



MOGUĆNOSTI PRIMJENE MODELA PIKO HIDROELEKTRANE POSSIBILITY OF APPLICATION OF PICO HYDRO POWER PLANT

Jelena Savković, Vladimir Katić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu urađeno je idejno rešenje piko hidroelektrane koja proizvodi električnu energiju za sopstvenu potrošnju jednog domaćinstva. U sklopu idejnog rešenja obrađeni su svi ključni elementi koji se rade prilikom projektovanja. Biće izložen hidrološki potencijal Srbije. Tehnička izvodljivost projekta se analizira kroz softverski paket HOMER. Bavi se ciljevima izgradnje malih hidroelektrana i njihovim uticajem na okolinu.

Ključne reči: piko hidroelektrana, sopstvena potrošnja, modelovanje sistema

Abstract – In this paper, the preliminary design of the pico hydro power plant that produces electricity for own consumption of one household. As part of the preliminary design, all the main elements that are being worked out during the design process are processed. The hydrological potential of Serbia will be exposed. The technical feasibility of the project is analyzed through the HOMER software package. It deals with the objectives of building small hydropower plants and their impact on the environment.

Key words: pico hydropower, own consumption, system modelling

1. UVOD

U okviru energetskog sistema Republike Srbije obavlja se eksploatacija domaće primarne energije (uglja, nafte, prirodnog gasa, obnovljivih izvora energije), uvoz primarne energije (prije svega nafte, prirodnog gasa i uglja), proizvodnja električne i toplotne energije, eksploatacija i sekundarna prerada uglja, kao i transport i distribucija energije i energenata do krajnjih potrošača finalne energije. Ukupna potrošnja finalne energije u Srbiji u 2014. godini iznosila je 7,67 Mtoe [1]. Posmatrano po sektorima potrošnje široka potrošnja učestvuje sa 36%, industrija sa 29%, saobraćaj sa 23%, poljoprivreda 2% i ostale delatnosti 10% ukupne potrošnje finalne energije. U strukturi potrošnje finalne energije dominiraju derivati nafte sa 32% i električna energija sa 26%, zatim slede ugalj sa 11%, prirodni gas sa 12 %, toplotna energija sa 8%, dok obnovljivi izvori energije (ogrevno drvo) učestvuju sa 11%. Bitna razlika u strukturi potrošnje finalne energije, u odnosu na Evropsku uniju, je visok udeo potrošnje u domaćinstvima u Srbiji i

mного viši udeo potrošnje energije u saobraćaju u EU [1]. Geomorfološke i hidrološke karakteristike svrstavaju Srbiju u red zemalja bogatih vodom, te ukupni raspoloživi vodni potencijal nije za zanemarivanje. Ukupni hidroenergetski potencijal svih srpskih vodotoka je procijenjen na 31.000 GWh godišnje [1].

2. HIDROELEKTRANA

Da bi se izvršila podjela hidroelektrana (HE), bitne su sledeće karakteristike: snaga, visina pada vode i način korištenja vode. HE je skup različitih elemenata koji su u takvom međusobnom odnosu da daju bolji konačni rezultat od onog kojeg mogu pojedinačno dati njegovi dijelovi [2]. U zavisnosti od snage razlikuju se velike HE (>100 MW), male HE (500 kW-10 MW), mini HE (100 kW-500 kW), mikro HE (5 kW-100 kW) i piko HE (<5 kW). Samo su mikro i piko HE predviđene za samostalno rad, dok ostale proizvedenu energiju isporučuju u elektroenergetski sistem.

3. PIKO HIDROELEKTRANA

Naziv ovog sistema potice iz riječi *pico*, što znači "vrlo malo". Tehnički rečeno, to je sistem koji pretvara energiju kretanja vode u električnu snagu maksimalne vrijednosti 5 kW. Princip rada je isti kao za sve HE, a oprema je tehnički dimenzionisana za malu snagu. Gabaritne dimenzije su takve da imaju minimalan uticaj na uslove sredine. Konstruiše se kao protočna HE, bez potrebe za akumulacijom, tako da voda direktno ide do turbine, a potom se vraća u svoj tok. Postoji mnogo faktora koji određuju podobnost sistema. Ovo uključuje:

1. Količina snage koja je dostupna na izlazu cijevovoda. Ovo je određeno zapreminom dostupne vode, pritiskom vode i gubicima na trenje u cijevovodima.
2. Tip turbine i tip i kapacitet generatora.
3. Tip i kapacitet opterećenja piko HE.
4. Troškovi razvoja projekta i rada sistema

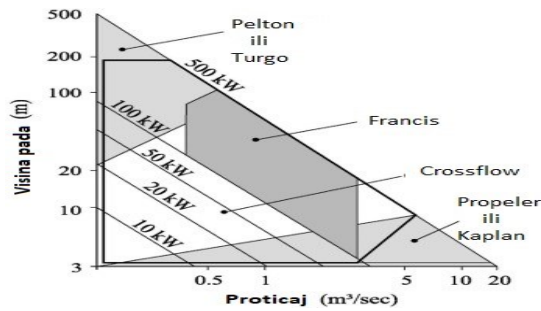
Za mjerenje zapremine protoka vode, izdvojene su dvije najjednostavnije metode za čije izvođenje nisu neophodni stručni mjerni instrumenti: metoda kofe („*bucket method*“) i metoda plovka. Prilikom određivanja visine pada vode treba uzeti u obzir bruto (statičku) i neto (dinamičku) visinu pada.

Bruto visina je vertikalno rastojanje između vrha cjevovoda i tačke gdje voda udara u turbinu.

Neto visina je razlika bruto visine pada i gubitaka nastalih zbog trenja i turbulencija u cjevovodu. Procjena visine pada i protoka vode kod piko hidro-sistema dalje utiče na izbor turbine. Odnos visine pada, količine proticaja, snage i tipa turbine prikazan je na slici:

NAPOMENA:

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



Slika 1. Primjenjeni tip turbine u zavisnosti od raspoloživog pada i proticaja [3]

Za realizaciju sistema piko HE moguće je upotrijebiti hidroturbine proizvođača PowerSpout. Dijelovi hidroturbina su pretežno izrađeni od recikliranih materijala. Power Spout BE (Battery Enabled) i Power Spout ME (MPPT Enabled) hidroturbine su predviđene za sisteme koji rade samostalno, nezavisno od elektroenergetskog sistema.



Slika 2. Način primjene PS BE i ME hidroturbine [4]

Opisan je model piko hidroelektrane koji je realizovan preko improvizovanih radnih dijelova prikazan je na slici 3. Ovaj sistem piko HE ima snagu od 1,5 kW. Hidroelektrana koja je predstavljena pripada grupi protočnih piko hidroelektrana sa malim padom. Sistem čine sledeći dijelovi: turbina, remenica, mjenjac, alternator (generator jednosmjerne struje), akumulator i inverter. Električna energija koju proizvodi prezentovana piko hidroelektrana koristi se za osnovne potrebe jednog domaćinstva: osvetljenje i napajanje standardnih kućnih aparata (radio, frižider, punjač za mobilni telefon).



Slika 3. Dijelovi i povezivanje u sistem hidroelektrane [5]

4. MODELOVANJE PIKO HE

Maseni protok može se izraziti kao proizvod zapreminskog protoka Q u m^3/s i gustine ρ u kg/m^3 , te se dobija izraz za snagu vodene mase na ulazu u turbinu:

$$P = Q * \rho * g * H_{net} \quad [W] \quad (1)$$

Raspoloživa snaga na vratilu turbine manja je od snage vode na ulazu u turbinu za iznos gubitaka (hidraulički, zapreminski i mehanički), koji nastaju uslijed strujanja vode kroz turbinu. Odnos snage P_t dobijene na vratilu turbine i snage vode P na ulazu u turbinu predstavlja stepen efikasnosti energetske transformacije:

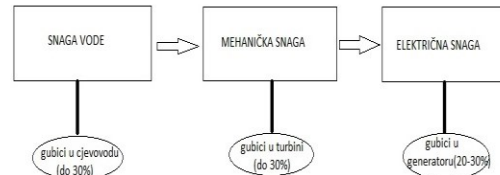
$$\eta_t = \eta_h * \eta_Q * \eta_m \quad (2)$$

$$\eta_t = \frac{P_t}{P} \quad (3)$$

Stepen efikasnosti vodnih turbina se nalazi u granicama od 0,7 - 0,9, pa se raspoloživa snaga na vratilu turbine računa kao:

$$P_t = Q * \rho * g * H_{net} * \eta_t \quad [W] \quad (4)$$

Snaga hidroenergetskog sistema pretvorena je iz jednog oblika u drugi, a takav process podrazumijeva i određene gubitke. Slika 4 ilustruje udio gubitaka.



Slika 4. Raspodjela gubitaka u procesu pretvaranja.

Snaga koju proizvodi generator je proizvod stepena efikasnosti generatora i snage na vratilu turbine. Stepenn efikasnosti generatora za male hidroturbine je u opsegu 0,7-0,8, pri čemu vrijednost 0,8 postiže pri idealnim uslovima. Sledeća relacija predstavlja proračun za proizvedenu električnu snagu:

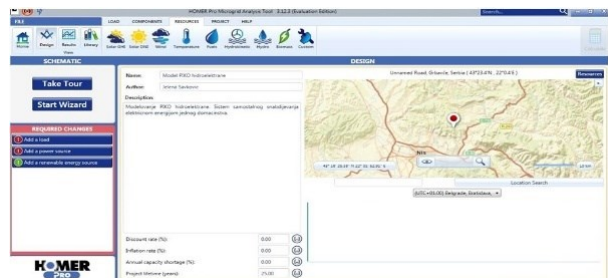
$$P_e = \eta_g * P_t \quad [W] \quad (5)$$

Ako se izvrši integraljenje proizvedene snage u određenom vremenskom ograničenju, dobija se vrijednost proizvedene električne energije:

$$W_e = \int_0^t P_{e(t)} dt \quad [kWh] \quad (6)$$

5. SOFTVERSKI PAKETI ZA PROJEKTOVANJE MALIH I PIKO HIDROELEKTRANA

HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables) je kompjuterski program nastao 1992. god. u američkoj Laboratoriji za obnovljive izvore energije NREL (National Renewable Energy Laboratory, Kolorado, SAD). Danas predstavlja globalni standard za optimizaciju dizajna mikro mreža u svim sektorima.



Slika 5. Početna strana programa HOMER

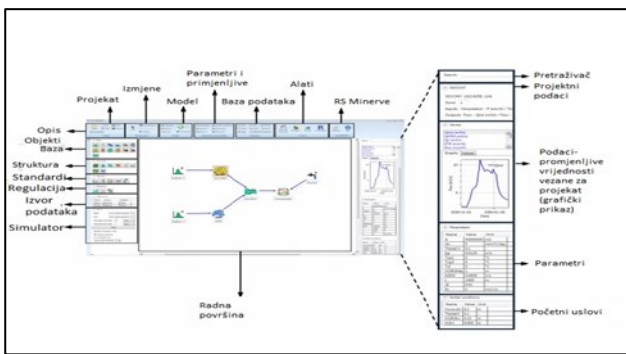
RETScreen je programski paket koji je razvila Vlada Kanade i prva verzija je dostupna javnosti od 1998. god., dok je najnovija verzija predstavljena 2016. god. Omogućava identifikaciju, procjenu i optimizaciju

tehničke i finansijske održivosti projekta. Za već postojeće projekte pomaže u pronalaženju dodatnih mogućnosti uštede energije.



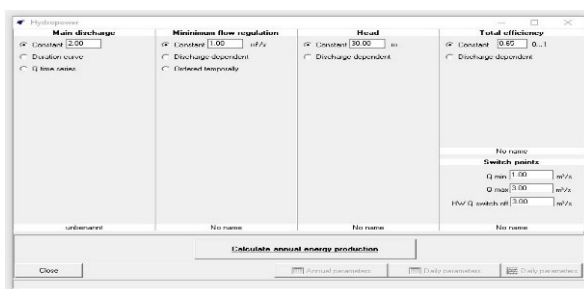
Slika 6. Početna strana programa RETScreen

RSMInerve je softver za simulaciju formiranja slobodnog površinskog protoka i njegovih karakteristika. Modeluje kompleksne hidrološke i hidrauličke mreže.



Slika 7. Početna strana programa RSMInerve

Prva verzija CASiMiR Hydropowe programa je razvijena na Institutu za hidrauliku na Univerzitetu u Štuttgartu. Nastao je u cilju proučavanja ekonomskih aspekata malih hidroelektrana.



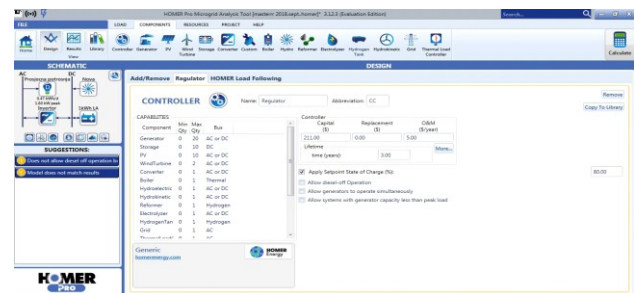
Slika 8. Početna strana programa CASiMiR Hydropower

Raznovrsne situacije rada sistema lako mogu biti izvedene i upoređivane upotrebom tabelarnog i grafičkog prikaza. Za pojedinačno modelovanje tehničkih elemenata sistema pogodan je program HOMER, a nedostatak se ogleda u nemogućnosti modelovanja različitih hidroloških uslova. Pouzdan je u radu, a izvještaji su dostupni u tabelarnom i grafičkom prikazu. Ekonomska analiza sistema biće najdetaljnija ako se izvodi preko modela u RETScreen programu i olakšava proces finansijske procjene projekta, ali izostaju detalji vezani za tehničku i hidrološku stranu sistema. Istaknuta osobina RSMInerve

programa jeste mogućnost procjene i praćenja hidroloških prilika, uzimajući u obzir operacije koje mogu izazvati poremećaje u hidrološkom i ekološkom sistemu, ali je za pravilan rad neophodno učitavanje podataka iz Geographical Information System baze podataka. Od navedenih programa, najskromnije performanse ima program CASiMiR Hydropower, jer proračunava samo godišnju proizvodnju električne energije i procjenjuje finansijsku dobit po fiksnoj cijeni koja nije podložna promjeni. Nepouzdan je u radu, često ne može da se pokrene izvršavanje proračuna i dolazi do prekida rada ako se brzo zadaju promjene opcija.

6. PRIMJER KORIŠĆENJA MODELA ZA PIKO HE

Pregledom mogućnosti četiri programa, za modelovanje piko HE najpogodniji je programski paket HOMER. Elemente sistema postavljamo uz opciju Components. Za hidrosistem biramo komponente: Controller, Storage, Converter i Hydro. Nakon unošenja osnovnih podataka o protoku vode, visini pada i efikasnosti turbine simulacijom uprogramskom paketu HOMER dobijeno je da će hidroturbina snage 1600 W (efikasnost od 53,8%) omogućiti proizvodnju od 1604 W pri visini pada od 38 m i protoku od 8 l/s.

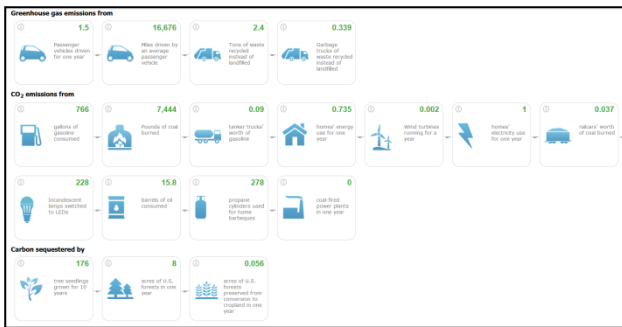


Slika 9. Biranje komponenata sistema

Ovaj program dao je podatak o neophodnim uslovima visine pada i protoka vode radi postizanja nominalne proizvodnje turbine. HOMER računa izlaznu električnu snagu upotrebom sledeće formule:

$$P_{hyd} = \frac{\eta_{hyd} * \rho_{water} * g * h_{net} * Q_{turbine}}{1000} \quad [kW] \quad (7)$$

Olakšao je uvid u raspodjelu troškova sistem i procijenio koliko košta svaki proizvedeni kWh. Pri izradi investicionog plana, nezaobilazan korak jeste provjera da li će se projekat isplatiti i u kom vremenskom periodu. Pošto je mogućnost primjene piko hidrosistema ograničena samo na proizvodnju električne energije za sopstvenu potrošnju, takav sistem ne može predstavljati priliv novca. Izgradnji sistema obnovljivih izvora energije pristupilo se u cilju smanjenja upotrebe prirodnih ograničenih resursa (ugalj, nafta) i smanjena emisije zračenja ugljen-dioksida. Na internetu postoje razvijeni konvertori za preračunavanje električne energije u ekvivalentnu količinu uglja, nafte i prirodnog gasa. Upotrebom Unit Juggler, proračunato je da se ostvarila ušteda 1,23 tone mrkog uglja, a upotrebom Greenhouse Gas Equivalencies konvertora procijenjena je ušteda od 7,5 tona ugljen-dioksida.



Slika 10. Ekvivalentne vrijednosti za 7,5 tona CO₂ [7]

7. MALE HIDROELEKTRANE U NAŠEM SISTEMU

Izgradnja hidroenergetskih objekata, pored opštih pozitivnih energetske i vodno-bilansnih efekata, kao posljedicu ima određeni uticaj na životni prostor i okruženje samih objekata. Kvalitetnim projektovanjem, izgradnjom i upravljanjem, MHE se mogu uklopiti u okolinu tako da se nepovoljni uticaji na stanje životne sredine svedu na minimum. Analizama se sagledavaju mogući pozitivni i negativni uticaji planiranih objekata, sa ciljem da se pravovremeno predvide mjere kojima bi se eventualni nepovoljni uticaji sveli na minimum ili u potpunosti eliminisali.

Zapažanje u vezi sa izgradnjom MHE jeste da predstavlja unosan posao za investitore i prijetnju životnoj sredini. Dobijanjem statusa povlašćenog proizvođača električne energije investitor može prodati proizvedenu električnu energiju ovlašćenom distributeru po podsticajnoj cijeni. Prema Uredba o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije [6], nakon isteka podsticajnog perioda povlašćeni proizvođač ima pravo sklapanja ugovora sa javnim snabdijevačem o otkupu ukupno proizvedene električne energije po tržišnim uslovima.

Tabela 1. Podsticajne cijene za električnu energiju proizvedenu u HE [6]

Redni broj	Vrsta elektrane povlašćenog proizvođača električne energije	Instalisana snaga P (MW)	Podsticajna otkupna cena (c€/kWh)	Maksimalno efektivno vreme rada (h)
1	Hidroelektrana			5000 u godini podsticajnog perioda
1.1		Do 0,2	12,60	
1.2		0,2 – 0,5	13,933 – 6,667*P	
1.3		0,5 - 1	10,60	
1.4		1 - 10	10,944 – 0,344*P	
1.5		10 - 30	7,50	5000 u godini podsticajnog perioda
1.6	Na postojećoj infrastrukturi	Do 30	6,00	

8. ZAKLJUČAK

Mali hidroenergetski sistemi predstavljaju primjenu hidroenergije u snabdijevanju malih potrošača. Ovakvi sistemi se dijele na mini, mikro i piko hidroelektrane i prepoznati su kao ključne tehnologije u primjeni obnovljivih izvora električne energije za ruralne predjele. Mali hidroenergetski sistemi su principijski slični velikim, samo je izvršeno smanjivanje snage kako bi sistem bio kompatibilan za različite lokacije. U zemljama u razvoju, modeli mikro i piko hidroelektrana su se već pokazali kao praktična rješenja i rješenja potencijalno niske cijene za

proizvodnju električne energije na udaljenim lokacijama, naročito u malim selima u brdovitim predjelima. Mikro hidroenergija ponekad uključuje piko hidroenergiju zato što piko hidroenergija generiše električnu energiju na nivou domaćinstva, zato je ovaj model u mnogim zemljama prozvan kao "porodična hidroelektrana" (family hydro).

Programski paketi za analizu hidrosistema olakšavaju projektovanje, ali je neophodno koristiti različite programe, jer je svaki specijalizovan za određen aspekt sistema. Za procjenu tehničke izvodljivosti sistema najpogodniji je program HOMER jer omogućava procjenu uslova (protok i visina pada) za nominalnu iskoristivost. Detaljnu procjenu hidrološkog aspekta omogućava RSMInerve program, a finasijske tokove obrađuje RETScreen. Program CASiMir Hydropower pruža najmanje mogućnosti za modelovanje sistema, zbog slabo razvijenih funkcionalnosti.

9. LITERATURA

- [1] Privredna komora Srbije, "Privreda Srbije - Energetika i energetske rudarstvo", <http://www.pks.rs>
- [2] Srđan Maričević, "Određivanje osnovnih komponenti za izgradnju male hidroelektrane", Diplomski rad, Univerzitet u Osijeku, Osijek, 2017.
- [3] A.M.A. Haidar "Utilization of pico hydro generation in domestic and commercial loads", University of Southern Queensland, Australia, 2012.
- [4] <http://www.powerspout.com/>
- [5] A.Najdanović, "Proizvodnja električne energije putem mirko hidroelektrane", Diplomski rad, Univerziteti u Nišu, Elektronski fakultet, Niš 2013
- [6] "Uredba o uslovima i postupku sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije, privremenog povlašćenog proizvođača i proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora energije", "Službeni glasnik RS", br. 56/2016, 15.6.2016. god.
- [7] <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>

Kratka biografija:



Jelena Savković, rođena je u Bugojnu 1992. godine. Na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu diplomirala je 2016. godine na studijskom programu Elektroenergetika. Master studije na istom fakultetu na studijskom programu Elektroenergetika – energetska elektronika i električne mašine upisala je školske 2016/17. god. Master rad na temu iz oblasti obnovljivih izvora električne energije odbranila je 2018. godine.



dr Vladimir 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.