

## OBJEKTIVNO VREDNOVANJE KRITERIJUMA PERFORMANSE SISTEMA AKUMULACIJA

Bojan SRĐEVIĆ<sup>1</sup>, Yvonilde D. P. MEDEIROS<sup>2</sup>, Alessandra da S. FARIA<sup>2</sup> i Martha SCHAER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu

<sup>2</sup>Politehnički fakultet, Federalni Univerzitet Baije, Salvador, Brazil

### REZIME

U radu se razmatra problem objektivne višekriterijumske analize performanse sistema akumulacija za različite scenarije raspodele voda u višegodišnjem periodu. Određivanje optimalnog (najboljeg) scenarija tretira se za situacije simuliranog pojedinačnog i grupnog odlučivanja, bez stvarnog učešća donosioca odluka. Uz pretpostavku da su kriterijumi performanse unapred poznati, prvo se rešava problem njihovog vrednovanja na objektivna način. Korišćenjem simuliranih pokazatelja performanse za sve scenarije kojima se popunjava matrica odlučivanja, predloženim entropijskim metodom se za svaki kriterijum utvrđuju snaga emitovanja informacije potrebne donosiocu odluka i jačina kontrasta kriterijuma. Normalizacijom entropijskih vrednosti određuju se objektivne težinske vrednosti svih kriterijuma, a zatim se, u drugoj fazi analize, scenariji vrednuju i rangiraju nekim od poznatih višekriterijumskih metoda. Za prvu fazu predložen je metod ENTROPY, a za drugu aditivni i produktivni metod, kao i napredniji metodi TOPSIS i CP. Na primeru sistema u slivu reke Paraguacu u Brazilu sa dve akumulacije i tri kategorije zahteva za vodom, demonstrirana je predložena metodologija objektivnog vrednovanja 8 scenarija gazdovanja sistemom. Scenariji su simulirani modelom MODSIM, a zatim su razmatrani slučajevi dekomponovanog odlučivanja za dve interesne grupe, kao i slučaj odlučivanja na nivou Komiteta za vodoprivredu u kome se interesi grupacija integrišu kroz participativno odlučivanje.

**Ključne reči:** sistem akumulacija, objektivne težine kriterijuma, entropija, višekriterijumska analiza

### 1. UVOD

U višekriterijumskim problemima odlučivanja jedno od centralnih mesta imaju težinske vrednosti kriterijuma. Kada postoji jedan donosilac odluka (DO), vrednosti koje on dodeljuje kriterijumima su uglavnom odraz subjektivnih preferenci na osnovu realnog znanja o međusobnom značaju kriterijuma. Ako se pretpostavi da DO vrednuje kriterijume objektivno, dakle u skladu sa svojim najboljim znanjima i namerama (ekspertska poznavanje problema, eliminacija političkih i drugih uticaja), i dalje ostaje otvoreno pitanje da li je u stanju da očuva potrebni stepen konzistentnosti. Bez obzira da li je metod vrednovanja verbalan, grafički ili numerički, ako je broj kriterijuma veći od 7, a pri tome su neki kriterijumi konfliktni (na primer min/max), ili sa malim kontrastom važnosti, postoji objektivna teškoća gradacije njihovog značaja za konačnu odluku.

Druga teškoća postoji kod problema u kojima je skup kriterijuma mešovite strukture, odnosno kada su neki kriterijumi kvantitativni (cena, dobit), kvalitativni (izgled, utisak) ili 'sivi' (prosečna vrednost, raspoloživost). Pogodan u takvim situacijama je metod Analitički hijerarhijski proces (AHP) (*Saaty, 1980*) koji omogućava vrednovanje parova kriterijuma po principu svaki sa svakim, pri čemu se koristi odgovarajuća skala numeričkih vrednosti koja kodira verbalno ili grafički iskazane preference tipa 'slaba', 'jaka', 'vrlo jaka' i 'apsolutna' dominantnost.

Donosilac odluka za 7 kriterijuma izvrši ukupno  $(7 \times 6) / 2 = 21$  poređenja, a AHP za matricu dimenzije  $7 \times 7$  sračunava vektor sopstvenih vrednosti koji se zatim asocira uz kriterijume u obliku njihovih težinskih vrednosti. Na taj način vrednovanje je okončano i svaki kriterijum dobija svoj koeficijent značajnosti u odnosu

na ostale kriterijume. Međutim, AHP proverava konzistentnost vrednovanja i utvrđuje da ako je indeks nekonzistentnosti veći od 10%, treba korigovati neke od ocena i ponoviti proračun. Time se ulazi u podešavanje ocena što narušava realno subjektivni, makar i vrhunsko ekspertski korpus znanja DO. Drugim rečima, polazna postavka da je ocenjivanje izvršeno objektivno više ne važi.

Manje ili više, sličan je problem i kod grupnog odlučivanja. Bez obzira koliko se uspešno sprovedu priprema (identifikacija kriterijuma, diskusija i usaglašavanje do konsenzusa) i postupak vrednovanja (npr., AHP se koristi i za grupno odlučivanje po posebnoj proceduri), problem konzistentnosti ostaje isti.

Jedno od rešenja za navedene situacije je da se ne insistira na konzistentnosti tako što se, npr. u korišćenju AHP, dopušta narušavanje uslova o potrebnoj konzistentnosti. Ovo pitanje je predmet diskusija u naučnim krugovima, ali se čini da rešenja nema jer se radi o osetljivom kompleksu ponašanja čoveka pri donošenju odluka, psihologiji odlučivanja itd.

Ovde se razmatra pristup koji na neki način eliminiše donosioca odluka, odnosno dopušta da 'alternative odluče' koji su kriterijumi važniji od drugih i koliko (Doyle, 1995). Drugim rečima, težište se stavlja na analizu matrice odlučivanja, odnosno performansu alternativa u odnosu na skup kriterijuma da bi se potom ekstrahovala informacija o težinskim vrednostima kriterijuma. Valja podsetiti da se matrica odlučivanja najčešće strukturiira tako da vrste odgovaraju alternativama, a kolone kriterijumima po kojima se alternative vrednuju. Matrica omogućava unakrsno referenciranje alternativa i kriterijuma na osnovu izmerenih ili ocenjenih vrednosti (rejtinga) svake alternative u odnosu na svaki kriterijum. Posebnim metodima mogu se, ako postoje, utvrditi dominirajuće i dominirane alternative u Pareto-smislu i po potrebi a priori eliminisati dominirane. Drugi pristup je da se analiziraju sve alternative, a da se prepusti višekriterijumskim metodima da tretiraju pitanje dominacije. Opštost prilaza kao i pojma 'matrica odlučivanja' se ne narušavaju ni kod tzv. višenivoskih hijerarhija odlučivanja, jer se i tada na svakom nivou generišu matrice odlučivanja, a svi principi dominantnosti i dalje važe.

U kontekstu gazdovanja vodama, važnost kriterijuma odlučivanja dolazi u prvi plan. Pre svega, vrednovanje

različitih scenarija upravljanja sistemom akumulacija zahteva odgovarajući konsenzus interesnih grupa u odnosu na socijalne, ekonomske, ekološke, tehničke i druge prioritete u korišćenju sistema. Konsenzus je najčešće teško postići zbog direktnog ili indirektnog konflikta interesa i realnih ograničenja u uspostavljanju balansa raspoloživih i traženih voda. Druga teškoća je ako DO (pojedinaac ili grupa) nije raspoloživ u vreme kada odluku treba doneti, ili iz nekog drugog razloga nije moguće dobiti pouzdanu procenu važnosti kriterijuma. Za takve situacije opravdano je koristiti neku objektivnu metodologiju i rešavati problem nezavisno od DO. Naime, pošto se može smatrati da je kvalitet datog scenarija dovoljno opisan skupom pokazatelja simulirane performanse sistema, različiti scenariji i njihovi pokazatelji su objektivni izvor informacije koja se emituje DO. Pokazano je da se samo analizom vrednosti pokazatelja mogu prepoznati inherentna svojstva scenarija. Ako se definišu i kriterijumi za vrednovanje pokazatelja, takođe je pokazano da se na osnovu emitovane informacije iz svih scenarija može utvrditi i relativni značaj svakog kriterijuma, uz obavezno ispitivanje kontrasta i konflikta kriterijuma (Zeleny, 1982).

U radu se predlaže metod za direktno određivanje težinskih vrednosti kriterijuma samo na osnovu informacije sadržane u matrici odlučivanja. Metod je nazvan ENTROPY (Srđević et al, 2003), a zasniva se na Šenonovom konceptu entropije (Shannon and Weaver, 1947), odnosno merenju neodređenosti u informaciji koju emituje matrica odlučivanja. ENTROPY anticipira situaciju da donosilac odluka ne postoji i da matrica nezavisno 'šalje poruku' o važnosti kriterijuma koja će kasnije biti korišćena za vrednovanje scenarija. Za ilustraciju koncepta u okviru metodologije višekriterijumske analize uzet je primer iz oblasti vodoprivrede, tačnije višekriterijumske analize različitih scenarija dugoročnog upravljanja sistemom sa dve akumulacije i 7 tačaka zahteva za vodom u semi-aridnom delu sliva reke Paraguacu u Brazilu. Rad sistema je simuliran za 8 scenarija gazdovanja vodom korišćenjem mrežnog modela MODSIM (Labadie, 1995), odnosno brazilske verzije modela pod nazivom MODSIM-P32 (Porto et al, 1999). Odabrane komponente performanse sistema su usvojene kao kriterijumi (atributi) za ocenu scenarija, a rezultati simulacija iskorišćeni su za popunjavanje dve odvojene matrice odlučivanja. Metodnom ENTROPY utvrđene su težinske vrednosti kriterijuma, odnosno njihova snaga emitovanja informacije donosiocima odluka: (a)

grupaciji korisnika vode za vodosnabdevanje i navodnjavanje, i (b) agenciji za eksploataciju akumulacija. Za objedinjenu matricu obe grupacije, postupak je ponovljen i određene su težinske vrednosti svih kriterijuma. Primenom četiri metoda višekriterijumske analize konačno je izvršeno rangiranje scenarija po svim matricama odlučivanja. Kontrolno vrednovanje scenarija po istim metodima, sprovedeno sa jednakim težinskim vrednostima kriterijuma za tzv. 'prosečnog' DO, kao i sa težinskim vrednostima dobijenim po metodi CRITIC (*Diakoulaki et al, 1995*), omogućilo je izvođenje zaključaka o važnosti objektivnog vrednovanja u višekriterijumskoj analizi vodoprivrednih scenarija.

U radu je prvo prikazan metod ENTROPY (poglavlje 2), a zatim su date osnovne karakteristike korišćenih metoda višekriterijumske analize (poglavlje 3). Primer primene sa detaljnom analizom rezultata obrađen je u poglavlju 4. Rad se završava zaključima (poglavlje 5) i spisikom odabranih literaturnih izvora.

## 2. METOD ENTROPY ZA OBJEKTIVNO VREDNOVANJE KRITERIJUMA

### 2.1. UVODNA RAZMATRANJA

Postoje četiri glavna pravca u oblasti objektivnog vrednovanja kriterijuma u problemima odlučivanja. Prvi je zasnovan na korišćenju metoda DEA - *Data Envelopment Analysis* (*Charnes et al, 1978*) koji se sastoji od rešavanja linearnih optimizacionih zadataka za tzv. 'test' alternative i merenja efikasnosti svake u odnosu na sve kriterijume. Kriterijumi se prethodno svrstavaju u dve grupe, 'input' i 'output', pri čemu su u prvoj minimizacioni, a u drugoj maksimizacioni. Rešava se onoliko linearnih programa koliko ima alternativa. Postupak je dvostepen jer treba generisati sve programe, a zatim ih rešavati nekim od softvera za LP. DEA objektivno rangira alternative što je krajnji cilj višekriterijumske analize, a kao međurezultat sračunava grupe težinskih vrednosti kriterijuma za sve alternative. Svaka grupa je sub-optimalna jer data alternativa 'vidi sebe u najboljem izdanju u odnosu na druge'. DEA zatim objedinjava rezultate linearnih programa i na kraju rangira alternative po efikasnosti. Težinske vrednosti kriterijuma, iako ne-jedinstvene kao u standardnoj višekriterijumskoj optimizaciji, imaju sva obeležja objektivnosti, a DO može usvojiti vrednosti dobijene za najefikasniju alternativu.

Drugi pravac karakterišu metodi zasnovani na statističkoj obradi informacije sadržane u matrici

odlučivanja. Karakterističan je metod CRITIC - *CR*riteria *I*mportance *T*hrough *I*ntercriteria *C*orrelation (*Diakoulaki et al, 1995*) u kome se za utvrđivanje kontrasta kriterijuma koriste standardne devijacije normiranih rejtinga po kolonama, kao i korelacioni koeficijenti svih parova kolona. Rezultat metoda su objektivne težinske vrednosti kriterijuma, a primeri primene mogu se naći u (*Deng et al, 2000; Srđević et al, 2003*).

Treći pravac je zasnovan na analizi strukture informacije sadržane u matrici odlučivanja. Poznat je, na primer, metod MCQA (*Atkin, 1974*), kao i kasnije varijante metoda MCQA-I (*Duckstein et al, 1984*), MCQA-II (*Hiesl et al, 1985*) i MCQA-III (*Eder et al, 1993; Ozelkan and Duckstein, 1996*). Metod se zasniva na Q-analizi, koristi samo indeks saglasnosti (konkordanse) i svodi se na analizu kriterijuma. Kriterijumi se rangiraju na osnovu sposobnosti da razlikuju 'kvalitet' alternativa. Konačno, MCQA daje parcijalno ili kompletno rangiranje alternativa u zavisnosti od tipa analize, odnosno problema koji se rešava.

Četvrti pravac čine varijacije primene Šenonove teorije merenja količine informacije (*Shannon and Weaver, 1947*) sadržane u matrici odlučivanja i utvrđivanja 'snage kriterijuma' u emitovanju potrebne poruke donosiocu odluka. Metod ENTROPY koji je ovde od interesa tretira neodređenost u informacionoj strukturi matrice odlučivanja, poznatu kao Šenonova entropija. Metod se može smatrati objektivnim jer generiše težinske vrednosti kriterijuma direktno iz rejtinga alternativa i eliminiše problem subjektivnosti, nekompetentnosti, ili odsustva donosioca odluka. Koncept entropije je inače korišćen u raznim oblastima višekriterijumske optimizacije sa dobrim rezultatima (npr. *Cheng, 1996; Deng et al, 2000; Srđević et al, 2003*).

### 2.2. MATRICA ODLUČIVANJA

Višekriterijumsku analizu karakteriše matrica odlučivanja koja se zbog konteksta, analize tehničke performanse sistema akumulacija, može nazvati rejting matricom  $R$ . Vrste i kolone ove matrice redom odgovaraju alternativama i kriterijumima, a svaki element matrice predstavlja rejting date alternative u odnosu na dati kriterijum. Za  $m$  kriterijuma ( $C_1, C_2, \dots, C_m$ ) i  $n$  alternativa ( $A_1, A_2, \dots, A_n$ ), matrica  $R$  ima oblik (1). Vrednosti ( $w_1, w_2, \dots, w_m$ ) upisane iznad kolona predstavljaju težinske vrednosti kriterijuma definisane

od strane DO, ili određene na drugi način; zbir ovih težinskih vrednosti je 1.

$$R = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_m \\ & w_1 & w_2 & \dots & w_m \\ A_1 & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \\ A_2 & \\ \dots & \\ A_n & \end{matrix} \quad (1)$$

### 2.3. METOD ENTROPY

Prema Šenonu (*Shannon and Weaver 1947*) entropija je mera neodređenosti informacije. Na osnovu metoda koji je definisao za merenje binarne količine informacije sadržane u poruci, pokazano je da je moguće isti princip primeniti u analizi matrice odlučivanja.

U metodu koji se ovde razmatra, entropija se koristi za određivanje objektivne težinske vrednosti definisanih kriterijuma  $w_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ). Metod se sastoji iz tri koraka. Prvo se normalizuju kolone matrice koje korespondiraju kriterijumima  $C_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ). Primenom obrasca (2) za svaku kolonu matrice (1), dobija se normalizovana matrica (3) koja sadrži relativne rejtinge svih alternativa u odnosu na sve kriterijume.

$$x_{ij} = r_{ij} \cdot \left[ \sum_{k=1}^n r_{kj} \right]^{-1} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_m \\ A_1 & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \\ A_2 & \\ \dots & \\ A_n & \end{matrix} \quad (3)$$

Ako se brojevi u svakoj koloni matrice (3) shvate kao informacija koju emituju korespondentni kriterijumi  $C_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ), putem relacije (4) može se definisati entropijska vrednost  $e_j$ .

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n x_{ij} \ln x_{ij} \quad j=1, 2, \dots, m \quad (4)$$

Uvođenjem konstante  $k = 1/\ln n$  sve vrednosti  $e_j$  mapiraju se u interval  $[0,1]$ . *Napomena:* Korišćenje logaritma za osnovu  $e$  u relaciji (4) je odstupanje od bazičnog Šenonovog obrasca iz teorije informacija gde se koriste logaritmi za osnovu 2. Ova korekcija ne unosi bitne greške u merenju količine emitovane informacije, te se uglavnom tako koristi u praksi.

U drugom koraku određuje se stepen divergencije ( $f_j$ ) u odnosu na prosečnu količinu informacije sadržanu u svakom emiteru informacije (ovde kriterijumu):

$$f_j = 1 - e_j, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Ideja je sledeća. Što je veća divergencija početnog rejtinga  $r_{ij}$  alternative  $A_i$  u odnosu na kriterijum  $C_j$ , vrednost  $f_j$  za dati kriterijum je veća i zaključak je da je važnost kriterijuma  $C_j$  za dati problem odlučivanja takođe veća (*Zeleny, 1982*). Očito je da ako sve alternative imaju sličan rejting za dati kriterijum, taj kriterijum se može smatrati manje važnim za dati problem; slično, ako su rejtingi svih alternativa isti za dati kriterijum, taj kriterijum se može eliminisati pošto ne emituje korisnu informaciju donosiocu odluka.

Pošto se vrednost  $f_j$  može smatrati i intenzitetom kontrasta sadržanog u kriterijumu  $C_j$  u odnosu na druge kriterijume, u trećem koraku vrši se objednjavanje putem relacije (6). Tako se određuju međusobne relativne jačine emitera, u našem slučaju relativni značaj kriterijuma.

$$w_j = f_j \cdot \left[ \sum_{k=1}^m f_k \right]^{-1} \quad (6)$$

Obzirom na način kako su određene, težinske vrednosti kriterijuma mogu se smatrati objektivnim. Naime, metod direktno određuje težinske vrednosti samo na osnovu rejtinga alternativa u odnosu na kriterijume, ignorišući prirodu jednih i drugih, pitanje dominacije i dr. Na primer, nije bitno da li su kriterijumi minimizacioni ili maksimizacioni.

## 3. VIŠEKRITERIJUMSKI METODI

### 3.1. ADITIVNI METOD

Poznat kao SAW (od *Simple Additive Weighting*), aditivni metod je jednostavan višekriterijumski metod čiji su rezultati najčešće bliski rezultatima naprednijih

metoda. Direktno se primenjuje na matricu odlučivanja, a sastoji se iz tri koraka: 1) skaliranje rejtinga da bi se postigla uporedivost; 2) primena težinskih vrednosti kriterijuma; i 3) sabiranje vrednosti za svaku alternativu.

Kada u matrici odlučivanja rejtinzi za neke alternative uzimaju vrednost 0, potrebno je izvršiti skaliranje svih alternativa u odnosu na sve kriterijume. To znači primenu obrazaca (7) i (8) po kolonama matrice (1). Alternativa je da se koristi standardna normalizacija (9).

- Za maksimizacione kriterijume:

$$x_{ij} = [r_{ij} - r_j^{**}] [r_j^* - r_j^{**}]^{-1} \quad (7)$$

- Za minimizacione kriterijume:

$$x_{ij} = [r_j^* - r_{ij}] [r_j^* - r_j^{**}]^{-1} \quad (8)$$

- Za svaki kriterijum (normalizacija):

$$x_{ij} = r_{ij} \cdot \left[ \sum_{k=1}^n r_{kj} \right]^{-1} \quad (9)$$

Vrednosti  $r_j^*$  i  $r_j^{**}$  su najbolja i najgora vrednost za sve alternative u odnosu na kriterijum  $C_j$ . Primenom skaliranja (7) i (8) svi rejtinzi se mapiraju na interval  $[0,1]$ ; najbolja i najgora alternativa dobijaju redom vrednost 1, odnosno 0. Skaliranjem alternative postaju uporedive jer se eliminišu dimenzije polaznih rejtinga.

Rezultati primene SAW mogu biti različiti u zavisnosti da li se koriste relacije (7) i (8), ili samo (9).

Bez smanjenja opštosti daljih izlaganja, može se usvojiti da su svi kriterijumi maksimizacioni; u slučaju minimizacionih kriterijuma, rejtinge u odgovarajućim kolonama matrice (1) treba zameniti recipročnim vrednostima ili im promeniti predznak. Posle skaliranja (ili normalizacije), primenom obrasca (10) za svaku alternativu izračunava se ukupna vrednost (utility) u odnosu na sve kriterijume.

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

Najbolja je alternativa sa najvećom vrednošću  $S_i$ .

### 3.2 PRODUKTNI METOD

Ovaj metod se označava i kao SPW (*Simple Product Weighting*). Ovde skaliranje nije neophodno, kao ni normalizacija, ali se mogu koristiti. Obrazac (11) se primenjuje na svaku alternativu, a najbolja je alternativu sa najvećom vrednošću  $S_i$ .

$$S_i = \prod_{j=1}^m (r_{ij})^{w_j}, i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

### 3.3. METODI TOPSIS I CP

TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) i CP (*Compromise Programming*) pripadaju grupi višekriterijumskih metoda zasnovanih na rastojanjima od tzv. 'idealne' tačke. Tačnije, prvi metod rangira alternative nakon postupka utvrđivanja 'idealne' i 'negativne idealne' tačke i izračunavanja euklidskih rastojanja alternativa od ovih tačaka. Najbolja alternativa ima minimalno rastojanje od idealne tačke, odnosno maksimalno rastojanje od idealne negativne tačke. Ostale alternative rangiraju se prema rastućim (opadajućim) vrednostima ovih rastojanja.

Metod CP je sličan prethodnom, jer takođe rangira alternative prema rastojanjima od idealne (*utopia*) tačke. Najbolja alternativa je najbliža idealnoj tački. Mera rastojanja je definisana familijom  $L_p$  normi pri čemu analitičar kontroliše parametar  $p$ ; najčešće vrednosti parametra su 1, 2 i  $\infty$ .

Opis metoda TOPSIS i CP se izostavlja, a detalji se mogu naći u (Srđević, 2003). Teorijski osnovi metoda prikazani su u (Hwang and Joon, 1981; Zeleny, 1982).

## 4. PRIMER

### 4.1. POSTAVKA PROBLEMA

Razmatra se sistem postojećih akumulacija u slivu reke Paraguacu u Brazilu, Slika 1. Sistem se sastoji od dve akumulacije u nizvodnom redosledu: (1) Franca (kapacitet 24 miliona  $m^3$ ) i (2) Sao Jose do Jacuibe (355 miliona  $m^3$ ). U studiji (Porto, 1997) formulirano je 8 scenarija dugoročnog upravljanja sistemom za potrebe navodnjavanja, vodosnabdevanja stanovništva u gradskim i ruralnim zonama i obezbeđenja vode za

Sao Jose do Jacuibe; ona se puni tek pošto se ispune svi zahtevi višeg prioriteta, uključujući i uzvodnu akumulaciju Franca.

U scenarijima S5-S8, na čvoru navodnjavanja PI-2 zahtev je smanjen sa 700 na 550 l/s (ista površina navodnjavanja od 1.000 ha, ali različita ratarska i voćarska proizvodnja), a pravilo upravljanja na akumulaciji Franca sniženo je na nivo 70%, 80% i 90% maksimalnog kapaciteta.

### 4.3. KRITERIJUMI ZA VREDNOVANJE SCENARIJA I MATRICE ODLUČIVANJA

Usvajeno je da se performansa sistema tretira na mikro nivou za dve kategorije korisnika - konzumne zahtevi i akumulacije. Na taj način je problem vrednovanja scenarija dekomponovan na dva problema za koje su posebno određivane težinske vrednosti pripadajućih kriterijuma. Objedinjavanje u drugoj fazi analize omogućilo je da se težinske vrednosti svih kriterijuma utvrde na jedinstvenoj osnovi. Razlozi za takav pristup su izrazita disproporcija zapremine akumulacija, nehomogenost hidrološkog režima tipičnog za region i objektivno stanje u domenu odlučivanja o korišćenju sistema. Poslednji razlog je u vezi sa činjenicom da još ne postoji Komitet za vode sliva u kome će se objedinjavati interesi već pomenutih: (a) lokalnih korisnika o kojima sada da brine država Baija preko nadležnog ministarstva, (b) vlasnika sistema za navodnjavanje koji predstavljaju snažnu grupaciju

privatnika i (c) državne agencije nadležne za eksploataciju akumulacija. Koncept definisanja dve posebne grupe kriterijuma za vrednovanje istih scenarija, što znači i dve matrice odlučivanja, a zatim njihovo ujedinjavanje, anticipira realnost odlučivanja o kompleksnim pitanjima prostorne i vremenske raspodele voda. Naime, razmatranjem dva pristupa istom problemu koji imaju, sa jedne strane, korisnici vode, a sa druge, agencija za eksploataciju akumulacija i zatim sintezom kriterijuma i matrica odlučivanja simulira se moguća priprema za objektivno ocenjivanje scenarija gazdovanja sistemom koje uvažava sve interese na nivou Komiteta čije je formiranje predviđeno zakonom o vodama Baije.

U prvoj fazi tretirana je performansa sistema na lokalnom nivou i za dve kategorije zahteva: (1) zadovoljenje konzumnih zahteva za vodom (ZAHTEVI) i (2) kretanje nivoa akumulacija (AKUMULACIJE). Za svaku kategoriju identifikovano je po 8 lokalnih kriterijuma performanse.

Kriterijumi kategorije ZAHTEVI su: (a) stepen obezbeđenosti (O) i (b) veličina deficita (D). Drugim rečima, za čvorove zahteva definisani su jedan maksimizacioni (O) i jedan minimizacioni (D) kriterijum, a rejting svakog scenarija, izražen u procentima, u odnosu na svaki od kriterijuma preuzet je direktno iz modela MODSIM-P32. Tako je popunjena prva matrica odlučivanja (MO1) prikazana u tabeli 2.

Tabela 2: ZAHTEVI (Matrica odlučivanja 1)

Sc.	AU-1		AU-2		UEP-A		PI-1		PI-2		UEP-I		UJ	
	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D
	C1	C2	C3	C4					C5	C6			C7	C8
	max	min	max	min					max	min			max	min
	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$					$w_5$	$w_6$			$w_7$	$w_8$
S1	87	11,9	88	11,5	89	11,4	---	---	87	13,0	87	12,8	73,0	26,6
S2	97	2,9	96	3,2	97	3,4	---	---	78	21,3	81	18,6	0	99,7
S3	89	10,5	89	11,1	89	11,1	---	---	87	12,3	88	11,8	0	99,7
S4	88	11,1	89	10,8	89	10,6	---	---	87	12,3	88	11,8	0	99,7
S5	94	5,9	86	13,9	---	---	93	6,6	84	15,0	---	---	0	99,5
S6	96	4,1	85	14,2	---	---	95	4,5	83	15,6	---	---	0	99,5
S7	92	7,2	94	5,7	---	---	91	8,5	81	17,1	---	---	0	99,5
S8	95	4,5	96	3,6	---	---	95	5,4	87	11,6	---	---	1	99,4

Objašnjenje: O – stepen obezbeđenosti zahteva (%); D – deficit (%)

Sive zone u tabeli ukazuju da su neki čvorovi zahteva isključeni iz postupka vrednovanja. Pošto je u scenarijima S1-S4 eliminisan zahtev za navodnjavanje

PI-1 iz akumulacije Franca, a u scenarijima S5-S8 eliminisani su zahtevi na čvorovima snabdevanja i navodnjavanja UEP-A i UEP-I nizvodno od

akumulacije Sao Jose do Jacuipe, da bi se obezbedila konzistentnost, pri vrednovanju scenarija korišćeni su pokazatelji samo za četiri čvora zahteva. Broj mogućih kriterijuma tako je smanjen na 8. Naravno, svi rejtinzi scenarija korišćeni za odlučivanje posledica su raspodele voda koja zavisi i od isporuka na čvorovima koji su isključeni iz vrednovanja.

U slučaju druge kategorije zahteva (praćenje maksimalnih pravila upravljanja akumulacija), za kriterijume performanse sistema usvojeni su delovi ukupnog vremena u kojima su simulirani nivoi akumulacija pripadali 25%-nim zonama maksimalnih zapremina. Ove vrednosti su prikazane kao zaokruženi procentni brojevi u tabeli 3.

Tabela 3: AKUMULACIJE (Matrica odlučivanja 2)

Scenario	Ak. FRANCA				Ak. SAO JOSE DO JACUIPE			
	>75	50-75	25-50	<25	>75	50-75	25-50	<25
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	max	max	min	min	max	max	min	min
	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$	$w_8$
S1	64	12	6	18	5	5	18	72
S2	73	14	7	6	5	6	21	69
S3	66	12	7	16	5	6	19	70
S4	66	12	7	16	5	6	19	70
S5	69	11	9	11	5	6	30	59
S6	71	12	8	9	5	6	30	59
S7	68	10	8	13	5	6	29	60
S8	70	10	10	10	7	8	33	53

Objašnjenje: >75 deo ukupnog vremena (u %) u kome je nivo akumulacije bio u zoni između 75-100 % maksimalne zapremine akumulacije; itd.

Zoniranje akumulacionih prostora i statistika simuliranih nivoa za svaku zonu definišu kriterijume performanse i rejtinge scenarija koji su od interesa za agenciju koja brine o eksploataciji akumulacija. Polazeći od realnog interesa agencije da u semi-aridnim uslovima održava što viši nivo vode u akumulacijama da bi se mogli zadovoljiti zahtevi u vreme dužih suša, segmentima prostora iznad 50% kapaciteta asocirani su kriterijumi maksimizacije (C1 i C2 za akumulaciju Franca i C5 i C6 za akumulaciju S. J. Jacuipe), a po analogiji segmentima ispod 50% prostora kriterijumi minimizacije (C3 i C4 za akumulaciju Franca i C7 i C8 za akumulaciju S. J. Jacuipe).

#### 4.4. REZULTATI PRIMENE METODA ENTROPY

Metod ENTROPY primenjen je za svaku matricu odlučivanja posebno. Izračunate težinske vrednosti kriterijuma prikazane su u tabeli 4. Sve vrednosti su normirane i u sumi daju 1.

Težinske vrednosti za matricu odlučivanja MO1 pokazuju da kriterijumi C1, C3 i C5 ne emituju praktično nikakvu informaciju interesnoj grupaciji korisnika vode, odnosno da svi scenariji imaju približno iste karakteristike u pogledu stepena obezbeđenosti i

prosečnih deficita vode. Na skali vrednosti od 0 do 1, realni relativni značaj ima samo kriterijum C7 (0.87), a preostali ukupno samo 0.13.

Težinske vrednosti za matricu odlučivanja MO2 pokazuju da u odnosu na sve scenarije najviše informacija agenciji za eksploataciju akumulacija emituju kriterijumi C4 (najniža 25% zona akumulacije Franca) i C7 (zona 25-50% prostora akumulacije S. J. Jacuipe). Pregledom MO2 (tabela 3) uočava se da je manja akumulacija Franca između 70-80% vremena popunjena iznad polovine kapaciteta, dok je kod akumulacije S. J. Jacuipe situacija suprotna; samo 10-15% vremena akumulacija je na nivou iznad polovine kapaciteta, a u 50-70% vremena nivo je u najnižoj zoni.

Objedinjavanjem MO1 i MO2 dobija se jedinstvena matrica MO3 sa 8 vrsta i 16 kolona. Vrste odgovaraju scenarijima, a po 8 kolona odgovara redom matricama MO1 i MO2. Novom primenom metoda ENTROPY dobijeni su težinski koeficijenti prikazani u poslednjoj vrsti Tabele 4, pri čemu su težinske vrednosti  $w_1, w_2, \dots, w_8$  iz MO2 preimenovane u  $w_9, w_{10}, \dots, w_{16}$ . Male izmene u relativnim odnosima kriterijuma potvrđuju prethodne konstatacije izvedene za matrice MO1 i MO2.

Tabela 4: Objektivne težinske vrednosti kriterijuma dobijene metodom ENTROPY

Matrica odlučivanja	Težinski koeficijenti
MO1 (zahtevi)	$w_1=0.000, w_2=0.046, w_3=0.000, w_4=0.050, w_5=0.000, w_6=0.009, w_7=0.873, w_8=0.021$
MO2 (akumulacije)	$w_1=0.007, w_2=0.047, w_3=0.102, w_4=0.434, w_5=0.063, w_6=0.067, w_7=0.234, w_8=0.046$
MO3 (zahtevi+akumulacije)	$w_1=0.000, w_2=0.044, w_3=0.000, w_4=0.048, w_5=0.000, w_6=0.009, w_7=0.830, w_8=0.020$ $w_9=0.000, w_{10}=0.002, w_{11}=0.005, w_{12}=0.021, w_{13}=0.003, w_{14}=0.003, w_{15}=0.011, w_{16}=0.002$

Tabela 5: Rangiranje scenarija (sa objektivnim težinskim vrednostima kriterijuma izračunatim metodom ENTROPY)

Metod	Rangiranje		
	MO1 (Zahtevi)	MO2 (Akumulacije)	MO3 (Zahtevi+akumulacije)
SAW	1→8→2→7→6→5→3→4	2→6→8→5→3→4→1→7	1→8→2→6→7→5→3→4
SPW	1→8	2→6→8→5→3→4→7→1	1→8
TOPSIS	1→8→2→7→6→5→4→3	2→6→8→5→7→3→4→1	1→2→8→7→6→5→4→3
CP $p=1$	1→8→2→7→6→5→3→4	2→6→8→3→4→5→1→7	1→2→8→7→6→5→3→4
$p=2$	1→8→2→7→6→5→3→4	2→6→5→8→7→3→4→1	1→8→2→7→6→5→3→4

#### 4.5. RANGIRANJE SCENARIJA

Scenariji su posebno rangirani za sve tri matrice odlučivanja (MO1, MO2 i MO3) pomoću višekriterijumskih metoda:

- SAW – aditivni metod
- SPW – produktni metod
- TOPSIS – metod idealne tačke
- CP – kompromisno programiranje

Za CP korišćene su dve uobičajene norme (sa i bez kompenzacije kriterijuma), a rezultati rangiranja dati su u tabeli 5.

Na osnovu objektivnih težinskih vrednosti kriterijuma, dobijenih po metodu ENTROPY, za matricu MO1 po svim višekriterijumskim metodama najbolje je rangiran scenario 1, drugi je scenario 8, a treći scenario 2. Najniže rangirani su scenariji 4 i 3. Produktni metod rangirao je samo scenarije 1 i 8; ostali nisu rangirani jer imaju rejting 0 u odnosu na kriterijum C7.

Za MO2 najbolji je scenario 2, sledi scenario 6, a na trećem mestu je scenario 8. Najniže rangiran je scenario 1 koji je za MO1 rangiran kao najbolji.

Rangiranje scenarija za agregiranu matricu MO3 i težinske vrednosti svih 16 kriterijuma (ponovo određenih po metodu ENTROPY) identifikuje scenario 1 kao najbolji po svim višekriterijumskim metodama. Na drugom mestu je scenario 8, a na trećem scenario 2. Zbog neznatnih razlika u rangiranju scenarija 8 i 2 (uvek 2. ili 3. mesto) usvojeno je da su ova dva scenarija ravnopravno iza najboljeg scenarija 1.

#### 4.6. KONTROLNA RANGIRANJA SCENARIJA

Provera rezultata entropijskog vrednovanja scenarija izvršena je na dva načina, koji su takođe u kategoriji objektivnih metodologija. Prvo je izvršeno vrednovanje za 'prosečnog' donosioca odluka usvajanjem jednakih težinskih vrednosti svih kriterijuma, što odgovara percepciji problema odlučivanja sa malo, ili nimalo znanja o značaju kriterijuma. Zatim je korišćen metod CRITIC za određivanje novog skupa objektivnih težinskih vrednosti kriterijuma. U ovom slučaju metodologija vrednovanja scenarija nosi statistička umesto entropijskih ili prosečnih obeležja.

Scenariji su za oba kontrolna skupa težinskih vrednosti kriterijuma rangirani po istim metodama kao ranije, a osnovni rezultati su prikazani u tabelama 6, 7 i 8.



Tabela 6: Rangiranje scenarija pri sa jednakim težinskim vrednostima kriterijuma (prosečni donosilac odluka)

Metod	Rangiranje		
	MO1 (Zahtevi)	MO2 (Akumulacije)	MO3 (Zahtevi+akumulacije)
SAW	1→2→8→7→6→5→3→4	2→8→6→3→4→1→5→7	1→2→8→6→7→3→4→5
SPW	1→8	2→8→6→3→4→1→5→7	1→8
TOPSIS	1→8→2→7→6→5→3→4	8→2→6→3→4→1→5→7	1→2→8→6→7→5→3→4
CP $p=1$	8→1→7→6→2→3→5→4	2→8→6→3→4→5→7→1	8→2→1→6→7→3→4→5
$p=2$	8→1→7→5→3→6→4→2	2→6→8→5→4→3→7→1	8→6→2→7→5→3→1→4

Tabela 7: Objektivne težinske vrednosti kriterijuma dobijene metodom CRITIC

Matrica odlučivanja	Težinski koeficijenti
MO1 (zahtevi)	$w_1=0.144, w_2=0.146, w_3=0.129, w_4=0.131, w_5=0.120, w_6=0.105, w_7=0.112, w_8=0.113$
MO2 (akumulacije)	$w_1=0.096, w_2=0.116, w_3=0.147, w_4=0.100, w_5=0.123, w_6=0.093, w_7=0.184, w_8=0.139$
MO3 (zahtevi+akumulacije)	$w_1=0.072, w_2=0.062, w_3=0.062, w_4=0.062, w_5=0.071, w_6=0.062, w_7=0.066, w_8=0.066$ $w_9=0.054, w_{10}=0.061, w_{11}=0.066, w_{12}=0.056, w_{13}=0.051, w_{14}=0.042, w_{15}=0.083, w_{16}=0.062$

Tabela 8: Rangiranje scenarija (sa objektivnim težinskim vrednostima kriterijuma izračunatim metodom CRITIC)

Metod	Rangiranje		
	MO1 (Zahtevi)	MO2 (Akumulacije)	MO3 (Zahtevi+akumulacije)
SAW	1→2→8→7→6→5→3→4	2→1→8→3→4→6→5→7	1→2→8→6→3→4→7→5
SPW	1→8	2→3→4→1→6→8→5→7	1→8
TOPSIS	1→2→8→7→6→5→3→4	2→3→4→1→6→8→5→7	1→2→8→6→7→3→4→5
CP $p=1$	8→1→7→2→6→5→3→4	2→8→6→3→4→1→5→7	8→2→1→6→3→4→5→7
$p=2$	8→7→1→5→6→3→2→4	2→3→4→6→7→1→5→8	8→1→6→7→2→3→4→5

Kada bi rangiranje scenarija vršio prosečni DO, u sva tri slučaja (MO1, MO2 i MO3) višekriterijumski metodi identifikuju kao najbolje scenarije 1, 2 i 8, slično kao kada su težinske vrednosti određene objektivno po metodi ENTROPY. Najčešće je kao prvi identifikovan scenario 1, a zatim ravnopravno scenariji 2 i 8, Tabela 6. Rezultat dobijen entropijskom metodologijom je na taj način potvrđen.

Rangiranje zasnovano na korišćenju metoda CRITIC umesto ENTROPY, daje slične rezultate što se lako uočava iz Tabele 8. Treba napomenuti da CRITIC generiše relativno ujednačene težinske vrednosti koje se približavaju vrednostima za prosečnog donosioca odluka. To nije slučaj kod ENTROPY gde su neki kriterijumi eliminisani iz višekriterijumskog vrednovanja.

#### 4.7. DISKUSIJA

Gruba analiza sve tri primenjene metodologije vrednovanja kriterijuma pokazuje da se pri sabiranju prvih rangova scenarija za 'entropijski objektivnog', 'prosečnog' i 'statistički objektivnog' donosioca odluka i sve matrice odlučivanja, dobija odnos scenarija S1/S2/S8 = 16:9:5. U zbiru je najbolje rangiran scenario 1, sledi scenario 2, a treći je scenario 8. Ovaj zaključak, međutim, nije metodološki potpuno opravdan jer se zasniva samo na evidenciji prvih rangova i jednostavnom sabiranju. Pouzdanije je analizu nastaviti na način kako su rezultati dobijeni, po matricama odlučivanja.

Kada se tretira samo matrica odlučivanja MO1 za ZAHTEVE, odnosi su S1/S8 = 11/4, odnosno scenario

1 je najbolje rangiran, a sledi ga scenario 8. Scenario 2 nije nijednom rangiran kao prvi, ali je više puta na drugom ili trećem mestu.

U slučaju matrice MO2 za AKUMULACIJE, situacija je promenjena i u prvi plan dolazi scenario 2. To je apsolutno najbolji scenario sa stanovišta agencije zadužene za eksploataciju akumulacija. Za agenciju su takođe prihvatljivi, po redosledu, scenariji 8, 6 i 3.

Kada se analizira jedinstvena matrica MO3, odnos  $S1/S8=11/4$  pokazuje da objektivno grupno vrednovanje identifikuje scenario 1 kao 'najbolji za sve'. Sledeći je scenario 8, a treći je scenario 2 koji se na drugom mestu nalazi u 8 od 15 vrednovanja.

Pregledom podataka u Tabelama 1, 2 i 3 može se izvesti zaključak o kompromisima koji su učinjeni da bi se našlo optimalno rešenje u višekriterijumskom smislu, npr. da je scenario 1 najbolji. Na osnovu svih rezultata modela MODSIM-P32 za najbolji i nekoliko najviše rangiranih scenarija (ovde 8 i 2), može se inicirati korekcija scenarija i zatim ponoviti objektivno vrednovanje samo po metodu ENTROPY.

Pri entropijski određenim težinskim vrednostima kriterijuma, metodi SAW, SPW, TOPSIS i CP uglavnom daju ista rangiranja scenarija, naročito onih na najvišim i najnižim pozicijama. Objašnjenje je u samom metodu ENTROPY koji neke kriterijume anulira zato što zbog ujednačenog rejtinga scenarija ne daju donosiocu odluka potrebnu informaciju za razlikovanje scenarija. U slučaju jednakih (prosečni DO) ili približno jednakih (CRITIC) težinskih vrednosti došlo je do većih razlika u rangiranju. Prvi razlog je što se ne eliminiše ni jedan kriterijum i nedovoljno prepoznaje kontrast kriterijuma (npr., u metodu CRITIC to su male standardne devijacije rejtinga za neke kriterijume). Drugi razlog je što objektivno postoji redundantnost nekih kriterijuma zbog primenjenih shema prioriteta zahteva za vodom.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je predložena metodologija za objektivno višekriterijumsko vrednovanje tehničke performanse vodoprivrednog sistema na lokalnom nivou. Tretira se slučaj dugoročnog gazdovanja vodama po različitim, manje ili više konfliktnim, scenarijima raspodele voda na osnovu shema prioriteta korisnika, raspoloživosti voda i kapaciteta akumulacija. U prvoj fazi objektivno se vrednuju odabrani kriterijumi performanse na

osnovu informacije koju emituju simulirani pokazatelji raspodele voda po različitim scenarijima. Primenom Šenonovog entropijskog koncepta utvrđuju se težinske vrednosti kriterijuma, pri čemu se ignoriše njihov mogući konflikt (max/min), ali se tretira njihov kontrast. U drugoj fazi matrica odlučivanja se analizira nekim od standardnih višekriterijumskih metoda. Ovi metodi uzimaju u obzir i konflikt kriterijuma, ali je situacija utoliko različita što sada kriterijumi imaju objektivno definisanu važnost za donosioca odluka. Konačni rezultat metodologije su rangirani scenariji, a prvi po rangu se usvaja kao optimalan (najbolji) u višekriterijumskom smislu.

U radu je kao primer primene metodologije razmatran slučaj dekomponovanog i grupnog odlučivanja interesnih grupa u sektorima vodosnabdevanja gradova i ruralnih naselja, navodnjavanja i upravljanja akumulacijama u delu sliva reke Paraguacu u Brazilu. Polazni problem vrednovanja scenarija višegodišnje raspodele voda iz dve akumulacije na više grupa korisnika prvo je segmentiran na dva dela, a zatim ponovo agregiran. Tako su simulirana tri procesa objektivnog odlučivanja koji odgovaraju interesnim grupacijama u domenu gazdovanja vodom, ali i Komitetu za vode sliva koji treba da objedini grupacije i emulira zajednički objektivni interes. Posle određivanja težinskih vrednosti kriterijuma za merenje 'tehničke' performanse sistema (stepen obezbeđenja zahteva, veličine deficita i praćenje krivih upravljanja za akumulacije) pomoću entropijskog metoda, primenjena su četiri metoda višekriterijumske analize da bi se identifikovao najbolji scenario. Uporedne analize izvršene su korišćenjem dodatne dve grupe težinskih vrednosti kriterijuma generisane na principu jednakog značaja (tzv. 'prosečni donosilac odluka') i na osnovu statistike informacije sadržane u matricama odlučivanja (objektivni metod CRITIC).

Analize su pokazale saglasnost različitih višekriterijumskih metoda u vrednovanju scenarija kada su težinske vrednosti kriterijuma određene objektivno. To implicira da ima smisla ograničiti uticaj donosilaca odluka u početnim etapama definisanja i tehničke analize scenarija. Sa druge strane, primenom objektivnog postupka vrednovanja performanse sistema stvaraju se uslovi da se donosiocu odluka pravovremeno saopšti informacija o tehničkim posledicama scenarija, obrazloži zašto je najviše rangirani scenario i najbolji, i konačno, odredi mesto tehničke performanse sistema kao kriterijuma u skupu socijalnih, ekonomskih, ambijentalnih i drugih globalnih kriterijuma.

**Zahvalnost**

Autori se zahvaljuju CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), brazilskoj federealnoj agenciji za nauku i tehnologiju, koja je finansirala ova istraživanja u okviru projekta 'Decision Support System for Water Management in the Paraguacu River Basin' ('Sistema de Apoio a Decisao para o Gerenciamento dos Recursos Hidricos na Bacia do Rio Paraguacu').

**LITERATURA**

- [1] Atkin R.H.: Mathematical structure in human affairs. London, Heinemann, 1974.
- [2] Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E.: Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operations Research*, 2(6), 429-444, 1978.
- [3] Cheng C-H.: Evaluating naval tactic missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function, *European Journal of Operations Research*, 96 (1996), 343-350, 1996.
- [4] Deng H., Yeh C.H., Willis R.J.: Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. *Computers and Operations Research*, 27, 963-973, 2000.
- [5] Diakoulaki D., Mavrotas G., Papayannakis L.: Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method<sup>2</sup>. *Computers and Operations Research*, 22, 763-770, 1995.
- [6] Doyle J. R.: Multiattribute choice for the lazy decision maker: Let the alternative decide. *Organizational Behavior and Human Decision Processing*, 62 (1), 87-100, 1995.
- [7] Duckstein L., Kempf J., Castl J.: Design and management of regional systems by fuzzy ratings and polyhedral dynamics (MCQA). In *Macro Economic Planning with Conflicting Goals. Lecture notes in Economics and Mathematical Systems* (P. Nijkamp, M. Despontin and I. Spronk, eds.), 223-237. New York, Springer Verlag, 1984.
- [8] Eder G., Duckstein L. and Nachtnebel H.P.: Worth of criteria in multicriteria water resources planning using MCQA. Department of Systems and Industrial Engineering, Univ. of Arizona, Working Paper 93-17, 1993.
- [9] Hiessl H., Duckstein L., Plate E. J.: Multiobjective Q-analysis with concordance and discordance concepts. *Applied Mathematics and Computation*, 17, 107-122, 1985.
- [10] Hwang C.L., Yoon, K.S.: Multiple attribute decision making: methods and applications. New York: Springer, 1981.
- [11] Labadie J.W.: MODSIM – River basin network model for water rights planning. Technical manual. Colorado State University, USA, 1995.
- [12] Ozelkan E.C., Duckstein L.: Analysing water resources alternatives and handling criteria by multi criterion decision techniques. *Journal of Environmental Management*, 48, 69-96, 1996.
- [13] Porto R.L. et al: MODSIM-P32. Manual do usuario. Universidade de Sao Paulo, Brazil, 1999.
- [14] Porto R. L.: Estudos operativos do sistema Franca - Sao Jose do Jacuipé. Resumo Executivo para a Superintendencia de Recursos Hidricos do Estado da Bahia, 1997.
- [15] Saaty T.L.: The analytic hierarchy process, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [16] Shannon C.E., Weaver W.: The mathematical theory of communication. Urbana: The University of Illinois Press, 1947.
- [17] Srđević B.: Višekriterijumsko vrednovanje namena akumulacije. *Vodoprivreda*, 0350-0519, 34 (2002), 195-200, str 35-45, 2002.
- [18] Srđević B., Medeiros Y.D.P., Faria A.S.: An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. *Journal of Water Management* (Kluwer), submitted, 2003.
- [19] Zeleny M.: Multiple criteria decision making. New York: McGraw-Hill, 1982.

## OBJECTIVE EVALUATION OF PERFORMANCE CRITERIA FOR A RESERVOIR SYSTEM

by

Bojan SRDJEVIC, Ph.D.<sup>1</sup>, Yvonilde D. P. MEDEIROS, Ph.D.<sup>2</sup>,  
Alessandra da S. FARIA, B.Sc.<sup>2</sup>, and Martha SCHAER, M.Sc.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Novi Sad, Yugoslavia

<sup>2</sup>Escola Politecnica, Universidade Federal de Bahia, Salvador, Brasil

### Summary

In this paper an objective multicriteria analysis of reservoir system performance is employed to evaluate different multiyear scenarios of water allocation. A problem of determining the optimal (best) scenario is solved for simulated single and group decision making processes, without real involvement of decision maker(s). By assuming that decision criteria exist, the first issue is how to objectively evaluate their importance for decision maker and final decision made. Proposed is an entropy concept for evaluating the decision matrix once it is filled by simulated performance indicators for each scenario. Related entropy method considers criteria as specific emitters of information to the decision maker and uses performance indicators for all scenarios to derive emitting strength and contrast of each criterion. By normalizing entropy values, an objective relative importance of criteria to the decision maker is obtained, and evaluation of scenarios by standard multicriteria analysis may then proceed. The

ENTROPY method is proposed for objective evaluation of criteria, and four multicriteria techniques are suggested for ranking the scenarios: simple additive weighting (SAW), simple product weighting (SPW), and more advanced methods such as TOPSIS and CP. Proposed methodology is applied for a system with two reservoirs and three categories of water uses in Paraguacu River Basin in Brazil. Eight different scenarios of water allocation were simulated by well-known MODSIM model. For simulated performance of the system and derived indicators on water supplies and deficits, as well as reservoirs behavior through time, an objective evaluation of scenarios was performed separately for two main interest groups, and for river basin water committee which integrates interests by providing means for carrying out valuable participative decision making process.

**Key words:** reservoir system, objective criteria weight, entropy, multicriteria analysis

Redigovano 23.05.2003.