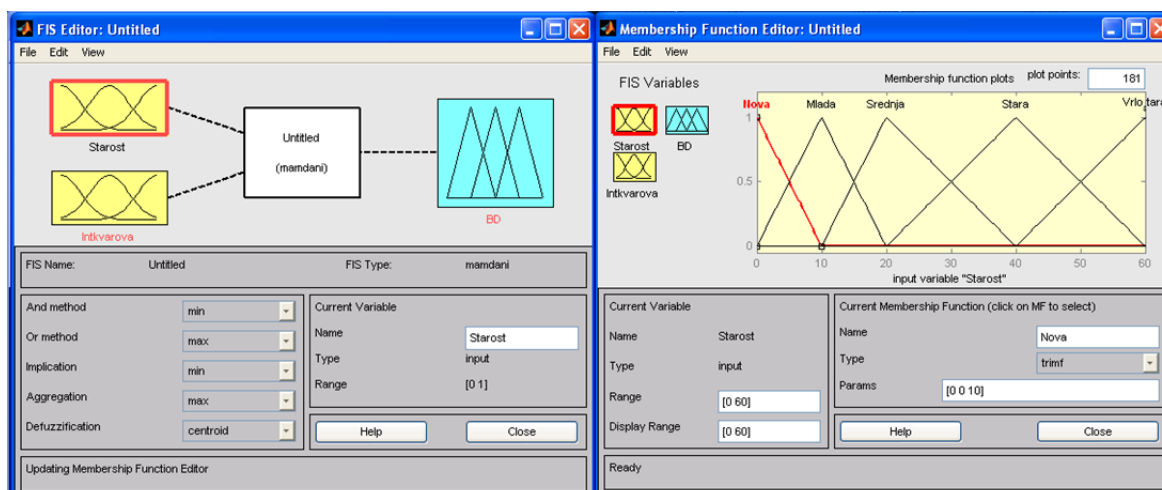
Tabela 2. Fuzzy pravila za ulazne i izlazne varijable (S),( $\lambda$ ) i (BD).

## IMPELEMENTACIJA U MATLABU

Primjena Mamdanijevog fuzzy modela zaključivanja će u nastavku biti predstavljena korištenjem programskog paketa MatLab sa dodatkom Fuzzy logic Tools koji omogućava implementaciju opisane procedure Mamdanijevog fuzzy modela. Implementacija ima pet modula koji su prikazani na slici br 6. Na slici 7a prikazan je editor koji kreira varijable i odabire metod defazifikacije. Na slici 7b prikazana je funkcija pripadnosti prve ulazne varijable. Na isti način se mogu prikazati i funkcije pripadnosti druge ulazne varijable i izlazne varijable s tim da je njihov grafički prikaz izostavljen u nastavku rada zbog preglednosti.



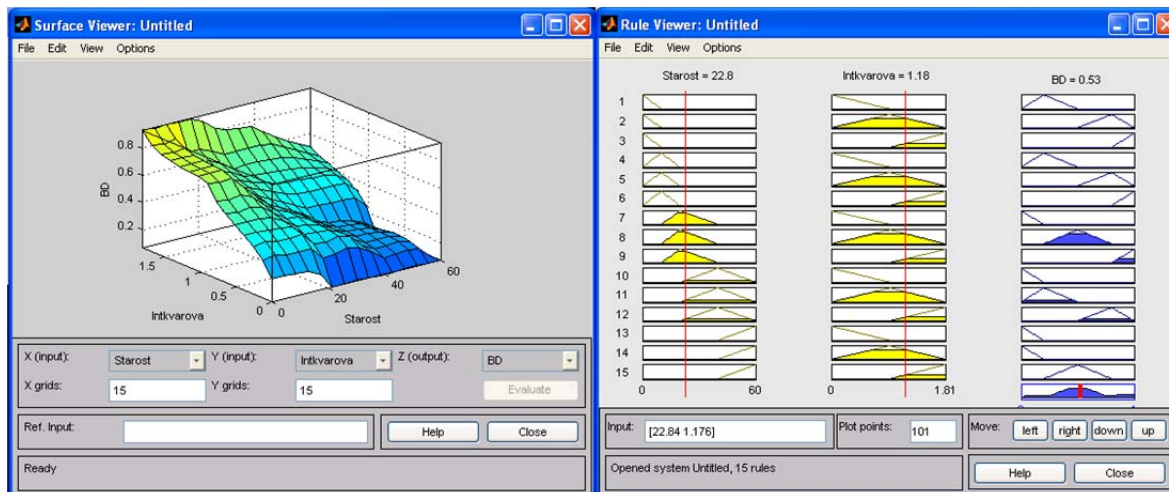
Slika 6. MATLAB-Fuzzy Toolbox za modeliranje fuzzy sistema



Slika 7 a) Kreiranje ulazne i izlazne varijable i metode defazifikacije

b) funkcija pripadnosti prve ulazne varijable

U programskom paketu postoji i mogućnost unosa AKO...I...ONDA pravila na način da se za svaku varijablu odabere funkcija pripadnosti te se dobije skup pravila za izlaznu varijablu. Slika 8a prikazuje numeričke vrijednosti provedbe Mamdani fuzzy modela tj trodimenzionalni dijagram zavisnosti jednog izlaza od dva izabrana ulaza. Na slici 8b prikazan je rezultat defazifikacije. Za vrijednosti ulaznih varijabli  $S=22,8$  godina i  $\lambda=1,18$  (100 km, godina) vrijednost izlazne varijable dobivene nakon procesa defazifikacije iznosi  $BD=0,53$ . Rezultat ovdje predložene procedure fuzzy logičkog zaključivanja su numeričke vrijednosti *brzine degradacije*, svake od razmatranih alternativa kao kriterija, a što je preduslov za njihovo rangiranje kao prioriteta za zamjenu (obnavljanje).



Slika 8 a) Surface viewer, prikaz prostorne površine brzine degradacije b) rule viewer za procjenu brzine degradacije

## ZAKLJUČAK

Donošenje odluka koje se odnose na planiranje razvoja zahtjeva adekvatan logički okvir zaključivanja unutar kojeg je moguće izvršiti kategorizaciju svojstava elemenata određenog skupa, interpretaciju podataka i rangiranje ponuđenih alternativa. U ovom radu je predstavljena primjena fuzzy logike, uvedene sa ciljem prevazilaženja nedostataka klasične, binarne logike, kod modeliranja brzine degradacije elektrodistributivne mreže kao posljedice propadanja energetskih kablova i nadzemnih vodiča kao kriterija za planiranje ulaganja. Modeliranje je izvršeno pomoću Mamdanijeve metode fuzzy logičkog zaključivanja gdje se jednoznačna vrijednost izlazne varijable dobije na osnovu dvije ulazne varijable predstavljene preko fuzzy skupova. Jednoznačna numerička vrijednost izlazne varijable koristi se kao jedan od kriterija za rangiranje projekata ulaganja u obnovu elektrodistributivne mreže. Listu ulaznih varijabli može se proširiti ostalim parametrima mjerodavnim za proces planiranja elektrodistributivne mreže.

## LITERATURA

- (1) Pero Subašić, 1997 "Fazi logika i neuronske mreže", Tehnička knjiga, Beograd,
- (2) Špago, S. 2009 „Fuzzy model odlučivanja kod upravljanja procesom obnavljanja i razvoj vodovodne mreže“, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta „Džemal Bijedić“ Mostar
- (3) K.Tomosovic, 2000 M.Y.Chow, „Tutorial on Fuzzy Logic Applications in Power Systems“, IEEE-PES Winter Meeting Singapore, January 2000
- (4) Čavlina, N., Jakić, I., Barbarić, R., Glaser, B., 2009, „Upravljanje životnim vijekom kabela“ „Energija“, 58 br. 3., str. 218-237
- (5) Davor Bajš, 2007 „Metoda i kriteriji u revitalizaciji elektroenergetske prijenosne mreže“, doktorska disertacija, Sveučilište Split
- (6) Fredrik Roos, Sture Lindahl, Distribution System Component Failure Rates and Repair Times-An overview
- (7) Bojadziew G., Bojadziew M., 2007 „Advances in Fuzzy Systems: Applications and Theory“ — Vol. 23 „Fuzzy logic for business, finance and management“

Kontakt informacije o autorima:

Mirza Šarić, JP EP BiH d.d. Sarajevo, Podružnica „Elektrodistribucija“ Mostar, Adema Buća 34, Mostar, BiH, +387 (0)36 502 125, [m.saric@elektroprivreda.ba](mailto:m.saric@elektroprivreda.ba)

Suad Špago, Univerzitet Džemal Bijedić, Građevinski fakultet, USRC Mithat Hujdur Hujka 88104 Mostar, BiH, +387 (0)36 514 850



Irfan Penava, JP EP BiH d.d. Sarajevo, Podružnica „Elektrodistribucija“ Mostar, Adema Buća 34, Mostar, 036/502-140  
[ipenava@elektroprivreda.ba](mailto:ipenava@elektroprivreda.ba) +387 (0)36 502 140