

**Jasminka Bonato, Julije Skenderović**

E-mail: bonato@pfri.hr

Pomorski fakultet u Rijeci, Studentska 2, Rijeka

**Julijan Dobrinić**

Tehnički fakultet, Vukovarska 58, Rijeka

---

## Regulacija rada dizalice pomoću fuzzy logike

### Sažetak

Teorija fuzzy logike se koristi u brojnim primjenama koje se odnose na tehničke sustave, ali i u drugim područjima istraživanja. Metode fuzzy logike predstavljaju novi pristup problemima upravljanja složenim sustavima, koje je vrlo teško opisati određenim matematičkim modelom, te kod sustava s većim brojem ulaza i izlaza kod kojih dolazi do nejasnih međudjelovanja. U radu je dan primjer koji koristi fuzzy logiku da bi se smanjilo njihanje tereta obješenog na kran dizalice. Za ulazne parametre (brzina dizalice u uzdužnom gibanju, kut njihanja tereta, promjena njihanja u vremenu) na osnovi pravila fuzzy logike prikazan je utjecaj na izlazni parametar brzinu (elektromotora, koji pokreće dizalicu u uzdužnom gibanju).

**Cljučne riječi:** fuzzy logika, brzina dizalice u uzdužnom gibanju, kut njihanja tereta, promjena njihanja u vremenu, sistem fuzzy zaključivanja

### 1. Uvod

Ljudi imaju sposobnost analize nepreciznih pojmova koje u biti ne razumiju, kao što je npr. vožnja automobila bez razumijevanja njegovog dinamičkog modela. Teorija fuzzy skupova omogućuje korištenje neodređenosti i višeznačnosti lingvističkih izraza, može ih preslikati u fuzzy skupove i interpretirati kompjutorskim jezicima. Cilj metoda umjetne inteligencije je da ljudski način razmišljanja odnosno zaključivanja na određen način, pretvori u algoritam primjenom odgovarajućih matematičkih metoda [1,2]. Metode se primjenjuju u području društvenih istraživanja kao što su psihologija, sociološka istraživanja, a ima veliku primjenu i u tehnicima. Rezultati projekta *Primjena neuronskih mreža i neizrazite logike u turbinskoj regulaciji i brodskim sustavima kormila* mogu se pratiti kroz publikacije, radove, poglavlja u knjizi, kao i održane radionice [3].

U teoriji fuzzy skupova postoji stupanj pripadnosti elementa nekom skupu, dok u klasičnoj teoriji skupova element pripada ili ne pripada skupu. Kao što se klasična logika temelji na klasičnoj teoriji skupova, neizrazita logika se temelji na teoriji

neizrazitih skupova i omogućuje ugradnju strukturiranog ljudskog znanja, izraženog riječima u algoritme koji simuliraju ljudsko razmišljanje. Neizraziti skupovi, kojima opisujemo neprecizne pojmove te fuzzy logika čine osnovu neizrazitih sustava ili neizrazito upravljanje odnosno neizrazite ekspertne sustave.

## 2. Fuzzy logika

Fuzzy (engl. *fuzzy logic*) logika temelji se na teoriji neizrazitih skupova, koja se može shvatiti kao generalizacija teorije klasičnih skupova.

U klasičnoj teoriji skupovi su jasno definirani skupovi elemenata (brojeva, simbola i dr.) i zovu se određeni skupovi. Elementi svih skupova koje promatramo u danoj situaciji pripadaju nepromjenljivoj, konstantnom skupu, koji se naziva univerzalni skup.

Ako je  $X$  univerzalni skup, a  $A$  proizvoljan skup, u klasičnoj teoriji skupova pripadnost, odnosno nepripadnost proizvoljnog elementa  $x$  univerzalnog skupa  $X$  skupu  $A$  određuje se *karakterističnom funkcijom*:

$\chi: X \rightarrow 0,1$  definiranom:

$$\chi(x) = \begin{cases} 1, & x \in A, \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

Ideja koju uvodi Lotfi Zadeh 1965. godine [4] zasniva se na redefiniranju karakteristične funkcije na način da se kodomena karakteristične funkcije koja je dvočlani skup  $\{0,1\}$  zamijeni cijelim intervalom  $[0,1]$ :

$$\mu: X \rightarrow [0,1].$$

Ako neki element  $x \in X$  sigurno pripada skupu  $A$  onda je  $\mu(x) = 1$ , a ako sigurno ne pripada skupu  $A$ , onda je  $\mu(x) = 0$

Ako je vrijednost  $\mu(x)$  broj iz intervala  $[0,1]$  različita od 0 i 1, taj broj se interpretira kao *stupanj* pripadnosti elementa skupu  $A$ .

Čim je taj broj bliži vrijednosti 1, mogućnost (engl. *possibility*) pripadnosti skupu  $A$  je veća, ako je pak bliža 0, mogućnosti pripadnosti skupu  $A$  je manja.

Funkcija  $\mu(x)$  se naziva funkcija pripadnosti (engl. *membership function*), a skup  $A$  neizrazit skup (engl. *fuzzy set*) i često bilježi kao par  $(A, \mu(x))$ .

Funkcije pripadnosti mogu se odrediti na temelju statističkih podataka i temelje se na kriterijima koji su specifični za primjenu [2]. (Kaufmann, 1975.; Dubois i Prade, 1980.; Zimmermann, 1985.)

Jedan od mogućih algoritama fuzzy logike je Mamdani model [3] koji se kao model procjene svojstava koristi kad se raspolaže sa "*relativno malim*" brojem ulaznih skupova podataka

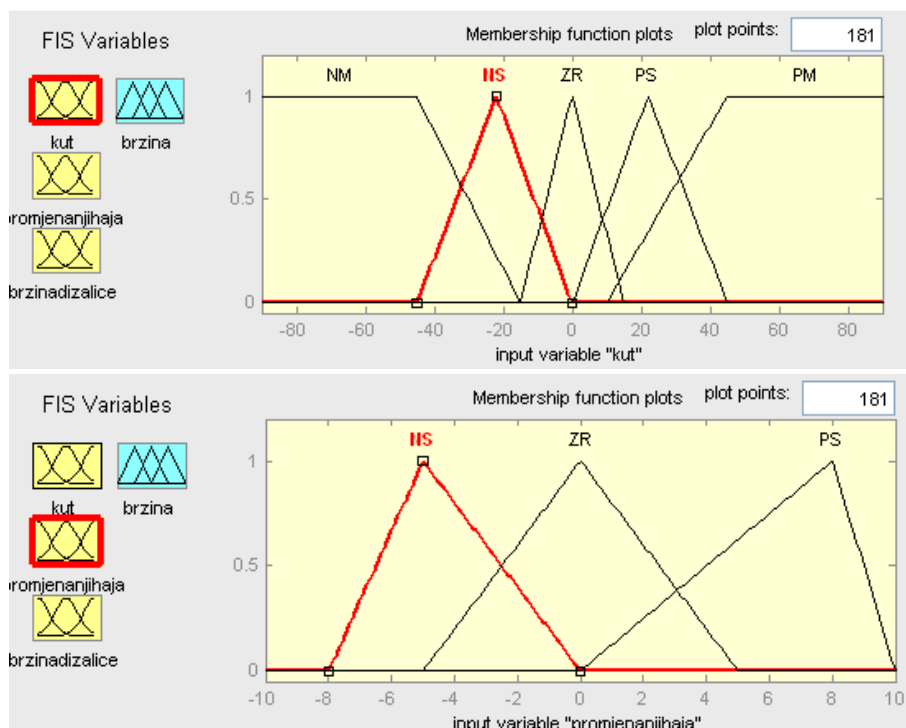
### 3. Regulacija dizalice korištenjem fuzzy algoritma

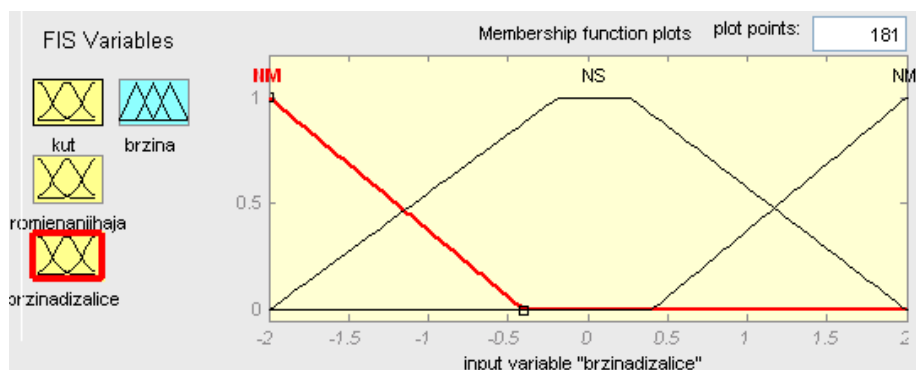
Na temelju podataka [5,6] odabrane su ulazne i izlazne varijable i pomoću fuzzy logike je u radu prikazan utjecaj ulaznih parametara (brzina dizalice u uzdužnom gibanju, kut njenih tereta, promjena njenih u vremenu) na izlazni parametar brzina elektromotora, koji pokreće dizalicu u uzdužnom gibanju.

Sistem fuzzy zaključivanja (engl. *Fuzzy inference system* – FIS) može se opisati u četiri faze: fazifikacija (engl. *fuzzification*), zaključivanje (engl. *inference*), agregacija (engl. *aggregation*), defazifikacija (engl. *defuzzification*).

#### 3.1. Fazifikacija

U prvoj fazi izabire se za svaku input varijablu određeni broj *neizrazitih skupova* i definiraju se njihove *funkcije pripadnosti*, koje su najčešće trokutastog, Gaussovog i trapezoidnog oblika, sl. 1.



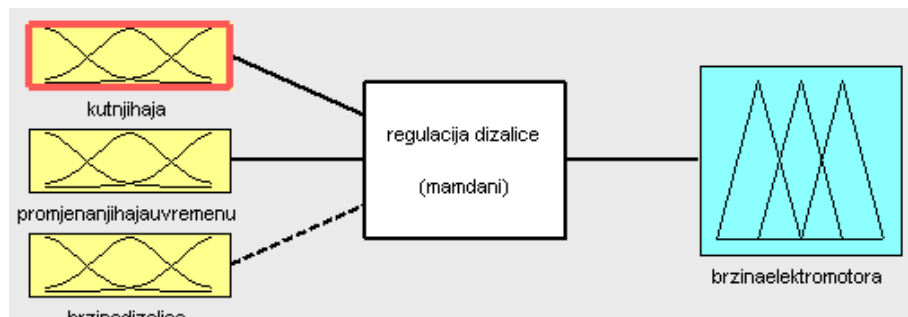


Slika 1: Fuzzy skupovi pojedinih lingvističkih varijabli sa pripadnim tipovima i oblicima funkcija pripadnosti [7, 8]

### 3.2. Inferencija

U ovoj fazi odabiru se *neizrazita pravila (fuzzy rules)*, čiji broj i oblik ovise o kvaliteti informacija kojima se raspolaže. Ovo je ključna faza ove metode. Primjenom ovih pravila, izrazitim vrijednostima (engl. *crisp*) svih input varijabli pridružuje se onoliko vrijednosti funkcija pripadnosti svake output varijable koliko je pravila odabrano.

Na slici 2 je prikazana struktura fuzzy zaključivanja za odabrane ulazne varijable i izlaznu varijablu brzina elektromotora.

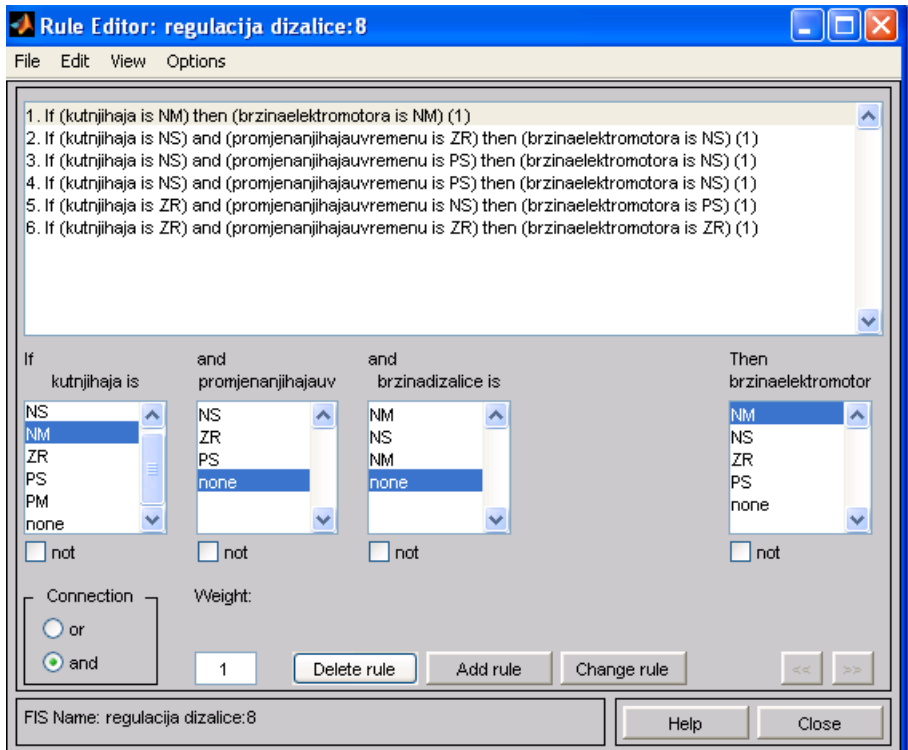


Slika 2: Sistem fuzzy zaključivanja[8]

### 3.3. Agregacija

U fazi agregacije se za svaku output varijablu objedinjuju vrijednosti funkcija pripadnosti dobivene u prethodnoj fazi; svaka, dakle, output varijabla dobiva jedan neizrazit skup sa definiranom funkcijom pripadnosti.

Definirana su i pravila FIS-a za procjenu vrijednosti izlaznog parametra, slika 3.



Slika 3: Pravila FIS-a (struktura sistema fuzzy zaključivanja)

Opis oznaka korištenih u definiciji pravila sistema fuzzy zaključivanja odnosno način klasifikacije podataka kod fuzzy logike (klasifikacijske grupe):

Oznaka	Opis (engl.)	Opis (hrv.)
PS	Positive Small	pozitivno mala
ZR	Approximately Zero	približno nula
NS	Negative Small	negativno mala
NM	Negative Medium	negativno srednja

### 3.4. Defazifikacija

Defazifikacija je proces pretvaranja lingvističkih rezultata dobivenih na temelju fuzzy mehanizma zaključivanja u numeričke vrijednosti (engl. *crisp values*).

U fazi defazifikacije, dobiva se neizrazita vrijednost svake output varijable, što se može prikazati pomoću dijagrama zaključivanja, sl. 4. Jedno od najvažnijih svojstava defazifikacije je *kontinuiranost*. Metoda defazifikacije je kontinuirana ako

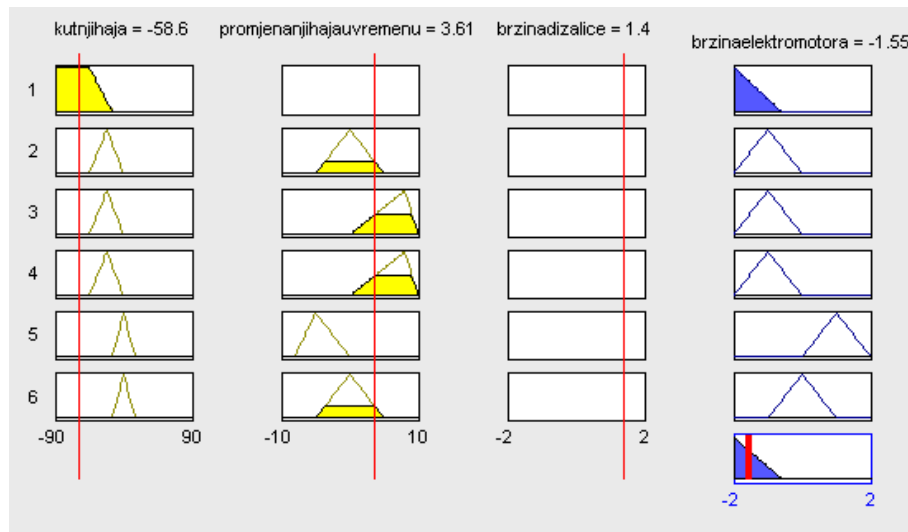
infinitenzimalna promjena ulazne varijable ne uzrokuje iznenadnu promjenu bilo koje izlazne varijable, zbog čega je odabrana metoda centar površine. U tablici 2 su prikazane različite metode defazifikacije i mogućnost izbora obzirom na područje primjene [9].

Tablica 2: Usporedba različitih metoda defazifikacije

	Centar maksimuma (CoM)	Prosjek maksimuma (MoM)	Centar površine (CoA, CoG)
Lingvističke karakteristike	„najbolji kompromis“	„najvjerojatnije rješenje“	„najbolji kompromis“
Poklapanje sa intuicijom	dobra	dobra	Slaba, uz primjenu različitih MBF oblika
Kontinuiranost	da	Ne	Da
Efikasnost proračuna	visoka	visoka	Niska
Primjena	kontrola, analiza podataka	prepoznavanje uzoraka, analiza podataka	kontrola, analiza podataka

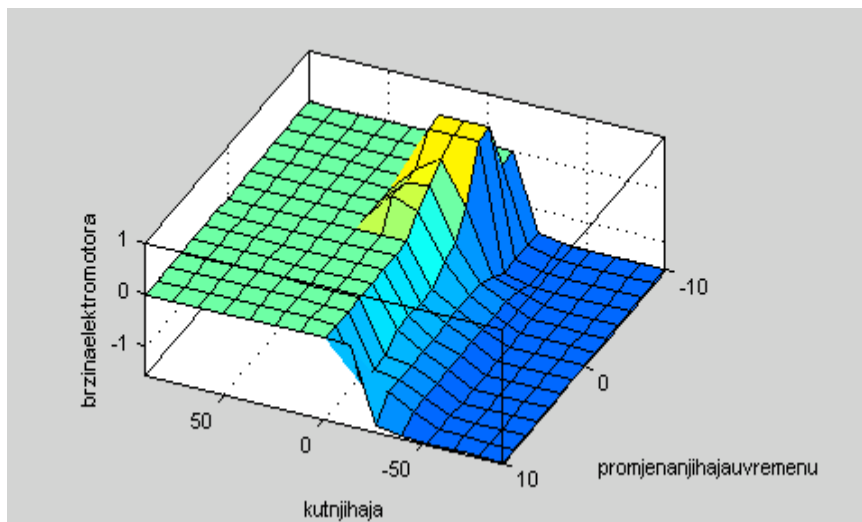
Izračunavanja numeričke vrijednosti lingvističke izlazne varijable mogu se vidjeti u dijagramu zaključivanja [3]. Površine ispod koeficijenta pripadnosti za svaki pojedini lingvistički skup se superponiraju u novi neizraziti skup (sjenčana površina) te se izračunava težište, sl.4. Može vidjeti da za negativne vrijednosti kuta njihanja tereta, dobivamo male vrijednosti brzine elektromotora [10].

U praktičnim primjenama, razlika između nabrojanih metoda defazifikacije (tab.2) je u metodi primjene logike *najboljeg kompromisa* ili *najvjerojatnijeg rješenja* [9].

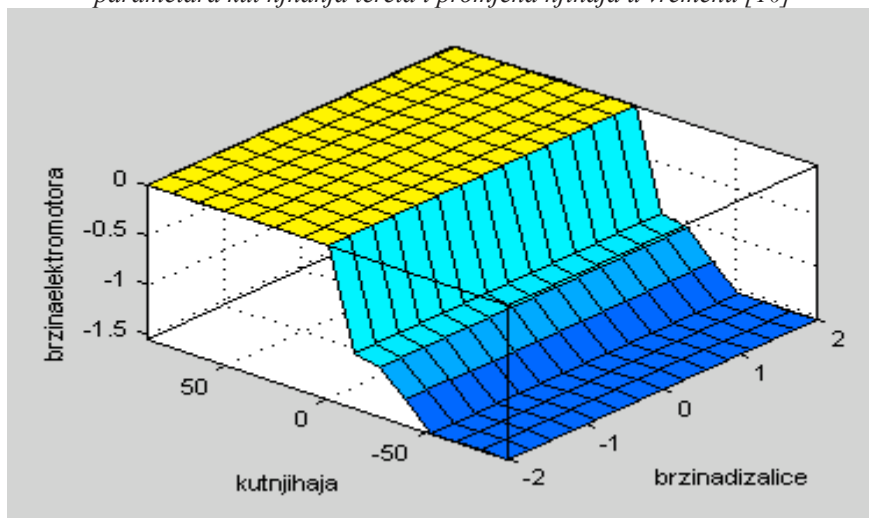


Slika 4: Dijagram zaključivanja

Na sl. 5 i 6 su 3D odzivne površine pojedinih lingvističkih varijabli



Slika 5: 3D odzivna funkcija procjene brzine elektromotora za vrijednosti ulaznih parametara kut njihanja tereta i promjena njihaja u vremenu [10]



Slika 6: 3D odzivna funkcija procjene brzine elektromotora za vrijednosti ulaznih parametara kut njihanja tereta i brzina dizalice [10]

## 5. Zaključak

U radu je fuzzy logikom analiziran problem njihanja tereta obješenog na kran dizalice za ulazne parametre brzina dizalice u uzdužnom gibanju, kut njihanja tereta i promjena njihanja u vremenu. Radi praćenja promjena tih parametara definirana su pravila unutar sistema fuzzy zaključivanja. Programski alat Matlab omogućuje i grafički prikaz ovisnosti promatranih parametara. Iz grafičkog prikaza sl. 5 i sl. 6, može se zaključiti da za pozitivne vrijednosti brzine i ipozitivne promjene njihaja u vremenu, brzina elektromotora pokazuje male vrijednosti.

Pomoću dijagrama zaključivanja sl.4.,, također unutar programskog paketa Matlab, može se pokazati kako promjena ulaznih parametara utječe na vrijednost izlaznog parametra, a što je u skladu s podacima iz literature .

Primjena fuzzy logike dolazi do izražaja u onim situacijama kad nije poznat matematički model ponašanja određenog sustava ili se opis ponašanja takvih sustava temelji na iskustvenim spoznajama. Iskustvene spoznaje se mogu opisati pomoću pravila (engl. rules), temeljem kojih se može predvidjeti vrijednosti izlaznog parametra. Za daljnja istraživanja ja važno usporediti ono što daje FIS sa konkretnim mjerenjima, što bi omogućilo provjeru i ocjenu dobivenih podataka te statistički proračun eventualnih odstupanja.

## Literatura

1. ALTROCK, CONSTANTIN VON 'Fuzzy Logic and Neurofuzzy Applications Explained', Prentice- Hall Inc.,1995.
2. WATERMAN, DONALD: 'A Guide to Expert Systems', Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
3. [http://www.hrbi.hr/ukf/work\\_cro.php](http://www.hrbi.hr/ukf/work_cro.php)
4. ZADEH, A. LOTFI: Fuzzy Sets Information and Control 8, 338-353, 1965.
5. Retrieved from <http://www.unidu.hr/datoteke/majelic/ABP-19.pdf>
6. E.A.PARR, Industrial Control Handbook, Newnes, 1998., str. 685.
7. JANG, J. S, GULLEY, N.: 'Fuzzy Logic Toolbox for Use with MATLAB', The MathWorks Inc., Natick, MA, 1995.
8. J HINES, WESLEY: 'Matlab Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering', John Wiley& Sons, Inc., New York, 1997.
9. RHODES, C. J.,MORRIS,H.:Electron spin resonance in Encyclopedia of Analytical Science, A. Townshend, C.F. Poole, P.J. Worsfold Eds, Academic Press, 337., 2005.
10. Toolbox: User's Guide, MathWorks, Available from: <http://www.mathworks.com>



Jasminka Bonato, Julijan Dobrinić, Julije, Skenderović

## Crane Regulation Using Fuzzy Logic

### Abstract

Fuzzy logic theory has numerous implementations which are related to technical systems, as well as in other fields of research. Fuzzy logic methods represent a new approach to problems in managing complex systems which are difficult to describe in a mathematical model. It is also applicable in systems with greater number of input and output data, which show inexplicit interaction. This paper gives an example where fuzzy logic is used to decrease the rolling of the cargo hung on the boom. The influence on the output parameter of electromotor speed, is presented for input parameters (crane speed in longitudinal movement, angle of cargo roll, change of rolling in time), based of the rules of fuzzy logic.

**Key words:** fuzzy logic, crane speed, angle of cargo roll, fuzzy logic mechanism

