

Primjena ELECTRE TRI metode na izbor varijante navodnjavanja

Barbara Karleuša, Boris Beraković, Nevenka Ožanić

Ključne riječi

gospodarenje vodama, metoda ELECTRE TRI, navodnjavanje, Istra, poljoprivredne površine, najpovoljnija varijanta

Key words

water management, ELECTRE TRI method, irrigation, Istria, agricultural land, most favorable alternative

Mots clés

gestion des eaux, méthode ELECTRE TRI, irrigation, Istrie, sol agricole, alternative la plus favorable

Ключевые слова

хозяйствование водами, метод ELECTRE TRI, ирригация, сельскохозяйственные площади, самый подходящий вариант

Schlüsselworte

Wasserwirtschaft, Methode ELECTRE TRI, Bewässerung, Istrien, landwirtschaftliche Flächen, günstigste Variante

B. Karleuša, B. Beraković, N. Ožanić

Prethodno priopćenje

Primjena ELECTRE TRI metode na izbor varijante navodnjavanja

Opisuje se primjena postupka višestruke optimizacije ELECTRE TRI na izbor najpovoljnije varijante navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre. Prikazan je cijeli postupak analize počevši od metodoloških postavki, proučavanja kriterija, generiranja varijanata mogućih rješenja, do izbora optimalne varijante. U zaključku je istaknuta važnost kvalitetnog izbora kriterija na osnovi kojih se biraju optimalna rješenja i navode se koraci pri provođenju cjelokupne analize.

B. Karleuša, B. Beraković, N. Ožanić

Preliminary note

Use of ELECTRE TRI method to select an optimum irrigation alternative

The use of the multiple optimization procedure called ELECTRE TRI for selecting the most favorable alternative for irrigation of agricultural land in Western Istria is described. The entire analytical procedure is presented, i.e. definition of methodological principles, determination of criteria, generation of alternatives, and selection of an optimum alternative. The significance of proper selection of criteria to be used in finding an optimum solution is emphasized, and individual steps of the analysis are presented.

B. Karleuša, B. Beraković, N. Ožanić

Note préliminaire

Utilisation de la méthode ELECTRE TRI dans la sélection d'une alternative optimale d'irrigation

L'utilisation de la procédure d'optimisation multiple appelée ELECTRE TRI afin de sélectionner l'alternative la plus favorable pour l'irrigation agricole dans l'Istrie de l'ouest est décrite. La procédure analytique complète est présentée: définition des principes méthodologiques, détermination des critères, élaboration des alternatives, et sélection de l'alternative optimale. L'importance d'une bonne sélection des critères à utiliser dans la détermination de la solution optimale est mise en relief, et les étapes de l'analyse sont présentées.

Б. Карлеуша, Б. Беракевич, Н. Ожанич 483

Предварительное сообщение

Применение ELECTRE TRI метода при выборе варианта ирригации

В работе описывается применение способа многократной оптимизации ELECTRE TRI при выборе самого подходящего варианта ирригации сельскохозяйственных площадей западной Истры. Показан целый способ анализа, начиная от методологических предпосылок, изучения критериев, генерирования вариантов возможных решений до выбора оптимального варианта. В заключении подчеркнута значимость качественного выбора критериев, на основании которых выбираются оптимальные решения и приводятся шаги при проведении цельного анализа.

B. Karleuša, B. Beraković, N. Ožanić

Vorherige Mitteilung

Anwendung der Methode ELECTRE TRI bei der Auswahl der Bewässerungvariante

Beschrieben ist die Anwendung des Verfahrens der mehrfachen Optimierung ELECTRE TRI zur Auswahl der günstigsten Variante für die Bewässerung der landwirtschaftlichen Flächen im Westen Istriens. Dargestellt ist das gesamte Verfahren der Analyse, angefangen von den methodologischen Postulaten, dem Studium der Kriterien und der Erstellung der Varianten möglicher Lösungen bis zur Auswahl der optimalen Variante. Im Schluss betont man die Wichtigkeit einer qualitativen Auswahl der Kriterien auf deren Grund man die optimalen Lösungen erwählt. Angeführt sind die Schritte der Durchführung der gesamten Analyse.

Autori: Mr. sc. **Barbara Karleuša**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci; prof. dr. sc. **Boris Beraković**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu; prof. dr. sc. **Nevenka Ožanić**, dipl. ing. građ.; Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

1 Uvod

Osnovni cilj gospodarenja vodama jest zadovoljiti ljudske potrebe za vodom uz zadovoljavanje ekonomskih kriterija i kriterija očuvanja prirode. Uz ekonomski kriterij i kriterij očuvanja prirode, u novije se vrijeme pojavljuje i socijalni kriterij. Socijalnim kriterijem vrednuju se posljedice iskorištavanja vodnih resursa na društvo i pojedince, što ima značajnu ulogu u gospodarenju vodama.

Sedamdesetih se godina prošlog stoljeća uvodi kao osnovni koncept u razvoju – koncept održivog razvoja, i danas aktualan i općeprisutan, kojim se naznačuje i odnos čovjeka prema prirodnim resursima (upravljanje resursima).

Polazeći od koncepta održivog razvoja, koji podrazumijeva iskorištavanje raspoloživog blaga (u promatranom slučaju vode kao obnovljivog blaga) trajno podmirujući osnovne ljudske životne potrebe, takav pristup zahtijeva iznalaženje novih i kvalitetnijih rješenja u gospodarenju resursima [1].

Iz osnovnih postavki održivog razvoja proizlaze kriteriji na osnovi kojih je potrebno izraditi i vrednovati postojeća i nova rješenja, kako bi njihov izbor bio usklađen s postavljenim ciljevima.

Kriteriji koji proizlaze iz potreba i cilja očuvanja okoliša na osnovi kojih treba vrednovati rješenja u gospodarenju vodama mogu se svrstati u tri osnovne grupe:

- zadovoljenje potrebe za vodom ili na vodi
- ekološka (očuvanje okoliša) i socijalna prihvatljivost rješenja
- ekonomska opravdanost rješenja.

Takav pristup zahtijeva vrednovanje varijanata po velikom broju složenih kriterija, koji su često izraženi različitim mjernim jedinicama (protok, novac, vrijeme, razne kvalitativne ocjene i sl.), što dovodi do potrebe primjene postupaka višekriterijske optimizacije za izbor koncepcije gospodarenja vodama [2].

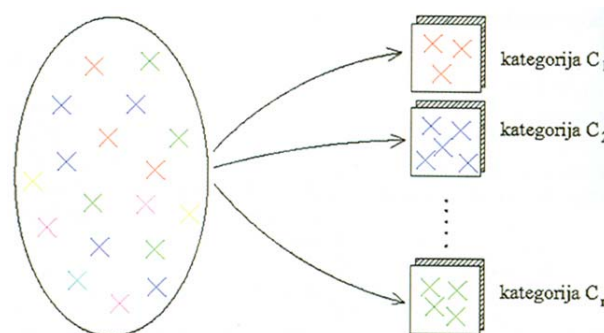
U ovome je radu primjer postupka izbora rješenja kojim bi se riješila potreba navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre sa stajališta zadovoljenja potrebe, ekonomskih, ekoloških i socioloških kriterija primjenom metode višekriterijske optimizacije ELECTRE (Elimination and (Et) Choice Translating Reality) TRI. ELECTRE I, II, III, IV i TRI metode su u svijetu našle svoju primjenu u širokom rasponu različitih djelatnosti, između kojih je i vodno gospodarstvo [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. ELECTRE TRI je recentna metoda iz obitelji ELECTRE i do sada je u Hrvatskoj, prema spoznajama autora, primijenjena samo na prikazanom primjeru. U radu [10] dan je detaljniji prikaz generiranja varijanata, izbora kriterija, vrednovanja varijanata i provođenja višekriterijske optimizacije tom metodom; težište je dano na diskusiju postavki i postupka izbora optimalnog rješenja.

2 Metoda

ELECTRE su postupci višekriterijske optimizacije koji omogućuju izbor najbolje varijante, tzv. selekciju, rangiranje i sortiranje varijanata rješenja nekog problema (ovisno o verziji ELECTRE), vodeći računa o kriterijima i preferencijama donositelja odluke.

ELECTRE I metodu teoretski je razvio matematičar B. Roy, a na njezinim su osnovama kasnije su razvijene metode ELECTRE II, III, IV i TRI [11].

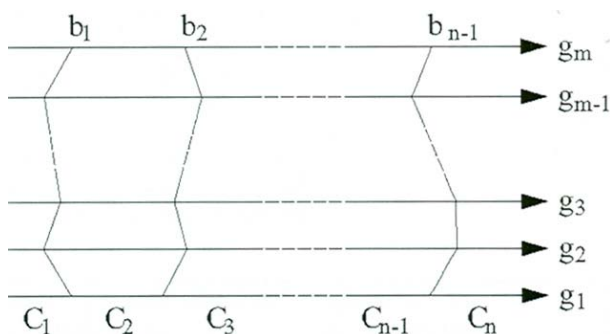
ELECTRE TRI je postupak višekriterijske optimizacije koji se bavi problemom sortiranja varijanata po unaprijed definiranim kategorijama (slika 1.) [12, 13].



Slika 1. Sortiranje varijanata

Za uporabu navedenog postupka potrebno je definirati konačni skup varijanata koje su određene prema kvantitativnim i/ili kvalitativnim kriterijima i skup rangiranih kategorija koje odgovaraju unaprijed definiranim preporukama (npr. C_1 kategorija - jako dobra rješenja, C_2 kategorija - dobra rješenja, ..., C_r -ta kategorija - srednje dobra rješenja, ..., C_n -ta kategorija - jako loša rješenja).

Sortiranje varijante a temelji se na njezinoj usporedbi s referentnim tzv. fiktivnim varijantama b_i ($i = 1, \dots, n-1$) odnosno s vrijednostima fiktivnih varijanata po odabranim kriterijima g_j ($j = 1, \dots, m$, gdje je m ukupan broj kriterija). Fiktivne varijante predstavljaju granice kategorija C_i ($i = 1, \dots, n$, gdje je n broj kategorija) što se vidi na slici 2.



Slika 2. Prikaz kategorija definiranih fiktivnim varijantama

Rezultat primjene ELECTRE TRI metode jest "varijanta a je dodijeljena kategoriji C_i " odnosno "varijanta a nije dodijeljena kategoriji C_i ".

Dodjeljivanje varijante a rezultira iz stvarne procjene a po kriterijima i normama koje definiraju kategorije (dodjela varijante a određenoj kategoriji ne utječe na kategoriju kojoj će biti dodijeljena neka druga varijanta).

Za bolje razumijevanje postupka potrebno je razjasniti pojam kriterija. U kontekstu dane metode kriterij g je stvarna funkcija iz A u \mathfrak{R} takva da usporedbu varijanata a i b temelji na usporedbi vrijednosti $g(a)$ i $g(b)$.

Preferencija po kriteriju može rasti ili padati. U prvom slučaju to znači da što je veća vrijednost $g(a)$, to je varijanta a bolja po kriteriju g (kriterij kvalitete), odnosno u drugom slučaju, što je veća vrijednost $g(a)$ to je varijanta a lošija po kriteriju g (kriterij cijena).

Za kriterije vrijedi:
$$\begin{cases} g(a) = g(b) \Rightarrow aI_g b \\ g(a) > g(b) \Rightarrow aP_g b \end{cases} \quad (1)$$

gdje I_g predstavlja indiferenciju, a P_g strogu preferenciju u odnosu na kriterij g .

U praktičnim problemima procjena varijanata može biti izložena neizvjesnosti, netočnosti i lošoj definiranosti. Stoga mala razlika procjene $g(a) - g(b)$ može uzrokovati strogu preferenciju, iako bi bilo bolje da se definira indiferencija. Da bi se izbjegle takve i slične situacije definira se općenitiji oblik kriterijske funkcije pri kojem se funkcija g konstruira kao :

$$g(a) \geq g(b) \Rightarrow aS_g b \quad (2)$$

gdje $aS_g b$ znači "a je barem jednako dobra kao b" po kriteriju g . Poželjno je odrediti granice, koje nazivamo *pragovima*, između indiferencije i stroge preferencije. Zato se uvode vrijednosti q i p :

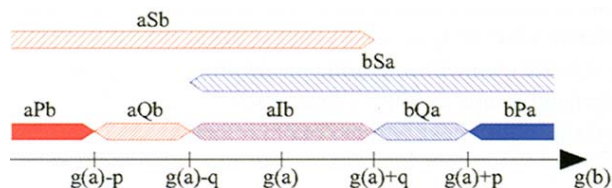
$$\begin{cases} |g(a) - g(b)| \leq q \Rightarrow aI_g b \\ q < g(a) - g(b) \leq p \Rightarrow aQ_g b \\ g(a) - g(b) > p \Rightarrow aP_g b \end{cases} \quad (3)$$

gdje je Q_g slaba preferencija u odnosu na kriterij g .

Parametri q i p nazivaju se *pragovi indiferencije* odnosno *pragovi preferencije*. Koncept pseudokriterija prikazan je na slici 3.

Slučaj $p = q = 0$ predstavlja *običan* ili *pravi kriterij*, a općeniti slučaj $q \geq 0$ i $p \leq 0$ *pseudokriterij*. Postoje dvije specifične situacije *pseudokriterija* - ako je $q = p$ tada se

radi o *semi-kriteriju*, a ako vrijedi $q = 0$ tada se radi o *prekriteriju*.



Slika 3. Koncept pseudokriterija

Postupak višekriterijskog sortiranja varijanata ELECTRE TRI razlikuje se od većine standardnih postupaka rangiranja varijanata jer su kategorije koje razmatramo kod ovog pristupa definirane "a priori" i ne slijede kao rezultat analize [10]. Kategorije su zamišljene i definirane tako da se varijante dodijeljene istoj kategoriji mogu tretirati kao jednake (jednako dobre ili jednako loše).

Postupak sortiranja varijanata može biti pesimističan ili optimističan ovisno o izboru parametra λ . Na taj način dobivamo mogućnost objektivnog izbora (prema unaprijed zadanim kriterijima) mogućih rješenja.

Na danim teoretskim matematičkim osnovama postupka ELECTRE TRI razvijen je računalni program ELECTRE TRI 2.0 a. Program je predviđen za primjenu u Windows okruženju koje je primijenjeno pri pripremi ovoga rada.

3 Analiza

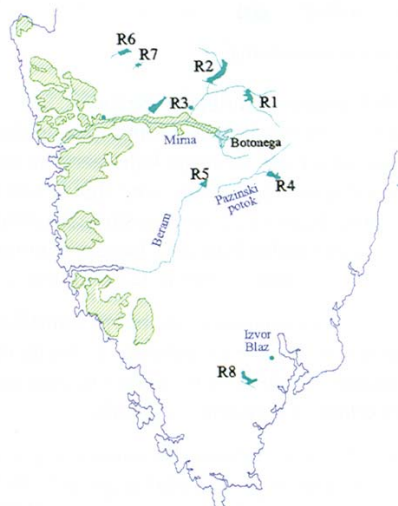
Opisana metoda, odnosno računalni program, primijenjena je na izboru optimalne varijante pri gradnji akumulacija kojima bi osnovna namjena bila navodnjavanje poljoprivrednih površina zapadne Istre. Radi se o studiji iz 1979. [14] započetoj još u okviru UNDP-FAO programa koja je novelirana u radu [15]. Na temelju potreba vode za navodnjavanje i raspoloživih količina vode na području zapadne Istre, koje su analizirane i definirane u studiji [15], generirane su varijante rješavanja navedenog problema.

Analizirana moguća rješenja zahvata i iskorištavanja vode vezana su za slivove:

- rijeke Mirne (na kojoj bi se mogle izgraditi, uz već izgrađenu akumulaciju Botonega, akumulacije: Rečina (R1), Bračana (R2) i Blaškići (R3)),
- Pazinskog potoka (akumulacija Rakov potok (R4)),
- Beramskog potoka (akumulacija Beram (R5))
- Zrenjske visoravni (akumulacija Momjan (R6), retencija Bazuje (R7)) i
- izvor Blaz (akumulacija Marčana (R8)).

Vodeći računa o izvedivosti, funkcionalnosti, ekološkim i socijalnim ograničenjima i prihvatljivim troškovima

generirano je dvanaest varijanata koje obuhvaćaju različite kombinacije akumulacija/retencija (slika 4.): Rečina (R1), Bračana (R2), Blaškići (R3), sustav Rakov potok-Beram (R4+R5), sustav Momjan-Bazuje (R6+R7) i Marčana (R8), koje bi se gradile u četiri ili pet faza, ovisno o varijanti, s time da bi prva faza za sve varijante bila iskorištavanje vode rijeke Mirne i okolnih izvora.



Slika 4. Lokacije poljoprivrednih površina i potencijalnih akumulacija u Istri

Varijante su koncipirane kao različite kombinacije akumulacija/retencija:

- Varijanta 1. - Rečina (R1), Bračana (R2) i Blaškići (R3)
- Varijanta 2. - Rečina (R1), Bračana (R2), Rakov potok-Beram (R4 + R5) i Momjan-Bazuje (R6 + R7)
- Varijanta 3. - Rečina (R1), Bračana (R2), Marčana (R8) i Momjan-Bazuje (R6 + R7)
- Varijanta 4. - Rečina (R1), Blaškići (R3), Rakov potok-Beram (R4 + R5) i Momjan-Bazuje (R6 + R7)
- Varijanta 5. - Rečina (R1), Blaškići (R3), Marčana (R8) i Momjan-Bazuje (R6+R7)
- Varijanta 6. - Bračana (R2), Blaškići (R3) i Momjan-Bazuje (R6 + R7)
- Varijanta 7. - Bračana (R2), Blaškići (R3) i Rakov potok-Beram (R4 + R5)
- Varijanta 8. - Bračana (R2), Blaškići (R3) i Marčana (R8)
- Varijanta 9. - Bračana (R2), Rakov potok-Beram (R4 + R5), Marčana (R8) i Momjan-Bazuje (R6 + R7)
- Varijanta 10. - Blaškići (R3), Rakov potok-Beram (R4 + R5) i Marčana (R8)

Varijanta 11. - Rečina (R1), Bračana (R2), Rakov potok-Beram (R4 + R5) i Marčana (R8)

Varijanta 12. - Rečina (R1), Blaškići (R3), Rakov potok-Beram (R4 + R5) i Marčana (R8)

Kao primjer razrađenosti varijanata prikazat će se varijanta 1. koja obuhvaća navodnjavanje poljoprivredne površine od 18499 ha, koje bi se moglo ostvariti u sljedećim fazama (slika 5.):

- I. faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botoaega/dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,
- II. faza – navodnjavanje 3400 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini i 800 ha doline Mirne, vodom iz akumulacije Rečina,
- III. faza – navodnjavanje 6612 ha Poreštine iz akumulacije Bračana,
- IV. faza – navodnjavanje 7087 ha, od kojih 3036 ha Bujštine, 3827 ha Rovinjštine i 224 ha doline Mirne, iz akumulacije Blaškići.

Varijanta 1. obuhvaća gradnju sljedećih crpnih postaja (slika 5.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Bujštine,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Poreštine i Rovinjštine.



Slika 5. Varijanta 1.

Vrednovanje varijanata provedeno je prema skupu od deset izabranih, različitih, uobičajeno upotrijebljenih kriterija i odgovarajućih mjera postavljenih u sklopu cjelovitog i svestranog razmatranja problema [16].

Odabrani su sljedeći kriteriji:

- kriteriji kojima se procjenjuje zadovoljenje potreba vezanih uz vode:
 - **P**, navodnjavana površina u *ha*,
 - **VVV**, zaštita od velikih voda - obujam velikoga vodnoga vala kojeg mogu zadržati akumulacije pojedine varijante u m^3 ,
- ekonomski kriteriji:
 - **C**, cijena m^3 vode za navodnjavanje u kn,
 - **D**, dobit od navodnjavanja (uz kamatu od 8%) u mil. kn,
 - **R**, rentabilnost navodnjavanja (za kamatu od 8%) ,
 - **IKS**, interna kamatna stopa u %,
- ekološki kriteriji:
 - **EK/P**, utjecaj na područje koje se potapa akumulacijom (vrednovanje preko sume površina koje potapaju akumulacije pojedine varijante) u m^3 ,
 - **EK/K**, utjecaj na krajobraz područja (vrednovanje lošeg izgleda bokova akumulacije pri niskim vodostajima preko zbroja visina pregrada pojedine varijante) u *m*,
- socijalni kriteriji:
 - **SK/UP**, negativan utjecaj zbog potapanja naselja (ocjena 1 ako akumulacije varijante uzrokuju potapanje nekog naselja),
 - **SK/R** rekreacija (svakoj je akumulaciji dan 1 bod ako se ona može služiti za rekreaciju; zbrajanjem bodova po akumulacijama dobije se ukupan broj bodova za svaku pojedinu varijantu).

Pregled vrednovanja varijanata po odabranim kriterijima nalazi se u tablici 1.

Tablica 1. Vrednovanje varijanata po izabranim kriterijima

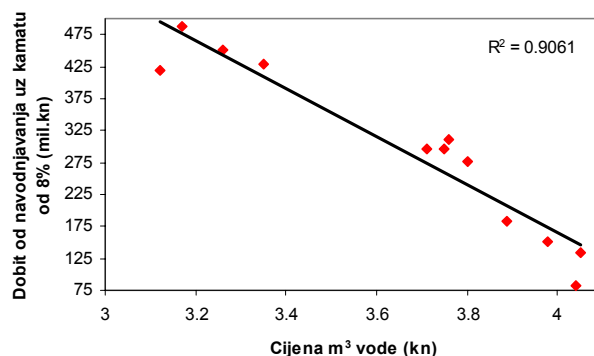
Varijante	P [ha]	VVV [$m^3 \cdot 10^6$]	C [kn]	D (za 8%) [mil.kn]	R [za 8%]	IKS [%]	EK/P [$m^2 \cdot 10^3$]	EK/K [m]	SK/UP	SK/R
1	18499	8,48	3,76	312,057	1,229	11,65%	33660	142	1	2
2	17475	11,72	3,17	487,068	1,434	14,08%	50370	170,8	0	2
3	17475	9,42	3,26	449,713	1,388	13,75%	47500	149,3	0	3
4	17950	6,47	3,89	184,293	1,134	9,81%	32470	193,8	1	1
5	17950	4,17	3,98	150,740	1,107	9,54%	29600	172,3	1	2
6	17735	6,19	3,75	296,186	1,211	11,19%	33350	146,3	1	1
7	18526	7,55	3,71	297,143	1,204	11,05%	42160	131,5	1	1
8	18526	5,25	3,80	275,849	1,186	10,93%	39290	110	1	2
9	17502	8,49	3,12	417,761	1,335	12,76%	56000	138,8	0	2
10	17977	3,24	4,04	82,769	1,055	8,76%	38100	161,8	1	1
11	18266	10,78	3,35	428,189	1,348	13,26%	56310	134,5	0	3
12	18741	5,53	4,05	134,541	1,091	9,33%	38410	157,5	1	2

S obzirom na to da su kriteriji često međusobno zavisni njihova nekritična primjena može dovesti do nesvjesnog preferiranja određenih rješenja pa je stoga nužno provesti ispitivanje međusobne zavisnosti kriterija prije pristupanja višekriterijskoj optimalizaciji.

Ovisno o koeficijentu korelacije R (ili kvadratu koeficijenta korelacije R^2) može se odrediti prema [17] kolika je međuzavisnost kriterija:

- za $1 < R < 0,75$ ili $1 < R^2 < 0,5625$ korelacijska veza je čvrsta,
- za $0,75 < R < 0,5$ ili $0,5625 < R^2 < 0,25$ korelacijska veza je izražena,
- za $R < 0,5$ ili $R^2 < 0,25$ korelacijska veza je slabo izražena.

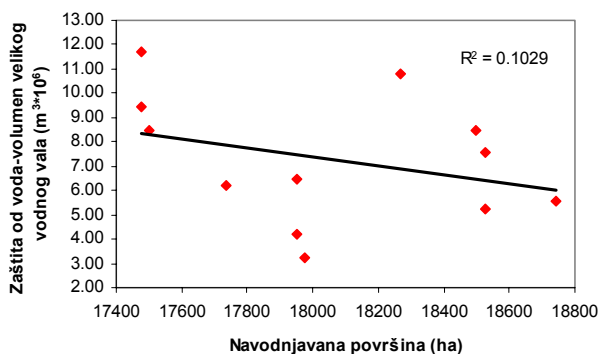
Na slici 6. prikazana su dva kriterija kod kojih je korelacijska veza čvrsta, dok su na slici 7. prikazana dva kriterija kod kojih je korelacijska veza slabo izražena.



Slika 6. Ispitivanje međusobne zavisnosti kriterija cijena m^3 vode-dobit od navodnjavanja (uz kamatu od 8%) – rezultat: korelacijska veza je čvrsta

Tablica 2. Rezultati ispitivanja međusobne zavisnosti izabranih kriterija

	P	VVV	C	D	R	IKS	EK/P	EK/K	SK/UP	SK/R
P	0	NE (0,1029)	DA/NE (0,3693)	NE	NE	NE (0,2331)	NE (0,1047)	NE (0,1391)	DA/NE (0,3672)	NE (0,0092)
VVV	NE (0,1029)	0	DA (0,7429)	DA	DA	DA (0,8604)	DA/NE (0,5211)	NE (0,0128)	DA (0,6439)	DA/NE (0,3022)
C	DA/NE (0,3693)	DA (0,7429)	0	DA (0,9061)	DA (0,9298)	DA (0,9017)	DA (0,7302)	NE (0,0463)	DA (0,8737)	DA/NE (0,2966)
D	NE	DA	DA (0,9061)	0	DA (0,9774)	DA (0,9869)	DA	NE	DA	DA/NE
R	NE	DA	DA (0,9298)	DA (0,9774)	0	DA (0,9919)	DA	NE	DA	DA/NE
IKS	NE (0,2331)	DA (0,8604)	DA (0,9017)	DA (0,9869)	DA (0,9919)	0	DA (0,5753)	NE (0,0785)	DA (0,7561)	DA/NE (0,3906)
EK/P	NE (0,1047)	DA/NE (0,5211)	DA (0,7302)	DA	DA	DA (0,5753)	0	NE (0,1174)	DA (0,8035)	DA/NE (0,3156)
EK/K	NE (0,1391)	NE (0,0128)	NE (0,0463)	NE	NE	NE (0,0785)	NE (0,1174)	0	NE (0,0062)	NE (0,0755)
SK/UP	DA/NE (0,3672)	DA (0,6439)	DA (0,8737)	DA	DA	DA (0,7561)	DA (0,8035)	NE (0,0062)	0	DA/NE (0,4706)
SK/R	NE (0,0092)	DA/NE (0,3022)	DA/NE (0,2966)	DA/NE	DA/NE	DA/NE (0,3906)	NE (0,0755)	NE (0,0755)	DA/NE (0,4706)	0



Slika 7. Ispitivanje međusobne zavisnosti kriterija navodnjavanja površina-zaštita od voda – rezultat: korelacijska je veza slabo izražena

Rezultati ispitivanja međusobne zavisnosti izabranih kriterija prikazani su u tablici 2. gdje je označeno: sa DA – čvrsta korelacijska veza, DA/NE – izražena korelacijska veza i NE – slabo izražena korelacijska veza. Brojevi u zagradama predstavljaju kvadrat koeficijenta korelacije R^2 .

Pri ispitivanju međusobne zavisnosti uočeno je, što se i očekivalo, da su kriteriji dobit, rentabilnost i interna kamatna stopa izrazito zavisni, odnosno da je između njih korelacijska veza vrlo čvrsta pa je stoga kao predstavnik tih kriterija odabran kriterij interna kamatna stopa, a ostala su dva kriterija isključena.

Da bi se došlo do optimalnog rješenja, u navedenom je primjeru, primjenom postupka višekriterijske optimiza-

Tablica 3. Vrijednosti fiktivnih varijanata po odabranim kriterijima (granice kategorija)

Fiktivna varijanta	P [ha]	VVV [$m^3 \cdot 10^6$]	C [kn]	IKS [%g]	EK/P [$m^2 \cdot 10^3$]	EK/K [m]	SK/UP	SK/R
1	18635,5	11,01	3,20	13,64	31825,8	116,98	0,08	2,83
2	18530	10,31	3,28	13,19	34051,7	123,97	0,17	2,67
3	18424,5	9,60	3,35	12,75	36277,5	130,95	0,25	2,50
4	18319	8,89	3,43	12,31	38503,3	137,93	0,33	2,33
5	18213,5	8,19	3,51	11,86	40729,2	144,92	0,42	2,17
6	18108	7,48	3,59	11,42	42955	151,90	0,50	2,01
7	18002,5	6,77	3,66	10,98	45180,8	158,88	0,58	1,83
8	17897	6,07	3,74	10,53	47406,7	165,87	0,67	1,67
9	17791,5	5,36	3,82	10,09	49632,5	172,85	0,75	1,50
10	17686	4,65	3,90	9,65	51858,3	179,83	0,83	1,33
11	17580,5	3,95	3,97	9,20	54084,2	186,82	0,92	1,17

cije, provedeno sortiranje po dvanaest kategorija (kategorija 1. – najbolja rješenja ..., kategorija 12. – najlošija rješenja) i sortiranje po tri kategorije (kategorija 1. – dobra rješenja, kategorija 2. – srednje dobra rješenja i kategorija 3. – loša rješenja).

Granice kategorija odnosno vrijednosti fiktivnih varijanata b_i po kriterijima formirane su na način da su razlike najveće i najmanje vrijednosti koju su postigle stvarne varijante vrednovanjem po pojedinom kriteriju podijeljene s brojem kategorija i na taj način izračunani intervali između uzastopnih kategorija odnosno fiktivnih varijanata, što je prikazano u tablici 3., analogno je provedeno i za određivanje dviju fiktivnih varijanata za slučaj sortiranja varijanata po tri kategorije.

Sortiranje varijanata po dvanaest kategorija provedeno je za dva tipa scenarija: scenarij A i scenarij B, dok je sortiranje varijanata po tri kategorije provedeno samo za scenarij A.

Scenarij A obuhvaćao je sortiranje varijanata po kategorijama uzevši u obzir sve kriterije (izuzev dobiti i rentabilnosti):

Scenarij A: P+C+IKS+VVV+EK/P+EK/K+SK/UP+SK/R.

Scenarij B obuhvaćao je sortiranje varijanata po kategorijama uzevši u obzir samo međusobno nezavisne kriterije na način da je iz svake grupe međusobno zavisnih kriterija izabran samo jedan kriterij kao predstavnik te grupe:

Scenarij B: P+IKS+EK/K+SK/R.

Tablica 4. Vrijednosti q i p za formiranje pragova indiferencije / preferencije pseudokriterija

Kriterij	Mjera	q	p
P	ha	300	600
C	kn	0,1	0,2
IKS	%	1	2
VVV	$m^3 \cdot 10^6$	1	2
EK/UP	$m^2 \cdot 10^3$	1000	3000
EK/K	m	5	10

Sortiranje varijanata po dvanaest odnosno po tri katego-

Tablica 5. Rezultati primjene ELECTRE TRI na primjeru izbora optimalne varijante navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre u slučaju sortiranja varijanata po dvanaest kategorija

Scenarij	Tip kriterija	Kategorije varijanata											
		1 (najbolja)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 (najlošija)
A	Običan	2	3/11			1/9	7	6/8/12		5	4		10
A	Pseudokriterij*	2/3/11		9	1	6/7/8		12	4/5		10		
B	Običan	3	11	8	7	1/9		2/6/12	5/10		4		

* izuzev socijalnih kriterija za koje vrijedi tip kriterija = običan

rije provedeno je prvo na način da su svi kriteriji tretirani kao tzv. obični kriteriji (što znači da za pragove indiferencije odnosno preferencije q i p vrijedi pretpostavka $q = p = 0$), a zatim kao pseudokriteriji s pragovima indiferencije odnosno preferencije za sve kriterije, osim socijalnih za koje je i dalje upotrijebljen običan kriterij (tablici 4.).

Sortiranje je provedeno za podjelu $\lambda = 0,5$ za koju optimističan i pesimističan pristup daju jednake rezultate. U ovom radu svim kriterijima dodijeljena je jednaka težina iako metoda daje mogućnost definiranja različitih težina (važnosti) kriterija [10, 12, 13].

4 Rezultati

Primjena postupka višekriterijske optimizacije ELECTRE TRI (odnosno računalnoga programa ELECTRE TRI 2.0 a) na primjeru izbora optimalne varijante kojom bi se mogao riješiti problem navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre, prema postavkama ispitivanja prikazanim u prethodnoj točki, dala je rezultate koji su prikazani u tablicama 5. i 6.:

Tablica 6. Rezultati primjene ELECTRE TRI na primjeru izbora optimalne varijante navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre u slučaju sortiranja varijanata po tri kategorije

Scenarij	Tip kriterija	Kategorije varijanata		
		Dobra	Srednje dobra	Loša
A	Običan	2/3/11	1/6/7/8/9/12	4/5/10
A	Pseudokriterij*	1/2/3/9/11	4/5/6/7/8/12	10

* izuzev socijalnih kriterija za koje vrijedi tip kriterija = običan

Može se uočiti povezanost rezultata iz tablica 5. i 6. za scenarij tipa A, gdje prve četiri kategorije (tablica 5.) odgovaraju prvoj kategoriji (tablica 6.) koja predstavlja «dobre» varijante, druge četiri kategoriji «srednje dobrih» varijanata, a zadnje četiri kategoriji «loših» varijanata.

Iz tablice 6. uočava se da sortiranje varijanata po manjem broju kategorija omogućava suženje broja varijanata, eliminiranjem «srednje dobrih» i «loših varijanata», na

skup «dobrih varijanata» koji u ovom primjeru tvore varijante 2., 3. i 11. za slučaj običnih kriterija, te još varijante 1. i 9., ako se rabe pseudokriteriji.

Analiza međusobne zavisnosti kriterija te primjena nezavisnih kriterija prema scenariju B (tablica 5.) dala je drugačije rezultate nego uporaba svih kriterija prema scenariju A, te kao najbolju varijantu ističe varijantu 3., iza nje varijantu 11., te varijante 7. i 8. koje po scenariju A pripadaju tek kategorijama 6. i 7., dok varijanta 2. koja je najbolja po scenariju A pripada tek kategoriji 7. po scenariju B. Iz navedenog se uočava kako izbor kriterija po kojima će se izabirati optimalna varijanta može utjecati na konačni ishod.

Uočava se da primjena pseudokriterija za isti scenarij sortira neke varijante u više kategorije od onih u koje su sortirane uporabom običnih kriterija, što znači da upotreba pseudokriterija daje mogućnost «neznatno lošijim» (ta tolerancija se definira pragovima indiferencije i preferencije) varijantama da uđu u uži skup varijanata između kojih se bira konačno rješenje.

5 Zaključak

U ovome radu, primjenom postupka ELECTRE TRI na primjeru izbora optimalne varijante navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre, utvrđena je pogodnost primjene višekriterijske optimizacije na problemima gospodarenja vodama.

Istaknuta je važnost kvalitetnog izbora kriterija na osnovi kojih se biraju optimalna rješenja jer loše definirani kriteriji i primjena kriterija bez prethodne analize među-

sobne zavisnosti mogu dovesti do lošeg izbora konačne varijante.

Treba napomenuti da na kvalitetu konačnog ishoda višekriterijske optimizacije utječe i kvaliteta generiranja varijanata kojom se autori nisu u ovom radu detaljnije bavili.

Stoga se zaključuje da je za kvalitetno provođenje višekriterijske optimizacije potrebno:

- dobro definirati/generirati varijante,
- primjereno odabrati kriterije po kojima će se varijante vrednovati,
- provesti analizu međusobne zavisnosti kriterija,
- odabrati postupak višekriterijske optimizacije koja odgovara tipu problema koji se rješava,
- provesti višekriterijsku optimizaciju,
- analizirati rezultate.

Uz dužan oprez pri provođenju navedenih koraka, primjena višekriterijske optimizacije može biti vrlo koristan i stoga preporučljiv alat za objektivan izbor mogućih rješenja u području gospodarenja vodama. Također se zaključuje da daljnja istraživanja poboljšanja u procesu rješavanja problema gospodarenja vodama treba ponajprije usmjeriti na definiranje i razradu kriterija te definiranje i vrednovanje složenih varijanata rješenja gospodarenja vodama.

LITERATURA

- [1] UN/ECE Sustainable Development: *Agenda 21*, Konferencija o Zemlji / Earth Summit, Rio de Janeiro, Brazil, 1992.
- [2] Đorđević, B.: *Vodoprivredni sustavi*, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [3] Margeta, J.; Andričević, R.; Mladineo, N.: *Višekriterijalno rangiranje potencijalnih lokacija za male hidroelektrane*, Naše građevinarstvo, 40 (1986) 1, 34-38.
- [4] Riel, P.; Leblanc, D.: *Multicriterion Selection of Wastewater Management Alternatives*, Journal of Water Resources Planning and Management, 115 (1989) 5, 711-713.
- [5] Duckstein, L.; Treichel, W.; El Magnouni, S.: *Ranking Groundwater Management Alternatives by Multicriterion Analysis*, Journal of Water Resources Planning and Management, 120 (1994) 4, 546-565.
- [6] Cordeiro Netto, O.; Parent, E.; Duckstein, L.: *Multicriterion Design of Long-Term Water Supply in Southern France*, Journal of Water Resources Planning and Management, 122 (1996) 6, 403-413.
- [7] Raju, K.S.; Pillai, C.R.S.: *Multicriterion decision making in river basin planning and development*, European Journal of Operational Research, 112 (1999), 249-257.
- [8] Ganoulis, J.: *Evaluating alternative strategies for wastewater recycling and reuse in the Mediterranean area*, Water Science and Technology: Water Supply, 3 (2003) 4, 11-19.
- [9] Raju, K. S.; Duckstein, L.: *Integrated application of cluster and multicriterion analysis for ranking water resources planning strategies: a case study in Spain*, Journal of Hydroinformatics, 6 (2004), 295-307.
- [10] Karleuša, B.: *Primjena postupaka višekriterijske optimizacije u gospodarenju vodama*, Magistarski rad, Zagreb, 2002.
- [11] Roy, B.; Vincke, P.: *Multicriteria analysis: survey and new direction*, European Journal of Operational Research, 8 (1981) 3, 207-218.
- [12] Mousseau, V.; Slowinski, R.; Zielniewicz, P.: *ELECTRE TRI 2.0 a Methodological Guide and User's Manual*, Université Paris-Dauphine-Paris-Francuska i Poznan University of Technology-Piotrowo-Poljska, 1998.

- [13] Mousseau, V.; Slowinski, R.: *Inferring an ELECTRE TRI Model from Assignment Examples*, Journal of Global Optimization (1998) 12, 157-174.
- [14] UNDP-FAO: *Studija o mogućnostima razvoja i eksploatacije vodnog bogatstva u Istri - Jugoslavija*, Jugoslavija, 1979.
- [15] Građevinski fakultet: *Plan navodnjavanja za područje istarskih slivova*, Rijeka, 1998.
- [16] Grupa autora: *Uputstva za vrednovanje višenamenskih vodoprivrednih projekata sa ekonomskog, društvenog i aspekta zaštite životne sredine*, Ekonomska zajednica za razvoj i suradnju, Paris. (1982).
- [17] Žugaj, R.: *Hidrologija*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2000.