

OPTIMIZACIJA HIDROENERGETSKOG ISKORIŠTENJA SLIVNOG PODRUČJA RIJEKE MORAČE

Prof. dr Ratko MITROVIĆ
Arhitektonski i Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore
Doc. dr Sreten TOMOVIĆ
Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore

REZIME

Izbor optimalnog rješenja iskorišćenja hidroenergetskog potencijala jednog vodotoka je veoma složen proces, jer je neophodno naći kompromis između energetske najboljeg rješenja, rješenja koje ima manji negativan uticaj na okruženje i socioloških uslova, što je često u praksi međusobno suprotstavljeno. Da bismo jasnije prikazali ovaj proces prezentovaćemo matematički model višekriterijumske optimizacije i višekriterijumskog rangiranja za konkretan primjer. Prikazaćemo proces optimizacije različitih varijanti iskorišćenja hidroenergetskog potencijala slivnog područja rijeke Morače. Ovo istraživanje je uporedna analiza mogućih varijantnih rješenja hidroenergetskog potencijala tog vodotoka. Za realizaciju ovog istraživačkog projekta korišćena je obimna dokumentacija i urađeni idejni projekti za hidroelektrane HE Andrijevo, HE Milunovići, HE Raslovići i HE Zlatica. Prikazaćemo proces optimizacije za pet varijanti hidroenergetskog iskorišćenja slivnog područja rijeke Morače i osnovne karakteristike svake od njih. Na kraju rada predložićemo optimalnu varijantu za svaku od kriterijumskih funkcija.

Ključne riječi: Hidroelektrane, optimizacija, hidrologija, električna energija, kriterijumske funkcije

1. UVOD

Ideja o realizaciji ovog rada je nastala kao posljedica nedorečenosti dosadašnjih istraživanja slivnog područja rijeke Morače po pitanju izbora optimalne varijante, kao i mogućnosti analiziranja dodatnih varijanti u procesu iznalaženja optimalne varijante. To dobija na značaju zbog činjenice da uticajni krugovi u Crnoj Gori favorizuju Varijantu 1, a da prethodno nije urađena optimizacija hidroenergetskog iskorišćenja slivnog

područja vodotoka Morača, uzimajući u obzir sve pozitivne i negativne efekte izgradnje hidroelektrana na tom vodotoku. Uvjereni smo da je prije donošenja ovako krupnih odluka, naophodno prethodno izanalizirati sva moguća varijantna rješenja i uraditi proces višekriterijumske optimizacije sa definisanim kriterijumskim funkcijama, pa na osnovu dobijenih rezultata, donijeti odluku koje je rješenje optimalno, a u ovako kompleksnim slučajevima ono je često i kompromisno rješenje. U ovom radu daćemo moguća varijantna rješenja, definisati kriterijumske funkcije, uraditi proces optimizacije za različite vrijednosti težinskih koeficijenata i prikazati dobijene rezultate višekriterijumske optimizacije.

Veoma je obiman materijal koji obrađuje mogućnosti energetske iskorišćenja ovog vodotoka, ali su ti izvorni podaci stari više od dvadeset godina, zbog čega su mnoga rješenja dosadašnjih obrađivača neprihvatljiva za današnje uslove. Postoji nesklad između nekadašnjih rješenja koja su rađena u periodu centralističkog planiranja, kada su se mogle sprovesti i donositi odluke o izgradnji velikih akumulacija i potapanju cijelih područja i sadašnjih uslova u kojima je takve odluke prilično teško realizovati. Rješenja koja su tada analizirana data su na osnovu razvoja energetske sektora u periodu bivše Jugoslavije, na globalnom nivou.

U sadašnjem trenutku mnoga od ovih rješenja iskorišćenja hidroenergetskog potencijala teško se mogu primijeniti u praksi. Najčešći razlozi su povećani uticaj nevladinog sektora i drugih udruženja za zaštitu čovjekove okoline u razvoju energetske sektora, loša iskustva uticaja postojećih akumulacija na životnu sredinu u Crnoj Gori, otežano rješavanje imovinsko pravnih odnosa, povećanje vrijednosti nepokretnosti u Crnoj Gori, problemi socijološke prirode i dr.

U posljednje dvije decenije kod nas i u okruženju su se desile krupne promjene u svim sektorima, pa je neophodno tražiti kompromis između predloženih rješenja iskorišćenja ovog vodotoka koja su rađena u prethodnom periodu i novonastalih uslova. Ovo istaživanje, koje je u funkciji iznalaženja optimalnog rješenja, će uporediti varijante, predložene u važećoj Vodoprivrednoj osnovi Crne Gore, varijantu koju je predložio Institut „Jaroslav Černi“ i nova rješenja koja će predložiti autor ovog rada.

2. ANALIZA MOGUĆNOSTI ISKORIŠĆENJA HIDROENERGETSKOG POTENCIJALA

U Strategiji razvoja energetike Crne Gore do 2025. godine je predviđena gradnja hidroelektrana na rijeci Morači i to: HE Andrijevo, HE Milunovići, HE Ralovići i HE Zlatica, ali nijesu date detaljne analize koja od varijanti iz važeće Vodoprivredne osnove Crne Gore je prihvaćena. Postavlja se pitanje da li je to Varijanta 1. kod koje je planirana izgradnja velike akumulacije, sa kotom normalnog uspora 285 m.n.m. (veliko Andrijevo) ili je Varijanta 2. sa kotom normalnog uspora iste ove akumulacije 250 m.n.m. Ova delikatna tema je vješto izbjegnuta i u Vodoprivrednoj osnovi Crne Gore i u Strategiji razvoja energetike Crne Gore do 2025. godine, pa su samo date moguće varijante iskorišćenja ovog veoma značajnog hidroenergetskog potencijala. Tako nijesu dati odgovori i objašnjenja na sledeća pitanja:

Da li Varijanta 1 iz Vodoprivredne osnove Crne Gore, prema kojoj je kota normalnog uspora (maksimalne vode u akumulaciji) akumulacije HE Andrijevo 285 mnm, potencijalno ugrožava Manastir Moraču kao značajni duhovni i istorijski kompleks.

Kakve su posljedice poplavnog talasa na stanovništvo koje živi nizvodno od brane i na Podgoricu, kao i na manastirski kompleks u slučaju da se aktivira veliko klizište „Đurđevine“ pri punoj akumulaciji „Andrijevo“ po Varijanti 1.

Kakvo je mišljenje ekologa, o eventualnom potapanju obimnog prostora kanjona Platije i kakav je uticaj ovako velikih akumulacija na životnu sredinu.

Kakav uticaj bi imala izgradnja Velikog Andrijeva na povećanje obima seizmike aktivnosti. Kakav bi uticaj imala veća potapanja zemljišta na demografsku strukturu.

Sva navedena pitanja su veoma kompleksna i nijesu dosad adekvatno analizirana, a pretpostavka je da će se u budućem periodu morati dublje proučiti u funkciji izbora optimalne varijante hidroenergetskog iskorišćenja slivnog područja rijeke Morače.

U daljem izlaganju osvrnućemo se na varijante hidroenergetskog iskorišćenja ovog vodotoka samo sa stanovišta osnovnih tehničkih parametara, koji su trenutno dostupni.

3. MODEL UPRAVLJANJA PROCESOM OPTIMIZACIJE

Za proces optimizacije i izbor optimalnog rješenja hidroenergetskog iskorišćenja slivnog područja rijeke Morače koristićemo model višekriterijumske optimizacije i višekriterijumskog rangiranja.

Rješavanje ovog zadatka izbora optimalne tehnologije građenja spada u problem višekriterijumske optimizacije i formuliše se u sledećem obliku: $\min F(x)$, $\max F(x)$. x element od X , gdje je $F(x)$ – vektorska kriterijumska funkcija, čije su komponente pojedinačne kriterijumske funkcije:

$$F(x) = f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x)$$

U ovom radu kao kriterijumske funkcije izabrane su:

$f_1(x)$ - količina proizvedene električne energije,

$f_2(x)$ - zapremine akumulacije,

$f_3(x)$ -, instalisana snaga,

$f_4(x)$ - negativan uticaj na životnu sredinu,

$f_5(x)$ - sociološki zahtjevi.

x - vektorska promjenljiva

Bitne osobine kompromisnog programiranja su da rješenje višekriterijumske optimizacije odredi minimalno ostupanje od idealnog na osnovu usvojene mjere rastojanja, uključujući sve kriterijume. Kao mjera rastojanja od idealne tačke u većini slučajeva se koristi Lp- metrika, što je u ovom radu i primijenjeno.

$$L(F^T, F) = \left\{ \sum_{i=1}^5 [f_i^T - f_i(x)]^p \right\}^{1/p}; \quad 1 \leq p \leq \infty$$

Kao što se vidi, ono predstavlja rastojanje između idealne take F i tačke $F(x)$ u prostoru kriterijumskih funkcija.

Iz formule je očigledan značaj parametra »p«, pa se umjesto ove formule može uvesti funkcija kompromisnog programiranja $R(F(x), p)$. Ovaj parametar ima ulogu balansirajućeg faktora između ukupne koristi i maksimalnog individualnog odstupanja, i to na sledeći način:

-Ako se povećava parametar p, smanjuje se ukupna korist, ali se smanjuje i maksimalno pojedinačno odstupanje od najboljeg rješanja. Ekstremni slučaj je $p = \infty$ kada se gornja formula svodi na minimaks problema po:

$$R(F(x), \infty) = \max (f_i^T - f_i(x))$$

-malo p koristimo kada grupna korist ima prednost nad individualnim ostupanjima.

Ovdje je korišćena metrika za sledeće vrijednosti balansirajućeg faktora:

- $p=1$ rješenje najbolje po sumi svih pet kriterijuma, posmatranih zajedno

- $p=2$ rješenje geometrijski najbliže idealnoj tački

- $p = \infty$ prioritet je dat kriterijumu sa najvećim odstupanjem.

Izborom vrijednosti parametra p usvaja se strategija postojanja kompromisa u višekriterijumskoj optimizaciji.

Kriterijumske funkcije koje se u ovom zadatku javljaju su raznorodne, tj. radi se o heterogenom kriterijumskom prostoru, zbog čega se pribjegava transformaciji kriterijumskih funkcija u bezdimenzionalnu funkciju sa opsegom na intervalu (0,1) i to na sledeći način:

$$T(f_i^T - f_i(x)) = (f_i^T - f_i(x)) / D_i; \quad (i = 1, \dots, 5)$$

gdje je $D = f_i^T - f_i$ dužina opsega i-te kriterijumske funkcije, a najbolje i najslabije rješenje od svih po kriterijumu i tada $R(F(x), p)$ postaje:

$$R(F(x), p) = \left[\sum_{i=1}^5 t_i^{(p)} (f_i^T - f_i)^p \right]^{1/p}$$

gdje je t_i – transformisani koeficijent za one kriterijumske funkcije koje su u istim jedinicama mjere. Iz jednačine se vidi da kriterijumska funkcija sa manjom dužinom opsega dobija veću težinu od funkcije sa većom dužinom opsega.

Donosilac odluke može odlučiti kakve težinske kriterijume da usvoji za sledeće faze. Cilj je da se uvede

u igru »težina« pojedinih kriterijuma i da se rješavanjem zadataka kompromisnog programiranja ispita osjetljivost rješanja u odnosu na težinske koeficijente. Problem predstavlja to što su težinski koeficijenti subjektivne mjere značajnosti pojedinih kriterijuma. Zato se predlažu različite metode da bi se taj uticaj smanjio. U ovom radu je korišćena normalizovana mjera entropije:

$$e(f_i) = 1 / \ln J (d_{ij}/s_i) \ln(d_{ij}/s_i); \quad (i = 1, \dots, 5)$$

gdje je j-ta diskretna vrijednost ($j = 1, \dots, J$) i-te funkcije ostupanja

$$d = (f_i^T - f_{ij}) / D_i$$

Umjesto težinskih koeficijenata $W(i = 1, 2, \dots, 5)$ u funkciji:

$$R(F_p, W) = \left[\sum_{i=1}^5 W_i^p (f_i^T - f_i)^p \right]^{1/p}$$

koriste se novi koeficijenti koji se dobijaju prema sledećem izrazu:

$$a_i = W_i b_i / \sum_{i=1}^5 W_i b_i \quad i = 1, \dots, 5$$

gdje je a_i mjera relativne značajnosti kriterijuma za date podatke o sistemu koji se optimizira.

$$b_i = (1 - e(f_i)) / (n - E)$$

b_i je nepromenljivost i-te kriterijumske funkcije u odnosu na jednu idealnu vrijednost, dok je:

$$E = \sum_{i=1}^5 e(f_i)$$

Analizirana je osjetljivost rješanja za više kombinacija težinskih koeficijenata.

$$\sum_{i=1}^5 W_i = 1$$

Za optimalno rješenje postavljenog zadatka i rangiranja na osnovu željenih promjena težinskih kriterijuma izabrane su vrijednosti težinskih koeficijenata na osnovu kojih je izvršen proces dobijanja optimalnog rješanja.

Za proces optimizacije je korišćen gotovi softverski paket „VIKOR“, koji se koristi za rješavanje problema višekriterijumske optimizacije, a koji je razvijen na Građevinskom fakultetu u Beogradu.

4. ANALIZA MOGUĆIH VARIJANTNIH RJEŠENJA

Ovaj projekat je zamišljen veoma ambiciozno jer zadire u suštinu energetskeg razvoja, pogotovo kada se ima u vidu da je nacrtom Strategije razvoja energetike u Crnoj Gori do 2025. godine predviđena samo izgradnja većih hidroelektrana na rijeci Morači i još jedna hidroelektrana na rijeci Komarnici. Ovom strategijom nije dat prioritet

varijantnim rješenjima izgradnje hidroelektrana na Morači, ali se rješenja, uglavnom, zasnivaju na podacima iz važeće Vodoprivredne osnove Crne Gore. U favorizovanje neke od predloženih varijantnih rješenja nije se do sada dublje stručno ulazilo, vjerovatno zbog složenosti analiziranja ovog problema, kao i njihove implementacije u praksi.

Dobijeni podaci u istraživanju imaju određene oscilacije, ali su to, u suštini, adekvatni podaci, čiji smo oblik unaprijed definisali formiranjem adekvatnih pitanja koja su bila jednostavna i jednoznačna.

Kriterijumske funkcije na osnovu kojih je vršen proces optimizacije su:

- godišnja proizvodnja električne energije,
- zapremina akumulacija,
- instalisana snaga,
- uticaj na životnu sredinu,
- sociološki uslovi.

Osnovna varijantna rješenja o mogućnostima energetskeg iskorišćenja rijeke Morače i pritoka je odredila Elektroprivreda Crne Gore i ona su data u tabeli 1. i tabeli 2. To su Varijanta 1. i Varijanta 2.

Varijanta 1. predviđa gradnju velike HE Andrijevo sa kotom normalnog uspora 285 m.n.m., i uzvodnih hidroelektrana Ljevišta, Krušev Lug, Ljuta.

Red. br.	Naziv postrojenja	Tip postrojenja	Dužina derivacije	Q_{sr} u profile	Q_i	H_b	H_n	Instalisana snaga N_i	E_{god}	V_k	V_k/V_{sr}	Kota normalnog uspora
			km	m^3/s	m^3/s	m	m	MW	GWh	hm^3		mnm
<i>Glavni tok</i>												
1.	Ljevišta	Der.	2,2	3,56	20	300,5	277,1	47	73,4	27	0,240	1028
2.	Krušev lug	Der.	1,3	7,06	35	105,6	94,1	27	49,5	29	0,130	590
3.	Ljuta	Der.	1,7	9,78	50	159	155	60	113	45	0,146	463
4.	Andrijevo	Prib.		37,8	120	117	115	127	323,7	250	0,210	285
5.	Raslovići	Prib.		42,1	120	36	34	37	106,6	2,8	0,002	155
6.	Milunovići	Prib.		44,8	120	38	36	37	120,1	6,8	0,005	119
7.	Zlatica	Prib.		57,3	120	38,5	36,5	37	155,7	13	0,007	81
	Ukupno							372	942	374		
<i>Pritoke Morače</i>												
8.	Ibrija	Der.	0,7	1,27	6	158,2	150,4	7	14,2	8,4	0,210	481
9.	Velje Duboko	Der.	5,8	2	10	549	492	40	73,3	13,5	0,214	846
10.	Nožica	Der.	1,6	2,56	12	154	140	14	26,7	17	0,211	948,5
11.	Brskut	Der.	6,9	3,23	15	649	590	74	141,9	11,2	0,110	785
	Ukupno							135	256	50		
	UKUPNO							507	1198	424		

Varijanta 2. predviđa HE Andrijevo sa kotom normalnog uspora 250 m.n.m., gradnju istih nizvodnih elektrana na osnovnom vodotoku i na pritokama kao u Varijanti 1, dok su uzvodno planirane hidroelektrane HE Grla i Dubovica.

Red. br.	Naziv postrojenja	Tip postrojenja	Dužina derivacije	Q_{sr} u profile	Q_i	H_b	H_n	Instalisana snaga N_i	E_{god}	V_k	V_k/V_{sr}	Kota normalnog uspora
			km	m^3/s	m^3/s	m	m	MW	GWh	hm^3		mm
<i>Glavni tok</i>												
1.	Dubravica	Prib.		9,78	50	146	144	60	104,9	100	0,324	500
2.	Grla	Prib.		9,78	30	40	38	10	27,7	2	0,006	335
3.	Andrijevo	Prib.		37,8	120	85	83	127	233,6	100	0,084	250
4.	Raslovići	Prib.		42,1	120	36	34	37	106,6	2,8	0,002	155
5.	Milunovići	Prib.		44,8	120	38	36	37	120,1	6,8	0,005	119
6.	Zlatica	Prib.		57,3	120	38,5	36,5	37	155,7	13	0,007	81
Ukupno								308	749	225		
<i>Pritoke</i>												
7.	Ibrija	Der.	0,7	1,27	6	231	229,6	12	21,7	8,4	0,210	481
8.	Velje Duboko	Der.	5,8	2	10	550	538,4	46	80,2	1,6	0,025	800
9.	Nožica	Der.	1,6	2,56	12	154	140	14	26,7	17	0,211	948,5
10.	Brskut	Der.	6,9	3,23	15	649	590	74	141,9	11,2	0,110	785
11.	Sjevernica	Prib.		2	10	100	98	9	14,6	30	0,476	350
12.	Pačlišići	Prib.		13	60	111	109	56	105,5	55	0,134	200
Ukupno								211	391	123		
UKUPNO								519	1139	347,8		

Varijanta 3. Kota normalnog uspora akumulacije je 265 m.n.m. i predstavlja kompromisno rješenje između prethodno opisanih varijanti i rješenja ekspertskog tima Instituta Jaroslav Černi

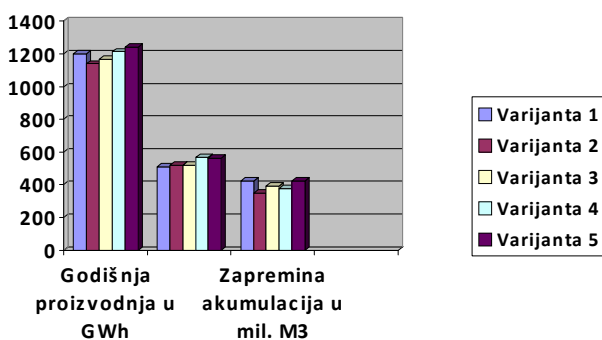
Red. br.	Naziv postrojenja	Tip postrojenja	Dužina derivacije	Q_{sr} u profile	Q_i	H_b	H_n	Instalisana snaga N_i	E_{god}	V_k	V_k/V_{sr}	Kota normalnog uspora
			km	m^3/s	m^3/s	m	m	MW	GWh	hm^3		mm
<i>Glavni tok</i>												
1.	Dubravica	Prib.		9,78	50	146	144	60	104,9	100	0,324	500
2.	Grla	Prib.		9,78	30	40	38	10	27,7	2	0,006	335
3.	Andrijevo	Prib.		38	120	98	95	130	267	150	0,084	265
4.	Raslovići	Prib.		42,1	120	36	34	37	106,6	2,8	0,002	155
5.	Milunovići	Prib.		44,8	120	38	36	37	120,1	6,8	0,005	119
6.	Zlatica	Prib.		57,3	120	38,5	36,5	37	155,7	13	0,007	81
Ukupno								311	782	274,6		
<i>Pritoke</i>												
8.	Ibrija	Der.	0,7	1,27	6	215	213	11,1	20,1	8,4	0,210	481
9.	Velje Duboko	Der.	5,8	2	10	535	521	45,3	78,9	1,6	0,025	800
10.	Nožica	Der.	1,6	2,56	12	154	140	14	26,7	17	0,211	948,5
11.	Brskut	Der.	6,9	3,23	15	649	590	74	141,9	11,2	0,110	785
12.	Sjevernica	Prib.		2	10	100	98	9	14,6	30	0,476	350
13.	Pačlišići	Prib.		13	60	111	109	56	105,5	55	0,134	200
Ukupno								209,4	387,7	123		
UKUPNO								520,4	1169,7	390,6		

Varijanta 4. je ista kao Varijanta 2. samo je dodata mogućnost gradnje akumulacije HE Ljevišta sa kotom normalnog uspora 1028 m.n.m.

Red. br.	Naziv postrojenja	Tip postrojenja	Dužina derivacije	Q_{sr} u profilu	Q_i	H_b	H_n	Instalisana snaga N_i	E_{god}	V_k	V_k/V_{sr}	Kota normalnog uspora
			km	m ³ /s	m ³ /s	m	m	MW	GWh	hm ³		mmm
<i>Glavni tok</i>												
1.	Ljevišta	Der.	2,2	3,56	20	300	277,1	47	73,4	27	0,240	1028
1.	Dubravica	Prib.		9,78	50	146	144	60	104,9	100	0,324	500
2.	Grla	Prib.		9,78	30	40	38	10	27,7	2	0,006	335
3.	Andrijevo	Prib.		37,8	120	85	83	127	233,6	100	0,084	250
4.	Raslovići	Prib.		42,1	120	36	34	37	106,6	2,8	0,002	155
5.	Milunovići	Prib.		44,8	120	38	36	37	120,1	6,8	0,005	119
6.	Zlatica	Prib.		57,3	120	38,5	36,5	37	155,7	13	0,007	81
Ukupno								355	822	251.6		
<i>Pritoke</i>												
7.	Ibrija	Der.	0,7	1,27	6	231	229,6	12	21,7	8,4	0,210	481
8.	Velje Duboko	Der.	5,8	2	10	550	538,4	46	80,2	1,6	0,025	800
9.	Nožica	Der.	1,6	2,56	12	154	140	14	26,7	17	0,211	948,5
10.	Brskut	Der.	6,9	3,23	15	649	590	74	141,9	11,2	0,110	785
11.	Sjevernica	Prib.		2	10	100	98	9	14,6	30	0,476	350
12.	Pačlišići	Prib.		13	60	111	109	56	105,5	55	0,134	200
Ukupno								211	390.6	123.2		
UKUPNO								520.4	1169.7	390.6		
UKUPNO								566	1212.6	374.8		

Varijanta 5. Kota normalnog uspora akumulacije je 265 m.n.m. i predstavlja kompromisno rješenje sa Varijantom III, s tim da mu jed dodata mogućnost izgradnje HE Ljevišta

Red. br.	Naziv postrojenja	Tip postrojenja	Dužina derivacije	Q_{sr} u profilu	Q_i	H_b	H_n	Instalisana snaga N_i	E_{god}	V_k	V_k/V_{sr}	Kota normalnog uspora
			km	m ³ /s	m ³ /s	m	m	MW	GWh	hm ³		mmm
<i>Glavni tok</i>												
1.	Ljevišta	Der.	2,5	3,56	20	300	270	41	73,4	27	0,240	1280
2.	Dubravica	Prib.		9,78	50	146	144	60	104,9	100	0,324	500
3.	Grla	Prib.		9,78	30	40	38	10	27,7	2	0,006	335
4.	Andrijevo	Prib.		38	120	98	95	130	267	150	0,084	265
5.	Raslovići	Prib.		42,1	120	36	34	37	106,6	2,8	0,002	155
6.	Milunovići	Prib.		44,8	120	38	36	37	120,1	6,8	0,005	119
7.	Zlatica	Prib.		57,3	120	38,5	36,5	37	155,7	13	0,007	81
Ukupno								352	855.4	301.6		
<i>Pritoke</i>												
8.	Ibrija	Der.	0,7	1,27	6	215	213	11.1	20,1	8,4	0,210	481
9.	Velje Duboko	Der.	5,8	2	10	535	521	45.3	78.9	1,6	0,025	800
10.	Nožica	Der.	1,6	2,56	12	154	140	14	26,7	17	0,211	948,5
11.	Brskut	Der.	6,9	3,23	15	649	590	74	141,9	11,2	0,110	785
12.	Sjevernica	Prib.		2	10	100	98	9	14,6	30	0,476	350
13.	Pačlišići	Prib.		13	60	111	109	56	105,5	55	0,134	200
Ukupno								209.4	387.7	123		
UKUPNO								561.4	1243.1	424.6		



Slika 1. Dijagramski prikaz godišnje proizvodnje električne energije (GWh), instalisane snage (MW) i zapremine akumulacija (hm³) po predloženim varijantnim rješenjima

Prema važećoj Vodoprivrednoj osnovi Crne Gore obje varijante (1. i 2.) su uslovne, i imaju za cilj utvrđivanje graničnih mogućnosti realizacije objekata, prema prirodnim i drugim ograničenjima, a optimalno rješenje prema ovoj osnovi treba tražiti u kombinaciji izgradnje objekata između ove dvije varijante. Korisno je napomenuti da bez izmještanja Manastira Morače nije moguće postići izravnjanje voda rijeke Morače ni u Varijanti 1. ni u Varijanti 2.

5. REZULTATI VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE I VIŠEKRITERIJUMSKOG RANGIRANJA

Na osnovu izvršenog rangiranja i vrijednosti kriterijuma uz korištenje softverskih paketa za rješavanje problema višekriterijumske optimizacije, izvršen je proces optimizacije za različite vrijednosti težinskih koeficijenata.

Na osnovu pokazatelja ekstremizacije za sve varijante po analiziranim kriterijumima dobili smo optimalan redosled varijantnih rješenja za svaki kriterijum posebno, odnosno mjesta na jednokriterijumskim rang listama (tabela 6).

Za kriterijumske funkcije: negativni uticaj izgradnje velikih akumulacija na životnu sredinu i socijalni zahtjevi, zbog nemogućnosti dobijanja egzaktnih podataka, za svaku varijantu dati su određeni brojevi u rasponu od 1 do 5, pri čemu najmanji negativni uticaj ima varijanta sa ocjenom 1, a najveći varijanata sa ocjenom 5. Kod određivanja konkretnih vrijednosti pošlo se od toga da najveći negativan uticaj na životnu sredinu i iseljavanje stanovništva ima varijanta sa

najvećim akumulacijama, to jest varijanta koja potapa najveće površine i suprotno, najmanje koeficijente varijanta sa najmanjim akumulacijama i manjim potapanjima.

Proces višekriterijumske optimizacije i višekriterijumskog rangiranja je urađen na osnovu usvojenih vrijednosti težinskih koeficijenata po analiziranim varijantnim rješenjima, a dobijeni rezultati su dati u tabeli 8.

Na osnovu izvršenog rangiranja i vrijednosti kriterijuma uz korištenje softverskih paketa „VIKOR“ za rješavanje problema višekriterijumske optimizacije višekriterijumskog rangiranja izvršen je proces optimizacije za različite vrijednosti težinskih koeficijenata. Kompletan proračun i dobijeni rezultati višekriterijumskog rangiranja neće se, zbog obimnosti materijala, ovdje prezentirati (podaci o proračunu se nalaze kod autora ovog rada) već će se dati sumarno u tabeli 7.

Na osnovu pokazatelja ekstremizacije za sve varijante po analiziranim kriterijumima dobili smo optimalan redosled varijantnih rješenja za svaki kriterijum posebno, odnosno mjesta na jednokriterijumskim rang listama (tabela 6). Iz tabele 6. se može vidjeti da najveću godišnju proizvodnju električne energije i instalisanu snagu imaju Varijanta 5. i Varijanta 4, najveću zapreminu akumulacija Varijanta 1 i Varijanta 5, najmanji negativni uticaj na životnu sredinu i sociološki faktor (iseljavanje stanovništva) ima Varijanta 2, a najveći Varijanta 1 i Varijanta 5.

Tabela 6. Rang lista varijantnih rješenja hidroenergetskog iskorišćenja rijeke Morače

Varijanta	MJESTA NA JEDNOKRITERIJUMSKIM RANG-LISTAMA				
	Godišnja proizvodnja u GWh	Zapremina akumul. u mil. m ³	Insta. Snaga MW	Negativni uticaj na životnu sredinu	Sociol. zahtjevi
Var. 1 A1	1.198,0	424,0	507,0	5	5
Var. 2 A2	1.139,0	347,8	519,0	1	1
Var. 3 A3	1.167,7	390,6	520,4	3	2
Var. 4 A4	1.212,6	374,8	520,4	2	3
Var. 5 A5	1.243,1	424,6	561,4	4	4

6. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

REZULTATI VIKORA ZA RAZLIČITE VRIJEDNOSTI
TEŽINSKIH KOEFICIJENATA KRITERIJUMSKIH
FUNKCIJA $W(I)$

RANG-LISTA DATA PREMA MJERAMA QR , Q i QS

QR - MINIMAKS STRATEGIJA

Q - KOMPROMISNA LISTA

QS - STRATEGIJA VEĆINE KRITERIJUMA

Tabela 7. Rang lista varijantnih rješenja na osnovu sprovedenog procesa višekriterijumske optimizacije za različite vrijednosti težinskih koeficijenata kriterijumskih funkcija

Rbr	$W(I)$ (0.2 0.2 0.2 0.200 0.200)			$W(I)$ (0.400 0.100 0.200 0.200 0.100)			$W(I)$ (0.200 0.300 0.200 0.200 0.100)			$W(I)$ (0.200 0.100 0.400 0.200 0.100)			$W(I)$ (0.200 0.100 0.200 0.400 0.100)			$W(I)$ (0.200 0.100 0.200 0.200 0.300)		
	QR	Q	QS	QR	Q	QS	QR	Q	QS	QR	Q	QS	QR	Q	QS	QR	Q	QS
1	A4	A4	A5	A4	A5	A5	A4	A4	A5	A5	A5	A5	A4	A4	A4	A3	A4	A5
2	A5	A5	A4	A5	A4	A4	A5	A5	A4	A3	A3	A4	A2	A2	A5	A4	A3	A4
3	A3	A3	A3	A1	A1	A1	A3	A3	A3	A1	A1	A1	A3	A5	A2	A2	A5	A2
4	A2	A2	A2	A3	A3	A3	A2	A2	A2	A4	A4	A3	A5	A3	A3	A5	A2	A3
5	A1	A1	A1	A2	A2	A2	A1	A1	A1	A2	A2	A2	A1	A1	A1	A1	A1	A1

Ako u procesu optimizacije uvedemo jednake vrijednosti težinskih koeficijenata $W(I)$ za kriterijumske funkcije: 0,2 0,2 0,2 0,2 0,2, dobijaju se rezultati vektora –A prema rang listi i mjerama QR , Q , QS , gdje su QR minimaks strategija, Q kompromisna lista i QS strategija većine kriterijuma (tabela 7). Optimalno rješenje za date težinske kriterijume je Varijanta 4, zatim slijedi Varijanta 5.

Kada se da značaj težinskom koeficijentu kriterijumske funkcije-godišnja proizvodnja električne energije, najbolje rangirane varijante su Varijanta A5, zatim slijedi Varijanta 4.

Kada se u procesu višekriterijumske optimizacije daje značaj težinskom koeficijentu- zapremina akumulacija, optimalno rješenje je Varijanta 4, zatim Varijanta 5.

Ako se u procesu optimizacije daje značaj ukupnoj instalisanoj snazi preko vrijednosti težinskih koeficijenata, najbolje rangirana je Varijanta 5.

Kada se istakne kao značajan faktor negativni uticaj na životnu sredinu, optimalna varijanta je Varijanta 4, zatim slijedi Varijanta 2.

Ako se da značaj težinskom koeficijentu kriterijumske funkcije-sociološki zahtjevi, najbolje rangirana je Varijanta 4, zatim Varijanta 3 i Varijanta A5.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da su po svim parametrima najbolje rangirane Varijanta 4 i

Varijanta 5. Kada nam je najznačajnija kriterijumska funkcija proizvodnja električne energije i instalisana snaga, optimalno rješenje je Varijanta A5, a kada nam je najvažniji kriterijum - zaštita životne sredine i sociološki faktor, optimalno rješenje je Varijanta 4. Konačnu odluku koja je od predloženih varijanti optimalno rješenje treba da donese investitor na osnovu dodatnih istraživanja, a posebno pozitivnih i negativnih uticaja akumulacija na životnu sredinu, socioloških faktora i drugih faktora i definisanja prioriteta kriterijumskih funkcija.

7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Na osnovu izloženih istraživanja se može zaključiti da je prije konačnog rješenja hidroenergetskog iskorišćenja određenog vodotoka neophodno izvršiti detaljne analize svih potencijalnih varijantnih rješenja i proces višekriterijumske optimizacije i višekriterijumskog rangiranja, pa na osnovu tih istraživanja donositi konačne odluke.

Kod iznalaženja optimalnog rješenja hidroenergetskog iskorišćenja vodotoka najznačajniji faktori su ukupna godišnja proizvodnja, zapremina akumulacija i sociološki zahtjevi. Prema analizi rezultata višekriterijumske optimizacije za pomenute kriterijume najbolje rangirana je Varijanta 4, a zatim slijedi Varijanta 5. A ako sve analizirane kriterijume posmatramo kao jednako značajne, opet je Varijanta 4 najbolje rangirana.

Ako se u procesu višekriterijumske optimizacije dade značaj težinskom koeficijentu kriterijumske funkcije negativan uticaj akumulacija na životnu sredinu, najbolje je rangirana Varijanta 4, a odmah iza nje Varijanta 2, pa Varijanta 5.

Korisno je napomenuti da favorizovane varijante koje su predložene u važećoj Vodoprivrednoj osnovi Crne Gore i Strategiji razvoja energetike Crne Gore do 2025. godine (varijante 1 i 2), u ovom istraživanju nisu optimalno rješenje kod svih razmatranih kombinacija vrijednosti težinskih koeficijenata.

Ovo istraživanje ukazuje na to da, iako su u važeću Vodoprivrednu osnovu Crne Gore uključene samo Varijante 1 i 2, je neophodno izvršiti dodatna istraživanja i za druga varijantna rješenja, a posebno varijantna rješenja koja predviđaju prevođenje voda iz gornjeg dijela slivnog područja rijeke Morače. Ovakva istraživanja posebno dobijaju na značaju jer je planirana izgradnja hidroelektrana na rijeci Morači u neposrednoj budućnosti, pa će ovakvi istraživački radovi biti od velike koristi prije donošenja konačne odlike na osnovu kojeg varijantnog rješenja će se graditi hidroelektrane na ovom vodotoku. Ovo istraživanje je korisno i kao metod koji omogućava svestranije sagledavanje iznalaženja optimalnog hidroenergetskog iskorišćenja određenog vodotoka i polazna osnova za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

Ovdje se takođe ukazuje na to da je kod hidroenergetskog iskorišćenja određenog vodotoka neophodno sagledati slivno područje kao jednu cjelinu i na osnovu urađenih analiza i optimizacije izabrati optimalno rješenje. Potencirano je da dosadašnja istraživanja hidroenergetskog iskorišćenja slivnog područja rijeke Morače nisu dovoljna i da usvojena Varijanta 1 od strane Vlade Crne Gore nije optimalno rješenje. Osnovni princip kod izgradnje ovakvih kapitalnih objekata je da se prethodno urade sve analize i optimizacije različitih varijantnih rješenja i tek na osnovu dobijenih rezultata donese konačna odluka koja je varijanta optimano rješenje i prema kojoj varijanti će se graditi hidroenergetski objekti. Mišljenja smo da još nije kasno i da institucije u Crnoj Gori treba što prije da urade neophodna istraživanja i definišu optimalno rješenje (po pitanju proizvodnje električne energije, zapremine akumulacija, uticaja na životnu sredinu, socioloških zahtjeva, bezbjednosnih i dr.) prije donošenja konačne odluke o gradnji, jer kada se počne sa izgradnjom i kada se hidroenergetski objekti izgrade, greške se više ne mogu ispraviti, a one mogu imati dalekosežne posledice.

LITERATURA

- [1] Vodoprivredna osnova Republike Crne Gore, 2001.
- [2] Đorđević, B i M. Šaranović, Hidroenergetski potencijal Crne Gore i nužnost njihovog što bržeg iskorišćenja, CANU, Podgorica, 2004.
- [3] Đorđević, B, Hidroenergetsko korišćenje voda, Građevinski fakultet, Beograd, 2001.
- [4] Strategija razvoja energetike Republike Crne Gore do 2025. godine, 2007.
- [5] Đorđević, B, Uticaj brana i akumulacija na socijalno i ekološko okruženje i mjere za skladno uklapanje, Kladovo, 2003.
- [6] Živaljević R., Mogućnost i ograničenja kod obezbeđenja uslova za korišćenje preostalih iskoristivih potencijala glavnih tokova Crne Gore, Vodoprivreda, 2006.
- [7] Đorđević, B, Vodoprivredni sistemi, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [8] R. Mitrovic. (1997). Modeling the technical and technological structure of construction companies operation in market conditions, Belgrade,
- [9] Savić LJ. , Uvod u hidrotehničke građevine, Građevinski fakultet, Beograd, 2003.
- [10] B.Ivković, Ž. Popović- Upravljanje projektima- Građevinska knjiga, 2006.
- [11] Robinson. G. Building Your Own Wizard User Interface- Toolshed, Gr-Fx Pty Limited, Australia, 2000,
- [12] Levy, Sidney M, Project Management in Construction, Me Grow Hill, 2000,
- [13] Đorđević, B i M. Šaranović, Hidroenergetski potencijal Crne Gore, CANU, Podgorica, 2007.
- [14] Opricovic S. Operacioni sistemi, Nauka, Građevinski fakultet, Beograd, 1992.
- [15] Đorđević, B ,Razvojne perspektive izgradnje novih brana u region, Časopis TEHNIKA,2008.
- [16] Novo rješenje hidroenergetskog korišćenja voda Tare i Morače, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, 1999.
- [17] Miodrag Milovanović, Dragan Zdravković, dr Mirko Milentijević, Miodrag Popović, Mr Dejan Divac, Predlog novog rješenja energetskog

- korištenja voda Tare i Morače, Naučni skup "Hidroenergetski potencijal Crne Gore i izgradnja novih izvora električne energije", Privredna komora Crne Gore, 2002.
- [18] Hidroelektrane srednje Morače HE Andrijevo, Raslovići, Milunovići i Zlatica, Tehno ekonomski izvještaj, Energoprojekt, Beograd, 1986.
- [19] Hidrološke podloge za HE u slivu rijeke Morače, Energoprojekt, 1984.
- [20] Aktualizacija projektne i investiciono tehničke dokumentacije hidroelektrana na Morači, Energoprojekt, 1984.
- [21] Hidroenergetsko korišćenje potencijala rijeke Morače, Energoprojekt, Beograd, 1988.

OPTIMIZATION OF UTILIZATION OF HYDROPOWER POTENTIAL OF THE MORAČA RIVER

by

Prof.dr Ratko MITROVIĆ

Faculty of Architecture and Civil Engineering, University of Montenegro

Doc.Dr Sreten TOMOVIĆ,

Faculty of Civil Engineering, University of Montenegro

Summary

The process of finding optimal solution for utilizing hydropower potential of a river is a very complex procedure, because it is necessary to find a compromise between an optimal solution for power production and a solution with the smallest adverse impact on the environment and sociological conditions, which is often contradictory in practice. In order to show more precisely the complexity in choosing an optimal solution for utilizing hydropower potential of a river, we present a mathematics model of multicriteria optimization and multicriteria ranking for a particular example i.e. we present the optimization process for different alternatives of utilizing hydropower potential

of the Morača River basin. In this work, we compare possible alternatives of utilizing hydropower potential of the Morača River. This research uses extensive documentation, and existing preliminary design projects for hydropower plants Andrijevo, Milunovići, Ralovići and Zlatica. The optimization procedure is described for five hydropower alternatives along with characteristics of each alternative. At the end of this paper the optimal alternative is proposed for each of the criteria functions.

Key words: hydropower, optimization, electric power, criteria function

Redigovano 03.06.2010.