



MODELOVANJE MALE HIDROELEKTRANE NA BRANI KOD NOVOG BEČEJA

MODELING SMALL HYDRO POWER PLANT AT THE NOVI BEČEJ DAM

Andor Rajšli, Vladimir Katić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Osnovni cilj ovog rada je predstavljanje potencijala izgradnje male hidroelektrane (ME) kod Novog Bečaja. Pažnja je usmerena na teorijsku mogućnost, na analizu osnovnih merenja i na poređenje sa drugim rezultatima.

Ključne reči: Mala HE, Obnovljivi izvori, Brana

Abstract – The main goal of this paper is to present the potential for the construction of a small hydroelectric power plant near Novi Bečej. Attention is focused on the theoretical possibilities, on the basis of the measurement and finally, the comparison with other results.

Keywords: Small hydropower, Renewable sources, Dam

1. UVOD

Ovaj rad će dati uvid u pretvaranje energije vode u električnu energiju. Da bi se potencijal energije vode mogao iskoristiti potrebne su hidroelektrane. Zahvaljujući geografskim osobinama, Srbija ima dobre mogućnosti za izgradnju hidroelektrana u državi. Ukupna prosečna snaga svih srpskih vodotoka je 31.000 GWh, i većina potencijala je iskorišćena pomoću većih kapaciteta generatora, a ostali su iskorišćeni pomoću više malih, ali skupljih generatora. Za izgradnju malih proizvodnih prostora u Južnoj Srbiji najpovoljnija mesta su Užički, Niški i Kragujevački region, a u Vojvodini to su mesta pored reka Dunava i Tise. U Srbiji je realizovano 31 mini hidroelektrana ukupne snage 34.5 MW [1].

Prednosti malih hidroelektrana su u tome da su veoma pouzdane i elastične u radu. Imaju veoma dug period eksploatacije, građevinski objekti izdržavaju do 100 godina, uz minimalno održavanje. Električne komponente koji se ugrađuju u male HE se retko kvare, i lako se zamenjuju. Mali hidro sistemi mogu da rade bez prisustva ljudi i kontrola može da se vrši daljinskim komandama. Mane malih HE leže u tome što imaju značajan uticaj na ekologiju mesta gde se grade. Sa branom imaju dodatni uticaj na ribnu populaciju, može prezasiti vodu gasovima iz vazduha, čak uticati i na njihovo uginuće [8]. Sredinom Vojvodine teče najvažnija reka regiona, reka Tisa. Na levoj strani obale reke se nalazi grad Novi Bečej kome pripada brana, koji je izgrađena 1977. godine. Brana ima sedam prelivnih polja i brodsku prevodnicu za brodove do 1000 tona nosivosti. Branom se pregrađuje korito Tise za veliku vodu u dužini od 520m. Na stubovima brane projektovan je drumski most, kao saobraćajna veza između Banata i Bačke [2].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor bio dr Vladimir Katić, red.prof.

Ovaj rad ima za cilj da prezentuje i objasni potencijal proizvodnje električne energije na Tisi, kod Novog Bečaja. Pored prikaza rezultata merenja o vodostaju, protoku vode i proračuna snaga elektrane, napisan je i idealni izbor turbine kojom je vršeno pretvaranje energije vode u električnu energiju.

2. OPŠTE O HIDROELEKTRANAMA

Da bi se izvršila podela hidroelektrana (HE), bitne su sledeće karakteristike: snaga, visina pada vode i način korišćenja vode. Među hidroelektranama nema saglasno definisane oblasti za velike i male elektrane, ali granicase razlikuje u raznim državama: u Italiji iznosi 3 MW, u Francuskoj 8MW, u Britaniji 5 MW, u SAD 1÷30 MW, u Kini 0.5÷25 MW, a u Indiji 1÷15 MW. Na osnovu visine pada brane se dele u tri kategorije: sa niskim, sa srednjim i sa velikim padom [3]. Za niski pad tipični primeri su u dolinama reka, u grupi sa srednjim padom (30-100 metara) često se grade brane u kombinaciji sa rezervoarom i kanalom kojim se voda dovodi do turbine. Elektrane sa velikim padom grade se uglavnom u brdskim predelima. Prema načinu korišćenja vode razlikuju se: protočne, akumulacione i reverzibilne HE. Protočne hidroelektrane se stavljaju na isti nivo kao nivo na kojem voda teče. Kinetička energija vode direktno se koristi da se pokrene turbina. Akumulacione HE koriste potencijalnu energiju akumulacionog jezera, a reverzibilne HE predstavljaju specifičnu vrstu elektrana, zato što se dobijena voda, koja teče kroz turbine, nakon iskorišćenja, iz donjeg bazena ponovo pumpa u gornji bazen (akumulaciono jezero). Poznata elektrana ovakvog tipa u Srbiji je Bajina Bašta [4].

2.1. Osnovi delovi sistema hidroelektrane

Da bi se pretvorila energija vode u električnu potrebno je računati da su neki delovi elektrane u direktnom dodiru sa vodom, odnosno služe za njeno dovođenje, prikupljanje ili odvođenje. Zbog lakše organizacije komponente možemo podeliti u tri grupe: građevinske-, električne i mašinske komponente. Pod građevinske komponente spadaju brana, mašinska zgrada i cevovodi. Brana je hidrotehnička građevina koja pregrađuje vodotok ili drugu vodenu masu radi zadržavanja nivoa vode na željenoj visini. Mašinska zgrada, u širem smislu je skup građevina i opreme koja se koristi za pretvaranje energije vode u električnu energiju i njenu predaju u distribucionu mrežu. Pod električne komponente spada generator, koji služi za pretvaranje mehaničke energije u električnu. Mašinske komponente HE predstavljaju turbina, multiplikatori i ustava.

2.2. Podela turbine prema načinu pretvaranja energije vode u kinetičku energiju

Razlikuju se dve vrste turbine: impulsne i reakcijske.

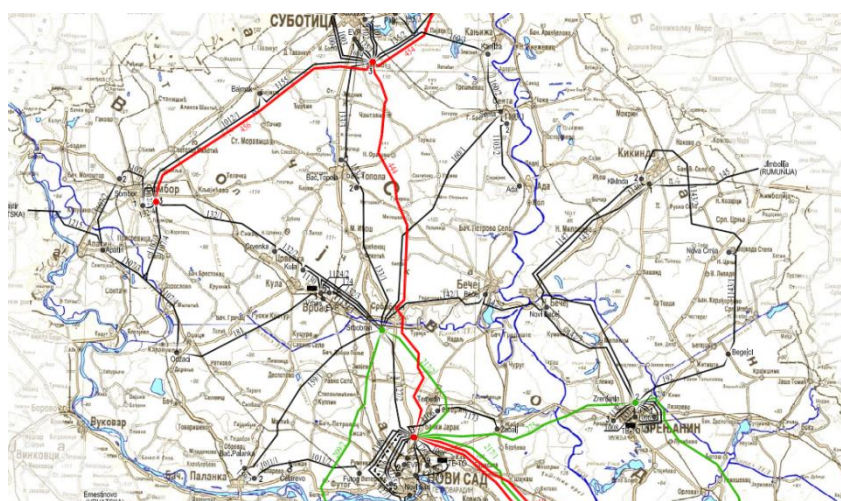
Implusne turbine izvode se uz pomoć cevi, da bi se povećala brzina vode koja se dovodi na lopatice turbine, kako bi ih okretalo.

Lopatice su obično u obliku kašike. Najpoznatije turbine ovog tipa su Peltonova, Turgo i Bánki-Michell turbine.

Reakcijske turbine kod kojih se u radnom kolu menjaju sve tri komponente energije (pritisak, kinetička i potencijalna). Kod ovih turbina pritisak vode je veći na ulazu nego na izlazu, zbog toga je potrebno da turbina bude zatvorena.

Lopatice turbine mogu biti fiksirane ili pokretne.

Najčešće korišćene turbine ovog tipa su Francis-ova-, Kaplanova-, Deriaz turbina.



Slika 1. Mapa prenosnog sistema oko Novog Bečeja (crvena 400 kV; zelena 220 kV; crna 110 kV) [6]

4. REZULTATI MERENJA

Osnovni podaci i regulacija može da se traži od vlasnika brane, javnog vodoprivrednog preduzeća „Vode Vojvodine“. Karakteristike režima proticaja reke Tise u profilu brane su:

- Minimalni zabeleženi proticaj $Q = 80 \text{ m}^3/\text{s}$
- Srednji proticaj $Q = 708 \text{ m}^3/\text{s}$
- Maksimalni zabeleženi proticaj $Q = 3900 \text{ m}^3/\text{s}$

Podatak o proticanju vode kod Novog Bečeja nije direktno meren. Na teritoriji AP Vojvodine do Novog Bečeja dodavanje količine vode dolazi kod Bečeja i oduzimanje vode se dešava ispred brane. Iz ovoga sledi da količina vode koja se meri u prethodnom gradu od Novog Bečeja potrebno je oduzeti $10 \text{ m}^3/\text{s}$, i ovom aproksimacijom dobija se proticanje kod Novog Bečeja. Visina vode se meri ispred brane (tkz. gornja voda) i direktno posle brane (tkz. donja voda).

Po konstrukciji brane pripada tipuniskog pada. Tipične osobine ovakvih vrsta građevina su u tome da se sastoji od više kapija, koje se mogu regulisati, otvoriti i zatvoriti, čime se reguliše stabilnost reke.

Broj ovakvih kapija u ovom slučaju iznosi sedam takozvanih polja (slika 2).

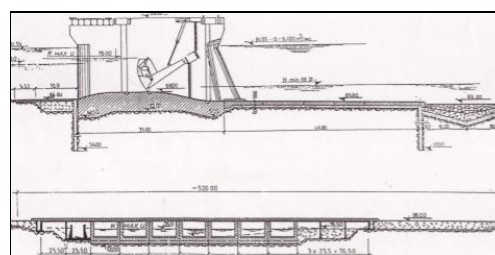
3. ANALIZA MOGUĆNOSTI IZGRADNJE HE NA TISI KOD NOVOG BEČEJA

U Srbiji da bi se izgradila mala hidroelektrana potrebno je da se ispune sledeći uslovi:

- ✓ pribavljanje informacije o lokaciji ili lokacijskim uslovima i izrada tehničke dokumentacije
- ✓ pribavljanje energetske dozvole
- ✓ pribavljanje građevinske dozvole
- ✓ građenje objekta
- ✓ tehnički pregled objekta i pribavljanje upotrebne dozvole

Pre priključenja objekata na elektroenergetsku mrežu obavezno treba da se izvrši i provera kvaliteta električne energije koju elektrana proizvodi, analiza dinamičkih prelaznih procesa, provera usaglašenosti objekata sa Pravilima o radu prenosnog sistema [5]. Priključenje na električnu mrežu omogućeno na 110 kV (slika 1).

Da bi se odredila snaga koja može da se proizvede na osnovu potencijala reke Tise, potrebno je dobro znati razliku između gornje i donje vode, i druga najvažnija veličina je proticaj vode kroz branu. Zaključak snage i projektovanje elektrane u ovom radu urađeno je na osnovu analiziranog perioda između 2007-2017.



Slika 2. Podužni i poprečni profil brane [7]

5. PRORAČUN ENERGIJE

Formula za izračunavanje snage vode i snage na turbini su:

$$P_{\text{voda}} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot \Delta h \quad (1)$$

$$P_{\text{turbina}} = \eta_{\text{turbina}} \cdot P_{\text{voda}} \quad (2)$$

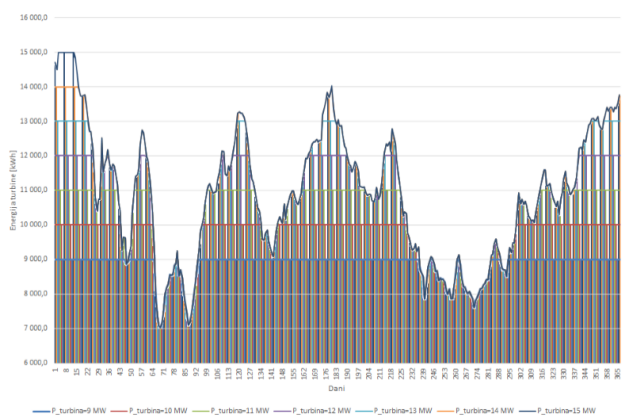
Koeficijent korisnog dejstva se izabere na osnovu tipa turbine. Osobine reke kod brane (nizak pad i velika količina vode) uzet je Kaplanov tip turbine sa

$\eta_{\text{turbina}}=0,85$. teoretska snaga turbine u zavisnosti od protoka po danu u godini prikazana na sledećoj slici (slika 3). Vidi se da ona varira u širokom opsegu, od 7 MW do 16 MW.

Međutim, proizvedena električna energija zavisi od veličine turbine, odnosno od nominalne snage odabranog generatora. Ako se izabere turbina-generator veće snage, tokom godine neće raditi punim kapacitetom. Ako se bira turbina-generator manje snage, dobar deo snage vode neće biti iskorišćen. Tada, se višak vode preko ventila mora odvesti u drugi kanal i tako poštediti turbinu od preopterećenja. U radu analizirana je turbina-generator sa snagom od 9 MW do 15 MW, u koracima od 1 MW. Na slici 4, predstavljeni su rezultati ove analize. Može se videti da je snaga turbine oko 12 MW najpovoljnija.



Slika 3. Grafički prikaz prosečne moguće izlazne snage na osovinu turbine u periodu 2007-2017



Slika 4. Prikaz promene snage za optimalnu turbine

6. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA

Zavisno od uslova na mestu izgradnje, zakona u datoj državi itd. cena izgradnje male HE zavisi od:

- tipa male HE
- instalisane snage i broja generatora
- iskoristivog pada
- kapaciteta akumulacije
- lokacije

Nabavka i montaža generatora, automatike i ostali troškovi pribora koštaju najviše izavise od veličine generatora. Sva energija koja dolazi sa turbine ne može direktno da se pretvori u električnu energiju. Postoje mehanizmi između dva sistema. U radu turbine i generatora povezanog sa reduktorom, koji ima svoju

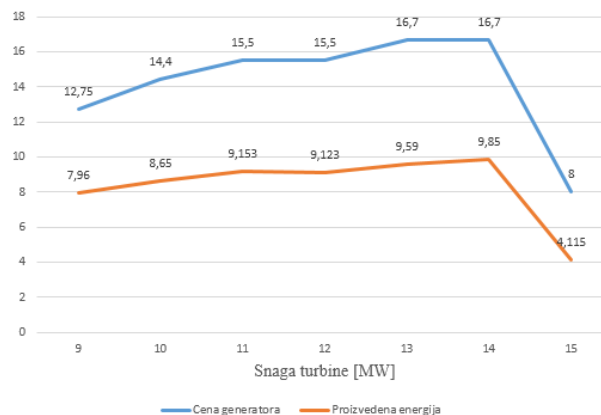
efikasnost ($\eta_{\text{reduktor}}=0,92$), koji se vidi u formuli za snagu generatora.

$$P_{\text{generator}} = \eta_{\text{reduktor}} \cdot \eta_{\text{generator}} \cdot P_{\text{turbina}} \quad (3)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,92 \cdot 0,98 \cdot P_{\text{turbina}} \quad (4)$$

$$P_{\text{generator}} = 0,9016 \cdot P_{\text{turbina}} \quad (5)$$

U radu su analizirane sve snage generator, sa kombinacijom snaga turbine, koje imaju vrednosti koje su ranije napomenute. Analiza isplativosti tokom izbora generatora i turbine fokusirana je na cenogeneratora i proizvedene energije u godini. Na slici 5 prikazana je cena generatora (u milionima) i proizvedena energija (u MW) u zavisnosti od snage turbine.



Slika 5. Grafički prikazana proizvedena energija i cena generatora u zavisnosti snaga turbine

Iz ovog aspekta, rezultati prikazuju da se najbolje i najbrže ostvaruje finansijsko vraćanje može očekivati kada se radi sa turbinom 12 MW. Kod ovakve koncepcije, s obzirom na gubitke na vratilu i prenosu energije do spojnice generatora, može proračunati da je potrebno izabrati nominalnu snagu generatora od 9 MW (preciznije 9.123 kW). U tom slučaju, povraćaj investicije je u roku od 3 godine.

Povećava se cena turbine, ako se radi sa pomerajućim lopaticama (*variable blades*). Sa fiksiranim lopaticama (*constant blades*) ne može da se upravlja količinom vode koja prolazi. Sa korišćenjem pomerajućih lopatica postiže se bolja iskoristivost vode koja prolazi kroz turbinu.

7. SOFTVERSKI ALATI ZA PROJEKTOVANJE MALIH HE

7.1. Softver RETScreen

RETScreen je programski paket koji je razvila Vlada Kanade i prva verzija je dostupna javnosti od 1998.godine. Trenutna verzija dostupna je od 2016. godine, kada je prezentovana u San Francisku na ministarskoj konferenciji o čistoj energiji. Softver omogućava sveobuhvatnu identifikaciju, procenu i optimizaciju tehničke i finansijske održivosti potencijalnih projekata iz oblasti obnovljive energije i energetske efikasnosti, kao i merenje i verifikaciju stvarnih performansi objekata i identifikaciju mogućnosti za uštedu/proizvodnju energije. Kada se podešava simulator za konkretni slučaj, namešta se da lokacija bude Novi Bečej, i izabere ponuđeni, odnosno postojeći

generator čija snaga iznosi 10 MW, dobija se da se isplaćuje u roku od 2,2 godine.

Financial viability			
Pre-tax IRR - equity	%		47,7%
Pre-tax MIRR - equity	%		18,5%
Pre-tax IRR - assets	%		15,4%
Pre-tax MIRR - assets	%		11,6%
Simple payback	yr		4,8
Equity payback	yr		2,2
Net Present Value (NPV)	€	20 675 491	
Annual life cycle savings	€/yr	2 264 927	
Benefit-Cost (B-C) ratio			5,3
Debt service coverage			2,7
GHG reduction cost	€/tCO ₂		-44
Energy production cost	€/kWh		0,041

Slika 6. Finansijska analiza sistema u RETScreen programu

7.2 Softver *RS Minerve*

Program koji se bavi hidrološko-hidrauličkim modelovanjem za simulaciju padavina i usmeravanje vodenog toka zove se *RS Minerve*. Prednosti u odnosu na ostale programe su da se gradi u različitim hijerarhijskim nivoima (tzv. pod-modeli). Korisnički prilagođeni interfejs je napravljen za lako razumevanje programa, ne mora da se kreiraju meteorološke serije za svaki element modela, već samo baza podataka sa posmatranim meteorološkim podacima itd.

7.3 Softver *HOMER*

HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables) računarski program, tokom vremena se razvio do jednog od glavnih programa za optimizaciju dizajna mikro mreža. *HOMER* pokušava da simulira održivi sistem za sve moguće kombinacije opreme koju želite da razmotrite. U zavisnosti od toga kako je model postavljen, može simulirati stotine ili čak hiljade sistema. Sistem koji se simulira može da se sortira prema različitim kriterijumima koje definišete, tako da možete videti najbolja moguća rešenja. Program služi za analizu obnovljivih izvora. Pored toga može da prikazuje sačuvana goriva. Analiza osetljivosti je opcioni korak koji omogućava modelovanje uticaja promenljivih veličina koje su izvan vaše kontrole, kao što su brzina vetra i troškovi goriva, i vidi se kako se optimalni sistem menja s ovim varijacijama.

7.4. Primena softvera *RETScreen* za ME na brani

Pregledom mogućnosti tri programa, za modelovanje malih HE najpogodniji je programski paket *RETScreen*. Prvo se unesu premenljive programa, kao što su lokacija, objekat, itd. Pomoću ovih podataka, softver može da prikaže klimatske i vremenske uslove u podešenom mestu. *RETScreen* Climate Database sadrži meteorološke podatke koji su važni za model. Moguća snaga male hidroelektrane koja može da se dobije na osnovu date vrednosti protoka Q određuje se prema sledećoj jednačini, u kojoj su uvaženi hidraulični gubici i uticaj odvođenja vode:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot [H_g - (h_{hydr} + h_{tail}) - \eta \cdot e_g \cdot (1 - l_{trans}) \cdot (1 - l_{para})] \quad (6)$$

U simulatoru dobijeno je da generator od 10 MW sa unetom cenom električne energije, pokazuje da hidroenergetski sistem pokriva troškove izgradnje elektrane za 2,2 godine.

8. ZAKLJUČAK

MH imaju veliki potencijal razvoja u oblasti obnovljivih izvora energije, a njihov rad pomaže stabilizaciji i ekonomskom razvoju i ima minimalni doprinos emisiji CO₂.

U radu su opisani parametri hidroelektrane na brani kod Novog Bečaja. Pri izboru osobine turbine, potrebno je izabrati onu koja se najbolje uklapa u uslove na Tisi, radi visine pada vode i proticanjem vode koja se meri kod Novog Bečaja. Kroz rada može da se zaključi da brana ima mogućnost stavljanja Kaplanove turbine od 12 MW, i generator od 9.1 MW i to se najbrže isplati u roku od tri godine.

Za lakše projektovanje hidrosistema koriste se programski paketi, ali je neophodno koristiti različite programe, jer je svaki specijalizovan za određen aspekt sistema. Na temu hidroelektrana kod Novog Bečaja urađeno je više radova. Analiziran je vremenski period drugačije nego u ovom radu, pa stoga, naravno zaključci nisu isti, ali može da se kaže da su slični ovima u radu [9].

9. LITERATURA

- [1] Web stranica: Hydro Energy - Energija Vode, http://www.centrala.org.rs/knjiga%20liber%20perpetuum/04Energija_vode_Hydro_Energy.pdf
- [2] Web stranica: <http://www.vodevojvodine.com/pdf/Brochures/Knjiga%20blaga.pdf>
- [3] J. Savković "Mogućnosti primjene modela piko hidroelektrane", Master rad, FTN, Novi Sad, 2018.
- [4] Web stranica: <http://www.dlhe.rs/latinica/he-bajina-basta-1>
- [5] B. Lepotić Kovačević, B. Lazarević "Izgradnja postrojenja i proizvodnja električne energije u hidroelektranama do 30 MW u Republici Srbiji", Programa Ujedinjenih nacija za razvoj, Jun 2016.
- [6] Web stranica: <https://www.ems.rs/>
- [7] Web stranica: <http://www.vodevojvodine.com>
- [8] V. Mijailović "Distribuirani izvori energije- Principi rada i eksploatacioni aspekti", Akademska misao, Beograd, 2011.
- [9] D. Milićević, Lj. Anđelković, A. Živković "Mogućnosti iskorišćenja hidroenergetskog potencijala reke Tise na lokaciji brane kod Novog Bečaja", INFOTEH, Jahorina, Vol. 13, Mart 2014., pp.190-195, <https://infotech.rs.ba/zbornik/2014/radovi/ENS-2/ENS-2-12.pdf>

Kratka biografija:



Andor Rajšli rođen je u Senti 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranio je 2019.god. kontakt: rajšli.andor@gmail.com



dr Vladimi A. Katić, red. prof. rođen je 1954. godine u Novom Sadu. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. godine. Oblasti interesovanja su mu energetska elektronika, obnovljivi izvori električne energije, kvalitet električne energije i električna vozila.