

Originalan naučni rad
Original scientific paper

UDC: 627.15:626/627

DOI: 10.5825/afts.2011.0305.001M

OPTIMIZACIJA IZBORA KONCEPCIJE POSTROJENJA MALE HIDROELEKTRANE NA UNAPRIJED UTVRĐENOJ MAKROLOKACIJI METODOM VIŠEKRITERIJALNOG RANGIRANJA - Teoretske osnove

Milovanović Zdravko¹, Knežević Darko¹, Milašinović Aleksandar¹,
Dumonjić-Milovanović Svetlana²

¹ Mašinski fakultet Banja Luka, E.mail: zdravko.milovanovic@unibl.rs

² Partner inženjering doo Banja Luka, E.mail: partner.ing@teol.net

REZIME

U radu se razmatra problem definisanja optimalne koncepcije realizacije objekta MHE sa aspekta izbora varijante u okviru već definisanog prostora. Za izabrane kvalitativne i kvantitativne karakteristike određuju se relativni težinski koeficijenti kombinacijom AHP (Analitical Hierarchial Process), Saaty-eve skale i primarno defininisanih vrijednosti parametara. U konkretnom problemu razmatra se više alternativa, koje su definisane kvalitativnim kriterijumima i sa nepreciznim vrijednostima što navodi na ideju da se postojeće višekriterijalne metode prilagode rješavanju takvih problema rangiranja alternativnih rješenja u smislu postepenog smanjenja polaznih više kriterijuma. Prvi dio rada predstavlja kratki pregled teoretskih osnova.

Ključne riječi: mala hidroelektrana, optimizacija, kriteriji, rangiranje, teoretske osnove

USAGE OF METHODS OF OPTIMIZATION FOR SELECTION OF CONSTRUCTIVE CONCEPTION OF FACILITIES OF SMALL HYDRO POWER PLANTS ON PREVIOUSLY SELECTED MACRO LOCATIONS BY METHOD OF MULTY CRITERIA RANKING – Theoretical basis

ABSTRACT

Article considers usage of optimization method regarding the selection of optimal concept of facilities of SHPP (Small Hydro Power Plants) from the point of view of selection of options within already defined space. For selected qualitative and quantitative characteristics relative ponder (weighted) coefficients are set through the mixture of AHP (Analytical Hierarchical Process), Saaty- scale and primary defined parameters. Within specified problem we deal with alternatives which are defined through qualitative criteria, without precise parameters which gives an impression that existing multi criteria method should be adjusted for solving such problems of ranking alternative solutions by gradual reduction of prior starting multi criteria. Described optimization method is applied on selection of system of Small Hydro Power Plants on Sućeska River as part of Drina River that was later designed,

constructed and initiated into regular exploitation. The first part presents a brief overview of the theoretical basis.

Key words: *small hydro power, optimization, criteria, ranking, theoretical basis*

UVOD

Izbor prave metode odlučivanja kod donošenja odluka na nivou projektovanja malih hidroelektrana (MHE) i izbora najboljeg rješenja na određenom prostoru predstavlja jedan od osnovnih problema, od čijeg rješenja zavisi dalja realizacija izgradnje i eksploatacija. Iako se koriste različite metode i tehnike odlučivanja, problematika donošenja odluka predstavlja važnu aktivnost, koja vremenom postaje sve značajnija (intenzivan razvoj teorije odlučivanja, kao nove naučne discipline), [1]. Po Schermerhornu, odluka je izbor između više alternativnih mogućnosti za rješavanje problema, kojom se želi postići neki cilj, jer ona obično predstavlja odziv na neku konkretnu potrebu. Ona predstavlja rezultat izbora jedne iz skupa više alternativa, koje donosiocu odluke (pojedinačnom ili najčešće grupnom) stoje na raspolaganju, [2]. Za razliku od klasične optimizacione metode (koristi samo jedan kriterijum pri odlučivanju, čime se drastično umanjuje i realnost problema koji se može rješavati), pod pojmom višekriterijumskog odlučivanja podrazumijevaju se situacije odlučivanja kada postoji veći broj konfliktnih kriterijuma, [3]. Problem definisanja optimalne koncepcije realizacije objekta MHE sa aspekta izbora varijante u okviru već definisanog prostora koji se mogu razmatrati korišćenjem višekriterijumskog odlučivanja posjeduju određene zajedničke karakteristike: veći broj kriterijuma, koje mora kreirati donosilac odluke, velika vjerovatnoća postojanja konflikta između kriterijumima, neuporedljive (različite) jedinice mjere (po pravilu svaki kriterijum ima različite jedinice mjere), kao i projektovanje ili izbor najoptimalnijih koncepcija na unaprijed utvrđenom prostoru. Pri tome, kao rješenja pojavljuje se ili projektovanje najbolje alternative ili izbor najbolje akcije iz skupa prethodno definisanih konačnih akcija.

VRSTE RJEŠENJA I KLASE METODA VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE

Proces odlučivanja i izbora najoptimalnijeg rješenja prilikom projektovanja energetskih postrojenja je višekriterijumskog tipa, pri čemu je potrebno u obzir uzeti veći broj faktora i interesa različitih grupacija i nivoa društvene zajednice (često i međusobno suprotstavljenih), uz učešće više interesnih grupa u procesu odlučivanja. Postavlja se pitanje kako pomiriti sve ove kriterijume, sa aspekta različitih preferencija i često međusobno suprotstavljenih interesa. U procesu traganja za najboljim rješenjem (ili, što je češći slučaj, najboljim kompromisnim rješenjem) u posljednjih pet-šest decenija su razvijene metode višekriterijumskog odlučivanja (*Multicriteria Decision Analysis - MCDA* i *Multi Criteria Decision Making - MCDM*), kao podrška odlučivanju ovog tipa. Da bi se mogle koristiti, u praksi srećemo veliki broj njihovih modifikacija, s ciljem njihovog dodatnog prilagođavanja konkretnom modelu. S druge strane, često zbog nedostatka svih informacije, postojanja određenog konflikta kriterijuma, zatim neodređenosti u subjektivnom vrednovanju, kao i različitih prioriteta više donosilaca odluka kod grupnog odlučivanja, primjena višekriterijumske analize često daje mnogo rješenja. Na nivou projektovanja i izrade izvedbene dokumentacije greške u ovom procesu mogu donijeti teško popravljive efekte tokom redovne eksploatacije (posebno u relativno skupim postrojenjima, kakva su energetska i procesna postrojenja). Ta greška je nešto manja kod postrojenja malih hidroelektrana. Prilikom izbora varijantnih rješenja kod malih hidroelektrana, idealan slučaj bi odgovarao situaciji kada se svi kriterijumi u problemu mogu klasifikovati u dvije kategorije: profitnu kategoriju (benefit), gdje se kriterijumi maksimiziraju, pri čemu kriterijum ne mora nužno biti profitni (može biti i ekološki, uz jasan podsticaj od strane republičkog i lokalnog nivoa vlasti, koji će obezbijediti razliku do slične profitabilnosti objekta velikih hidroelektrana), i troškovnu kategoriju (cost), gdje se kriterijumi minimiziraju (minimalne cijene po instalisanom kW snage ili proizvedenom kWh električne energije). Idealno rješenje bilo bi ono koje omogućava maksimiziranje svih profitnih i minimiziranje svih troškovnih kriterijuma, što je u praksi veoma teško postići. Kako idealno rješenje nije moguće postići, potrebno je tražiti tzv. nedominiranih rješenja (rješenje je dominirano ako postoji bar jedno drugačije rješenje, koje je bar po jednom atributu bolje od posmatranog, uz uslov da je po

drugim atributima bar jednako). Rješenje se smatra nedominiranim (drugi kriterijum), ako ga ne dominira nijedno od drugih rješenja. Treću kategoriju čine tzv. zadovoljavajuća rješenja, kao redukovani podskup mogućih rješenja, u kome svaka alternativa nadmašuje sve definisane aspiracione nivoe kriterijuma. Zadovoljavajuće rješenje nije nedominirano rješenje, a koliko je zadovoljavajuće zavisi od očekivanja (aspiracija) donosioca odluka. Konačno, postoje poželjna rješenja koja su nedominirana, a najbolje zadovoljavaju očekivanja donosioca odluke.

U principu razlikuju se dvije grupe metoda - jednostavne nekompensacione metode za jednostavnija odlučivanja i preciznije kompensacione metode za složenija odlučivanja. Prva grupa ne dopušta kompensacije između atributa, što znači da neželjena vrijednost jednog atributa ne može biti popravljena željenom vrijednošću drugog, odnosno svaki atribut djeluje za sebe, "ne miješa se" sa ostalima, a poređenja alternativa vrše se po pravilu "atribut protiv atributa". Među nekompensacionim metodima važniji od ostalih su: *metod dominacije* (eliminirane sve dominirane alternative, a broj rješenja može biti veći od jedan), *max-min metod* (odredi se najslabiji atribut (min) za svaku alternativu, a zatim se bira alternativa sa najjačim (max) naslabijim (min) atributom, pri čemu logika metoda je da je lanac jak onoliko koliko je jaka njegova najslabija karika), koji je primjenljiv samo kada su vrijednosti atributa uporedljive, bilo da su iz istog mjernog sistema, ili su prethodno transformisane na istu mjernu skalu, *max-max metod*, koji za razliku od prethodnog, bira alternativu po najboljoj vrijednosti atributa, pri čemu gornja napomena o primjenljivosti i ovdje važi, zatim *konjuktivni metod ograničenja* (za svaki atribut definiše se minimalni standard, izbor alternative ili proces vrednovanja se pojednostavljuje tako što se svaki atribut poredi u odnosu na sopstveni standard, pri čemu ako standard odražava očekivanja donosioca odluke, dobijena rješenja su zadovoljavajuća rješenja), kao i *disjunktivni metod ograničenja*, koji vrednuje alternativu prema njenom najboljem atributu, bez obzira na ostale. Navedeni metodi imaju uglavnom metodološki značaj, jer stvaraju kostur za preciznije kompensacione metode potrebne u složenijim poslovima odlučivanja. Za razliku od njih, kompensacioni metodi dopuštaju kompenziranje atributa. Smanjenje vrijednosti jednog atributa je prihvatljivo ako vrijednosti jednog ili više drugih atributa rastu. Kompensacioni metodi se mogu podijeliti u četiri grupe:

- a) *metodi korisnosti*, gdje se alternative vrednuju i rangiraju prema korisnosti izraženoj tzv. "skorom" (*utility*) u odnosu na sve atribute, pri čemu korisnost obično odražava preferencu samom donosiocu odluka (da bi poređenje atributa bilo moguće, njihove vrijednosti se transformišu na zajedničku vrijednosnu skalu, npr. [0,1], popularan metod iz ove grupe je aditivni, po kome se za svaku alternativu računa ukupna korisnost kao zbir ponderisanih korisnosti atributa, gdje spada i poznati metod *Analitički hijerarhijski proces (AHP)*, prema kome se odnosi alternativa računaju po poseboj proceduri na osnovu poređenja atributa i alternativa u parovima);
- b) *metodi kompromisa*, kojima se bira alternativa najbliža idealnom rješenju (karakterističan je TOPSIS u kome se prvo vrši normalizacija matrice odlučivanja, a zatim računaju ponderisana rastojanja alternativa u odnosu na idealno rješenje i negativno idealno rješenje, a za rješenje problema usvaja se alternativa koja je relativno najbliža pozitivnom i relativno najudaljenija od negativnog idealnog rješenja; drugi poznati metod u ovoj grupi je CP (kompromisno programiranje), koji rastojanja od idealnog rješenja tretira u raznim metrikama kao što su linearna, Euklidska i Čebiševljeva);
- c) *metodi saglasnosti (konkordanse)*, gdje se redoslijed alternativa generiše po prioritetu tako da mjera saglasnosti bude zadovoljena na najbolji način (logika je da alternativa sa dovoljno visokim rangovima po više atributa bude i konačno visoko rangirana), sa *linearnim asignacionim metodom* kao tipičnim predstavnikom ove grupe metoda (najpoznatiji je skup metoda ELECTRE I do IV).

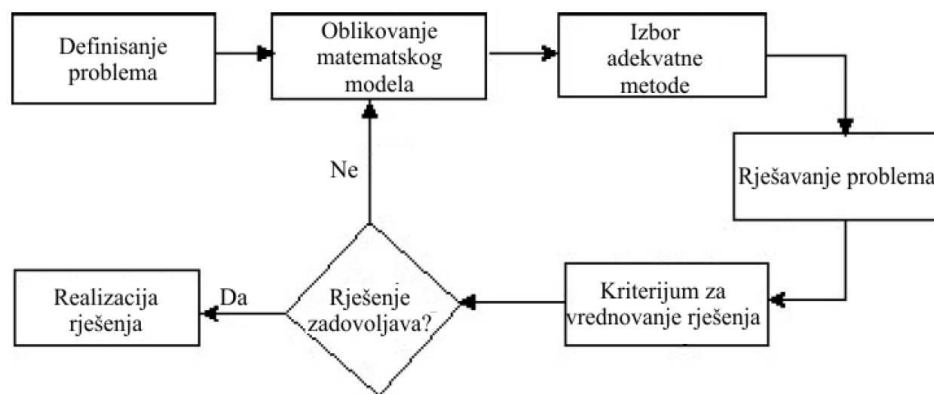
FAZE RJEŠAVANJA PROBLEMA

Osnovne faze rješavanja problema sastoje se od određenih modula, koji su međusobno uslovljeni, slika 1. Ove faze obuhvataju realizaciju određenih koraka, kao što su:

- *definisanje problema*, sa korektnom identifikacijom i pravilnim definisanjem problema, kao polaznom i relativno najslženijom fazom u procesu dobijanja rješenja (problem se

identifikuje, zatim misaono struktuiru i najčešće se zatim deskriptivno modelira, pri čemu isti problem se može definisati na razne načine i raznim simbolima, zavisno od sposobnosti analitičara i njegove specijalnosti);

- *izrada (oblikovanje) matematskog modela*, koji odražava stvarni problem iz prakse, oblikovan specifičnim preslikavanjem ili prevođenjem deskriptivnog modela u egzaktni model (složenost ove konverzije zavisi od složenosti problema, njegovih karakteristika (linearnost, determinisanost) i zahtjeva za jednostavnošću modela);
- *izbor, razrada ili modifikacija metode za rješavanje postavljenog problema*, koja zavisi od oblikovanog modela problema (cilj je da se primjenom metode dobije rješenje u kvantitativnom obliku, čime se stvaraju uslovi i za njegovo vrednovanje);
- *rješavanje modela pomoću metode i dobijanje jednoznačnog ili prihvaćenog (sa određenim stepenom pouzdanosti) rezultata u očekivanoj formi (izražen u kvantitativnom obliku, pri čemu analitičko rješenje predstavlja ujedno i najpreciznije rješenje);*
- *kriterijumsko vrednovanje modela na osnovu rezultata testiranja*, kao mjera usaglašenosti predviđenih i ostvarenih vrijednosti, pri čemu najznačajniji kriterijum predstavlja vrednovanja optimalnosti rješenja;
- *implementacija dobijenog rješenja*, gdje se teoretskom verifikacijom modela prihvata mogućnost primjene rješenja u praksi (implementacija predstavlja sprovođenje rješenja direktno u realnim uslovima).



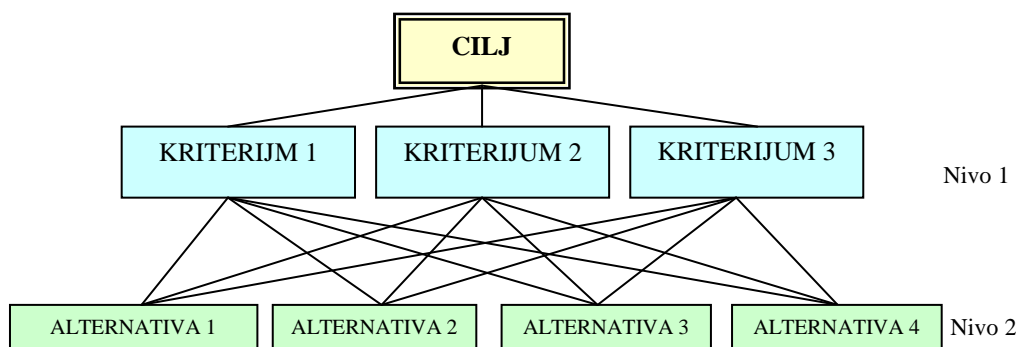
Slika 1. Osnovne faze rješavanja matematičkog modela problema

Figure 1 Basic stages of solving a mathematical problem model

AHP kao alat za donošenje odluka

Analitički hijerarhijski proces (AHP) je jedan od metoda naučne analize mogućih scenarija i donošenja odluka konzistentnim vrednovanjem hijerarhija čije elemente čine ciljevi, kriterijumi, podkriterijumi i alternative. Za razliku od primjene geometrijske i aritmetičke sredine, kojima se donose odluke na bazi prosjeka veličina, AHP uključuje značajnost alternativa za svaku odluku (*preferential differences*) i rang alternative za svaku odluku (*preferential ranks*), [8,4]. Na osnovu većeg broja publikovanih radova, može se zaključiti da AHP predstavlja pogodan sistem za podršku odlučivanju, lako prilagodljiv različitim problemima kod varijantnih odlučivanja sa više kriterijuma, a koji sa druge strane se realizuje kao softver za PC platforme sa kompletnom tehničkom podrškom u oblasti višekriterijumskog odlučivanja, [1,2]. Idejnu i matematičku postavku AHP dao je *Thomas Saaty* 1971. godine (detaljno izložena u izdanju "*The Analytic Hierarchical Processes*", Saaty, 1980. godina). Na osnovu analize dosadašnje primjene može se zaključiti da se AHP metoda intenzivno koristi za odlučivanje u oblastima menadžmenta, upravljanja, alokacije, distribucije i svim drugim oblastima gdje je potrebna primjena višekriterijalnog odlučivanja, [4]. AHP, kao alat za formiranje i analizu hijerarhije odlučivanja spada u klasu metoda za tzv. "meku" optimizaciju. Primjenom AHP vrši se interaktivno kreiranje hijerarhije problema kao priprema scenarija odlučivanja, te vrednovanje elemenata hijerarhije u parovima (ciljeva, kriterija i alternativa) u *top-down* smjeru. Sinteza svih vrednovanja po strogo utvrđenom matematičkom modelu određuje težinski koeficijent svih elemenata hijerarhije, pri čemu je zbir težinskih koeficijenata na svakom nivou jednak jedinici. U postupku

donošenja odluke rangiraju se svi elementi u redove i kolone. Vršiti se interaktivna analiza osjetljivosti postupka vrednovanja na konačne rangove elemenata hijerarhije, a sve do kraja procedure i sinteze rezultata provjerava se konzistentnost rezonovanja pri odlučivanju i utvrđuje ispravnost dobijenih rangova alternative i kriterija, kao i njihovih težinskih vrijednosti. Prilikom utvrđivanja hijerarhije cilj se nalazi na vrhu hijerarhije, dok su kriterijumi, podkriterijumi i alternative na nižim nivoima. Na slici 2 radi ilustracije dat je izgled jedne hijerarhije, koju čine cilj, tri kriterijuma i četiri alternative. Hijerarhija ne mora da bude kompletna kako je prikazano na slici, jer neki od elemenata na prvom nivou ne mora da bude kriterijum za sve elemente u podnivou, što upućuje na podjelu na podhijerarhije sa zajedničkim elementom jedino na vrhu hijerarhije. U slučajevima složenih problema sa mnogo kriterija i alternativa, primjenom AHP se relativno lako pronadu jednačine (relacije) između uticajnih faktora, odnosno lako se prepozna eksplicitni ili relativni uticaj i odredi dominantnost nekog od faktora u odnosu na druge. Pri analizi ovom metodom mogu biti uključeni i kvalitativni i kvantitativni aspekti. Naučni osnov analitičkog hijerarhijskog procesa je veoma opsežan, a njegov značaj ogleda se i u zastupljenosti ovog metod u raznim oblastima.



Slika 2. Primjer hijerarhije u AHP-u
Figure 2 Example of a hierarchy in the AHP

Matematički osnovi AHP

U opštem slučaju hijerarhijski struktuiran model AHP sastoji se od cilja, kriterijuma, podkriterijuma i alternativa. Ako se na nekom nivou k nalazi se n elemenata koji se porede u parovima (svaki sa svakim) u odnosu na neposredno nadređeni element na višem nivou. Potrebno je ukupno $n \cdot (n - 1) / 2$ poređenja za svaki od kriterija, podkriterija i alternativa, pri čemu n određuje broj kriterija na posmatranom nivou. Aksiomi na kojima se zasniva AHP izloženi su u radovima Saaty-ja, Alphonse-a i Harker & Vargas. Treba izdvojiti aksiom recipročnosti (ako je element A n puta značajniji od elementa B, tada je element B za $1/n$ puta značajniji od elementa A), aksiom homogenosti (poređenje ima smisla samo ako su elementi upoređljivi), aksiom zavisnosti (dozvoljava poređenje među grupom elemenata jednog nivoa u odnosu na element višeg nivoa, tj. poređenja na nižem nivou zavise od elemenata višeg nivoa) i aksiom očekivanja (definiše da svaka promjena u strukturi hijerarhije zahtijeva ponovo računanje prioriteta u novoj hijerarhiji). Rezultati poređenja smiještaju se u odgovarajuće matrice poređenja, pri čemu se vrši međusobno poređenje svakog od elemenata k -tog nivoa (ukupno n elemenata), u odnosu na neki individualni kriterij l iz višeg nivoa, tj. odgovarajući element iz $k - 1$ nivoa, što u matičnom obliku glasi

$$A_l = \begin{bmatrix} 1 & a_{l12} & \dots & a_{l1n} \\ 1/a_{l12} & 1 & \dots & a_{l2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{l1n} & 1/a_{l2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (1)$$

Vrijednost elemenata matrice A_l , koji predstavljaju brojnu vrijednost odgovarajućih poređenja, uzimaju se iz Saaty-jeve skale date u tabeli 1.

Tabela 1. Saaty-jeva skala vrednovanja, [2]
Table 1. Saaty value ranking, [2]

Značaj	Definicija	Objašnjenje
1	Istog značaja	Dva elementa su identičnog značaja u odnosu na l
2	Međuvrijednosti slab ili blag	Potreban kompromis ili dalja podjela
3	Umjerena dominantnost	Iskustvo ili rasuđivanje neznatno favorizuju jedan element u odnosu na drugi
4	Međuvrijednosti veće od umjerene dominantnosti	Potreban kompromis ili dalja podjela
5	Jaka dominantnost	Iskustvo ili rasuđivanje znatno favorizuju jedan element u odnosu na drugi
6	Međuvrijednosti veće od jake dominantnosti	Potreban kompromis ili dalja podjela
7	Demonstrirana dominantnost ili veoma jaka dominantnost	Dominantnost jednog elementa, koja je dodatno potvrđena u praksi
8	Međuvrijednosti veće od veoma jake dominantnosti	Potreban kompromis ili dalja podjela
9	Apsolutna dominantnost	Dominantnost najvišeg stepena

Tako se na primjer kod poređenja prvog elemenata sa ostalim, na odgovarajućim nivou hijerarhije, dobija prvi red matrice, drugog sa ostalim drugi red, itd. pri čemu se u poređenjima primjenjuje aksiom recipročnosti. Sopstvena (karakteristična) vrijednost matrice A određuje se preko izraza $(A - \lambda I) \cdot \vec{X} = \vec{0}$, što predstavlja homogeni sistem linearnih jednačina, gdje su: λ - sopstvena (karakteristična) vrijednost matrice, I - jedinična matrica, \vec{X} - karakterističan vektor matrice A ($\vec{X} \neq 0$), ako postoji λ takav da je $A\vec{X} = \lambda\vec{X}$. Matrica $A - \lambda I$ zove se karakteristična matrica, a homogeni sistem linearnih jednačina ima netrivialna rješenja samo kada je determinanta karakteristične matrice jednaka nuli. I ovog uslova se dalje računaju sopstvene vrijednosti matrice. Smisao matrice poređenja najlakše se može shvatiti tako što će se uvesti relativni težinski koeficijenti w_n , kojima odgovaraju elementi matrice X . Tada se izraz $A\vec{X} = \lambda\vec{X}$ u matricnom obliku može zapisati kao

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}, \quad (2)$$

pri čemu su elementi a_{ij} matrice A zapisani preko količnika relativnih težinskih koeficijenata w_i/w_j , a elementi X kao w_i .

Vlastiti vektor \vec{X} može se dobiti rješavanjem sistema homogenih linearnih jednačina, odnosno po nekoj od relacija za određivanje normalizovane vrijednosti težinskih koeficijenata. Prema Saaty-u (1980. god.) normalizovane vrijednosti težinskih koeficijenata slijede iz sljedećih jednačina:

$$w_{li} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{lij} / \sum_{i=1}^n a_{lij}, \quad w_{li} = \sum_{j=1}^n a_{lij} / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{lij}, \quad (3)$$

$$w_{li} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{lij}} \right) / \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{lij}} \right), \quad w_{li} = \left(\prod_{j=1}^n a_{lij} \right)^{\frac{1}{n}} / \sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{lij} \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (4)$$

Posljednja jednačina (4) za dobijanje težinskih koeficijenata predstavlja metod normalizacije geometrijskih sredina (najzastupljenija u praktičnoj primjeni). Ponavljanjem postupka računaju se težinski koeficijenti elemenata svakog nivoa u odnosu na sve elemente prethodnog nivoa, idući ka nižim nivoima hijerarhije na kome su alternative. Nakon toga, kada su poznati svi težinski koeficijenti, računaju se kompozitni relativni težinski koeficijenti svih alternativa. Zbir relativnih kompozitnih koeficijenata je jedan (1). Donosilac odluke raspolaže sa dvije ključne informacije - utvrđen je relativan značaj svake alternative u odnosu na cilj na vrhu hijerarhije (značajnost alternative) i utvrđen je redoslijed alternativa po značenju (rang alternative).

Konzistentnost donosioca odluka u procesu vrednovanja elemenata hijerarhije

Metodom AHP identifikuje se i analizira nekonzistentnost donosioca odluka u procesu rasuđivanja i vrednovanja elemenata hijerarhije, jer je donosilac odluke rijetko dosljedan pri procjenjivanju vrijednosti i odnosa kvalitativnih elemenata u hijerarhiji. Da bi se izračunao stepen konzistentnosti (CR), prvo se računa indeks konzistentnosti (CI) za svaku matricu poređenja prema relaciji

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad \text{a zatim } CR = \frac{CI}{RI}, \quad \text{gdje je: } \lambda_{\max} - \text{maksimalna vrijednost od svih dobijenih}$$

sopstvenih vrijednosti matrice, RI - indeks randomizacije (slučajni indeks), n - broj elemenata nivoa. Slučajni indeks (RI) zavisi od reda matrice, a peuzima se iz tabele 2, u kojoj prvi red predstavlja red matrice, a drugi vrijednost slučajnih indeksa. Ako je stepen konzistentnosti (CR) manji od 0,10, rezultat je dovoljno tačan i nema potrebe za korekcijama u poređenjima i ponavljanja proračuna. Ukoliko je stepen konzistentnosti veći od 0,10, rezultate bi trebalo ponovo analizirati i ustanoviti razloge nekonzistentnosti, te postupak ponavljati sve dok se ne dođe do snižavanja stepena konzistentnosti do tolerantnog limita. Ukoliko to nije izvodljivo, manjim korekcijama potrebno je postupak ponoviti od početka.

Tabela 2. Slučajni indeksi (Saaty, 1980.)

Table 2 Random indices(Saaty, 1980)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,0	0,0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

DEFINISANJE KRITERIJUMA ZA IZBOR VARIJANTE REALIZACIJE MHE SA ASPEKTA UNAPRIJED DEFINISANE MAKROLOKACIJE

Makrolokacija za svaku od rijeka iz posmatranog sliva je definisana određenim strateškim dokumentima na nivou republičkog ili lokalnog nivoa, [4]. Najčešće se, zbog nedostatka pouzdanije baze podataka, za male hidroelektrane (u BiH su to oni objekti čija instalisana snaga ne prelazi 10 MW) kao polazna usvajaju rješenja data važećim vodoprivrednim osnovama za određene slivove rijeka, [1]. Često, ova rješenja su veoma skupa (u početku su i rađena isključivo za monopolska elektroprivredna preduzeća) i ne prate trend razvoja novih tehnologija i korišćenja nove opreme u oblasti hidroenergetike, pa je neophodno dodatno izvršiti ocjenu varijantnih rješenja prema određenim kriterijumima i uslovima, koji će se primjenjivati u postupku poređenja i izbora koncepcija za realizaciju MHE u okviru unapred odabrane makrolokacije. Ovi kriterijumi, osim svoje različitosti, mogu biti i međusobno suprotstavljani, pa je potrebno za vrednovanje alternativa u višekriterijumskoj analizi potrebno i raspolagati metodom, kojom bi se omogućila njihova simultana obrada, uz uvažavanje inherentnih mogućnosti svakog tehnološkog pristupa i njihove relativne međusobne

važnosti prema kriterijumima. Kod izbora i ocjene konceptualnih varijantnih rješenja korišćenja vode na jednom vodotoku u formi realizacije jedne ili više malih hidroelektrana u tačno definisanom prostoru (makrolokaciji), najčešće se koriste sljedeći kriterijumi i uslovi: *energetski pokazatelji* (f_1), *prostor potreban za smještaj objekata i postrojenja hidroenergetskog bloka* (f_2), *zauzetost mikrolokacije* (f_3), *topografski uslovi* (f_4), *seizmološki uslovi i inženjersko-geološke karakteristike tla* (f_5), *uslovi transporta i dopreme postrojenja i opreme* (f_6), *uslovi otpreme i deponovanja otpada* (f_7), *uslovi i način povezivanja sa elektroenergetskom mrežom* (f_8), *uslovi i način povezivanja sa javnim saobraćajnicama* (f_9), *ekološki uslovi* (f_{10}), *ekonomski uslovi* (f_{11}), *društvena opravdanost, naseljenost i razvoj* (f_{12}), *pouzdanost, održavanje i ocjena rizika* (f_{13}), *plasman električne energije* (f_{14}), *podsticajne mjere i cijena preuzete energije* (f_{15}) i *ostali uslovi* (f_{16}). U okviru kriterija pod nazivom "ostali uslovi" kod sistema MHE najčešće se razmatra cijena ukupnog projekta sa uključenim troškovima za obezbjeđenje sredstava i eventualno drugi uslovi koji nisu obuhvaćeni sa prethodno specificiranim, a koji mogu biti od značaja za razmatranu mikrolokaciju u okviru makrolokacije (radioaktivna područja, područja tretirana posebnom zakonskom legislativom, prostori koji su predmet posebne pažnje investitora).

ZAKLJUČAK

Metode višekriterijumske analize se razvijaju u pravcu omogućavanja što većeg i kreativnijeg sistematskog uključivanja donosioca odluke (projektanta) u proces donošenja optimalnih odluka izbora varijantnih rješenja primjenom računara. Primjena modifikovane višekriterijumske metode za određivanje prioriteta između pojedinih alternativa realizacije konkretne male hidroelektrane u već zadatim okvirima zasnovana je na značajnom učešću donosioca odluka odnosno projektanta i dobrom poznavanju problema i učešću više donosioca odluke različitih specijalnosti, kako bi se dobio optimalan redoslijed kriterijuma po kojoj se i bira konačna varijanta za dalju razradu dokumentacije. Nivo razvoja na kome se nalaze metode višekriterijumske analize pruža dobru osnovu za njihovo korišćenje u rešavanju realnih problema kod izbora varijantnih rješenja smještanja MHE u okviru unaprijed zadate šire makrolokacije.

LITERATURA

1. Bauer, R. A., Collar, E. and Tang, V. (1992). The Silverlake Project, New York: *Oxford University Press*.
2. Bhushan, N. and Ria, K. (2004). Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process, London: *Springer-Verlag London Limited*.
3. Brans, J. P., Vincke Ph. (1985). Preference ranking organization method/The Promethee Method for Multiple criteria Decision Making. *Management Science*, Vol. 31, No. 6. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647> **crossref**
4. Čupić, E. M., Tummala, R. (1997). Modern decision making, methods and application. Beograd: FON
5. Feasibility Study of SHPP R-S-1, SHPP R-S-2 i SHPP R-S-3 (2006). Banja Luka: Institute for Civil Engineering "IG".
6. Hydro Energy Study of confluents of upper stream of river Drina. (1984). Sarajevo: Water Management of BiH, Faculty of Civil Engineering Sarajevo and State Weather Bureau of BiH Sarajevo.
7. Project documentation for Water Management Study and hydro energetic exploitation of upper stream basin of river Drina. Beograd: Energoprojekt Beograd.
8. Radojičić, M., Vesić, J., Randić, S. (2002). Possible approach to multi criteria selection of investment projects. Tara: Conference Proceedings, SYM-OP-IS.
9. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp. 83-98. <http://dx.doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590> **crossref**