

## PRIMENLJIVOST I EFIKASNOST BEST-WORST METODA PRI DONOŠENJU ODLUKA U VODOPRIVREDI

Zorica SRĐEVIĆ, Bojan SRĐEVIĆ, Senka BUBULJ, Milica ILIĆ  
Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad

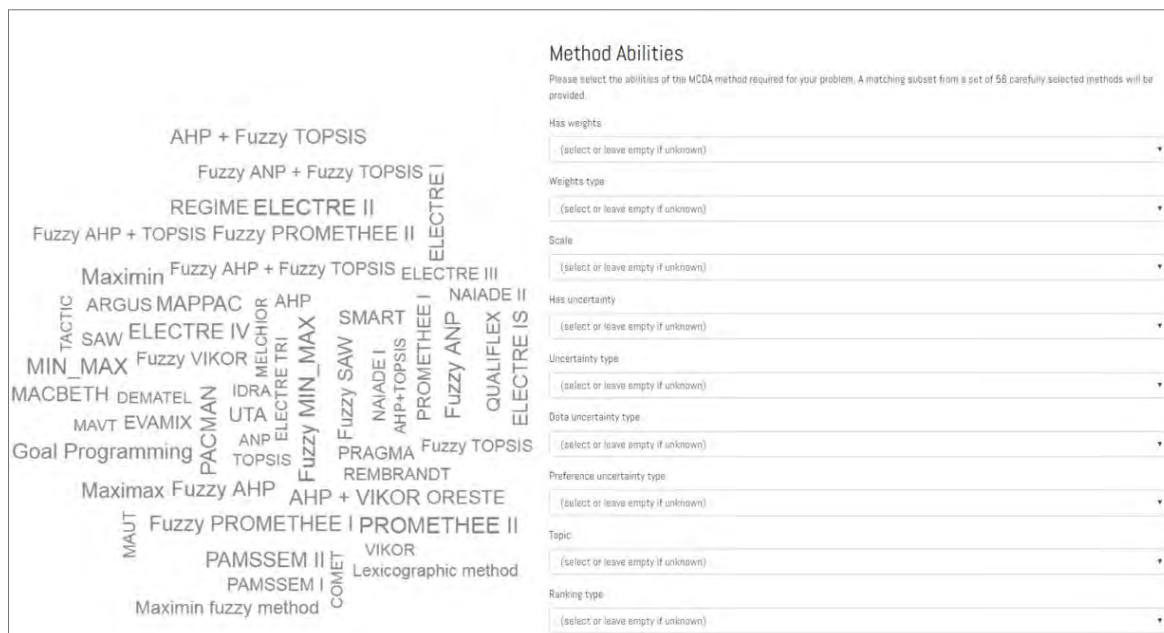
### REZIME

U radu je prikazan nov metod za donošenje odluka koji je razvio Rezaei (2015, 2016). Metod se zove Best-Worst metod (BWM) i za kratko vreme je imao veliki broj primena u različitim oblastima, uključujući vodoprivredu. Metodološki je sličan analitičkom hijerarhijskom procesu (AHP), etabliranom metodu višekriterijumske analize. Cilj rada je da se ova dva metoda uporede sa stanovišta primenljivosti i efikasnosti, te da se ukaže na neke moguće teškoće pri primeni BWM. Proračuni i poređenja vršeni su na primeru evaluacije dispozicije crpnih stanica u okviru sistema Dunav-Tisa-Dunav.

**Ključne reči:** donošenje odluka, vodoprivreda, analitički hijerarhijski proces, best-worst metod

### 1. UVOD

Kompleksnost savremenog sveta i neizvesnosti i rizici koji postoje u okruženjima u kojima se donose odluke vezane za vodne resurse i vodoprivredu uopšte, sve više nameću potrebu korišćenja systemske analize i metoda višekriterijumske analize. Od obuhvata problema, preko izbora komponenti važnih za odlučivanje i njihovog struktuiranja (npr. u vidu hijerarhije), do izbora najpogodnijeg metoda za sprovođenje procesa odlučivanja, postoji čitav niz metodoloških koraka i mogućih izbora. Npr., Thomasevskii [20] navodi preko 100 metoda višekriterijumske analize čiji je zadatak da pojednostave kompleksne probleme i olakšaju pronalaženje optimalnog ili dovoljno dobrog rešenja.



Slika 1. Interfejs portala <http://mcdm.it/> za izbor metoda višekriterijumske analize

Pošto je dobro poznato da različiti metodi mogu imati različite, nekad i potpuno suprotne, rezultate [21], izbor metoda koji će se koristiti nije jednostavan (Slika 1) i zahteva dublje poznavanje problema, prednosti, mogućnosti i ograničenja različitih metoda, kao i oblik rezultata/rešenja. Zbog mogućih različitih rešenja, važno je uporediti dobijene rezultate više metoda i izvršiti analizu osetljivosti. Jedan od novijih metoda koji se od prvog publikovanja 2015. godine sve više koristi u brojnim oblastima (1746 citata u Google Scholar) je Best-Worst metod (BWM). Metod je razvio Rezaei [12, 13], a privukao je pažnju stručne i naučne javnosti zbog svoje efikasnosti u smanjenju broja vrednovanja i istovremenog zadržavanja visoke konzistentnosti vrednovanja [6]. U oblasti vodoprivrede, korišćen je npr. za upravljanje vodnim resursima u aridnim regionima [2], određivanje težina faktora rizika pri izgradnji prečištača otpadnih voda [5], za izbor tehnologije prečišćavanja voda u grupnom kontekstu [11], ocenu rizika superkritičnih gasifikacionih sistema baziranih na upotrebi vode [10], itd.

Kao i analitički hijerarhijski proces (AHP) [14], jedan od najpoznatijih višekriterijumski metoda čije su primene u Srbiji opisane u brojnim radovima i studijama, na primer u [1, 3, 16, 17], BWM se zasniva na poređenju u parovima elemenata odlučivanja, ali je način uparivanja elemenata i broj poređenja redukovano u odnosu na AHP. Zbog metodoloških sličnosti i razlika, u radu su upoređena ova dva metoda, a posebna pažnja je usmerena na primenljivost i efikasnost BWM pri donošenju odluka u vodoprivredi.

## 2. STANDARDNI AHP

O standardnom AHP metodu postoji obimna literatura na stranim jezicima i na srpskom jeziku (videti npr. [3, 16, 17]). Ovde će zbog konteksta biti dat samo kratak opis metoda.

AHP zahteva prikaz problema odlučivanja u vidu hijerarhije, sa ciljem na vrhu i kriterijumima i podkriterijumima na nižim nivoima hijerarhije. Na poslednjem nivou su alternative odlučivanja. Elementi odlučivanja na jednom nivou hijerarhije se porede u parovima u odnosu na elemente u višem nivou korišćenjem Satijeve skale, Tabela 1.

Tabela 1. Satijeva skala za poređenje u parovima (Saaty, 1980)

Numerički ekvivalenti	Definicija
1	Isti značaj
3	Slaba dominantnost
5	Jaka dominantnost
7	Vrlo jaka dominantnost
9	Apsolutna dominantnost
2, 4, 6, 8	Međuvrednosti

Za logičnu pretpostavku simetričnosti (koliko je A značajnije od B, toliko je B manje značajno od A) sledi da ima ukupno  $n*(n-1)/2$  poređenja za  $n$  elemenata u nivou. Numerički ekvivalenti poređenja unose se u gornji trougao matrice poređenja; u donji trougao se simetrično (u odnosu na glavnu dijagonalu) unose recipročne vrednosti iz gornjeg trougla, a u glavnu dijagonalu unose vrednosti '1'. Matrica pripada klasi kvadratnih, pozitivnih, simetričnih i recipročnih. Njena dimenzija je  $n \times n$ , a vektor sopstvenih vrednosti može se usvojiti kao vektor težina elemenata  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  [14].

Određivanjem težina elemenata na svim nivoima (tzv. lokalnih težina), konačne vrednosti težina alternativa u odnosu na cilj se dobijaju sintezom – množenjem lokalnih težina idući od cilja prema dole. Detaljan matematički postupak izračunavanja lokalnih težina elemenata hijerarhije i konačnih težina alternativa u odnosu na cilj prikazan je u [14].

*Napomena 1:* u cilju poređenja rezultata AHP i BWM, u ilustrativnom primeru su data objašnjenja samo u vezi vrednovanja kriterijuma u odnosu na cilj. Zaključci koji su izvedeni se odnose na svaki od lokalnih nivoa hijerarhije, dok poređenje dva metoda na nivou kompletne hijerarhije za sada nije moguće bez detaljnih proverama na više primera različite dimenzionalnosti hijerarhija po širini i dubini; prema najboljem znanju autora ovog rada – to do sada niko u svetu nije uradio.

Pored individualne primene, AHP se uspešno koristi i u problemima kada postoji veći broj donosilaca odluka/učesnika u procesu ocenjivanja. Neki od novijih primera grupnog odlučivanja u oblasti vodoprivrede dati su u [1, 15, 18, 19, 22].

### 3. BEST-WORST METOD (BWM)

Postupak dolaska do rešenja (težine kriterijuma) primenom BWM može se podeliti na pet koraka, kao što je prikazano na Slici 2.

Ako je definisan skup od  $n$  kriterijuma, donosilac odluka se prvo izjašnjava koji je kriterijum iz grupe najbolji, a koji je najlošiji. Zatim pomoću skale u Tabeli 1 vrši poređenje najboljeg i najlošijeg kriterijuma sa svim ostalim kriterijumima.

Originalni BWM glasi:

$$\min \max_j \left\{ |w_B/w_j - a_{Bj}|, |w_j/w_W - a_{jW}| \right\} \quad (1)$$

uz ograničenja

$$\sum_j w_j = 1, \quad \text{za svako } j$$

$$w_j \geq 0 \quad \text{za svako } j$$

gde su  $w_B$ ,  $w_W$  i  $w_j$  nepoznate težine, redom, najboljeg, najlošijeg i  $j$ -tog kriterijuma. Ocena značajnosti najboljeg kriterijuma u odnosu na  $j$ -ti kriterijum je označena sa  $a_{Bj}$ , a  $j$ -tog kriterijuma u odnosu na najlošiji sa  $a_{jW}$ . Ocene  $a_{Bj}$  i  $a_{jW}$  se dobijaju poređenjem u parovima na osnovu Satijeve skale isto kao u metodu AHP (Tabela 1).

Model (1) se zatim transformiše u model (2):

$$\min \theta \quad (2)$$

uz ograničenja

$$|w_B/w_j - a_{Bj}| \leq \theta, \quad \text{za svako } j$$

$$|w_j/w_W - a_{jW}| \leq \theta, \quad \text{za svako } j$$

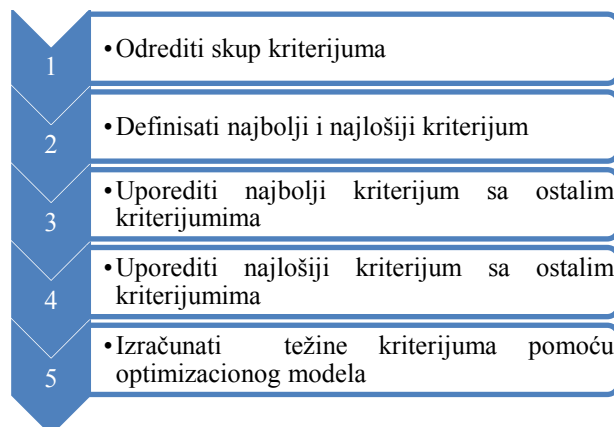
$$\sum_j w_j = 1, \quad \text{za svako } j$$

$$w_j \geq 0 \quad \text{za svako } j$$

U oba modela ‘za svako  $j$ ’ znači ‘za sve kriterijume koji se porede’ u skupu kriterijuma. Na primer, ako postoji  $n$  kriterijuma, ‘za svako  $j$ ’ znači za  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Rešavanjem modela (2) dobijaju se optimalne težine  $w_j^*$  za svako  $j$  i optimalna vrednost  $\theta^*$ .

Rešenja oba gornja nelinearna modela mogu biti višestruka što je uobičajeno za nelinearnu optimizaciju. Sledeći ideje date u radu [7], u radu [13] je data linearna verzija modela (1) i (2).



Slika 2. Pet koraka BWM; adaptirano prema [6]

Umesto nelinearnosti (po težinama kriterijuma)  $w_B/w_j - a_{Bj}$  i  $w_j/w_W - a_{jW}$  i greške  $\theta$ , korišćene su linearne verzije  $w_B - a_{Bj}w_B$  i  $w_j - a_{jW}w_W$  i  $\varepsilon$ . U linearnoj verziji modela (1) vrši se minimizacija maksimuma u skupu  $\{|w_B - a_{Bj}w_B|, |w_j - a_{jW}w_W|\}$ , a model glasi:

$$\min \max_j \left\{ |w_B - a_{Bj}w_B|, |w_j - a_{jW}w_W| \right\} \quad (3)$$

uz ograničenja

$$\sum_j w_j = 1, \quad \text{za svako } j$$

$$w_j \geq 0 \quad \text{za svako } j$$

Po analogiji, linearna verzija modela (2) je:

$$\min \varepsilon \quad (4)$$

uz ograničenja

$$|w_B - a_{Bj}w_B| \leq \varepsilon, \quad \text{za svako } j$$

$$|w_j - a_{jW}w_W| \leq \varepsilon, \quad \text{za svako } j$$

$$\sum_j w_j = 1, \quad \text{za svako } j$$

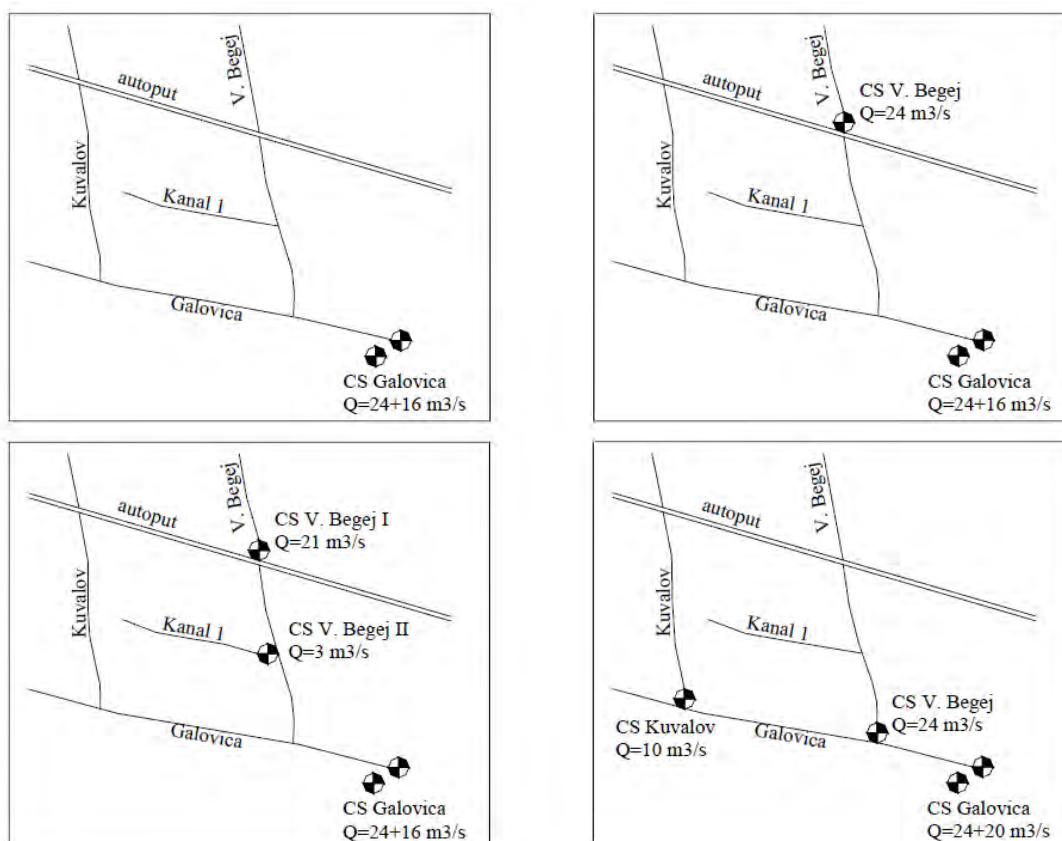
$$w_j \geq 0 \quad \text{za svako } j$$

Problem (4) ima jedinstveno rešenje – optimalan skup težina  $w_j^*$  za svako  $j$  i  $\varepsilon^*$ . Slično kao u [7],  $\varepsilon^*$  se može smatrati indikatorom konzistentnosti eksperta (donosioca odluka). Što je niža vrednost  $\varepsilon^*$ , veća je konzistentnost.

#### 4. PRIMER PRIMENE BWM U VODOPRIVREDI

U cilju poređenja rezultata dobijenih standardnim AHP metodom i metodom BWM, korišćeni su rezultati evaluacije dispozicije crpnih stanica u okviru sistema Dunav-Tisa-Dunav [16], Slika 3.

Problem odlučivanja uključivao je skup od šest kriterijuma: C1 – ekonomski parametri, C2 – sigurnost u radu, C3 – efikasnost u odbrani od poplava, C4 – usklađenost sa šemom vodosnabdevanja, C5 – pogodnost za investiranje po fazama izgradnje i C6 – tehnička upravljivost.



Slika 3. Alternativne dispozicije crpnih stanica [16]

Nakon definisanja skupa kriterijuma, drugi korak u primeni BWM je da se odrede najbolji (najvažniji) i najlošiji (najmanje važan) kriterijum. Ako se kao najbolji izabere C2 – sigurnost u radu, a kao najlošiji C6 – tehnička upravljivost, tada se poređenjem u parovima najboljeg u odnosu na sve ostale kriterijume (koristeći Satijevu skalu) i smeštanjem rezultata poređenja u odgovarajući vektor može dobiti Tabela 2.

Tabela 2. Poređenje najboljeg kriterijuma sa ostalim kriterijumima

Kriterijum	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C2	7	1	6	2	4	8

Na primer, iz Tabele 2 vidi se da je C2 ‘vrlo jako dominantan’ u odnosu na C1 (ocena je 7).

Slično se formira vektor poređenja za najlošiji kriterijum C6:

Tabela 3. Poređenje najlošijeg kriterijuma sa ostalim kriterijumima

Kriterijum	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C6	2	9	5	6	4	1

Za ocene značajnosti iz Tabela 2 i 3 formira se linearni model (4):

$$\begin{aligned} & \min \varepsilon \\ & \text{uz ograničenja} \\ & |w_2 - 7w_1| \leq \varepsilon \\ & |w_2 - 6w_3| \leq \varepsilon \\ & |w_2 - 2w_4| \leq \varepsilon \\ & |w_2 - 4w_5| \leq \varepsilon \\ & |w_2 - 8w_6| \leq \varepsilon \\ & |w_1 - 2w_6| \leq \varepsilon \\ & |w_3 - 5w_6| \leq \varepsilon \\ & |w_4 - 6w_6| \leq \varepsilon \\ & |w_5 - 4w_6| \leq \varepsilon \end{aligned}$$

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 = 1.$$

Rešenje linearnog modela je jednoznačno i predstavlja težinske vrednosti kriterijuma C1 – C6:

$$w_1 = 0,07402330;$$

$$w_2 = 0,4126114;$$

$$w_3 = 0,08636052;$$

$$w_4 = 0,2590816;$$

$$w_5 = 0,1295408;$$

$$w_6 = 0,03838245;$$

$$\varepsilon = 0,1055517.$$

Izračunavanja su vršena u programu LINGO (model i rešenja iz programa su dati u Prilogu \*).

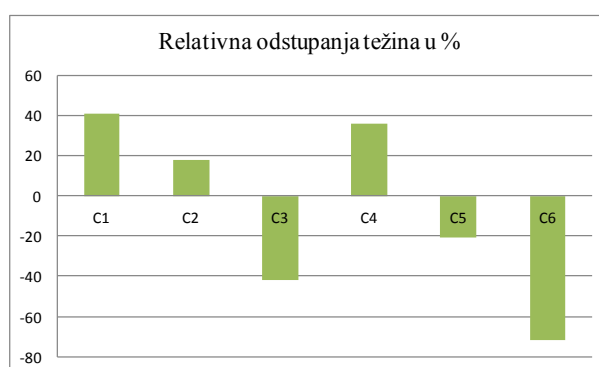
## 5. DISKUSIJA

U ovom poglavlju biće prikazane neke razlike u primenama i rezultatima metoda AHP i BWM, bez

dublje analize i konačnih zaključaka u vezi posledica korišćenja rezultata metoda. Dalja istraživanja eventualno mogu ukazati na neke suštinske prednosti i nedostatke ovih metoda, kao i na razlike u odnosu na druge poznate metode višekriterijumske optimizacije.

### Težine i rangovi

Rezultati metoda AHP [16] i BWM prikazani su uporedo u Tabeli 4. Kao što se vidi, četiri najvažnija kriterijuma rangirana su jednako. Kriterijumi C1 i C6 su promenili rang; prema AHP, C1 je najmanje važan kriterijum, a po BWM to je C6.



Slika 4. Razlika u izračunatim težinskim vrednostima kriterijuma (%)

Bitna razlika se uočava kada su u pitanju kardinalne vrednosti (težine kriterijuma, a ne rangovi kao ordinalne vrednosti) (Tabela 4 i Slika 4). Na primer, C2 ima 18% veću težinu po BWM nego po AHP što u sintezi na nivou cele hijerarhije može imati značajne posledice ako je u pitanju alokacioni problem.

Tabela 4. Poređenje rezultata metoda AHP i BWM

Kriterijum	AHP		BWM		Relativna odstupanja težina (BWM-AHP)/BWM %
	Težina	Rang	Težina	Rang	
C1	0,044	6	0,074	5	+41
C2	0,340	1	0,413	1	+18
C3	0,148	4	0,086	4	-42
C4	0,166	2	0,259	2	+36
C5	0,164	3	0,129	3	-21
C6	0,139	5	0,038	6	-72

\* Prilozi se mogu videti u verziji članka koji se nalazi na sajtu časopisa ([www.vodoprivreda.net](http://www.vodoprivreda.net)).

*Skala za poređenje u parovima*

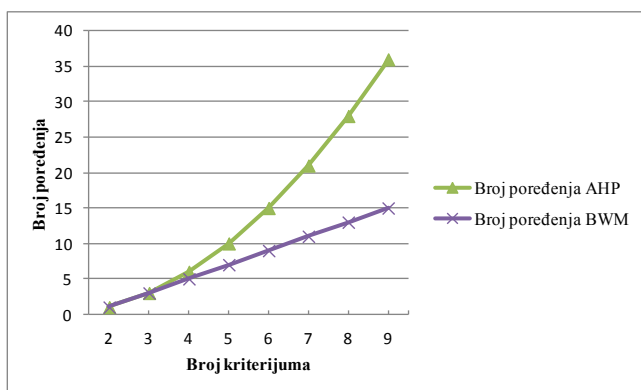
Matrica poređenja kriterijuma dobijena u okvirima primene AHP [16] imala je sledeći oblik:

Kriterijum	Kriterijumi					
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
C <sub>1</sub>	1	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5
C <sub>2</sub>		1	3	2	3	3
C <sub>3</sub>			1	2	1	1/2
C <sub>4</sub>				1	1	3
C <sub>5</sub>					1	2
C <sub>6</sub>						1

Pošto je rezultat poređenja elementa  $i$  u odnosu na element  $j$  unet u gornji trougao matrice poređenja kao element  $a_{ij}$ , element  $a_{ji}$  u donjem trouglu, simetričan u odnosu na glavnu dijagonalu, jeste recipročna vrednost  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ . Kako se iz matrice vidi, neki elementi u gornjem trouglu su racionalni brojevi, a to može biti zbunjujuće za osobu koja vrši vrednovanje. Za razliku od AHP, pri poređenjima u okviru BMW, formiraju se vektori čiji su elementi samo celi brojevi (Tabele 2 i 3) što se može smatrati intuitivno pogodnim za osobu koja vrši vrednovanja.

*Broj poređenja*

Kao što je već naglašeno u stručnoj literaturi, prednost korišćenja BMW je u smanjenom broju vrednovanja. Za dati primer sa 6 kriterijuma, AHP zahteva 15, a BMW 10 poređenja. U slučaju problema većih dimenzija ili problema sa više nivoa, ova razlika može da bude mnogo veća. Na Slici 5 prikazan je rast broja vrednovanja sa porastom broja kriterijuma za oba metoda.



Slika 5. Broj vrednovanja u funkciji broja kriterijuma po AHP i BMW

Veći broj vrednovanja u AHP povećava informacionu bazu i to je u suštini prednost u odnosu na BMW. Manji broj poređenja u parovima u BMW znači manje opterećenje za donosioca odluka nego ako koristi AHP, ali smanjena informaciona baza dovodi u pitanje stepen tačnosti konačnog rešenja – vektora težina kriterijuma. Balans širine informacione baze i broja vrednovanja po oba metoda zaslužuje dalje istraživanje i za sada se ne mogu donositi valjani sudovi o pogodnosti dva metoda u ovom smislu.

*Kompleksnost modela*

Efikasnost kod kompjuterske primene BMW smanjuje se sa rastom dimenzije problema (broja elemenata odlučivanja – ovde kriterijuma). Kada je broj kriterijuma veliki, u BMW modelima (2) i (4) povećava se broj promenljivih i ograničenja, usložnjava se model i produžuju računanja. Npr., za dati primer sa 6 kriterijuma, linearni model ima 20 ograničenja (videti Prilog).

*Primena u grupnom kontekstu*

U novije vreme se takođe vodi diskusija o primenljivosti BMW u grupnom kontekstu, jer se, na primer, često korišćena agregacija ocena učesnika u grupi ovde ne može primeniti; npr., različiti učesnici mogu izabrati različite kriterijume kao najbolje/najlošije. Neka od rešenja ovog problema su u matematički mnogo zahtevnijim BMW modelima - probabilističkom grupnom donošenju odluka - Bajesovski BMW [8], fazi BMW [4] ili intuitivni multiplikativni fazi BMW [9].

**6. ZAKLJUČAK**

Višekriterijumska analiza i njeni metodi su danas postali nezaobilazni u procesima donošenja odluka u svim oblastima ljudske delatnosti. Diversifikacija problema i uočeni nedostaci različitih metoda doveli su i dovode do pojave velikog broja novih metoda. Jedan od njih koji je, sudeći po broju literaturnih navoda, stekao veliku popularnost i širinu primene je Best-Worst metod.

Zbog metodoloških sličnosti sa analitičkim hijerarhijskim procesom, u radu je izvršeno preliminarno poređenje ova dva metoda na odabranom primeru iz vodoprivrede. Rezultati su pokazali da BMW naizgled ima generalno bolje performanse u odnosu na AHP. U radu sa problemima velikih dimenzija, kao i u pogledu informacione baze koja se koristi za donošenje odluka, a čini se naročito u pogledu primene u grupnom kontekstu, prednost ipak treba dati metodu AHP.

**ZAHVALNOST**

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije koje finansira istraživanja na projektu OI 174003: Teorija i primena Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) u uslovima rizika i neizvesnosti (individualni i grupni kontekst).

**LITERATURA**

- [1] Blagojevic B., Srdjevic Z., Bezdan A., Srdjevic B. (2016) Group decision making in land evaluation for irrigation: A Case study from Serbia. *Journal of Hydroinformatics* 18 (3): 579-598.
- [2] Chitsaz N. and Azarnivand A. (2017) Water scarcity management in arid regions based on an extended multiple criteria technique. *Water Resources Management* 31: 233-250.
- [3] Galamboš L., Srđević Z. i Srđević B. (2015) Određivanje višekriterijumski optimalnog rešenja za poboljšanje vodnog režima Starog Begeja (specijalni rezervat prirode „Carska bara“). *Vodoprivreda* 47: 277-286.
- [4] Hafezalkotob A. and Hafezalkotob A. (2017) A novel approach for combination of individual and group decisions based on fuzzy best-worst method. *Applied Soft Computing* 59: 316-325.
- [5] Liu H.C., Hu Y.P., Wang J.J. and Sun M. (2018) Failure mode and effects analysis using two-dimensional uncertain linguistic variables and alternative queuing method. *IEEE Transactions on Reliability* 68: 1-12.
- [6] Mi X., Tang M., Liao H., Shen W., Lev B. (2019) The state-of-the-art survey on integrations and applications of the best worst method in decision making: Why, what, what for and what's next? *Omega* 87: 205-225.
- [7] Mikhailov L. (2000) A fuzzy programming method for deriving priorities in the analytic hierarchy process. *Journal of Operational Research Society* 51: 341-349.
- [8] Mohammadi M., Rezaei J. (2019) Bayesian best-worst method: A probabilistic group decision making model. *Omega* 2019, 102075.
- [9] Mou Q., Xu Z., and Liao H. (2016) An intuitionistic fuzzy multiplicative bestworst method for multi-criteria group decision making. *Information Sciences* 374: 224-239.
- [10] Nie R.X., Tian Z.P., Wang X.K., Wang J.Q. and Wang T.L. (2018) Risk evaluation by FMEA of supercritical water gasification system using multi-granular linguistic distribution assessment. *Knowledge-Based Systems* 162: 185-201.
- [11] Ren J. Z. (2018) Technology selection for ballast water treatment by multi-stakeholders: a multi-attribute decision analysis approach based on the combined weights and extension theory. *Chemosphere* 191: 747-760.
- [12] Rezaei J. (2015) Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega* 53: 49-57.
- [13] Rezaei J. (2016) Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega* 64: 126-130.
- [14] Saaty T.L. (1980) *The Analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York.
- [15] Shooshtarian M. R., Dehghani M., Margherita F., Gea O.C., Mortezaadeh S. (2018) Land use change and conversion effects on ground water quality trends: An integration of land change modeler in GIS and a new Ground Water Quality Index developed by fuzzy multi-criteria group decision-making models. *Food and Chemical Toxicology* 114: 204-214.
- [16] Srđević B., Kolarov V. (2005) Varijantna AHP vrednovanja dispozicija crpnih stanica na slivnom području. *Vodoprivreda* 37: 203-214.
- [17] Srđević B., Suvočarev K. i Srđević Z. (2008) AHP grupno odlučivanje bez konsenzusa: primer planiranja segmentacije mokrog polja. *Vodoprivreda* 40: 51-58.
- [18] Srdjevic B., Srdjevic Z., Medeiros Y.D.P. (2019a) Group evaluation of water management plans with Analytic Hierarchy Process and social choice methods. In: Theodoridis A., Ragkos A., Salampasis M. (eds) *Innovative approaches and applications for sustainable rural development*. HAICTA 2017 Springer Earth System Sciences Springer 59-84.
- [19] Srdjevic Z., Srdjevic B., Melo P., Jorge L. (2019b) Conflicts and resolutions in managing water allocation at the watershed scale (Konflikte und Lösungen beim Management der Wasserzuteilung auf der Ebene des Wassereinzugsgebietes). *BODENKULTUR - Journal of land management, food and environment*. In press.

- [20] Tomashevskii I., Tomashevskii D. (2019) A non-heuristic multicriteria decision-making method with verifiable accuracy and reliability. *Journal of the Operational Research Society*. In Press.
- [21] Wątróbski J., Jankowski J., Ziemia P., Karczmarczyk A., Ziolo M. (2019) Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega* 86: 107-124.
- [22] Zhou J.L., Xu Q.Q. and Zhang X.Y. (2018) Water Resources and Sustainability Assessment Based on Group AHP-PCA Method: A Case Study in the Jinsha River Basin. *Water* 10: 1880

## USABILITY AND EFFICIENCY OF BEST-WORST METHOD IN WATER RESOURCES RELATED DECISION-MAKING

by

Zorica SRĐEVIĆ, Bojan SRĐEVIĆ, Senka BUBULJ, Milica ILIĆ  
University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Water Management, Novi Sad, Serbia

### Summary

This paper presents a new decision-making method developed by Rezaei (2015, 2016), which has had, in a short time, a lot of applications in various fields, including water management. The method is called the Best-Worst method (BWM) and it is methodologically similar to the Analytic Hierarchy Process, proven multi-criteria analysis method. The aim of this paper was to compare two methods regarding their efficiency and

applicability and to indicate the possible difficulties in applying BWM. Calculations and comparisons were made for the example of pump station disposition evaluation within the Danube-Tisza-Danube system.

Key words: decision-making, water management, analytic hierarchy process, best-worst method

Redigovano 26.10.2019.



\*\*\*

**PRILOG**

## Linearni model

```

min x7
st
x2-7x1-x7+s1<=0
-x2+7x1-x7+s2<=0
x2-6x3-x7+s3<=0
-x2+6x3-x7+s4<=0
x2-2x4-x7+s5<=0
-x2+2x4-x7+s6<=0
x2-4x5-x7+s7<=0
-x2+4x5-x7+s8<=0
x2-8x6-x7+s9<=0
-x2+8x6-x7+s10<=0
x1-2x6-x7+s11<=0
-x1+2x6-x7+s12<=0
x3-5x6-x7+s13<=0
-x3+5x6-x7+s14<=0
x4-6x6-x7+s15<=0
-x4+6x6-x7+s16<=0
x5-4x6-x7+s17<=0
-x5+4x6-x7+s18<=0

x1+x2+x3+x4+x5+x6=1

```

## Global optimal solution found.

Objective value:	0.1055517
Infeasibilities:	0.000000
Total solver iterations:	11
Elapsed runtime seconds:	2.30

Model Class:	LP
--------------	----

Total variables:	25
Nonlinear variables:	0
Integer variables:	0

Total constraints:	20
Nonlinear constraints:	0

Total nonzeros:	79
Nonlinear nonzeros:	0

Variable	Value	Reduced Cost
X7	0.1055517	0.000000
X2	0.4126114	0.000000
X1	0.7402330E-01	0.000000
S1	0.000000	0.000000
S2	0.000000	0.1507882E-01
X3	0.8636052E-01	0.000000
S3	0.000000	0.000000
S4	0.000000	0.1014393
X4	0.2590816	0.000000
S5	0.000000	0.000000
S6	0.000000	0.5277587E-01
X5	0.1295408	0.000000
S7	0.000000	0.000000
S8	0.000000	0.2638794E-01
X6	0.3838245E-01	0.000000
S9	0.000000	0.3012337
S10	0.000000	0.000000
S11	0.000000	0.000000
S12	0.000000	0.000000
S13	0.000000	0.000000
S14	0.000000	0.5030843
S15	0.000000	0.000000
S16	0.000000	0.000000
S17	0.000000	0.000000
S18	0.000000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.1055517	-1.000000
2	0.2111035	0.000000
3	0.0000000	0.1507882E-01
4	0.2111035	0.000000
5	0.0000000	0.1014393
6	0.2111035	0.000000
7	0.0000000	0.5277587E-01
8	0.2111035	0.000000
9	0.0000000	0.2638794E-01
10	0.0000000	0.3012337
11	0.2111035	0.000000
12	0.1082934	0.000000
13	0.1028101	0.000000
14	0.2111035	0.000000
15	0.0000000	0.5030843
16	0.7676491E-01	0.000000
17	0.1343386	0.000000
18	0.1295408	0.000000
19	0.8156271E-01	0.000000
20	0.0000000	-0.1055517