

Originalan naučni rad
Original scientific paper
UDC: 627.15:626/627
DOI: 10.5825/afts.2011.0305.009M

OPTIMIZACIJA IZBORA KONCEPCIJE POSTROJENJA MALE HIDROELEKTRANE NA UNAPRIJED UTVRĐENOJ MAKROLOKACIJI METODOM VIŠEKRITERIJALNOG RANGIRANJA - MHE Sućeska instalisane snage 2x1, 015 MW

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 razmatraju se alternative 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. Drugi dio rada razmatra problem vezan za određivanje mikrolokacije MHE Sućeska inbсталisane snage 2x1,015 MW.

Ključne riječi: mala hidroelektrana, optimizacija, kriteriji, rangiranje

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 - SHPP Sućeska installed power 2x1, 015 MW

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 second part considers the problem of determining the micro-locations Small Hydro Power Plants (SHPP) Sućeska installed power 2 x 1, 015 MW.

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

UVOD

Problemi koji se mogu razmatrati korišćenjem višekriterijumskog odlučivanja poseduju 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. Kao rješenja pojavljuje se ili projektovanje najbolje alternative ili izbor najbolje akcije iz skupa prethodno definisanih konačnih akcija. U procesu valorizacije konceptualnih varijantnih rješenja MHE i izbora prihvatljivih potencijalnih mikrolokacija za objekte i postrojenja na MHE u okviru unaprijed utvrđene (odabrane) makrolokacije neophodno je primijeniti određeni postupak, koji će biti uniforman u svim svojim aspektima. Da bi se ovakav cilj i ostvario, neophodno je definisati opšte šire kriterijume za izbor i izvršiti međusobno poređenje izabranih varijantnih rješenja ili kriterijuma u okviru ranije utvrđene makrolokacije, kako bi se pomoću primjene metode višekriterijalne optimizacije taj broj sveo na minimalni nivo. Osnovno načelo prilikom izbora kriterijuma je da oni mogu biti mjerljivi, odnosno da se raspoloživi podaci o lokacijama na osnovu njih mogu valorizovati. Međutim, nasuprot tome postoji i određeni broj kriterijuma koji nisu mjerljivi, odnosno njihovi uticaji u odnosu na mikrolokaciju ne mogu da se egzaktno valorizuju i utvrde, pa je njihovo vrednovanje potrebno izvesti preko određenih posrednih pokazatelja.

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 (instalirana snaga ne prelazi 10 MW) kao polazna usvajaju rješenja data važećim vodoprivrednim osnovama za određene slivove rijeka, [1]. Često, ova rješenja 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:

- a) *energetski pokazatelji* (f_1) - bruto (neto) raspoloživi pad, instalirana snaga, godišnja proizvodnja, cijena objekta po instaliranom kW, cijena kWh proizvedene električne energije i sl.;
- b) *prostor potreban za smještaj objekata i postrojenja hidroenergetskog bloka* (f_2) - u cilju smještaja nekog objekta na određeni prostor neophodno je definisati veličinu tog prostora na osnovu poznatih osnovnih gabarita pojedine osnovne opreme i objekata, kao i njihovih međusobnih veza (u slučaju hidroenergetskog bloka taj prostor se definiše na osnovu referentne dispozicije objekata vodozahvata i mašinske zgrade MHE i definisanih međusobnih veza između njih);
- c) *zauzetost mikrolokacije* (f_3) - u okviru ovog uslova razmatra se zauzetost mikrolokacije nekim industrijskim ili drugim objektima, zauzetost nalazištima mineralnih sirovina (ugljeni baseni),

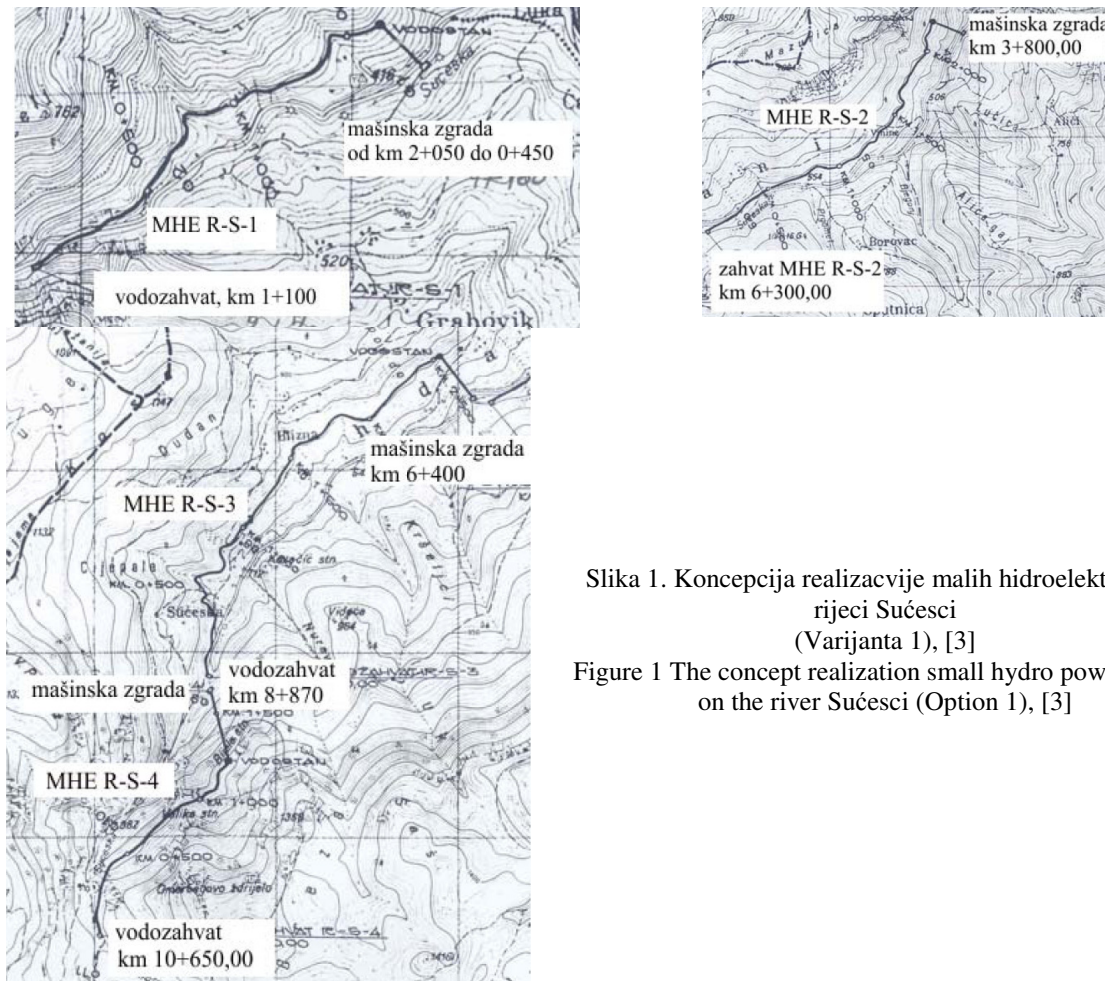
- naseljima, nacionalnim parkovima, arheološkim nalazištima, itd. (uobičajeno je da se sva ova područja, uz prethodnu procjenu mogućnosti i posljedica izmještanja, isključuju iz razmatranja kao potencijalne lokacije postrojenja MHE, prije svega naseljenih područja);
- d) *topografski uslovi* (f_4) - MHE objekte, zbog veličine platoa koji zauzimaju i potrebnih uslova za temeljenje;
- e) *seizmološki uslovi i inženjersko-geološke karakteristike tla* (f_5) - postojanje loših seizmičkih uslova i inženjersko-geoloških karakteristika tla diskredituje određenu lokaciju u odnosu na drugu, pri čemu je preporučljivo da se za objekte ove vrste i značaja izvrši seizmička mikroregionalizacija same lokacije, da bi se stekao tačan uvid u seizmičke karakteristike lokacije (u prvom pristupu, iz razmatranja za smještaj hidroenergetskog bloka isključuju se lokacije u visoko rizičnim seizmičkim zonama sa intezivnim seizmičkim aktivnostima, lokacije na trasama već poznatih aktivnih rasjeda ili rasjednim zonama, kao i lokacije neodgovarajućih inženjersko-geoloških karakteristika tla);
- f) *uslovi transporta i dopreme postrojenja i opreme* (f_6) - transport postrojenja i opreme na velika rastojanja nepovoljan je za hidroenergetski objekat, kako sa ekonomskog aspekta, tako i u pogledu sigurnosti pogona, pri čemu kao nepovoljnije lokacije uzimaju se one kojima je transportni put duži, pa se one iz tog razloga rangiraju na niža mjesta (pored ovoga i način transporta, kao i stanje postojeće infrastrukture i potrebe za realizacijom novih pristupnih puteva značajno utiče na izbor lokacije, gdje su nepovoljnije lokacije kod kojih je transport postrojenja i opreme skuplji i gdje on zahtijeva veće građevinske zahvate u cilju obezbjeđenja neophodnih puteva za dopremanje opreme i postrojenja na konkretnu lokaciju u okviru obuhvata MHE);
- g) *uslovi otpreme i deponovanja otpada* (f_7) - u pogledu otpreme i deponovanja otpada sa MHE kako u periodu izgradnje tako i u periodu eksploatacije važe slični uslovi kao kod dopreme postrojenja i opreme, pri čemu treba napomenuti da izuzetnu prednost dobijaju samo one lokacije kod kojih postoje uslovi za transport otpada i njegovo skladištenje od strane nadležnih komunalnih preduzeća koja pokrivaju navedeni prostor);
- h) *uslovi i način povezivanja sa elektroenergetskom mrežom* (f_8) - sa gledišta povezivanja hidroenergetskog objekta sa elektroenergetskom (najčešće distributivnom) mrežom nepovoljne su one lokacije kod kojih je priključenje složenije i kod kojih se zahtijevaju veća ulaganja u energetska infrastrukturu (izgradnja novih distributivnih vodova određenog što višeg naponskog nivoa - 10, 20 i 30 kV);
- i) *uslovi i način povezivanja sa javnim saobraćajnicama* (f_9) - način priključenja lokacije na željezničku i putnu mrežu povezan je sa većim ili manjim ulaganjima u infrastrukturu, što dodatno opterećuje one lokacije na kojima je priključenje složenije i pristupni koridori duži;
- j) *ekološki uslovi* (f_{10}) - vezano za moguće uticaje hidroenergetskog objekta na okolinu, razlike između pojedinih varijantnih rješenja se mogu sagledati kroz blizinu drugih izvora zagađenja, meteorološke uslove koji će uslovljavati dominantne pravce vjetrova i polja uticaja, postojanje zaštićenih područja, nacionalnih parkova, rezervata, pri čemu se lošije vrednuju one lokacije kod kojih je uticaj hidroenergetskog objekta na bližu i dalju okolinu veći (u svakom slučaju novi hidroenergetski objekat sa svojim nivoom zagađenja ne smije bitno da promijeni ekološke uslove, i ne smije biti van zakonom dozvoljenih granica definisanih određenim normama za zaštitu vazduha, vode, zemljišta, biodiverziteta i sl.);
- k) *ekonomski uslovi* (f_{11}) - vrednovanje i rangiranje mikrolokacija po ekonomskim uslovima vršiće se na osnovu upoređivanja razlika investicionih i ostalih troškova, koji se javljaju kao posljedica različitih uslova lokacija, ekonomski pokazatelji (benefit, benefit/cost, IRR, specifična investicija po 1 kW instalisane snage, analiza osjetljivosti);
- l) *društvena opravdanost, naseljenost i razvoj* (f_{12}) - potrebno je procijeniti uticaj hidroenergetskog objekta na širu društvenu zajednicu u smislu šireg razvoja područja, razvoja privrednih aktivnosti, uticaja na zaposlenost i poboljšanje opšteg društvenog standarda;
- m) *pouzdanost, održavanje i ocjena rizika* (f_{13}) - rizici tokom projektovanja, tokom izgradnje i probnog puštanja u pogon i tokom eksploatacije (gubitak u proizvodnji električne energije, rizik prenosa električne energije, ekološki rizici, ekonomski rizici i sl.), uz riješeno pitanje uklanjanja objekta nakon isteka njegovog radnog (životnog) vijeka;

- n) *plasman električne energije* (f_{14}) - uspostavljanjem tržišta električne energije u jugoistočnoj Evropi, povezanog sa tržištem EU, kao i potpunom liberalizacijom tržišta, znatno se mijenja pristup energetske analize i valorizaciji opravdanosti izgradnje nekog novog energetskog objekta (prilikom analiza mogućnosti plasmana proizvedene energije, električna energija je posmatrana kao tržišni i izvozni proizvod i razmatrane su potrebe potrošnje električne energije u Republici Srpskoj, Bosni i Hercegovini i u jugoistočnoj Evropi);
- o) *podsticajne mjere i cijena preuzete energije* (f_{15}) - otkupna cijena 1 kWh proizvedene energije definisana od nadležne regulatorne agencije i projekcija budućeg razvoja i učešća države u podsticanju ovog oblika energije (obnovljivi resurs, tzv. zelena energija);
- p) *ostali uslovi* (f_{16}) - cijena ukupnog projekta sa uključenim troškovima za obezbjeđenje sredstava i eventualno drugi uslovi ili kriterijumi, 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 i sl.).

MODIFIKOVANA VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA U METODOLOGIJI ODREĐIVANJA MIKROLOKACIJA ZA OBJEKTE I POSTROJENJA MHE-R-S-1, INSTALISANE SNAGE 2X1,015 MW

Hydroenergetskom osnovom, koja je izrađena u fazi sagledavanja postojećeg hidroenergetskog potencijala na vodotocima u Republici Srpskoj, predloženo je korišćenje hidroenergetskog potencijala na rijeci Sućesci preko četiri postrojenja označena kao MHE R-S-1, MHE R-S-2, MHE R-S-3 i MHE R-S-4 (simboli u oznakama znače: R - sliv Radojnje; S - podsliv Sućeska, a rastućim brojevima od ušća prema izvoru su numerisana postrojenja). Izgradnjom MHE R-S-1 predviđeno je korišćenje hidroenergetskog potencijala na dijelu vodotoka od km 2+700, gdje je predviđen vodozahvat, do km 1+100, računato ud ušća u Radojnu, odnosno od 2+050 do km 0+450, računato od ušća u akumulaciju HE Višegrad, gdje je predviđena izgradnja mašinske zgrade, tj. na dijelu vodotoka neposredno uzvodno ud uliva u akumulaciju HE Višegrad. Izgradnjom MHE R-S-2 predviđeno je korišćenje hidroenergetskog potencijala na srednjem dijelu vodotoka od km 6+300, gdje je predviđen vodozahvat, do km 3+800, računato ud ušća u Radojnu, gdje je predviđena izgradnja mašinske zgrade, tj. na dijelu vodotoka između objekata MHE R-S-1 i MHE R-S-3. Izgradnjom MHE R-S-3 predviđeno je korišćenje hidroenergetskog potencijala na gornjem dijelu vodotoka od km 8+870, gdje je predviđen tirolski vodozahvat, do km 6+400, računato ud ušća u Radojnu, gdje je predviđena izgradnja mašinske zgrade, tj. na dijelu vodotoka između objekata MHE R-S-2 i MHE R-S-4. Nakon sprovedene procedure o dodjeli koncesije od strane Vlade i Komisije za koncesije Republike Srpske potpisani su koncesioni ugovor za realizaciju MHE R-S-1, R-S-2 i R-S-3 snage 0,994+0,74+0,44 MW samo sa jednom kompanijom (Varijanta 1, sa lokacijama datim na slici 1), što je omogućilo da se finansira izrada odgovarajuće Studije ekonomske opravdanosti izgradnje za svaku od pojedinačnih MHE, koja nije dala očekivane rezultate pojedinačnog vrednovanja samo jednog objekta na ovoj rijeci, [2,7]. Rezultati ove studije pokazali su da se pozitivno poslovanje ove MHE može očekivati ukoliko se obezbijede uslovi za smanjenje visine građevinskih radova, kroz optimizaciju izbora varijantnog rješenja sa aspekta mikrolokacije i nakon toga odgovarajućeg tehničkog rješenja MHE R-S-1 u narednoj fazi projektovanja, uzimanjem u obzir optimizacije sistema malih hidroelektrana na rijeci Sućeska (objekti MHE R-S-1 + MHE R-S-2 + MHE R-S-3), zatim predviđanje potrebnih mjera i aktivnosti u cilju snimanja nultog početnog stanja, u skladu sa važećim setom zakona iz oblasti zaštite životne sredine, kao i ublažavanja uticaja na okolinu kroz razvoj alternativnih pratećih oblasti (ribogojstvo, turizam, mala privreda i dr.) i realizovanje studije izvodljivosti, koja će biti urađena u narednoj fazi projektovanja, a koja treba obavezno sadržati i procjenu smanjenja ugljen-dioksida usljed

izgradnje MHE R-S-1, zbog registrovanja ovog projekta kao Clear Development Mechanism-a, kada se stvore uslovi Kyoto Protokolom, kao i stvaranje preduslova za kombinaciju rada sa MHE R-S-1, pri djelimičnom ostvarivanju prethodno definisanih uslova. S obzirom da je planirana izgradnja još tri male hidroelektrane na ovom vodotoku uzvodno, te da će se i one trebati priključiti na elektro mrežu na istom lokalitetu, razumno je pitanje pruključka riješiti za sve planirane objekte zajedno (sistem MHE R-S-1 + MHE R-S-2 + MHE R-S-3). Na osnovu detaljnog uvida u raspoloživu projektnu dokumentaciju (Hidroenergetska osnova pritoka sliva gornjeg toka rijeke Drine), te uvida u tendersku dokumentaciju, uvida u stanje na terenu i podataka prikupljenih prilikom obilaska terena uočena je jedna tehnička, a i ekonomska nelogičnost.



Slika 1. Koncepcija realizacije malih hidroelektrana na rijeci Sućesci (Varijanta 1), [3]

Figure 1 The concept realization small hydro power plants on the river Sućesci (Option 1), [3]

Naime, između mašinske zgrade, odnosno kote donje vode HE R-S-1 (kota 348 m.n.m.) i maksimalne kote uspora HE Višegrad (kota 336 m.n.m.) ostaje neiskorišćeni pad 12 m, a između maksimalne gornje vode MHE R-S-1 (kota 440 m.n.m.) i donje vode MHE R-S-2, kao slijedećeg uzvodnog postrojenja (kota 486 m.n.m.) ostaje neiskorišćeno 46 m pada, što je neracionalno. S druge strane, rastojanje između lokaliteta planiranog vodozahvata za MHE R-S-1 i mašinske zgrade MHE R-S-2 je oko 1.100 m. U cilju potpunog ili djelimičnog ispravljanja ove tehničke nelogičnosti urađena su nova dispoziciona rješenja ovih postrojenja, kao i slijedećeg uzvodnog postrojenja, koja su maksimalno prilagođena prirodnim preduslovima terena i maksimalnom iskorišćenju postojećeg pada i raspoložive energije. Ovo je podrazumijevalo da se umjesto tri MHE između kote 767 m.n.m. i 350 m.n.m. grade dva postrojenja (MHE R-S-1+MHE R-S-2, instalisane snage $2 \times 1,015 + 2 \times 0,57 \text{ MW}$), pri čemu bi vodozahvat nizvodnog postrojenja bio neposredno nizvodno od ušća potoka Bjegonj, tj. oko kote 520 m.n.m. (gdje bi bila i mašinska zgrada uzvodnog postrojenja), a vodozahvat

uzvodnog postrojenja oko kote 720 m.n.m. neposredno nizvodno od pritoka Nurov Do. Kao optimalna pokazala se je varijanta rješenja poteza sa dvije male hidroelektrane.

Izrada (oblikovanje) matematskog modela

Praktična primjena predloženih preferencijskih funkcija na primjeru izbora najpovoljnije investicione alternative od dvije ocenjivane (alternativa 1 i alternativa 2 sistema MHE na rijeci Sućesci) u sistemu 16 različitih raznorodnih kriterijuma (f_1, f_2, \dots, f_{16}) podrazumijeva primjenu kriterija definisanih u okviru tačke 4. Na bazi koeficijenata relativne važnosti, kao i Saaty-evih koeficijenata (tabela 1), izvršeno je smanjenje polaznog broja kriterijuma (tabela 2) na nekoliko najvažnijih kriterijuma, tabela 3. Polazni podaci za analizu varijantnih rješenja dati su u okviru tabele 2, posebno pogodni za primjenu iterativnog kompromisnog rangiranja.

Tabela 1. Prikaz Saaty-eve skale, [2]
Table 1 Saaty value ranking, [2]

| Intenzitet važnosti | Definicija | Objašnjenje |
|---------------------|---|--|
| 1 | Jednako važno | Dva kriterija ili alternative jednako doprinose cilju |
| 3 | Umjereno važnije | Na bazi iskustva i procjena daje se umjerena prednost jednom kriteriju ili alternativu u odnosu na drugu |
| 5 | Strogo važnije | Na temelju iskustva i procjena strogo se favorizira jedan kriterij ili alternativa u odnosu na drugi |
| 7 | Vrlo stroga, prethodno dokazana važnost | Jedan kriterij ili alternativa izrazito se favorizira u odnosu na drugi, pri čemu njegova dominacija dokazuje se u praksi |
| 9 | Ekstremna važnost | Dokazi na temelju kojih se favorizira jedan kriterij ili alternativa u odnosu na drugi potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću |
| 2, 4, 6, 8 | Međuvrijednosti | U slučaju kada nije moguće egzaktno dati prednost jednom od kriterijuma ili alternativa, rangirano po stepenu favorizacije |

Potrebno je odrediti težine kriterija kako bi riješili problem izbora najpovoljnije alternative. Pitanje procjene odnosa važnosti dvaju kriterija kada se njihove vrijednosti izražavaju kvantitativno, kvalitativno i u različitim mjernim jedinicama riješeno je poređenjem koeficijenata očekivane relativne važnosti (dobijeni na bazi analoga i postojećih iskustava sa ovakvim tipom postrojenja) i korišćenjem koeficijenata na bazi Saaty-eve skale sa pet stepeni intenziteta i četiri međustepena, kojima odgovara vrijedonosni sud o tome koliko puta je jedan kriterij važniji od drugog.

U slučaju korišćenja ove skale kod uspoređivanja dviju alternativa, vrijednosti sa skale predstavljaju se kao prognoze koliko puta veća prednost (prioritet) se daje jednoj alternativu u odnosu na drugu. Dosadašnja iskustva pokazala su da pojedinac (prognozer) može i bez posebnog treninga koristiti ovu skalu za davanje relevantnih procjena, pod uslovom da poznaje problematiku na koju se odnosi problem odlučivanja.

Izbor, razrada ili modifikacija metode za rješavanje postavljenog problema

Polazne informacije sa kojima raspolaže donosilac odluke (projektant) prikazane u obliku tabele 2, obuhvataju čak 16 kriterijuma od kojih većina ima i svoje podkriterijume. Preliminarnom analizom ovaj broj kriterijuma je reduciran na pet kriterijuma, tabela 3. Metode koje se koriste za uspoređivanje i rangiranje alternativa na bazi ulaznih podataka iz redukovane tabele 3 za odlučivanje moraju uzeti u obzir prednosti koje neka alternativa ima u odnosu na ostale, izvršiti poređenje prednosti s njezinim nedostacima i sve to izraziti jednim

brojem. Ukoliko kriteriji imaju različite važnosti, treba uzeti u obzir i njihove težine. Metode koje se mogu upotrebiti u ovoj situaciji zasnivaju se na određenim pretpostavkama koje se matematički karakteriziraju. Zavisno od težine i složenosti datog modela neophodno je poznavati odgovarajuću matematičku teoriju da bi se on riješio. U okviru ovog rada koristeće se modifikovana AHP metoda na redukovanu tabelu za odlučivanje, tabela 2.

Tabela 2. Matrica ulaznih podataka za o objekat MHE Sućeska 1 (MHE R-S-1)

Table 2 Matrix of starting data for facility SHPP Sućeska 1 (SHPP R-S-1)

| Kriterijum: | | Alternativa: | | | | | Alternativa 1 (slika 2) | Alternativa 2 (slika 3) | | | | | |
|---|---|--------------|----------|---|------------------------|-------------------------|---|--|--|---|--|---|--|
| | | Naziv | Oznaka | Indeks početne relativne važnosti | Saaty -eva skala | zahtjev max-min | | | | | | | |
| 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | |
| Energetski pokazatelji | bruto raspoloživi pad | f_{11} | f_1 | 0,05 | 0,20 | 9 | max | 92 m | 182,38 m | | | | |
| | instalirana snaga | f_{12} | | 0,05 | | | max | 1,0 MW | 2x1,015MW | | | | |
| | godišnja proizvodnja | f_{13} | | 0,05 | | | max | 4,346 GWh | 6,651 GWh | | | | |
| | potrebna cijena po kWh el. energije | f_{14} | | 0,05 | | | min | 8,50 Eurc/kW | 4,30 Eurc/kW | | | | |
| Prostor potreban za smještaj | površina za tirolski vodozahvat | f_{21} | f_2 | 0,02 | 0,10 | 5 | min | 20x20 m ² | 20x20 m ² | | | | |
| | površina za mašinsku zgradu | f_{22} | | 0,03 | | | min | 10x10 m ² | 13x15 m ² | | | | |
| | dužina cjevovoda | f_{23} | | 0,05 | | | min | Φ1100 - 1605 m Φ750 - 254,7 m | Φ900 - 2060 m Φ800 - 2000 m | | | | |
| Postojeća zauzetost prostora | | f_3 | | 0,01 | 1 | min | 15% | 20% | | | | | |
| Topografski uslovi, nagib terena | opšti uslovi | f_{41} | f_4 | 0,005 | 0,01 | 3 | max | bez promjene | bez promjene | | | | |
| | nagib terena | f_{42} | | 0,005 | | | max | manji | nešto veći | | | | |
| Seizmološki uslovi (osjetljivost) i inženjersko- geološke karakteristike terena | seizmički uslovi | f_{51} | f_5 | 0,005 | 0,01 | 3 | min | nepromijenjeni po obe varijante realizacije | | | | | |
| | povoljnost inženjersko- geoloških karakteristika terena | f_{52} | | 0,005 | | | max | nešto povoljnije | nešto nepovoljnije, zbog povećanja dužine cjevovoda | | | | |
| Uslovi transporta postrojenje i opreme MHE | | f_6 | | 0,01 | 3 | min | 2 km | 5 km | | | | | |
| Uslovi otpreme i deponovanja otpada | | f_7 | | 0,01 | 3 | min | 2 km | 2,5 km | | | | | |
| Uslovi i način povezivanja sa elektroenergetskom mrežom (EES) | | f_8 | | 0,01 | 3 | min. visina ulaganja | povoljniji potrebna rekonstrukcija 20 kV mreže | nepovoljniji | | | | | |
| Uslovi i način povezivanja sa javnim saobraćajnicama | | f_9 | | 0,01 | 3 | min | 3 km | 3,5 km | | | | | |
| Ekološki uslovi | vazduh | f_{101} | f_{10} | 0,02 | 0,10 | 3 | min | neznatan | veći, zbog dužeg cjevovoda u periodun izgradnje | | | | |
| | voda | f_{102} | | 0,02 | | | min | neznatan | | | | | |
| | zemljište | f_{103} | | 0,02 | | | min | neznatno | | | | | |
| | pejzaž | f_{104} | | 0,04 | | | min | mali uticaj | | | | | |
| Ekonomski uslovi | benefit | f_{111} | f_{11} | 0,05 | 0,20 | 7 | max | -1856,738 hilj. Eur-a | 567,4 hilj. Eur-a | | | | |
| | benefit/cost | f_{112} | | 0,05 | | | max | 0,415 | 1,2 | | | | |
| | IRR | f_{113} | | 0,05 | | | max | -149,935 % | 256,36% | | | | |
| | spec. investicija po 1 kW | f_{114} | | 0,05 | | | min | 2801,769 Eurc/kW | 1503,448 Eurc/kW | | | | |
| Društvena opravdanost, naseljenost i razvoj | društveni aspekt | f_{121} | f_{12} | 0,002 | 0,01 | 3 | max | značajan | značajan | | | | |
| | naseljenost | f_{122} | | 0,002 | | | min | mala | mala | | | | |
| | razvoj | f_{123} | | 0,004 | | | max | značajan | značajan | | | | |
| Pouzdanost, održavanje i rizik | održavanje | f_{131} | f_{13} | 0,05 | 0,20 | 6 | min | jednostavno | nešto duži cjevovod | | | | |
| | pouzdanost | f_{132} | | 0,10 | | | max | veoma dobra | nešto manja | | | | |
| | rizik | f_{133} | | 0,05 | | | min | mali | nešto veći | | | | |

| 1 | | 2 | | 3 | | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---------------------------|-----------|----------|-------|------|-----|------------------|---|------------------|
| Plasman električne energije | domaće tržište | f_{141} | f_{14} | 0,005 | 0,01 | 3 | max | osiguran | osiguran |
| | izvoz | f_{142} | | 0,005 | | | max | moguć | moguć |
| Cijene i podsticaji | garantovana domaća cijena | f_{151} | f_{15} | 0,005 | 0,01 | 3 | max | 3,17 Eurc/kWh | 3,17 Eurc/kWh |
| | rast podsticaja | f_{152} | | 0,005 | | | max | 4,494 Eurc/kWh sa uračunatom premijom od 1,846 Eurc/kWh | |
| Ostali uslovi (cijena ukupnog projekta) | | f_{16} | | 0,10 | 4 | min | 2802 hilj. Eur-a | 3052 hilj. Eur-a | |
| Suma | | | | 1,00 | - | - | - | - | |

Tabela 3. Redukovana matrica ulaznih podataka za o objekat MHE R-S-1
Table 3 Reduced matrix of starting data on facility SHPP R-S-1

| Kriterijum: | | Alternativa: | | | | | Alternativa 1 (slika 2) | Alternativa 2 | |
|---------------------------------|---|--------------|--------|---|--------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| | | Naziv | Oznaka | Korigovani indeks relativne važnosti | Saaty-eva skala | zahtjev max-min | | | |
| Energetski pokazatelji | bruto raspoloživi pad | f_{11} | f_1 | 0,05 | 0,30 | 9 | max | 92 m | 182,38 m |
| | instalirana snaga | f_{12} | | 0,05 | | | max | 1,0 MW | 2x1,015MW |
| | godišnja proizvodnja | f_{13} | | 0,05 | | | max | 4,346 GWh | 6,651 GWh |
| | cijena po kW instalirane snage (potrebna) | f_{14} | | 0,05 | | | min | 8,50 Eurc/kW | 4,30 Eurc/kW |
| Prostor potreban za smještaj | površina za tirolski vodozahvat | f_{21} | f_2 | 0,02 | 0,15 | 5 | min | 20x20 m ² | 20x20 m ² |
| | površina za maš. zgradu | f_{22} | | 0,03 | | | min | 10x10 m ² | 13x15 m ² |
| | dužina cjevovoda | f_{23} | | 0,05 | | | min | Φ1100 - 1605 m Φ750 - 254,7 m | Φ900 - 2060 m Φ800 - 2000 m |
| Ekonomski uslovi | benefit | f_{31} | f_3 | 0,05 | 0,25 | 7 | max | -1856,738 hiljada Eur-a | 567,4 hiljada Eur-a |
| | benefit/cost | f_{32} | | 0,05 | | | max | 0,415 | 1,2 |
| | IRR | f_{33} | | 0,05 | | | max | -149,935 % | 256,36% |
| | specifična investicija po 1 kW | f_{34} | | 0,05 | | | min | 2801,769 Eurc/kW | 1503,448 Eurc/kW |
| Pouzdanost, održavanje i rizik | održavanje | f_{51} | f_4 | 0,05 | 0,20 | 6 | min | jednostavno | nešto duži cjevovod |
| | pouzdanost | f_{52} | | 0,10 | | | max | veoma dobra | nešto manja |
| | rizik | f_{53} | | 0,05 | | | min | mali | nešto veći |
| Ostali uslovi (cijena projekta) | | f_5 | | 0,10 | 4 | min | 2802 hiljada Eur-a | 3052 hiljada Eur-a | |
| Suma: | | | | 1,00 | 1-9 | - max/- min | - | - | |

Kriterijumsko vrednovanje modela na osnovu rezultata testiranja

Postupkom za računanje težina kriterija i prioriteta alternativa iz poređenja u parovima računaju se prioriteta alternativa i težine kriterija, čije vrijednosti u najvećoj mjeri zadovoljavaju uslove zadate međusobnim odnosima i čija ukupna suma je jednaka jedinici (1). U okviru prvog koraka formira se matrica (tablica) odnosa prioriteta (težina). U i - tom redu i j - toj koloni te matrice nalazi se vrijednost procijenjenog odnosa prioriteta alternative i alternative. Ukoliko se daju procjene relativnih važnosti kriterija, onda je to vrijednost odnosa

njihovih težina. U našem slučaju ta matrica ima izgled dat u okviru tabele 4. U okviru drugog koraka izračunavaju se sume kolona (koeficijenti relativne težine: 3.333333, 6.666667, 4, 6.5, 10 i Saaty-eva skala: 3.44444, 6.2, 4.42857, 10.5, 7.75) i na bazi toga računa se nova *normalizovana* matrica, na taj način da se svaki element prethodne matrice podijeli sa sumom kolone kojem pripada (tabela 5). U trećem koraku težine (prioriteti) se izračunaju kao prosječne vrijednosti elemenata pojedinih redova, tabela 6. Vidi se da je zbroj ovih težina iznosi 1. Izračunate vrijednosti odgovaraju težinama kriterija, odnosno prioritetima kriterijuma kod ocjene alternativa (kriterij f_1 , slijede f_3 i f_4 , pa f_2 i na kraju f_5). Ovaj postupak u slučaju konzistentnih procjena odnosa veličina daje njihove tačne vrijednosti. Kao kontrola, u procjeni vrijednosti odnosa težina kriterija i važnosti alternativa pomaže nam Saaty-eva skala.

U tabeli 4 nalaze se procjene odnosa važnosti kriterija, dobivene od projekatana, na bazi kojih se rangiraju varijantna rješenja za realizaciju MHE R-S-1. Primjenimo li postupak za približno računanje težina kriterija kao u prethodnom slučaju, kao rezultat dobijemo vrijednosti težina kriterija, tabele 5 i 6. Na osnovu tabele 6 slijedi redoslijed po kriterijumima iz Saaty-eve skale: prvo kriterij f_1 , a zatim slijede f_3 i f_5 , pa f_4 i na kraju f_2 .

Tabela 4. Prikaz tabele odnosa prioriteta po kriterijumima relativne težine i Saaty-eve skale
Table 4 Presentation of the table of priorities in relation to criteria of relative importance and Saaty scale

| Kriterijum | f_1 | | f_2 | | f_3 | | f_4 | | f_5 | |
|--------------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
| | Relativna težina | Saaty skala | Relativna težina | Saaty skala | Relativna težina | Saaty skala | Relativna težina | Saaty skala | Relativna težina | Saaty skala |
| f_1 | 1 | 1 | 2 | 1.8 | 1.2 | 1.28571 | 1.5 | 1.5 | 3 | 2.25 |
| f_2 | 0.5 | 0.55556 | 1 | 1 | 0.6 | 0.71429 | 0.75 | 0.8333 | 1.5 | 1.25 |
| f_3 | 0.83333 | 0.77778 | 1.6667 | 1.4 | 1 | 1 | 1.25 | 1.1667 | 2.5 | 1.75 |
| f_4 | 0.66667 | 0.66667 | 1.3333 | 1.2 | 0.8 | 0.85714 | 1 | 1 | 2 | 1.5 |
| f_5 | 0.33333 | 0.44444 | 0.6667 | 0.8 | 0.4 | 0.57143 | 2 | 6 | 1 | 1 |
| Suma kolone | 3.33333 | 3.44444 | 6.6667 | 6.2 | 4 | 4.42857 | 6.5 | 10.5 | 10 | 7.75 |

Tabela 5. Tabelarni prikaz normalizovane matrice - kriterijumi relativne težine i Saaty-eve skale
Table 5 Presentation of the table of normalized matrix (relative importance and Saaty scale)

| Relativna težina | Saaty skala | Relativna težina | Saaty skala | Relativna težina | Saaty skala | Relativna težina | Saaty skala | Relativna težina | Saaty skala |
|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
| 0.3 | 0.29032 | 0.3 | 0.29032 | 0.3 | 0.29032 | 0.230769 | 0.14286 | 0.3 | 0.29032 |
| 0.15 | 0.16129 | 0.15 | 0.16129 | 0.15 | 0.16129 | 0.115385 | 0.07937 | 0.15 | 0.16129 |
| 0.25 | 0.22581 | 0.25 | 0.22581 | 0.25 | 0.22581 | 0.192308 | 0.11111 | 0.25 | 0.22581 |
| 0.2 | 0.19355 | 0.2 | 0.193548 | 0.2 | 0.19355 | 0.153846 | 0.09524 | 0.2 | 0.19355 |
| 0.1 | 0.1290 | 0.1 | 0.129032 | 0.1 | 0.12903 | 0.307692 | 0.57143 | 0.1 | 0.12903 |

Tabela 6. Prikaz izračunatih vrijednosti težina kriterijuma relativne težine i Saaty-eve skale
Table 6 Presentation of calculated values of importance for criteria of relative importance and Saaty scale

| Parametar | w_1 | w_2 | w_3 | w_4 | w_5 |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Kriterijum relativne težine | 0.286154 | 0.143077 | 0.238462 | 0.190769 | 0.141538 |
| Saaty-eva skala | 0.260829 | 0.144905 | 0.202867 | 0.173886 | 0.217512 |

Na osnovu prethodne analize, može se zaključiti da je redoslijed kriterijuma f_1 (energetski uslovi) i f_3 (ekonomski uslovi) identičan po oba modela i da se predost varijanti 2 može dati zbog boljih energetskih i ekonomskih performansi, što je i učinjeno u toku dalje izrade projektnog rješenja. Kao rezultat implementacije MHE po Varijanti 2 tokom perioda novembar 2008. do maj 2009. godine realizovani su svi predviđeni građevinski i montažni radovi, slika 2.



Slika 2. Prikaz realizacije građevinskih i montažnih radova na MHE R-S-1
Figure 2 Presentation of realization of construction and assembling activities on SHPP R-S-1

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. Osnovni cilj rada bio je primjena modifikovane višekriterijumske metode za određivanje prioriteta između pojedinih alternativa realizacije konkretne male hidroelektrane u već zadatim okvirima, u situaciji odlučivanja gde učestvuje veći broj donosilaca odluke različite specijalnosti. U datom primjeru izbora varijantne koncepcije MHE R-S-1 sa šesnaest početnih kriterijuma i dvije alternative, modifikovana metoda istovremene ocjene po kriterijuma relativne važnosti i kriterijuma po Saaty-evoj skali se pokazala kao veoma uspješan alat u procesu odlučivanja na stadijumu projektovanja. Kako su metode višekriterijumske analize zasnovane na značajnom učešću donosioca odluka odnosno projektanta, neophodno je dobro poznavanje problema i učešće 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 omogućava da se bez većih problema koriste za rešavanje realnih problema izbora varijantnih rješenja MHE.

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**