

FAZI EKSPERTSKO UPRAVLJANJE IZBOROM OPTIMALNOG HIDROENERGETSKOG RESURSA

Svetlana STEVOVIĆ, Željko ĐUROVIĆ

REZIME

Hidropotencijal je obnovljivi energetska resurs, čista energija. Ipak, prilikom hidroenergetskog iskorišćenja vodotoka, dolazi do svojevrstnih poremećaja životne sredine. Da bi se izabralo optimalno rešenje, koje sa jedne strane ima maksimalne moguće tehničke performanse i ekonomsko-finansijske karakteristike, a sa druge strane se harmonično uklapa u životnu sredinu i društveno-političko okruženje, može se poslužiti savremenim matematičkim modelima veštačke inteligencije. Fazi logika i ekspertski sistemi pružaju idealan okvir za izbor optimalnog rešenja hidroenergetskog iskorišćenja vodotoka, uz ravnopravno i jednovremeno uključivanje svih relevantnih ulaznih varijabli, među kojima se pored tehnno-ekonomskih, naravno nalaze i one koje predstavljaju istorijsko-političke faktore i na odgovarajući način kvantifikovane uticaje na životnu sredinu.

Ključne reči: hidroenergetski resursi, fazi logika, ekspertski sistemi, upravljanje.

I Uvod

Cilj ovog rada jeste da se formira fazi ekspertski sistem za evaluaciju i izbor optimalnog hidroenergetskog postrojenja. Njegov zadatak bi bio da osim uobičajenih tehnno ekonomskih parametara kao što su vršna snaga, investicioni količnik, koeficijent rentabilnosti, itd., uključi i do skoro samo opisno prisutne parametre koji karakterišu uticaj na životnu sredinu, kao i istorijsko-političke komponente.

Poremećaji koji nastaju zauzimanjem prostora pri izgradnji energetskih objekata u životnoj sredini i društvu u celini se vrlo teško mogu kvantifikovati i obuhvatiti tehnno-ekonomskim analizama. Prilikom projektovanja energetskih postrojenja moguće je izračunati troškove eksproprijacija, izmeštanje puta,

crkve, groblja, domaćinstava, društvenih ustanova[3], ali ta cena nikada nije u celosti adekvatna kompenzacija za izgubljeno. Kada su u pitanju retke biljne ili životinjske vrste, koje postavljanjem ovakvih energetskih postrojenja mogu biti ugrožene, u našoj praksi do sada primenjivane odštete postaju besmislene[1]. Ovakve promene, ili gubitak u lokalnoj flori i fauni se pre mogu iskazati i okarakterisati lingvističkim varijablama nego kvantitativnim pokazateljima. Otuda teorija fazi sistema predstavlja dobar okvir da se i ovakve pojave i uticaji modeliraju i uzimaju u obzir prilikom odlučivanja.

Razvijeni ekspertski sistem je formiran i testiran na bazi mogućih tehničkih rešenja na potezu reke Drine između gradova Srbinje i Goražde u Bosni i Hercegovini, na granici između nacionalnih entiteta[6].

Navedeni lokalitet je izuzetno zanimljiv sa aspekta analize uticaja na životnu sredinu[5] kao i uticaja istorijsko – političkih faktora na izbor optimalnog rešenja, s obzirom da se gradovi Srbinje i Goražde nalaze sa različitih strana granice koja razdvaja različite nacionalne entitete. Ova granica je nastala kao rezultat gradjanskog rata (1991-1995) u Bosni i Hercegovini, i predstavlja granicu između Republike Srpske i Muslimansko-Hrvatske federacije.

Postojeće metode za evaluaciju optimalnog hidroenergetskog sistema[10] se uglavnom zasnivaju na modelima višekriterijumskog odlučivanja i egzaktno zahtevaju numeričke kvantifikatore za svaku od ulaznih varijabli, dok odgovarajući težinski koeficijenti predstavljaju subjektivni doživljaj eksperta koji projektuje ekspertski sistem[8]. U ovakav sistem se teško mogu uključiti parametri kao što su uticaj akumulacija na promenu klimatskih uslova, otkidanje deluvijalnog pokrivača izazvanih oscilacijama vode u akumulaciji, uticaj na prirodne rezervate Pančićeve omorike, mogućnost potapanja džamija, ili starih pravoslavnih grobalja, itd[4]. Fazi ekspertski sistem[13]

omogućava lingvističku karakterizaciju navedenih uticaja i njihovo prisustvo u sistemu odlučivanja, pri čemu se, odgovarajućim postupkom defazifikacije, ipak na izlazu dobija numerička evaluacija svake od mogućih hidroenergetskih solucija.

Rad je koncipiran tako da je u drugom odeljku dat opis hidroenergetskih rešenja i njihovih tehničkih karakteristika. Treći odeljak govori o parametrima životne sredine i političko-istorijskih faktora i njihovom modeliranju u cilju uključivanja u sistem ekspertskog odlučivanja. Četvrti odeljak daje opis ekspertskog sistema za odlučivanje, definisanje funkcija pripadnosti i pravila odlučivanja. U ovom odeljku je dat i rezultat evaluacije pojedinih tehničkih rešenja kao i analiza osetljivosti optimalnog izbora na promenu pojedinih varijabli. Zaključak sumira dobijene rezultate i naglašava prednosti ovakvog pristupa u izboru optimalnog hidroenergetskog sistema.

II Tehnički opis mogućih hidroenergetskih rešenja

Posmatrani lokalitet se nalazi u dolini reke Drine, između gradova Srinje[11] i Goražde. Ovaj potez omogućava sledeća alternativna rešenja hidroenergetskog iskorišćenja reke.

- A – HE Goražde 375: jedna betonska brana na profilu Goražde II, sa pribranskom hidroelektrnom i kotom uspora od 375,00 mnm.
- B – HE Goražde 383: jedna betonska brana na profilu Goražde II, sa pribranskim postrojenjem i akumulacijom na koti normalnog uspora 383,00 mnm.
- C – HE Goražde 352, HE Sadba 362, HE Ustikolina 373, HE Paunci 384: četiri betonske prelivne brane, kaskadno u nizu, sa akumulacijama sa pripadajućim kotama uspora respektivno.

D – HE Goražde 375, HE Paunci 384: sastoji se od dva hidroenergetska postrojenja na profilima Goražde II i Paunci, sa kotama uspora 375,00 mnm i 384,00 mnm, respektivno.

E – HE Goražde 362, HE Ustikolina 373, HE Paunci 384: kod ove alternative u pitanju je kaskada sastavljena iz tri betonske brane sa protočnim hidroelektranama, a to su Goražde II, Ustikolina i Paunci, sa akumulacijama na kotama 362,00 mnm, 373,00 mnm i 384,00 mnm, respektivno.

F – HE Sadba 362, HE Ustikolina 373, HE Paunci 384: ovo moguće tehničko rešenje je kaskada od tri uniformisana hidroenergetska postrojenja u koritu reke Drine, na profilima Sadba, Ustikolina i Paunci, sa kotama 362,00 mnm, 373,00 mnm i 384,00 mnm respektivno, svako sa padom od po 11,00m.

Osnovne tehno-ekonomske karakteristike hidroelektrana na ovom potezu su date sledećom tabelom (Tab. 1).

Korišćenjem poznatih tehno-ekonomskih analiza, moguće je na osnovu parametara prikazanih u tabeli, izvršiti izbor optimalnog hidroenergetskog postrojenja. Međutim, na taj način bi potpuno bio zanemaren efekat uticaja izgradnje objekta na životnu sredinu, kao i uticaj kulturnih, istorijskih i političkih faktora[9]. Otuda je sledeće poglavlje posvećeno modeliranju ovih uticaja.

III Uticaj hidroenergetskog rešenja na životnu sredinu

Da bi se pristupilo izučavanju mogućnosti matematičkog modeliranja parametara zaštite životne sredine, u funkciji izbora optimalnog hidroenergetskog sistema, najpre je bilo potrebno uraditi odgovarajuće analize uticaja na okolinu svakog razmatranog tehničkog rešenja hidroenergetskog korišćenja potencijala vodotoka, tj. svake alternative ponaosob[2].

Tabela 1: Tehno-ekonomski pokazatelji hidroelektrana na potezu Srinje-Goražde

	Goražde 383	Goražde 375	Goražde 362	Goražde 352	Sadba 362	Ustikolina 373	Paunci 384
$Q_i (m^3/s)$	500	500	450	450	450	450	450
$H (m)$	35.8	27.8	15	5	9.5	10	10.6
$N_i (MW)$	166.5	130.8	61.5	20.7	43.2	43.2	43.2
$E_{god} (GWh/g)$	501.7	407.2	223.8	73.2	140.4	147.4	156.3
$E_{vrsno} (GWh/g)$	308.3	251.1	126.3	41.3	79.2	83.2	88.2
Investicije (mil. \$)	302.76	246.31	105.20	79.54	79.54	77.83	85.53
B/C	1.57	1.53	1.73	0.74	1.44	1.5	1.45
Inv. kol. (\$/kWh)	0.603	0.605	0.47	1.084	0.566	0.528	0.547
Spec. inv. (\$/kW	1.818	1.881	1.711	3.842	1.841	1.801	1.98

Analizirano je nulto stanje okoline[7], pre izgradnje hidroenergetskih objekata. Pri tome su uzete u obzir:

- prirodne karakteristike (režim površinskih voda, klima, geologija, hidrogeologija i seizmičnost, litološka građa terena, pedologija, stanje erozije i nanosa u slivu, flora i fauna, kvalitet vode i sadašnja procena emisije zagađenja vodotoka od strane stanovnika);
- društveno-ekonomski činioci regiona (opštine i naselja, stanovništvo, način korišćenja zemljišta, saobraćaj);
- prirodni resursi (mineralne i nemineralne sirovine i rudna ležišta, eksploatacija voda, zemljišta i šljunka).

Uticaj na prirodne karakteristike regiona, kulturno-istorijske spomenike i prirodne retkosti

Izgradnja hidroenergetskog sistema i formiranje akumulacija na razmatranom području Srbinje-Goražde, na dužini reke Drine od 23 km, izazvaće promenu morfoloških karakteristika, a time i promenu hidrauličkog režima toka. Osnovne promene u hidrauličkom režimu odnose se na usporavanje toka i izdizanje vodnog ogleдалa, pri čemu dolazi do značjanog opadanja brzina voda, i to naročito pri nižim proticajima. Pored promene hidrauličkih karakteristika toka u uslovima eksploatacije sistema, doći će i do promene bilansa voda. Ove promene će se iskazivati kroz povećanje malih voda i smanjenje amplitude dnevnih proticaja.

Takođe je izvesna promena klimatskih uslova kao posledica formiranja akumulacija[14]. Ove promene uglavnom zavise od veličine akumulacionog jezera, količine vode u njemu, uslova reljefa, geološke građe područja, postojeće vegetacije, vetrova, osunčanosti it.d. S obzirom na geološku građu terena u području budućeg energetskog sistema u uslovima eksploatacije može doći do manjih otkidanja deluvijalnog pokrivača izazvanih oscilacijama nivoa vode u akumulaciji. Uticaj usporavanja vode reke Drine, tj. izgradnje akumulacija, na nivo podzemnih voda je neposredan i uglavnom se ogleda u izdizanju nivoa podzemnih voda. Ovo je stalna pojava i najčešće je karakteristična za priobalne zone područja. Uticaji na podzemne vode takođe su najizraženiji kod varijanti sa jednom akumulacijom.

U uslovima formiranja akumulacija, s obzirom na litološki sastav područja usled naglog opterećenja krupnih stenskih masa, moguće su pojave indukovane seizmičnosti, što može biti karakteristično za veće akumulacije, tj. varijante sa jednom stepenicom.

Osim toga, evidentan je uticaj na vegetaciju područja s obzirom da u uslovima formiranja akumulacija dolazi do promena fito-cenoloških zajednica koje generalno utiču na biocenu lokaliteta (ptice, životinje, zemljišna fauna). Inače, radi se o relativno sporom procesu nastajanja promena, pa se o kvalitativno-kvantitativnim pokazateljima može govoriti tek u doglednoj budućnosti. Sa aspekta uticaja na režim nanosa glavne posledice su zadržavanje i taloženje nanosa uzvodno od uspornog objekta i erozija i produbljavanje rečnog korita, nizvodno od uspornog objekta.

Uticaj izgradnje akumulacije je očigledan i na kvalitet vode. Na osnovu detaljnih elaborata koji su rađeni za slične hidroelektrane iz posmatranog regiona (Dunav, Drava) izvršena je prognoza i analiza sa aspekta sedimentacije suspendovanih materija, providnosti vode, termalne homogenosti, promena sadržaja organskih materijala, režima rastvorenog kiseonika, nitrifikacije, hidrobiološke promene i bakteriološke promene.

Uticaj na kulturno-istorijske spomenike i prirodne retkosti ocenjen je shodno veličini prostora koji bi bio angažovan gradnjom sistema kao i na osnovu podataka o lokaciji objekata kulturno-istorijskog nasleđa.

Uticaj na društveno-ekonomske činioce i prirodne resurse

Sa aspekta uticaja izgradnje hidroenergetskih sistema na navedenim lokacijama opština Srbinje i Goražde, analizirani su eksproprijacija, iseljavanje, ugroženost saobraćajnih veza, kao i rekonstrukcija potopljenih saobraćajnica, uticaj na prirodne resurse, eksploataciju vode i šljunka.

Potapanje uzrokovano izgradnjom pojedinih akumulacija prikazano je tabelom 2.

Prema raspoloživim podacima sa ekspropisanih površina, potrebno iseljavanje je prikazano u tabeli broj 3.

Eksproprijacija i iseljavanje, s obzirom na njihov izuzetan značaj u smislu socijalno-ekonomskih vrednovanja jednog rešenja, dati su i po alternativama hidroenergetskog iskorišćenja celog poteza, u tabeli broj 4.

Konačno, izgradnja hidroenergetskog sistema za formiranje akumulacija izazvaće i potapanje pojedinih deonica postojećih puteva. Ovo se naročito odnosi na varijante sa jednom akumulacijom. Zbog toga je, da bi se održale, a eventualno i poboljšale (veze sa visećim mostovima) saobraćajne veze u dolini potrebno izgraditi, zavisno od akumulacije, izvesne saobraćajnice i konstrukcija, kao što jeprikazano u tabeli 5.

Tabela 2: Potapanja uzrokovana izgradnjom akumulacija

	Goražde 383	Goražde 375	Goražde 362	Goražde 352	Sadba 362	Ustikolina 373	Paunci 384
Površina (ha)	638	451	141.10	35.8	70.10	116.50	104.60
Rečno korito (ha)	242	180	94.10	34.80	59.30	77.80	69.60
Priobalje (ha)	396	271	47.00	1,0	10.80	38.70	35.0

Tabela 3: Iseljavanje kao posledica gradnje hidroenergetskih objekata

Akumulacija	Goražde 383	Goražde 375	Goražde 362	Goražde 352	Sadba 362	Ustikolina 373	Paunci 384
Broj domaćinstava	208	126	45	0	0	0	8
Broj vikendica	43	33	12	0	0	4	0
Ukupno	251	159	57	0	0	4	8
Broj stanovnika	910	534	231	0	0	0	22
Društveni objekti	21	6	0	0	0	0	1
Groblja	4	2	0	0	0	0	0

Tabela 4: Eksproprijacija i iseljavanje za alternativna rešenja

Varijanta	A	B	C	D	E	F
Površina akumulacije (ha)	451	638	327	555.6	362.2	291.2
Broj domaćinstava	126	208	8	134	53	8
Broj vikendica	33	43	4	33	16	4
Ukupno	159	251	12	167	69	12
Društveni objekti	6	21	1	1	1	1
Groblja	2	4	0	0	0	0
Broj stanovnika	534	910	22	556	253	22

Tabela 5: Ugrožene saobraćajne veze

Akumulacija	Goražde 383	Goražde 375	Goražde 362
Magistralni put Srbije-Goražde (km)	16.74	13.20	0.20
Tunela (m)	800	700	-
Seoski asfaltni put (km)	5.9	5.6	3.85
Seoski obični put (km)	17.7	17.7	8.40
Viseći most (m)	1000	1000	850
Zaštita magistralnog puta (km)	-	-	3.75

U cilju poređenja hidroenergetskih sistema sa aspekta uticaja na prirodne karakteristike regiona, kulturno-istorijske spomenike i prirodne retkosti [12], formirana je Tabela 6. Izdvojeno je 7 karakteristika: uticaj na režim površinskih voda, uticaj na klimu, stabilnost obala, podzemnih voda i seizmičke karakteristike, uticaj na vegetaciju, režim nanosa, kvalitet vode i kulturno-istorijske spomenike i prirodne retkosti. Za svaki od analiziranih hidroenergetskih sistema je, po svakom od navedenih kriterijuma, formirana ocena od 1 do 5. Gde

je sa 5 označen najpovoljniji a sa 1 najgori sistem po datom kriterijumu, dok su ostali sistemi, principom interpolacije, dobili ocene između najveće i najmanje. Srednja objektivna ocena je formirana kao aritmetička sredina ocena dobijenih po navedenih sedam kriterijuma, bez želje da se na bilo koji način nekom od kriterijuma daje veća težina. Ovakvo formirane ocene uticaće na ulazno varijablu fazi-ekspertskog sistema koju ćemo nazvati 'uticaj na environment'.

Tabela 6: Vrednovanje hidroenergetskih objekata prema veličini uticaja na prirodne karakteristike, kulturno-istorijske spomenike i prirodne retkosti

	Goražde 383	Goražde 375	Goražde 362	Goražde 352	Sadba 362	Ustikolina 373	Paunci 384
Režim površinskih voda	1	2	4	5	4.5	4	4
Klima	1	2	4	5	4.5	4	4.5
Stab. oblala, pod. voda i seizm.	1	2	4	5	4.5	4.5	4.5
Uticaj na vegetaciju	2	3	4.5	5	4.5	4	4
Režim nanosa	2	3	4.5	5	5	4.5	4.5
Kvalitet vode	1	2	3	5	4.5	4.5	4.5
Kult. ist. spom. i prir. retk.	3	4	4.5	5	4.5	4.5	4.5
Srednja objek. ocena	1.57	2.57	3.64	5	4.57	4.21	4.28

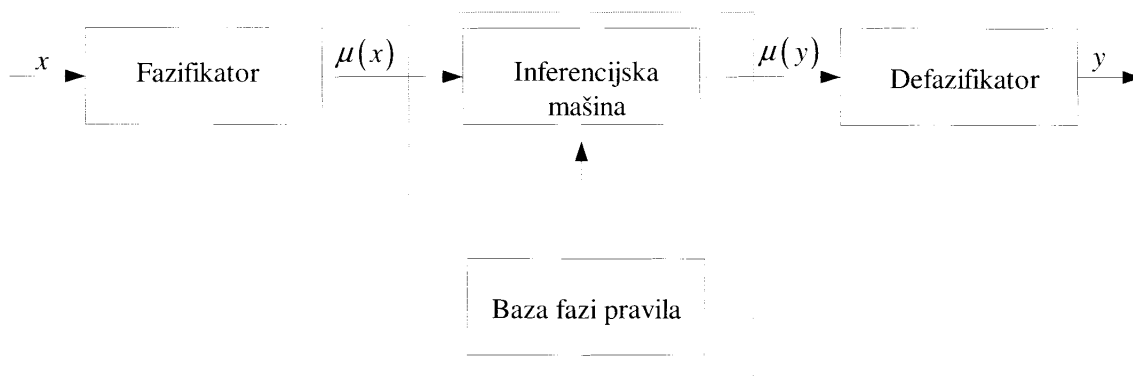
IV Formiranje i funkcionisanje ekspertskog sistema

Polazeći od osnove činjenice da je ekspertski sistem program koji ima ponašanje eksperta za određeni domen problema, usvojena je klasična struktura ekspertskog sistema, prikazanog na slici 1., koji se često u literaturi sreće [13].

Osnovne funkcije ekspertskog sistema su mogućnosti korišćenja znanja iz određene oblasti i druga važna funkcija je Osnovne funkcije ekspertskog sistema su mogućnosti korišćenja znanja iz određene oblasti i druga važna funkcija je mogućnost interakcije sa korisnikom. Baza znanja koja je ugrađena u ovaj ekspertski sistem, a koja se odnosi na evaluaciju hidroenergetskih sistema, nije uključena samo u interferencijsku mašinu i bazu fazi pravila, već i u samu strukturu fazifikatora i defazifikatora, izbora ulaznih i izlaznih varijabli i izbora odgovarajućih funkcija pripadnosti.

U ovom radu je predložen ekspertski sistem koji ima pet ulaznih varijabli x_i , $i=1, \dots, 5$. Ideja je bila da se uključe tri tehno-ekonomska parametra: vršnost postrojenja izražena kroz GWh/god , čija je normirana vrednost označena kao (x_1) , količnik B/C izražen kao bezdimenzionalna veličina i označen sa normiranom vrednošću x_2 , normirani investicioni količnik $\$/kWh$ označen kao x_3 . Četvrta ulazna varijabla x_4 predstavlja uticaj izabranog hidroenergetskog rešenja na okolinu i ova se varijabla sračunava na osnovu objektivnih ocena datih u tabeli 6. Poslednju, petu varijablu x_5 nazvali smo političko-istorijski faktor sa osnovnom idejom da ona naznači i obuhvati probleme koji se javljaju ukoliko se hidroenergetski sistem gradi na teritoriji koja se proteže na oba nacionalna entiteta.

U želji da nijedna od pomenutih varijabli ne bude favorizovana, svaka od njih je normalizovana u opseg [0,1] shodno maksimalnim i minimalnim vrednostima pojedinih parametara za razmatrana hidroenergetska rešenja. Stoga je formirana sledeća tabela koja eksplicitno definiše proces normalizacije:



Slika 1: Struktura sistema za odlučivanje

Tabela 7: Tabela normalizacionih faktora za ulazne varijable

Ulazna veličina	Maksimalna vrednost	Minimalna vrednost	Normalizovana varijabla
V=Vršnost postrojenja (GkWh/god)	41.3	308.3	$x_1 = \frac{V - 41.3}{308.3 - 41.3}$
B/C količnik	0.74	1.73	$x_2 = \frac{B/C - 0.74}{1.73 - 0.74}$
IK=Investicioni količnik (\$/kWh)	0.47	1.084	$x_3 = \frac{IK - 0.47}{1.084 - 0.47}$
UE – uticaj na environment (objektivna ocena iz tabele 6)	1	5	$x_4 = \frac{UE - 1}{5 - 1}$
PI – političko istorijski faktor (objektivna ocena od 1 do 5)	1	5	$x_5 = \frac{PI - 1}{5 - 1}$

Svako od ulaznih varijabli su pridružene lingvističke varijable sa odgovarajućim funkcijama pripadnosti. Odlučeno je da za svaku od ulaznih promenljivih x_i , $i=1, \dots, 5$ definišemo po dve lingvističke varijable, pri čemu su parametri funkcija pripadnosti izabrani tako da zaista odslikavaju ekspertsku procenu izraženosti posmatrane osobine.

Za ulaznu varijablu vršnosti definisane su dve lingvističke varijable: osrednja i visoka vršnost. Funkcija pripadnosti za lingvističku varijablu osrednja vršnost glasi:

$$\mu_1^1(x) = \exp\left(-0.5 \frac{x^2}{0.4^2}\right)$$

dok se lingvističkoj varijabli visoka vršnost pridružuje funkcija pripadnosti:

$$\mu_1^2(x) = \exp\left(-0.5 \frac{(x-1)^2}{0.4^2}\right)$$

Ove dve funkcija pripadnosti su predstavljene na slici 2.

Ulazna promenljive B/C je definisana kroz dve lingvističke varijable: rentabilno i nerentabilno. Funkcija pripadnosti rentabilnog odnosa B/C glasi:

$$\mu_2^1(x) = 1 - e^{-x/0.26}$$

dok je funkcija pripadnosti nerentabilnog odnosa B/C:

$$\mu_2^2(x) = \frac{1}{\left(1 + \left|\frac{x+0.23}{0.43}\right|\right)^{8.2}}$$

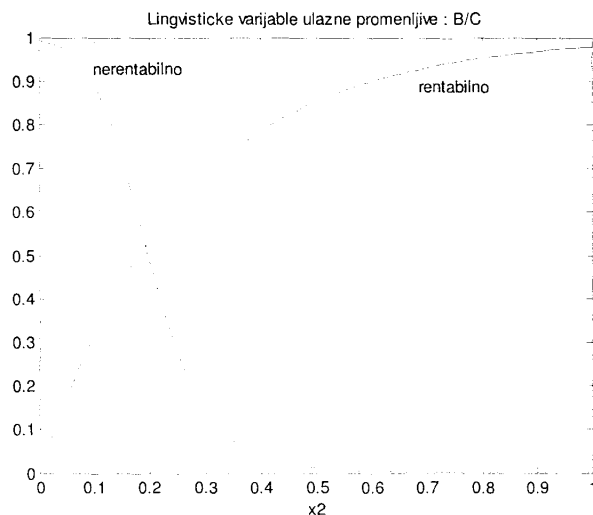
Oblik ovih funkcija pripadnosti prikazan je na slici 3.

Treća ulazna varijabla je odnos USD/kWh. Njoj su pridružene dve varijable: povoljno i skupo sa odgovarajućim funkcijama $\mu_3^1(x)$ i $\mu_3^2(x)$ respektivno, gde je:

$$\mu_3^1(x) = -0.34x^3 - 0.38x^2 - 0.28x + 1$$

$$\mu_3^2(x) = e^{-0.5\left(\frac{x-1}{0.25}\right)^2}$$

Oblik ovih funkcija pripadnosti dat je slikom 4.



Slika 2: Funkcije pripadnosti pridružene lingvističkim varijablama osrednja i visoka vršnost hidroenergetskog postrojenja.

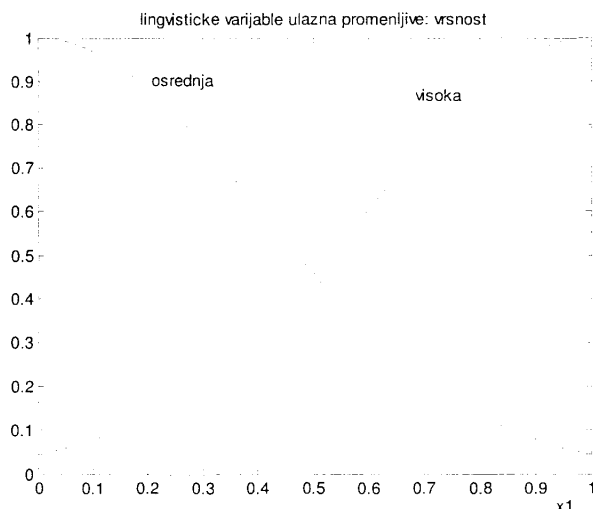
Četvrta ulazna varijabla predstavlja istorijsko politički faktor posmatranog hidroenergetskog rešenja. S obzirom na delikatnost međuetničkog lokaliteta, istorijsko-politički faktor je izuzetno značajan i njegov uticaj na izbor i realizaciju projekta ide dotle da u nekim slučajevima može biti i eliminatora. Otuda smo se odlučili da u domenu ove ulazne varijable definišemo dve funkcije pripadnosti označene kao neprihvatljivo i prihvatljivo rešenje, pri čemu je oblik funkcija

pripadnosti izabran u doemnu gausovskih funkcija sa odgovarajućim parametrima:

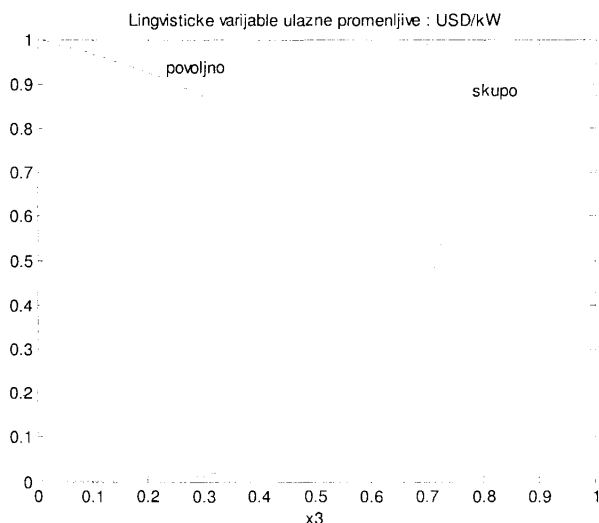
$$\mu_4^1(x) = e^{-0.5\left(\frac{x}{0.4}\right)^2}$$

$$\mu_4^2(x) = e^{-0.5\left(\frac{x-1}{0.4}\right)^2}$$

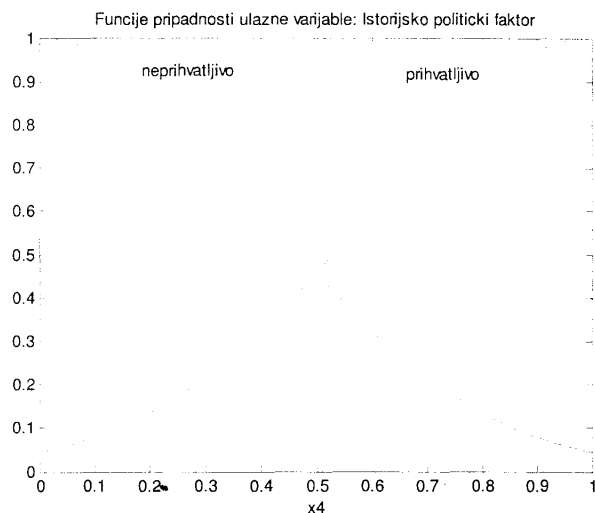
Oblik ovih funkcija pripadnosti je dat na slici 5.



Slika 3: Funkcije pripadnosti pridružene lingvističkim varijablama nerentabilno i rentabilno hidroenergetsko postrojenje po kriterijumu odnosa B/C.



Slika 4: Funkcije pripadnosti pridružene lingvističkim varijablama povoljno i skupo hidroenergetsko postrojenje po kriterijumu odnosa B/C.



Slika 5. Funkcije pripadnosti pridružene četvrtoj ulaznoj promenljivoj: Istorijsko politički faktor

Konačno, poslednja ulazna varijabla u naš ekspertski sistem jeste promenljiva označena kao uticaj na *environment*, i slično kao kod istorijsko-političkog faktora, ona je okarakterisana sa dve funkcije pripadnosti čije su analitičke vrednosti:

$$\mu_5^1(x) = e^{-0.5\left(\frac{x}{0.4}\right)^2}$$

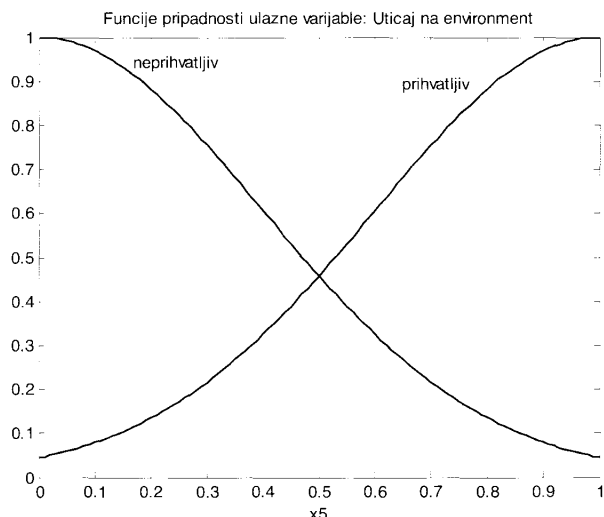
$$\mu_5^2(x) = e^{-0.5\left(\frac{x-1}{0.4}\right)^2}$$

Oblik ovih funkcija je dat na slici 6.

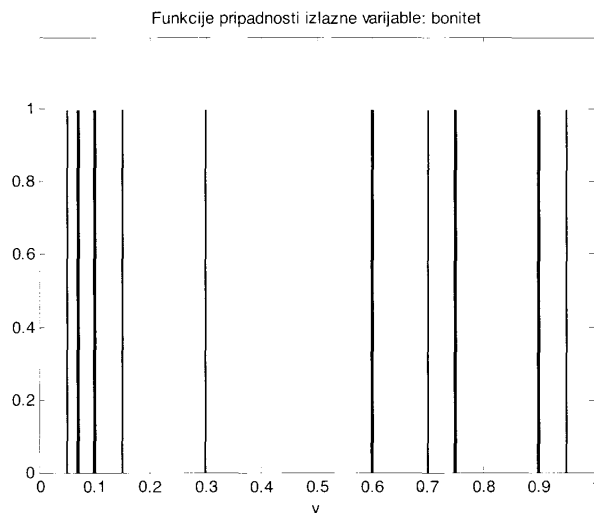
Izlaz iz fuzzy ekspertskog sistema je varijabla koja je označena kao *bonitet* hidroenergetskog rešenja. U pitanju je opet fuzzy varijabla koje je okarakterisana sa 10 funkcija pripadnosti tipa *singleton-a*. Pozicije ovih singletona su određene u skladu sa željenom osetljivošću celokupnog sistema za odlučivanje, ali istovremeno i sa strukturom fuzzy pravila. Pozicija singletona u izlaznoj promenljivoj *bonitet* je prikazana na slici 7.

Singletoni su označeni sa s_i , $i=1, \dots, 10$ gde su pozicije ovih singletona redom $\{0.05, 0.07, 0.1, 0.15, 0.3, 0.6, 0.7, 0.75, 0.9, 0.95\}$.

Defazifikacija je izvršena metodom centroida, pri čemu su fuzzy pravila definisana u tabeli 8.



Slika 6: Funkcije pripadnosti za petu ulaznu varijablu: Uticaj na životnu sredinu



Slika 7: Funkcije pripadnosti izlazne varijable: bonitet

Tabela 8: Tabela fuzzy pravila

Pravilo broj	Sadržaj pravila	Težina
1.	If (vršnost is osrednja) then (bonitet is s5)	0.8
2.	If (vršnost is visoka) then (bonitet is s7)	0.8
3.	If (B/C is nerentabilno) then (bonitet is s1)	1.0
4.	If (istorijsko-pol. faktor is los) then (bonitets is s4)	1.0
5.	If (istorijsko-pol. faktor is dobar) then (bonitet is s8)	1.0
6.	If (environment is los) then (bonitet is s2)	1.0
7.	If (environment is dobar) then (bonitet s6)	1.0
8.	If (B/C is rentabilno) then (bonitet is s9)	1.0
9.	If (USD/kWh is super) then (bonitet is s10)	1.0
10.	If (USD/kWh is skupo) then (bonitet is s3)	1.0

V Rešenje optimuma ekspertskog sistema

Za definisana pravila koja predstavljaju funkcionalnu vezu između pojedinačnih ulaznih promenljivih i boniteta, dobijaju se kao rezultat fazi ekspertskog sistema za izbor optimalnog pojedinačnog hidroenergetskog objekta, ukupni boniteti za hidroelektrane iz skupa za obučavanje ekspertskog sistema, kao što je prikazano na slici br. 7, dok se za alternative A, B, C, D, E i F, koje predstavljaju skupove mogućih tehničkih rešenja hidroenergetskog sistema na reci Drini između gradova Srbinja i Goražda dobijaju ukupni boniteti prikazani u tabeli br. 9:

Kada se međusobno uporede izračunati boniteti zaključuje se da postoji jedna logičnost i autentičnost rezultata, kao i da je najoptimalnije rešenje

hidroenergetskog iskorišćenja potencijala reke Drine alternativa F, tj. sistem koji se sastoji iz tri uniformisane hidroelektrane (bonitet 0,724): HE Sadba 362, HE Ustikolina 373 i HE Paunci 384. Ovaj hidroenergetski sistem na potezu između Srbinja i Goražda, tri približno jednaka objekta, zbog tipizirane opreme ima 30% jeftinije troškove hidro-mehaničke, mašinske i elektro

Tabela 9. Ukupni bonitet alternativnih rešenja

Moguće alternative	Ukupni bonitet
Alternativa A	0,532
Alternativa B	0,514
Alternativa C	0,707
Alternativa D	0,533
Alternativa E	0,714
Alternativa F	0,724

opreme, kao i niže troškove održavanja, zbog zajedničkih rezervnih delova. Objekti su niske betonske brane sa prelivima koji su u isto vreme i temeljni ispusti. Istovremeno, ovakva rešenja minimalno remete životnu sredinu i idealno su uklopljena kao pojedinačne celine u podeljenost teritorije između različitih entiteta. HE Paunci pripada jednom entitetu, a HE Sadba i HE Ustikolina drugom.

Drugo po bonitetu optimalno rešenje hidroenergetskog sistema na potezu reke Drine između gradova Srbinje i Goražde, jeste alternativa E (bonitet 0,714), koja se sastoji iz sledećih hidroenergetskih objekata: HE Goražde 362, HE Ustikolina 373 i HE Paunci 384. Po bonitetu treća optimalna alternativa za način rešavanja hidroenergetskog iskorišćenja reke Drine, na zadatom potezu Srbinje-Goražde, je alternativa C (bonitet 0,707, a sastoji se iz sledećih elemenata hidroenergetske šeme: HE Goražde 352, HE Sadba 362, HE Ustikolina 373 i HE Paunci 384. Ova alternativa zapravo je kombinacija prethodne dve.

V Zaključci i preporuke

Logičnost dobijenih rezultata i realnost zaključaka, vezano sa izborom optimalnog hidroenergetskog sistema na reci Drini između Srbinja i Goražda, pokazuju da je:

- ekspertski sistem na primeru od 11 (jedanaest) različitih hidroenergetskih objekata, sa raznim tehn-ekonomskim, istorijsko-političkim i parametrima zaštite životne sredine, ispravno »obučen«,
- izbor 5 (pet) relevantnih ulaznih promenljivih je bio dovoljno reprezentativan i validan za opredeljenje koja je alternativa optimalna,
- definisanih 10 (deset) interaktivnih pravila realno su odrazili funkcionalne zavisnosti ulaznih promenljivih i boniteta i
- težinski koeficijenti su tačno odrazili značaj i uticaj pripadajućih funkcija ulaznih promenljivih na bonitet.

Opšti zaključak je da je ekspertsko znanje verodostojno preneto računaru i da je isti sada obučen da za druge elemente šeme bira optimalna hidroenergetska rešenja.

LITERATURA

- [1] EFTEC & RIVM, *Valuating the Benefits of Environmental Policy; The Netherlands*, Economics for the Environmental Contulsaney Ltd. London and Rijksinstituut voor Voksgazond haid en Milieu, 2000.
- [2] Fillip Wiliams, *Ecological and Environmental Quality Studies, Fifth International Symposium and Exhibition on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe*, Prague, September 2000.
- [3] Hanley N., Shogreen J.A. and White B., *Environmental Economics in Theory and Practice*, Palgrave-Macmillan, Houndmills Hampshire UK and New York, 2002.
- [4] Nansy C. Banner, *Environmental Compliance Policies & Tools*, Environment 2000, October, 2000, Orlando, Florida
- [5] Perace D. (ed.), Perace C. and Palmer C., *Valuing the Environment in Developing Countries*, Edward Elgar, Chaltenham UK, 2002.
- [6] Stevović S., *Ekoloski menadzment u hidroenergetici*, Zaduzbina Andrejevic, Beograd 2006.
- [7] Stevović S., Manigoda M., *Izgradnja i eksploatacija hidroelektrana – ekološki aspekti*, Konferencija: Energetika Srpske, Teslić, Bosna i Hercegovina, oktobar 2001.
- [8] Stevović S., Marinković N., *Matematičko modeliranje ekoloških aspekata u hidroenergetici*, Konferencija: Energetika Srpske, Teslić, Bosna i Hercegovina, oktobar 2001.
- [9] Stevović S., *Metodika izrade elaborata uticaja na okolinu*, II Kongres JDVB – Kladovo, oktobar 2003.
- [10] Stevović S., *Optimization and evaluation of Hydro Development*, Millenium Congress on Energy and Environment, Clean Energy, Geneve, 2000, January 2000.
- [11] Stevović S., *Paunci na Drini, Idejni projekat, Energoprojekt-Hidroinženjering*, Beograd, 2000.
- [12] Stevović S., *Pravna regulativa za izradu analiza uticaja na okolinu u skladu sa kriterijumima Svetske Banke*, Konferencija Vode 2002, Vrnjačka Banja, FRJ, jun 2002.
- [13] T.Terang, *Fuzzy Engineering – Its progress in Life and Future prospects*, FUZZ-IEEE '95 5th International Conference on Fuzzy Systems, Yokohama, Japan, 1995.
- [14] IFC *Environmental Operational Policies, Environmental Assessment Report for a Hydro Project*, 2000.

SELECTION OF OPTIMAL HYDROPOWER RESOURCES BY FUZZY LOGICS
AND EXPERT MANAGEMENT SYSTEMS.

by

Svetlana STEVOVIĆ, Željko ĐUROVIĆ

Summary

Hydro-potential is a renewable resource of clean energy. However, in the course of hydropower generation, certain disturbances in the environment are unavoidable. To make headway, contemporary mathematical models of artificial intelligence could be used in order to find an optimal solution which at one hand would maximize possible technical performances with good economic-financial characteristics, and at the other hand, would harmoniously fit into the environment and the socio-political background. Fuzzy logics and expert systems

provide an ideal tool for finding of the optimal solutions to hydropower utilization of water courses, with equal and simultaneous consideration of all relevant input variables, taking into account not only the techno-economic ones but also those that concern historical-political factors and reflect properly quantified environmental impacts.

Key words: hydropower resources, fuzzy logics, expert system, management

Redigovano 12.12.2007.