

Izrada baze pravila fuzzy logičkog sistema za podršku odlučivanju agregacijom težina premisa pravila

DARKO I. BOŽANIĆ, Univerzitet odbrane u Beogradu,
Vojna akademija, Beograd

DRAGAN S. PAMUČAR, Univerzitet odbrane u Beogradu,
Vojna akademija, Beograd

Pregledni rad
UDC: 519.226:510.64

Fuzzy logički sistemi se u praksi sve češće koriste za podršku odlučivanju. Iako je korišćenje ovakvih modela relativno jednostavno, njegova izrada zahteva sinergiju znanja lica koja se bave izradom ovakvih sistema i eksperata iz oblasti istraživanog problema. Prevođenje ekspertskog znanja i iskustva u fuzzy logički sistem zahteva dugu komunikaciju sa većim brojem eksperata u oblasti koja se istražuje. Krajnji rezultat zavisi od stepena međusobnog razumevanja, kao i sposobnosti lica koja izrađuju fuzzy logičke sisteme da ekspertsko znanje i iskustva ugrade u modele koje izrađuju. U ovom radu je prikazan metoda agregacije težina premisa pravila kojom se prevazilazi problem komunikacije između eksperata i lica koja izrađuju fuzzy logički sistem. U šest jednostavnih koraka prikazan je način izrade skupa lingvističkih pravila za fuzzy logički sistem. Navedena metoda je prikazana na primeru ocene performansi jedinica Vojske Srbije za uklanjanje minsko-eksplozivnih prepreka prilikom izvođenja borbenih dejstava.

Ključne reči: fuzzy logika, odlučivanje, izrada baze pravila fuzzy logičkog sistema, agregacija težina premisa pravila (ATPP), ocena performansi jedinica, minsko-eksplozivne prepreke

1. UVOD

Teorija fuzzy skupova i fuzzy logika se pokazala kao veoma korisna podrška u procesu odlučivanja u menadžmentu. Ove su najviše doprinele činjenice da sistemi odnosno modeli zasnovani na primeni fuzzy logike: izuzetno dobro eksploatišu nepreciznosti, nejasnoće i parcijalne istine, koje su vrlo česte pojave prilikom donošenja odluka; obezbeđuju naučno zasnovan pristup baziran na iskustvu i intuiciji; daju mogućnost modelovanja, tj. prevođenja u algoritam, potpuno nestruktuiranog skupa heurističkih tvrđenja izraženih rečima [14]. U dostizanju ovih mogućnosti teorija fuzzy skupova i fuzzy logika obezbeđuju neophodni matematički formalizam.

Izrada fuzzy logičkih sistema (FLS), kojim se iskustva i intuicije prevode u model baziran na matematičkim postavkama predstavlja relativno složen proces. Osnovni problemi sa kojima se analitičar susreće pri razvoju FLS su određivanje skupa lingvisti-

čkih pravila (kao spone između ulaza i izlaza iz fuzzy logičkog sistema) i parametara funkcija pripadnosti ulazno/izlaznih parova. Generisanje funkcija pripadnosti fuzzy skupova i pravila po kojima se donose odluke podrazumeva dugu komunikaciju sa većim brojem eksperata u oblasti koja se istražuje. Funkcije pripadnosti fuzzy skupova, kojima se opisuju pojmovi, a koje su predložene od strane eksperata mogu da budu veoma različite. Zbog toga karakteristike razvijenog FLS-a zavise od broja raspoloživih eksperata i sposobnosti da se formuliše njihova strategija odlučivanja. Kako bi se ovaj proces olakšao, u ovom radu opisan je metod agregacije težina premisa pravila (ATPP metoda) kojim se na matematički podržan način definiše baza pravila koja predstavlja najznačajniji ulazni podatak za izradu kvalitetnog FLS za podršku odlučivanju.

Prikaz koraka ATPP metode dat je na primeru ocene performansi jedinica za uklanjanje minsko-eksplozivnih prepreka (MEP) u toku izvođenja borbenih dejstava.

Adresa autora: Darko Božanić, Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, Beograd, Pavla Jurišića Šturma 33

Rad primljen: 05.10.2013.

Rad prihvaćen: 30.10.2013.

2. DEFINISANJE PROBLEMA NA KOJEM ĆE BITI PRIKAZANA ATPP METODA

U toku izvođenja borbenih dejstava jedinice Vojke Srbije, pored ostalih (dejstava i protivdejstava)

organizuju i protivinženjerska dejstva. Protivinženjerskim dejstvima se umanjuju efekti inženjerskih i drugih dejstava neprijatelja, a sopstvenim snagama stvaraju povoljni uslovi za borbena dejstva kretanje i manevar [3]. U sklopu savlađivanja prepreka, kao elementa protivinženjerskih dejstava, deo jedinica se angažuje na uklanjanju MEP. Ovaj pojam u literaturi se može pronaći pod izrazom razminiranje [21].

Minsko-eksplozivne prepreke imaju značajan uticaj na tok i ishod izvođenja operacija. Pored toga one u određenoj meri kod vojnika - boraca, stvaraju značajne pozitivne odnosno negativne psihičke efekte (zavisno od toga da li se radi o sopstvenim odnosno protivničkim MEP) u pogledu subjektivnog osećaja (ne) sigurnosti, koji u izvođenju borbenih dejstava nije ništa manje važan od objektivnog. Na uklanjanju MEP u borbenim dejstvima, prema postojećim propisima, angažuju se sve jedinice Vojske Srbije u zoni/rejonu svog dejstva, dok se na težištu izvođenja borbenih dejstava angažuju inženjerske jedinice [20]. Međutim, mnogobrojna borbena iskustva ukazuju, da se veći deo jedinica pri nailasku na MEP oslanja na inženjerske jedinice, kao specijalizovane sastave za izvršenje ovakvih zadataka. Pri tom se vrlo često zanemaruje činjenica da se za uklanjanje MEP značajnije obučava samo jedna od nekoliko specijalnosti inženjerije, te da se ostale specijalnosti sa ovim problemom sreću u istoj meri kao i sastavi drugih rodova i službi. Zbog svega ovoga komandanti (donosioci odluka) se mogu naći u dilemi: koju jedinicu da angažuju za uklanjanje određene MEP. Da li da ostanu pri stavu da to uradi jedinica u čijoj zoni dejstva se prepreka nalazi ili da angažuje drugi specijalizovani (ili iskusniji) sastav za izvršenje ovakvih zadataka. Ovim FLS komandant (lice koje donosi odluku) bi izvršio ocenu performansi jedinica koje su mu na raspolaganju i na bazi dobijenih ocena izvršio izbor jedinice koja bi uklanjanje MEP izvršila.

Ocena performansi jedinica za uklanjanje MEP vrši se na osnovu sledećih kriterijuma – ulaznih promenljivih:

- K-1 Bobene mogućnosti jedinice za uklanjanje MEP (BM): ovim kriterijumom ističu se razlike u jedinicama u pogledu njihovih borbenih mogućnosti za uklanjanje MEP. Ovaj kriterijum zavisi od popunjenosti jedinice, morala, sredstava koje u svom sastavu imaju i sl.
- K-2 Stepem obučenosti i iskustvo u savlađivanju MEP (SOiI): ovim kriterijumom se definiše kako je jedinica obučena za izvršenje ovakvih zadataka i kakva su joj dosadašnja iskustva u savlađivanju MEP.
- K-3 Potrebno vreme do angažovanja (PVA): ovim kriterijumom utvrđuje se koliko je potrebno

vremena da bi određena jedinica otpočela svoje angažovanje na razminiranju. Ovaj kriterijum zavisi od toga gde se jedinica nalazi u odnosu na rejon MEP (koliko joj je vremena potrebno za pripremu i marševanje do rejonu MEP i organizaciju razminiranja), kao i od trenutnog statusa jedinice (na drugom zadatku, na odmoru od zadatka, u rezervi sl.).

Izlazna promenljiva ocena performansi jedinice za uklanjanje MEP ocenjuje, rangira, jedinice prema njihovim kvalifikacijama za izvršavanje zadatka, odnosno preporučuje donosiocu odluka koju jedinicu da angažuje u savlađivanju MEP.

Ovi kriterijumi i FLS ne razmatraju angažovanje u miru. Za angažovanje u miru postojao bi širi spektar kriterijuma, posebno ako se ima u vidu da se u novije vreme za tzv. humanitarno razminiranje angažuju civilne firme usko specijalizovane za poslove uklanjanja MEP.

3. FUZZY LOGIKA I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA VEZANA ZA IZRADU BAZE PRAVILA ZA FLS

Osnove teorije fuzzy skupova postavio je Lotfi Zadeh [24], [25], [26]. Već 1974. fuzzy logika je prvi put primenjena i u praksi [8]. Ona predstavlja pogodan matematički aparat za tretiranje neizvesnosti, neodređenosti, subjektivnosti i dr. [2]. Nasuprot konvencionalnoj logici, u fuzzy logici nije precizno definisana pripadnost jednog elementa određenom skupu, već se meri određenim stepenom pripadnosti. Zbog toga fuzzy logika je jako bliska ljudskoj percepciji [15]. Ona omogućava da se naizgled neprecizne informacije koriste u naučnim istraživanjima u širokom spektru oblasti. Više o teoriji fuzzy skupova može se pogledati u [1], [9], [12], [13], [14], [17] i [19].

Izrada baze pravila FLS je složen proces koji zahteva dugu komunikaciju sa ekspertima i predstavlja akumulaciju znanja eksperata koji učestvuju u istraživanju. U literaturi postoje brojne metode za izradu baze pravila FLS-a iz poznatog skupa numeričkih podataka odnosno primera, kao što su [6], [18] i [22]. Za izradu baze pravila kada ne postoje numerički podaci autorima ovog rada nije poznata posebno razvijena metodologija.

4. OPIS I PRIMENA METODE AGREGACIJE TEŽINA PREMISA PRAVILA

U složenim FLS jedan od velikih problema je činjenica da ne postoji standardna i sistematična metoda za transformaciju inženjerskog znanja ili iskustva u fuzzy pravila [4]. Takođe ne postoji ni opšta procedura za izbor optimalnog broja pravila (jer obi-

čno više faktora utiče na ovaj proces), koja su dalje veoma važno za brzinu rada FLS.

U ovom delu rada predložen je metoda koja se sastoji od šest koraka za određivanje baze pravila FLS-a agregacijom težina premisa pravila.

Ulazno-izlazne promenljive koje čine bazu pravila FLS-a mogu se prikazati kao uređeni parovi

$$\left(x_1^{(1)}, \dots, x_n^{(1)}; y^{(1)}\right), \left(x_1^{(1)}, \dots, x_n^{(2)}; y^{(2)}\right), \dots, \left(x_1^{(p)}, \dots, x_n^{(q)}; y^{(d)}\right) \quad (1)$$

gde $x_1^{(p)}, \dots, x_n^{(q)}$ predstavljaju funkcije pripadnosti ulaznih promenljivih X_1, \dots, X_n , a $y^{(1)}, y^{(2)}$ i $y^{(d)}$ predstavljaju funkcije pripadnosti izlazne promenljive Y FLS-a (moguće je postaviti i više izlaznih promenljivih).

ATPP metoda omogućava da se generiše baza fuzzy pravila na osnovu ulazno-izlaznih parova (izraz 1). Baza pravila predstavlja vezu između ulaznih (X_i) i izlaznih (Y_i) promenljivih FLS-a. Fuzzy logički sistem koristi bazu pravila (primenom ulazno-izlaznog preslikavanja fuzzy skupova) za dobijanje izlaznih vrednosti

$$f : (X_1, X_2, \dots, X_n) \rightarrow Y \quad (2)$$

ATPP metoda sastoji se iz šest koraka koji su predstavljani u narednom delu rada.

Korak 1. Određivanje težinskih koeficijenata ulaznih promenljivih FLS-a.

Označimo sa X_i ($i=1, 2, \dots, n$) skup ulaznih promenljivih FLS-a i sa $x_i^{(i)}$, $i=1, \dots, m$, funkcije pripadnosti ulazne promenljive FLS-a (gde m predstavlja broj funkcija pripadnosti). Označimo sa Y_i izlaznu promenljivu FLS-a i sa $y_i^{(i)}$, $i=1, \dots, d$, funkcije pripadnosti izlazne promenljive FLS-a (gde d predstavlja ukupan broj funkcija pripadnosti).

Težinski koeficijent (g_{X_i}) ulazne promenljive X_i dobija se formiranjem matrice \bar{W} u kojoj su prikazane agregacije odluka eksperata E_g ($g=1, 2, \dots, k$) koji su učestvovali u istraživanju. Matrica \bar{W} dobija se nakon poređenja u parovima kriterijuma. Svaki red matrice \bar{W} predstavlja agregaciju odluka pojedinačnog eksperta koji je učestvovao u istraživanju. Poređenje kriterijuma vrši se primenom defazifikovane skale, tabela 1 [23].

Tabela 1. Skala za poređenje u parovima ulaznih promenljivih

Lingvistička varijabla	Fuzzy broj
Very Low (VL)	(0,0,0,1)
Low (L)	(0,0,1,0,3)
Medium Low (ML)	(0,1,0,3,0,5)
Medium (M)	(0,3,0,5,0,7)
Medium High (MH)	(0,5,0,7,0,9)
High (H)	(0,7,0,9,1)
Very High (VH)	(0,9,1,1)

$$\bar{W} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_k \end{matrix} & \begin{pmatrix} \bar{w}_{11} & \bar{w}_{12} & \dots & \bar{w}_{1n} \\ \bar{w}_{21} & \bar{w}_{22} & \dots & \bar{w}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \bar{w}_{k1} & \bar{w}_{k2} & \dots & \bar{w}_{kn} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Težinski koeficijenti dobijaju se primenom aritmetičkih operacija koje su objašnjene u narednom delu. Sumiranje vrednosti po redovima matrice \bar{W} vrši se primenom izraza

$$Xw_k = \sum_{k=1}^m \bar{w}_{kn} = \left(\sum_{k=1}^m w_{kn}^l(r), \sum_{k=1}^m w_{kn}^u(r) \right), \quad (4)$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

Normalizacija sumiranih vrednosti po redovima vrši se primenom izraza

$$g_{X_i} = \frac{Xw_n}{\sum_{k=1}^n Xw_k} = \left(\frac{\sum_{k=1}^m w_{kn}^l(r)}{\sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n w_{kl}^l(r)}, \frac{\sum_{k=1}^m w_{kn}^u(r)}{\sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n w_{kl}^u(r)} \right), \quad (5)$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

Defazifikacija lingvističkih deskriptora vrši se primenom izraza [7]

$$g_{\alpha, \beta}(\bar{L}) = [\beta \square f_{\alpha}(l_1) + (1-\beta) \square f_{\alpha}(l_3)], \quad (6)$$

$$0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \alpha \leq 1$$

gde je $f_{\alpha}(l_3) = l_3 - (l_3 - l_2) \square \alpha$ funkcija koja predstavlja levu distribuciju intervala poverenja fuzzy broja \bar{L} dok je $f_{\alpha}(l_1) = (l_2 - l_1) \square \alpha + l_1$ funkcija koja predstavlja desnu distribuciju intervala poverenja fuzzy broja \bar{L} . Vrednost α ($0 \leq \alpha \leq 1$) predstavlja stepen uverenosti donosioca odluke u istinitost datog tvrđenja, dok vrednost β ($0 \leq \beta \leq 1$) predstavlja pesimistički indeks donosioca odluke. Stepennizvesnosti je najveći kada je vrednost $\alpha=0$, dok sa

druge strane vrednost $\beta = 0$ predstavlja optimistički indeks donosioca odluke.

U konkretnom slučaju došlo se do težinskih koeficijenata, tabela 2.:

Tabela 2. Težinski koeficijenti ulaznih promenljivih

Ulazne promenljive	Težinski koeficijent
K-1	0,41
K-2	0,36
K-3	0,23

U sklopu prvog koraka moguće je koristiti i neke druge metode za određivanje težina kriterijuma. Veliki broj tih metoda može se pronaći u [10] i [11].

Korak 2. Određivanju vrste (tipa) i broja funkcija pripadnosti ulazno-izlaznih promenljivih FLS-a

Nakon dobijanja težinskih koeficijenata ulaznih promenljivih FLS-a (g_{x_i} , $i=1, \dots, n$, gde n predstavlja broj ulaznih promenljivih) pristupa se određivanju vrste i broja funkcija pripadnosti ulaznih (X_i) i izlaznih (Y_i) promenljivih. Za sve ulazne/izlazne promenljive FLS-a, pored tipa funkcija pripadnosti, potrebno je odrediti i broj funkcija pripadnosti. Veći broj funkcija pripadnosti zahteva povećanje broja pravila u bazi. Međutim, veći broj pravila otežava podešavanje sistema. Zato se preporučuje da se, u skladu sa prirodom promenljivih, počne sa najmanjim brojem funkcija pripadnosti. Međutim, smanjenje broja funkcija pripadnosti ne sme da ima za posledicu nepotpun opis ulazne promenljive.

Nakon definisanja vrste i broja funkcija pripadnosti ulaznih (X_i) i izlaznih (Y_i) promenljivih pristupa se određivanju intervala poverenja funkcija pripadnosti

$$x_1^{(1)}, x_1^{(2)}, \dots, x_1^{(i)} \in [x_1^-, x_1^+]; x_2^{(1)}, x_2^{(2)}, \dots, x_2^{(j)} \in [x_2^-, x_2^+]; \quad (7)$$

$$\dots, x_m^{(1)}, x_m^{(2)}, \dots, x_m^{(k)} \in [x_m^-, x_m^+]$$

$$y_1^{(1)}, y_1^{(2)}, \dots, y_1^{(i)} \in [y_1^-, y_1^+]; y_2^{(1)}, y_2^{(2)}, \dots, y_2^{(j)} \in [y_2^-, y_2^+]; \quad (8)$$

$$\dots, y_i^{(1)}, y_i^{(2)}, \dots, y_i^{(n)} \in [y_i^-, y_i^+]$$

Kada je reč o prikazanom primeru usvojene su trouglaste funkcije pripadnosti. U izradi FLS, ovaj tip funkcija se vrlo često koristi, jer se radi o relativno jednostavnim funkcijama, koje obično dovoljno dobro mogu da opisuju realnost. U slučaju da se testiranjem FLS ne dobiju odgovarajuće vrednosti, vrlo lako se može preći na korišćenje funkcija pripadnosti nekog drugog oblika (trapezoidne, gausove krive, zvonaste funkcije i sl.).

Kada je reč o funkcijama pripadnosti za ulazne promenljive one su definisane na sledeći način:

- za K-1 Borbene mogućnosti jedinice za uklanjanje MEP usvojene su tri funkcije pripadnosti: (1) male - M, (2) srednje - S i (3) velike - V;
- za K-2 Stepenu obučenosti i iskustvo u savlađivanju MEP usvojene su četiri funkcije pripadnosti: (1) nedovoljno obučena i neiskusna jedinica - NN, (2) obučena i neiskusna jedinica - ON, (3) iskusna jedinica - I i (4) veoma iskusna jedinica - VI;
- za K-3 Potrebno vreme do angažovanja usvojene su tri funkcije pripadnosti: (1) malo - M, (2) srednje -S i (3) veliko V.

Izlazna promenljiva ocena performansi jedinice za uklanjanje MEP definisana je sa šest funkcija pripadnosti: (1) veoma male - VM, (2) male - M, (3) srednje male - SM, (4) srednje - S, (5) velike - V i (6) veoma velike - VV.

Na kraju, za sve funkcije pripadnosti definisani su intervali poverenja.

Kao što se vidi iz prethodnog sva tri kriterijuma se opisuju lingvistički. Kriterijumi K-1 i K-2 su benefičnog, a kriterijum K-3 je troškovnog karaktera. Za sve promenljive usvojen je interval poverenja [0,1].

Korak 3. Određivanje težinskih koeficijenata funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih.

Označimo sa $w_{x_i}^{(i)}$, $i=1, \dots, m$, (gde m predstavlja ukupan broj funkcija pripadnosti ulazne promenljive X_i) težinske koeficijente funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih uz uslov da je

$$\sum_{j=1}^m w_{x_i}^{(j)} = g_{x_i} \quad (9)$$

Najčešće se $w_{x_i}^{(i)}$ određuje na osnovu subjektivne procene eksperta koji modelira FLS. Međutim, pored subjektivne procene $w_{x_i}^{(i)}$ može da se odredi i grupnim odlučivanjem i agregacijom odluka eksperata.

U konkretnom primeru, subjektivnom procenom, došlo se do zaključka da ravnomerna raspodela težinskih koeficijenata funkcija pripadnosti može da odsluži realnost, pa su dobijene sledeće vrednosti:

$$w_{x_1}^{(1)} = 0,137; \quad w_{x_1}^{(2)} = 0,274; \quad w_{x_1}^{(3)} = 0,41; \\ w_{x_2}^{(1)} = 0,09; \quad w_{x_2}^{(2)} = 0,18; \quad w_{x_2}^{(3)} = 0,27; \quad w_{x_2}^{(4)} = 0,36; \\ w_{x_3}^{(1)} = 0,23; \quad w_{x_3}^{(2)} = 0,154 \text{ i } w_{x_3}^{(3)} = 0,077.$$

Korak 4. Generisanje početne ("nepotpune") baze pravila sa maksimalnim brojem kombinacija ulazno-izlaznih parova

Kao što je već naglašeno, postoji n ulaznih (X_i) promenljivih i izlaznih promenljivih (Y_i), koje su opisane sa m funkcija pripadnosti. Polazeći od toga potrebno je odrediti maksimalan broj pravila tj. maksimalan broj kombinacija (c) kojima mogu da se kombinuju funkcije pripadnosti. Početna baza pravila sadrži samo premise ("if" deo pravila) odnosno kombinacije svih funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih FLS-a ($x_i^{(i)}$). Konkluzije pravila ("then" deo pravila) biće definisane u narednom koraku. Početna ("nepotpuna") baza pravila R prikazuje se u matricnoj formi

$$R = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_c \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & x_2^{(1)} & \dots & x_n^{(1)} \\ x_1^{(2)} & x_2^{(2)} & \dots & x_n^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_1^{(m)} & x_2^{(m)} & \dots & x_n^{(m)} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

Ukupan broj pravila zavisi od broja funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih i računa se prema izrazu:

$$Bp = \prod_{i=1}^n k_{x_i} \quad (11)$$

gde Bp predstavlja broj pravila, a k_{x_i} predstavlja broj funkcija pripadnosti za svaku ulaznu promenljivu (X_i).

U konkretnom slučaju maksimalan broj pravila koje je moguće definisati je 36.

Korak 5. Generisanje "potpune" baze pravila - Dodeljivanje odgovarajućih konkluzija ($y_i^{(i)}$) premisama $x_i^{(i)}$

Generisanje "potpune" baze pravila otpočetki konstruisanjem matrice R' u kojoj se kombinacije ulaznih parova (izraz 1) zamenjuju težinskim koeficijentima ($w_{x_i}^{(i)}$)

$$R' = \begin{pmatrix} w_{x_1}^{(1)} & w_{x_2}^{(1)} & w_{x_3}^{(1)} & \dots & w_{x_n}^{(1)} \\ w_{x_1}^{(2)} & w_{x_2}^{(2)} & w_{x_3}^{(2)} & \dots & w_{x_n}^{(2)} \\ w_{x_1}^{(3)} & w_{x_2}^{(3)} & w_{x_3}^{(3)} & \dots & w_{x_n}^{(3)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{x_1}^{(m)} & w_{x_2}^{(m)} & w_{x_3}^{(m)} & \dots & w_{x_n}^{(m)} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Nakon konstruisanja matrice R' sumiraju se elementi matrice po redovima

$$w_{y_i} = \sum_{i=1}^n w_{x_i}^{(i)} \square y_i^+, \quad y^+ \in [y_i^-, y_i^+] \quad (13)$$

gde y^+ predstavlja gornju granicu intervala poverenja $[y_i^-, y_i^+]$ izlazne promenljive Y_i .

Dalje je potrebno odrediti stepen pripadnosti realnog broja (crisp value) w_{y_i} funkciji pripadnosti ($y_i^{(i)}$) izlazne promenljive Y_i

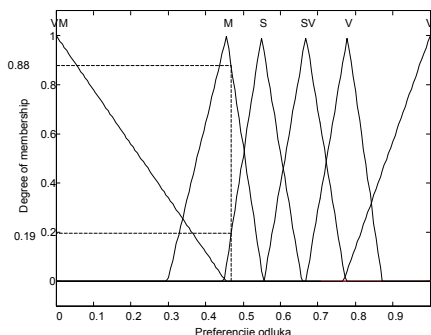
$$y_i^{(i)} = \max(w_{y_i} \cap \mu_{y_i^{(i)}}) \quad (14)$$

Detaljnije pojašnjenje koraka 5 prikazano je na slici 1. na već definisanom problemu. Pošto težinski koeficijent funkcije pripadnosti $x_1^{(1)}$ iznosi $w_{x_1}^{(1)} = 0,137$, težinski koeficijent funkcije pripadnosti $x_2^{(2)}$ iznosi $w_{x_2}^{(2)} = 0,18$ i težinski koeficijent funkcije pripadnosti $x_3^{(2)}$ iznosi $w_{x_3}^{(2)} = 0,154$ tada w_{y_i} iznosi $w_{y_i} = w_{x_1}^{(1)} + w_{x_2}^{(2)} + w_{x_3}^{(2)} = 0,471$. Težinski koeficijent $w_{y_i} = 0,471$ ima stepen pripadnosti funkciji $y^{(3)}$ koji iznosi 0.19, stepen pripadnosti funkciji $y^{(2)}$ koji iznosi 0.88, stepen pripadnosti ostalim funkcijama iznosi 0.00. Tada se premisama $x_1^{(1)}$, $x_2^{(2)}$ i $x_3^{(2)}$ pridružuje konkluzija $y^{(2)}$ pošto ima maksimalan stepen pripadnosti. Jedno od pravila FLS-a možemo da definišemo pomoću izraza

$$(x_1^{(1)}, x_2^{(2)}, x_3^{(2)}; y^{(2)}) \Rightarrow \left[x_1^{(1)} (w_{x_1}^{(1)} \Leftrightarrow M), x_2^{(2)} (w_{x_2}^{(2)} \Leftrightarrow ON), \right. \\ \left. x_3^{(2)} (w_{x_3}^{(2)} \Leftrightarrow S); y^{(2)} (M) \right] \quad (15)$$

odnosno:

"IF X_1 is **M** and X_2 is **ON** and X_3 is **S** THEN Y is **M**".



Slika 1 - Funkcije pripadnosti izlazne promenljive (Y)

Korak 6. Optimizacija pravila (eliminisanje suvišnih pravila)

Prilikom generisanja baze pravila na početku je bitno da svakom paru funkcija pripadnosti ($x_i^{(i)}$) ulaznih promenljivih (X_i) pridružimo odgovarajuću funkciju pripadnosti ($y_i^{(i)}$) izlazne promenljive (Y_i). Radi lakšeg prikaza međuzavisnosti ulazno-izlaznih parova baza pravila za definisani problem, prikazana je u matrici B u relacionoj formi.

$$B = \begin{bmatrix} (M, NN, M; M)^1 \\ (M, NN, S; VM)^2 \\ (M, NN, V; VM)^3 \\ (M, ON, M; S)^4 \\ \dots \\ (M, VI, V; S)^{12} \\ (S, NN, M; S)^{13} \\ \dots \\ (V, VI, M; VV)^{34} \\ (V, VI, S; VV)^{35} \\ (V, VI, V; VV)^{36} \end{bmatrix} \Rightarrow B' = \begin{bmatrix} (M, NN, M; M)^1 \\ (M, NN, S; VM)^2 \\ \dots \\ (M, VI, V; S)^{11} \\ (S, NN, M; S)^{12} \\ \dots \\ (V, VI; VV)^{28} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Nakon konstruisanja baze pravila pristupa se eliminisanju suvišnih pravila pošto opterećuju sistem i razumevanje baze pravila. Eliminisanje suvišnih pravila vrši se u dva slučaja.

Slučaj 1. Posmatrajmo pravila pod rednim brojem 1, 2 i 3 u matrici B . Vidi se da se u pravilima menja lingvistička vrednost M ($x_3^{(1)}$), S ($x_3^{(2)}$) i V ($x_3^{(3)}$) ulazne promenljive X_3 , dok su preostale dve ulazne promenljive X_1 i X_2 opisane sa po jednom funkcijom pripadnosti $x_1^{(1)}$ i $x_2^{(1)}$. Pri tome se u pravilu 2 i 3 vrednost izlazne promenljive Y ne menja, odnosno iznosi VM ($y^{(1)}$), dok u pravilu 4 vrednost izlazne promenljive iznosi S ($y^{(2)}$). Može se zaključiti da je jedno od pravila (pravilo 2 ili pravilo 3) suvišno, pošto se promenom ulazne vrednosti X_3 izlazna vrednost ne menja. Ostavlja se pravilo koje ima veću sumu težinskih koeficijenta funkcija pripadnosti koje su sadržane u pravilu:

$$R = \max \left(\sum w_{x_{Ri}}^{(k)}, \sum w_{x_{Rj}}^{(k)} \right), \quad k = \overline{1, 3} \quad (17)$$

gde $w_{x_R}^{(k)}$ predstavlja težinski koeficijent funkcija pripadnosti koje su sadržane u pravilu R . Pošto je u našem slučaju $w_{x_R}^{(k)} R(2) = 0.381$ i $w_{x_R}^{(k)} R(3) = 0.304$, eliminiše se pravilo 3.

Slučaj 2. Posmatrajmo poslednja tri pravila u matrici B . Vidi se da se u ova tri pravila menjaju lingvističke vrednosti M ($x_3^{(1)}$), S ($x_3^{(2)}$) i V ($x_3^{(3)}$) ulazne promenljive X_3 , dok su preostale dve ulazne promenljive X_1 i X_2 opisane sa po jednom funkcijom pripadnosti V ($x_1^{(3)}$) i VI ($x_2^{(4)}$). Pri tome se u sva tri pravila vrednost izlazne promenljive Y ne menja, odnosno iznosi $y^{(6)}$. Navedena tri pravila mogu da se zamene jednim pravilom koje glasi

$$(x_1^{(3)}, x_2^{(4)}; y^{(6)}) \Rightarrow (V, VI; VV) \Rightarrow \text{IF } X_1 \text{ is } V \text{ and } X_2 \text{ is } VI \text{ THEN } Y \text{ is } VV.$$

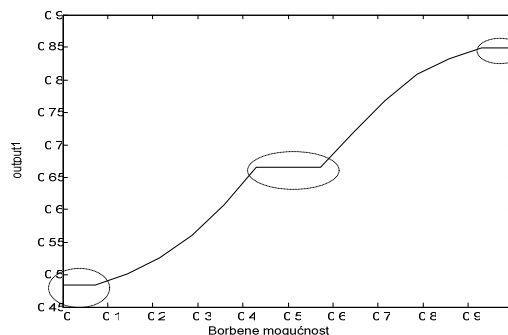
Nakon sprovođenja opisane procedure optimizovani FLS za ocenu performansi jedinica za uklanjanje MEP ima 28 pravila koja su predstavljena u matrici B' .

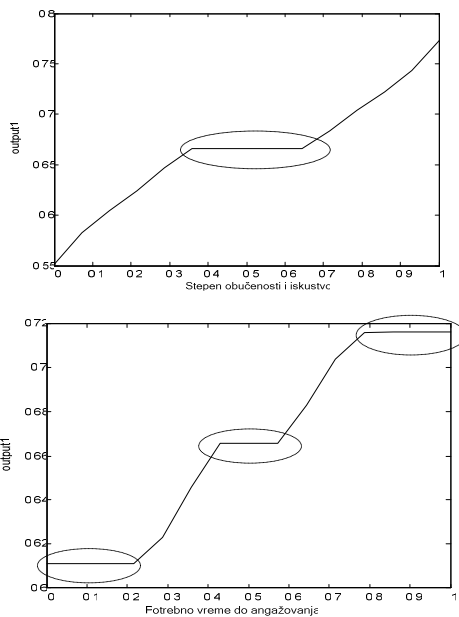
5. TESTIRANJE FUZZY LOGIČKOG SISTEMA

Nakon definisanja ulaznih i izlaznih promenljivih i baze pravila neophodno je izvršiti analizu osetljivosti kao i testiranje FLS. Ovim postupcima dolazi se do zaključaka koji ukazuju na to da li i kako FLS reaguje na izlazu na različite promene ulaznih parametara, kao i da li dobijene vrednosti odgovaraju rezultatima koji se dobijaju u realnoj situaciji.

Za prvi postupak, analizu osetljivosti, biće korišćeni rezultati dobijeni sa početne postavke FLS, slika 2.

Kao što se vidi na slici 2. prilikom promene parametara ulaznih promenljivih postoje vrednosti koje ne utiču na izlaz, odnosno intervali u kojima je sistem inerten (obeleženi ravni delovima funkcija). Ovo ukazuje na to da se radi o nedovoljno podešenom FLS. Ovako formiran FLS "ne reaguje na promene u određenim intervalima" odnosno prilikom promene određenih veličina ulaznih parametara, izlazne vrednosti se ne menjaju. Zbog toga je neophodno izvršiti podešavanje ulaznih funkcija pripadnosti.

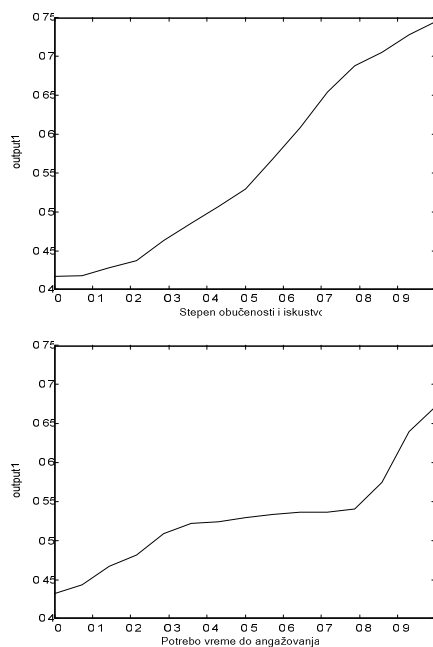
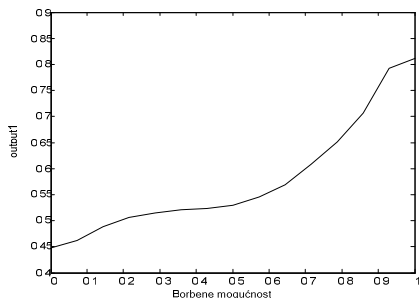




Slika 2 - Izlazne vrednosti FLS-a prilikom promene parametara ulaznih promenljivih

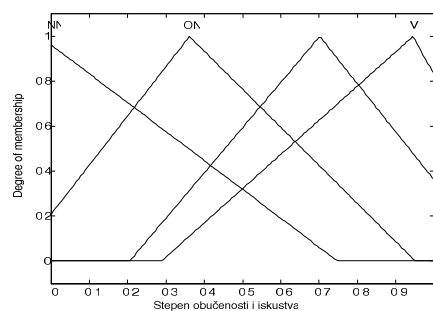
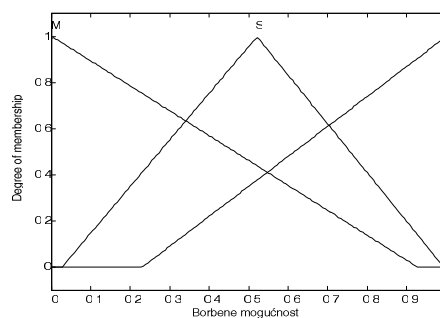
Nakon manjih podešavanja dobijaju se izlazne vrednosti FLS-a, slika 3, na kojima se može videti da se sve promene na ulazu registruju na izlazu u vidu povećanja odnosno smanjenja izlazne vrednosti. Ovde je moguće uočiti osnovnu prednost FLS: da kriterijumi ne utiču na isti način i u istoj meri na donošenje krajnje odluke. Ovo je posebno karakteristično za treću ulaznu promenljivu (PVA) gde je njen uticaj mnogo veći u prvoj i poslednjoj trećini preferencije odluke, dok je u središnjem delu njen uticaj neznatan. Izgled funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih dat je na slici 4.

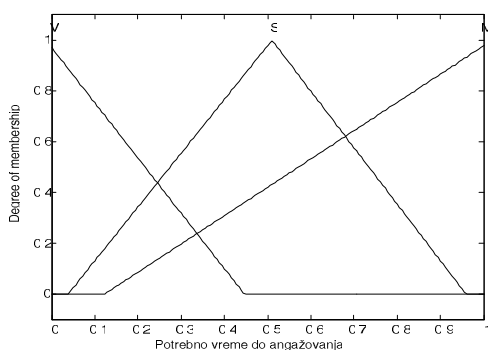
Kada je osetljivost FLS-a potrebno povećati to je moguće učiniti povećanjem broja funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih. To bi FLS učinilo znatno složenijim, kako za izradu tako i za njegovo funkcionisanje, jer bi se povećao broj pravila, u zavisnosti od broja funkcija koje su dodate. Imajući u vidu da je glavni cilj ovog rada prikaz ATPP metoda na jednostavnom primeru, a da je sa druge strane obezbeđena osetljivost prikazanog FLS, neće biti prikazano njegovo dalje unapređivanje, već će se pristupiti njegovom testiranju.



Slika 3 - Izlazne vrednosti FLS-a prilikom promene parametara ulaznih promenljivih nakon podešavanja

Testiranje je neophodan korak kojim se ustanovljava da li izrađeni FLS daje prave vrednosti, upotrebljive u praksi. Proces testiranja je izvršen na 10 alternativa (jedinica) tako što je izvršeno poređenje rangova alternativa dobijenih primenom FLS i grupnog odlučivanja. Uporedni rangovi alternativa prikazani su u tabeli 3.





Slika 4 - Izgled funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih

Tabela 3. Dobijeni rang alternativa

Alternativa	Dobijeni rang alternativa primenom FLS	Dobijeni rang alternativa primenom grupnog odlučivanja
A ₁	4	3
A ₂	1	1
A ₃	6	7
A ₄	2	2
A ₅	10	8
A ₆	5	6
A ₇	9	10
A ₈	3	4
A ₉	7	9
A ₁₀	8	5

Za iskazivanje stepena korelacije rangova na maloj veličini uzorka nema puno mogućnosti. Najčešće korišćen neparametarski pokazatelj korelacije rangova je Spearman-ovog koeficijenta [5]. Ovaj koeficijent dobija se primenom izraza

$$R = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_a^2}{n(n^2 - 1)} \in [-1, 1] \quad (18)$$

gde je D_a razlika U_a – rang dobijen primenom FLS i V_a – rang dobijen grupnim odlučivanjem, a n je broj alternativa. Vrednost Spearman-ovog koeficijenta kreće se u intervali $[-1, 1]$. Kada se vrednost Spearman-ovog koeficijenta približava jedinici, indikacija je da su rangovi slični ili isti i obrnuto, kada je dobijena vrednost manja od nule i približava se broju minus jedan rangovi su negativno korelisani [16].

Testiranje modela dalo je različite rangove alternativa u slučaju primene FLS i grupnog odlučivanja eksperata iz oblasti problema (tabela 3). Spearman-ov koeficijent koji iznosi 0,87 ukazuje na pozitivnu korelaciju između rezultata dobijenih primenom FLS i grupnog odlučivanja. Ovim se može zaključiti da nisu

potrebna dodatna podešavanja i da izrađeni FLS daje upotrebljive rezultate.

6. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Pomoću prikazane ATPP metode uspešno je izrađena baza pravila za FLS na primeru ocene performansi jedinica za uklanjanje MEP. Primena ovakve metode ima više prednosti. Prvo se skraćuje vreme u izradi FLS. Skraćivanje vremena je prvenstveno postignuto zbog različitog pristupa u komunikaciji sa ekspertima. Dok se u standardnoj izradi FLS eksperti bave definisanjem pravila, u ovom slučaju eksperti definišu parametre na osnovu kojih se utvrđuju težine kriterijuma koji predstavljaju ulaz u ATPP metodu, što je za eksperte mnogo jednostavnije. Eksploatacijom ovog podatka, stručnjaci koji se bave izradom FLS na jednostavan način mogu da izrade bazu pravila. Postignuta jednostavnost u izradi FLS, nije zanemarila najvažniji uslov, da se FLS bazira na sakupljanju i ugradnji znanja i iskustva eksperata.

Druga važna prednost ovakvog metoda je eliminisanje/nepostojanje kontradiktornih pravila. Naime, u standardnoj izradi FLS česta pojava su kontradiktorna pravila jer je ekspertima vrlo teško da imaju potpunu konzistentnost u definisanju pravila, posebno kada se radi o velikom broju pravila ili pak o neprecizno definisanim granicama lingvističkih deskriptora kada je reč o ulaznim promenljivim koje nisu numerički definisane. Primena ATPP metode eliminiše kontradiktornosti u pravilima, što olakšava proces izrade FLS. Treće, prikazan je jednostavan način eliminisanja suvišnih pravila, koja nemaju uticaja na izlazne vrednosti ali u velikoj meri usporavaju i opterećuju FLS.

Komunikacija sa ekspertima je važna i neizostavna aktivnost u toku izrade FLS. Primenom ATPP metode dolazi se do novog vida komunikacije odnosno razmene znanja, koji olakšava komunikaciju i razumevanje obema stranama, ekspertima i licima koja izrađuju FLS. Informacije koje daju eksperti primenom ATPP metode ne zahtevaju duga iščitavanja, upoređivanja, popunjavanja dugih upitnika (što vrlo često utiče na nezainteresovanost ovih lica za davanje formacija). Sa druge strane njihovo znanje i skustvo nijednog trenutka nije izostalo u izradi FLS.

Uspešna primena ATPP metode u izradi FLS za ocenu performansi jedinica za uklanjanje MEP ukazuje da je ovu metodu moguće uspešno koristiti u izradi FLS na drugim konkretnim problemima. Ovim je proces izrade FLS poboljšan posebno kada se radi o složenijim FLS, sa većim brojem pravila.

Prikazanu ATPP metodu je moguće uspešno primenjivati u FLS za podršku odlučivanju, koji ne zahtevaju veliku preciznost, već kao što samo ime kaže

služe kao podrška odnosno pomoć donosiocima odluka. Mogućnost primene ove metode u FLS-a automatskog upravljanja u ovom radu nije istraživana.

LITERATURA

- [1] Božanić D. i Pamučar D., Vrednovanje lokacija za uspostavljanje mosnog mesta prelaska preko vodenih prepreka primenom fuzzy logike, *Vojnotehnički glasnik*, 1, 129-145, 2010.
- [2] Čupić M. i Suknović M., *Odlučivanje*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2008.
- [3] *Doktrina Vojske Srbije*, Medija centar „Obrana“, Beograd, 2010.
- [4] Godjevac J., *A Method for the Design of Neuro-Fuzzy Controllers: An Application in robot learning*, Doktorski rad br. 1602, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland, 1997.
- [5] Grabisch M. i Slowinski R., *Fuzzy Sets in Decision Analysis Operations Research and Statistics*, The Handbooks of Fuzzy Sets Series, Boston, USA, 1998.
- [6] Kao C. H., Chen S. M., *A new method to generate fuzzy rules from training data containing noise for handling classification problems*, Proc. 5th Conference Artificial Intelligence and Applications, Taipei, Taiwan, R.O.C., pp. 323–331, 2000.
- [7] Liou, T. S. i Wang. M. J. J., *Ranking fuzzy numbers with integral value*, *Fuzzy Sets Syst* 50, p. 247–256, 1992.
- [8] Mamdani E. H. i Assilian S., *Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant*, Proceedings of the Institute of Electrical Engineers 121, p. 1585-1588, 1974.
- [9] Milić A., Božanić D. i Pamučar D., *Fuzzy Logic as a support process in decision making with engagement Group for Making Additional Obstacle*, Zbornik radova BALCOR 2013, p. 541-550.
- [10] Milićević R. M. i Župac Ž. G., *Objektivni pristup određivanju težina kriterijuma*, *Vojnotehnički glasnik*, 1, p. 39-56, 2012.
- [11] Milićević R. M. i Župac Ž. G., *Subjektivni pristup određivanju težina kriterijuma*, *Vojnotehnički glasnik*, 2, p. 48-70, 2012.
- [12] Mitrović S., *Design of Fuzzy logic controller for autonomous garaging of mobile robot*, *Journal of automatic control*, 1, p. 13-16, 2006.
- [13] Muždeka S., Miodrag S., Popović Z. i Vulović D., *Primena fuzzy logike u regulatorima sistema automatskog upravljanja na motornim vozilima*, *Vojnotehnički glasnik*, 3, p. 301-314, 2001.
- [14] Pamučar D., Božanić D. i Đorović B., *Fuzzy logic in decision making process in the Armed Forces of Serbia*. Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing, 2011.
- [15] Pamučar D., Božanić D., Đorović B. i Milić A., *Modelling of the fuzzy logical system for offering support in making decisions within the engineering units of the Serbian army*, *International journal of the physical sciences*, 3, p. 592 – 609, 2011.
- [16] Pamučar D., *Dizajniranje organizacione strukture upravnih organa logistike korišćenjem fuzzy pristupa*, doktorska disertacija, Vojna akademija, Beograd, 2013.
- [17] Pamučar D., *Primena fuzzy logike i veštačkih neuronskih mreža u procesu donošenja odluke organa saobraćajne podrške*, *Vojnotehnički glasnik*, 3, 125-143, 2010.
- [18] Ravi V., Reddy P. J., Zimmermann H. J., *Fuzzy rule base generation for classification and its minimization via modified threshold accepting*, *Fuzzy Sets and System* 120 (2), 271–279, 2001.
- [19] Teodorović D. i Kikuchi S., *Fuzzy skupovi i primene u saobraćaju*, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1994.
- [20] Vladisavljević P., *Izrada i savlađivanje minskoeksplozivnih prepreka*, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1979.
- [21] *Vojni leksikon*, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1981.
- [22] Wang L. X., Mendel J. M., *Generating fuzzy rules by learning from examples*, *IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics*, 22 (6), 1414– 1427, 1992.
- [23] Wang, Y. M. i Elhag, T. M. S., *Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment*, *Expert Systems with Applications*, 31, p. 309–319, 2006.
- [24] Zadeh L. A., *A Rationale for Fuzzy Control*, *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, 3, p. 3-4, 1972.
- [25] Zadeh L. A., *Fuzzy sets*, *Information and control*, 8, p. 338-353, 1965.
- [26] Zadeh L. A., *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*, *IEEE Trans. on systems, Man and Cybernetics*, 1, p. 28-44, 1973.

SUMMARY

MAKING OF FUZZY LOGIC SYSTEM RULES BASE FOR DECISION MAKING SUPPORT BY AGGREGATION OF WEIGHTS OF RULES PREMISES

The fuzzy logic systems are more often used in practice for decision making support. Although the use of such models is relatively simple, its production requires a synergy of knowledge of persons engaged in the production of such systems as well as experts from the field of the researched problem. Translation of expert knowledge and experience in the fuzzy logic system requires a long communication with a number of experts of the researched field. The end result depends on the degree of mutual understanding, as well as the ability of people producing fuzzy logic systems to built expert knowledge and experience into the models they produce. This paper presents a method of aggregation of weight of rules premises which overcomes the problem in the communication between experts and persons who produce fuzzy logic system. The way of making a set of linguistic rules for fuzzy logic system is shown in six simple steps. This method is shown on the example of assessment of the Serbian Armed Forces' units' performances in removing the mine-explosive obstacles while performing combat operations.

Key words: *fuzzy logic, decision - making, making of fuzzy logic systems rules base, aggregation of weights of rules premises (AWRP), assessment of the units' performances, mine- explosive obstacles*