

UNIVERZITET „DŽEMAL BIJEDI“ MOSTAR
GRAĐEVINSKI FAKULTET

**Predmet: ODRŽIVO UPRAVLJANJE KOMUNALNIM
VODOVODNIM PODUZEĆIMA**

Prof.dr. Suad Špago dipl.ing.građ.

UNIVERZITET „DŽEMAL BIJEDI“ MOSTAR
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ciljevi modela

Generalni cilj:

- Ø Doprinos razvoju efikasne i operativne metodologije upravljanja

Specifi ni ciljevi:

- Ø Korištenje prednosti fuzzy logike i fuzzy teorije odlu ivanja
- Ø Razvoj modela upravljanja zasnovanog na temelju dostupnih znanja (raspoloživih informacija)

3

Upravljanje procesom obnavljanja cijevne vodovodne mreže

Strategije obnavljanja cijevne vodovodne mreže:

- Ø Zamjena cijevi nakon „k“- tog otkaza
- Ø Zamjena cijevi nakon što broj otkaza dostigne neku vrijednost „b“ u nekom vremenskom intervalu (obi no za godinu dana)
- Ø Zamjena cijevi nakon „y“ godina starosti
- Ø **Potrošiti „m“ koli inu novca za godinu.**
- Ø Rangiranje prioriteta za obnavljanje, izme u pojedinih cijevnih dionica ili zona na osnovu odabranih kriterija

4

Kriteriji

- Ø Kriteriji procjene
- Ø Finansijski kriteriji
- Ø Kriteriji rizika

5

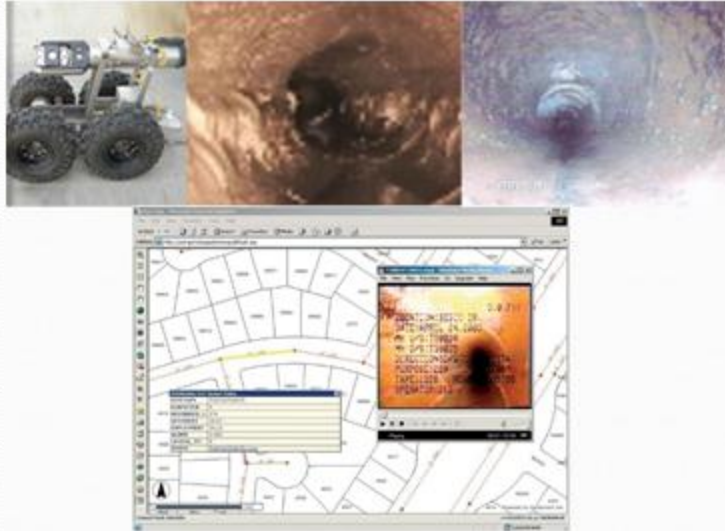
Kriteriji procjene

Procjena stanja cijevi na osnovu:

- Ø TV inspekcije
- Ø Radar, ultrazvuk, laser...
- Ø Uzorka stijenke cijevi
- Ø **OTKAZA**
- Ø **GUBITAKA (skriveni kvarovi)**

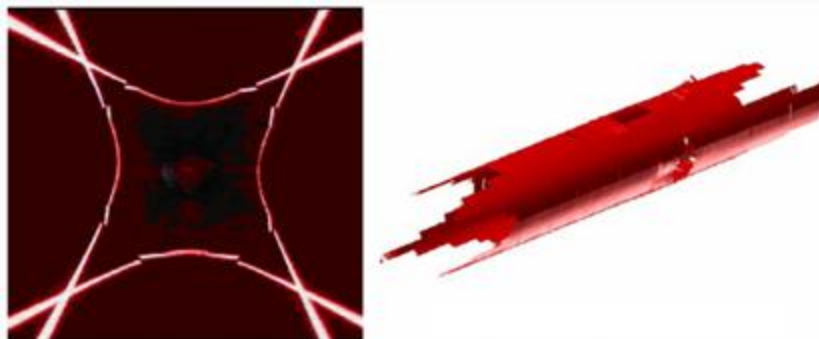
6

TV inspekcija



7

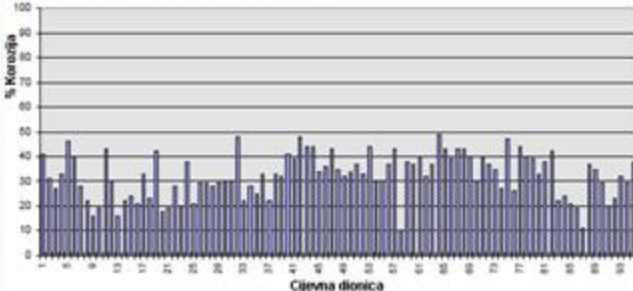
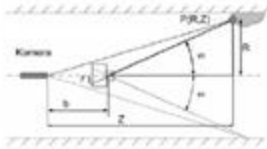
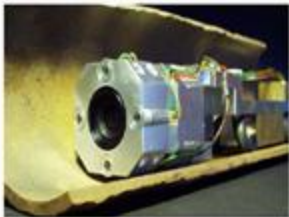
Laser



8

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Radar



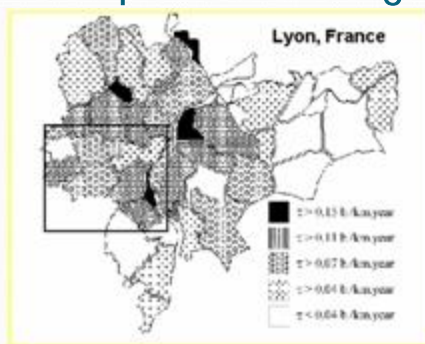
9

Uzorak stijenske cijevi

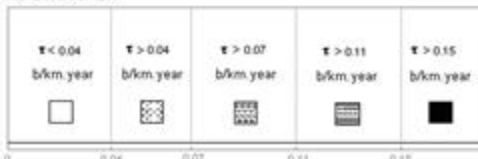


10

Broj otkaza po km dužine godišnje



Intenzitet otkaza cijevi



11

Intenzitet otkaza cijevi po zonama



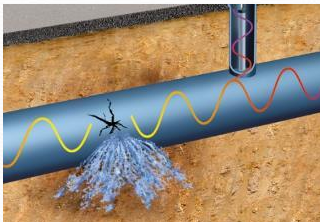
Lingvistički opis frekvencije (intenziteta) otkaza cijevi



12

Kriteriji procjene

- Ø OTKAZA (vidljivi kvarovi)
- Ø GUBITAKA (skriveni kvarovi u tlu)



13

Finansijski kriteriji

Minimiziranje cijene

Maksimiziranje efekta rekonstrukcije:

- Ø alternativa sa što ve im brojem priklju aka ili
- Ø što ve im procentom zamjene ili
- Ø sa što ve om potrošnjom vode.. ltd.

14

Kriteriji rizika

Rizik (Lawrence, 1976) je mjera vjerovatno e da se neki doga aj desi i ja ine negativnog efekta koji proizvodi.

ØOtkazi

ØGubici

15

Kvalitativni aspekt rizika od otkaza cijevne mreže

- Sanacija otkaza cijevi esto dovodi do prekida dotoka vode za bolnicu ili nekog drugog prioritetnog korisnika.
- Sanacija otkaza esto dovodi do prekida saobra aja, a ponekad i do saobra ajne izolacije dijela grada
- Otkaz cijevi, zbog položaja cijevi u tlu nosi visok stepen rizika da do e do kontaminacije vode fekalnim vodama ili zaga enjima iz tla
- U toku sanacije postoji zna ajna opasnost da se oštete drugi objekti podzemne infrastrukture (gasne, elektri ne, telefonske, toplovodne)

16

Kvalitativni aspekt rizika od otkaza cijevne mreže

- Sanacija otkaza cijevi **esto** dovodi do prekida dotoka vode za bolnicu ili nekog drugog prioritetnog korisnika.
- Sanacija otkaza **esto** dovodi do prekida saobraćaja, a **ponekad** i do saobraćajne izolacije dijela grada
- Otkaz cijevi, zbog položaja cijevi u tlu nosi **visok stepen** rizika da dođe do kontaminacije vode fekalnim vodama ili zagađenjima iz tla
- U toku sanacije postoji **znajna** opasnost da se oštete drugi objekti podzemne infrastrukture (gasne, električne, telefonske, toplovodne)

17

Kriteriji rizika

„Moramo iskoristiti našu sposobnost razumjevanja nepreciznosti.“

„U suštini, osnovni model mekog razmišljanja je ljudski mozak. Sve je jasnije da velika ljudska sposobnost ljudskog uma da efikasno funkcioniše u nepreciznom i nesigurnom okruženju nadmašuje mogućnosti tradicionalnih metoda izražavanja i logičkog zaključivanja.“

L.A. Zadeh

18

Principle of Incompatibility (L.A. Zadeh, 1973)



“Kako složenost sistema raste, sposobnost da se donesu precizni, a istovremeno i značajni iskazi o njegovom ponašanju opada dok se ne postigne prag iza kojeg preciznost i značaj ne postaju međusobno isključive karakteristike.”

19

Problemi kod klasifikacija

- Ø Oskudni podaci
- Ø Nepreciznost
- Ø Subjektivnost
- Ø Klasični skupovi uključuju vrste granice među klasama

20

Gubici vode DVGW

Nominalne vrijednosti vodosnabdijevanja	Struktura vodosnabdijevanja		
	Veliki gradovi	Mali gradovi	Naselja
Broj stanovnika koji se snabdijeva vodom	> 100000	10000 – 100000	< 10000

Kategorija gubitaka	Aproksimativni stvarni specifični gubitak vode q_{VR} (m ³ /h po km)		
	Veliki gradovi	Mali gradovi	Naselja
Mali gubici	< 0,13	< 0,07	< 0,05
Srednji gubici	0,13 – 0,25	0,07 – 0,15	0,05 – 0,10
Veliki gubici	> 0,25	> 0,15	> 0,10

0,06

Stvarni specifični gubici q_{VR} (m ³ / h / km)	Kompletno ispitivanje cijele mreže
Veliki gubici vode	1 put u godini
Srednji gubici vode	Svake 3 godine
Mali gubici vode	Može izostati

21

Fuzzy koncept

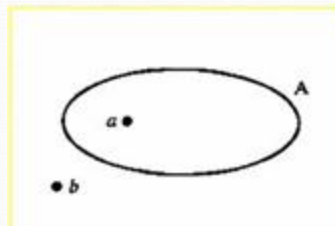
- ∅ Fuzzy engl. Nejasan, zamagljen, neizrazit, rasplinut;
- ∅ Fuzzy skupovi – skupovi sa rasplnutim granicama – pojam fuzzy skupa u matematiku je uveo L. A. Zadeh 1965.

22

Klasični (Cantorov) i Fuzzy skup

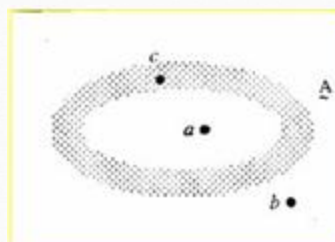
- Klasični (Cantorov) skup

$$\forall x \in A, \exists \chi(x) \in \{0,1\}$$



- Fuzzy skup

$$\forall x \in A, \exists \mu(x) \in (0,1)$$

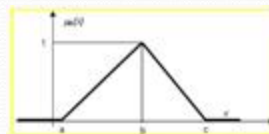


23

Primjeri fuzzy skupova

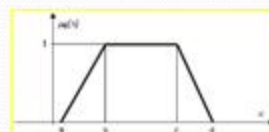
- Ø Trougaona funkcija pripadnosti

$$A = \int_a^b \left(\frac{x-a}{b-a} \right) + \int_b^c \left(\frac{c-x}{c-b} \right)$$



- Ø Trapezoidna funkcija pripadnosti

$$B = \int_a^b \left(\frac{x-b}{b-a} \right) + \int_b^c \frac{1}{x} + \int_c^d \left(\frac{d-x}{d-c} \right)$$

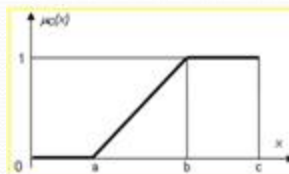


24

Primjeri fuzzy skupova

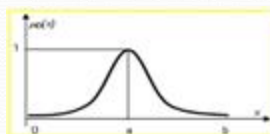
∅ Kontinualna funkcija pripadnosti

$$c = \int_0^a \frac{1}{x} + \int_a^b \frac{(x-b)}{(b-a)} + \int_b^c \frac{1}{x}$$



∅ Zvonasta funkcija pripadnosti

$$D = \int_0^b \frac{e^{-0.5(x-a)^2}}{x}$$

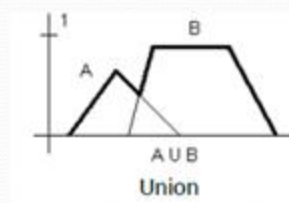


25

Osnovne operacije sa fuzzy skupovima

Unija

$$(\cup) = (\cup) \quad (\cup) = \max\{ (\cup), (\cup) \}$$

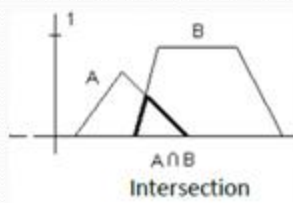


26

Osnovne operacije sa fuzzy skupovima

Presjek

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$$

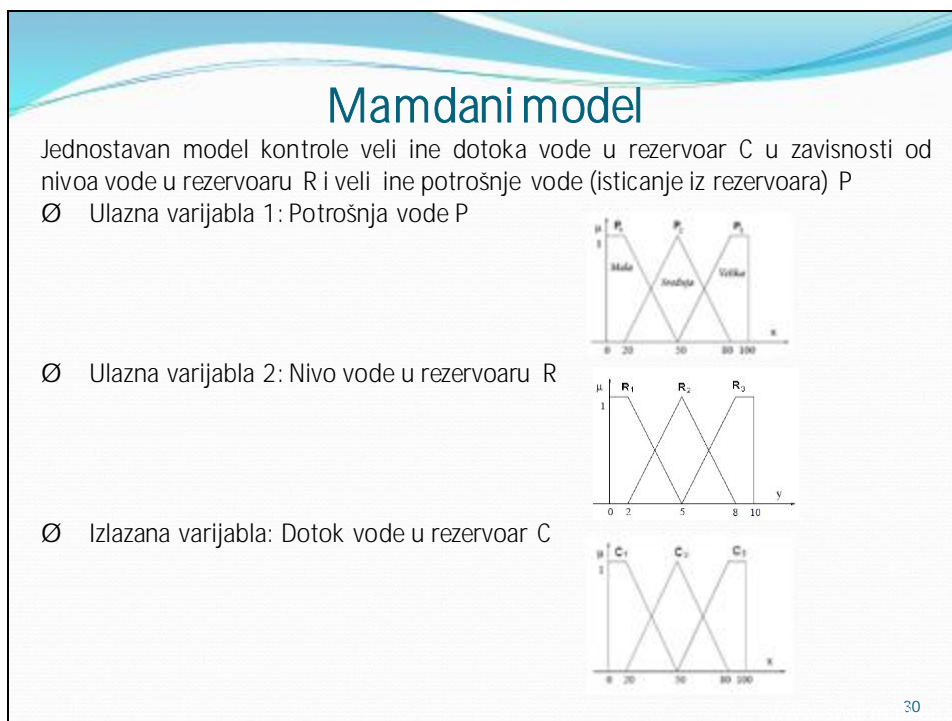
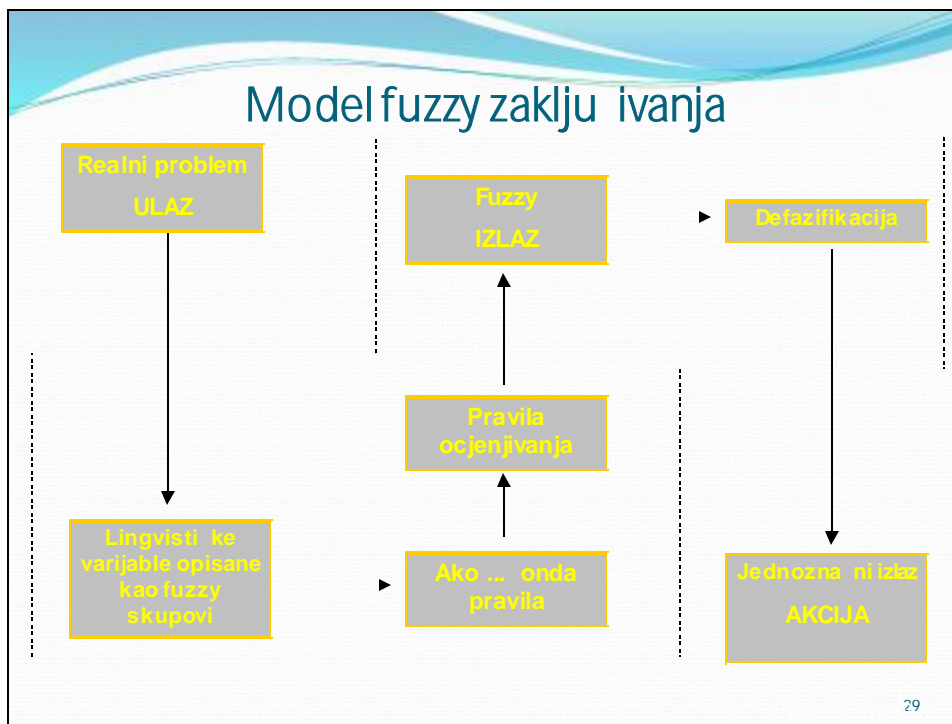


27

Fuzzy logika

- ∅ Aristotel – binarna , dvovrijednosna logika
- ∅ Lukasiewicz – trovrijednosna logika
- ∅ Zadeh – fuzzy logika

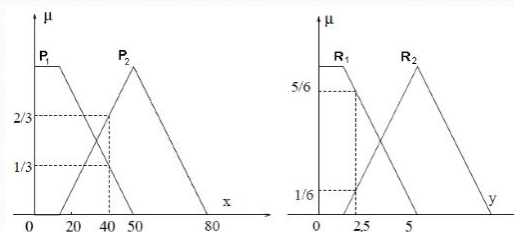
28



Mamdani model - Ako..Onda (If..Then)

P \ R	R ₁ Visok	R ₂ Srednji	R ₃ Nizak
P ₁ Mala	C ₁ Mali	C ₁ Mali	C ₂ Srednji
P ₂ Srednja	C ₁ Mali	C ₂ Srednji	C ₃ Veliki
P ₃ Velika	C ₂ Srednji	C ₃ Veliki	C ₃ Veliki

Mamdani model

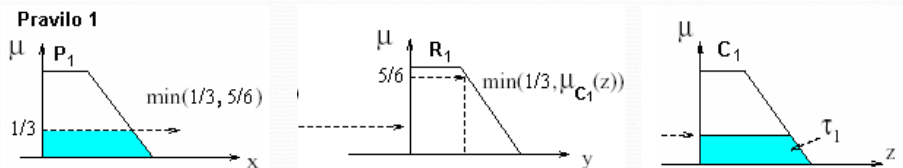


P \ R	$\mu_{R1}(2,5)=5/6$	$\mu_{R2}(2,5)=1/6$	0
$\mu_{P1}(40)=1/3$	$\mu_{C1}(z)$	$\mu_{C1}(z)$	0
$\mu_{P2}(40)=2/3$	$\mu_{C1}(z)$	$\mu_{C2}(z)$	0
0	0	0	0

P \ R	R ₁ Visok	R ₂ Srednji	R ₃ Nizak
P ₁ Mala	C ₁ Mali	C ₁ Mali	C ₂ Srednji
P ₂ Srednja	C ₁ Mali	C ₂ Srednji	C ₃ Veliki
P ₃ Velika	C ₂ Srednji	C ₃ Veliki	C ₃ Veliki

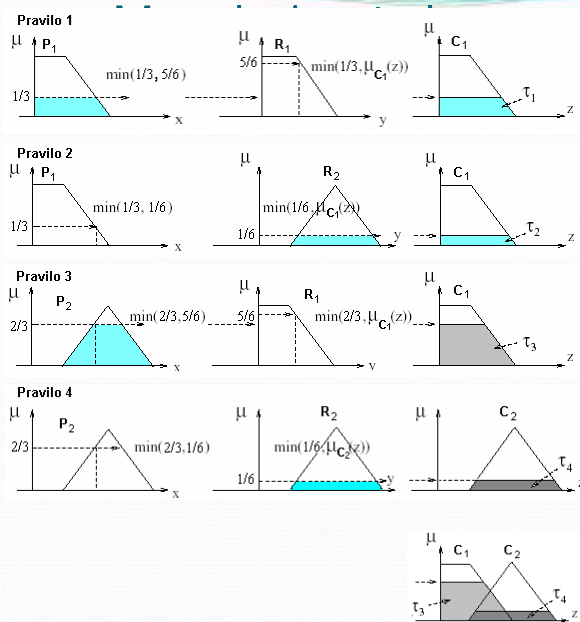
Fuzzy logi ko zaključivanje – primjer upravljanja rezervoarom

Ako je potrošnja Mala (P_1) i ako je nivo u rezervoaru Visok (R_1) tada je dotok Mali (C_1)



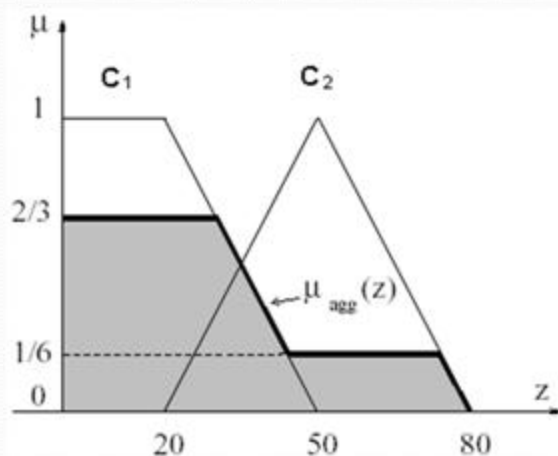
Izborom manje vrijednosti zadovoljen je logički uslov prema kojem istinitost zaključka ne može biti veća od istinitosti premise.

33



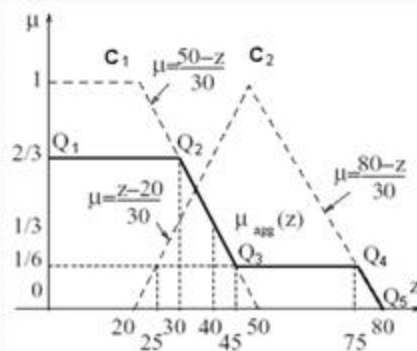
34

Fuzzy izlaz



35

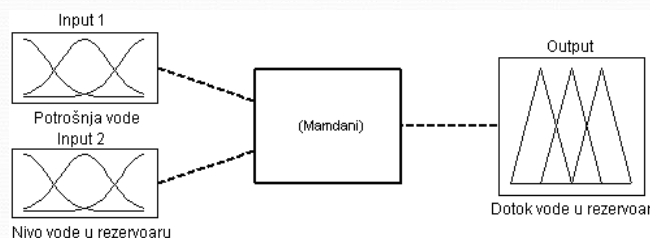
Defazifikacije, metod težišta



$$Q_c = \frac{\sum_{k=1}^{Q_{c-1}} z_k \mu_{agg}(z_k)}{\sum_{k=1}^{Q_{c-1}} \mu_{agg}(z_k)} = 29,41$$

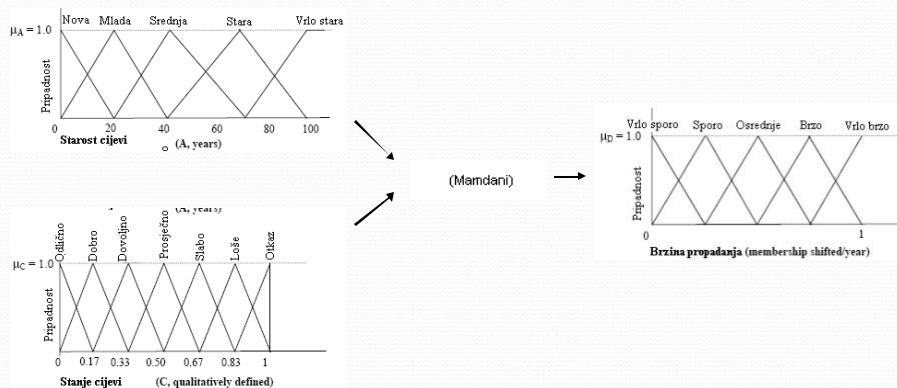
36

Šema zaključivanja - Mamdani

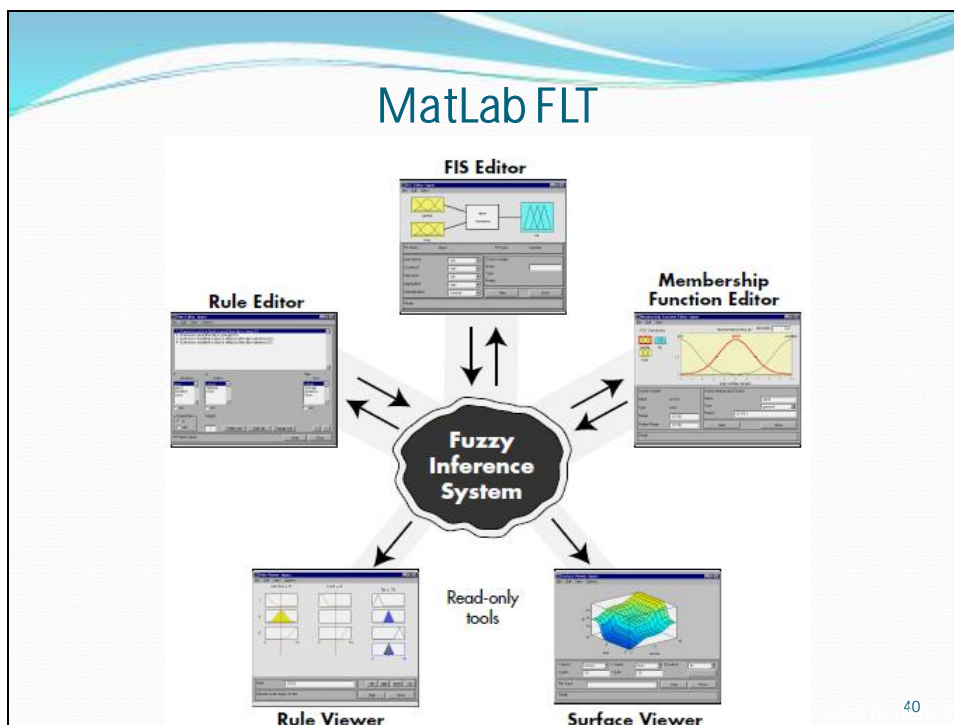
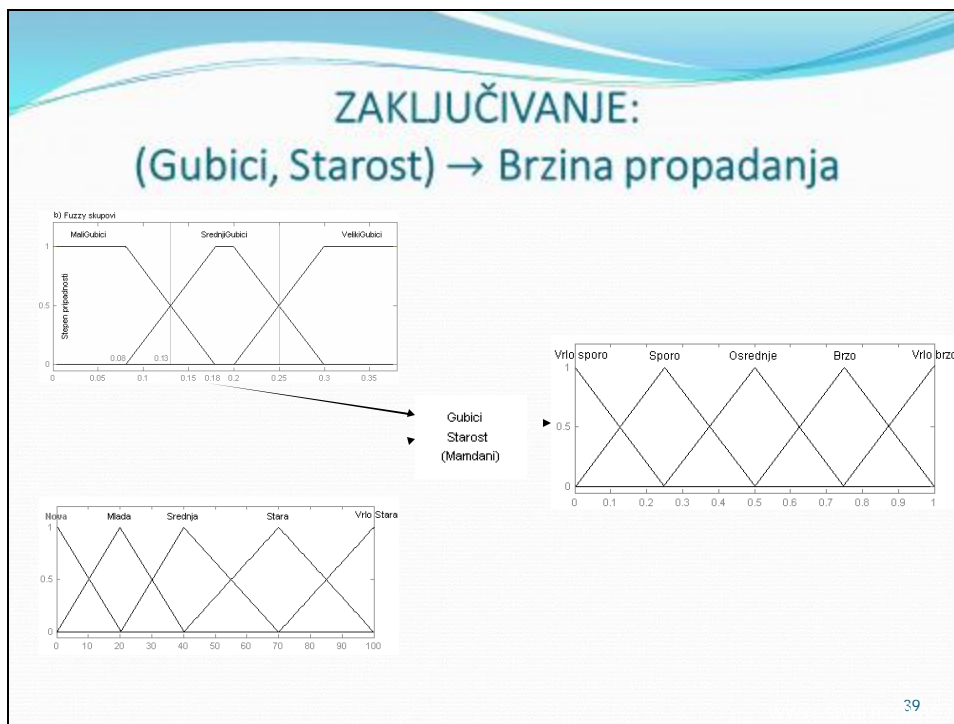


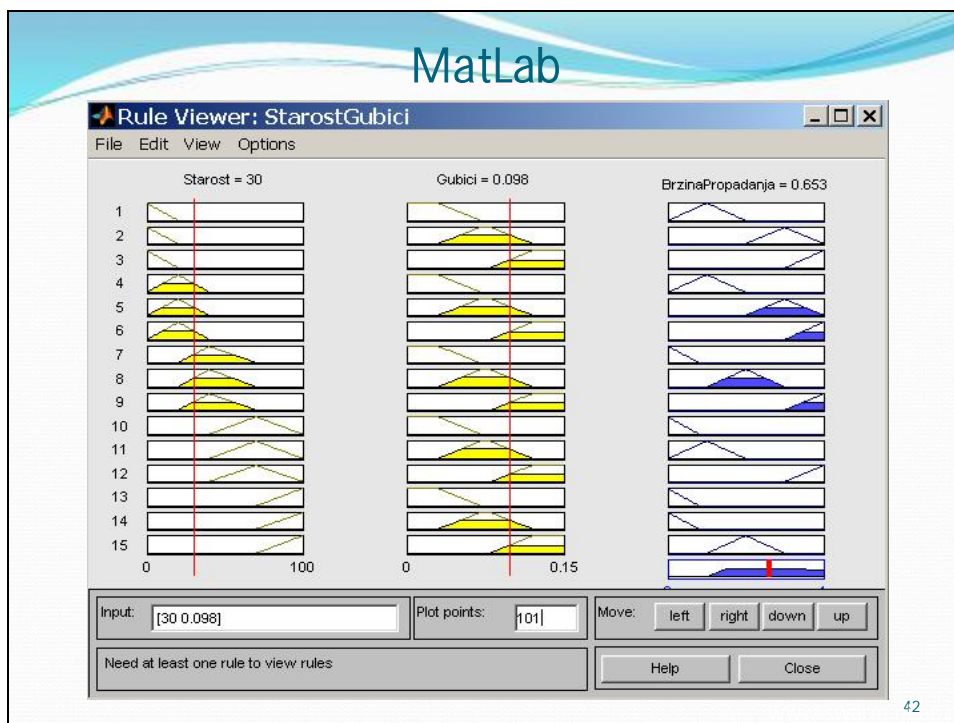
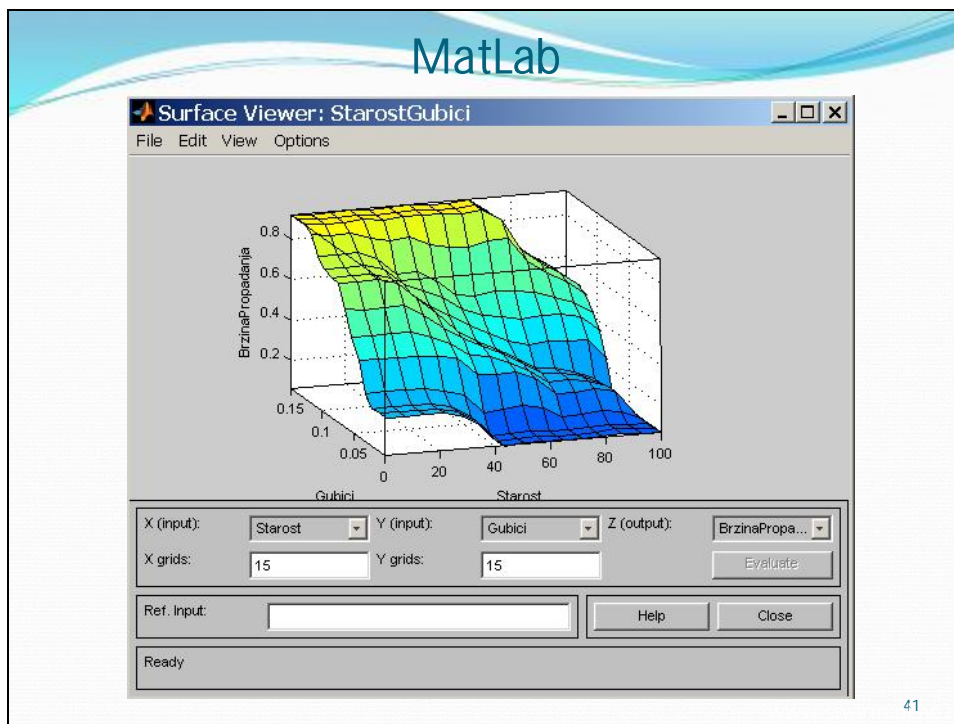
37

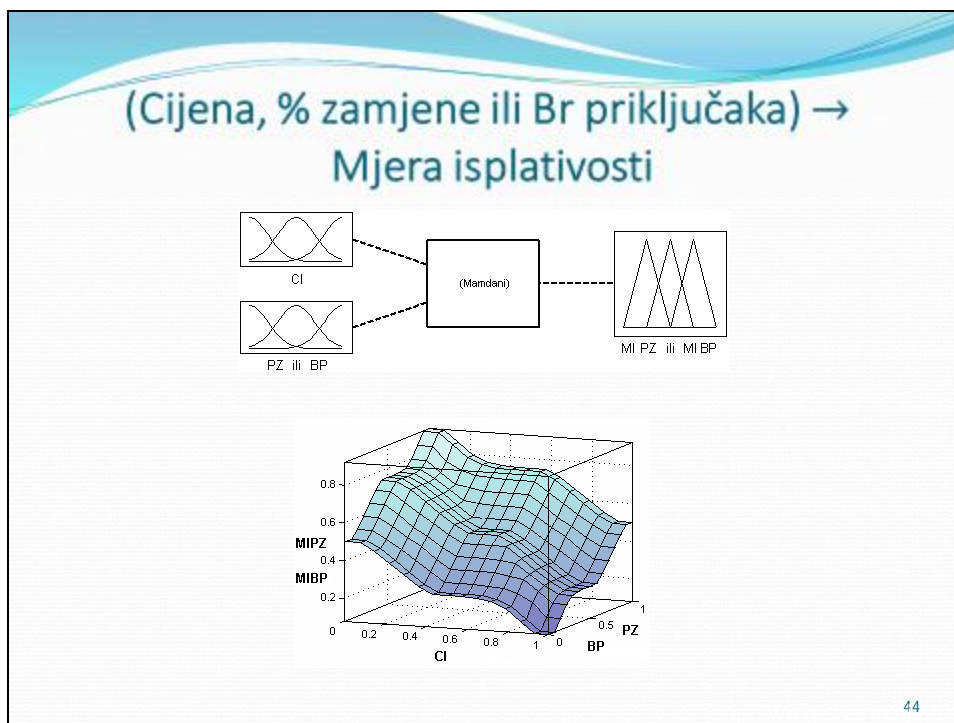
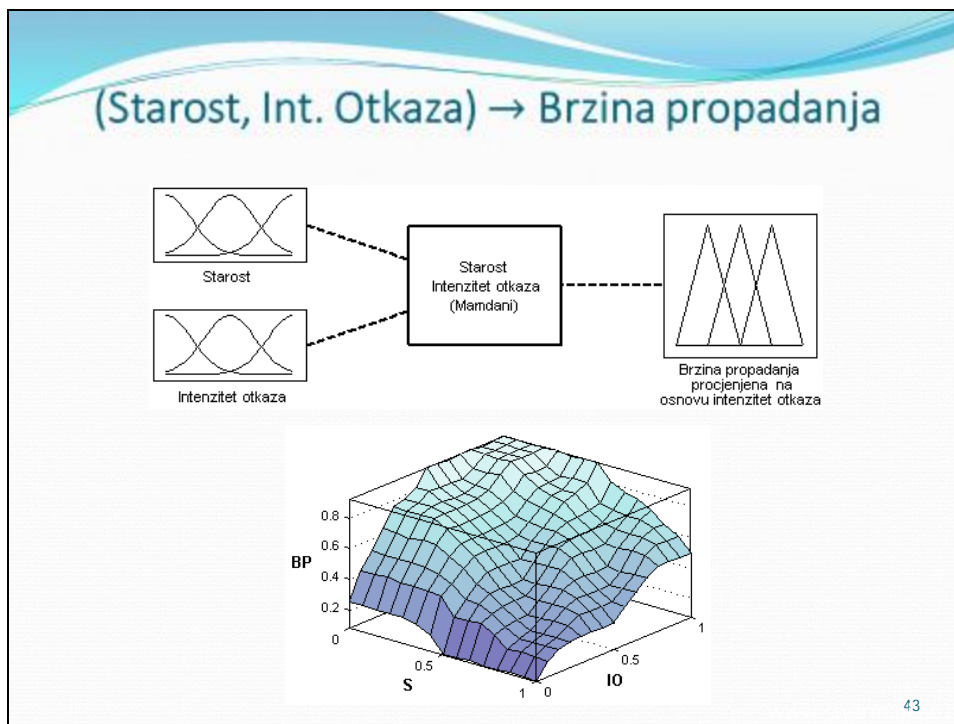
ZAKLJUČIVANJE: (Starost, Stanje) → Brzina propadanja

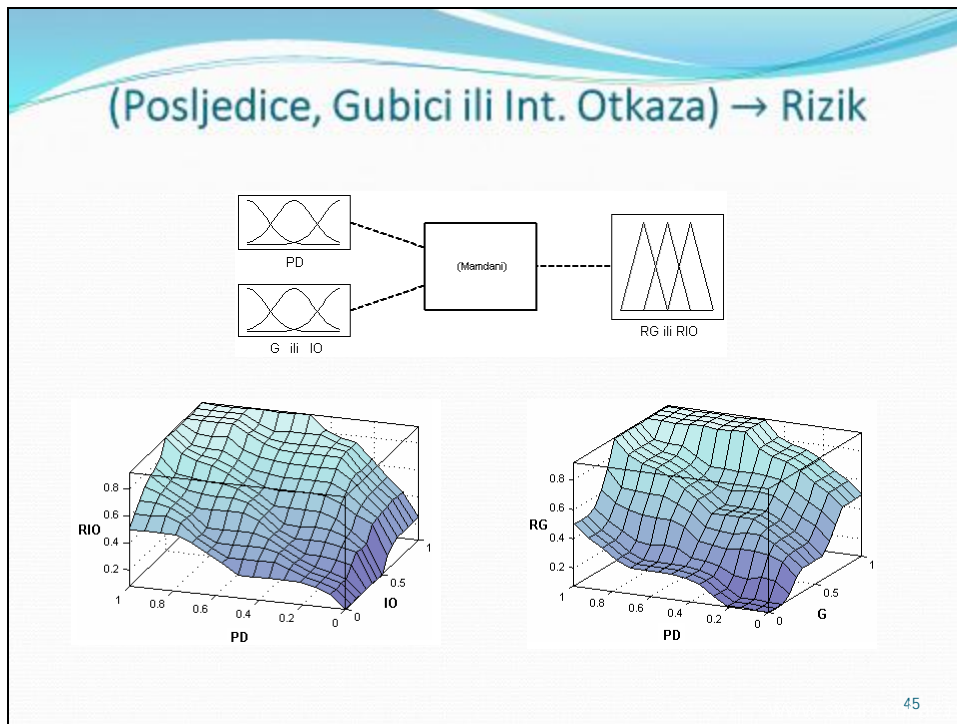


38

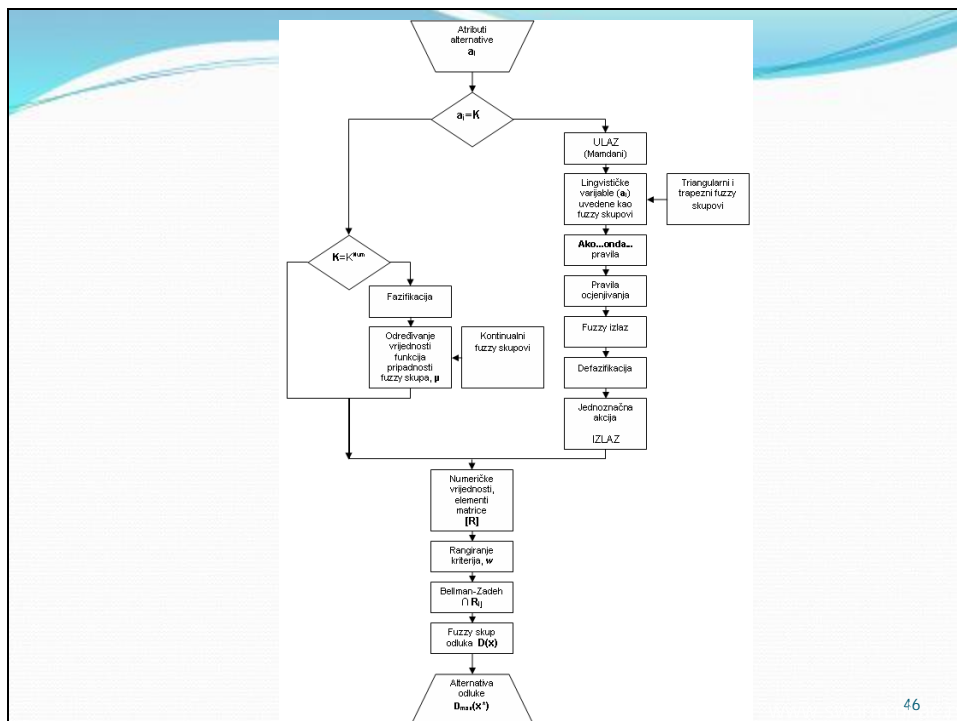




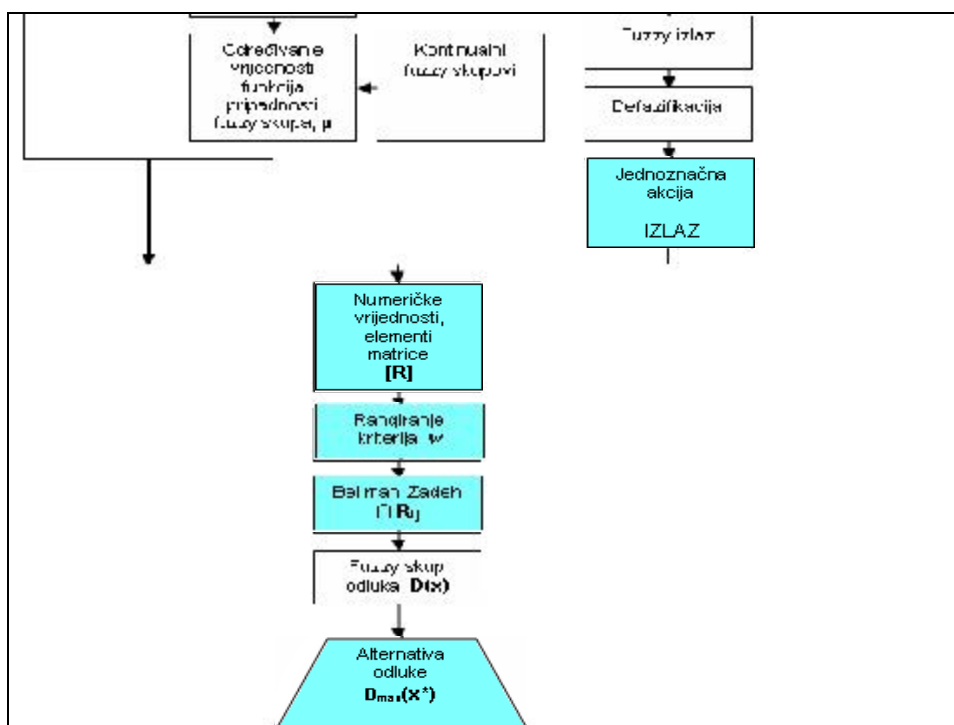
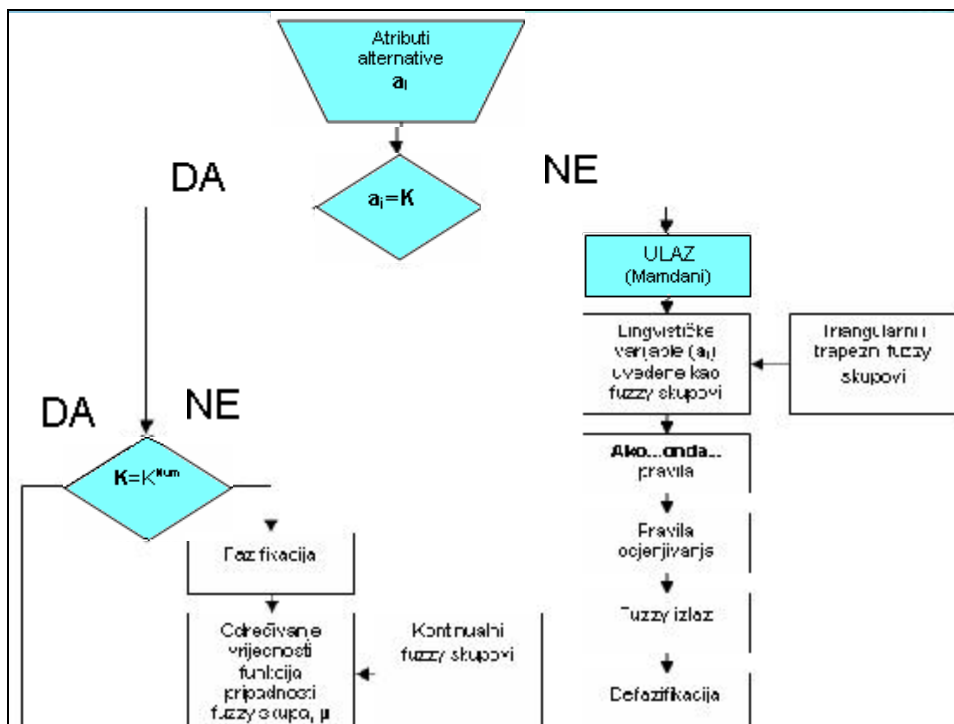




45



46



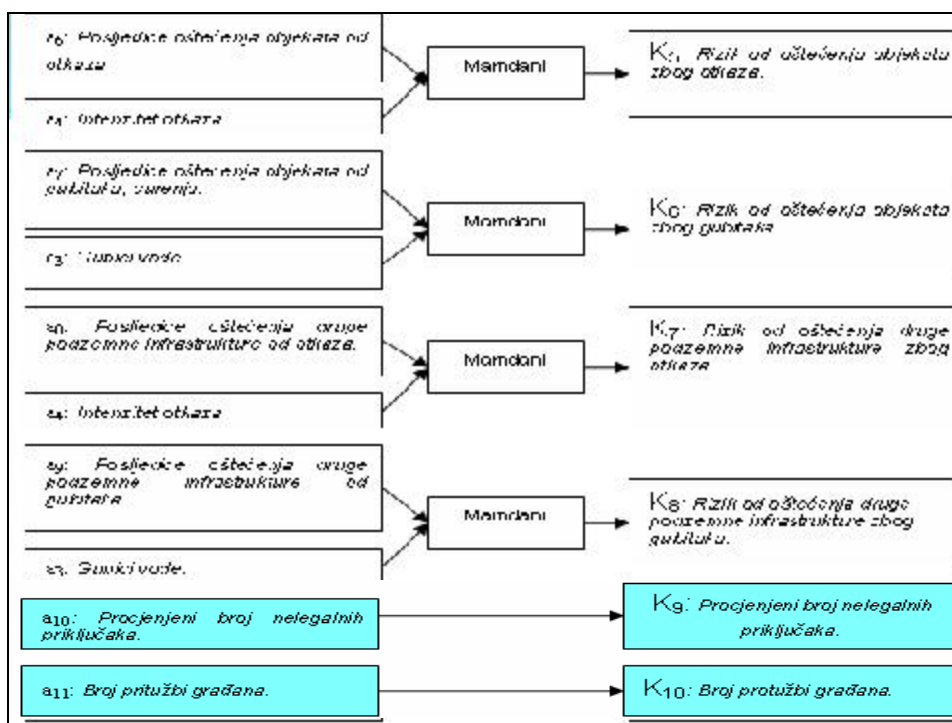
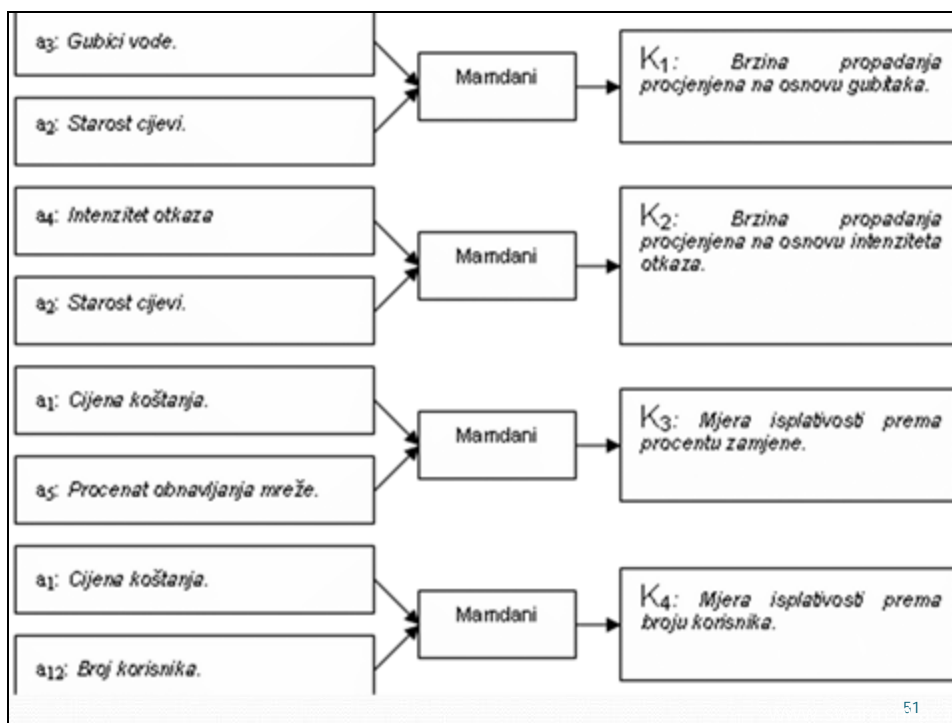
Primjer skupa odabranih atributa

- a_1 : Cijena koštanja (€).
 a_2 : Starost cijevi. (god)
 a_3 : Gubici vode. ($m^3/h/km$, q_{VR})
 a_4 : Intenzitet otkaza (broj otkaza/km/god).
 a_5 : Procenat obnavljanja mreže (%).
 a_6 : Posljedice ošte enja objekata od otkaza (lingvisti ka kvalifikacija).
 a_7 : Posljedice ošte enja objekata od gubitaka, curenja (lingvisti ka kvalifikacija).
 a_8 : Posljedice ošte enja druge podzemne infrastrukture od otkaza (lingvisti ka kvalifikacija).
 a_9 : Posljedice ošte enja druge podzemne infrastrukture od gubitaka, curenja (lingvisti ka kvalifikacija) .
 a_{10} : Procjenjeni broj nelegalnih priklju aka (%).
 a_{11} : Broj pritužbi gra ana (lingvisti ka kvalifikacija).
 a_{12} : Broj korisnika (#).

49

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅	A₆	A₇
a₁	1.1 mln €	1.15 mln €	1.2 mln €	1.4 mln €	1.6 mln €	2.4 mln €	3.2 mln €
a₂	40	38	40	45	42	45	50
a₃	0,28	0,30	0,32	0,29	0,31	0,34	0,36
a₄	0,11	0,13	0,12	0,14	0,12	0,13	0,145
a₅	1,2%	0,85%	0,5%	0,8 %	0,9%	1,4 %	1,6%
a₆	Srednje	Velike	Srednje	Male	Velike	Male	Velike
a₇	Velike	Male	Srednje	Vrlo male	Srednje	Vrlo male	Male
a₈	Srednje	Male	Velike	Srednje	Velike	Srednje	Srednje
a₉	Velike	Srednje	Male	Vrlo velike	Male	Velike	Velike
a₁₀	5 %	7 %	6 %	8 %	6 %	9 %	10 %
a₁₁	Veliki	Srednji	Mali	Srednji	Veliki	Veliki	Vrlo veliki
a₁₂	1.500	1.320	1.600	2.100	2.450	3.200	3.800

50



	W	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
K ₁	0.09	0,741	0,919	0,92	0,715	0,887	0,85	0,809
K ₂	0.09	0,75	0,782	0,759	0,747	0,735	0,721	0,712
K ₃	0.12	0,75	0,681	0,5	0,586	0,585	0,597	0,48
K ₄	0.08	0,547	0,5	0,572	0,619	0,633	0,559	0,473
K ₅	0.12	0,75	0,905	0,759	0,678	0,915	0,625	0,919
K ₆	0.12	0,84	0,75	0,92	0,467	0,92	0,5	0,75
K ₇	0.09	0,75	0,625	0,915	0,827	0,915	0,782	0,864
K ₈	0.09	0,84	0,92	0,75	0,919	0,75	0,92	0,92
K ₉	0.10	5 %	7 %	6 %	8 %	6 %	9 %	10 %
K ₁₀	0.10	Veliki	Srednji	Mali	Srednji	Veliki	Veliki	Vrlo veliki

	w	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
		$\mu_1(x)$	$\mu_2(x)$	$\mu_3(x)$	$\mu_4(x)$	$\mu_5(x)$	$\mu_6(x)$	$\mu_7(x)$
K ₁	0,09	0,741	0,919	0,920	0,715	0,887	0,850	0,809
K ₂	0,09	0,750	0,782	0,759	0,747	0,735	0,721	0,712
K ₃	0,12	0,750	0,681	0,500	0,586	0,585	0,597	0,480
K ₄	0,08	0,547	0,500	0,572	0,619	0,633	0,559	0,473
K ₅	0,12	0,750	0,905	0,759	0,678	0,915	0,625	0,919
K ₆	0,12	0,840	0,750	0,920	0,467	0,920	0,500	0,750
K ₇	0,09	0,750	0,625	0,915	0,827	0,915	0,782	0,864
K ₈	0,09	0,840	0,920	0,750	0,919	0,750	0,920	0,920
K ₉	0,10	0,143	0,429	0,286	0,571	0,286	0,714	0,857
K ₁₀	0,10	0,666	0,500	0,333	0,500	0,666	0,666	0,833

Belman – Zadeh model odlu ivanja

$$D = \bigcap_{k=1}^{10} K_k^{(w_k)} = \left(\min_{k=1,10} (\mu_{K_k}^{w_k}(x_{k,j})) \right)_{j=1}^{i=7}$$

$$D = \frac{\mu_{D_1}(\tilde{x}_1)}{A_1} + \frac{\mu_{D_2}(\tilde{x}_2)}{A_2} + \frac{\mu_{D_3}(\tilde{x}_3)}{A_3} + \frac{\mu_{D_4}(\tilde{x}_4)}{A_4} + \frac{\mu_{D_5}(\tilde{x}_5)}{A_5} + \frac{\mu_{D_6}(\tilde{x}_6)}{A_6} + \frac{\mu_{D_7}(\tilde{x}_7)}{A_7}$$

$$D = \frac{0,0143}{A_1} + \frac{0,0400}{A_2} + \frac{0,0286}{A_3} + \frac{0,0495}{A_4} + \frac{0,0286}{A_5} + \frac{0,0447}{A_6} + \frac{0,0378}{A_7}$$

$$D(X^*) = \max(D_1(A_1), D_2(A_2), \dots, D_7(A_7))$$

$$\mu_D(x^*) = \max(\mu_{D_1}(\tilde{x}_1), \mu_{D_2}(\tilde{x}_2), \dots, \mu_{D_7}(\tilde{x}_7))$$

$$\mu_D(x^*) = \mu_{D_4}(\tilde{x}_4) = 0,0495$$

55

Belman – Zadeh model odlu ivanja

		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
	W _k	w ₁ μ ₁ (X)	w ₁ μ ₂ (X)	w ₁ μ ₃ (X)	w ₁ μ ₄ (X)	w ₁ μ ₅ (X)	w ₁ μ ₆ (X)	w ₁ μ ₇ (X)
K ₁ ^(w₁)	0,09	0,0667	0,0827	0,0828	0,0644	0,0798	0,0765	0,0728
K ₂ ^(w₂)	0,09	0,0675	0,0704	0,0683	0,0672	0,0662	0,0649	0,0641
K ₃ ^(w₃)	0,12	0,0900	0,0817	0,0600	0,0703	0,0702	0,0716	0,0576
K ₄ ^(w₄)	0,08	0,0438	0,0400	0,0458	0,0495	0,0506	0,0447	0,0378
K ₅ ^(w₅)	0,12	0,0900	0,1086	0,0911	0,0814	0,1098	0,0750	0,1103
K ₆ ^(w₆)	0,12	0,1008	0,0900	0,1104	0,0560	0,1104	0,0600	0,0900
K ₇ ^(w₇)	0,09	0,0675	0,0563	0,0824	0,0744	0,0824	0,0704	0,0778
K ₈ ^(w₈)	0,09	0,0756	0,0828	0,0675	0,0827	0,0675	0,0828	0,0828
K ₉ ^(w₉)	0,10	0,0143	0,0429	0,0286	0,0571	0,0286	0,0714	0,0857
K ₁₀ ^(w₁₀)	0,10	0,0666	0,0500	0,0333	0,0500	0,0666	0,0666	0,0833

ZAKLJU CI

- Ø Na ovom stepenu opservabilnosti i degradacije cijevne mreže informacije o kvarovima i gubicima mogu se smatrati dovoljnim skupom informacija o stanju sistema
- Ø Za procjenu stanja mreže - brzine propadanja i rizika, na osnovu podataka o kvarovima i gubicima, kao i mjere isplativosti, primjena fuzzy logike (Mamdani metod) omogu ava da se neprecizne i/ili subjektivne kvalifikacije koriste u modelu zaklju ivanja
- Ø Povezivanje fuzzy logi kog zaklju ivanje (Mamdani) sa fuzzy teorijom odlu ivanja (Bellman-Zadeh) kod donošenja odluka o prioritetima za obnavljanje, egzaktno uvodi u model iskustvena znanja umjesto oskudnih podataka

57

Suad Špago

*Institucija: Univerzitet „Džemal Bijedi “ u
Mostaru
e-mail:
suad.spago@unmo.ba*

58