

DEMATEL I AHP U ANALIZI MEĐUZAVISNOSTI I PREFERENCI KRITERIJUMA U PROBLEMIMA ODLUČIVANJA U VODOPRIVREDI

Zorica SRĐEVIĆ, Bojan SRĐEVIĆ

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad

REZIME

Odlučivanje kada ima više kriterijuma prema kojima treba vrednovati alternative često je podržano tehnikama i alatima koji realizuju takozvanu meku optimizaciju. Standardni metodi kao što su, na primer, AHP, VIKOR, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE ili BW, po pravilu a priori tretiraju kriterijume kao nezavisne; slično najčešće važi i za alternative. Jedan od pokušaja da se dublje pronikne u moguće zavisnosti kriterijuma u problemima odlučivanja rezultovao je razvojem metoda DEMATEL koji mapira relacije među kriterijumima na nivou uzrok-posledica. Brojna istraživanja posvećena su povezivanju ovog metoda sa navedenim i drugim standardnim metodima višekriterijumske optimizacije. U ovom radu DEMATEL je kratko opisan prema referentnim radovima iz naučne literature. Na izabranom primeru, ukazano je na moguće povezivanje rezultata ovog metoda sa rezultatima metoda AHP kod strateškog i taktičkog odlučivanja o izboru tehnologije navodnjavanja.

Ključne reči: DEMATEL, AHP, uzroci i posledice, preference, navodnjavanje

1. UVOD

Odlučivanje podržano kompjuterizovanim metodima višekriterijumske analize i optimizacije predstavlja deo stvarnosti savremenog sveta. U oblasti vodoprivrede zastupljene su gotovo sve poznate teorije i metodi iz domena podrške odlučivanju, od standardnih i fazi višekriterijumskih teorija i metoda (*MCDM – Multi Criteria Decision Making*), preko teorije i metoda društvenog izbora (*SCT – Social Choice Theory*), do inteligentnih metoda i heuristika zasnovanih na evolutivnim i drugim teorijama, algoritmima i modelima.

Klasične postavke problema odlučivanja u oblasti voda često sadrže standardnu hijerarhijsku arhitekturu sa tri nivoa: na vrhu je cilj, na nivou ispod su kriterijumi, a na donjem nivou su alternative. Malo složeniji slučaj je kada kriterijumi imaju pod-kriterijume, tako da hijerarhija ima četiri umesto tri nivoa. Postoje i drugačije dekompozicije po vertikali i horizontali, ali se kao generalni slučaj najčešće tretira 3-nivooska hijerarhija. Hijerarhizacija je uobičajena strategija koncipiranja problema odlučivanja jer se donosiocu (ili donosiocima) odluka olakšava sagledavanje komponenti odlučivanja, njihovih povezanosti, kao i intenziteta postojećih direktnih, indirektnih i često skrivenih veza i odnosa. Kada ima mnogo elemenata odlučivanja, npr. kriterijuma za vrednovanje alternativa, struktura problema se može posmatrati kao 'sistem' u kome su kriterijumi 'faktori' koji mogu imati jače i slabije veze i različit značaj za donosioca odluka. Jedan aspekt problema je preferentna struktura među elementima odlučivanja, a drugi su moguće kauzalnosti.

Prvi aspekt kvalitetno podržava višekriterijumski metod AHP (*Analytic Hierarchy Process*) [17]. U njemu se u parovima porede po značajnosti elementi odlučivanja, određuju lokalne težine poređenih elemenata u odnosu elemente u višem nivou hijerarhije i na kraju se sintetizuju sve težine da bi se dobile konačne težine alternativa sa donjeg nivoa u odnosu na cilj na najvišem nivou. Donosilac odluka vrednuje elemente odlučivanja pomoću skale preferenci, najčešće skale sa 9 semantičko-numeričkih iskaza, od 'dva elementa su jednake važnosti – ocna 1', do 'dati element je apsolutno važniji od elementa sa kojim se poredi – ocna 9'. Preferentna struktura 'sistema' (problema odlučivanja) ne tretira pitanje zavisnosti među elementima. Naime, smatra se da su kriterijumi međusobno nezavisni, isto kao i alternative. Navedeni i brojni drugi detalji u vezi sa metodom AHP su mnogostruko istraživani, ali pitanje dubinske međuzavisnosti elemenata problema ovaj metod ne tretira. Isto važi i za druge standardne MCDM

metode Standardni metodi kao što su, na primer, VIKOR, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE, CP ili BW.

Drugi aspekt su pitanja kauzalnosti elemenata odlučivanja. Polazeći od nekih pitanja društvenih odnosa, početkom sedamdesetih godina prošlog veka pojavio se nov metod pod nazivom DEMATEL (akronim od *Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory*) koji tretira međuzavisnosti elemenata odlučivanja na nivou relacija tipa uzrok – posledica. Razvijen je u *Battelle Memorial* institutu istraživačkog centra u Ženevi (Švajcarska) u okviru programa *Science and Human Affairs* i opisan je u radovima [6,7] koji se od tada citiraju u naučnim i stručnim publikacijama širom sveta. Primene metoda se beleže u brojnim oblastima zahvaljujući njegovoj sposobnosti da ukaže na rešenja u tretiranju fragmentiranih i antagonističkih fenomena društva, ali i tehničkih sistema sa faktorima (komponentama) koji ih opisuju, a međusobno su uzročno-posledično povezani. Metod je zasnovan na teoriji grafova i omogućava analizu totalnih relacija među komponentama sistema, uključujući i konstruisanje mapa njihove povezanosti.

Suština metoda se ukratko može opisati na sledećem primeru. Treba odlučiti koju tehnologiju navodnjavanja odabrati prema skupu određenih kriterijuma. Dva moguća, relativno globalna, kriterijuma su 'cena' i 'održavanje'. Od ponude nivoa i kvaliteta održavanja ('uzrok') zavisi cena ('posledica') tehnologije. Ova relacija u strukturi svih relevantnih kriterijuma samo je jedna od uzročno – posledičnih relacija.

DEMATEL na svojstven način tretira odnose među kriterijumima i prepoznaje ne samo uzrok-posledica relacije, već i jačinu relacija. Kriterijumi se grupišu u uzroke ili posledice, mapiraju se u 2D prostoru i dobija se vizuelna informacija o mogućim zavisnostima. Ovo može biti od velikog značaja kod tretiranja kriterijuma u procesu odlučivanja, odnosno korišćenju preferentnih metoda koji treba da podrže taj proces, uključujući i AHP.

Treba napomenuti da se DEMATEL-om na globalnom nivou tretira sistem koga opisuju faktori i da se na osnovu relacija uzročnosti ide ka identifikovanju važnih i manje važnih faktora što uglavnom ima primenu u strateškim procesima vrednovanja i odlučivanja. U navedenom primeru u sekciji 5 sistem je 'problem koju tehnologiju navodnjavanja odabrati', a faktori su 'kriterijumi'.

U protekle četiri decenije DEMATEL je privukao pažnju brojnih istraživača u svetu u praktično svim oblastima, npr. u analizama kvaliteta usluga, izboru skladišta materijala, upravljanju linijama snabdevanja, planiranju u vodoprivredi itd. Najviše se koristi klasična verzija metoda, a pregledni rad [16] pokazuje da se metod često povezuje sa metodom ANP (*Analytic Network Process*) da bi se bolje sagledale interakcije faktora sistema. DEMATEL se povezuje sa drugim metodima i teorijama i u fazi okruženju. Dobar primer je dat u radu [16] u kome je opisano kako su tretirani neki aspekti planiranja gazdovanja rečnim slivovima u Iranu koji će dovesti do postizanja dobrih ekoloških, ekonomskih i socijalnih uslova u slivovima. Da bi se implementirale dobre razvojne strategije i poštovala ograničenja u domenu finansiranja i ljudskih resursa, za rangiranje po značaju pet slivova predložena je hibridna fazi tehnika rangiranja, a kao kriterijumi korišćene su razvojne strategije. Korišćene su fazi verzije modela DEMATEL, ANP i VIKOR. Fazi DEMATEL je bio namenjen prepoznavanju međuzavisnosti grupa strategija i utvrđivanju intenzitete relacija. Za određivanje težina strategija korišćen je fazi ANP, a konačno rangiranje slivova urađeno je pomoću fazi VIKOR metoda. Tehnika je respektovala konflikte ciljeva i kompleksne relacije i uticaje koje međusobno imaju kriterijumi za vrednovanje, a analize osetljivosti omogućile su uvid u robustnost razvijenog pristupa.

2. POVEZIVANJE METODA DEMATEL I AHP

Pokušaji povezivanja metoda DEMATEL i AHP vršeni su u više pravaca, ali su dva dominantna. Prvi je da se AHP koristi za podršku u inicijalnom odlučivanju o alternativnim merama i akcijama, a da se pomoću DEMATEL-a sagledavaju strateški aspekti odlučivanja. Dobar primer je dat u radu [8] u kome je opisano kako je kombinacija dva metoda iskorišćena za ocenu faktora uspešnosti pri implementaciji menadžmenta lancem snabdevanja u proizvođačkoj industriji. AHP je korišćen za određivanje relativnog značaja faktora uspešnosti u implementaciji lanaca snabdevanja, a DEMATEL je omogućio grupisanje faktora u 'uzroke' i 'posledice'. Cilj istraživanja bio je da se pomogne proizvodnim firmama da pomoću AHP prvo definišu kratkoročne akcije zasnovane na relativnom značaju faktora u lancu snabdevanja, a zatim da razviju dugoročnu strategiju implementacije akcija zasnovanu na njihovim kauzalnim (uzrok-posledica) odnosima. Odlučivala je grupa eksperata. U navedenom radu je dat dobar pregled drugih primena kombinacija AHP-DEMATEL u oblasti industrije i šire.

Drugi pravac korišćenja DEMATEL i AHP obeležavaju pokušaji da se pomoću prvog metoda popunjavaju eventualne praznine u matricama poređenja (u parovima) elemenata odlučivanja u drugom metodu. U radu [32] razmatrani su efekti korišćenja matrice totalnih relacija (*Total Relation Matrix*) pri popunjavanju praznina u matricama poređenja koje su sastavni deo metoda AHP. Simulacije popunjavanja za razne dimenzije matrica i razne nivoe konzistentnosti poređenja pokazale su ograničene mogućnosti sprege dva modela, verovatno i zato što se konceptualno razlikuju uzročno-posledične od preferentnih relacija na kojima se, redom, zasnivaju DEMATEL i AHP.

Nije manje važno što metodi koriste različitu semantiku i numeričku metriku, iskazanu različitim skalama semantičko-numeričkih iskaza i vrednosti. AHP najčešće koristi Satijevu skalu 1–9 [17] koja je linearna, a u recipročnom delu nelinearna. DEMATEL koristi varijante skala kao što su skala 0–3, ili 0–4. U nekim primenama DEMATEL-a korišćena je adaptirana psihometrijska Likertova skala 1–5. Skale su u slučaju ovog metoda linearne, a matrice koje metod generiše nisu simetrične kao što su to matrice preferenci u AHP.

Povezivanje DEMATEL sa AHP ostražuje se na konceptualnom nivou u amisu da se AHP koristi problemski i na kraću stazu, kao taktičko oruđe donosilaca odluka za usmeravanje operativnih odluka prema iskazanim preferencama, a DEMATEL da se koristi u širem kontekstu, pre svega da se uoče dugoročne, strateške, uzročno-posledične veze među faktorima sistema. Dobri primeri konceptualnog prilaza u povezivanju metoda dati su u radovima [8,11,14,28].

3. AHP

AHP se koristi kao podrška individualnih grupnih procesa odlučivanja i kontinuirano je predmet interesovanja istraživača u svetu od svog nastanka pre pedeset godina. Detaljan opis matematičkih osnova i primena metoda AHP može se naći u veoma bogatoj svetskoj literaturi. Autorski tim je svoje teorijske i druge doprinose metodu (uključujući i brojne primene u oblasti vodoprivrede) publikovao u mnogim radovima u međunarodnim časopisima [12,19-22,25] i domaćem časopisu 'Vodoprivreda' [10,23,24] i zato se šira elaboracija svojstava ovog metoda izostavlja.

4. DEMATEL

DEMATEL je matematički jednostavan metod koji se realizuje u pet jasno definisanih koraka koji će ovde biti

ukratko opisani prema referentnim istraživanjima publikovanim u radovima iz spiska na kraju ovog rada. Prva tri koraka metoda dati su prema [15], a četvrti prema [31]. Peti korak (mapiranje) je opisan prema [18]. U prikazu metoda podrazumeva se grupna primena metoda sa M učesnika, uz napomenu da se za $M=1$ radi o individualnoj verziji metoda i da nema osrednjavanja predviđenih u prvom koraku. Ovo je važno napomenuti zbog izmena koje se uvode kod fazifikovanih verzija metoda. U primeru tretiranja kriterijuma pri izboru tehnologije navodnjavanja u sekciji 5 takođe je $M=1$.

Korak 1: Formira se skup faktora F_1, F_2, \dots, F_n koji čine komponente složenog sistema, a međusobno su više ili manje povezani, ili uopšte nisu povezani. Posle identifikovanja faktora, usvaja se skala kauzalnosti za poređenje faktora u parovima. Najčešće se koristi skala: 0 - nema uticaja; 1 - mali uticaj; 2 - srednji uticaj; 3 - visok uticaj. U nekim slučajevima dodaje se i 4 - ekstremno visok uticaj. Faktori i njihove direktne relacije obično se vizuelno prikazuju pomoću usmerenog grafa sa pridruženim vrednostima sa skale.

Korak 2: Svaki član grupe m ($m = 1, \dots, M$) formira sopstvenu matricu direktnih relacija među faktorima F_1, F_2, \dots, F_n korišćenjem skale iz Koraka 1. Zatim se izračunava osrednjena direktna relaciona matrica (*direct influence matrix*) D na osnovu pojedinačnih matrica.

Notacija u kreiranju matrice D je

M – broj članova grupe

n – broj faktora

d_{ij} – stepen uticaja faktora F_i na faktor F_j (i korespondira vrsti matrice, a j koloni matrice)

d_{ij}^k – stepen uticaja faktora F_i na faktor F_j za k -tog člana grupe

d^k – $n \times n$ nenegativna matrica za k -tog člana grupe.

Početna osrednjena direktna matrica $D = [d_{ij}]$ za grupu je

$$d_{ij} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M d_{ij}^m .$$

Ni pojedinačne ni grupna direktna relaciona matrica nisu simetrične, a na glavnoj dijagonali svake matrice su nule.

Korak 3: Normalizacija direktne relacione matrice (D) sastoji se u mapiranju vrednosti d_{ij} na interval $[0,1]$ pomoću relacija

$$N = D/s, \quad s = \max_{1 < i < n} \sum_{j=1}^n d_{ij}, \quad \max_{1 < j < n} \sum_{i=1}^n d_{ij}$$

Korak 4: U ovom koraku izračunava se matrica totalnih uticaja (*total influence matrix*) T kao:

$$T = D(I - D)^{-1}$$

gde je I – jedinična matrica, a superskript (-1) označava inverziju matrice $(I - D)$.

Zatim se u matrici T računaju zbrovi elemenata po vrstama i kolonama i formiraju vektori R i C , respektivno. Ovi vektori se koriste za računanje vektora $R + C$ i $R - C$ koji će na konstruisanom dijagramu prikazati uzročno-posledične veze faktora. Ako su vrednosti u vektorima manje od granične (*threshold*) vrednosti, vrednosti u matrici T se resetuju na nulu.

Notacija koja odgovara navedenom je sledeća:

R – vektor sa zbrovima vrsta matrice T :

$$R = [r_i]_{1 \times n}, r_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}$$

C – vektor sa zbrovima kolona matrice T ;

$$C = [c_j]_{1 \times n}, c_j = \sum_{i=1}^n t_{ij}$$

Threshold vrednost se najčešće određuje kao srednja vrednost vektora R i C . Ima i drugačijih definicija ove vrednosti, ali tekuća istraživanja nose određene kontroverze [18]. Na grafu u sledećem koraku *threshold* vrednost predstavlja centralnu vertikalnu liniju koja razdvaja kvadrante I i IV od II i III.

Zbir elemenata r_i u i -toj vrsti matrice totalnih uticaja T predstavlja zbir direktnih i indirektnih efekata koje faktor F_i ima na ostale faktore. Analogno, svaki zbir elemenata c_j u j -toj koloni matrice T predstavlja zbir direktnih i indirektnih uticaja koje ostali faktori imaju na faktor F_j . Zbir $(r_i + c_j)$ u literaturi se označava kao ‘*Prominence*’ i označava ukupne efekte koje daje ili prima faktor F_i . Istovremeno, ovaj zbir ukazuje na ukupni značaj faktora F_i u analiziranom sistemu. Razlika $(r_i - c_j)$ se označava kao ‘*Relation*’ i pokazuje neto-efekat koji faktor F_i ima u odnosu na sistem. Ako je ova razlika pozitivna, faktor F_i je u grupi neto-uzroka, a ako je razlika negativna, faktor je u grupi neto-posledica. Kada je $j=i$, zbir $(r_i + c_j)$ pokazuje totalne efekte koje daje i prima faktor F_i , što se iskazuje kao stepen značaja koji taj faktor ima u sistemu. Suprotno tome, razlika $(r_i - c_j)$ predstavlja neto-efekat koji faktor F_i ima na sistem. Kada je $(r_i - c_j)$ pozitivno,

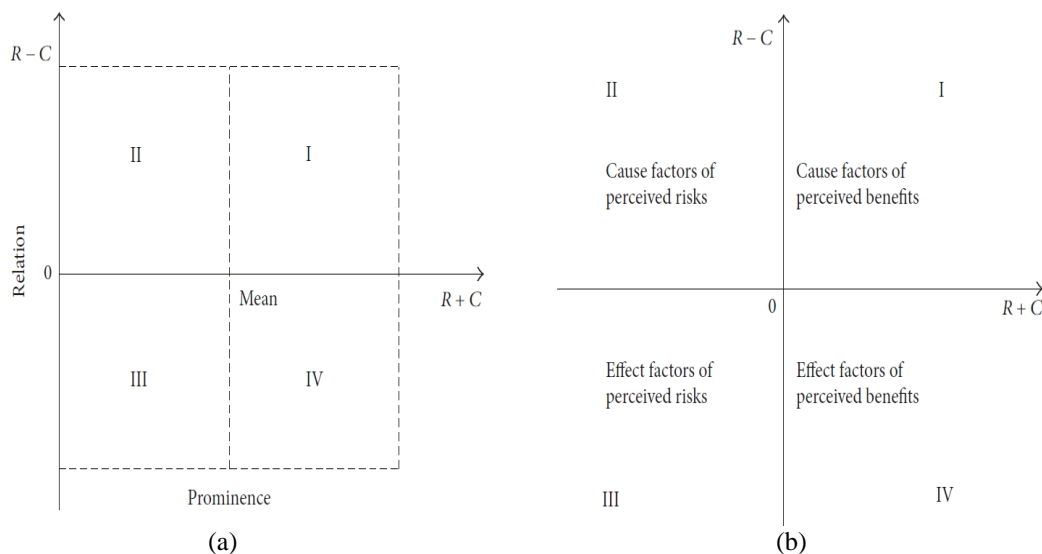
faktor F_i je neto-uzrok, a ako je ta razlika negativna taj faktor je neto-posledica [15,27].

Vrednosti u vektorima $R + C = [r_i + c_j]^T$ i $R - C = [r_i - c_j]^T$ ukazuju na značaj i neto-efekat faktora F_i na sledeći način: $(r_i + c_j)$ predstavlja značaj faktora F_i , a $(r_i - c_j)$ predstavlja neto-efekat istog faktora.

Korak 5: U poslednjem koraku izračunava se granična (*threshold*) vrednost, obično kao srednja vrednost svih elemenata u matrici T [13]. Pomoću ove vrednosti crta se graf sa koordinatnim osama $(r+c, r-c)$ da bi se identifikovali važni i manje važni faktori u sistemu. Ako bi se kompletna informacija iz matrice T koristila za izradu grafa, u opštem slučaju bi graf bio nepregledan i složen da bi pomogao u donošenju odluka. Da bi se dobio dovoljno dobar graf, donosilac odluka koristi *threshold* vrednost tako što se samo vrednosti veće od te vrednosti uzimaju u obzir i unose na graf.

Slika 1 preuzeta iz [18] nastala je kao sinteza istraživanja prikazanih u brojnim radovima posvećenih metodu DEMATEL, posebno u radovima [3, 9, 29, 30]. Ovde je korišćena za objašnjenje načina generisanja grafa (mape faktora sistema) i njegove svrhe kod donošenja odluka.

Na Slici 1(a) kvadranti imaju sledeća značenja i karakteristike. Centralna linija koja razdvaja kvadrante je srednja vrednost $(R + C)$. Faktori sistema u kvadrantu I su glavni faktori, isprepletani davači (uzroci), pošto imaju visok značaj (*prominence*) i dobru povezanost (*relation*) prema drugim faktorima. Faktori u kvadrantu II su faktori pokretači (uzročnici), odnosno autonomni davači pošto imaju mali značaj, ali mnogo relacija povezanosti. Faktori u kvadrantu III imaju mali značaj i malu povezanost i mogu se smatrati relativno nepovezanim sa sistemom; često se označavaju i kao nezavisni faktori ili autonomni primači. Faktori u kvadrantu IV imaju visok značaj i malu povezanost i nazivaju se i impakt faktori ili isprepletani primači. Oni su pod uticajem drugih faktora i ne mogu biti direktno unapređeni. Ovakva raspodela faktora po kvadrantim omogućava donosiocu odluka da bolje sagleda složenost sistema i njegovih faktora i da mu omogući kvalitetnije delovanje u pravcu izvođenja daljih zaključaka i konačnog donošenja odluke.



Slika 1. Grafovi u DEMATEL-u [18]

Slika 1(b) nastala je kao tematski graf-dijagram pri primeni DEMATEL-a u evaluaciji ključnih elemenata odlučivanja o softveru kao uslužnom artefaktu u industriji [29]. Pri izboru softverskog rešenja tretirane su percepirane dobiti (*perceived benefits*) i percepirani rizici (*perceived risks*). Formirana je kauzalna PB-PR mapa sa četiri kvadranta koja svaku pozitivnu vrednost ($R+C$) faktora u PR delu transformiše u negativnu [30]. U kvadrantu I su faktori-uzročnici percepiranih dobiti, u kvadrantu II su faktori-uzročnici percepiranih rizika, u kvadrantu III su faktori-posledice (efekti) percepiranih rizika i, konačno, u kvadrantu IV su faktori-posledice percepiranih dobiti.

5. PRIMER (KRITERIJUMI ZA IZBOR TEHNOLOGIJE NAVODNJAVANJA)

U poslovima odlučivanja u vodoprivredi DEMATEL se koristi kada su u pitanju kompleksne uzročno-posledične veze među faktorima koji opisuju dati predmet odlučivanja – sistem.

Ako se problem odlučivanja tretira kao sistem, njegovi faktori su ciljevi, kriterijumi, alternative, donosioci odluka i dr. Da bi se iz skupa alternativa izdvojila jedna kao optimalna ili najbolja, ili se izvršilo rangiranje alternativa prema kriterijumima u odnosu na cilj, obično se primenjuju preferencijalni metodi višekriterijumske optimizacije. Elementi 'sistema' se međusobno vrednuju po principu značajnosti, pri čemu se obično podrazumeva njihova nezavisnost. U metodu AHP se u parovima poredi alternative u odnosu na dati kriterijum

i koristi se skala značajnosti (dominacije), najčešće sa 9 gradacija, u rasponu od 'jednak značaj poredenih elemenat' (numerička vrednost 1), do 'apsolutno veći značaj jednog elementa u odnosu na drugi' (vrednost 9). U standardnom AHP se, posle svih proračuna i sinteze, dobijaju težinske vrednosti alternativa u odnosu na cilj.

Već u prvom koraku AHP-a, u 'sistemu' (problemu odlučivanja) vrše se, korišćenjem skale 1–9, poređenja kriterijuma u parovima po značajnosti. Polazna pretpostavka je da su kriterijumi u nekoj, po mogućstvu najvećoj, meri međusobno nezavisni u uzročno-posledičnom smislu. Upravo na tom mestu može se iskoristiti DEMATEL da se utvrde uzročno –posledične relacije među kriterijumima, da se ukaže na važnije i manje važne i da se na osnovu mapiranja ukaže na mogućnosti isključivanja ili objedinjavanja nekih kriterijuma.

U primeru iz rada [26], u kontekstu DEMATEL-a sistem je problem odlučivanja, a faktori su kriterijumi među kojima postoje ili ne postoje međusobne relacije koje treba utvrditi u relacionom smislu uzrok–posledica.

Tretira se problem izbora tehnologije navodnjavanja primenom metoda AHP. Ekspert u oblasti ekonomike vodoprivrede vrednovao je pet kriterijuma koje bi trebalo koristiti pri izboru tehnologije.

Satijeva skala značajnosti (preference), matrica poređenja kriterijuma u parovima i izračunate težine kriterijuma dati su u Tabelama 1 i 2.

Tabela 1. AHP kriterijumi i skala

KRITERIJUMI	SKALA značaja*
C1 – Investicije	1 – isti značaj
C2 – Period eksploatacije	3 – srednje veći značaj
C3 – Utrošak energije	5 – veliki značaj
C4 – Utrošak rada	7 – vrlo veliki značaj
C5 – Efikasnost korišćenja vode	9 – apsolutno veliki značaj

*[17]

Tabela 2. AHP matrica poređenja i izračunate težine kriterijuma

Kriterijumi	C1	C2	C3	C4	C5	Težine kriterijuma
C1 - Investicije	1	5	5	3	1	0,391
C2 - Period eksploatacije	1/5	1	1/3	1/3	1/5	0,050
C3 -Utrošak energije	1/5	3	1	5	1	0,201
C4- Utrošak rada	1/3	3	1/5	1	1/5	0,083
C5- Efikasnost kor. vode	1	5	1	5	1	0,276

Upotreba Satijeve skale na desnoj strani Tabele 1 sastoji se u sledećem. Pri poređenju dva kriterijuma daje se semantički odgovor, a u matricu poređenja (Tabela 2) unosi se numerička vrednost. Na primer, ako donosilac odluka smatra da kriterijum C1 ima srednje veći značaj u odnosu na kriterijum C4, u matricu poređenja se unosi vrednost 3. Satijeva skala sadrži i parne vrednosti 2,4,6 i 8 sa semantičkim značenjem između dva susedna značenja.

Težinske vrednosti kriterijuma u poslednjoj koloni Tabele 2 iskazuju preferencu eksperta na osnovu skale

značajnosti. Podsetimo da poređenje u parovima skriva informaciju o značajnosti relacija među kriterijumima. Tačnije, implicira se njihova nezavisnost što može biti i tačno i netačno, ili u tzv. 'sivoj zoni tačnosti'.

Da bi se ilustrovao prilaz preko DEMATEL-a, autori rada su korišćenjem skale kauzalnih relacija iz Tabele 3 konsenzusom generisali polaznu direktnu relacionu matricu *D* datu u Tabeli 4.

Tabela 3. DEMATEL faktori i skala

FAKTORI	SKALA relacija
F1 – Investicije	0 – nema uticaja
F2 – Period eksploatacije	1 – mali uticaj
F3 – Utrošak energije	2 – srednji uticaj
F4 – Utrošak rada	3 – veliki uticaj
F5 – Efikasnost korišćenja vode	4 – ekstremno veliki uticaj

Tabela 4 DEMATEL Matrica direktnih uticaja (*D*)

Kriterijumi	C1	C2	C3	C4	C5	Uzrok/posledica*
C1	0	3	1	0	2	Posledica
C2	1	0	0	0	0	Uzrok
C3	3	2	0	3	3	Posledica
C4	1	1	3	0	0	Uzrok
C5	2	2	3	3	0	Posledica

*Videti Sliku 2 sa rezultatima iz DEMATEL-a

Realizacijom koraka 1–5 generišu se matrice u nizu i formira graf na Slici 2.

Normalizovana direktna relaciona matrica D

.000000	.272727	.090909	.000000	.181818
.090909	.000000	.000000	.000000	.000000
.272727	.181818	.000000	.272727	.272727
.090909	.090909	.272727	.000000	.000000
.181818	.181818	.272727	.272727	.000000

Jedinična matrica

1.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
.000000	1.000000	.000000	.000000	.000000
.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000
.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000
.000000	.000000	.000000	.000000	1.000000

Inverzna matrica

1.157134	0.415450	0.214478	0.131825	0.268882
0.105194	1.037768	0.019498	0.011984	0.024444
0.526065	0.505331	1.300943	0.477653	0.450451
0.258229	0.269928	0.376073	1.143342	0.149516
0.443413	0.475656	0.499909	0.468237	1.216959

Totalna relaciona matrica T

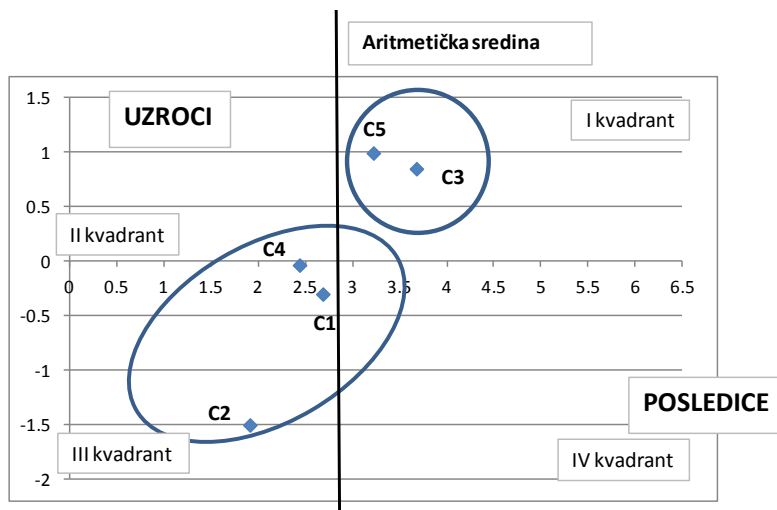
.157134	.415450	.214478	.131825	.268882
.105194	.037768	.019498	.011984	.024444
.526065	.505331	.300943	.477653	.450451
.258229	.269928	.376073	.143343	.149516
.443413	.475656	.499909	.468237	.216959

Threshold vrednost = 2.7793455

R	C	R+C	R-C
1.187769	1.490035	2.677804	-0.302266
0.198888	1.704132	1.903020	-1.505244
2.260443	1.410902	3.671345	0.849541
1.197090	1.233042	2.430131	-0.035952
2.104174	1.110252	3.214426	0.993921

Mapiranje kriterijuma izvršeno na osnovu *threshold* vrednosti (srednje vrednosti kolona R i C) prikazano je na Slici 2, a značenje kvadranta dato je prema [18]:

- I kvadrant - osnovni faktori
- II kvadrant - pokretački faktori
- III kvadrant - nezavisni faktori (mogu da se isključe iz sistema!)
- IV kvadrant - faktori uticaja



Slika 2. DEMATEL mapa (graf) kriterijuma prema uzročno-posledičnim relacijama

Relacije kriterijuma su preko DEMATEL–a prepoznate tako da u grupu uzroka spadaju C2 (period eksploatacije) i C4 (utrošak rada), a posledice su C1

(investicije), C3 (utrošak energije) i C5 (efikasnost korišćenja vode).

Osnovni kriterijumi su C3 (utrošak energije) i C5 (efikasnost korišćenja vode) (videti Sliku 2). Zanimljivo je da su svi preostali kriterijumi faktori koji se mogu isključiti.

Poređenje sa rezultatima AHP (videti težine kriterijuma u Tabeli 2) pokazuje visoku saglasnost dva pristupa istom problemu u nekim bitnim činjenicama. Pri izboru tehnologije navodnjavanja najveću težinu (značaj) po AHP-u imaju investicije (C1), zatim efikasnost korišćenja vode (C5) i utrošak energije (C3), ukupno oko 87%. Po DEMATEL-u, ovi kriterijumi su i osnovni sa izuzetkom C1 (investicije) koji je sasvim malo levo od *threshold* vrednosti na grafu na Slici 2, dakle takođe blizu da bude osnovni. Preferenca mu je najviša (AHP), a ova relativna nesaglasnost dva metoda ukazuje da bi investicije trebalo tretirati kao strateški faktor u problemima odlučivanja o izboru tehnologije navodnjavanja. Kod taktičkog odlučivanja (npr. pri izboru tehnologije za dato područje), kao osnovne faktore treba usvojiti efikasnost u korišćenju vode (C5) i potrebnu energiju za pogon tehnologije (C3).

Postoje i druge mogućnosti poređenja i analize koje se ovde izostavljaju zbog konciznosti prezentovanog istraživanja.

6. ZAKLJUČAK

Metodi standardne višekriterijumske optimizacije u raznim verzijama i na raznim nivoima povezivanja pomažu donosiocima odluka da reše složene probleme alokacije resursa, rangiranja alternativnih rešenja, prepoznavanja kritičnih mesta u lancima ishrane i proizvodnje, sekvenciranja proizvodnih operacija u industriji, izbora tehnologija itd. Kriterijumi odlučivanja su ključno mesto u zadacima višekriterijumske optimizacije jer se nalaze na vrhu hijerarhije (arhitekture) problema i na dominantan način usmeravaju postupke evaluacije drugih elemenata odlučivanja kao što su npr. pod-kriterijumi ili alternative. Zbog značaja koje imaju kriterijumi, jedan od problema je da se ustanovi da li među njima ima zavisnosti i koliko su jake te relacije.

U raznim problemima odlučivanja, kada su isti tretirani kao 'sistemi' pokazalo se da se 'faktori' koji ih čine mogu grupisati u uzroke i posledice i da se na osnovu mapiranja faktora mogu usmeriti i strateški i taktički pravci odlučivanja, ili, u prvoj konsekvenci, selektovati po značaju kriterijumi koji će 'voditi' proces odlučivanja. Upravo ovoj problematici posvećen je metodološki pristup DEMATEL koji u brojnim

oblastima pomaže donosiocima odluka da shvate kauzalnosti u procesima i da zatim reše probleme primenom standardnih višekriterijumskih metoda.

U radu je opisan osnovni model DEMATEL sa svodenjem na verziju kada odluke donosi jedan donosilac odluka. Postoje i grupne verzije koje samo neznatno nadograđuju osnovni model, a zatim i fazi verzije modela, takođe za individualni i grupni kontekst. DEMATEL se povezuje sa drugim modelima odlučivanja u svim verzijama, a prema referentnim radovima najviše sa AHP, VIKOR i ANP metodima, nešto manje i sa BW i TOPSIS. Izloženi primer korišćenja DEMATEL-a sa poznatim hijerarhijskim modelom AHP kod tretiranja problema izbora tehnologije navodnjavanja služi kao ilustracija dubinskog shvatanja i problema odlučivanja i rezultata na kraju procesa odlučivanja.

ZAHVALNICA

Sredstva za realizaciju ovih istraživanja obezbeđena su od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj republike Srbije (ugovor 451-03-9/2022-14/200117).

LITERATURA

- [1] Altunas, S., Yilmaz, M.K. 2016. Fuzzy DEMATEL method to evaluate the dimensions Of marketing resources: an application in sme. *Journal of Business Economics and Management* 17(3): 347–364
doi:10.3846/16111699.2015.1068220
- [2] Chien, K-F., Wu, Z-H., Huang, S-C. 2014. Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects: empirical study. *Automation in Construction*, 45: 1–15.
- [3] Chuang, H-M., Lin, C-K., Chen, D-R., Chen, Y-S. 2013. Evolving MCDM applications using hybrid expert-based ISM and DEMATEL models: an example of sustainable ecotourism. *The Scientific World Journal*, Article ID 751728: 1–18.
- [4] Du Y-W., L, X-X. 2021. Hierarchical DEMATEL method for complex systems *Expert Systems with Applications* 167.113871
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113871>
- [5] Du, Y-W., Zhou, W. 2019. New improved DEMATEL method based on both subjective experience and objective data, *Engineering*

- Applications of Artificial Intelligence, 83 (2019): 57–71
<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.05.001>
- [6] Fontela, E., Gabus, A. 1976. The DEMATEL observer, Battelle Geneva Research Centre, Geneva.
- [7] Gabus, A., Fontela, E. 1972. World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL. Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland.
- [8] Gandhi, S., Mangla, S.K., Kumar, P., Kumar, D. 2016. A combined approach using AHP and DEMATEL for evaluating success factors in implementation of green supply chain management in Indian manufacturing industries. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(6): 537-561.
<http://dx.doi.org/10.1080/13675567.2016.1164126>
- [9] Hwang, W., Hsiao, B., Chen, H-G, Chern, C-C. 2016. Multiphase assessment of project risk interdependencies: evidence from a University ISD project in Taiwan. *ProjectManagement Journal*, 47(1): 59–75.
- [10] Ilić M., Srđević B. 2020. Vrednovanje konstruisanih mokrih polja za prečišćavanje otpadnih voda manjih ruralnih naselja primenom analitičkog hijerarhijskog procesa. *Vodoprivreda* 52: 287-296
- [11] Kijewska, K., Torbacki, W., Iwan, S. 2018. Application of AHP and DEMATEL methods in choosing and analysing the measures for the distribution of goods in Szczecin Region. *Sustainability* 10, 2365.
[doi:10.3390/su10072365](https://doi.org/10.3390/su10072365)
- [12] Lakićević M., Srđević B., Srđević Z., Velichkov I 2016. An example of different AHP structuring in a forest management problem, *Matica Srpska J. Nat. Sci.* 130: 127-137
- [13] Lee, Y. C., Yen, T. M., Tsai, C.H. 2008. Using importance-performance analysis and decision making trial and evaluation laboratory to enhance order-winner criteria- a study of computer industry. *Information, Technology Journal*, 7 (3): 396–408.
- [14] Lin, C.J., Wu, W.W. 2008. A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment., *Expert Systems with Applications*, 34 (1): 205–213.
- [15] Liou, J. J. H., Tzeng, G. H., Changed, H. C. 2007. Airline safety measurement using a hybrid model, *Journal of Air Transport Management*, 13(4): 243–249.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2007.04.008>
- [16] Razavi Toosi, S.L., Samani, J.M.V. 2017. Prioritizing watersheds using a novel hybrid decision model based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR. *Water Resources Management* 31: 2853–2867.
<https://doi.org/10.1007/s11269-017-1667-9>
- [17] Saaty, T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw- Hill, New York.
- [18] Si, S-L, You, X-Y., Liu H-C., Zhang, P. 2018. DEMATEL technique: a systematic review of the state-of-the-art literature on methodologies and applications. *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2018, Article ID 3696457: 1-33. <https://doi.org/10.1155/2018/3696457>
- [19] Srdjevic, Z., Srdjevic, B., Ždero, S., Ilić, M. 2022. How MCDM method and the number of comparisons influence the priority vector. *Computer Science and Information Systems (ComSIS)* 19(1): 251-275.
<https://doi.org/10.2298/CSIS210410051S>
- [20] Srđević, Z., Srđević, B., Suvočarev, K., Galamboš, L. 2020. Hybrid Constructed Wetland Selection as a Group Decision-Making Problem. *Water Resources Management* 34: 295–310. Springer.
<https://doi.org/10.1007/s11269-019-02444-z>
- [21] Srdjevic, B., Srdjevic, Z. 2013. Synthesis of individual best local priority vectors in AHP-group decision making. *Applied Soft Computing* 13: 2045-2056. Elsevier.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2012.11.010>
- [22] Srdjevic, Z., Samardzic, M, Srdjevic, B. 2012. Robustness of AHP in selecting wastewater treatment method for the colored metal industry: Serbian case study. *Civil Engineering and Environmental Systems* 29(2): 147-161. Taylor&Francis.
[doi: 10.1080/10286608.2012.672412](https://doi.org/10.1080/10286608.2012.672412)
- [23] Srđević, B., Suvočarev, K., Srđević, Z. 2009. Analitički hijerarhijski proces: individualna i grupna konzistentnost donosilaca odluka. *Vodoprivreda* 41: 13-21.
- [24] Srđević, B., Kolarov, V. 2005. Varijantna AHP vrednovanja dispozicija crpnih stanica na slivnom području. *Vodoprivreda* 37: 203-214.
- [25] Srdjevic, B. 2005. Combining different prioritization methods in analytic hierarchy

- process synthesis, *Computers & Operations Research* 32 (7): 1897-1919. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2003.12.005>
- [26] Srđević, B., Potkonjak, S., Srđević, Z., Škorić, M., Zoranović, T. 2004. Simulacija grupnog odlučivanja u izboru tehnologije navodnjavanja, Tematski zbornik radova Poljoprivreda između suša i poplava, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad: 126-133.
- [27] Tzeng, G-H., Chiang, C-H., Li, C-W. 2007. Evaluating intertwined effects in e-learning programs: a novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL. *Expert Systems with Applications* 32: 1028–1044.
- [28] Wu, H-H., Shieh, J., Li, Y., Chen H-K. 2010, A combination of AHP and DEMATEL in evaluating the criteria of employment service outreach program personnel. *Information technology Journal*, 9 (3): 569-575.
- [29] Wu, W-W., Lan, L-W., Lee, Y.-T. 2011. Exploring decisive factors affecting an organization's SaaS adoption: a case study. *International Journal of Information Management*, 31(6): 556–563.
- [30] Wu, W-W., Lan, L-W., Lee, Y.-T. 2013. Factors hindering acceptance of using cloud services in university: a case study. *Electronic Library*, 31(1): 84–98.
- [31] Yang, Y. P., Shieh, H. M., Tzen, G. H. 2009. A VICOR technique with applications based on DEMATEL and ANP, in Y. Shi, et.al. (Eds.). *MCDM 2009, CCIS 35*.
- [32] Zhoua, X., Hub, Y., Deng, Y., Chane, F.T.S., Ishizaka, A. 2018. A DEMATEL-Based Completion Method for Incomplete Pairwise Comparison Matrix in AHP. *Annals of Operations Research*, December 2018: 1-24. doi: 10.1007/s10479-018-2769-3

USE OF DEMATEL AND AHP IN ANALYSING CAUSALITY AND PREREFENCES OF CRITERIA IN WATER MANAGEMENT RELATED DECISION-MAKING

by

Zorica SRĐEVIĆ, Bojan SRĐEVIĆ
University of Novi Sad, Faculty of Agriculture,
Department of Water Management, Novi Sad, Serbia

Summary

Decision-making in the presence of multiple criteria to evaluate alternatives is usually supported by the techniques and tools belonging to soft optimization. Methods such as AHP, VIKOR, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE, or BWM, treat criteria a priori as independent; alternatives also. An attempt to identify possible criteria dependence in decision-making problems resulted in the development of the DEMATEL method which maps cause-effect relationships between criteria. There are numerous studies dedicated to

connections of this method with other standard multicriteria methods. In this paper, DEMATEL is briefly described based on the referred articles from the scientific literature. Selected example pointed to possibilities of connecting results of DEMATEL and AHP in strategic and tactical decision-making related to the selection of irrigation technology.

Key words: AHP, DEMATEL, preference, causes and effects, irrigation