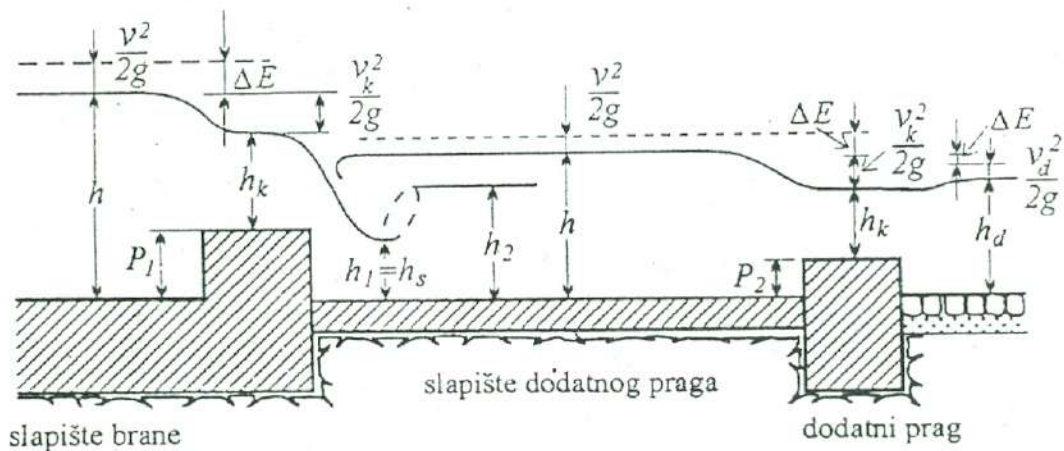
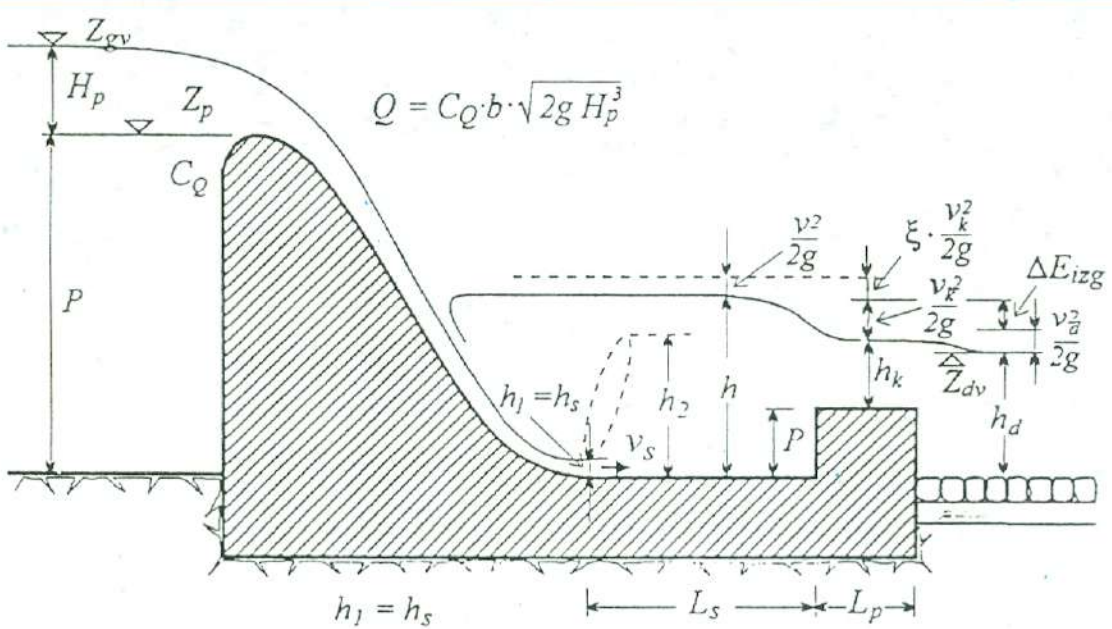


vodoprivreda



SADRŽAJ

NAUČNI PREGLEDNI RADOVI

Dr Stevan PROHASKA i dr Dragoslav ISAILOVIĆ: Hidrološke karakteristike vodnih tokova od značaja za njihovo uređenje i zaštitu od poplava. V deo - Teorijske postavke proračuna koincidencije velikih voda glavnog toka i pritoke 3

Dr Petar ANAGNOSTI: Geotehničko konstrukterstvo u hidrotehnici 17

Dr Đuro BOSNJAK: Potrebe za vodom i racionalan režim navodnjavanja lucerke 23

ORIGINALNI NAUČNI RADOVI

Dr Branislav ĐORĐEVIĆ i Tina MILANOVIĆ: Primena neuro-fazi metodologije u vodoprivredi 35

Mr Miloš STANIĆ i dr Dimitrije AVAKUMOVIĆ: Osnove koncepta neuralnih mreža i mogućnosti primene u hidrotehnici 43

Dr Božidar BATINIĆ i Tina MILANOVIĆ: Hidraulička analiza umirenja vode iza preliva i ustava 51

Dr Vesna JEVREMOVIĆ i dr Jovan MALIŠIĆ: Problemi pri određivanju tačnosti ocena parametara 59

Dr Ratimir ZIVALJEVIĆ: Uticaji Cetinskog rasjeda i karakteristika lokalne kraške sredine na hidrološko-hidraulički odziv podzemnih voda 65

Dr Serafim OPRICOVIĆ i mr Sreten TOMOVIĆ: Optimizacija korišćenja električne energije za rad pumpi u vodovodnom sistemu Budve 73

Dr Gligorije PEROVIĆ: Matematički model geometrijskih deformacija brana 79

Mr Andra TUCOVIĆ i mr Marina VASILJEVIĆ: Primena procesa flotacije kao nove tehnologije u tretmanu akumulisanih voda za potrebe vodosnabdevanja 83

Dr Dejan LJUBISAVLJEVIĆ i saradnici: Teorijski i praktični aspekti pranja vodom brzih gravitacionih filtra 87

Mr Jasna PETROVIĆ: Analiza pouzdanosti procene velikih voda na malim slivovima 97

Goran RASULA i Milan RADOVANOVIĆ: Značaj lokalnih izvorišta sa aspekta akutnog rešavanja problema vodosnabdevanja naselja u donjem priobalju Dunava 105

PREGLEDNI RADOVI

Dr Dragutin MUŠKATIROVIĆ: Problemi unutrašnje i pomorske plovidbe u zemljama Istočne Evrope 109

Mr Marina BABIĆ MLADENOVIĆ i Svetlana VARGA: Problemi zasipanja akumulacija – osvrt na međunarodnu konferenciju u Fort Kolinsu, SAD 121

Pro et Contra 127

CONTENTS

SCIENTIFIC REVIEWS

Stevan PROHASKA and Dragoslav ISAILOVIĆ: HYDROLOGIC CHARACTERISTICS OF WATER COURSES IMPORTANT FOR THEIR REGULATION AND FLOOD CONTROL. PART V - THEORETICAL FOUNDATIONS FOR CALCULATION OF THE COINCIDENCE OF FLOOD WAVES ON THE MAIN RIVER AND TRIBUTARY 3

Petar ANAGNOSTI: GEOTEHNICAL STRUCTURES IN HYDRO WORKS 17

Đuro BOSNJAK: WATER REQUIREMENTS AND OPTIMUM IRRIGATION SCHEDULING IN ALFALFA 23

SCIENTIFIC TEMATIC REVIEWS

Branislav ĐORĐEVIĆ and Tina MILANOVIĆ: AN APPLICATION OF NEURO-FUZZY METHODOLOGY IN WATER RESOURCES MANAGEMENT 35

Miloš STANIĆ and Dimitrije AVAKUMOVIĆ: THE CONCEPT OF NEURAL NETWORKS AND POSSIBLE APPLICATION IN HYDROTECHNICS 43

Božidar BATINIĆ and Tina MILANOVIĆ: HYDRAULIC ANALYSES OF FLOW PACIFICATION AFTER SPILLWAY AND SLUICE 51

Vesna JEVREMOVIĆ and Jovan MALIŠIĆ: ON SOME PROBLEMS WITH THE POINT ESTIMATORS 59

Ratimir ZIVALJEVIĆ: CETINJE FAULT AND CHARACTERISTICS OF THE UNDERGROUND WATER 65

Serafim OPRICOVIĆ and Sreten TOMOVIĆ: OPTIMIZATION OF ELECTRICAL POWER CONSUMPTION FOR PUMPS OPERATION IN WATER SUPPLY SYSTEM 73

Gligorije PEROVIĆ: MATHEMATICAL MODEL OF GEOMETRICAL DEFORMATIONS OF DAMS 79

Andra TUCOVIĆ and Marina VASILJEVIĆ: NEW APPROACH FOR TREATMENT OF RESERVOIR WATER FOR POTABLE WATER SUPPLY BY THE USE OF FLOTATION PROCESS. 83

Dejan LJUBISAVLJEVIĆ and all.: THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF RAPID FILTERS BACKWASHING 87

Jasna PETROVIĆ: RELIABILITY OF FLOOD FLOW ESTIMATES ON SMALL CATCHMENTS 97

Goran RASULA and Milan RADOVANOVIĆ: LOCAL WATER SOURCES FROM THE ASPECT OF URGENT REALISATION OF WATER SUPPLYING PROBLEMS IN THE SMALLER TOWNS AT THE DANUBE COAST 105

REVIEWS

Dragutin MUŠKATIROVIĆ: INLAND AND MARITIME NAVIGATION PROBLEMS OF EAST EUROPEAN COUNTRIES 109

Marina BABIĆ MLADENOVIĆ and Svetlana VARGA: RESERVOIR SEDIMENTATION - OVERVIEW OF THE CONFERENCE HELD IN FORT COLLINS, USA 121

PRO ET CONTRA 127

VODOPRIVREDA

GOD. 29

Godina 1997.

BR. 165 - 166

(1997/1-2)

UDK 626

YU ISSN 0350 - 0519

IZDAVAČ:

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA
ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE
Beograd, Kneza Miloša 9

Ovaj broj je finansijski podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Srbije i Saveznog ministarstva za razvoj, nauku i životnu sredinu

REDAKCIJSKI KOLEGIJUM

(sa oblastima koje se pokrivaju):

Đorđević dr Branislav – Vodoprivredni sistemi i Hidroenergetika; predsednik Redakcionog kolegijuma
Avakumović dr Dimitrije – Hidromelioracioni sistemi
Batinić dr Božidar – Hidraulika
Bogdanović dr Slavko – Vodno pravo
Bruk dr Stevan - Opšta hidrotehnika
Ignjatović dr Lazar – Komunalna hidrotehnika
Jovanović dr Miodrag – Regulacija reka
Josipović dr Jovan – Hidrogeologija
Likić Budislav – Hidrotehnički objekti
Muškatirović dr Dragutin – Plovidbena infrastruktura
Petrović dr Petar – Brane i građevine
Petković dr Slobodan – Erozija
Plamenac dr Nikola – Odvodnjavanje
Popović dr Mirko – Kvalitet vode
Potkonjak dr Svetlana – Ekonomika vodoprivrede
Radić dr Zoran – Hidrologija
Radinović dr Đura – Meteorologija
Rudić dr Dragan – Održavanje melioracionih sistema
Stojišić dr Milan – Navodnjavanje
Tutundžić dr Vera – Ribarstvo
Živaljević dr Ratimir – Hidrometeorološki informacioni sistemi

IZDAVAČKI SAVET

Bajić mr Vladimir
Božinović dr Miodrag
Bošnjak dr Đuro
Varga Arpad
Dragović Dušan
Dutina Nikola
Đukjć Miljan
Ilić Živka
Kovačević dr Dejan
Milenković dr Slobodan
Milojević dr Miloje
Pantelić Petar
Stamenković mr Ljubiša

Slika na naslovnoj strani korica:
Brana sa slapištem i dodatno slapište
(uz članak B. Batinića i T. Milanović u ovom broju)

PRIMENA NEURO - FAZI METODOLOGIJE U VODOPRIVREDI

Prof. dr Branislav ĐORĐEVIĆ, Tina MILANOVIĆ
Građevinski fakultet, Beograd

*"Sve je neodređeno u nekom stepenu koji ne shvataš dok ne probaš da to precizno definišeš."
"Everything is vague to a degree you do not realize till you have tried to make it precise."
Bertrand Russell*

REZIME

U radu je izložena osnovna koncepcija dve nove metodologije za tretiranje neizvesnosti: teorije rasplnutih (fuzzy) skupova i neuralnih mreža. Razmatrene su mogućnosti primene ovih metodologija za rešavanje zadataka planiranja i upravljanja u vodoprivredi. Problemi neodređenosti i nepreciznosti, koji se često sreću pri rešavanju hidrotehničkih problema, mogu se prevazići primenom i ovih pristupa. Posebno su istaknute prednosti korišćenja kombinovanih neuro - fazi sistema, koji ispoljavaju najbolje osobine obe metodologije. Rad je metodološkog karaktera, tako da prikazane fazi veličine za klase vodotoka imaju ilustrativan značaj.

Ključne reči: fazi skupovi, neuralne mreže, neodređenost, vodoprivreda

1. UVOD

Šeme korišćenja voda u svetu i kod nas su sve složenije, sa akumulacijama koje treba da podmire potrebe više vodoprivrednih grana, zbog čega postaju neophodni integralni sistemi korišćenja, uređenja i zaštite voda, sa prevođenjem na sve veća rastojanja. Ovakvo stanje zahteva formiranje sve složenijih konfiguracija vodoprivrednih sistema, sa složenim funkcijama, ciljnim strukturama, ograničenjima i sve brojnijim i delikatnijim

vezama sa okruženjem. Planiranje i upravljanje ovakvim sistemima spada u grupu *teško struktuiranih zadataka*, koji zahtevaju složene numeričke i metodološke proračune pri njihovom rešavanju.

Zadnjih nekoliko decenija buran razvoj računarske tehnologije, primenjene matematike i veštačke inteligencije značajno su uticali na razvoj svih tehničkih sistema, pa i teorije vodoprivrednih sistema. Tek sa primenom ovih novih metoda stvoreni su uslovi za prevazilaženje problema vezanih za tehnike proračuna i modeliranja tako složenih sistema.

Pri planiranju složenih vodoprivrednih sistema nailazi se na još jednu teškoću koja je kod ovih sistema izraženija nego kod drugih tehničkih sistema. To su teškoće vezane za delovanje brojnih neodređenosti, neizvesnosti i slučajnih uticaja, a odnose se na ulazne veličine, zahtevana izlazna stanja vodoprivrednog sistema, ciljeve, modele, kriterijume, ograničenja, itd.

Za neke neodređenosti postoje više ili manje uspešne metode modeliranja, dok se problemi drugih neodređenosti, kao npr. neodređenosti vezane za neprecizno definisane pojmove i veličine sa kojima se obavlja proračun, do sada nisu mogle uspešno rešiti. Razlog za to je rigidnost i krutost matematičkih i logičkih osnova na kojima se zasniva klasična teorija skupova (klasična logika).

Zbog takvih i sličnih problema razvila se nova računaska disciplina - računaska inteligencija - koja se zasniva na mekom računanju, tj. na fazi logici.

2. FAZI LOGIKA (TEORIJA RASPLINUTIH SKUPOVA)

Fazi logika predstavlja izvesno uopštavanje i proširivanje klasične teorije skupova. Bazira se na principu da je *sve stvar stepena pripadnosti*. Ovakav pristup rešavanju problema pogodan je za rad sa neodređenostima, jer, za razliku od klasične teorije, ima dosta tolerantniji (mekši, fleksibilniji) pristup.

Pri modeliranju jezički iskazanih činjenica i pravila klasičnom teorijom skupova suočavamo se sa velikim problemima. Jezički iskazane činjenice, kao npr: "stara oprema", "zastarela tehnologija", "merodavna mala voda oko 0.85 m³/s", "prihvatljiva granica BPK5", itd. nisu tačno određene vrednosti, pa ih je teško obuhvatiti klasičnom teorijom. Sam čovek, ovako definisane činjenice, koje su više kvalitativnog nego kvantitativnog karaktera, prilikom odlučivanja, predviđanja i zaključivanja posmatra "mekše" - šire i aproksimativnije.

Npr. neka je predviđeni rok za izgradnju jedne brane sa svim pratećim objektima tri godine. Razmotrimo situaciju da je brana završena za 3 godine i 1 dan. Da li bi to smatrali uspešno završenim poslom ili bi ga uvrstili u neuspešno završene poslove? U koju od te dve grupe bi svrstali isti posao u slučaju da je završen za 3 godine i mesec dana, a u koju da je završen za četiri godine? Da li granica između uspešno i neuspešno završenog posla može biti oštro definisana (presečena) na tri godine, ili bi dozvolili nešto šire granice?

Ovakav način čovekovog razmišljanja i zaključivanja prvi put je matematički definisao Lotfi Zadeh 1965. godine, i tu teoriju nazvao je **teorijom fazi skupova** (teorijom rasplinutih skupova). Njegova teorija u početku nije bila adekvatno prihvaćena. Tek se zadnjih petnaestak godina počela brže razvijati i primenjivati, i to masovnije u Japanu, Koreji i na Istoku, nego na Zapadu.

Najznačajniji rezultati koji su postignuti uvođenjem fazi logike u proces modeliranja su u oblasti upravljanja, posebno pri modeliranju upravljanja koja zavise od čoveka i koje je obavljao čovek. Neke od najpoznatijih japanskih i korejskih kompanija, kao što su Hitachi, Mitsubishi, Sharp, Nissan, Honda, Fuji, Canon, Toshiba, idr. uveliko koriste fazi sisteme za poboljšavanje performansi svojih proizvoda. Fazi sistemi zaključivanja ugrađeni su u veliki broj njihovih proizvoda: klimatizacione uređaje, automobilske motore, mašine za fotokopiranje, elektronske kamere, frižidere, mašine za pranje posuda, televizore, mašine za pranje veša, tostere, idr.

Odnos klasične i fazi logike

Aristotelova, ili kako se često zove klasična teorija skupova, zasniva se na njegovom tvrđenju da "Sve mora ili biti ili ne biti", sve nečemu pripada ili ne pripada, sve je ili crno ili belo. Za razliku od ovog pristupa, fazi teorija se zasniva na tvrđenju da *sve zavisi od stepena pripadnosti*, sve može i biti i ne biti, sve je i crno i belo, znači sivo.

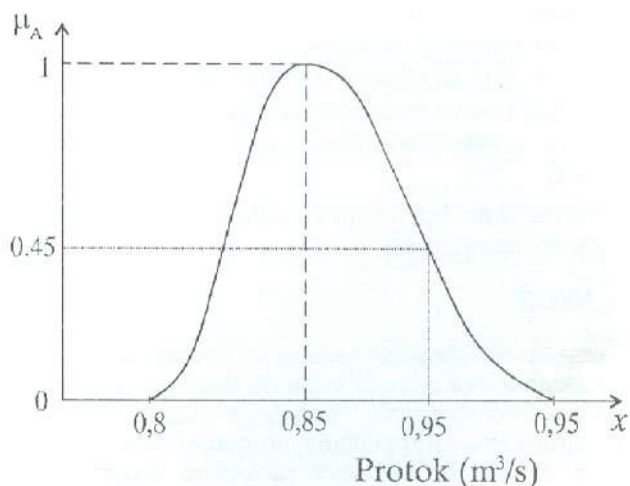
Prema tome, u **klasičnoj teoriji skupova** neki element x može ili da pripada ili da ne pripada nekom skupu A . Odnosno, ako je skup definisan nekom karakterističnom funkcijom f_A , element x može ili pripadati tom skupu, u tom slučaju je vrednost funkcije pripadnosti 1, ili mu ne pripadati, tada funkcija pripadnosti uzima vrednost 0. Matematički to bi se moglo predstaviti na sledeći način:

$$\forall x \in A ; \mu_A(x) \in \{0, 1\} \quad (1)$$

Fazi skupovi su skupovi koji nemaju oštro definisane granice. Oni omogućavaju da element pripada skupu sa određenim stepenom pripadnosti. Fazi skupovi se definišu preko funkcije pripadnosti, koja uzima sve vrednosti između 0 i 1, uključujući i te dve vrednosti. Matematički to se definiše na sledeći način:

$$\forall x \in A ; \mu_A(x) \in [0, 1] \quad (2)$$

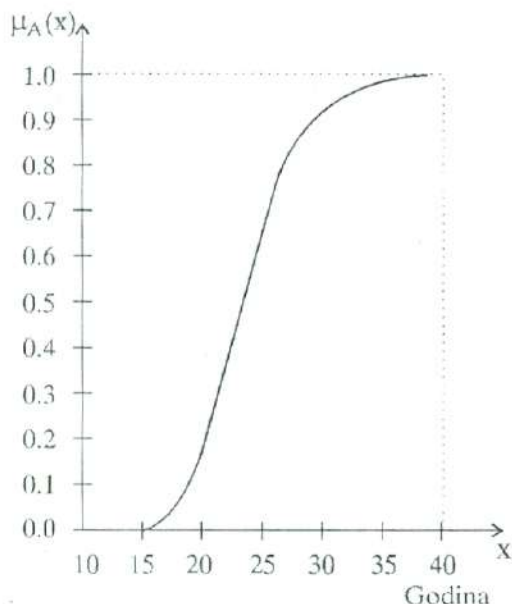
Unija, presek, komplement, interval poverenja, a - presek i druge operacije sa fazi skupovima definisane su egzaktno, po analogiji sa algebrom binarnih skupova. U ovom radu neće biti reči o algebri fazi skupova jer je ona detaljno opisana u jednom od ranijih brojeva ovog časopisa, literatura [3].



Sl. 1. - Fazi skup "mala voda OKO 0.85 m³/s"
Fuzzy set "low flow ABOUT 0.85 m³/s"

Na slici 1 preko fazi broja predstavljen je pojam "merodavna mala voda OKO 0,85 m³/s". Iz ovog primera vidimo da bi protok od 0.85 m³/s pripadao skupu merodavne male vode sa stepenom pripadnosti 1. Protok od 0.9 m³/s takođe bi pripadao skupu merodavne male vode, samo bi njegov stepen pripadnosti tom skupu bio manji nego u prvom slučaju, bio bi 0,45. Protoci 0.8 m³/s i 0.95 m³/s ne pripadaju razmatranom skupu, odnosno pripadaju mu ali sa stepenom pripadnosti 0.

Na sličan način mogu se prikazati neprecizni i nejasni, ali veoma važni pojmovi kao što su "star rezervoar za naftu", "zastarela tehnologija", ili neodređene veličine kao "dopustiva granica oko 8 mg// O₂", itd. Na slici 2 prikazan je fazi skup koji definiše pojam "star generator".



S1. 2. - Fazi definicija pojma "star generator"
Fuzzy set "old generator"

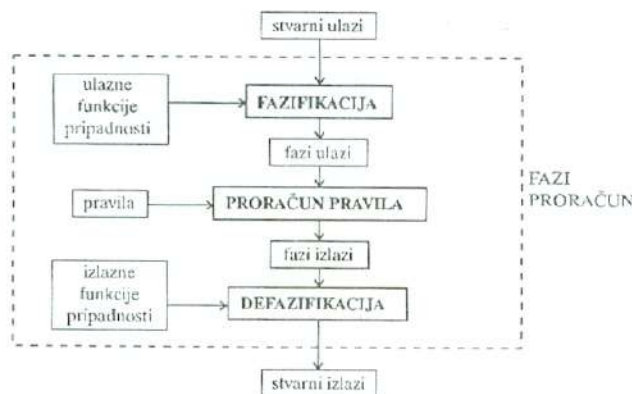
Modeliranje fazi logikom

Kao i kod svakog drugog modeliranja, cilj modeliranja fazi logikom je da se za određeni skup ulaza, na osnovu fazi proračuna, dobije željeni skup izlaza. Metod fazi zaključivanja sastoji se iz tri faze (slika 3): fazifikacija, proračun pravila i defazifikacija.

Fazifikacija je proces kojim se stvarni ulazi, preko ulazne funkcije pripadnosti, transformišu u fazi ulaze. Za svaku ulaznu promenljivu neophodno je prvo utvrditi oblast od interesa za proučavanje i njene oznake. Pod oznakama se podrazumeva neko rangiranje ulazne promenljive. Definisanjem ulaznih funkcija pripadnosti, svaka od oznaka dobija svoje numeričko značenje.

¹ Premisa pravila je prvi deo pravila napisan iza IF izjave i opisuje uslove pod kojima se ostvaruje posledica pravila (rezultujuća vrednost / aktivnost - fazi broj izlazne funkcije pripadnosti), koja se nalazi iza THEN izjave.

Funkcije pripadnosti (fazi skupovi) mogu biti raznih oblika. Najčešći su trougaoni, trapezni (slika 5) i štapičasti (singularni), ali se koriste i složeniji oblici (na slici 1 dat je Pi-oblik fazi broja). Na osnovu funkcije pripadnosti za svaku vrednost stvarnog ulaza dobija se jedna ili više vrednosti fazi ulaza. Izlazne funkcije pripadnosti formiraju se na isti način kao i ulazne.



S1. 3. - Dijagram toka fazi proračuna
Diagram of fuzzy logic processing

Proračun pravila ili fazi zaključivanje. U ovoj fazi se na osnovu napisanih pravila, koja se primenjuju na generisane fazi ulaze, dobijaju fazi izlazi. Fazi pravila su izjave tipa AKO - ONDA (IF - THEN) i opisuju koja posledica treba da se javi kao reakcija na određene fazi ulaze. Fazi ulazi se u premisi pravila¹ povezuju operatorima AND i OR.

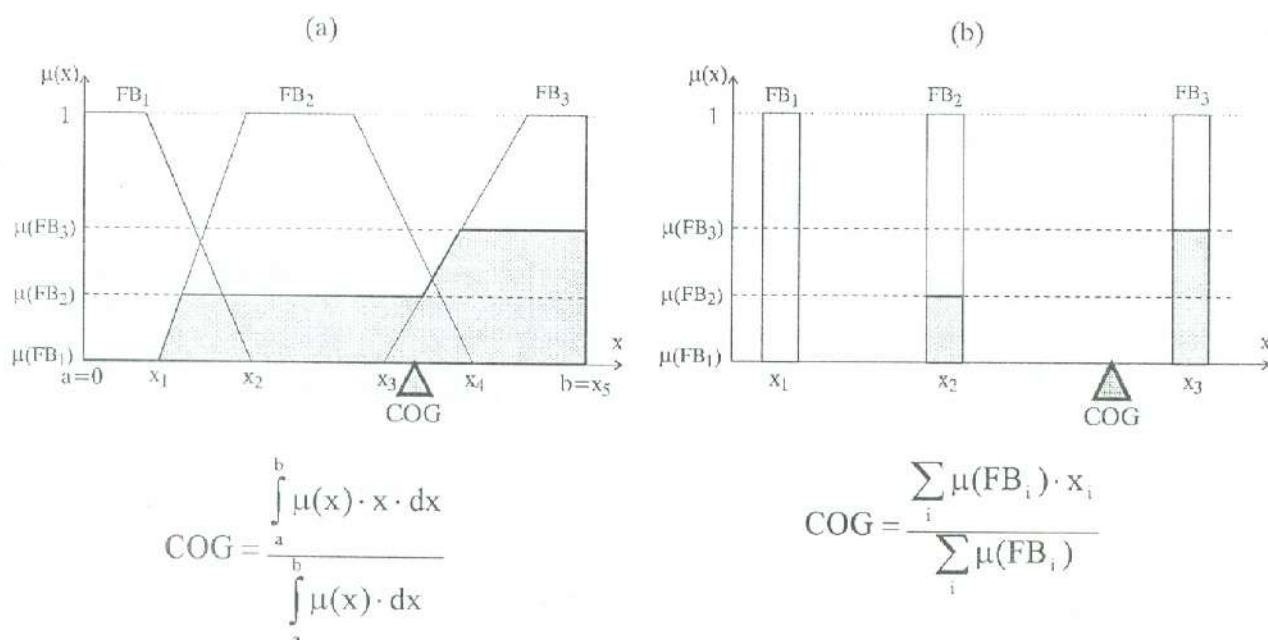
Zbog različitih problema koji se modeliraju teorijom fazi skupova razvijena su dva metoda fazi zaključivanja: Sugeno i Mamdani.

Mamdani metod je jedan od prvih i najčešće korišćenih metoda zaključivanja. Primenjuje se u slučajevima kada se vrednosti izlaznih promenljivih mogu opisati fazi brojevima, tj. kada je izlazna funkcija pripadnosti formirana od fazi brojeva bilo kog tipa osim štapičastog (singleton). Za svako od pravila, odnosno za svaku posledicu, na osnovu stepena pripadnosti ulazne veličine određenom fazi broju određuje se tačnost pravila. Upoređivanjem tačnosti svih pravila koja određuju istu posledicu i uzimanjem maksimalne vrednosti, dobija se stepen tačnosti svake posledice. Posledice koje se dobijaju ovim metodom i njihovi stepeni tačnosti predstavljaju fazi izlaze. Mamdani metod zaključivanja je više intuitivan i dobro modelira ulaz /upravljanja koja određuje/ donosi čovek.

U nekim slučajevima je vrednosti izlaznih promenljivih mnogo pogodnije predstaviti fazi brojevima štapičastog oblika. Svaki štapičasti fazi broj definiše se ili kao konstanta ili kao linearna funkcija ulaznih promenljivih. Za tako definisane izlazne funkcije pripadnosti koristi se Sugeno metod zaključivanja. Sam metod zaključivanja je sličan prethodnom. I u ovom metodu se, na osnovu stepena pripadnosti ulazne veličine određenom fazi broju, određuje tačnost pravila, ali posledica je u ovom slučaju konstanta ili linearna funkcija ulaznih promenljivih. Upoređivanjem tačnosti svih pravila koja određuju istu posledicu dobija se stepen tačnosti svake posledice. Sugeno metod zaključivanja je pogodan za matematičke analize, kao i za rad sa linearnim, adaptivnim i optimizacionim tehnikama.

fazifikacije, sa osnovnim jednačinama, za oba navedena metoda zaključivanja, dati su na slici 4.

Često se pojam stepena pripadnosti nekom skupu, tj. fazi pristup poistovećuje sa pojmom verovatnoće. To su dva različita pojma koja ne bi trebalo mešati. Pojam stepena pripadnosti, tj. fazi pristup opisuje događaje i činjenice koji su delimično tačne / ostvarene, a delimično ne. Tako, npr. stepen pripadnosti elementa x skupu A od $\mu_A(x)=0.9$ znači da element x sigurno pripada skupu A , ali ne u potpunosti. Verovatnoća opisuje događaje i činjenice za čije ostvarenje nismo sigurni. Verovatnoća pripadnosti elementa x skupu A od 0.9, tj. 90% znači da u 90% slučajeva element x pripada skupu A , a u 10% slučajeva mu ne pripada. Znači, teorija



Sl. 4. – Proces defazifikacije metodom COG: (a) Mamdani metod zaključivanja, (b) Sugeno metod zaključivanja
COG defuzzification method: (a) Mamdani inference method, (b) Sugeno inference method

Defazifikacija je proces kojim se vrednosti fazi izlaza, preko izlaznih funkcija pripadnosti, transformišu u stvarne izlaze. Kao metod za defazifikaciju najčešće se koristi COG metod (COG - Center of Gravity). Ovaj metod sastoji se od isecanja dela izlazne funkcije pripadnosti iznad vrednosti fazi izlaza, pri čemu se formira "isečena" funkcija, a zatim se traži težište te isečene oblasti. Tako određeno težište predstavlja stvarnu vrednost izlazne promenljive. Proces defazifikacije je isti za Mamdani i Sugeno metod zaključivanja, ali je znatno efikasniji u drugom slučaju, zbog jednostavnijeg proračuna centra gravitacije. Primeri COG metoda de-

verovatnoće operiše sa slučajnošću budućih događaja (procesa), a fazi teorija sa mogućim realizacijama i valorizacijama i tekućih i prošlih događaja i procesa, unoseći u sve to i koncept procene upravljačke značajnosti pojedinih veličina koje ulaze u dalje analitičko razmatranje.

3. PRIMENA TEORIJE FAZI SKUPOVA U VODOPRIVREDI

Na početku rada istaknuto je da se fazi logikom mogu uspešno prevazići problemi vezani za razne neodređenosti i nepreciznosti, što je problem veoma izražen

pri planiranju i upravljanju vodoprivrednim sistemima. Određivanje kvaliteta vode u vodotoku, odnosno klase vodotoka, jedna je od oblasti gde se fazi logika može uspešno primeniti.

U SR Srbiji definisane su četiri klase kvaliteta vode, pri čemu I klasu čine vode najboljeg kvaliteta koje se u prirodnom stanju ili posle dezinfekcije mogu koristiti za piće, dok u IV klasu ulaze vode veoma lošeg kvaliteta koje se mogu koristiti samo uz posebnu obradu. Klasa II podeljena je u dve podklase: IIa (bolju, pogodnu za kupanje i prečišćavanje do kvaliteta vode za piće, sa BPK do 4 mgO₂/l i koncentracijom rastvorenog kiseonika ne manjom od 6 mg/l) i IIb (lošiji, sa BPK do 6 mgO₂/l za snabdevanje industrije, navodnjavanje, itd). Ovde će se, zato jer se članak bavi samo metodološkim pitanjima, te dve podklase posmatrati zajednički.

Kojoj će klasi vodotok pripadati zavisi od koncentracije određenih pokazatelja kvaliteta, kao što su: suspendovane materije, ukupni suvi ostatak, pH vrednost, rastvoreni kiseonik, petodnevna biohemijska potrošnja kiseonika (BPK₅), stepen saprobnosti, najverovatniji broj koloformnih klica, hemijska potrošnja kiseonika (HPK), idr. Uredbom o klasifikaciji voda striktno su propisane maksimalne dozvoljene koncentracije svakog parametra, za svaku klasu. Prema važećem principu vodotok pripada onoj klasi kojoj pripada najnepovoljniji pokazatelj kvaliteta. Znači, ako samo jedan pokazatelj prekorači maksimalnu dozvoljenu koncentraciju i pređe iz više u nižu klasu, celi vodotok prelazi u tu nižu klasu. Pravilnik se, znači, zasniva na klasičnij teoriji binarnih skupova.

Ako se u jednom vodotoku II klase petodnevna biohemijska potrošnja kiseonika poveća sa 4mg/l (što je maksimalna dozvoljena petodnevna biohemijska potrošnja kiseonika za II klasu) na 4,1 mg/l, šta će se desiti sa vodotokom? Da li će on automatski preći u III klasu kvaliteta?

Nedostaci ovakvog načina određivanja klase voda davno su uočeni, a primena fazi logike daje jedan od mogućih načina prevazilaženja tog problema.

Šematski, nešto uprošćen prikaz fazi sistema za određivanje klase vodotoka dat je na slici 5. Klasa vodotoka se u datom primeru određuje na osnovu koncentracije pet pokazatelja kvaliteta: suspendovane materije, pH vrednosti, rastvorenog kiseonika, BPK₅ i HPK. Broj pokazatelja sa kojima se određuje klasa vodotoka može se prema potrebi u zavisnosti od namene modela povećati ili smanjiti. U tabeli 1, za parametre kvaliteta vode koji se razmatraju u radu, date su granične koncentracije definisane Uredbom o klasifikaciji voda.



Slika 5. – Šematski prikaz fazi sistema za određivanje klase vodotoka

Schematic presentation of fuzzy system for water quality rang determination

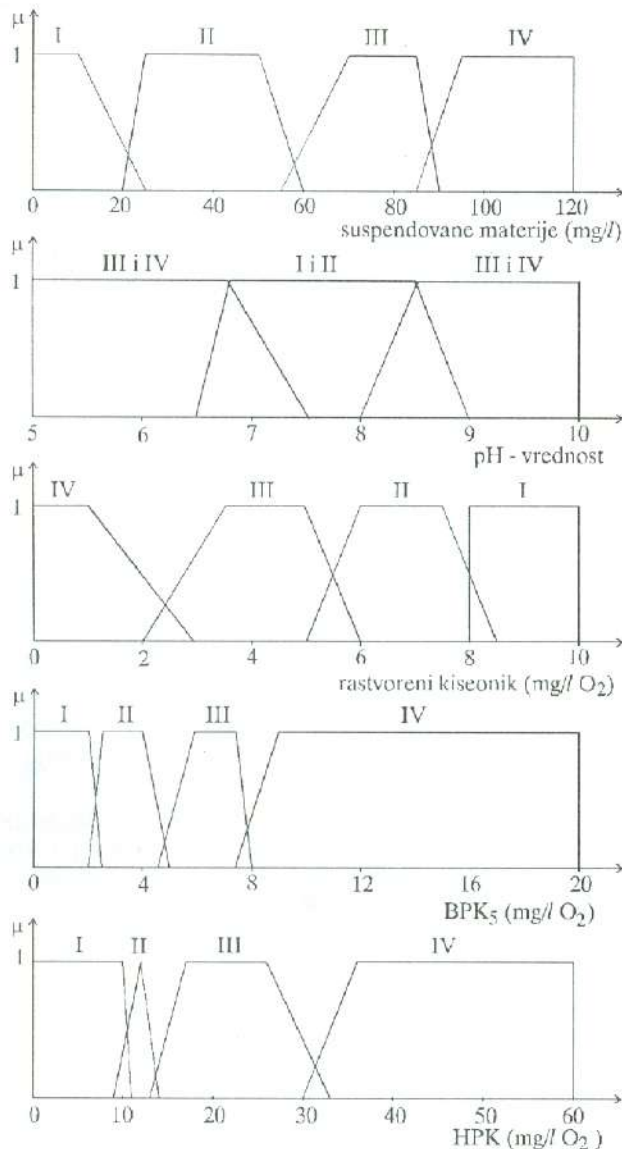
Tabela 1. – Granične vrednosti klase voda za neke pokazatelje kvaliteta prema Uredbi o klasifikaciji voda

Pokazatelji	Klasa I	Klasa II	Klasa III	Klasa IV
suspendovane materije (mg/l) do	10	30	80	100
pH vrednost	6.8-8.5	6.8-8.5	6-9	6-9
rastvoreni kiseonik (mg/l) najmanje	8	6	4	3
BPK ₅ (mgO ₂ /l) do	2	4	7	20
HPK (mgO ₂ /l) do	10	12	20	40

Za svaki parametar definisane su ulazne funkcije pripadnosti (slika 6). Fazi brojevi su trapeznog i trougaonog oblika, a predstavljaju dozvoljene koncentracije za određenu klasu vodotoka. Radi lakšeg upoređivanja imena fazi brojeva (fazi oznake) su u stvari klase vodotoka za koje važe date koncentracije.

Granice između klasa, definisane na ovaj način, nisu definisane binarnim skupovima (pripada - ne pripada) kao u sada važećem pristupu. One su u odnosu na vrednosti date Uredbom o klasifikaciji voda nešto fleksibilnije - fazi skupovima. Prva klasa vodotoka, pošto definiše vodu najboljeg kvaliteta definisana je sa fazi parametrima u dosta uskom opsegu, odnosno maksimalne dozvoljene koncentracije pokazatelja kvaliteta malo odstupaju od vrednosti definisanih Uredbom. Tako npr. rastvoreni kiseonik za I klasu nije fazi broj, nego ima oštru, tačno određenu granicu na 8 mg/l, a HPK vrlo malo odstupuje od zakonom propisane granice. Kod fazi brojeva koji definišu niže klase vodotoka dozvoljeno je nešto šire odstupanje od propisanih vrednosti.

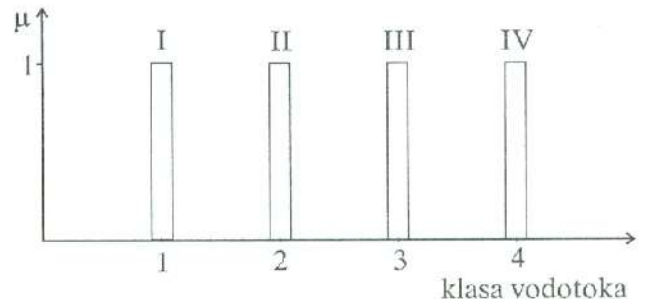
Cilj proračuna ovog fazi modela je da se za određene koncentracije ulaznih parametara odredi klasu kvaliteta vode. Izlaznu funkciju pripadnosti (klase vodotoka) najprikkladnije je opisati fazi brojevima štapičastog oblika, pri čemu svaki od štapića predstavlja po jednu od klasa (slika 7).



S1. 6. – Moguće ulazne funkcije pripadnosti fazi sistema za određivanje klase vodotoka
Input membership functions of fuzzy system for water quality rang determination

Pošto je izlazna funkcija pripadnosti štapičastog oblika, korišćen je Sugeno metod zaključivanja. Definisano je 28 pravila na osnovu kojih se određuju fazi izlazi - klase vodotoka. Slučajevi kada svi parametri pripadaju određenim fazi skupovima sa stepenom pripadnosti $\mu = 1$ zakonski su potpuno definisani. U takvim situacijama vodotok pripada onoj klasi kojoj pripada njegov najnepovoljniji parametar, a stepen pripadnosti toj klasi je $\mu = 1$. U slučajevima kada parametri koji određuju klasu vodotoka (najnepovoljniji) pripadaju fazi skupovima delimično, sa stepenom pripadnosti manjim od

jedan ($\mu < 1$), vodotok pripada jednoj ili dvema klasama sa stepenom pripadnosti manjim od jedan ($\mu < 1$).



S1. 7. – Izlazna funkcije pripadnosti fazi sistema za određivanje klase vodotoka
Output membership function of fuzzy system for water quality rang determination

Kod ovako napisanog fazi sistema mala promena koncentracije nekog parametra kvaliteta ne utiče na promenu klase vodotoka. Pod pojmom "male promene koncentracije" misli se na promenu koja se nalazi unutar širih granica fazi broja. Tako bi za slučaj naveden ranije u radu, a koji se odnosi na povećanje petodnevne biohemijske potrošnje kiseonika sa 4 na 4,1 mg/l u vodotoku II klase, vodotok ostao u II klasi, ali bi joj pripadao sa stepenom pripadnosti malo manjim od 1.

U nastavku se navodi još nekoliko planerskih zadataka za čije bi se rešavanje mogla primeniti izložena metodologija.

Jedan od njih je problem izbora garantovanog ekološkog protoka. Garantovani ekološki protok koji se ispušta iz akumulacije je veličina koja nije konstantna. Menja se u zavisnosti od velikog broja biotičkih i abiotičkih faktora (stanje dominantnih biocenoza, kvalitet vode, ...) u nizvodnom ekosistemu, koji nisu tačno definisane veličine, pa ih je pogodno definisati fazi brojevima. Ovako definisane ulazne veličine se određenim pravilima povezuju sa izlaznom vrednošću, garantovanim ekološkim protokom, koji je takođe definisan kao fazi veličina.

Određivanje tipa i dispozicije brane je problem koji se može rešiti primenom teorije fazi skupova. Vrednosti sa kojima se ulazi u rešavanje ovakvih zadataka su, između ostalih, i cena ključnih resursa, količina radova, veličina kamatne stope, idr. To su neodređene veličine, pa ih je pogodno definisati mekše, fazi skupovima. Taj problem je prikazan u radu u literaturi [3] i [7].

Teorija fazi skupova može se primeniti i prilikom planiranja postrojenja za prečišćavanje otpadne vode. U takvim zadacima vrednosti pokazatelja kvaliteta ulaznih

i izlaznih voda iz postrojenja mogu se definisati fazi skupovima. Većina ekonomskih pokazatelja sa kojima se ulazi u analizu troškova i cena prečišćavanja može se posmatrati na ovaj način.

I na zadatak upravljanja akumulacijom, koja ima rezervnu zapreminu za odbranu od poplava i/ili oplemenjavanje malih voda, utiču razne neodređenosti i nepreciznosti, pa se može rešavati primenom izložene metodologije. Osnovno je to da se rezervisan prostor za odbranu od poplava, odnosno protok koji se ispušta iz akumulacije, tretiraju kao fazi veličine.

Rešavanje problema primenom fazi logike ukazalo je i na izvesne teškoće, koje su posebno izražene u slučajevima kada se ova metodologija primenjuje za rešavanje složenih planerskih zadataka. To su teškoće vezane za način određivanja funkcija pripadnosti, konstruisanje fazi brojeva i definisanje velikog broja pravila za zaključivanje. Ovi nedostaci mogu se prevazići kombinovanjem fazi sistema i neuralnih mreža.

4. NEURO - FAZI SISTEMI

Neuralne mreže su nelinearni dinamički sistemi, čiji je cilj prevođenje datih ulaza u željene izlaze. Prednost u odnosu na ostale sisteme, sa sličnim ciljem, daje im njihova sposobnost adaptacije i učenja na osnovu postojećih podataka. Sastoje se od velikog broja neurona (organizovanih u slojeve) međusobno povezanih sinaptičkim vezama² (slika 8).

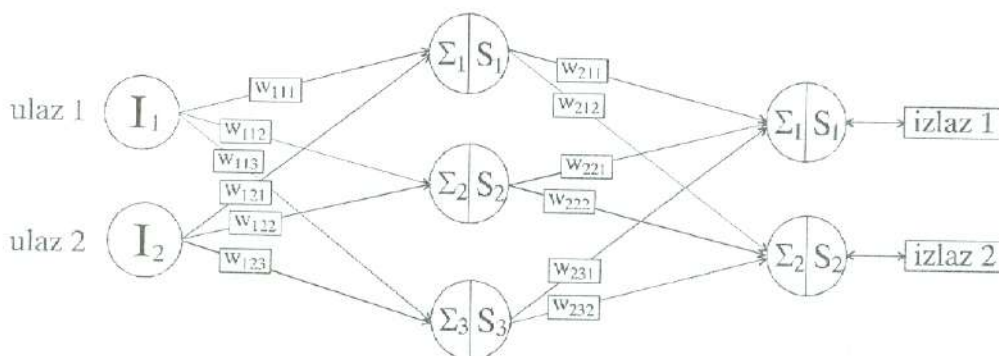
Da bi za dati skup ulaza dobili željene izlaze, neuralne mreže se moraju prvo obući. Obučavanje mreže vrši se sa osmotrenim skupom ulazno - izlaznih podataka. Slično kao kod bioloških neurona, čijom koncepcijom

su neuralne mreže inspirisane, neuron prima informacije od neurona sa kojima je u sinaptičkoj vezi. Svaka informacija množi se sa jačinom sinaptičke veza (težinskim koeficijentom - w), i za tako određene vrednosti računa se agregiranost neurona (težinska suma čvora - Σ). Ta vrednost se preko prenosne funkcije (S) prevodi u izlaz. Prenosna funkcija ograničava izlazne vrednosti na prihvatljiv nivo, a najčešće se koristi sigmoidna i odskočna funkcija. Nakon prolaska kroz sve slojeve mreže dobija se izlazna vrednost. U procesu obučavanja mreže ta vrednost se upoređuje se osmotrenom vrednošću, i metodom prostiranja greške unazad određuju se i modifikuju jačine sinaptičkih veza.

U ovom radu je u samo nekoliko rečenica opisan najpoznatiji tip neuralnih mreža mreža sa prostiranjem signala unapred i sa prostiranjem greške unazad. Detaljnije o neuralnim mrežama može se videti u radu mr Miloša Stanića i prof. dr Dimitrija Avakumovića: "Osnove koncepta neuralnih mreža i mogućnosti primene u hidrotehnici", u ovom broju časopisa.

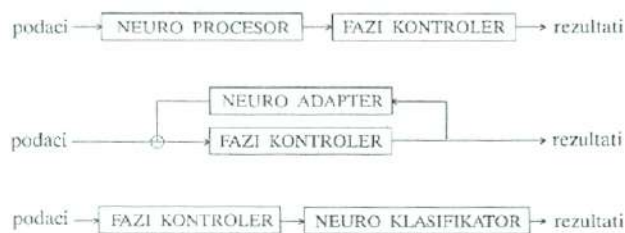
Opisane dve tehnologije, neuralne mreže i fazi logika, mogu se kombinovati na razne načine (slika 9). Tako formirani hibridni sistemi, poznati pod nazivom neuro - fazi sistemi, ispoljavaju najbolje karakteristike obe tehnologije.

U složenim fazi sistemima, u kojima postoji veliki broj pravila, neuralna mreža se može iskoristiti za učenje ili usklađivanje fazi pravila. Prilikom modeliranja takvih sistema potrebno je raspolagati dovoljno velikim skupom ulazno - izlaznih podataka, a ulazne i izlazne funkcije pripadnosti moraju biti definisane pre aktiviranja neuralne mreže.



Slika 8. - Šematski prikaz neuralne mreže
Schematic view of neural network

²Kod bioloških neurona sinapsa je mesto gde se izlaz iz jednog neurona spaja sa ulazom u drugi neuron. Efikasnosti sinaptičkih spojeva (jačine sinapsi) međusobno se razlikuju, a veruje se da su dinamičke promene jačine sinapsi razlog adaptivnosti bioloških neuralnih veza. U neuralnim mrežama sinapsa je predstavljena sinaptičkom vezom, a jačina sinapse težinskim koeficijentima veze. Promena težinskih koeficijenata je osnova adaptivnosti neuralnih mreža.



Sl. 9. – Nekoliko tipova neuro - fazi sistema
Few types of neuro - fuzzy systems

Ako nismo sigurni kako ulazne funkcije pripadnosti trebaju izgledati, neuralne mreže mogu, pored fazi pravila, uskladiti i ulazne funkcije pripadnosti. Pri tome se moraju zadati neke njihove osnovne karakteristike kao što su tip fazi brojeva i njihov broj.

Sa povećanjem količine informacija (ulazno - izlaznih podataka) povećava se preciznost formiranih pravila i/ili ulaznih funkcija pripadnosti, što omogućava da se sistem menja sa iskustvom. Značajne osobine ovako formiranih sistema su njihova sposobnost da uče i da postupke eksperata u raznim situacijama, na osnovu ulazno - izlaznih vrednosti, pretoče u fazi pravila. Ove osobine značajno ubrzavaju proces programiranja (formiranja) fazi sistema.

5. ZAKLJUČAK

Teorija fazi (rasplinutih) skupova i neuralne mreže, sve se masovnije koriste u raznim oblastima tehnike, pa i u hidrotehnici. Vodoprivredni sistemi su složeni sistemi, na koje deluju brojne neodređenosti i nepreciznosti, pa je primena neuro - fazi metodologije veoma pogodna za

rešavanje planerskih zadataka vezanih za te sisteme. U hidrotehnici se često srećemo sa procesima koji su zasnovani na fizičkim zakonima, ali kod kojih je ta zakonitost veoma složena i neprecizno definisana. Ako raspoložemo dovoljno velikim skupom podataka o ulaznim i izlaznim vrednostima razmatranih parametara određenog procesa, izložena metodologija može značajno da pomogne pri njihovom modeliranju. Autori sagledavaju da će se fazi logika i neuralne mreže, a posebno kombinovani neuro - fazi sistemi sve više koristiti za rešavanje niza planerskih i upravljačkih problema u hidrotehnici.

LITERATURA

- [1] Baošić, M.: Upravljanje složenim vodoprivrednim sistemima pomoću ekspertnih sistema, Doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd, 1995.
- [2] Bellman, R. E. and Zadeh L. A.: Decision - Making in Fuzzy Environment, Management Science, 17 (4), 1970.
- [3] Đorđević, B.: Primena teorije rasplinutih skupova za rešavanje zadataka upravljanja i odlučivanja u vodoprivredi, Vodoprivreda, 150-152, Beograd, 1994.
- [4] Djordjević, B.: Cybernetics in Water Resources Management, WRP, Fort Collins, USA, 1993.
- [5] Kosko, B.: Fuzzy Thinking - the New Science of Fuzzy Logic, New York, USA, 1993.
- [6] Pap, E.: Fuzzy Measures and their Application, SYM-OP-IS '92, Beograd, 1992.
- [7] Simonović, S. and Marino, M. A.: Reliability Programming in Reservoir Management, Water Resources Research, 16 (5), 1980.
- [8] Srećković, G., Djordjević, B. and Savić, D.: An application of Fuzzy Set Theory in Water Resource Decision - Making, SYM-OP-IS '92, Beograd, 1992.
- [9] Tanaka, H. T. and et: On Fuzzy - Mathematical Programming, Journal of Cybernetics, 3 (4), 1974.

AN APPLICATION OF NEURO - FUZZY METHODOLOGY IN WATER RESOURCES MANAGEMENT

by

Prof. Branislav DJORDJEVIĆ, Ph.D. and Tina MILANOVIĆ, BSc
Faculty of Civil Engineering, Belgrade

Summary

The basic concept of two methodologies fuzzy set theory and neural networks is presented in the paper. The possibility of their application in solving problems of planning in water resources management are reviewed. In water resources planning for systems with uncertainties, approach of soft modeling is more suitable than classical set theory. Advantages of hybrid neuro - fuzzy

systems, that capture the best of both methodologies, is specially emphasized in the paper. The fuzzy sets for water quality classification has illustrative importance, because of the methodological character of the paper.

Key words: fuzzy set theory, neural networks, uncertainty, water resources management

Redigovano 10.02.1997.