

ISTRAŽIVANJE NERAVNOMERNOSTI VODNIH REŽIMA KAO BITAN PREDUSLOV ZA REALIZACIJU MALIH HIDROELEKTRANA, NA PRIMERU CRNE GORE

Goran SEKULIĆ ¹⁾ i Branislav ĐORĐEVIĆ ²⁾

¹⁾ Građevinski fakultet u Podgorici, sgoran2000@gmail.com

²⁾ Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, branko@grf.bg.ac.rs

Novac koji se ulaže u hidrološka istraživanja mnogostruko se vraća kroz kvalitetnije i ekonomičnije projekte, kroz pouzdanije i efikasnije mere zaštite od poplava i zaštite voda, kao i kroz znatno delotvorniju zaštitu i unapređenje ekološkog okruženja i obogaćivanje biodiverziteta.

REZIME

U skladu sa tendencijama u svetu, i u regionu Balkana se pristupa intenzivnom korišćenju obnovljivih izvora energije. Međutim, taj zaokret u energetske politici nije bio praćen odgovarajućim istraživanjima, koja bi dala potrebne podloge za realnije analize moguće proizvodnje takvih postrojenja i njihov uticaj na okruženje. Taj nedostatak podloga je posebno izražen u slučaju malih hidroelektrana (MHE). U članku se na primerima iz Crne Gore razmatraju hidrološke podloge koje su neophodne za pouzdanije određivanje proizvodnje MHE i ocenu njihovog uticaja na okruženje. Pokazuje se da vremenska neravnomernost protoka veoma bitno utiče na planiranje MHE i određivanje njihove moguće proizvodnje. Uticaj neravnomernosti protoka na performanse MHE je mnogo veći no što se smatralo. Rasprostranjena praksa da se proizvodnja MHE određuje na bazi oskudnih podloga o prosečnim protocima dovodi do pogrešnih investicionih odluka, jer će u realnim uslovima proizvodnja MHE biti znatno manja. Posebno se razmatra veoma bitna podloga za planiranje MHE – kriva trajanja dnevnih protoka. Analiziraju se njene karakteristike i vrše uopštavanja sa gledišta primene pri odlučivanju o građenju MHE. Definišu se i vrlo važni principi, kriterijumi i ograničenja o uklapanju MHE u ekološko, socijalno i drugo okruženje.

Ključne riječi: male hidroelektrane, hidrologija, kriva trajanja protoka, instalirani protok, ekološki protok

UVOD

Imajući u vidu sve izraženije i sve nepovoljnije efekte globalnih klimatskih promena zbog delovanja efekta gasova staklene bašte – GHG, u svetu se sve odlučnije forsira radikalni zaokret u energetske politici, sa što masovnijim korišćenjem obnovljivih izvora energije - Sunca, vetra, hidroelektrana, uključiv tu i male hidroelektrane (MHE), biomasa, itd. Taj zaokret države stimulišu i garantovanim povlašćenim visokim tarifama, uz još jednu izuzetnu povlasticu investitorima: obavezu svih sistema da preuzimaju takvu skuplju energiju, nezavisno od činjenice da se apriorno ne može računati ni sa količinom ni sa dinamikom njene isporuke. Takvu politiku prate i pritisci da se zemlje i formalno obavežu na planu korišćenja 'obnovljivih i čistih' izvora energije.

U ovom članku se neće ulaziti u neke velike strateške zablude na tom planu, koje nastaju zbog toga što se pri vrednovanju 'obnovljivosti' nekog energetskog proizvodnog uređaja ne uzimaju u obzir količine primarne energije koje se moraju utrošiti za proizvodnju materijala neophodnih za građenje takvih uređaja, odnosno koje će se izgubiti zbog zauzeća ziratnog zemljišta pogodnih za proizvodnju biomasa (šume ili drugi zasadi), koje imaju svoj velikih energetski ekvivalent (Đorđević, 2008a). Neće se razmatrati ni druga velika strateška zabluda, što se pri razmatranju efekta koje takvi uređaji ostvaruju na planu smanjenja GHG ne uzima u obzir količine GHG koje se moraju emitovati pri proizvodnji materijala za takve uređaje, negde širom sveta, kao i to što se sa zaposedanjem zemljišta velikim solarnim uređajima vrlo značajno

smanjuje površina pod vegetacijom, koja u procesu fotosinteze ima najdragoceniju ekološku ulogu: proizvodi kiseonik, a apsorbuje ugljen dioksid. Zapostavljanje te dve izuzetno važne činjenice jako relativizira kvalifikaciju koji su takvi uređaji zaista 'obnovljivi i ekološki čisti' sa gledišta smanjivanja emisije GHG. Neće se govoriti ni o izuzetno važnoj činjenici da se na površinama koje se angažuju solarnim uređajima biološka raznovrsnost veštački snižava na – nulu, čak i uz primenu herbicida, što ekološke performanse tih uređaja veoma degradira i čini ih – uništivačima ekosistema i biološke raznovrsnosti.

Međutim, i pored velike važnosti tih navedenih činjenica, ne dovodi se u pitanje značaj napora da se pristupa što intenzivnijem korišćenju izvora energije koji se mogu svrstati, uz određene uslove, u kategoriju obnovljivih uređaja. Crna Gora ima značajne potencijale na planu obnovljivih izvora energije (Đurović, 2004). Cilj ovog članka je da ih objektivnije sagleda kroz prizmu njihove efektivnosti, kao i sa stanovišta uticaja na okruženje.

Crna Gora ima dobro sagledane hidroenergetske potencijale velikih i srednjih postrojenja, onih za koje je nedvojbeno utvrđeno da već sada spadaju u kategoriju tehnički i ekonomski iskoristivih potencijala (Đorđević, 2004 i 2007, Mitrović, 2009), ili će se u toj kategoriji naći u neposrednoj budućnosti. To su vrlo respektabilni potencijali, koji iznose 4,6÷5,3 TWh/god. (zavisno od varijanti korišćenja voda), što treba uvećati za još 0,38 TWh/god. koje Crnoj Gori pripadaju u uslovima korišćenja integralnog razvojnog projekta u zoni Sastavnice Pive i Tare. Potencijali 'malih vodnih snaga' su znatno manje izučeni, ali su i oni značajni (Balat, 2006, Đorđević, 2008). Brojne manje reke odlikuju vrlo povoljne mogućnosti za koncentraciju potencijala na mestu korišćenja, najčešće kombinovanom koncentracijom padova uspornim objektom na mestu zahvata i derivacijom na dovodu, eventualno i odvodu. Veoma su značajni i potencijali neposrednog toka Lima, ukoliko se strategija korišćenja realizuje putem kaskade objekata sa malim parovima, po predlogu autora ovog članka (Đorđević i Sekulić, 2014).

Analiza prostornog rasporeda malih vodotoka u Crnoj Gori ('malih vodnih snaga') pokazuje da je najveći broj lokacija potencijalnih malih hidroelektrana smešten u ruralnim i slabije razvijenim područjima Crne Gore. Logično je pretpostaviti da ne bi trebalo da bude većih otpora u stvaranju pozitivne atmosfere i uslova za investiranje u male hidroelektrane na tim područjima. U

velikom dijelu svijeta pokazano da ovakvi objekti postaju bitnim nosiocima razvoja područja u kojem se nalaze. Iz tih razloga potrebno je predvidjeti poseban tretman za objekte u ovim područjima, koji bi uključivao niz mjera, od finansijskih olakšica, poreske politike, ulaganjem sredstava države, osiguravanje kredita uz povoljne uslove vraćanja, izgradnju pomoćne infrastrukture i usluga od strane države i slično.

Analiza cjelokupne problematike razvoja i realizacije projekata MHE ukazuje na to da u tom procesu postoje i određene prepreke. Prepreke proizilaze, prije svega, iz nepreciznosti i nedostataka pojedinih zakona i propisa, nedostatka finansijskih sredstava i nedostatka relevantnih informacija i koordinacije među nosiocima odgovornosti. Jedna od praktičnih smetnji, koja se do sada pokazala kao prilično veliki problem, jeste i nedovoljna izučenost vodotoka na kojima se planiraju MHE i nedostatak hidroloških serija podataka na njima, što se ovim radom želi posebno naglasiti.

SADAŠNJE STANJE I PERSPEKTIVA IZGRADNJE MHE U CRNOJ GORI

Kada je u pitanju stanje obnovljivih energetske resursa u Crnoj Gori (Đurović, 2004) njihov razvoj je još uvijek na samom početku. Nacrt Strategija razvoja energetika (Master plan, 2006) do 2030. godine predviđa realizaciju ukupno 390 MW, raspoređenih na sledeći način: (a) male hidroelektrane: 130 MW, (b) vertogeneratori: 190 MW, (c) solarna energija: 31 MW, (d) biomasa: 39 MW. Zapaža se dosta uzdržan pristup ovim izvorima, a takav pristup treba zadržati i u budućim planiranjima. Do ovog trenutka dodijeljena su: za MHE: 2 tendera za male hidroelektrane, 13 koncesionih ugovora, 35 elektrana kapaciteta 98 MW (4 ugovora raskinuta), 6 mini hidroelektrana do 1 MW na osnovu energetske dozvole; vetrogeneratori: 2 lokacije za vjetroelektrane, ukupnog kapaciteta 110 MW, jedna elektrana na biomasu 1 MW. Objekata za elektroenergetsko korišćenje solarne energije još uvijek nema, što je, po mišljenju autora ovog razmatranja vrlo razumana pristup, imajući u vidu energetske-ekonomske, ekološke i prostorne dubioze takvih postrojenja u državi koja počiva na atributima ekološke države. Zapaža se opreznost i sporost u realizaciji navedenih strateških smjernica, tako da se dovodi u pitanje ostvarenje Strategijom planirane dinamike realizacije obnovljivih izvora energije. Ta opreznost je važna činjenica, koja ukazuje na ekonomske i ekološke dubioze koje prate realizaciju tih 'obnovljivih i ekološki čistih' postrojenja.

Prema istraživanjima sprovedenim za izradu Strategije razvoja malih hidroelektrana u Crnoj Gori, identifikovano je ukupno 70 mogućih lokacija za njihovu izgradnju. Ukupna instalisana snaga MHE iznosi oko 232 MW, a očekivana godišnja proizvodnja električne energije 643 GWh. Iskorišćenje maksimalne instalisane snage procenjavano je na 31,7% ili 2780 sati godišnje.

Strategija razvoja malih hidroelektrana u Crnoj Gori daje dva scenarija izgradnje MHE u Crnoj Gori – Referentni i Viši scenario. Potrebno je naglasiti da prilikom proračuna na osnovu kojih su usvojeni dati scenariji nijesu razmatrane konkretne lokacije za MHE. To je, najverovatnije, jedan od glavnih razloga što je data projekcija još uvek praktično samo slovo na papiru, jer za nekoliko godina nakon njenog donošenja nije došlo do konkretne realizacije neke od MHE sa tog spiska. Iz tih razloga projekcioni period se slobodno može pomeriti za 10 godina, ili možda čak i 15 godina, tako da bi se ono što je planirano za 2015. godinu moglo očekivati da će se realizovati 2025. godine, odnosno 2030. godine. Ovo se posebno odnosi na drugi Viši scenario koji je jako ambiciozan, jer za 10 godina broj MHE uvećava više od 5 puta.

Prema Referentnom scenariju, u razdoblju do 2010. godine bila je predviđena izgradnja MHE sa ukupnom instalisanom snagom od 5 MW, te izgradnja dodatnih 15 MW na odgovarajućem broju lokacija u razdoblju do 2015. godine. Drugim riječima, u razdoblju od 10 godina predviđeno je povećanje instalisanih kapaciteta i proizvodnje MHE za 3 puta u odnosu na stanje krajem 2005. godine. Prema Višem scenariju, u razdoblju do 2010. godine bila je predviđena izgradnja MHE sa ukupnom instalisanom snagom od 10 MW i izgradnja dodatnih 20 MW na odgovarajućem broju lokacija u razdoblju do 2015. godine. Vidi se da je ovim scenarijom, u razdoblju od 10 godina, predviđeno povećanje instalisanih kapaciteta i proizvodnje MHE za više od 4 puta u odnosu na stanje iz 2005. godine. Sve ovo, kako je već istaknuto translatorno se može pomjeriti za deset – petnaest godina unaprijed što je realni okvir realizacije. I ta činjenica pomeranja i odlaganja realizacije MHE nije samo stvar ekonomskog stanja, već je delom i rezultat opreza investitora, koji zaziru upravo od nekih neizvestosti vezanih za moguće energetske i ekonomske efekte potencijalnih MHE, čije neke važne aspekte i razmatra istraživanje kojim se bavi ovaj članak.

Treba naglasiti i da kada bi se sve planirane MHE realizovale, predviđenom dinamikom, one neće imati neki značajniji uticaj na ukupnu snagu proizvodnih kapaciteta i proizvodnju električne energije u Crnoj Gori. Ako se posmatra i uvoz električne energije, mogući udio proizvodnje MHE u zadovoljenju potreba za električnom energijom u Crnoj Gori po realizovanom višem scenariju kretao bi se u rasponu od 1,5÷3%, prema predviđenoj potrošnji električne energije iz NES-a. Njihov će uticaj biti posebno mali u poređenju s problemom zadovoljavanja potražnje i održavanja sigurnosti pogona sistema u slučaju ispada jedne velike proizvodne jedinice. Ipak, one neće činiti poteškoće u poređenju sa ostalim fluktuacijama do kojih dolazi u snabdijevanju i potrošnji, a sa kojima se postupci vođenja pogona sistema moraju svakodnevno suočavati. Nove MHE sa navedenim procijenjenim nivoom snage i proizvodnje mogu biti integrisane u EES Crne Gore bez pojave tehničkih ograničenja sa stanovišta vođenja pogona sistema, naravno, ukoliko su prethodno zadovoljeni svi uslovi priključenja na mrežu.

RASPOLOŽIVOST HIDROLOŠKIH PODLOGA ZA MALE HIDROELEKTRANE

Pošto su proticaji u rijekama stohastički procesi, čiji nivo izučenosti neposredno zavisi od dužine hidroloških serija, pri donošenju važnih projektnih odluka od velike važnosti je da stepen hidrološke izučenosti bude takav da se raspolaze sa serijama proticaja reprezentativne dužine. Pod reprezentativnom dužinom serije se podrazumijeva da treba obuhvatiti i zatvoriti uobičajene cikluse nagomilavanja vodnijih i sušnijih godina. Posmatrano iz tog ugla, hidrološka izučenost rijeka Crne Gore ne zadovoljava, što na određen način pokazuje da se ne shvata nivo značajnosti vode kao primarnog razvojnog resursa države i kao ključnog ekološkog faktora koji se uspješno može štititi i valorizovati samo ako se dobro poznaje po obje komponente - količini i kvalitetu.

Mreža hidrometrijskih stanica na rijekama Crne Gore je dosta oskudna (Novaković, 2006). Na oba sliva Crne Gore postoje samo 24 vodomjerne stanice (VS) na kojima se može pristupiti rekonstruisanju dovoljno dugih serija mjesečnih i godišnjih proticaja. To je nedovoljno za hidrografsko područje Crne Gore, posebno ako se ima u vidu činjenica da mjerenjima nijesu pokriven brojne rijeke, posebno one u gornjim djelovima slivova. Posljedica te nebrige je da se ne mogu ozbiljnijim hidrološkim analizama podvrgnuti

brojni vodotoci u gornjim djelovima slivova, na kojima se raspolaže sa značajnim vodnim potencijalima kao što su Mala rijeka, Bukovica, Tušinja, Mrtvica, Ibrija, Đurička rijeka, Zlorečica, Trebačka i Šekularska rijeka, Ljuboviđa, itd. Postoji studija 'Hidrološka obrada za profile malih (mini, mikro) hidroelektrana (MHE) na pritokama glavnih vodotoka u Crnoj Gori' iz 2007. i 2008. godine (HMZCG, 2007) u kojoj je obrađeno ukupno 15+8 lokacija za obavljanje hidrometrijskih mjerenja u cilju dobijanja pouzdanih podataka o režimu tih vodotoka, relevantnih za proizvodnju hidroenergije, od čega 6 u slivu Pive, 9 u slivu Lima, 4 u slivu Morače, 3 u slivu Čehotine i 1 u slivu Ibra. Nakon toga, paralelno sa povećanim interesom, prije svega stranih investitora i uz njihovu pomoć, nastavljeno je izučavanje hidropotencijala malih vodotoka, prije svega u sjevernom dijelu države. Tako je tokom 2010 i 2011 godine sproveden projekat 'Razvoj registra koji uključuje male rijeke na opštinskom nivou za centralnu i sjevernu Crnu Goru' (Vodni Zdroje, 2011) u kojem je običeno 172 vodotoka. U skladu sa zahtjevima EBRD kao glavnog investitora projekta, 90 vodotoka nije uzeto u razmatranje, a na 82 vodotoka je vršeno mjerenje protoka i postavljena je mjerna oprema. Zbog nepouzdanosti rezultata mjerenja jedan broj vodotoka je takođe eliminisan, pa je konačni broj vodotoka za koji se posjeduju kvalitetni podaci 75. U svim navedenim slučajevima poseban problem su nesistematičnost i diskontinuitet u osmatranja protoka. Na vodotocima na kojima se mjerenja obavljaju, postoje brojni prekidi u osmatranjima, tako da se ne mogu neposredno uspostavljati hidrološke serije samo na bazi mjerenja, već se moraju vršiti i posredne korelacione analize za popunjavanje prekida.

Loša hidrološka izučenost reka Crne Gore ima teške ekonomske i ekološke posledice. Sasvim je izvesno da su ekonomske štete koje nastupaju pri planiranju hidrotehničkih objekata stotinama puta veće od navodnih 'ušteda' koje je država napravila time što je smanjila sredstva koja su neophodna HMZCG za održavanje i proširenje hidrometrijske mreže, za redovna hidrološka osmatranja i merenja. Štete nastupaju zbog toga što se planiranje svih hidrotehničkih objekata odvija u uslovima nedopustivih hidroloških neizvesnosti. Zbog toga su hidrotehnički objekti ili poddimenzionisani – pa su na taj način nedovoljno funkcionalni, nepouzdati, regulacioni objekti se ruše, ili su, pak, objekti predimenzionisani zbog nepoznavanja realnih vodnih režima, zbog čega nastupaju velike ekonomske štete. Međutim, i ekološke štete su nemerljive, jer ne postoje realni podaci o

vodnim režimima, posebno režimima malih i velikih voda. U slučaju loše izučenosti režima malih voda ne mogu se pouzdano propisivati garantovani ekološki protoci, niti se mogu donositi validne odluke o mjerama zaštite kvaliteta voda. A nedovoljno poznavanje režima velikih voda je i vrlo opasno za jednu državu, jer ne omogućava da se dobro dimenzionišu sistemi zaštite od poplava i adekvatno planiraju operativne mjere zaštite. Upravo zbog svega toga u svetu važi jedan neosporavan postulat da se novac koji se ulaže u hidrološka istraživanja mnogostruko vraća kroz kvalitetnije i ekonomičnije projekte, kroz pouzdanije i efikasnije mjere zaštite od poplava i zaštite voda, kao i kroz znatno delotvorniju zaštitu i unapređenje ekološkog okruženja i obogaćivanje biodiverziteta. Pošto se zbog stohastičkog karaktera procesa protoka za bilo kakvo pouzdanije zaključivanje o vodnim režimima mora raspolagati sa dovoljno dugim serijama, dugogodišnji nemar u hidrološkim osmatranjima se kasnije ne može nadoknaditi. Zbog toga je bitno istaći da Crna Gora treba što hitnije da dovede na potreban nivo hidrometrijska osmatranja i mjerenja, na svim rijekama na kojima se moraju graditi sistemi.

Štete su vrlo velike i sada, pri odlučivanju o MHE u uslovima nedovoljne hidrološke izučenosti malih vodotoka. Pošto se ne raspolaže podacima o dnevnim proticajima, na osnovu kojih bi se mogle da sagledaju uslovi rada i stvarne proizvodne mogućnosti MHE, odluke se donose na osnovu prosječnih protoka, vrlo često samo na bazi procjena i analogija. Analize moguće proizvodnje na bazi takvih podloga su, po pravilu, na strani nesigurnosti: stvarne proizvodnje MHE će biti manje, često znatno manje, kada se onaj ko koristi postrojenje suoči sa realnom veoma velikom neravnomernošću protoka i upravljačkim posledicama takvog vodnog režima.

Vodotoci Crne Gore, ali i okolnih zemalja Balkana, imaju vrlo izražen bujični karakter. Zbog značaja analize ekstremnih fenomena kiša i proticaja za planiranje svih vrsta vodoprivrednih sistema, taj problem se veoma intenzivno istražuje u celoj regiji (Pavlović, 2010; Prohaska, 2013; Radić, 2010.) Taj problem dobija na sve većem značaju, pošto je pogoršanje ekstremnih hidroloških fenomena: povećanje velikih voda i produžavanje perioda i smanjenje malih voda - jedan od najnepovoljnijih efekata globalnih klimatskih promena, čiji se efekti već uočavaju.

Bujičnost vodnih režima se pogoršava u slučaju manjih vodotoka, posebno onih na brdsko-planinskim

područjima. To podrazumeva da se veliki deo ukupnog vodnog bilansa (nekada i 50÷60%) realizuje u kratkotrajnim bujičnim povodnjima, nakon kojih mogu da nastupe i vrlo dugi malovodni periodi. Na rekama Crnomorskog sliva javljaju se, po pravilu, dva vodnija ciklusa: primarni, prolećni, koji se javlja u periodu april-maj, i sekundarni, jesenji, tokom novembra i decembra. Na rekama Jadranskog sliva primarni ciklus, često i jedini, javlja se obično tokom novembra i decembra. Velika neravnomernost je izražena po svim vremenskim pokazateljima. Koeficijenti varijacije C_v godišnjih protoka na profilima čak i većih vodotoka kreće se u opsezu 0,2÷0,4, što ukazuje na veliku neravnomernost i na nivou godina. Ti koeficijenti za manje vodotoke su još veći, pa prelaze i vrednosti $C_v > 0,4$. Međutim, varijabilnost mesečnih protoka je veća, često je oko $C_v = 0,5$, ali na nekim rekama i mesecima dostiže vrednost i oko 1,5. Varijabilnost mesečnih protoka na većini reke je izraženija u jesenjim i zimskim mesecima. Na Zeti (Duklov most) u septembru je čak $C_v \sim 1,77$, na Ibru (Rožaje) za avgust iznosi $C_v \sim 1,68$. Međutim, sa gledišta korišćenja i zaštite voda, a posebno sa gledišta realizacije MHE, posebnu težinu imaju izrazito neravnomerni režimi malih voda. Male mesečne vode verovatnoće 90% su 15÷20 pa i više puta manje od prosečnih godišnjih vrednosti, što jako relativizira radne performanse MHE u dugim periodima malovođa, kada se u reci nizvodno od vodozahvata u derivaciju treba da obezbeđuje odgovarajući ekološki (garantovan) protok. Samo neki primeri, koji pokazuju koliko su nepovoljni režimi malih voda. Navode se podaci samo za neke reke i profile, prva cifra boldom je prosečni godišnji protok (m^3/s), dok su druga i treća cifra male mesečne vode verovatnoća 90% i 95% (m^3/s): Ibar, Rožaje: **2,46** 0,16 0,11, Ibar, Bać: **5,61** 0,32 0,27, Komarnica, Duški most: **15,06** 0,97 0,85, Zeta, Duklov most: **18,5** 0,10 0,08, Cijevna, Trgaj: **24,86** 0,96 0,75, itd. Posebno je drastičan primer na Morači na profilu Zlatica, na kome je prosečni protok $58,55 m^3/s$, dok na tom profilu ima dužih perioda kada je reka praktično bez protoka u dužem intervalu. Čak i ovi najsazetiji pokazatelji režima malih voda pokazuju koliko su besmisleni proračuni proizvodnje MHE kada se rade sa prosečnim protocima, tako da se može reći da su takve analize dezinformacija, a ne informacija za donošenje investicione odluke.

KRIVE TRAJANJA PROTOKA KAO POLAZIŠTE ZA RAZMATRANJE POKAZATELJA MHE

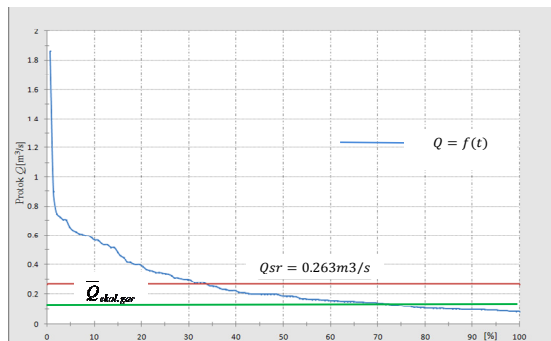
Za donošenje iole validnijih odluka o prihvatljivosti MHE i njihovim proizvodnim i ekonomskim

performansama nepohodne su krive trajanja protoka dobijene na bazi dnevnih serija, i zato se akcentat i ovom razmatranju stavlja na analizu tog veoma bitnog pokazatelja.

Pri izboru ključnog pokazatelja MHE – instalisanog protoka, kao i za određivanje energetske proizvodnje, osnovno polazište bez koga se validna odluka ne bi mogla doneti su prosječne krive trajanja dnevnih protoka. One su najvažnija čak i u uslovima bolje izučenosti, kada zajedno sa hijetogramom, nivogramom, hidrogramom, krivom trajanja vodostaja i krivim učestalosti vodostaja i protoka, ulaze u skup osnovnih grafičkih prikaza u hidrološkim analizama za potrebe malih hidroelektrana. Kao što je poznato, kriva trajanja pokazuje procenat vremena ili broj dana u godini, tokom kojih je vodostaj ili proticaj jednak datim količinama ili veći od njih bez obzira na hronologiju njihovog pojavljivanja. Takođe, opšte je poznato da se za konstrukciju krive trajanja polazi od ukupne ili kumulativne učestalosti neke vrijednosti, tj. ona predstavlja zbir učestalosti svih vrijednosti manjih ili jednakih toj vrijednosti ili obrnuto.

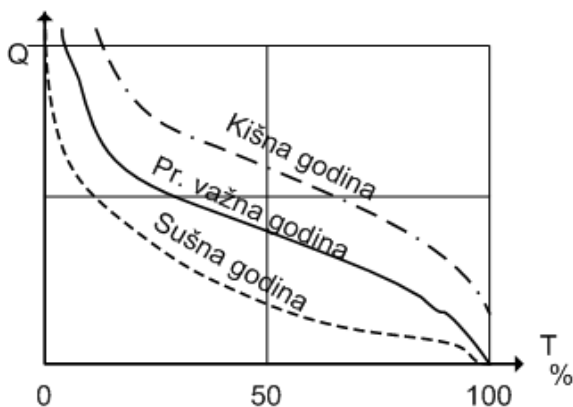
Dosadašnja iskustva u planiranju MHE pokazuju da postoje i određene mane primjene krivih trajanja protoka kao osnovnih hidroloških podloga. Na primjer, često se upozorava na nerealne rezultate, posebno kada je period obrade hidroloških podataka kratak (godina ili par godina mjerenja), ili je utvrđeno da krive trajanja ne prikazuju dotoke u prirodnom redosledu. Po pravilu, manji vodotoci imaju znatno nepovoljnije vodne režime u pogledu vremenske neravnomjernosti u odnosu na veće vodotoke, a to je za MHE od izuzetne važnosti. Na malim vodotocima, tj na njihovim krivim trajanja zapažaju se sledeća zakonitosti: kriva se na dužim potezima 'prilepljuje' uz ordinatu, na kojoj su protoci, i apcisu na kojoj je vreme, se velikim gradijentima 'ugiba' dijagrama. Takav oblik je posledica pojave velikog povodnja sa kratkim trajanjem (priljubljanje uz ordinatu) i dugog trajanja veoma smanjenih protoka u malovodnom periodu. Ta činjenica, kada se prenebregne u procesu analize proizvodnje MHE i njenih ekonomskih pokazatelja na bazi uprosečenih vrednosti, može da dovede u veliku i opasnu zabludu investitora koji odlučuje o realizaciji MHE. To se pregledno vidi na slici 1, za Babinopoljsku rijeku (sliv Lima), na osnovu osmatranja i merenja u samo jednoj godini, tokom koje se realizovao jedan veliki, ali kratkotrajni povodanj, dok su oko 70% vremena protoci bili manji od prosečnih. Vidi se kako bi se iskrivljena, neopravdano optimistička slika dobijala ako bi se MHE

razmatrala samo na osnovu prosečnog protoka, a to se veoma često čini.



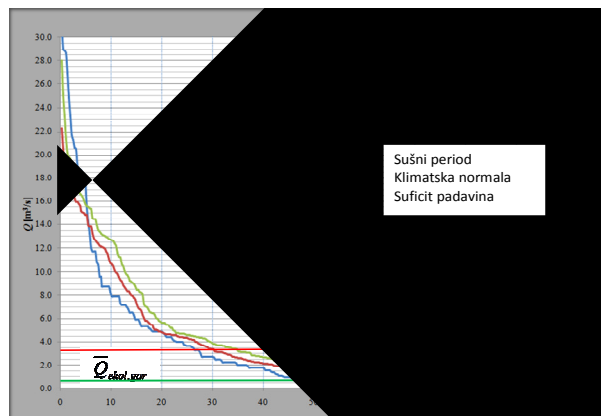
Slika 1. Kriva trajanja protoka za vodotok Babinopoljska rijeka (sliv Lima) [26]

Kod detaljnih analiza raspoloživih dotoka za upotrebu, uz prosječnu krivu trajanja protoka, važni su parametri i krive trajanja protoka za pojedine karakteristične godine iz razmatranoga razdoblja: vlažnu, približno srednju i sušnu godinu.



Slika 2. Mogući oblici krivih trajanja za različite karakteristične godine

U takvim slučajevima se preporučuje (Đorđević, 1997; Nikolić, 1984) da serija kontinuiranih osmatranja i merenja, ne bude kraća od 25 do 30 godina, kako bi se obuhvatili uobičajeni ciklusi nagomilavanja vodnijih i sušnijih perioda. Teorijski, krive trajanja za karakteristične godine uobičajeno imaju oblike kao na slici 2, ali u praksi njihovi oblici znaju vrlo često biti bitno drugačiji. Jedan ilustrativan primjer nalazimo kod konstrukcije krive trajanja za potrebe projekta MHE 'Bistrica' na istoimenoj desnoj pritoci rijeke Lim [13]. Na osnovu raspoloživih mjerenja za duži niz godina (2006-2012) konstruisane su tri krive trajanja (Slika 3.).



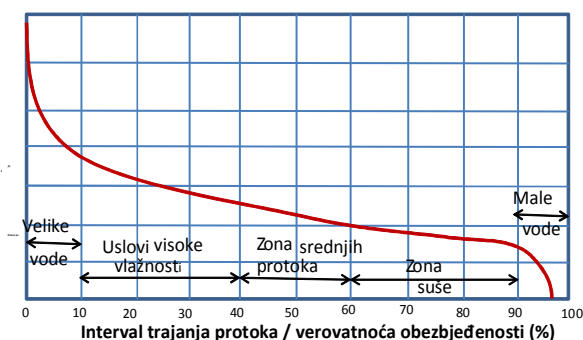
Slika 3. Krive trajanja protoka $Q=f(H)$ – MS 'Bistrica' u različitim periodima mjerenja odnosno periodima suše, umerenih padavina i padavina iznad višegodišnjeg prosjeka [13]

Najniža kriva (plava boja) odgovara jednom od sušnijih perioda kada je na obližnjoj kišomjernoj stanici registrovano 77,1% padavina od višegodišnjeg prosjeka. Srednja kriva (crvena boja) odgovara podacima o padavinama sa kišomjerne stanice od 91,1% padavina od višegodišnjeg prosjeka, tako da se ovaj period može okarakterisati kao period blizak klimatskoj normalni. Najviša kriva (zelena boja), prema podacima o padavinama sa kišomjerne stanice, odgovara 101,3% padavina od višegodišnjeg prosjeka, tako da je ovaj period u blagom suficitu padavina. Na osnovu ovih podataka, kriva trajanja protoka koja bi se koristila za odabir instalisanog protoka i energetski proračun je kriva trajanja protoka dobijena osrednjavanjem sve tri krive, jer kriva dobijena na ovakav način u sebi sadrži podatke o ekstremnoj sušnoj godini, godini koja je sa svojim karakteristikama bliska klimatskoj normalni i godini sa blagim suficitom padavina.

Osim razlika u oblicima krivih trajanja protoka za karakteristične godine, unutar nekog perioda postoje velike razlike i za pojedine karakteristične godine u različitim periodima te godine. Ova pojava direktno može imati posledice na zaključivanja o mogućnosti iskorištavanja vode u pojedinim godinama za potrebe MHE. Poseban uticaj na oblik krive trajanja može imati ako u pojedinom hidrološkom profilu dolazi do presušivanja toka, jer se u periodu koje odgovara suvom toku kriva trajanja poklopi sa apcismom.

Pomoću krive trajanja moguće je identifikovati intervale koji mogu da se iskoriste kao opšti indikatori hidroloških uslova i vodnih režima na vodotoku

(posebno se misli na odnos sušnih i kišnih perioda). Uopšteno, intervali na krivoj trajanja mogu biti grupisani u nekoliko kategorija odnosno zona. Ove zone daju dodatni uvid u uslove i stanja vodotoka. Uobičajeno je da se kriva trajanja može podijeliti u pet zona, kako je prikazano na slici 4. Velike vode (0÷10% obezbeđenosti), uslovi visoke vlažnosti (10÷40%), zona srednjih protoka i umerene vlažnosti (40÷60%), zona suše (60÷90%) i malovodni periodi (90÷100% obezbeđenosti).

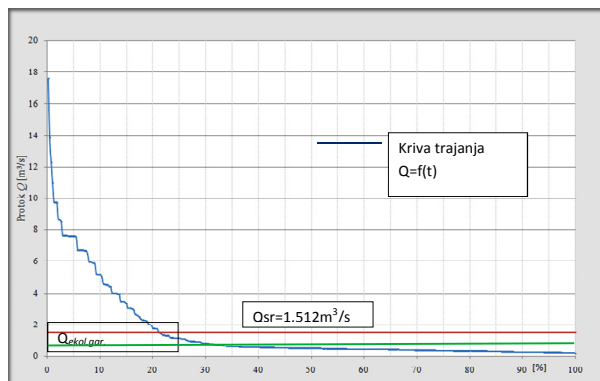


Slika 4. Zone na krivoj trajanja kao inidikator hidroloških uslova

Srednje vrednosti navedenih zona su na 5, 25, 50, 75 i 95% obezbeđenosti. Ovi rangovi mogu biti menjani odnosno prilagođeni lokalnim hidrološkim uslovima, a takođe i broj zona može biti prilagođen lokalnoj hidrologiji.

Oblik krive trajanja može da ukazuje još na vrlo bitne karakteristike sliva – propustljivost tla (karstifikaciju) i vrstu pokrivača, koji utiču na režim geneze oticaja. Te karakteristike bitno utiču i na prosečan koeficijent oticaja sa sliva, oblik hidrograma, odnosno podjelu udjela direktnog i baznog dijela ukupnog oticaja na hidrograme. Kriva trajanja stepenastog oblika ukazuje da je protok dominantno posledica direktnog – površinskog oticaja, dok kriva sa kontinualnom strukturom bez naglih skokova ukazuje na prisustvo nekog podzemnog ili podpovršinskog doticaja na slivu kojim se ujednačuju protoke.

Oblici krajeva krive ukazuju na karakteristiku višegodišnjeg akumulisanja vode u slivnom bazenu: ravnomjerna linija trajanja ukazuje na veliku količinu akumulisanja (čest slučaj u nekim karstnim uslovima, ili u velikim šumskim kompleksima), dok stepenasti oblik ukazuje na neznatan uticaj akumulisane vode.



Slika 5. Stepenasti oblik krive trajanja protoka Temnjačke rijeke (sliv Lima) u profilu vodozahvata MHE 'Jara' [27]

Tako vodotoci kod kojih je prisutno topljenje snijega u višim predjelima sliva imaju ravnomjernu liniju kraja krive oticaja. Ravnomjerniji dijagrami krivih trajanja u slučaju glavnog toka Lima rezultat su veoma korisne uloge Plavskog jezera na retenziranje velikih voda i povećanje protoka u periodima sa manje padavina. To je poseban kvalitet toka Lima, koji omogućava da se uspješno energetski može da koristi kontinuiranom kaskadom hidroelektrana sa malim padovima, koje se mogu realizovati isključivo u osnovnom koritu, bez iole bitnijih uticaja na okruženje.

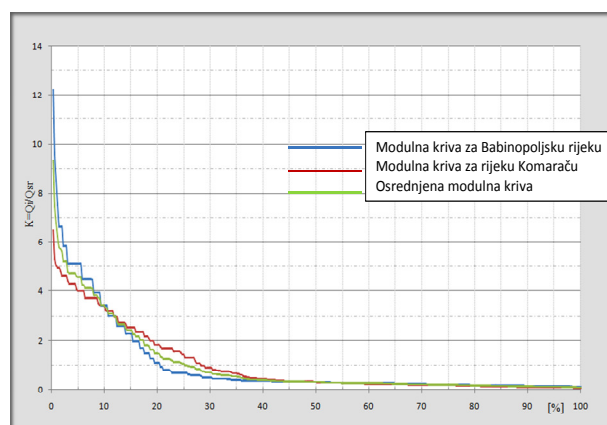
Kao što je naglašeno krive trajanja protoka vodotoka sa veoma neravnomjernim bujičnim režimima odlikuje 'priljubljanje' linije uz obe koordinatne ose. U takvim okolnostima je teška i delikatna odluka – izbor instalisanog protoka, tipa i broja agregata. Naime, ako se odabere veći protok, onda je sasvim izvesno da će agregat raditi sa instalisanim protokom / snagom dosta kratko vrijeme. Izbor jednog agregata je racionalan sa gledišta koštanja, ali takav agregat radi sa malim k.k.d. pri manjim protocima. Izbor većeg broja agregata omogućava nešto fleksibilniji rad, međutim, ne rešava glavni problem – u malovodnim periodima MHE će u dužim vremenskim periodima biti potpuno van pogona, zbog toga što se ne smeju narušiti ekološki protoci koji su potrebni za održavanje reke u vitalnom ekološkom stanju.

Oblik i gradijenti dijagrama trajanja protoka bitno zavisi i od tipa ulaznih podataka – jesu li proticaji srednji dnevni, srednji mjesečni ili srednji godišnji. Za sve vidove planiranja, posebno za planiranje MHE, verodostojnu, najpotpuniju informaciju pružaju krive trajanja dobijene na osnovu srednjih dnevnih proticaja.

Po pravilu krive trajanja srednjih dnevnih proticaja za prosječnu godinu, ako su konstruisane na osnovu niza podataka iz višegodišnjega perioda, redovno su zaglađene, 'ispeglane'. To omogućava da se kao pomoćno sredstvo uvedu određene teorijske raspodjele. Tako je krive trajanja konstruisane na osnovu podataka iz dugih vremenskih nizova moguće dobro aproksimirati teorijskim krivim raspodjela sa najviše tri parametra (USEPA,2007). Dosadašnja praksa je najčešće prepoznavala log-normalna (Galtonovu) ili Pearson 3 raspodjelu kao najpogodnije za ovu namjenu. Primjena ovih teorijskih raspodjela još se više potvrđuje potrebu o postojanju što dužeg niza podataka jer, na primjer, troparameterska Pearson 3 raspodjela u nekim slučajevima može imati nepouzdan parametar – koeficijent asimetrije, čija je vrijednost zbog trećega statističkog momenta vrlo osjetljiva i zahtijeva, u hidrološkom smislu, vrlo duge nizove podataka (i više od 80 godina). Naravno, u dosadašnjim projektima malih hidroelektrana u Crnoj Gori nije bilo ni reči o primjeni ovih teorijskih raspodjela, jer fond podataka nije nigde bio ni približan njihovim potrebama.

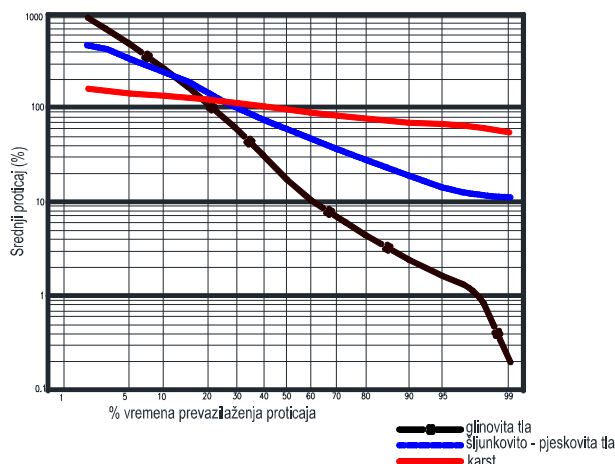
Jedna od mogućnosti koju projektanti imaju na raspolaganju je međusobno poređenje krivih trajanja u različitim hidrološkim profilima, ako se proticaji svedu na modulne koeficijente (proticaji u pojedinim profilima pretvaraju se u modulne koeficijente tako što se njihove vrijednosti podijele s prosjekom perioda, pa je u tom slučaju prosjek jednak jedinici). Ova je metoda relativno često korišćena kod ocjene mogućnosti korišćenja vode na zahvatima pojedinih profila, na različitim vodotocima, uglavnom na istom slivnom području. Metoda sa modulnim koeficijentima i mogućnost poređenja bila je nužna kod vodotoka za koje ne postoje podaci o proticajima tj. gdje nema hidroloških mjerenja. Ono što se preporučuje u tim slučajevima je da se za analizu na razmatranom profilu koriste krive trajanja protoka na bar dva hidrometrijska profila – po mogućnosti uzvodno i nizvodno od razmatranog profila. Primer takve analize dat je na slici 6 na kojoj su prikazane modulne krive trajanja protoka za Babinopoljsku rijeku i rijeku Komaraču (sliv Lima). Na osnovu mjerenja HMZCG u trajanju od 15 mjeseci na vodotocima Komarača i Babinopoljska rijeka konstruisane su krive trajanja u modulnim koeficijentima za profile mjernih stanica. Zbog manjeg sliva Babinopoljske rijeke, njena kriva je viša u domenu visokih vrijednosti protoka, a niža u domenu srednjih i nižih vrijednosti. Zbog ovakve razlike izvršeno je osrednjavanje krivih [26]. U slučaju da nema dovoljno podataka za vodotok sa profilom za koji treba definisati

krivu trajanja proticaja onda se u razmatranje može koristiti regionalna analiza, sa podacima prikupljenim na vodotocima užeg regiona (Holmes,2002; Mohamoud,2008). U nekom hidrološkom smislu, užu region je područje na kojem vodotoci imaju slične osnovne osobine oticaja i da tom području prema svojim bitnim hidrološkim osobinama pripada i razmatrani vodotok za koga se želi rekonstrukcija krive trajanja proticaja.



Slika 6. Modulne krive trajanja protoka za Babinopoljsku rijeku i rijeku Komaraču (sliv Lima) i osrednjena modulna kriva [26]

Jedna od posebnosti crnogorskih slivova jeste njihova karstna priroda. Definisane krive trajanja proticaja na vodotocima takvih slivova ne podleže uobičajenim zakonitostima. Važno je napomenuti da veličinu karstnih slivova sa znatnim podzemnim retenzijama u zaleđima njihovih izvorišta po pravilu treba shvatiti približno definisanim, jer položaj hidrogeološke (podzemne) razvodnice zavisi od stanja u podzemlju. Takav je slučaj sa slivovima velikog broja rijeka u Crnoj Gori i njihovih pritoka. Očekivane 'anomalije' koje mogu pratiti oblike krivih trajanja proticaja na tim slivovima mogu se javiti zbog, na primjer, izravnavajućega uticaja podzemne retenzije u zaleđu izvora vodotoka ili zbog različitog rasporeda padavina na slivu tokom godine (Milanović,1979). Pored ovog uticaja dosta je drugih faktora koji mogu uticati na oblik krive trajanja proticaja. Na primjer, dubina nivoa podzemnih voda, prisustvo propusnih površinskih slojeva tla, dubina slabo propusnih slojeva, itd. Tako na primjer, za različite geološke sredine na slivu oblici krivih trajanja mogu biti drastično različiti, kako je pokazano na slici 7.



Slika 7. Karakteristični oblici krivih trajanja usled uticaja geološke sredine (Žugaj, 1983)

Ove evidentne razlike treba posebno imati u vidu kod već pomenute, a inače veoma popularne metode međusobnog poređenja krivih trajanja u različitim hidrološkim profilima. Nekritičko i automatsko preuzimanje podataka sa sliva na sliv, bez analize prethodno navedenih mogućih uticaja, može dovesti do netačnih rezultata koji se prenose kroz dalju analizu ocjene potencijala male hidroelektrane i njenu energetska i ekonomsku opravdanost.

DRUGI BITNI UTICAJI KOJE TREBA IMATI U VIDU PRI ODLUKAMA O MHE

Sve male hidroelektrane koje se planiraju ne samo u Crnoj Gori, već i u drugim zemljama u okruženju, nalaze se na malim vodotocima izuzetnih ekoloških vrednosti. Te vrednosti proističu spojem niza povoljnih prirodnih okolnosti: ili se nalaze u izuzetnim geomorfološkim i hidrografskim područjima (kanjoni, reke sa slapovima, brzacima, itd.), ili su hidrološki i ekološki raritetna područja, veoma bogata biodiverzitetima. Iz tih razloga se takve reke ne bi ni smele da koriste za realizaciju MHE. Za to ograničenje postoji još jedna bitna činjenica. Sve zemlje regiona su prihvatile i ratifikovale konvenciju NATURA 2000, po kojoj su u obavezi da do 2020 godine povećaju na 12% od državne teritorije područja koja su obuhvaćena nekim od vidova ekološke zaštite (nacionalni parkovi, parkovi prirode, rezervati). Svedoci smo da je prava 'navala' investitora upravo usmerena ka takvim područjima, jer se na njima nalaze i značajni vodni potencijali planinskih reka sa velikim padovima, slapovima, brzacima, koji su pogodni za koncentraciju

padova za MHE. Postojanje derivacione MHE na takvom području je nespojivo sa bilo kakvim oblikom ekološke zaštite, tako da se izdavanjem dozvola za zgađenje MHE i na takvim slivovima veoma sužava prostor za ostvarenje obaveze po pomenutoj konvenciji. Stvar je, međutim, ekološki još mnogo nepovoljnija, jer su pri izdavanju dozvola najčešće propisivani vrlo 'meki', ekološki štetni uslovi za obezbeđivanje garantovanih (prihvatljivih) ekoloških protoka na potezima reka na kojima dolazi do promene vodnih režima. Kao opasan recidiv prošlosti propisivano je da taj ekološki protok (koga mnogi još uvek veoma pogrešno i štetno nazivaju 'biološkim minimumom') iznosi samo $0,1 \times Q_{sr}$. Primena takvog ekološkog protoka sigurno bi dovela do osiromašenja, pa i do postepenog uništenja rečnih i priobalnih ekosistema na rekama na kojima se primenjuje.

Upravo iz tih razloga razrađena je metodika za određivanje ekoloških protoka koja bi bila primerena rekama na širem području Balkana (Đorđević i Dašić, 2011). Metodika je usklađena sa savremenim tendencijama zaštite vodenih ekosistema, tako da se garantovani ekološki protoci (GEP) određuju posebno za topli i hladan deo godine. U toplom delu godine GEP je veći, jer su tada i potrebe ekosistema veće, zbog viših temperatura vazduha i vode, evapotranspiracije, procesa reprodukcije ihtiofaune, fito- i zooplanktona, uslova za opstanak i razvoj riblje mladi, itd. Ovdje se neće ulaziti u metodiku i analitičke relacije te metode (detaljnije videti u navedenoj referenci), ali je izvršena provera kako bi se primena te metodike odrazila na proizvodne mogućnosti nekih MHE. Opšti je zaključak da bi primena te ekološkim sistemima nesumnjivo mnogo primerenije metode za definisanje garantovanih ekoloških protoka nizvodno od vodozahvata za MHE - smanjila proizvodne mogućnosti tih postrojenja. To će se ilustrovati primerom za već pominjanu reku Bisticu u slivu Lima. Prosečni protok je $3,45 \text{ m}^3/\text{s}$, pa bi u slučaju da se kao zahtevani ekološki protok zada $0,1 \times Q_{sr}$ taj protok iznosio $0,34 \text{ m}^3/\text{s}$, što bi, prema kriterijumima poznate metode Tennant, značilo da će doći do ozbiljne degradacije ekosistema. Po metodi GEP, potreban protok u hladnom delu godine za tu reku trebalo bi da iznosi $0,52 \text{ m}^3/\text{s}$, a u toplom $0,67 \text{ m}^3/\text{s}$. Pošto se po navedenoj metodici za protoke manjih od tih u reci treba da održava prirodni režim tečenja, bez ikakvog zahvatanja, proizlazi da bi u slučaju da se realizuje objekat MHE na toj reci, preko 30% vremena tokom godine postrojenje trebalo da bude van pogona samo po tom 'ekološkom' kriterijumu. To znači da se prosečno u oko 110 dana ne bi smelo da se ništa zahvata i upućuje

derivacijom prema MHE, jer se tada reka i sa prirodnim, neometanim režimom nalazi u ekološki kriznom stanju. Isti slučaj tog ekološkog ograničenja je i sa Babinopoljskom rekam (MHE van pogona zbog ekološkog ograničenja oko 35% vremena), dok je u slučaju Temnjačke reke zbog još nepovoljnijeg režima voda to ograničenje još duže, pa se procenjuje da bi u oko 150 dana MHE bila van pogona samo zbog toga što se zbog malih protoka u reci ne sme da bilo kakvim zahvatanjem remeti prirodni režim malih voda.

Međutim, realno vreme nemogućnosti rada MHE bilo bi znatno duže. Pošto je najveći broj dispozicija MHE bez ikakvog regulisanja protoka (nema akumulacije, već se protok na vodozahvatu neposredno uvodi u derivaciju), ne postoje mogućnosti ni dnevnog regulisanja protoka, tako da će se u jednom periodu malovođa (procenjuje se da je to ne manje od oko 15÷20% vremena dodatnog vremena u odnosu na onih 30%) protoci koji se upućuju prema turbini MHE nalaziti u granicama koje su ispod opsega protoka 'praznog hoda' turbine. Naravno, problem se može donekle rešiti povećanjem broja agregata ('usitnjavanjem' agregata), ali tu se ulazi u 'makaze' mnogo zahtevnijih dispozicija i mašinske zgrade i prateće opreme, što otvara nove ekonomske dubioze pri određivanju ekonomske opravdanosti takve male hidroelektrane.

Autori su smatrali da ovim sinteznim radom treba da upozore na vrlo ozbiljne energetske, ekološke i ekonomske dubioze ukoliko se u odlučivanje o realizaciji malih hidroelektrana uđe bez validnih podloga. A podloga o krivama trajanja dnevnih protoka je veoma bitna, jer se bez takve podloge mogu doneti potpuno pogrešne investicione odluke, koje su opasne i za investitora, ali i za ekološko okruženje, a time i za državu.

ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Nedvojben je zaključak da se zaokretu prema intenzivnijem korišćenju obnovljivih izvora energije u čitavom regionu, pa i u Crnoj Gori, pristupilo bez odgovarajućih istraživanja koja bi trebalo da stvore podloge za meritorno odlučivanje o energetskoj, ekološkoj i ekonomskoj opravdanosti realizacije malih hidroelektrana. Praktično svi vodotoci koji se razmatraju kao mogući za građenje MHE u Crnoj Gori spadaju u grupu neizučeni vodotoka. To znači da se podaci o njihovim potencijalima dobijaju ili posredno (na osnovu podataka o kišama i fizičkim karakteristikama sliva), ili na osnovu nedovoljnog broja

sprovedenih mjerenja. Ukoliko se investicione odluke ne donose na osnovu pouzdanih krivih trajanja dnevnih protoka, već na bazi nekih uprosečenih krivih, gotovo je izvesno da će se dobijeni pokazatelji o proizvodnji i ekonomičnosti MHE nalaziti na strani nesigurnosti, i da će opasno obmanjivati investitora svojom – optimističnošću. Sažeto rečeno: nedovoljna hidrološka istraženost i primjena neadekvatnih podloga, predstavlja opasnu 'klopku' i za investitora, ali i za državu, da u takav projekat uđe sa vrlo velikim i ekonomskim i ekološkim dubiozama i rizicima.

Polazeći od postulata da se novac uložen u hidrološka istraživanja mnogostruko vraća u procesu realizacije pouzdanih objekta, najvažnija je sugestija da na svim rijekama na kojima se planiraju bilo kakvi objekti, posebno MHE, treba što hitnije započeti kontinuirana osmatranja i mjerenja, kako bi se dobili makar i kratki nizovi dnevnih protoka, sa kojima se može, metodama korelacija, analogija i regionalnih analiza da rekonstruišu dovoljno pouzdane krive trajanja dnevnih protoka sa kojima se mogu donosite kako-tako validne odluke.

I napokon, autori smatraju svojom stručnom, ali i moralnom obavezom da upozore na neka važna ograničenja pri odlučivanju o građenju malih hidroelektrana ne samo u Crnoj Gori, već i u regionu.

- Ne smeju se izdavati dozvole za građenje MHE na područjima koja po svojim ekološkim odlikama i bogatstvu biodiverziteta spadaju u zone koje treba da budu obuhvaćene nekim vidom ekološke zaštite, u okviru konvencije NATURA 2000, koja se odnosi na zaštitu prirode i biološke raznovrsnosti, a koja predviđa obavezu svih država da povećaju površine pod određenim vidovima ekološke zaštite.
- Mnogo veća pažnja mora se pokloniti ekološkim protocima koji se moraju garantovano obezbediti u reci nizvodno od vodozahvata derivacionih hidroelektrana. Do sada postavljeni ekološki uslovi, koji su recidiv zastarelog shvatanja da taj protok treba da iznosi $0,1 \times Q_{sr}$, svakako će dovesti do ekološke destrukcije vodotoka na kojima se primenjuje. Preporučuje se navedena metoda GEP koja je i razrađena za područje sa ovim klimatsko-hidrološkim i morfološkim odlikama.
- Kanjoni i rečne doline sa ambijentalnim vrednostima ne smeju se vizuelno 'zagađivati' i devastirati cevovodima, za koje se, ne retko, predviđa površinsko vođenje. Ukoliko nije moguće rešenje sa tunelskim derivacijama ili ukopanim cevovodima, treba odustati od takvih rešenja derivacija kojima se devastiraju prirodni ambijenti.

- Pošto se često objekti hidroelektrana realizuju u predelima koji su poznati po tipičnom arhitektonskom nasleđu – svi objekti se moraju dispoziciono rešiti na način da se uklapaju u taj urbani i arhitektonski sklad. Pošto se u slučaju MHE radi o objektima malih gabarita, vrlo je pogodno ako se reše u vidu tradicionalne narodne arhitekture, ako je potrebno u vidu vodenica koje se često prave na manjim rekama.
- I napokon sažeta poruka: realizacija MHE nije mali zahvat u Prirodi, kao što mnogi neupućeni površno procenjuju ('Ne damo vam da gradite velike hidroektrane, a male gradite koliko hoćete'). Tim objektima se zadržava u najfinije tkivo Prirode, u njene najvitalnije hidrografske, ekološke kapilare, pa i odluka o građenju mora da bude i oprezna, i smisljena, zasnovana na validnim podlogama, i – sa svim merama valjanog uklapanja u okruženje.

LITERATURA

- [1] Balat, M. (2006): Hydropower systems and hydropower potential in the European Union countries. *Energy Sources* 28: p.965-978.
- [2] Đorđević, B. i M. Šaranović (2004): Hidroenergetski potencijali Crne Gore i nužnost njihovog što bržeg iskorišćenja. U knjizi: Energetski potencijali Crne Gore, CANU, Podgorica, ISBN 978-86-7215-192-3
- [3] Đorđević, B. (1997): O proceduri projektovanja hidrotehničkih sistema, *Vodoprivreda*, N^o 169 - 170,
- [4] Đorđević, B. i M. Šaranović (2007): Hidroenergetski Potencijali Crne Gore, Izd. CANU, s.263, ISBN 978-86-7215-192-3
- [5] Đorđević, B. (2008a): Objektivno vrednovanje obnovljivih energije, *Vodoprivreda*, N^o 231-233, s.19-38
- [6] Đorđević, B., Šaranović, M., Vujadinović, S. (2008b) :Uslovi, mogućnosti i kriterijumi za izgradnju malih hidroelektrana u Crnoj Gori", CANU, Budva 2008
- [7] Đorđević, B., G. Sekulić, M. Radulović, M. Šaranović (2010): Vodni potencijali Crne Gore, CANU, s.390, ISBN 978-86-7215-261-6
- [8] Đorđević, B. i T. Dašić (2011): Određivanje potrebnih protoka nizvodno od brana i rečnih vodozahvata, *Vodoprivreda*, N^o 252-254, s.151-164
- [9] Đorđević, B. i G. Sekulić (2014): Iskorišćenje vodnih potencijala Crne Gore, kao odgovor na politiku iskorišćenja obnovljivih izvora energije, CANU, OPN, 2014, u štampi
- [10] Đurović, M. (2004): Obnovljivi izvori i Crna Gora, Novi energetske izvori u Crnoj Gori, CANU, OPN, knjiga 9, Podgorica.
- [11] Đurović, M. (2005): Izazovi budućnosti i energija, Pegaz, Bijelo Polje, s. 169, COBISS-CG-ID 8978192
- [12] Energoprojekt (1983): Studija enegetskog korišćenja Gornjeg Lima sa pritokama, Energoprojekt Beograd, Beograd
- [13] Hidroenergija Montenegro, d.o.o., Hidrološka analiza sliva vodotoka Bistrica, opština Berane, Podgorica, 2013.
- [14] HMZCG (2007): Hidrološka obradaza profile malih (mini, mikro) hidroelektrana (mHE) na pritokama glavnih vodotoka u Crnoj Gori, HMZCG - Hidrološki sektor, Podgorica
- [15] Holmes, M.G.R. i A.R. Young, A. Gustard, R. Grew (2002): A region of influence approach to predicting flow duration curves within ungauged catchments, *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(4), p.721-731
- [16] Master plan (2006): Strategija razvoja energetike Republike Crne Gore do 2025. godine. Knjiga D: Plan razvoja elektroenergetskog sistema Republike Crne Gore; Institut za istraživanja u energetici, ekologiji i tehnologiji, Ljubljana, Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb.
- [17] Milanović, P. (1979): Hidrogeologija karsta i metode istraživanja, Trebinje.
- [18] Mitrović, R. (2009): Usporedna analiza varijantnih rešenja hidroenergetskog iskorišćenja gornjeg dela reke Morače, *Vodoprivreda*, N^o 237-239, s.79-86
- [19] Mohamoud, Y.M. (2008): Prediction of daily flow duration curves and streamflow for ungauged catchments using regional flow duration curves. *Hydrological Sciences* 53:706-724.
- [20] Nikolić, M. (1984): *Hidrološki aspekti određivanja instalisane snage malih hidroelektrana*, IV Jugoslovensko savjetovanje 'Energetsko iskorišćavanje malih vodotoka i izgradnja malih hidroelektrana', Zbornik radova, Arandelovac, s. 52-64.

- [21] Novaković D., (2006): Hidrologija u uslovima karsta, Master plan hidroloških stanica u Crnoj Gori, Hidrometeorološki Zavod Crne Gore i Norveški institut za vode i energiju, Podgorica.
- [22] Pavlović, D. i V. Vukmirović (2010): Statistička analiza maksimalnih kratkotrajnih kiša metodom godišnjih ekstrema, *Vodoprivreda*, N^o 246-248, s.137-148
- [23] Prohaska S. i A. Ilić (2010): Nova metoda za proračun uslovnih verovatnoća pojave katastrofalnih poplava i suša u istoj kalendarskoj godini, *Vodoprivreda*, N^o 246-248, s.149-156
- [24] Prohaska, S. i V. Bartoš Divac (2013): Regionalizacija kvantitativnih karaktersitika kiša jakon intenziteta u Srbiji, *Vodoprivreda*, N^o 264-266, s.1181-1192
- [25] Radić, Z. i V. Mihajlović (2010): Marginalne raspodele dnevnih padavina na reprezentativnim profilima u Srbiji, *Vodoprivreda*, N^o 243-245, s.17-38
- [26] Sistem d.o.o., Hidrološka obrada podataka vodotoka Babinopoljska rijeka, Podgorica, 2012.
- [27] Sistem d.o.o., Hidrološka obrada podataka vodotoka Temnjačka rijeka, Podgorica, 2012.
- [28] Sistem d.o.o., Hidrološka obrada podataka vodotoka Treskavička rijeka, Podgorica, 2012.
- [29] USEPA (2007). An approach for using load duration curves in the development of TMDLs.
- [30] Žugaj, R. (1983): Utvrđivanje krivulje trajanja protoka za vodene tokove za koje nema hidroloških podloga, Zbornik radova, Jugoslovenski simpozijum o inženjerskoj hidrologiji, Split

INVESTIGATION OF UNEVEN DISTRIBUTION OF WATER REGIME AS AN ESSENTIAL PREREQUISITE FOR THE IMPLEMENTATION OF SMALL HYDROPOWER PLANTS, IN THE CASE OF MONTENEGRO

by

Goran Sekulić¹⁾ i Branislav Đorđević²⁾

¹⁾ Faculty of Civile Engineering, Podgorica, sgoran2000@gmail.com

²⁾ University of Belgrade - Faculty of Civile Engineering, branko@grf.bg.ac.rs

Summary

According with the trends in the world, and in the Balkan region is approached intensive use of renewable energy sources. However, this turnaround in energy policy was not followed by adequate investigations, which would give the necessary basis for a more realistic analysis of the possible production of such plants and their impact on the environment. This lack of background is particularly evident in the case of small hydropower (SHP). The paper on the examples of Montenegro discusses the hydrological data that are necessary for a more reliable determination of production SHP and evaluating their impact on the environment. It is shown that the time variation of flow is very important affects on the planning of SHP and to determine their possible production. The influence of non-uniformity of flow on the performance of SHP is

much greater than was considered. The widespread practice of production SHP determined based on the average of scarce surface flows lead to wrong investment decisions, because in the real conditions of production SHP will be significantly lower. Especially considering the very important basis for planning SHP - duration curve of daily flow. Analyzed its characteristics and perform generalizations from the point of application when deciding on the construction of SHP. Define the very important principles, criteria and restrictions on fitting SHP in ecological, social and other environment.

Key words: small hydroelectric powerplant (SHP), hidrology, low water regime, flow duration curve, installed capacity of SHP, environmental flow

Redigovano 15.11.2014.