

## MALE HIDROELEKTRANE NE MOGU BITI ZAMENA ZA VELIKA I SREDNJA HIDROENERGETSKA POSTROJENJA - NA PRIMERU CRNE GORE -

Branislav ĐORĐEVIĆ <sup>1)</sup>, Milinko ŠARANOVIĆ <sup>2)</sup> i Srđan VUJADINOVIĆ <sup>3)</sup>  
<sup>1)</sup> Građevinski fakultet u Beogradu, <sup>2)</sup> CANU, <sup>3)</sup> Elektroprivreda Crne Gore, Nikšić

### REZIME

Tvrđnja tzv. "ekoloških eksperata" da se ne smeju graditi hidroelektrane na većim vodotocima, već da se sve potrebe za energijom mogu podmiriti iz malih hidroelektrana - predstavlja i energetska i ekološka besmislica. Energetska - jer su potencijali malih elektrana najčešće deset do dvadeset puta manji od potencijala velikih elektrana, ekološka - jer su male elektrane u ekološkom pogledu neuporedivo nepovoljnije od velikih, jer se najčešće radi o derivacionim postrojenjima, sa velikim uticajem na vodne režime. Autori razmatraju poželjnu strategiju iskorišćenja vodnih potencijala Crne Gore. Na većim rekama - Morači, Komarnici, Pivi, Tari, Čehotini, Limu i Ibru - Crna Gora može da realizuje hidroenergetski potencijal u granicama [5,4÷6,1] TWh/god, zavisno od varijante korišćenja voda. Na postojećim objektima je iskorišćeno oko 1,67 TWh/god, instalisane snage 658 MW. Na malim elektranama ukupni potencijal koji je do sada sagledan iznosi oko 0,41 TWh/god., što je oko 15 puta manje od potencijala na velikim hidroelektranama. Pošto se okvirne potrebe Crne Gore u električnoj energiji oko 2021. godine procjenjuju na oko 6,9 TWh/god., stepen pokrivenosti elektroenergetskog konzuma obnovljivom energijom iz hidroelektrana mogao bi da dostigne vrednost i preko 80%, što bi Crnu Goru svrstalo u sam svetski vrh. Veće elektrane su dispozicionim merama skladno uklopljene u ekološko okruženje. Međutim, imajući u vidu postulat o Crnoj Gori kao ekološkoj državi, neophodno je da se definišu jasni uslovi i kriterijumi za iskorišćenje dela vodnih snaga koji se koristi preko malih hidroelektrana. U radu se razmatraju mogućnosti realizacije malih elektrana u Crnoj Gori i analiziraju uslovi i kriterijumi njihovog uklapanja u ekološko i socijalno okruženje. Uslovi za to uklapanje su znatno složeniji u slučaju MHE, imajući u vidu suženije operativne mogućnosti upravljanja u kritičnim hidrološkim periodima.

**Ključne reči:** Crna Gora, vodni potencijali, hidroenergetika, male hidroelektrane, ekološki uslovi, garantovani protoci, ihtiofauna

### UVOD

U svetu se ubrzano zaoštavaju energetska problema, što stvara sasvim nov okvir za vrednovanje hidroenergetskih potencijala, kao jedinog koncentrisanog izvora obnovljive energije sa visokom ukupnom energetska dohodovnošću. Posebno je bitna sledeća činjenica: *u novije vreme najveći deo tehnički iskoristivog potencijala prešao je u kategoriju ekonomski iskoristivog potencijala.* Očekuje se da će u skoroj budućnosti praktično celokupan tehnički iskoristiv potencijal, onaj koji je stavljen pod posebnu društvenu zaštitu (prostornim planovima i drugim merama čuvanja od obezvređivanja namene prostora i vodnih potencijala) - naći u kategoriji ekonomski iskoristivog potencijala. Razloga za tu tendenciju ima više, pri čemu su posebno relevantni sledeći: (1) tendencije poskupljenja fosilnih goriva (cene nafte su krajem novembra 2007. su dostigle "psihološku" granicu od 100 USD po barelu, sa tendencijom daljeg povećanja) i sve oštrija i skuplja ekološka ograničenja koje se postavljaju u vezi sa dozvoljenom emisijom GHG (gasova "staklene bašte") - bitno menjaju uslove vrednovanja hidroelektrana (HE): ekonomične postaju sve HE čija je cena energije manja od cene energije najskupljih termoelektrana koje svojim ulaskom u pogon istiskuju iz elektroenergetskog sistema (EES); (2) sa razvojem EES i promenama nivoa konzuma i strukture proizvodnje, menja se uloga hidroelektrana u EES: hidroelektrane preuzimaju sve važniju i delikatniju ulogu u obezbeđivanju vršne snage i energije i u ostvarivanju zahtevane rezerve i pouzdanosti sistema; (3) kompleksno korišćenje voda učinilo je ekonomičnim mnoge energetske objekte koji nisu bili ekonomični kada su planirani jednonamenski - samo kao

hidroelektrane; (4) uvođenje novih HE u EES povećava ekonomsku stabilnost EES; (5) brzi razvoj tehnologije opreme za HE (posebno za objekte na malim padovima) kao i njihova tipizacija čini opremu specifično jeftinijom i proširuje opseg ekonomske eksploatacija mnogih ranije neekonomičnih hidro potencijala.

Međutim, i pored tih neospornih globalnih tendencija koje nameće energetska i ekološka realnost, sve češće se u neobaveštenoj javnosti osporava značaj hidroelektrana. Posebno je karakteristično zlonamerno i pogrešno ocenjivanje mogućnosti njihovog skladnog uklapanja u ekološko okruženje. Nažalost, sve se čvršće ukorenjuje u javnosti opasna strateška zabluda da su velike i srednje hidroelektrane, posebno one sa akumulacionim jezerima, nepovoljne za okruženje, te da izlaz treba tražiti isključivo kroz realizaciju malih hidroelektrana. Od svih zemalja jugoistočne Evrope ta strateška stranputica posebno je izražena u Crnoj Gori. Tokom diskusija o Prostornim planu Republike Crne Gore organizovana je i vešto vođena kampanja u medijima da se iz Plana izostave sve planirane akumulacije i svi hidroenergetski objekti. Lansirana je čak i krilatica da Crna Gora kao "ekološka država" ne sme da gradi objekte na svojim rekama, navodno - radi zaštite vodenih ekosistema. To je velika i veoma opasna zabluda, koja na stratešku besputicu - energetska, ali i ekološka - dovodi Crnu Goru, koja bi iz hidroenergetskih potencijala, kao ekološki najčistijeg obnovljivog izvora energije, mogla da podmiri najveći deo svojih potreba za električnom energijom. Analizama je dokazano da se svi planirani objekti većih i srednjih hidroelektrana mogu veoma skladno uklopiti u ekološko, socijalno i ostalo okruženje. Ne samo uklopiti, već se akumulacijama mogu ostvariti veoma ozbiljna poboljšavanja ekoloških stanja. Naime, aktivnim upravljanjem vodama mogu se značajno poboljšavati vodni režimi (smanjivati poplavni talasi i značajno povećavati protoci u malovodnim periodima, kao vid tzv. oplemenjavanja malih voda), što je vid vrlo korisnog delovanja na sve vodene i priobalne ekosisteme. Protocima u malovodnim periodima se može upravljati po količini vode, temperaturi i sadržaju kiseonika u vodi, na ekološki najdelotvorniji način.

Pošto se objektivna naučna javnost ne može i ne sme da defetistički pomiri sa strateški pogrešnim odnosom prema iskorišćenju hidroenergetskih potencijala Crne Gore, moraju se razmatrati svi vodni potencijali. Ukoliko bi se samo analizirali potencijali tzv. malih hidroelektrana, mogao bi se steći pogrešan utisak da je stvar determinisana nakon usvajanja poznate Deklaracije o reci Tari, kojom je srušen čitav koncept

uređenja, korišćenja i zaštite vodnih potencijala Crne Gore. Zbog toga će se i u ovom razmatranju dati osvrt na obe klase potencijala - velikih i srednjih objekata, kao i tzv. malih vodnih snaga.

## VODNI POTENCIJALI – NAJVREDNIJI RAZVOJNI RESURS CRNE GORE

Crna Gora je jedna od retkih zemalja Evrope koja bi mogla, uz celovito iskorišćenje svojih hidroenergetskih potencijala, da najveći deo svojih potreba za električnom energijom u narednim decenijama zadovolji iz hidroelektrana, kao ekološki najpovoljnijih obnovljivih izvora. Bruto hidroenergetski potencijal na devet većih reka je oko 9.850 GWh/god. Bruto potencijal na manjim vodotocima, koji bi se mogao iskoristiti bez značajnijih ekoloških posledica na okruženje, procenjuje se na oko [800÷1.000] GWh/god. Najveći vodni potencijal je skoncentrisan na reci Tari i iznosi oko 2.260 GWh/god., a za njom slede Zeta sa oko 2010 GWh/god., Morača (do Zete) oko 1470 GWh/god., Lim 1440 GWh/god. i reka Piva, sa oko 1360 GWh/god.

U skladu sa sve traženijom vršnom ulogom hidroelektrana u EES - poseban kvalitet tog potencijala je mogućnost ostvarivanja regulisanja protoka akumulacijama na većini reka, tako da se može realizovati efikasno upravljanje proizvodnjom, prema zahtevima konzuma. To bi hidroelektranama u Crnoj Gori dalo posebno značajnu ulogu u EES Južne Evrope, i omogućavalo bi vrlo unosnu energetska razmenu sa drugim sistemima u okruženju, plasiranjem veoma vredne i mnogo tražene vršne energije u zamenu za znatno više energije u konstantnom delu dijagramu opterećenja.

Tehnički iskoristivi potencijal Crne Gore na većim i srednjim postrojenjima zavisi od varijante korišćenja voda. U slučaju korišćenja voda Tare u prirodnom pravcu tečenja iznosi oko 4,6 TWh/god., dok u varijanti prevođenja dela voda iz Tare u Moraču iznosi oko 5,3 TWh/god. Pored toga Crna Gora bi dobila, shodno sklopljenom sporazumu sa Republikom Srpskom, oko 0,38 TWh/god iz HE Buk Bijela, u slučaju njene realizacije. Najmanje još oko 0,4 TWh/god. se može realizovati u okviru malih HE. Znači, ukupni iskoristivi hidroenergetski potencijal Crne Gore je [5,4÷6,1] TWh/god, zavisno od varijante korišćenja voda. Na postojećim objektima je iskorišćeno oko 1,67 TWh/god, instalisane snage 658 MW. Pošto se okvirne potrebe Crne Gore u električnoj energiji oko 2021. godine procenjuju na oko 6,9 TWh/god., stepen pokrivenosti

elektroenergetskog konzuma energijom iz hidroelektrana mogao bi da dostigne vrednost i preko 80%. Imajući u vidu i pogodnost razmene vršne / varijabilne energije akumulacionih HE sa konstantnom energijom iz okolnih EES, kojima nedostaje vršna energija, Crna Gora bi se našla u maloj grupi zemalja sveta koje svoje potrebe za električnom energijom mogu podmirivati gotovo u celosti iz obnovljivih, ekološki najčistijih energetske izvora - iz vodnih snaga.

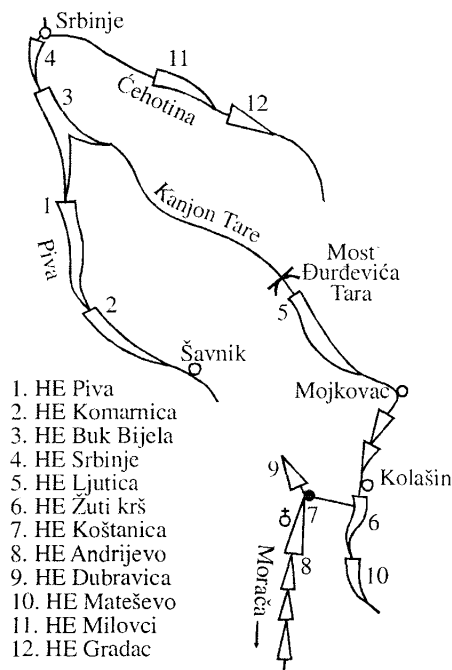
U traženju najboljeg načina iskorišćenja hidropotencijala Crne Gore, pre svega sa stanovišta najskladnijeg uklapanja u ekološko i drugo okruženje, na svim rekama su tehnička rešenja razmatrana u više varijanata. Analizom svih varijanata u monografiji [1] autori su predložili konfiguraciju integralnog sistema koja se veoma skladno može uklopiti u okruženje. Tačnije rečeno, to je varijanta koja omogućava da se upravljanjem akumulacijama mogu veoma uspešno poboljšavati ekološka stanja na rekama (smanjivanjem vrhova talasa velikih voda i povećanjem malih voda, prema potrebama nizvodnih ekosistema). Ta varijanta ne narušava korišćenje reke Tare za splavarenje, već omogućava da se aktivnim upravljanjem akumulacijom Ljutica, koja bi u toplom delu godine služila isključivo za poboljšanje ekoloških funkcija, vodni režimi na toj reci održavaju u najpovoljnijim ekološkim stanjima, sa većim protocima u malovodnim periodima no što bi to bilo u prirodnim režimima. Osnovna konfiguracija tog sistema na važnijim rekama (osim Lima) prikazana je na sl. 1.

Tehničko rešenje koje na skladan način spaja ekološke, energetske i vodoprivredne funkcije ima sledeću osnovnu konfiguraciju po pojedinim rekama i delovima sistema.

**SISTEM 'TARA – MORAČA'.** To je ključni sistem Crne Gore. Najvažniji objekti su: akumulacija 'Žuti Krš' sa kotom normalnog uspora 1000 mnm, kompenzacioni bazen 'Bakovića klisura', kota 932 mnm, tunel prema Morači i HE Koštanica, snage ne manje od 550 MW, neto proizvodnje od 1.100 GWh/god. Dispozicija HE Koštanica treba da bude razrađena tako da se u slučaju potrebe taj objekat može pretvoriti u reverzibilnu elektranu po šemi sa četiri mašine, čime bi se ponovo uspostavio prirodan bilans voda na Tari i Drini, ali sa znatno poboljšanim režimom (ublaženi povodnji, povećani protoci u malovodu).

**PIVA.** U slivu Pive, pored HE Piva, ključni objekat je HE Komarnica, u dispozicionoj šemi koja ne ugrožava Šavnik (kota uspora 818 mnm). Za deo sliva uzvodno

od Šavnika postoje dva varijante (Var. 1: HE Pošćenje i HE Buk – Šavnik; Var. 2: HE Šavnik i HE Timar). Čitav deo toka Pive nizvodno od HE Piva do sastavnice predviđen je za hidroenergetsko korišćenje. HE Piva će značajno dobiti u energetske vrednosti ukoliko se poveća njena instalisana snaga. U tab. 1 prikazani su osnovni parametri dela sistema na reci Pivi.



Slika 1: Konfiguracija sistema na ključnim rekama Crne Gore

**GORNJI TOK TARE.** Pored navedenih objekata iz sistema 'Tara – Morača' u gornjem delu toka najpogodnija je konfiguracija sledećih objekata: ● derivaciona HE Opananica (kota uspora 1160 mnm, zapremina akumulacije  $45 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), ● HE Trebaljevo, kao derivaciona HE (uspor 903 mnm), ● HE Ljutica, kao ključni objekat za ekološko upravljanje vodnim režimima u zaštićenom kanjonu. Ključne performanse HE Ljutica: uspor 770 mnm, korisna zapremina  $316 \times 10^6 \text{ m}^3$ , snaga 212 MW. U toplom delu godine taj objekat se uopšte ne koristi energetske, čak nije ni u ulozi operativne rezerve sistema, već isključivo služi u ekološke svrhe - da regulacijom vodnih i temperaturnih režima stvori optimalne režime za ekološku i turističku valorizaciju zaštićenog kanjona. Kota uspora HE Ljutice je odabrana da ne ugrožava zaštićene prirodne i kulturološke vrednosti na tom delu doline: Manastir Dobrilovina, rezervat Crne Podi, Donja Polja. Performanse tog sistema date su u monografiji [1].

Tabela 1: Pokazatelji planiranih hidroenergetskih objekata u slivu Pive

Naziv HE	Tip HE	Deriv. (km)	$Q_{sr}$ ( $m^3/s$ )	$Q_{inst}$ ( $m^3/s$ )	$H_b$ (m)	$H_n$ (m)	$N_i$ (MW)	$E_{god}$ (GWh/g)	$V_k$ ( $hm^3$ )	KNU mmm
Glavni tok: Komarnica	Pribr.	-	21,6	130	155	153,4	160	247	220	818
Varijan. 1: Pošćenje	Deriv.	4,2	1,45	6	156	148	7,3	16	9,6	976,5
Buk - Šavnik	Deriv.	6,66	2,93	10	256,5	243	20	53	0,95	1080
$\Sigma$ Varj. 1:							27,3	69	10,6	
Varijan. 2: Šavnik	Deriv.	5,5	7,65	25	162	151	35	86	1,5	980
Timar	Deriv.	2,8	2,72	10	165	159,4	14	32,3	1,8	1150
$\Sigma$ Varj. 2:							49	118	3,3	

Ukupno sliv Pive (novi objekti)	$N_{inst}$ (MW)	$E_{god}$ (GWh/god)	$V_k$ ( $hm^3$ )
HE Komarnica + pritoke varij. 1:	187	316	231
HE Komarnica + pritoke varij. 2:	209	365	223

**ČEHOTINA.** Optimalnu konfiguraciju sistema na Čehotini čine objekti: • HE Gradac, NU = 742 mmm,  $V_k=85 \times 10^6 m^3$ , 72 GWh/god.; • HE Milovci, NU = 650 mmm,  $V_k = 386 \times 10^6 m^3$ , 153 GWh/god.

**LIM.** Energetski veoma značajna reka, koja se može uspešno iskoristiti kaskadnim sistemom sa niskim stepenicama sa kanalskim elektranama, koje najvećim delom ostaju u major koritu Lima. Ceo potez toka Lima na teritoriji Crne Gore predviđa se za energetsko korišćenje u okviru kontinuiranog kaskadnog sistema od ukupno 12 stepenica, proizvodnje 590 GWh/god. [1]. Akumulacije za regulisanje protoka smeštaju se u sada malo zauzetim bočnim pritokama. To su objekti: Grlja (Grnčar) NU = 1060 mmm, Đurička rijeka (1100 mmm), Zlorečica (880 mmm), Šekularska rijeka (885 mmm), Trebačka r. (1360 mmm), Beranska Bistrica (850 mmm), Kaludarska (1030 mmm), Lješnica (740 mmm), Ljuboviđa (750 mmm), Bjelopoljska Bistrica (698 mmm). Ukupna zapremina akumulacija u bočnim pritokama Lima je oko  $720 \times 10^6 m^3$ , što bi sistemu na Limu omogućilo godišnje regulisanje protoka, sa ukupnom proizvodnjom od 933 GWh/god. Realizacija sistema bio bi velik razvojni projekat sa čitavom lepezom socijalnih, ekonomskih, ekoloških, kulturoloških, vodoprivrednih i drugih ciljeva. Po toj koncepciji bi se rešenje u slivu Lima skladno uklopilo u okruženje.

**IBAR.** Akumulaciona HE Bač, sa NU = 971 mmm, zapremine  $200 \times 10^6 m^3$ , E = 48 GWh/god. To je objekat koji se posebno dobro vrednuje u vodoprivrednom sistemu Srbije, jer omogućava, usklađenim radom sa

akumulacijom Gazivode, godišnje regulisanje voda reke Ibra.

**MORAČA.** Sistem na Morači je razmatran u dve varijante. Osnovna konfiguracija je u oba slučaja ista (postrojenja: Andrijevo, Raslovići, Milunovići i Zlatica). Razlika je u tome što se u prvoj varijanti predviđa kota NU akumulacije Andrijevo 285 mmm, dok se u drugoj varijanti predviđa sniženje te kote na 250 mmm (moglo bi i neko 'medurešenje', npr. sa kotom 265 mmm). U tom drugom slučaju sistem čine objekti: HE Dubravica (NU = 500 mmm), HE Grlja (335 mmm), HE Andrijevo (250 mmm), HE Raslovići (155 mmm), HE Milunovići (119 mmm) i HE Zlatica (81 mmm). Rešenje obuhvata i najvažnije pritoke, što se vidi na tab. 2. U okviru integralnog sistema se predviđa trajna zaštita Manastira Morača, koji je sada ugrožen na više načina (detaljnije u [1]).

**HE BUK BIJELA.** Nesporazumi sa tim objektom nastali su kao rezultat neadekvatnog prezentiranja projekta javnosti. Taj najveći razvojni projekat, sa izuzetno značajnim socijalnim, privrednim, saobraćajnim, kulturološkim, ekološkim, vodoprivrednim i drugim ciljevima predstavljen je sasvim suženo samo kao energetski, bez jasnog prikaza uklapanja u ekološko okruženje. Objekat se uz odgovarajući dispečing može uspešno uklopiti u ekološke i turističke ciljeve. U [1] su prikazani složeni ciljevi tig integralnog razvojnog projekta. Izgradnjom tog sistema i HE Komarnica – bile bi stvorene izvanredne mogućnosti za turističku valorizaciju tih jezera. Otvara se mogućnost za jedinstvenu turističku

Tabela 2: Pokazatelji objekata na rijeci Morači u varijanti 1 (Andrijevo 285 mm):

Naziv HE	Tip HE	Deriv. (km)	$Q_{sr}$ ( $m^3/s$ )	$Q_{inst}$ ( $m^3/s$ )	$H_b$ (m)	$H_n$ (m)	$N_i$ (MW)	$E_{god}$ GWh/g	$V_k$ $hm^3$	KNU mmm
Glavni tok:										
HE Ljevišta	Deriv.	2,2	3,56	20	300,5	277,1	47	73,4	27	1028
Krušev Lug	Deriv.	1,3	7,06	35	105,6	94,1	27	49,5	29	590
Ljuta	Deriv.	1,7	9,78	50	159	155	60	113	45	463
Andrijevo	Pribr.	-	37,8	120	117	115	127	323,7	250	285
Raslovići	Pribr.	-	42,1	120	36	34	37	106,6	2,8	155
Milunovići	Pribr.	-	44,8	120	38	36	37	120,1	6,8	119
Zlatica	Pribr.	-	57,3	120	38,5	36,5	37	155,7	13	81
<b>□ glavni tok</b>							<b>372</b>	<b>942</b>	<b>374</b>	
Pritoke Morače:										
Ibrija	Deriv.	0,7	1,27	6	158,2	150,4	7	14,2	8,4	481
V Duboko	Deriv.	5,8	2	10	549	492	40	73,3	13,5	846
Nožica	Deriv.	1,6	2,56	12	154	140	14	26,7	17	948,5
Brskut	Deriv.	6,9	3,23	15	649	590	74	141,9	11,2	785
<b>□ pritoke</b>							<b>135</b>	<b>256</b>	<b>50</b>	
<b>Morača + pritoke</b>							<b>507</b>	<b>1198</b>	<b>424</b>	

atrakciju, koja bi mogla da bude izuzetno prihvaćena u Evropi. Turisti bi se spuštali čamcima ("rafting") niz tok Tare do Šćepan Polja (ili do potpuno obnovljenih turističkih centara Papratište ili Jasena u dolini Tare u zoni uspora), a zatim bi brodićima prolazili kroz jezerske delove kanjona Pive – kroz pivski krak akumulacije Buk Bijela, kroz celo Pivsko jezero, sa nizom atraktivnih turističkih sadržaja. Prošavši kroz deo kanjona Komarnice razgledali bi branu i HE Komarnica (što bi bila svojevrсна turistička atrakcija), a zatim bi presedali na nov brodić i prolazili kanjonom Komarnice do Šavnika, odakle bi odlazili na Durmitor ili u neki od drugih turističkih centara koji postoje ili bi se stvorili u širem okruženju (Bjelasica, Pivska planina, Sinjajevina, Vojnik, Lola, Stožac, itd.). Takva turistička ponuda bi se veoma skladno mogla dopuniti i sa organizovanim planinarskim turama ("treking"), koje postaju izuzetno popularne u svetu i koje su ekonomski preporodile neke planinske zabiti u svetu. To je izuzetna šansa za ekonomski i socijalni razvoj čitavog kraja. Tome treba dodati i realizaciju magistralnog puta pravcem Višegrad – Foča – Plužine – Nikšić, koji bi sa svim pratećim sadržajima postao okosnica za razvoj porodičnih preduzeća (turističkih objekata, servisa).

Na taj način bi se izgradnjom velikih akumulacionih i srednjih hidroelektrana ostvarila proizvodnja koja bi bila oko 5,7 TWh/god. Zahvaljujući akumulacijama, od kojih najveće imaju tzv. čeonu položaj (u gornjem toku), preko 70% energije imalo bi karakter vršne, varijabilne energije. To bi Crnoj Gori dalo izvanredno povoljni

položaj u sistemu čitavog južnog dela Evrope, jer bi postala najveći izvoznik vršne energije, sa izvanrednom ulogom u obezbeđivanju operativne rezerve elektroenergetskog sistema Jugoistočne Evrope.

#### MALE HIDROELEKTRANE – SAMO KAO DOPUNA PRIMARNOG HIDROENERGETSKOG SISTEMA

Shodno uobičajenoj planerskoj praksi u svetu, koja je ugrađena i u Vodoprivrednu osnovu Crne Gore, realizacija malih hidroelektrana (MHE) dozvoljava se na svim vodotocima, pod sledećim uslovima: • izgradnja samo na lokacijama na kojima MHE ne remete realizaciju planiranih objekata integralnog sistema korišćenja voda; • pod uslovom da se odgovarajućim analizama uticaja na okruženje dokaže da MHE ne remete ekološke sisteme tih manjih vodotoka; • ukoliko se obezbedi ispuštanje garantovanog ekološkog protoka na način koji je pouzdan i koji se može kontinuirano kontrolisati tokom eksploatacije MHE; • u dispozicionim šemama koje ne devastiraju ambijantalne vrednosti zaštićenih područja; • uz klauzulu da će se dozvola za eksploataciju odmah oduzeti ukoliko se korisnik ogluši o propisane uslove obezbeđenja garantovanog protoka.

Elektroprivreda Crne Gore prati i podstiče pripremu i razradu dokumentacije za izgradnju MHE. Na osnovu studija koje su do sada urađene, u Elektroprivredi Crne Gore je evidentirano 50 lokacija za male hidroelektrane.

Njihove tehničke karakteristike, sistematizovane po rekama, prikazane su u [7]. Analizom razmatranih projekata mogu se uočiti neke bitne karakteristike do sada izučavanih malih hidroelektrana u Crnoj Gori.

- U svim razmatranim dispozicijama malih hidroelektrana u Crnoj Gori ključne energetske performanse se ostvaruju koncentracijom pada putem dosta dugih derivacija. Za koncentraciju pada se koriste morfološke osobenosti planinskih vodotoka, sa velikim podužnim padovima korita. To su najčešće pritoke u bočnim dolinama većih reka, sa velikim podužnim padovima, pa se koncentracija snage ostvaruje na račun tunelskih i cevovodnih derivacija.

- Morfološke oblike terena, sa dubokim rečnim dolinama koje su razdvojene planinskim grebenima, otežavaju ili onemogućavaju uslove za ostvarivanje koncentracija protoka spajanjem dotoka iz više planinskih vodotoka, što praktično onemogućava koncentraciju većih snaga na MHE.

- Zbog velikih podužnih padova i kanjonskih odlika korita korišćenih vodotoka, najčešće se ne mogu ostvariti veće akumulacije, dovoljne za sezonsko regulisanje. Naime, podužni padovi tih bočnih uzanih dolina (često pravih kanjona jedinstvenih morfoloških formi) najčešće su tako veliki, da bi bila potrebna vrlo velika visina brane da bi se ostvarila dosta skromna zapremina akumulacije. U nekim slučajevima odnos kubature potrebne nasute brane za formiranje akumulacije, prema kubaturi zapremine jezera koja bi se ostvarila tom branom je vrlo nepovoljan [1:3 ÷ 1:5], što znatno relativizira energetska i ekonomsku vrednost takvih elektrana.

- MHE koje se planiraju samo kao protočna postrojenja, bez mogućnosti sezonskog regulisanja protoka, radile bi sa dosta nepovoljnim režimima, zbog veoma velike neravnomernosti protoka tokom godine. Za takva postrojenja je veoma teško odabrati i prikladnu turbinsku opremu, jer je dijagram trajanja protoka veoma neravnomeran, krećući se od izuzetno malih protoka, od samo nekoliko desetina litara u dugim malovodnim periodima, pa do velikih protoka, od po nekoliko [m<sup>3</sup>/s]. Pošto zbog malih snaga najčešće ima smisla instalirati samo jedan agregat, u takvim režimima veoma neravnomernih protoka, sa dugim periodima vrlo malih voda, agregat će vrlo često raditi u zonama niskih koeficijenata korisnog dejstva.

- U veoma neravnomernim vodnim režimima kakvi su u Crnoj Gori, MHE protočnog karaktera često ne mogu

da rade u dosta dugim malovodnim periodima, zbog potrebe obezbeđivanja garantovanih ekoloških protoka.

- Na većini razmatranih vodotoka i slivova čak se i primenom dosta dugih derivacija mogu ostvariti skromne instalisane snage, ne retko i ispod 1 MW. Veće energetske performanse ostvaruju se samo na manjem broju slivova. U tom pogledu se ističu: Vrbnica sa mogućom proizvodnjom svih planiranih malih HE od 66,5 GWh/god., Komarača: 54,9 GWh/god., Zlorečica: 48,8 GWh/god., Bistrica: 45,4 GWh/god., Bijela: 30 GWh/god. Na ostalim manjim vodotocima energetska učinci su vrlo skromni. Tako se na Murinskoj reci sa dve dosta duge derivacije (1250 m + 2560 m) ostvaruje samo 6,9 GWh/god., na Viničkoj reci (derivacije 960 m + 1500 m) samo 3,2 GWh/god., na Grabovici samo 2,7 GWh/god. Takve MHE imaju toliko malu energetska dohodovnost da se postavlja pitanje da li mogu da tokom svoje eksploatacije vrte primarnu energiju koja je utrošena za njihovu izgradnju (detaljnije u [2]).

- Ukupna prosečna proizvodnja svih 50 razmatranih malih hidroelektrana je dosta skromna i iznosi samo oko 417 GWh/god., što je u proseku samo nešto malo više od 8 GWh/god. po jednom postrojenju. Očigledno je da se radi o malim koncentracijama snaga i proizvodnji, tačnije, o velikoj rasutosti tog vida hidroenergije u prostoru. Pošto bi prosečna proizvodnja velikih i srednjih hidroelektrana u Crnoj Gori iznosila oko 5.700 GWh/god. (zajedno sa delom proizvodnje iz HE Buk Bijela koji pripada Crnoj Gori), a razmatranih MHE samo 417 GWh/god. (oko 14 puta manje) – potpuno je lišena svakog smisla tvrdnja navodno 'kompetentnih ekoloških krugova' da Crna Gora svoje elektroenergetske probleme treba i može da rešava izgradnjom samo malih HE. Egzaktano opovrgavanje te dugo rabljene besmislice - jedan je od esencijalnih strateški važnih zaključaka ovih istraživanja.

- Razmatrane male hidroelektrane se neuporedivo teže uklapaju u ekološko okruženje od velikih hidroelektrana. Kod velikih i srednjih HE se mogu realizovati brojni namenski objekti kojima se takve elektrane na najskladniji način uklapaju u ekološko okruženje. To su: selektivni vodozahvati za ispuštanje garantovanih protoka najpoželjnijih temperatura za nizvodne ekosisteme, povećanje sadržaja kisonika u vodi upravljenjem posebnim zatvaračima, korišćenje akumulacija za poboljšavanje režima malih voda, realizacija ribljih staza i drugih objekata za migraciju riba u periodu mresta, itd. Takvi objekti se ne mogu realizovati kod malih hidroelektrana. Međutim, mnogo je nepovoljnija činjenica što se kod MHE zabačenih po

planinskim bespućima vrlo teško može kontrolisati da li se uredno ispunjavaju propisane obaveze u pogledu ispuštanja garantovanih protoka. Postoji realna opasnost da se u malovodnim periodima, koji sve više koincidiraju sa povećanom tražnjom električne energije u turističkom delu godine, zbog napretnog konzuma reduciraju garantovani protoci na MHE kako bi se ostvarili veći energetske učinci MHE. To je potencijalno velika opasnost, jer bi dovela do ekološke destrukcije veoma vrednih manjih vodotoka, koji služe za mrest ili su staništa riba iz familije *Salmonidae*. Zbog toga je zahtev za striktnim poštovanjem garantovanih protoka "uslov svih uslova" za davanje i produžavanje dozvole za realizaciju MHE.

• Istraživanja koja su vršili B.Đorđević i Tina Dašić [5,10] na rekama Srbije, Crne Gore i BiH finalizovana su izradom metode za određivanje **Garantovanih Ekoloških Protoka (GEP)**. Obimna istraživanja su radi jednostavne primene metodike namerno svedena na primenu samo tri parametra, kojima se raspolaže pri planiranju iole značajnijih objekata. To su: (1) prosečni višegodišnji protok na profilu brane, odnosno na mestu zahvata vode ( $\bar{Q}$ ), (2) mala mesečna voda obezbeđenosti 95% ( $Q_{95\%}^{\min,mes}$ ), (3) mala mesečna voda obezbeđenosti 80% ( $Q_{80\%}^{\min,mes}$ ). Ukoliko se raspolaže višegodišnjim serijama dnevnih protoka, umesto minimalnih mesečnih protoka ( $Q_{95\%}^{\min,mes}$ ) i ( $Q_{80\%}^{\min,mes}$ ) mogu se koristiti odgovarajuće vrednosti 30-dnevnih protoka malih voda istih verovatnoća ( $Q_{95\%}^{\min,(30)}$ ) i ( $Q_{80\%}^{\min,(30)}$ )<sup>1</sup>. Kada se raspolaže tim podacima, onda se svi navedeni principi izbora sažimaju u veoma jasnom pravilu, koji definiše GEP metodu.

Garantovani ekološki protok ( $Q_{ekol.gar.}$ ) koji se mora ispuštati iz akumucija, ukoliko postoje u okviru MHE, usvaja se u sledećim iznosima:

(1) U hladnom delu godine, koji obuhvata period [oktobar - mart] garantovani ekološki protok  $Q_{ekol.gar.}$  treba odabrati tako da odgovara veličini mesečne male vode verovatnoće 95% ( $Q_{95\%}^{\min,mes}$ ), odnosno male 30-dnevne vode iste verovatnoće

( $Q_{95\%}^{\min,(30)}$ ), ali ta vrednost ne može da bude manja od  $0,1 \times \bar{Q}$ , niti veća od  $0,15 \times \bar{Q}$ . Znači, u hladnom periodu godine  $Q_{ekol.gar.}$  se bira na osnovu relacije:

$$Q_{ekol.gar.} = \begin{cases} 0,1 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{95\%}^{\min,mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min,(30)} \leq 0,1 \times \bar{Q} \\ Q_{95\%}^{\min,mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min,(30)} & \text{za } 0,1 \times \bar{Q} < Q_{95\%}^{\min,mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min,(30)} < 0,15 \times \bar{Q} \\ 0,15 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{95\%}^{\min,mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min,(30)} \geq 0,15 \times \bar{Q} \end{cases}$$

(2) U toplom delu godine, koji obuhvata period [april - septembar]  $Q_{ekol.gar.}$  treba odabrati tako da odgovara veličini mesečne male vode verovatnoće 80% ( $Q_{80\%}^{\min,mes}$ ), odnosno male 30-dnevne vode iste verovatnoće ( $Q_{80\%}^{\min,(30)}$ ), ali ta vrednost ne može da bude manja od  $0,15 \times \bar{Q}$ , odnosno ne treba da bude veća od  $0,25 \times \bar{Q}$ . Znači, u toplom dijelu godine  $Q_{ekol.gar.}$  bira se na osnovu relacije:

$$Q_{ekol.gar.} = \begin{cases} 0,15 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{80\%}^{\min,mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min,(30)} \leq 0,15 \times \bar{Q} \\ Q_{80\%}^{\min,mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min,(30)} & \text{za } 0,15 \times \bar{Q} < Q_{80\%}^{\min,mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min,(30)} < 0,25 \times \bar{Q} \\ 0,25 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{80\%}^{\min,mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min,(30)} \geq 0,25 \times \bar{Q} \end{cases}$$

U slučaju da vrednosti garantovanih ekoloških protoka dobijene preko definisanih verovatnoća malih voda izlaze izvan opsega koji su definisani gornjim pravilima i nejednačinama - usvajaju se granične vrijednosti.

(3) U slučaju vodotoka kod kojih postoje posebni ekološki ili turistički zahtevi i ciljevi, vrednosti koje se dobijaju po gore navedenim pravilima mogu se uvećati: u hladnom delu godine do 15%, u toplom delu godine do 30%. To se može činiti samo uz posebnu analizu svrsishodnosti takvog povećanja.

(4) Vrednosti garantovanog protoka dobijene za hladan deo godine mogu se tretirati kao konstantne, mada je moguće, po potrebi, i njihovo izvjesno variranje (izvesno povećanje protoka u martu, kada se mreste neke riblje vrste koje to čine u tom hladnom periodu (npr. štika).

(5) Vrednosti koje se dobijaju kao garantovano ispuštanje u toplom delu godine su prosečne. One se mogu finije prilagođavati potrebama razvoja biocenoza, posebno ihtiofaune, na taj način što se u kritičnim

<sup>1</sup> Alternative su date iz operativnih razloga. Bolje je ako se raspolaže sa podacima o tridesetodnevni malim vodama odgovarajućih verovatnoća javljanja, jer ekstremno malovode definisano najmanjim godišnjim protocima u neprekidnom trajanju od 30 dana može da zahvati delove dva meseca. Međutim, insistiranje isključivo na protocima ( $Q_{95\%}^{\min,(30)}$ ) i ( $Q_{80\%}^{\min,(30)}$ ) ne bi imalo smisla, jer se često ne raspolaže sa višegodišnjim serijama dnevnih protoka. Zbog toga je dopuštena upotreba vrednosti malih mesečnih voda odgovarajućih verovatnoća, kako bi se omogućilo da se metoda može primeniti u svim projektima, jer se uvek raspolaže sa dovoljno dugim serijama mesečnih protoka. Upotreba malih mesečnih voda umesto 30-dnevnih minimalnih protoka daje, po pravilu, garantovane ekološke protoke na strani sigurnosti (malo veće vrednosti).

razdobljima (period mresta, itd) povećava ispuštanje, u skladu sa eventualnim zahtjevima službi nadležnih za ekološku zaštitu i ribarstvo. Smanjenja su moguća u povoljnim hidrološkim situacijama, kada su protoci na pritokama povoljni, ali se ne sme dozvoliti da na deonici nizvodno od brane protoci budu manji od onih koji se ispuštaju u hladnom delu godine.

(6) Na rekama na kojima nema akumulacija, već se protok za MHE zahvata malim pragom i uvodi u derivaciju, prekida se zahvatanje vode i rad MHE čim se protoci u reci smanje do vrednosti navedenih u relacijama (1 i 2) i tada se nizvodno uspostavlja prirodni tok.

## ZAKLJUČCI

Analizom svih vidova hidroenergetskih potencijala Crne Gore, uslova za njihovu realizaciju u okviru velikih, srednjih i malih hidroelektrana, kao i uslova za njihovo uklapanje u ekološko, socijalno i drugo okruženje, mogu se izvući sledeći zaključci.

1. Državna strategija najvišeg nivoa značajnosti Crne Gore treba da bude – što potpunija i brža realizacija velikih i srednjih hidroelektrana, posebno onih sa akumulacijama koje imaju godišnje regulisanje protoka. Realizacijom tih objekata, uključiv i realizaciju integralnog razvojnog projekta u zoni sastavnica Drine (uslovno nazvanog HE Buk Bijela), Crna Gora može u budućnosti da preko 80% svog elektroenergetskog konzuma pokrije iz ekološki najvrednijih obnovljivih vodnih potencijala.
2. Male elektrane se mogu tretirati samo kao dopuna velikih integralnih rečnih sistema, koji u svojim ciljnim strukturama imaju i hidroenergetsko korišćenje voda sa velikim i srednjim hidroelektranama. Velika je strateška zabluda, koju zastupaju navodni 'ekološki krugovi', da se elektroenergetske potrebe mogu pokriti samo iz malih elektrana (MHE). Proizvodne mogućnosti MHE su za petnaestak puta manje od mogućnosti proizvodnje u velikim i srednjim hidroelektranama. Taj odnos je sledeći: moguća proizvodnja od oko 5.700 GWh/god. u velikim i srednjim HE, prema 417 GWh/god. u svim do sada izučenim MHE, od kojih neke ne ispunjavaju osnovne ekološke i ekonomske uslove za realizaciju.
3. Velike i srednje elektrane se odgovarajućim merama zaštite mogu veoma skladno uklopiti u ekološko i drugo okruženje. Posebno su u tom pogledu vredne akumulacione elektrane, sa kojima se može na najbolji način ostvariti upravljanje vodnim

režimima, u cilju poboljšanja ekoloških uslova u rekama. Bitno je i to da se ostvarenje uslova ekološke zaštite može neprekidno kontrolisati i poboljšavati. Adekvatna ekološka zaštita se mnogo teže ostvaruje u slučaju malih elektrana, posebno onih sa dosta dugačkim derivacijama, koje se najčešće nalaze na manjim vodotocima izuzetnih prirodnih vrednosti.

4. U slučaju realizacije MHE jedan od najvažnijih uslova je propisivanje garantovanih ekoloških protoka koji se moraju ostaviti u vodotoku nizvodno od akumulacije ili zahvata za derivacionu MHE. Mora se obezbediti monitoring kako bi se kontinuirano i daljinski mogla ostvariti kontrola ispunjavanja propisanih uslova o garantovanim protocima.
5. Tretirane samo kao komplementarni objekti unutar integralnih sistema, realizacija malih hidroelektrana se dozvoljava na svim vodotocima, pod sledećim uslovima:
  - izgradnja samo na lokacijama na kojima MHE ne remete realizaciju planiranih objekata integralnog sistema korišćenja voda;
  - pod uslovom da se odgovarajućim analizama uticaja na okruženje dokaže da MHE ne remete ekološke sisteme tih manjih vodotoka;
  - ukoliko se obezbedi ispuštanje garantovanog ekološkog protoka na način koji je pouzdan i koji se može kontinuirano kontrolisati tokom eksploatacije MHE;
  - u dispozicionim šemama koje ne devastiraju ambijantalne vrednosti zaštićenih područja;
  - uz klauzulu da će se dozvoliti za eksploataciju oduzeti ukoliko se korisnik ogлуši o propisane uslove obezbeđenja garantovanog protoka.

## LITERATURA

- [1] Đorđević. B. i M. Šaranović: Hidroenergetski potencijali Crne Gore – Mogućnosti korišćenja za razvoj i unapređenje životne sredine, monografija u izdanju CANU, 2007, Podgorica
- [2] Đorđević, B.: Prilog objektivnijem vrednovanju obnovljivih energija, I deo, Elektroprivreda, N<sup>o</sup> 4, 2001, i II deo, Elektroprivreda, N<sup>o</sup> 1, 2002. Beograd.
- [3] Dragović, D. i M. Šaranović: Energetsko korišćenje voda u Crnoj Gori, Ekološke aktuelnosti u Crnoj Gori, CANU, 1989, Podgorica
- [4] Šaranović, M.: Razvoj energetike. U: Mogućnosti tehnološkog razvoja privrede Crne Gore, CANU, 1998, Podgorica



- [5] Đorđević, B. i T. Dašić: Garantovani protoci nizvodno od hidroelektrana, *Elektroprivreda*, N<sup>o</sup> 1, 2007.
- [6] Đorđević, B.: Uticaj brana i akumulacija na socijalno i ekološko okruženje i mere za skladno uklapanje. Generalni referat na Kongresu za visoke brane, Kladovo, 2003.
- [7] Vukadinović, S.: Razmatrane male hidroelektrane na području Crne Gore, *Studijska dokumentacija, EPCG, Nikšić*, 2007.
- [8] Milanović, T. i B. Đorđević: Dinamički procesi u akumulacijama i njihovo modeliranje za potrebe planiranja i eksploatacije vodoprivrednih sistema, *Vodoprivreda*, 177-182, 1-6 (1999), s. 23-36
- [9] Đorđević, B.: Akumulacije i njihovo uklapanje u okruženje, *Međunarodni Workshop Hidroakumulacije - Multidisciplinarni pristup održivom razvoju, Zaječar*, maj 2003.
- [10] Đorđević, B. i T. Dašić: Garantovani ekološki protok - efikasno sredstvo za očuvanje biocenoza nizvodno od akumulacija, *skup kao ad. 9*.
- [11] Dašić, T. i B. Đorđević: Modeliranje dinamike promene kvaliteta vode u akumulaciji, *II Kongres za visoke brane, Kladovo*, 2003.
- [12] Đorđević, B. i M. Šaranović: Hidroenergetski potencijali Crne Gore i nužnost njihovog što bržeg iskorišćenja, *U zborniku CANU: Energetski potencijali Crne Gore, Podgorica*, 2004.
- [13] Đorđević, B. i T. Dašić: Unapređivati životnu sredinu kroz aktivno upravljanje vodnim resursima, *CANU (Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, U: Energetski potencijali Crne Gore, Podgorica* 2004.
- [14] Đorđević, B.: Neke sociološke pouke za planiranje u oblasti voda, *Uvodno predavanje na skupu povodom Svetskog dana voda, Mostar, mart 2005.*, objavljen u *Zborniku radova*.

## SMALL HYDROPOWER PLANTS CAN NEVER SUBSTITUTE LARGE AND MEDIUM SCALE ONES - THE EXAMPLE OF MONTENEGRO -

by

Branislav ĐORĐEVIĆ <sup>1)</sup>, Milinko ŠARANOVIĆ <sup>2)</sup> i Srđan VUJADINOVIĆ <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Faculty of Civil Engineering, Belgrade, <sup>2)</sup> Academy of Science and Art of Montenegro, <sup>3)</sup> Electric Power Industry of Montenegro, Nikšić

### Summary

The admonitions of alleged "ecological experts" that hydropower plants must not be built on larger watercourses, and that energy demands could be satisfied by building small hydropower plants only, are unjustified both from the points of view energy demands and ecological advantages. It should be underlined that in a region the total potential of small hydropower plants is usually ten to twenty times lower than that of large hydropower plants. Moreover, as small hydropower plants are mostly built on derivation channels, their impact on the watercourses is rather damaging from the ecological point of view.

The authors examine the best strategy of hydropower development in Montenegro. The calculated total power production potential of the larger rivers of this country (Morača, Komarnica, Piva, Tara, Ćehotina, Lim and Ibar) is of the order to 5.4 to 6.1 TWh/year, depending upon the selected alternatives of water resources development. At present, the total energy production of plants operating on these rivers is 1.67 TWh/year, with 658 MW of installed power. At the other hand, the total

potential of small hydropower plants is estimated at 0.41 TWh/year, which is 15 times lower than that produced by the large plants. As the estimated total electric power demand of Montenegro for the year 2021 is 6.9 TWh/year, hydropower could cover around 80% of that need, which is an excellent result from the point of view of ecological soundness, very much in line with the intention of Montenegro to become an ecologically sound state. The large scale hydropower plants could appropriately be adjusted to the ecological environment, remarking that for small scale hydropower plants the ecological requirements must also be clearly stated and respected. The paper analyses these requirements and finds that they are much more difficult to satisfy than those for the larger scale ones, in particular taking into account circumstances in critical hydrological conditions.

Keywords: Montenegro, water resources, hydropower development, small scale hydro, ecological requirements, guaranteed discharges, ichthyofauna

Redigovano 12.12.2007.