

Uroš KARADŽIĆ¹, Ljubiša BOŠKOVIĆ², Radoje VUJADINOVIĆ³

PROCJENA MOGUĆNOSTI HIDROENERGETSKOG KORIŠĆENJA MALIH VODOTOKA

Sažetak: Potoci i manje rijeke su u posljednje vrijeme sve više interesantni sa aspekta hidroenergetskog iskorišćenja. Donja granica instalisane snage za koju je isplativo projektovati mikrohidroelektrane se spustila na oko 20 kW. Manje rijeke i potoci po pravilu nemaju urađene hidrološke studije na osnovu kojih bi bilo moguće napraviti hidroenergetske analize. U ovom radu je na primjeru malog vodotoka, na kojem do sada nije su vršena nikakva istraživanja, data procjena mogućnosti njegovog hidroenergetskog korišćenja. Na osnovu izmjerene trenutne vrijednosti protoka i površine slivnog područja pretpostavljena je vrijednost srednjeg protoka. Zatim je na osnovu instalisanog protoka i bruto pada dat predlog hidroenergetskog iskorišćenja vodotoka. Usvojen je tip turbine, prečnik cjevovoda, izračunat neto pad, instalisana snaga mikroelektrane i moguća godišnja proizvodnja električne energije. Prikazana je i ekonomska opravdanost izrade jednog ovakvog projekta. Pokazano je da se i na vodotocima na kojima do sada nijesu vršena nikakva istraživanja može dati preliminarna procjena njihovog hidroenergetskog korišćenja koja može poslužiti kao preporuka i uputstvo za dalje analize.

Ključne riječi: *hidropotencijal, mali vodotoci, mikrohidroelektrane, obnovljivi izvori energije*

1. UVOD

Za procjenu mogućnosti hidroenergetskog iskorišćenja nekog vodotoka potrebno je poznavati njegove hidrološke karakteristike odnosno zakon promjene njegovog protoka tokom godine [1]. Na većim rijekama i vodotocima su postavljene

¹ Doc. dr Uroš Karadžić, dipl. inž. maš., Mašinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, Podgorica, Crna Gora, telefon: +382 20 268 682, fax: +382 20 206 131, *e-mail*: uros.karadzic@ac.me

² Ljubiša Bošković, Sistem d. o. o., Mitra Bakića 128, Podgorica, Crna Gora, telefon: +382 20 215 250, fax: +382 20 215 251, *e-mail*: ljubisa.boskovic@sistem-mne.com

³ Doc. dr Radoje Vujadinović, dipl. inž. maš., Mašinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, Podgorica, Crna Gora, telefon: +382 20 268 682, fax: +382 20 206 131, *e-mail*: radojev@ac.me

ne automatske mjerne stanice i mjerne letve, dok manje rijeke i potoci obično nemaju hidrološka osmatranja. Kako je trend razvoja malih i mikrohidroelektrana u stalnom porastu posljednjih godina, to su i ovi manji vodotoci postali interesantni sa aspekta hidroenergetskog iskorišćenja. U ovom radu je razmatrana mogućnost hidroenergetskog iskorišćenja Simovog potoka, lijeve pritoke Morače. U prvom dijelu rada je pokazano kako se na osnovu trenutne izmjerene vrijednosti protoka i površine sliva razmatranog vodotoka može pretpostaviti srednja vrijednost godišnjeg protoka. U drugom dijelu rada predloženi su osnovni parametri mikrohidroelektrane koju bi bilo moguće izgraditi u cilju hidroenergetskog iskorišćenja.

2. PROCJENA VRIJEDNOSTI SREDNJEG GODIŠNJEG PROTOKA

Simov potok nastaje od izvora koji se nalazi na koti 1005 mnm stalnog kapaciteta 30-50 l/s, koji se uvećava početkom kišnog perioda. Dužina toka Simovog potoka je oko jedan kilometar. Uliva se u rijeku Moraču na koti 742 mnm. Zbog velike visinske razlike od izvora do ušća u rijeku Moraču (263 m), Simov potok je izuzetno interesantan za izgradnju mikrohidroelektrane kojom bi bio iskorišćen njegov hidroenergetski potencijal.

Na Simovom potoku do sada nijesu vršena hidrološka ispitivanja tako da se ne raspolaže odgovarajućim hidrološkim podacima. Takođe, do sada nije rađena nikakva hidroenergetska studija korišćenja ovog vodotoka. U cilju procjene njegovog hidrološkog potencijala izvršeno je mjerenje trenutne vrijednosti protoka.



Slika 1. Mjerenje protoka pomoću Flow-Tracera na Simovom potoku



Slika 2. Površina sliva Simovog potoka

Metoda koja je korišćena prilikom ovog mjerenja je poznata kao metoda mjerenja protoka zasnovana na mjerenju promjene koncentracije soli rastvorene u vodi. Uređaj korišćen prilikom mjerenja je FLOW-TRACER, proizvod firme Flow Tronic, Belgija. Mjerenje je izvršeno na lokaciji potencijalnog vodozahvata za mikrohidroelektranu na koti 998 mm, na način što je u vodotok usut rastvor 1 kg soli na 20 m uzvodno od tačke postavljanja sonde. Trenutna izmjerena vrijednost protoka bila je $Q = 51.8$ l/s. Postupak mjerenja protoka je prikazan na Sl. 1.

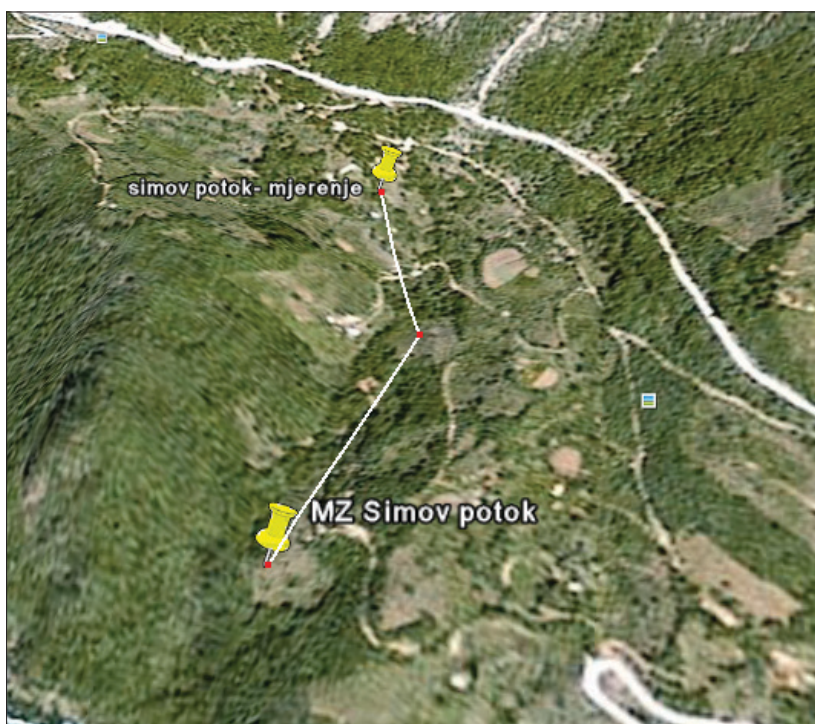
Kako je protok mjeren nakon početka kišnog perioda, logično je pretpostaviti da je izmjerena vrijednost veća od srednje vrijednosti protoka. Na osnovu približno izračunate površine sliva Simovog potoka (Sl. 2) i prosječne visine godišnjih padavina za ovo područje, moguće je odrediti orijentacionu vrijednost srednjeg godišnjeg protoka na osnovu sljedećeg izraza:

$$Q_{sr} = \frac{A_S \cdot H_{god} \cdot k}{T} = 31 \text{ l/s}, \quad (1)$$

gdje je $A_S = 0.85 \text{ km}^2$ – površina sliva; $H_{god} = 1500 \text{ mm}$ – prosječna visina godišnjih padavina; $k = 0.77$ – koeficijent oticanja [2]; T – vrijeme.

3. PREDLOG ISKORIŠĆENJA HIDROENERGETSKOG POTENCIJALA SIMOVOG POTOKA IZGRADNJOM MIKROHIDROELEKTRANE

Kao jedna od mogućnosti hidroenergetskog iskorišćenja Simovog potoka predlaže se sljedeća koncepcija uobičajena za ovakve lokacije [3]. Na nekih 30 m nizvodno od izvora na koti od 998 mnm predlaže se izgradnja vodozahvata „tirolskog tipa” sa taložnicom na lijevom dijelu obale Simovog potoka. Tirolski ili vodozahvat u dnu se obično primjenjuje kod planinskih rijeka sa velikim količinama bujičnog nanosa [4]. Iz taložnice voda bi se vodila cjevovodom pod pritiskom, pored korita rijeke do mašinske zgrade na koti 853 mnm. U mašinskoj zgradi bi bila smještena odgovarajuća turbina sa pripadajućom opremom. Voda bi se poslije prolaska kroz turbinu vraćala nizvodno u korito Simovog potoka, oko 300 m prije njegovog ušća u rijeku Moraču. Cjevovod bi bio od čeličnih cijevi dužine $L = 670$ m. Čitav teren je pogodan i pristupačan za izvođenje građevinskih radova, što je veoma važno sa stanovišta ukupne investicije. Prikaz terena sa predviđenom lokacijom vodozahvata, trase cjevovoda i mašinske zgrade je dat na Sl. 3.



Slika 3. Predlog rješenja mHE „Simov potok”

Bruto pad od predviđene lokacije vodozahvata do mašinske zgrade mHE „Simov potok” je izmjeren pomoću altimetra ZipLevel 2000, proizvod firme Technidea Corporation, SAD. Dobijena vrijednost bruto pada je 145 m. Električna energija dobijena iz mHE „Simov potok” bi se koristila u paralelnom radu sa elektrodistributivnom mrežom, tj. sva proizvedena električna energija bi se plasirala u 10 kV distributivnu mrežu koja prolazi pored same planirane lokacije mašinske zgrade.

4. ODABIR OSNOVNIH PARAMETARA SISTEMA mHE SIMOV POTOK

Osnovni parametri koji definišu neki hidroenergetski objekat su neto pad, instalisani protok i instalisana snaga. Kod mikrohidroelektrana derivacionog tipa instalisani protok se obično usvaja kao [5]:

$$Q_i = (1 \div 1.4) \cdot Q_{sr} \quad (2)$$

Uzimajući ovo u obzir, za buduću mHE „Simov potok” se može usvojiti instalisani protok $Q_i = 50$ l/s.

Ekonomski opravdan prečnik cjevovoda je onaj prečnik koji za najmanju cijenu koštanja materijala daje najveći energetski efekat. Ovaj prečnik cjevovoda nije moguće odrediti na egzaktan način, a njegova približna vrijednost se može odrediti iz sljedećeg izraza [6]:

$$D = 1.27 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_i^3}{0.9 \cdot H_b}} = 0.175 \quad \text{m.} \quad (3)$$

Na osnovu dobijene vrijednosti može se usvojiti cjevovod nazivnog prečnika DN 200, odnosno $D = 200$ mm.

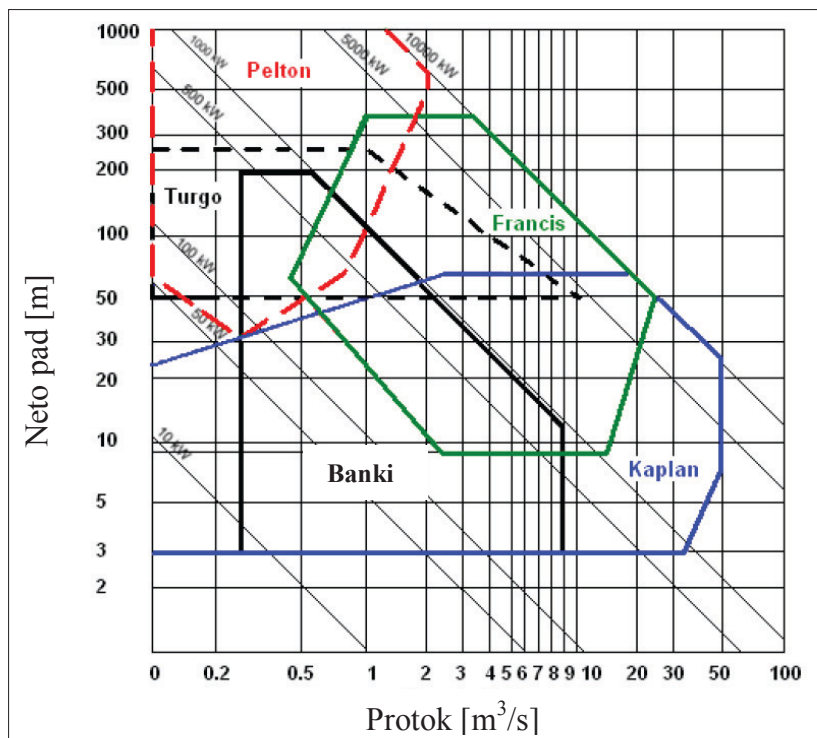
Uz pretpostavku da lokalni gubici energije u hidrauličkom sistemu čine 10% od gubitaka na trenje u cjevovodu, neto pad se može odrediti iz sljedećeg izraza:

$$H_n = H_b - 1.1 \cdot f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{2gA^2} = 137.85 \text{ m.} \quad (4)$$

Instalisana snaga elektrane će biti:

$$P_i = \eta \rho g H_n Q_i = 0.9 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 137.85 \cdot 0.05 = 60.85 \text{ kW.} \quad (5)$$

Može se usvojiti da je instalisana snaga elektrane $P_i = 60 \text{ kW}$. Na Sl. 4 je prikazan dijagram primjene raznih tipova vodnih turbina pogodnih za primjenu u malim hidroelektranama [7].



Slika 4. Oblast primjene pojedinih tipova malih vodnih turbina

Za dobijene vrijednosti neto pada i instalisanog protoka za mHE „Simov potok” sa dijagrama sa Sl. 4 bira se neka od turbina akcijskog tipa Pelton ili Turgo.

Proizvedena godišnja količina električne energije se može aproksimativno odrediti iz sljedećeg izraza:

$$E_{god} = P_i \cdot t_{rada} = 0.3 \text{ GWh/god}, \quad (6)$$

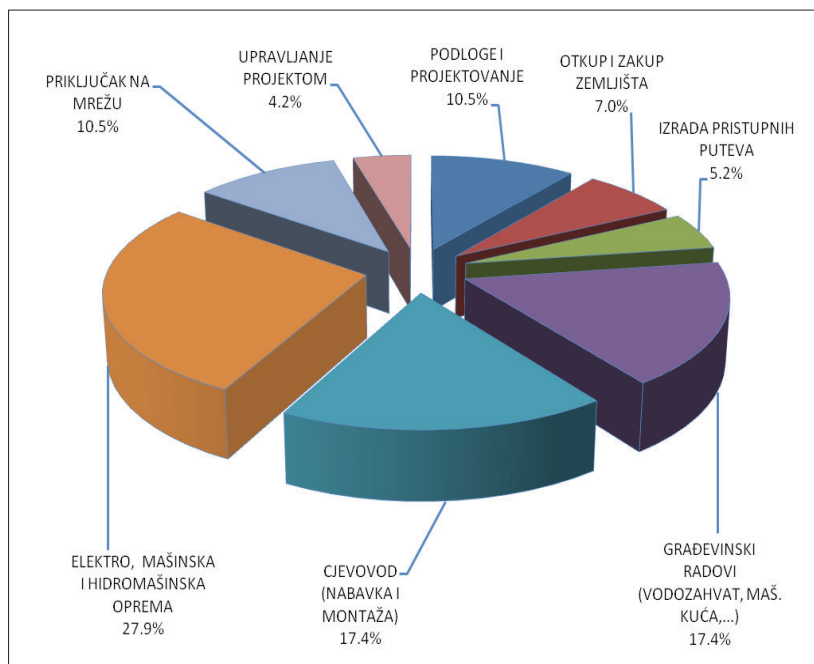
gdje je $t_{rada} = 5000 \text{ h}$ – pretpostavljeno godišnje vrijeme rada mikrohidroelektrane.

5. EKONOMSKI POKAZATELJI PROJEKTA

Otkupna cijena električne energije za dobijenu godišnju proizvodnju je 0.1044 €/kWh [8], odnosno planirana mikrohidroelektrana bi donosila prihod od 31.320,00 €/god. U Tabeli 1 je prikazan predmjer i predračun a na Sl. 5 je procentualno data struktura investicija predviđene mikrohidroelektrane po pojedinim cjelinama.

Tabela 1. Predmjer i predračun mikrohidroelektrane

Naziv:	Cijena (€)
Podloge i projektovanje	30.000
Otkup i zakup zemljišta	20.000
Izrada pristupnih puteva	15.000
Građevinski radovi (vodozahvat, mašinska kuća...)	50.000
Cjevovod (nabavka i montaža)	50.000
Elektro, mašinska i hidromašinska oprema	80.000
Priključak na mrežu	30.000
Upravljanje projektom	12.000
Ukupno:	287.000



Slika 5. Struktura investicija mHE

Nakon analize podataka iz predmjera i predračuna napravljenog za ovaj projekat dolazi se do relativno visokih specifičnih investicionih troškova po jedinici snage od 4.800 €/kW.

Imajući u vidu da će otkupna cijena električne energije iz obnovljivih izvora rasti, to će period povrata ove investicije biti od 8 do 9 godina, što ukazuje da je investicija u ovaj energetski objekat ekonomski opravdana. Kako na sjeveru Crne Gore ima puno sličnih mikrolokacija vodotoka pogodnih sa aspekta iskorišćenja hidropotencijala u svrhe proizvodnje električne energije, to izgradnja mikrohidroelektrana predstavlja veliku šansu za razvoj ovog regiona.

Kod postrojenja veće instalisane snage specifični investicioni troškovi po jedinici snage su manji tako da je i kraći period povrata uloženi sredstava.

6. ZAKLJUČAK

U radu je na primjeru malog vodotoka, na kojem do sada nijesu rađene nikakve hidrološke studije, pokazano kako je na osnovu procijenjene vrijednosti srednjeg protoka i izmjerenog bruto pada moguće dati preliminarnu preporuku za njegovo hidroenergetsko iskorišćenje izgradnjom mikrohidroelektrane. Odabrani su osnovni parametri elektrane, instalisani protok, neto pad i instalisana snaga i izvršena procjena moguće godišnje proizvodnje električne energije. Pokazano je da je izgradnja objekata mikrohidroelektrana ekonomski opravdana.

LITERATURA

- [1] ESHA (2004). Guide on how to develop a small hydropower plant. *European Small Hydropower Association, Brussels, Belgium.*
- [2] Hidrometeorološki zavod Crne Gore (2007). Hidrološka obrada za profile malih (mini, mikro) hidroelektrana (mHE) na pritokama glavnih vodotoka u Crnoj Gori. *HMZCG, Podgorica, Crna Gora.*
- [3] Ramos, H. (2000). Guidelines for design of small hydropower plants. *WREAN and DED, Belfast, North Ireland.*
- [4] Sekulić, G.; Čipranić, I. (2010). Primjena Tirolskih zahvata u sistemima malih hidroelektrana. *Internacionalni naučno-stručni skup GNP 2010. Žabljak, Crna Gora.*
- [5] Inversin, R. A. (1986). Micro-hydropower source book. *NRECA International foundation, Washington DC, USA.*
- [6] Grupa autora (1986). Zgradimo majhno hidroelektrarno. *Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije, Ljubljana, Slovenija.*
- [7] Magureanu, R. i dr. (2008). Optimal operation of Francis small hydro turbines with variable flow. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2008, Cambridge, UK.*
- [8] Vlada Crne Gore (2011). Uredba o tarifnom sistemu za utvrđivanje podsticajne cijene električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoefikasne kogeneracije. *Podgorica, Crna Gora.*

ASSESSMENT OF POSSIBILITY FOR HYDRO ENERGETIC UTILIZATION OF SMALL WATER STREAMS

Abstract: Small water streams are recently more and more interesting in terms of their hydro energetic utilization. The lower limit of installed power for which design of micro hydro power plants is feasible dropped to about 20 kW. Smaller rivers and streams generally have no hydrological studies that could be used for possible preparing of the hydro energetic analysis. In this paper on the example of small water streams, where have not been carried out any research by now, assessment of possibility for their hydro energetic utilization are given. Based on current measured value of discharge and surface drainage area an annual mean flow is assumed. Then, based on the installed discharge and gross head, hydro energetic utilization of small water streams is proposed. The type of turbines and pipe diameter are adopted, net head is calculated as well as installed capacity of micro hydro power plant and possible annual electricity production. Also, the economic feasibility of this kind of project is presented. It is shown that for the small water streams, without any reliable data, a preliminary assessment of their hydro energetic utilization can be provided that can serve as a reference and guide for further analysis.

Key words: *hydropotential, small water streams, micro hydro power plants, renewable energy sources*

