

Koncept hidroenergetskog potencijala rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec, Hrvatska

Bojan Đurin

Sveučilište Sjever, Odjel za graditeljstvo, Varaždin, Hrvatska, prof.dr.sc.,
bojan.durin@unin.hr

Anja Kutnjak

Nezavisni istraživač, mag. ing. aedif, anjaa.kutnjak@gmail.com

Sažetak: Svrha rada je procjena hidroenergetskog potencijala rijeke Bednje za izgradnju hidroelektrana koristeći turbine koje koriste potencijalnu energiju vode i one koje iskorištavaju kinetičku energiju vodotoka. Analizira se lokacija u blizini Lovrentovca, tj. konkretno kod mosta preko rijeke Bednje. Male hidroelektrane mogu uvelike doprinijeti razvoju ruralnih područja i time poboljšati kvalitetu života u takvim regijama. Na temelju poznatih podataka na promatranoj lokaciji i terenskih mjerenja, proračunava se izlazna snaga hidroelektrana, ovisno o tome radi li se o potencijalnoj energiji ili kinetičkoj energiji vodotoka. Rijeka Bednja je jedna od rijeka na kojoj je moguće izgraditi postrojenje koje bi moglo koristiti snagu vode za proizvodnju električne energije za obližnja naselja u Varaždinskoj županiji. Uz izmjerene podatke dobivene terenskim istraživanjem i korištenjem odgovarajućih mjernih uređaja, ovaj rad također sadrži podatke vezane uz susjedne hidrološke mjerne postaje Ključ i Tuhovec. Sa svim dobivenim podacima i izračunatim izlaznim snagama mogu se usporediti rezultati i na taj način može se procijeniti stvarni potencijal rijeke Bednje.

Ključne riječi: turbine, potencijalna energija, kinetička energija, okoliš, male hidroelektrane

Concept of hydropower potential of the Bednja River at the location Lovrentovec, Croatia

Abstract: The purpose of the paper is to assess the hydropower potential of the Bednja River for the construction of hydroelectric power plants using turbines that use the potential energy of water and those that exploit the kinetic energy of the watercourse. The location near Lovrentovec, specifically at the bridge over the Bednja River, is analyzed. Small hydropower plants can greatly contribute to the development of rural areas and thus improve the quality of life in such regions. Based on known data at the observed location and field measurements, the output power of hydroelectric power plants is calculated, depending on whether it is potential energy or kinetic energy of the watercourse. The Bednja River is one of the rivers on which it is possible to build a plant that could use the power of water to produce electricity for nearby settlements in Varaždin County. In addition to the measured data obtained through field research and the use of appropriate measuring devices, this paper also contains data related to the neighboring hydrological measuring stations Ključ and Tuhovec. With all the data obtained and the output power calculated, the results can be compared and thus the real potential of the Bednja River can be estimated.

Key words: turbines, potential energy, kinetic energy, environment, small hydropower plants

1. UVOD

U današnje vrijeme kada se čovječanstvo bori protiv klimatskih promjena koje utječu na cjelokupni živi svijet nezaobilazno je koristiti obnovljive izvore energije (OIE) kao što su primjerice energija Sunca, energija vjetra, energija vodotoka, geotermalna energija, energija biomase, energija valova te energija plime i oseke. Sva energija potječe uglavnom od Sunca te je ono neiscrpn i izvor energije. U ovom će se radu razmatrati energija vode, odnosno iskorištenje hidroenergije rijeka. Dobrobiti hidroelektrane su brojne. Prednosti koje uključuje su čista energija sa najmanjom količinom nastalog otpada (u odnosu na ostale obnovljive izvore energije) tijekom i poslije izgradnje, kao i tijekom korištenja. Voda koja se koristi je besplatna i nema troškova goriva. Ipak, hidroelektrane imaju neke nedostatke koji uključuju ovisnost o oborinama te moguću prijetnju ekosustavima na mjestu elektrane i duž toka rijeke [1]. Također, zakonska legislativa i pravilnici vezani uz projektiranje i gradnju svih hidroelektrana su složeni i zahtijevaju dugotrajni postupak ishoda. Prvo, nakon studijske dokumentacije koja sadrži hidrološki i energetski potencijal analizirane dokumentacije te nakon javnog izlaganja, potrebno je pribavljati suglasnosti za projektiranje i gradnju hidroelektrane od javnih, državnih i lokalnih pravnih i upravnih institucija, zatim očitovanja od nadležnih ministarstava te ući u postupak izrade projektnih dokumentacija, što su postupci koji mogu potrajati.

Hidroenergija je jedan od najvažnijih i najrasprostranjenijih izvora električne energije uopće. Mnoge razvijenije države svijeta uvelike koriste energiju vodotoka za dobivanje električne energije, dok s druge strane nerazvijene države su ipak u zaostatku pri iskorištavanju takvog tipa energije. Ponajprije, ruralna te raštrkana područja suočavaju se s velikim problemima što se tiče samog razvoja zbog manjka električne energije i time je upravo to danas jedan od najvažnijih problema koji je potrebno riješiti. Izgradnja hidroelektrana se danas bazira na lokacijama van velikih gradova i uglavnom prihvatljiva su područja u manjim naseljima gdje je krajnji cilj unaprijediti život stanovnika. Svakako, proces izgradnje bilo kakve vrste hidroelektrane je mukotrpan i vremenski dug period koji podrazumijeva izdašne financijske potrebe, no uglavnom vezane uz kapitalnu investiciju, kao i projektnu dokumentaciju.

Rijeka Bednja je jedna od vodotoka na kojima potencijal vodotoka nije dovoljno iskorišten. Velike hidroelektrane se na ovoj rijeci neće graditi, ali gradnja malih hidroelektrana je sasvim moguća. Male hidroelektrane su rješenje s najmanjim utjecajem na okoliš u odnosu na ostale obnovljive izvore energije, budući da drastično ne uzurpiraju vodotoke i time im je utjecaj na okoliš zanemariv. Na rijeci Bednji je u planu više takvih malih hidroelektrana, no poznato je da uz sve zakonske regulative taj postupak je postao zahtjevan za svakog investitora i danas je cilj olakšati taj postupak. Postojanje takvog tipa izvora energije omogućilo bi nastanak brojnih mogućnosti na širem području, od sportskih aktivnosti pa nadalje, naravno uz odgovarajuću zaštitu okoliša. Zaštita od poplava i regulacija samog toka bile bi nezaobilazni segment u takvome projektu. Rijeka Bednja još nije u potpunosti hidrološki istražena tako da je i cilj ovog rada pridonijeti u istraživanju same rijeke. Mjerenja su provedena za lokaciju kod Lovrentovca (slika 1) te su u daljnjem tekstu prikazana i analizirana.

Đurin, B., Kutnjak, A.

Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec, Hrvatska



Slika 1. Most na rijeci Bednji u Lovrentovcu [2]

Svrha rada je proračunati snagu turbina, što je podloga za procjenu proizvodnje električne energije, čime se definira hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na analiziranoj lokaciji. Izračun snaga provodi se prema određenim izrazima, koji su navedeni u radu u nastavku. Potrebno je naglasiti da je ovaj rad iz područja teme obranjenog diplomskog rada koautorice Anje Kutnjak.

2. POTENCIJALNE I KINETIČKE HIDROELEKTRANE

Turbine koje koriste potencijalnu energiju vode jedna su od mogućnosti koje se koriste kod gradnje hidroelektrana. Potencijalna energija povezana je s položajem u prostoru, odnosno ovisi o padu i o protoku. S druge pak strane, kinetičke hidroelektrane koriste kinetičku energiju vode, energiju kretanja vode. Kretanje vode obuhvaća brzinu te površinu kroz koju se voda kreće. Kod korištenja potencijalne energije, izlazna (efektivna) snaga na izlazu iz hidroelektrane prema izrazu glasi:

$$P_{izl} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{tot} \quad (1)$$

gdje je:

P_{izl} izlazna snaga iz hidroelektrane [W], ρ gustoća vode [kg/m^3], g ubrzanje sile teže [m/s^2], Q protok [m^3/s], H ostvareni pad (neto visina) [m], η_{tot} ukupna učinkovitost hidroelektrane.

Za izlaznu (efektivnu) snagu iz hidroelektrane ako se koristi kinetička energija izraz je sljedeći:

$$P_{izl} = \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta_{tot} \quad (2)$$

gdje je: A – ulazna površina [m^2], v brzina [m/s].

Đurin, B., Kutnjak, A.

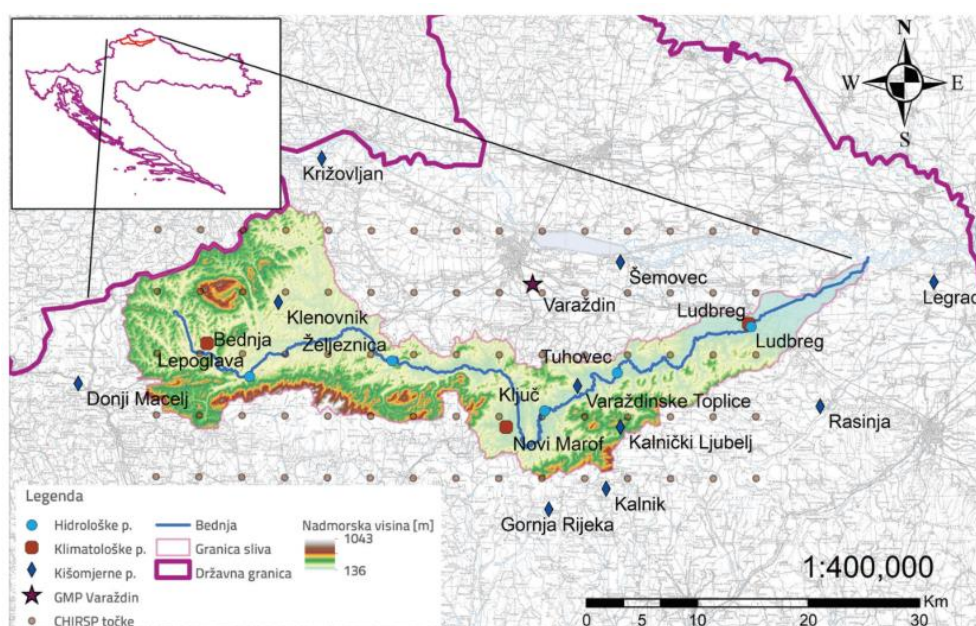
Hydroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec, Hrvatska

Male hidroelektrane (MHE) mogu se projektirati na mali pad s malim gradijentom ili na veliki pad s velikim gradijentom. Svaka MHE iskorištava snagu riječnog toka uz mogućnost postojanja manje akumulacije, a može i bez akumulacije vode. Rad MHE je moguć samo kod prisustva dovoljne količine vode, odnosno određenog protoka u koritu, a u suprotnome rad prestaje. U Republici Hrvatskoj postoji manjak obnovljivih (fossilnih) izvora energije te taj podatak direktno upućuje na važnost zahtijevanja iskorištavanja prirodnih izvora energije, odnosno nužno ulaganje u razvoj i gradnju hidroelektrana. Svaki investitor kod takvog tipa ulaganja mora sagledati sve aspekte, ponajprije tehničko-ekonomsku analizu isplativosti projekta.

3. ANALIZA LOKACIJE

3.1. Rijeka Bednja

Mjerenja za potrebe izrade ovog rada provedena su u naselju Lovrentovec u blizini grada Varaždinske Toplice u Varaždinskoj županiji, na rijeci Bednji. Rijeka Bednja izvire u mjestu Bednjica, kod Trakošćana u Maceljskom gorju kao dio Hrvatskog zagorja. Ova rijeka se podrazumijeva najduljom rijekom koja ima i svoj izvor i svoje ušće u Republici Hrvatskoj (slika 2). Vodotok rijeke proteže se 133 km te spada u desni pritok rijeke Drave. Od ukupno četiri rijeke Hrvatskog zagorja jedino se rijeka Bednja ulijeva u Dravu. Rijeka Bednja teče kroz naselja Bednja, Lepoglava, Ivanec, Beletinec, Novi Marof, Varaždinske Toplice, Ludbreg i ulijeva se kod Malog Bukovca u Dravu [3].



Slika 2. Sliv rijeke Bednje [4]

Površina porječja rijeke Bednje iznosi 596 km², a smjer rijeke je od zapada prema istoku te joj je i porječje izduženo u tom istom smjeru. U porječju Bednje ističu se tri reljefne cjeline: aluvijalna ravan, tercijarno gorje i paleozojske gore. Početni tok rijeke Bednje obuhvaća brežuljkasti dio uz Ivanšćicu i Kalnik, a u naselju Slanje ulazi u podravsku nizinu [5]. Podrazumijeva se da je rijeka Bednja prije regulacija bila uža nego što je to danas te puno dublja na određenim lokacijama gdje više to nije slučaj. U prošlosti je bilo poznato da su se često događale poplave upravo zbog ove rijeke na tom području [3].

Đurin, B., Kutnjak, A.

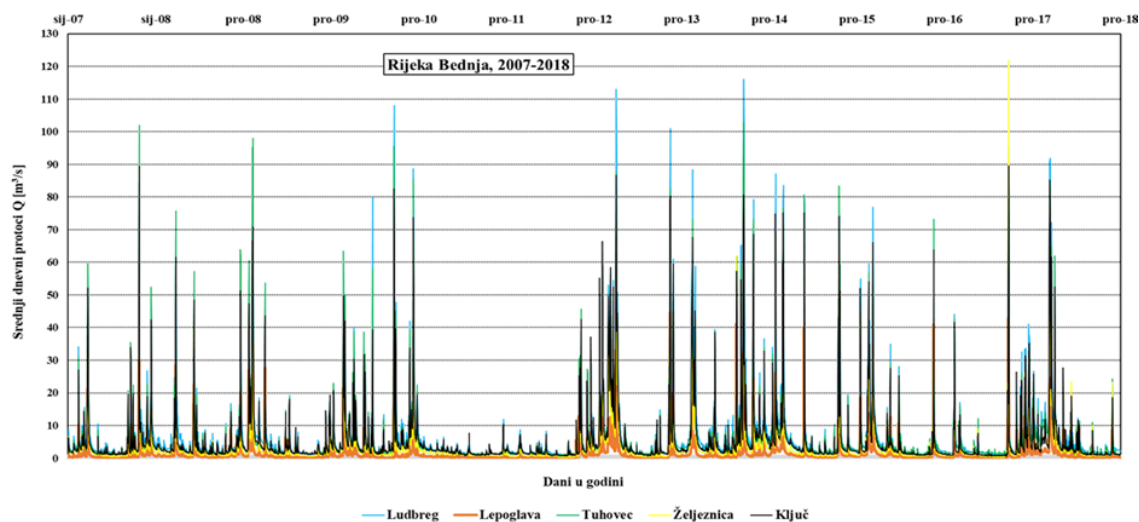
Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec, Hrvatska

Danas se na slivu Bednje nalazi ukupno pet mjernih hidroloških postaja, a to su Lepoglava, Ključ, Željeznica, Ludbreg i Tuhovec. Osnovni statistički pokazatelji dnevnih protoka na vodomjernim postajama na rijeci Bednji u razdoblju od 2000. pa do 2018. godine prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Prikaz statističkih pokazatelja srednjih protoka na vodomjernim postajama na rijeci Bednji u razdoblju od 2000. do 2018. godine [4]

Vod. postaje/ Pokazatelji	Broj podataka	Ar. Sred.	St. Devijacija	Min.	25%	50%	75%	Maks.
Lepoglava	6940	1,21	2,70	0,03	0,24	0,50	1,07	44,7
Željeznica	6940	3,30	6,38	0,21	0,80	1,44	2,91	123,0
Ključ	6435	4,91	8,86	0,33	1,33	2,21	4,20	90,2
Tuhovec	6549	5,08	9,19	0,55	1,51	2,31	4,35	103,0
Ludbreg	6940	6,10	10,09	0,43	1,90	2,95	5,68	116,0

Prema hidrološkim istraživanjima koja su izvršena, rijeka Bednja je izrazito bujični vodotok, a protok time direktno ovisi o količini padalina, ali i o otapanju snijega na izvorišnom dijelu u zimskim razdobljima [6]. Najveći protoci se javljaju u proljeće (ožujak i travanj) kad se uz oborine u obliku kiše topi snijeg [7]. Česta su pojava i olujni pljuskovi koji se najčešće javljaju u kolovozu i rujnu. Olujni pljuskovi uzrokuju iznimno nagli porast protoka, kao i dugotrajne i obilne kiše u jesenskom dijelu godine, rujnu i listopadu. Analizom protoka na hidrološkim postajama na rijeci Bednji za razdoblje 2000. - 2018. utvrđen je najmanji protok od 0,032 m³/s izmjeren je 8. kolovoza 2000. na najuzvodnijoj postaji Lepoglava, a najveći protok od 123 m³/s izmjeren je 20. rujna 2017. na postaji Željeznica [4]. Na slici 3. nalazi se hidrogram rijeke Bednje od 2007. do 2018. godine.

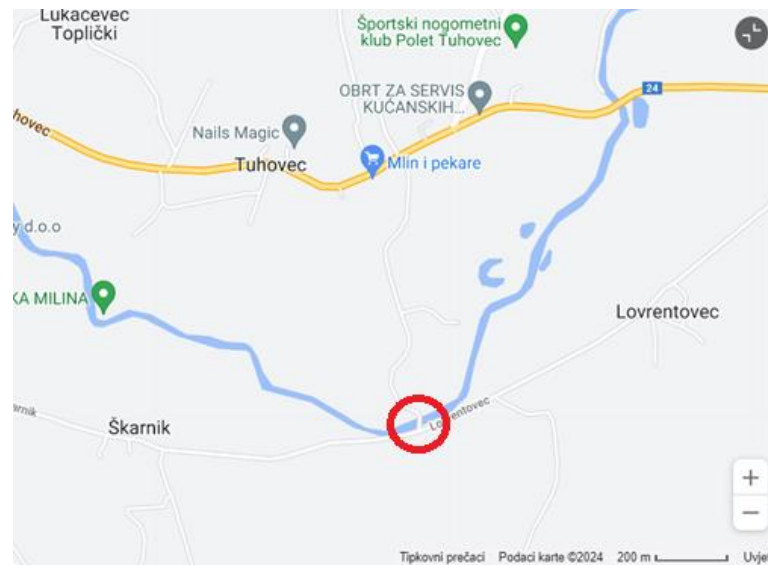


Slika 3. Hidrogram rijeke Bednje od 2007. do 2018. godine [8]

Na slici 4. je crvenim kružićem označena točna lokacija izvršenih mjerenja.

Đurin, B., Kutnjak, A.

Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec, Hrvatska



Slika 4. Lovrentovec [9]

Na slikama 5. i 6. vidljivi su mjerni profili na kojima su provedena mjerenja dana 6. lipnja 2024. godine te 20. lipnja 2024. godine.



Slika 5. Lokacija mjerenja - profil 1 [10]

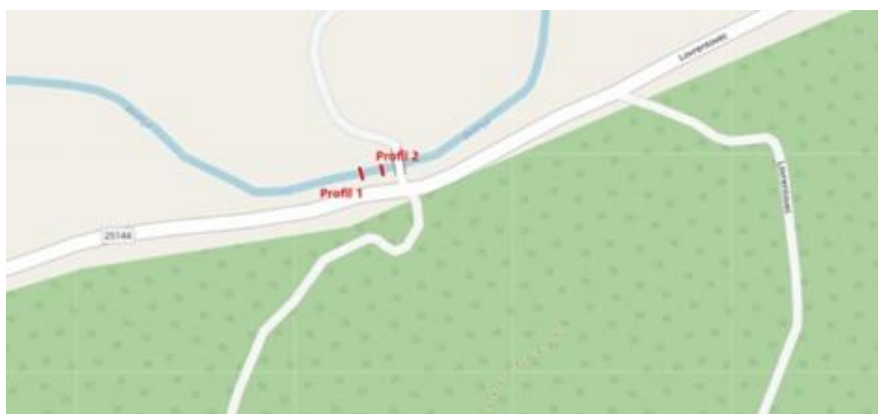
Đurin, B., Kutnjak, A.
 Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec, Hrvatska



Slika 6. Lokacija mjerenja - profil 2 [10]

4. DOBIVENI REZULTATI

Mjerenja su provedena na dva različita profila pod rednim brojem 1 i 2 dana 6.6.2024., dok su također dana 20.6.2024. provedena mjerenja na istim lokacijama ponovno. Na slici 7. prikazani je položaj mjerenih profila (crveno označeno). Profil 1 nalazi se uzvodno, a profil pod brojem 2 nalazi se neposredno uz sam most.



Slika 7. Prikaz položaja mjernih profila 1 i 2 [9]

Tablice 2-5 prikazuju dobivene rezultate korištenjem izraza (2). Uvid u kompletni (detaljni) postupak proračuna je u radovima autorice Kutnjak [10,11].

Tablica 2. Ulazni podaci i dobivene snage kinetičkih turbina za profil 1, datum 6.06.2024.

PROFIL 1 – 6.6.2024.							
Širine (m)	0,5m	1m	1,5m	2m	2,5m	3m	4m
Brzine (m/s)	0,470	0,457	0,452	0,451	0,438	0,418	0,389
Površine (m ²)	0,68	1,41	2,04	2,99	4,18	5,41	7,74
Snaga (W)	11	20	28	41	53	59	68

Tablica 3. Ulazni podaci i dobivene snage kinetičkih turbina za profil 2, datum 6.06.2024.

PROFIL 2 – 6.6.2024.					
Širine (m)	0,5m	1m	1,5m	2m	2,5m
Brzine (m/s)	0,548	0,534	0,524	0,485	0,442
Površine (m ²)	0,74	1,38	2,04	2,68	3,76
Snaga (W)	18	31	44	46	49

Tablica 4. Ulazni podaci i dobivene snage kinetičkih turbina za profil 1, datum 20.06.2024.

PROFIL 1 – 20.6.2024.								
Širine (m)	0,5m	1m	1,5m	2m	2,5m	3m	4m	5m
Brzine (m/s)	0,349	0,339	0,341	0,342	0,341	0,336	0,315	0,305
Površine (m ²)	0,51	1,03	1,56	2,08	3,08	4,43	6,28	7,18
Snaga (W)	3	6	9	13	18	25	29	31

Tablica 5. Ulazni podaci i dobivene snage kinetičkih turbina za profil 2, datum 20.06.2024.

PROFIL 2 – 20.6.2024.							
Širine (m)	0,5m	1m	1,5m	2m	2,5m	3m	3,5m
Brzine (m/s)	0,377	0,364	0,351	0,333	0,317	0,298	0,276
Površine (m ²)	0,8	1,56	2,26	2,88	4	4,44	5,48
Snaga (W)	6	11	15	16	19	18	17

Kod proračuna snage hidroelektrane, gdje se koristi potencijalna energija vode, za izračun su potrebni podaci prema formuli (1). Za razliku od turbina koje koriste kinetičku energiju vode gdje se za učinkovitost turbine uzima 30%, kod turbina koje koriste potencijalnu energiju vode učinkovitost turbine uzima se 80% [12].

Đurin, B., Kutnjak, A.

Hydroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec, Hrvatska

U tablici 6. nalaze se svi podaci koji su potrebni za proračun snage. Za svaki od profila vrijednosti protoka se razlikuju. Kod profila 1 vrijednost protoka iznosi 3,18 m³/s na dan 6.6.2024., za profil 2 vrijednost protoka je 3 m³/s istog dana, a 20.6.2024. za profil 1 vrijednost protoka je 1,75 m³/s, dok je za profil 2 izmjeren protok od 1,77 m³/s tog dana 20.6.2024. Uzimajući u obzir da je profil 1 mjeran uzvodno, a profil 2 mjeran kod mosta uviđaju su određene razlike u izmjerenim vrijednostima protoka. Profili su izmjereni početkom lipnja, te krajem lipnja 2024. godine. Razlike koje se uviđaju u vrijednostima protoka upućuju da je početkom lipnja bio povećan dotok vode, što je zapravo i bilo za očekivati jer je u prethodnom razdoblju zabilježena veća količina padalina na širem području. Snaga je izračunata ovisno o ostvarenom padu, koji je promjenjiva veličina podložna promjenama.

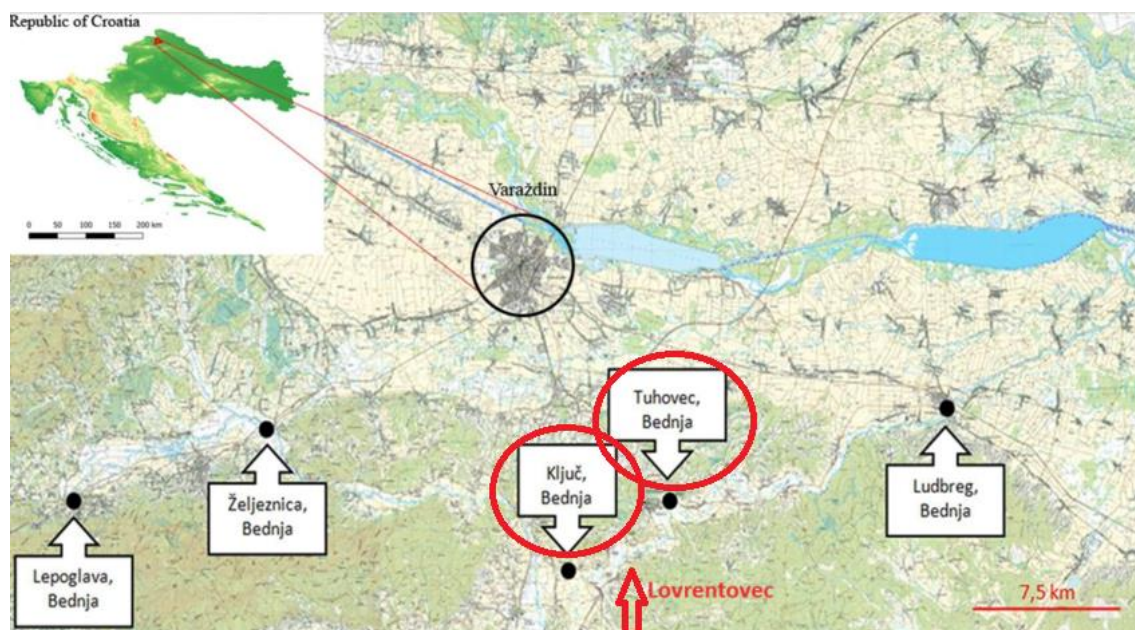
Tablica 6. Izračunate snage potencijalnih hidroelektrana za profile 1 i 2

Profil	Protok (m ³ /s)	Gustoća (kg/m ³)	Ubrzanje sile teže (m/s ²)	Neto pad (m)	Učinkovitost (%)	P(W)
1 - 6.6.2024.	3,18	1000	9,81	0,5	0,8	12470
				0,75		18706
				1		24941
				1,25		31176
				1,5		37411
				1,75		43647
				2		49882
2 - 6.6.2024.	3,00	1000	9,81	0,5	0,8	11760
				0,75		17640
				1		23520
				1,25		29401
				1,5		35281
				1,75		41161
				2		47041
1 - 20.6.2024.	1,75	1000	9,81	0,5	0,8	6875
				0,75		10312
				1		13750
				1,25		17187
				1,5		20625
				1,75		24062
				2		27499
2 - 20.6.2024.	1,77	1000	9,81	0,5	0,8	6934
				0,75		10401
				1		13867
				1,25		17334
				1,5		20801
				1,75		24268
				2		27735

Lokacija na kojoj su izvršena mjerenja u Lovrentovcu nalazi se između hidroloških postaja Ključ i Tuhovec. Lovrentovec se nalazi nizvodno od hidrološke postaje Ključ, a uzvodno od postaje Tuhovec (slika 8.).

Đurin, B., Kutnjak, A.

Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec, Hrvatska



Slika 8. Prikaz hidroloških postaja Ključ i Tuhovec [3]

Prema podacima na stranici Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a), prema razdoblju od 2014. pa do 2023. iščitane su vrijednosti maksimalnih i minimalnih protoka na hidrološkim postajama Ključ i Tuhovec izmjerenih za svaku godinu u promatranom razdoblju, kao što je prikazano u tablici 7.

Tablica 7. Vrijednosti maksimalnih i minimalnih srednjih dnevnih protoka na postajama Ključ i Tuhovec kroz razdoblje od 2014.-2023. godine [8]

Godina	KLJUČ		TUHOVEC	
	Qmax (m ³ /s)	Qmin (m ³ /s)	Qmax (m ³ /s)	Qmin (m ³ /s)
2014	80,62	1,40	123,6	1,70
2015	77,75	1,14	84,38	1,63
2016	71,88	0,81	75,69	0,92
2017	95,87	0,88	101,5	1,23
2018	81,98	0,78	86,77	0,92
2019	78,15	1,11	85,63	0,97
2020	46,23	1,56	43,89	1,84
2021	63,82	0,91	66,55	1,16
2022	43,97	0,50	50,64	0,16
2023	85,65	1,11	112,5	1,09
Prosjeck:	72,59	1,02	83,12	1,16

Nadalje, dobivenom prosječnom vrijednošću za maksimalni protok kroz određeno razdoblje te prosječnom vrijednošću za minimalni protok za određeno razdoblje moguće je krenuti u izračun snage ovisno o maksimalnom i minimalnom protoku rijeke Bednje kroz hidrološke postaje Ključ i Tuhovec. Za hidrološku postaju Ključ vrijednost prosječnog maksimalnog dnevnog protoka kroz određeno razdoblje iznosi 72,59 m³/s, dok je vrijednost prosječnog minimalnog dnevnog protoka 1,02 m³/s. S druge strane, za hidrološku postaju Tuhovec vrijednost prosječnog maksimalnog dnevnog protoka iznosi 83,12 m³/s, a za prosječni

Đurin, B., Kutnjak, A.

Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec, Hrvatska

minimalni dnevni protok vrijednost protoka je 1,16 m³/s. Vrijednosti maksimalnog i minimalnog dnevnog protoka kod postaje Ključ su manje naspram vrijednosti istih protoka za postaju Tuhovec. Snaga je izračunata prema izrazu (1) za svaku postaju zasebno, a dobiveni rezultati prikazani su u tablici 8.

Tablica 8. Izračunate snage potencijalnih hidroelektrana za postaje Ključ i Tuhovec.

Postaja	Protok (m ³ /s)	Gustoća (kg/m ³)	Ubrzanje sile teže (m/s ²)	Neto pad (m)	Učinkovitost (%)	P(W)
Postaja Ključ/Q _{max}	72,59	1000	9,81	0,5	0,8	284851
				0,75		427277
				1		569702
				1,25		712128
				1,5		854553
				1,75		996979
				2		1139404
Postaja Ključ/Q _{min}	1,02	1000	9,81	0,5	0,8	4000
				0,75		6000
				1		8000
				1,25		10000
				1,5		12000
				1,75		14000
				2		16001
Postaja Tuhovec/Q _{max}	83,12	1000	9,81	0,5	0,8	326143
				0,75		489215
				1		652287
				1,25		815358
				1,5		978430
				1,75		1141501
				2		1304573
Postaja Tuhovec/Q _{min}	1,16	1000	9,81	0,5	0,8	4556
				0,75		6834
				1		9112
				1,25		11389
				1,5		13667
				1,75		15945
				2		18223

Za promatranu lokaciju utvrđene su snage za svaku pojedinu turbinu, odnosno turbinu koja koristi kinetičku energiju vode i onu koja koristi potencijalnu energiju vode. Utvrđeno je da su snage za turbinu koja koristi potencijalnu energiju vode dosta veće naspram turbina koje bi koristile kinetičku energiju vode. Dobivene vrijednosti kod snage MHE koja koristi potencijalnu energiju vode veće su za više od 100% naspram vrijednosti koje su dobivene kod turbina koje koriste kinetičku energiju vode.

Isto tako, ako se usporede rezultati, vidljivo je da se, kod turbina koje koriste kinetičku energiju vode, brzine smanjuju kako se širina između lamela povećava, a s time ulazne površine se konstantno povećavaju te raste i sama snaga kinetičke turbine.

Prema rezultatima, kod turbina koje koriste potencijalnu energiju vode, odnosno dobivenim vrijednostima snage vidljivo je da se povećanjem ostvarenog pada povećava i sama vrijednost

snage. Naime, što je veći protok to će biti i veća snaga. Najveće vrijednosti snage dobivene su kod profila 1 zato jer je i kod profila 1 najveći izmjereni protok na dan 6.6.2024. godine. Potom, najveće vrijednosti snage na temelju srednjih dnevnih maksimalnih i minimalnih protoka (vrijednosti preuzete sa stranica DHMZ-a) dobivene su kod hidrološke postaje Tuhovec za maksimalni protok na toj lokaciji. Isto tako, ako se usporede rezultati vidljivo je da su i vrijednosti snage za minimalni protok veće na lokaciji u Tuhovcu nego kod Ključa. Raspon snage za potencijalne turbine leži u veličini odabranog pada, odnosno visine pregrade, koji se kreće u rasponu od 0,5 m pa do 2 m, što je zapravo i promjenjiva veličina koja se može regulirati, ovisno o raspoloživom kapacitetu vodotoka, odnosno raspoloživoj visini, tako da se izbjegnu prelijevanja vode. Na vrijednosti snage kod turbina koje koriste potencijalnu energiju vode ulogu igra i veličina protoka. Potrebno je uzeti u obzir i da povećanje visine pregrade povećava i opterećenje na zapornicu, s obzirom na hidrostatski i hidrodinamički tlak vode.

Kod turbina koje koriste kinetičku energiju vode, logično, vrijednosti ovise o samoj brzini vode na različitim dijelovima vodotoka. Za izračun snage kod kinetičkih turbina korištene su srednje brzine vode što direktno utječe na same rezultate. Vidljivo je i da su brzine najveće na sredini poprečnog presjeka korita vodotoka, dok brzine padaju kako se kreće prema rubu korita sa svake strane obale. Kod kinetičkih turbina, odnosno izračuna snage vidljivo je da povećanjem ulazne površine povećava se i sama snaga turbine. Proračunate snage hidroelektrana koje koriste kinetičku energiju vode dobivene su za niski vodostaj, odnosno male protoke u odnosu na cijelu godinu, budući da su mjerenja rađena u sušnom periodu godine. Za očekivati je da se sa povećanjem protoka povećavaju i srednje brzine tečenja vode, što uz povećanje ulazne brzine, povećava snagu takvih turbina. Ovakav proračun zahtijeva i mjerenja protoka i brzina u periodu godine sa većim protocima (kišni periodi), uz određivanje složenih veza između protoka i brzine, kao i površine poprečnih presjeka, što izlazi izvan okvira tj. svrhe i namjene ovog rada.

5. ZAKLJUČAK

Ovim radom cilj je bio ustanoviti hidroenergetski potencijal rijeke Bednje u naselju Lovrentovec za gradnju turbina koje koriste kinetičku ili potencijalnu energiju vode. Rezultati pokazuju da bi postojanje male hidroelektrane na ovom području bio moguć. Iako su vrijednosti na strani turbina koje koriste potencijalnu energiju vode poznato je da su te iste turbine skuplje kod izgradnje, odnosno očekuju se veća početna ulaganja u takvo postrojenje. Turbine koje koriste potencijalnu energiju vode iako s velikim ulagačkim resursima kasnije ne zahtijevaju puno održavanja i dodatnih troškova. S druge strane, kod turbina koje koriste kinetičku energiju vode izračunata je manja snaga, no prednost ovakve gradnje leži u manjim početnim ulaganjima s konstantnim održavanjima. Međutim, takva postrojenja je puno lakše staviti u pogon i konstantno kontrolirati njihov rad.

Dobivenim rezultatima za turbine koje koriste kinetičku energiju vode vidljivo je da je brzina vodotoka promjenjiva i ovisi o protoku, odnosno količini padalina u širem području oko rijeke Bednje te su time i rezultati, koji su dobiveni u dva navrata, jedan početkom lipnja, drugi krajem lipnja 2024. godine, različiti. Na hidrološkim postajama u Tuhovcu i Ključu dobivene su vrijednosti prosječnih veličina za maksimalni i minimalni srednji dnevni protok koji je potreban za izračun snage kod turbina koje koriste potencijalnu energiju vode. Pošto je lokacija u Lovrentovcu na pola puta između Ključa i Tuhovca, rezultati se podudaraju s tezom da bi kod Lovrentovca vrijednosti snage za turbine koje koriste potencijalnu energiju vode trebale biti veće nego u Ključu te manje od vrijednosti snage na hidrološkoj postaji Tuhovec.

U svakom slučaju, u vrijeme kad su izražene posljedice klimatskih promjenama na svim aspektima života ulaganje u obnovljive izvore energije postaje jedno od najvažnijih tema današnjice. Iako postoji pad u izgradnji većih hidroelektrana, ovdje nastupa mjesto malim hidroelektranama koje se mogu graditi na različitim lokacijama i mogu služiti kao svakako bolje

i manje štetno rješenje naspram većih hidroelektrana. Zbog svojih brojnih prednosti male hidroelektrane pružaju mogućnost za što čišći okoliš i jeftiniju energiju. Svaka mala hidroelektrana može pomoći u zaštiti od poplava i ne postoji zahtjev za velikom potrebnom površinom. Mogućnosti za pronalazak lokacije za gradnju malih hidroelektrana su u sve većem porastu, no čovječanstvo se treba puno više uključiti u takve projekte, a ponajprije ključ leži u edukaciji o takvim vrstama postrojenja, njihovim mogućnostima, prednostima, manama i boljitku kojim mogu pridonijeti okolišu.

Hidroelektrane koje koriste kinetičku energiju vode u pravilu imaju manji utjecaj na vodotok i ekosustav u odnosu na hidroelektrane koje koriste potencijalnu energiju vode. Činjenice da kinetičke turbine ne zahtijevaju podizanje razine vode putem pregrada, kao i jednostavnija konstrukcija građevine te manji prostor uzurpiranja vodotoka u odnosu na potencijalne hidroelektrane, podrazumijevaju manji utjecaj na okoliš.

Jedan od pristupa iskorištavanja hidroenergetskog potencijala rijeke Bednje uključuje kombinaciju malih hidroelektrana i solarnih fotonaponskih sistema, koji mogu osigurati stabilnu proizvodnju energije tokom dužeg vremenskog perioda, a smanjujući ovisnost o hidrološkim prilikama i povećavajući energetske učinkovitost. Za ovu lokaciju planira se nastaviti upravo ovakvo istraživanje komplementarnosti hidro energije i energije solarnih fotonaponskih panela, koje je već inicirano također na rijeci Bednji [13].

LITERATURA

1. Đurin, B.: Vodni sustavi, Materijali za nastavu iz kolegija Vodni sustavi, Sveučilište Sjever, Odjel za graditeljstvo, Varaždin, 2024.
2. Varaždinska županija: Obnovljeni drveni most u Lovrentovcu, <https://www.varazdinska-zupanija.hr/vijesti/u-naselju-lovrentovec-u-varazdinskim-toplicama-obnovljen-drveni-most-ostecen-u-potresu-ukupne-vrijednosti-422-tisuće-eura.html>, datum pristupa 8.4.2024.
3. Petrić, H.: O nekim naseljima u porječju rijeke Bednje tijekom srednjeg i početkom ranog novog vijeka, Povijesne teme, izvorni znanstveni rad, Koprivnica – Zagreb, 2007., <https://hrcak.srce.hr/file/104278>, datum pristupa 24.4.2024.
4. Leskova K., Mrakužić P., Meaški H.: Evaluacija daljinski opaženog produkta oborina u hidrološkom modelu sliva Bednje, Građevinar, 2021, <https://hrcak.srce.hr/file/374256>, datum pristupa 24.4.2024.
5. Crkvenčić, I.: Bednja, Enciklopedija Jugoslavije, sv. 1 (A-Biz), str. 539., Zagreb, 1980.
6. Paladin M., Vidaković Šutić R., Vrcelj B., Ričković V.: Izrada karata opasnosti i izračun šteta na slivu rijeke Bednje, Hrvatske vode na investicijskom valu, Hrvatske vode, Opatija, 2015.
7. Zaninović K., Gajić-Čapka M., Perčec Tadić M., Vučetić M., Milković J., Bajić A., Cindrić K., Cvitan L.: Klimatski atlas Hrvatske: 1961.-1990.; 1971.-2000., Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 2008.
8. Državni hidrometeorološki zavod: Protoci rijeke Bednje, 2024.
9. Google Earth, <https://earth.google.com/web/@46.63087021,16.10409829,-18755.36477931a,57867.49822956d,90y,-29.65585134h,71.14831549t,0r/data=OgMKATA>, datum pristupa 27.7.2024.
10. Kutnjak, A.: Vlastita zbirka fotografija snimljenih na terenu u Lovrentovcu, Varaždin, 2024.
11. Kutnjak, A.: Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec, Diplomski rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2024.
12. Kos, Ž., Đurin, B., Dogančić, D., Kranjčić, N.: Hydro-Energy Suitability of Rivers Regarding Their Hydrological and Hydrogeological Characteristics, Water, 13, 1777, 2021.

Đurin, B., Kutnjak, A.

Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec, Hrvatska

13. Đurin, B., Kranjčić, N., Muhar, A.: Smart Hydro-Energy Hybrid System Potential in Croatia-Bednja River Case Study, Electronic journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek - e-GFOS, 20, pp. 39-50, 2020.