

КОНФЕРЕНЦИЈА О АКТУЕЛНИМ ПРОБЛЕМИМА ЗАШТИТЕ ВОДА



ЗАШТИТА ВОДА '96



ЈУГОСЛОВЕНСКО ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ВОДА

ОРГАНИЗАТОРИ:**ЈУГОСЛОВЕНСКО ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ВОДА
ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ВОДА ЦРНЕ ГОРЕ****ОДРЖАВАЊЕ КОНФЕРЕНЦИЈЕ СУ ПОМОГЛИ:**

- Савезно министарство за науку, технологију и заштиту животне средине
- Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Црне Горе
- Министарство заштите животне средине Републике Црне Горе
- Министарство здравља Републике Црне Горе
- Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије
- Министарство за пољопривреду, шумарство и водопривреду Републике Србије
- Министарство за заштиту животне средине Републике Србије
- Министарство за урбанизам, комуналне послове и грађевинарство Србије
- Фонд за воде Републике Србије
- Јавно водопривредно предузеће "Морава" Ниш
- Јавно водопривредно предузеће "Сава" Београд
- Скупштина општине Подгорица
- Скупштина општине Улцињ
- Јавно предузеће "Водовод и канализација" Подгорица
- "Солана" Улцињ
- Јавно комунално предузеће Улцињ

РЕДАКЦИОНИ ОДБОР:

проф. др Браислав ЂОРЂЕВИЋ, дипл.инж., Београд - ПРЕДСЕДНИК
 проф. др Александар ЂОРОВИЋ, дипл.инж., Подгорица
 проф. др Петар МИЛАНОВИЋ, дипл.инж., Београд
 проф. др Мирко ПОПОВИЋ, дипл.инж., Београд
 др Станка ФИЛИПОВИЋ, дипл.хем., Подгорица
 проф. др Вера МИТРОВИЋ-ТУГУЊЦИЋ, дипл.биолог, Београд
 др Гордана НИКЕЗИЋ, дипл.биолог, Вишча
 др Божо ДАЛМАЦИЈА, дипл.инж., Нови Сад

УРЕДНИК:

проф. др Милоје МИЛОЈЕВИЋ, дипл.инж.граф., Београд

ШТАМПА:

Видосав Новаковић, Преписи и умножавање - Београд, Маршала Толбухина бб

ТИРАЖ: 500

СЛИКА НА КОРИЦАМА: Биоградско језеро

По мишљењу Министарства културе Републике Србије ослобођено плаћања пореза на промет

PRIMENA RASPLINUTIH SKUPOVA PRI VODOPRIVREDNIM ANALIZAMA MERA ZAŠTITE VODA

Prof. dr Branislav Đorđević¹, Tina Milanović¹

SAŽETAK

U radu se razmatra mogućnost primene teorije rasplnutih (fuzzy) skupova za prevazilaženje problema neodređenosti u nekim zadacima zaštite kvaliteta voda. Time se u taj važan segment vodoprivrednog planiranja uvodi tzv. meko modeliranje / računanje (*soft modelling*) koje je mnogo primerenije sistemima sa neodređenostima koje se moraju postupno prevazilaziti tokom planiranja sistema i upravljanja njima. Rad ima za cilj da podstakne sagledavanje primene tog novog, fazi pristupa u zaštiti voda.

Ključne reči: fazi skupovi, neodređenost, zaštita voda,

AN APPLICATION OF FUZZY SET THEORY IN WATER QUALITY MANAGEMENT

SUMMARY

The possibility of fuzzy set theory application in water quality management is presented in the paper. This approach of soft modelling in water resources planning, is more suitable for systems with uncertainties. It has to be applied in designing and management of water resource systems. The main task of the article is to stimulate application of this new, fuzzy approach in water resources management.

Key words: fuzzy set theory, uncertainty, water quality management

1. Uvod

Vodoprivredni sistemi se, zbog izuzetno složenih konfiguracija, funkcija i ciljnih struktura, sve delikatnijih veza sa okruženjem i sve brojnijih kriterijuma i ograničenja koja se moraju razmatrati pri planiranju i upravljanju - svrstavaju u grupu *teško struktuiranih problema*. Planiranje i upravljanje takvim sistemima je veoma komplikovano, jer se tokom rešavanja menjaju i ciljne strukture, pa i sama polazna konfiguracija sistema, skupovi kriterijuma za vrednovanje rešenja i ograničenja po stanju i upravljanju.

Kao jedan od ključnih problema pri planiranju takvih sistema javlja se *problem neodređenosti*. Pogodan aparat za analitičko rešavanje tog problema, koji se zadnjih godina sve više koristi, je primena *teorije rasplnutih skupova* ili fazi logike. Ova metodologija može se veoma uspešno primeniti za probleme vezane za zaštitu kvaliteta vode, planiranje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, modeliranje ekoloških procesa u vodoprivrednim sistemima, izbor garantovanog ekološkog protoka, itd.

¹⁾ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

2. Neodređenosti u vodoprivrednom planiranju

U vodoprivrednom planiranju srećemo se sa nekoliko tipova neodređenosti. Za neke od njih postoji više ili manje pogodan način modeliranja, dok se neke neodređenosti, do sada, nisu mogle analitički rešavati.

Neodređenosti stohastičkog katraktera mogu se modelirati preko teorije verovatnoće, a nešto složeniji problemi primenom Bajesove formule. Međutim, ovakav pristup zahteva poznavanje velikog broja uslovnih verovatnoća, što je teško izvodljivo i zahteva veoma obiman proces proračuna. Drugi način prevazilaženja neodređenosti ovog tipa je preko faktora određenosti. To je znatno operativniji način koji se bazira na definisanju pravila preko kojih se hipoteze povezuju sa određenim dokazima [4]. Neodređenosti vezane za ulazne parametre koje se javljaju u nekim definisanim opsezima mogu se prevazići ispitivanjem osetljivosti rešenja na promenu tih parametara.

Neodređenosti koje nastaju usled neprecizno definisanih pojmova i veličina sa kojima se radi pri rešavanju zadataka vodoprivrednog planiranja i upravljanja do sada se nisu mogle valjano rešiti. Ove neodređenosti mogu biti dvojake. Jednu grupu čine veličine sa kojima se ulazi u matematički model, a koje se ne mogu tačno kvantifikovati. To su veličine koje se nikada ne navode kao fiksne vrednosti, nego se i pri njihovom navođenju dodaje reč "oko". U drugu grupu spadaju pojmovi kojima se operiše, a koji se ne mogu tačno kvantifikovati, kao i pojmovi vezani za ocenu uspešnosti neke upravljačke odluke. Npr. ako se zahteva da se neki vodotok zadrži u trećoj klasi kvaliteta ($BPK_5 \leq 12 \text{ mg/l O}_2$), da li će se rešenje kojim je postignuto $BPK_5 = 12,1 \text{ mg/l O}_2$ smatrati zadovoljavajućim ili ne?

Intuitivno je jasno da donošenje odluka ove vrste nije tako rigidno, jer i sam čovek, pri donošenju ovakvih odluka, reaguje više fleksibilno nego strogo precizno i isključivo. Teorija fazi skupova predstavlja, u stvari, analitičku formalizaciju navedene logike odlučivanja.

3. Osnove teorije rasplnutih skupova

Fazi logika ili teorija rasplnutih skupova je skup matematičkih principa za modeliranje informacija bazirano na stepenu pripadnosti nekog elementa fazi skupu.

U konvencionalnoj teoriji neki element x može ili da pripada ili da ne pripada nekom skupu S . Odnosno, ako je skup definisan nekom karakterističnom funkcijom f_S , elementi skupa mogu uzeti vrednosti ili 1 (element pripada skupu) ili 0 (element ne pripada skupu).

Fazi skupovi su skupovi koji nemaju oštro definisane granice. Oni omogućavaju da element može pripadati skupu sa određenim stepenom pripadnosti. Fazi skupovi se definišu preko funkcije pripadnosti μ , koja uzima sve vrednosti između 0 i 1. Razmotrimo podskup A uređenih parova

$$A: \langle x, \mu_A(x) \rangle, \forall x \in X$$

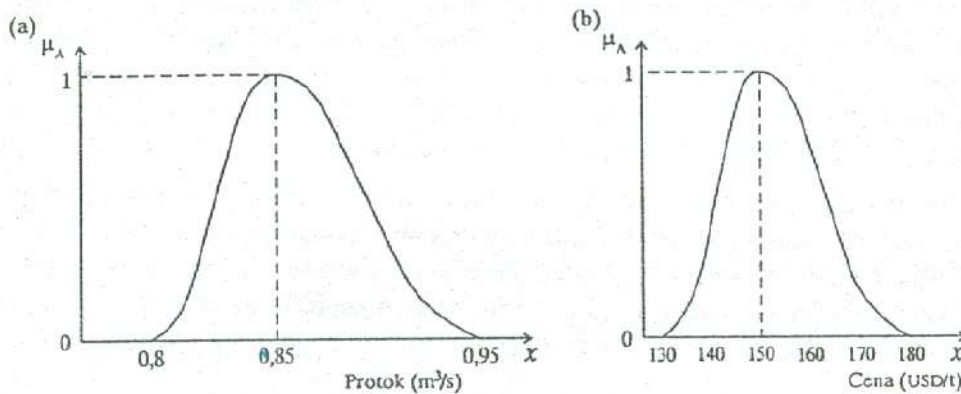
gde su: x - elementi skupa, μ_A - funkcija pripadnosti skupu $[0, 1]$, X - oblast definisanosti skupa. Kod običnih, binarnih skupova, neki element x ili rezolutno pripada skupu A ($\mu_A=1$) ili ne pripada ($\mu_A=0$), tako da funkcija pripadnosti može da uzme vrednosti 0 i 1. To se može napisati u vidu

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

Kod fazi skupova funkcija pripadnosti može imati bilo koju vrednost između 0 i 1, uključiv i te dve vrednosti, te se mogu definisati u obliku

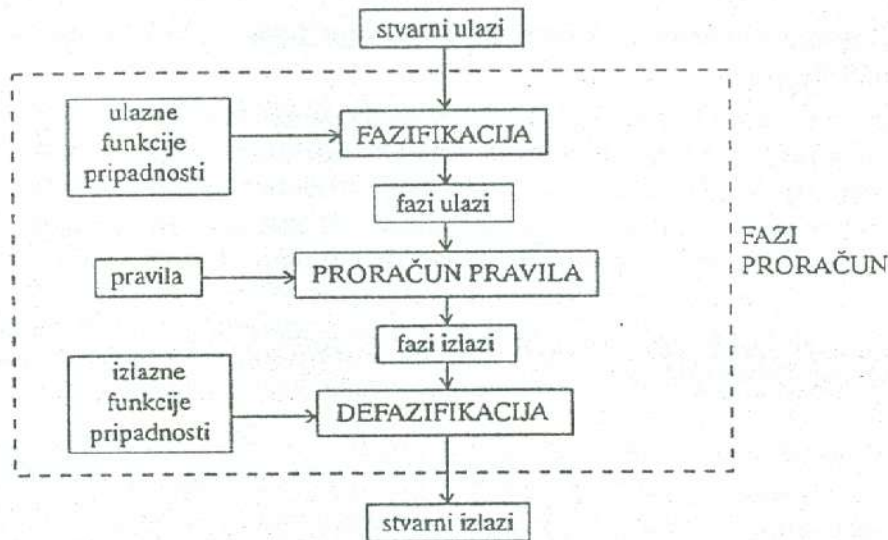
$$\forall x \in A ; \mu_A(x) \in [0, 1]$$

Na slici 1a prikazan je preko fazi skupa pojam "merodavna mala voda OKO 0,85 m³/s". Na sličan način mogu se prikazati i nejasni, ali za zaštitu voda veoma važni pojmovi kao što su "star rezervoar za naftu", ili neodređene veličine kao "dopustiva granica oko 8 mg/l O₂", itd. Na sl. 1b prikazan je način definisanja ekonomskog pokazatelja "cena ugrađenog materijala je OKO 150 USD/t". Fazi skupovima se mogu analitički kvantifikovati i semantički neodređeni pojmovi kao što su "zadovoljavajuća vrednost pH", "prihvatljiva granica BPK₅", itd [3].



Slika 1.: Fazi skupovi: a) "mala voda" ; b) "cena ugrađenog materijala"

Cilj modeliranja fazi logikom je, kao i kod svakog drugog modeliranja, da se za određeni skup ulaza, na osnovu fazi proračuna, dobije željeni skup izlaza. Fazi proračun sastoji se od tri faze (slika 2): fazifikacija, proračun pravila i defazifikacija.



Slika 2.: Dijagram toka fazi proračuna

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. Funkcije pripadnosti (fazi skupovi) mogu biti raznih oblika. Najčešći su trougaoni, trapezni (slika 3) i štapičasti (singularni), ali se koriste i složeniji oblici. 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.

Proračun pravila. 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 aktivnost treba da se javi kao reakcija na određene fazi ulaze. Za svako od pravila, odnosno za svaku rezultujuću aktivnost, na osnovu stepena pripadnosti fazi ulaza određuje se tačnost pravila. Upoređivanjem tačnosti svih pravila koja određuju istu aktivnost i uzimanjem maksimalne vrednosti, dobija se fazi izlaz.

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 (po x osi). Tako određeno težište predstavlja stvarnu vrednost izlazne promenljive.

4. Mogućnosti korišćenja fazi pristupa u oblasti zaštite voda

Fazi logika se može veoma uspešno koristiti u zaštiti voda, jer se tu srećemo sa više klasa neodređenosti. U nastavku je navedeno nekoliko planerskih zadataka koji se mogu uspešno rešavati primenom izložene metodologije.

- ♦ Pri rešavanju problema vezanih za izbor garantovanog ekološkog protoka uspešno se može primeniti izložena metodologija.

Garantovani ekološki protok je veličina koja nije konstantna, nego se menja u zavisnosti od biotičkih i abiotičkih faktora u nizvodnom vodenom ekosistemu. Takve ulazne vrednosti nisu strogo definisane, tj. nemaju oštre granice, pa ih je pogodno definisati preko fazi skupova. Određenim pravilima ove ulazne vrednosti mogu se povezati sa izlaznim veličinama - vrednostima garantovanog ekološkog protoka, definisanom takođe preko fazi skupova. Garantovani ekološki protok koji se ispušta iz akumulacije treba da zavisi i od kvaliteta vode u prijemniku, od stanja dominantnih biocenoza, pa i te neodređenosti moraju da budu obuhvaćene odgovarajućim fazi skupovima.

- ♦ Primenom fazi logike može se rešavati uspešno problem definisanja kvaliteta vode. Važeći princip po kome se određuje kvalitet vode, odnosno klasa vodotoka je da vodotok pripada onoj klasi kojoj pripada najnepovoljniji pokazatelj kvaliteta. Odnosno, ako barem jedan od pokazatelja kvaliteta pređe iz više u nižu klasu, celi vodotok prelazi u tu nižu klasu.

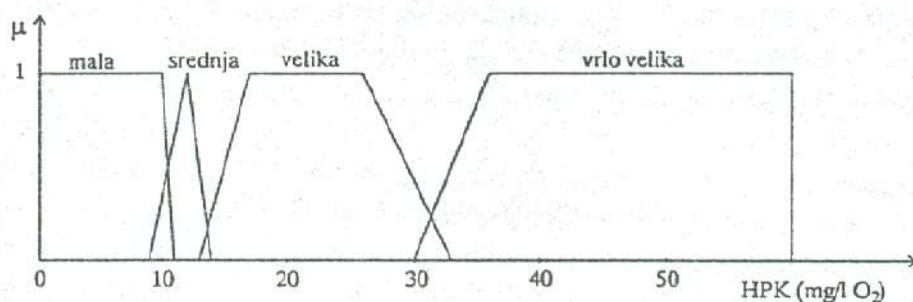
Nedostaci ovakvog načina određivanja kvaliteta vode su davno uočeni, a jedan od mogućih načina njihovog prevazilaženja je primena teorije rasplnutih skupova.

Ulazne vrednosti za takav zadatak - pokazatelji kvaliteta vode (rastvorani kiseonik, BPK5, hemijska potrošnja kiseonika - HPK, suspendovane materije, pH vrednost, najverovatniji broj koliformnih bakterija, itd) mogu se definisati u obliku fazi skupova. Na slici 3 dat je primer predstavljanja količine suspendovane materije i hemijske potrošnje kiseonika preko fazi skupova. Proračunom pravila, koje pišu eksperti iz te oblasti, može se doći do realnije ocene kvaliteta vode.

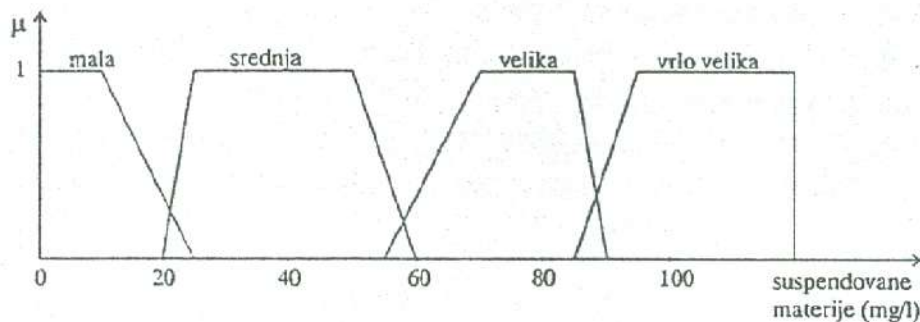
Za ilustraciju primene izložene metodologije uzeta su dva parametra kvaliteta, jedan iz grupe "fizičkih" - suspendovane materije i jedan iz grupe "hemijskih" - HPK (iz $KMnO_4$), pri čemu je ovaj drugi na neki način bitniji za ukupni kvalitet, jer definiše sadržaj organskih materija i povezan je sa koncentracijom rastvorenog kiseonika. Brojne vrednosti na dijagramu obuhvataju sve propisane maksimalne dozvoljene količine (MDK) za četiri klase vodotoka (I, II, III i IV). Zbog značaja parametra HPK prelaz između I i II klase voda zadržan je skoro prema propisanom MDK, dok su u ostalim slučajevima usvojene šire granice.

Iz dijagrama se vidi da je moguća znatno fleksibilnija ocena kvaliteta vode, jer ako je HPK bilo veće od MDK u toku jedne godine osmatranja, treba analizirati i broj tih pojava i veličinu odstupanja od MDK.

a)



b)



Slika 3. Ulazne funkcije pripadnosti (fazi skupovi) za neke parametre kvaliteta vode:

a) hemijsku potrošnju kiseonika i b) suspendovane materije

♦ Opisana metodologija 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.

5. Zaključak

Teorija rasplinutih (fazi) skupova, koja se sve masovnije koristi u raznim oblastima tehnike za uvođenje "mekših računanja" u uslovima neodređenosti, vrlo se uspešno može koristiti u nizu oblasti zaštite voda: pri klasifikaciji voda, definisanju merodavnih veličina i pokazatelja kvaliteta, oceni efekta zaštite, pri definisanju troškovnih veličina sa kojima se ulazi u planiranje zaštitnih sistema, itd. Autori predlažu da se ovaj pristup ima u vidu pri ispravljanju nekih nelogičnosti pri oceni stanja kvaliteta, kada rigidno računanje, sa stanovišta binarnih skupova, dovodi do neprikladnih rezultata.

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 Colins, USA, 1993.
- [5] Hajduković, D.: Prilog razvoju ekspertnih sistema za projektovanje hidroenergetskih objekata, Doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd, 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 el: On Fuzzy - Mathematical Programming, Journal of Cybernetics, 3 (4), 1974.