

TEHNIČKI I EKONOMSKI ASPEKTI MOGUĆNOSTI IZGRADNJE MALE HIDROELEKTRANE NA RLJECI FOJNICI-OPŠTINA VISOKO – BIH

S. JUSIĆ, JP “Elektroprivreda BiH” d.d. Sarajevo – Podružnica “Elektrodistribucija” Zenica , BiH
E. HRNJIĆ, JP “Elektroprivreda BiH” d.d. Sarajevo – Podružnica “Elektrodistribucija” Zenica , BiH

UVOD

Hidroelektrana je postrojenje u kojem se potencijalna energija vode najprije pretvara u kinetičku energiju njenog strujanja, a zatim u mehaničku energiju obrtanja vratila turbine i konačno električnu energiju u elektrogeneratoru.

U širem smislu hidroelektranu čine i sve građevine i postrojenja, koja služe za prikupljanje (akumuliranje), dovođenje i odvođenje vode (brana, zahvati, dovodni i odvodni kanali, cjevovodi itd.), pretvorbu energije (vodne turbine, generatori), transformaciju i razvod električne energije (rasklopna postrojenja, dalekovodi). Male HE su postrojenja u kojima se potencijalna energija vode najprije pretvara u kinetičku energiju njezinog strujanja (u statoru turbine), a potom u mehaničku energiju (u rotoru turbine) obrtanja osovine turbine te, konačno, u električnu energiju generatora. Za male hidroelektrane se uzima da nemaju nikakav štetan uticaj na okolinu za razliku od velikih, čija se štetnost opisuje kroz velike promjene ekosistema (gradnja velikih brana), uticaji na tlo, poplavljanje, uticaji na svakodnevni živi svijet, povećana emisija metana i postojanje štetnih emisija u čitavom životnom ciklusu HE koje su uglavnom vezane za period izgradnje elektrane, proizvodnje materijala i transport. (https://hr.wikipedia.org/wiki/Male_hidroelektrane (1)).

Ako pogledamo kroz istoriju vodno kolo se koristilo hiljadama godina za dobivanje industrijske snage. Glavni nedostatak vodnog kola je veličina, koja ograničava iskoristivi protok i pritisak. Prelaz sa vodnog kola na moderne turbine je trajao stotinjak godina. Razvoj turbina se desio za vrijeme industrijske revolucije, upotrebom naučnih principa i metoda. Također su u velikom broju primjenjivani novi materijali i nove metode proizvodnje razvijene u tom razdoblju. (https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina (2)).

ODABIR LOKACIJA ZA IZGRADNJU MALIH HIDROELEKTRANA

Lociranje male hidrelektre je strogo uslovljeno konfiguracijom terena i vodotoka. Zato, njihova izgradnja znači određenu intervenciju u prostoru, pri čemu, specifično gledano, relativno manji hidrološki potencijal uslovljava veći zahvat u prostoru, time i veće uticaje na prirodu i okolinu. Ti uticaji mogu biti jednaki odnosno

nejednaki. Pod prvim se smatra određeno zauzimanje prostora (zemljište i voda), promjena okruženja u blizini mHE. Pored toga u uslovima eksploatacije pogona dolazi i do stvaranja određenih količina čvrstog, krutog i tečnog otpada (otpadna ulja i metalni otpad), ali radi se o mnogo manjoj količini nego što je to slučaj kod na primjer termoelektrana. Pošto su male HE često locirane u blizini drugih objekata različite namjene, određeni problem može predstavljati buka u postrojenju. Nejednaki uticaji obuhvataju poremaćaje u prirodnim režimima promjena podzemnih i površinskih voda, kao i uticaj na biljni i životinjski svijet. Ovakve uticaje je teško valorizovati i upoređivati, jer ih je teško brojčano iskazati (uticaj na šume, isušivanje dijelova korita vodotoka, plavljenje većih površina). Potencijalne lokacije za MHE su :

- Nove lokacije,
- Dopuna (dogradnja) postojećih vodoprivrednih i hidroenergetskih objekata malim hidroelektranama, postojeće brane, na biološkom minimumu, građevine za regulisanje korita i zadržavanje nanosa, retenzija za odbranu od velikih voda i druge građevine, vodovodi, sistemi za navodnjavanje i sl.,
- Promjena namjene postojećih objekata (vodenice i dr) u mini ili male HE.

Povoljne lokacije za mHE nalaze se u gornjim dijelovima vodotoka, jer geomorfološki gledano, vodotoci obično u gornjim dijelovima imaju strmiji pad koji se postepeno smanjuje kakao se vodotok približava ušću. Naročito su interesantne lokacije na samom izvoru vodotoka. Često povoljne geomorfološke karakteristike omogućavaju izvođenje akumulacije na samom izvoru. Pitanje povoljnih lokacija za mHE u gornjim dijelovima vodotoka naročito je osjetljivo sa stanovišta osiguravanja dovoljnih količina pitke vode. Ipak, instalacija mHE na nekoj lokaciji ne isključuje mogućnost sigurnog korištenja te iste lokacije kao izvora pitke vode. U odabiru prednost treba dati:

- Lokacijama s postojećim podacima o dugogodišnjim hidrološkim pokazateljima,
- Lokacijama na kojima već postoje objekti s tradicijom korištenja vodnih resursa, kao i njihovo osavremenjivanje,

Nakon toga potrebno je ispitati da li je na potencijalnim lokacijama predviđena druga namjena prostora te u tom slučaju treba ispitati mogućnost višenamjenskog korištenja vodotoka na tim lokacijama.

Ako to nije moguće, od tih lokacija se odustaje. Lokacije koje treba isključiti iz daljih razmatranja su one zbog ograničenja zaštite kulturne baštine, odnosno zaštite prirode i okoline, jer zbog definisanog stepena zaštite određenog prostora ili građevine ne dolazi u obzir nikakva gradnja niti zahvati u određenom prostoru.

Podjela HE prema zahvatu jeste na 1) protočne, bez akumulacionog bazena sa bočnim zahvatom vodotoka; 2) akumulacione, s prirodnim ili umjetnim akumulacijskim bazenom.

Podjela MHE prema regularnosti protoka jeste na 1) MHE sa podesivim protokom 2) MHE sa stalnim protokom. Osnovna podjela prema načinu povezanosti sa distributivnom mrežom jeste na 1) izolovane MHE ; 2) MHE vezane na mrežu ; 3) MHE koje rade po potrebi, odnosno on/off sistem.

Kod projektovanja malih HE potrebno je uzeti u obzir sljedeće: geološke karakteristike, hidrološke i meteorološke istražne radove, stanje na terenu, bruto energetske potencijal, veličinu izgradnje male HE i izbor turbine i neto snage za male HE. ([https://sr.scribd.com/Seminarski-Proračun-Malih-HE\(3\)](https://sr.scribd.com/Seminarski-Proračun-Malih-HE(3)))

IZBOR TIPa TURBINE S OBZIROM NA NETO PAD I KOLIČINU PROTOKA I NETO SNAGA

Tip, generator i dimenzija turbine su uslovljeni prema kriterijima kao što su neto pad, protok kroz turbinu, brzina rotacije, cijena i sl. Za određivanje neto snage vodne turbine i male HE polazi se od opšte jednačine stacionarnog strujanja tekućine (Bernullijeva jednačina) koja uz zanemarenja trenja ima poznati oblik:

$$p/\rho + g \cdot h + (1/2) \cdot c^2 = W_0 = \text{Const.} \quad (1)$$

p – pritisak u okolini elementa vode koja struji (N/m^2),

ρ – specifična masa tekućine (kg/m^3),

h – visina promatranog elementa tekućine iznad referentnog nivoa (m),

c – brzina strujanja tekućine (m/s),

W_0 – specifična energija tekućine (m^2/s^2)

Prvi član je specifična energija pritiska, drugi specifična potencijalna energija, a treći izražava specifičnu kinetičku energiju tekućine.

Specifična energija W_0 ukupna je specifična energija tekućine koja se ne mijenja strujanjem jer je zbir svih specifičnih energija konstantan, što je u skladu sa stavom o održanju energije. Može se W_0 shvatiti i kao snaga elementa mase vode ($M=1$ kg/s).

Da bi se odredio neto-pad iskoristiv u vodnoj turbini, treba poći od prirodnog bruto – pada H_b .

Izraz za neto-pad je:

$$H_n = H_b + C_A^2/2g - C_B^2/2g - h_{Rc} \quad (2)$$

U ovoj relaciji je zanemarena C_o – brzina vode na ulazu u cjevovod;

C_A - brzina vode na ulazu u turbine

C_B - brzina vode na izlazu iz difuzora turbine

h_{Rc} - visina gubitaka u cjevovodu

Gubici u cjevovodu su mjera za gubitke energije, odnosno snage u cjevovodu, te se obično može dopustiti prethodno navedeno zanemarenje.

Tehnički iskoristiva energija vodotoka smanjena je zbog trenja u dovodima (tunel, tlačni cjevovod), te gubitaka protoka, što se definiše kroz neto pad H_n (neto pad = bruto pad (prirodni) - gubici).

Srednja iskoristiva snaga (neto snaga) koju HE daje na priključcima generatora može se odrediti iz jednačine:

$$P = 9,81 \cdot Q_{SI} \cdot H_n \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot N \quad (3)$$

gdje je:

η_T i η_G – stepen korisnog djelovanja turbine i generatora.

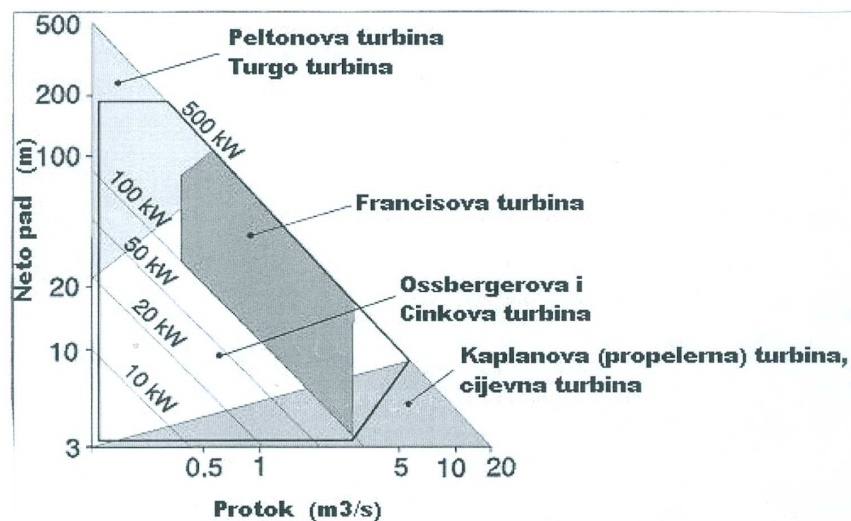
H_n – raspoloživi neto pad

Q_{SI} – srednji iskoristivi protok

N – broj turboagregata

Ukupni stepen djelovanja $\eta = \eta_T \cdot \eta_G$ pri optimalnom opterećenju za veća postrojenja (velike HE) iznosi približno 80 % a za manja postrojenja (male HE) približno 75%. Pri tome, kod malih HE potrebno je uzeti u obzir i uticaj stalne varijacije protoka. ([https://sr.scribd.com/Seminarski-Proračun-Malih-HE\(3\)](https://sr.scribd.com/Seminarski-Proračun-Malih-HE(3))).

(Misli se na razmatranje iskorištenja malih turbina u funkciji od količine protoka Q/Q_{max})



Slika 1: Dijagram prikaza zavisnosti neto pada od količine protoka kod različitih turbina (Kercan (4))

VODNE TURBINE –VRSTE, KONSTRUKCIJA I PRIMJENA – ODRŽAVANJE

Vodna turbina je rotirajući motor koji preuzima energiju kretajuće vode. Vodne su turbine razvijene u 19. vijeku i imale su široku primjenu u dobijanju industrijske snage prije pojave električnih mreža. Danas se pretežno koriste za dobijanje električne energije. Iskorištavaju čist i obnovljivi izvor energije.

Princip rada vodne turbine jeste da se tok vode usmjeri na lopatice rotora turbine, stvarajući silu na lopaticama. Uzevši u obzir da se rotor vrti, sila djeluje na putu (sila koja djeluje na putu je ustvari definicija rada). Na taj način energija se prenosi sa toka vode na turbinu.

Vodne turbine se dijele na dvije grupe: a) reakcione i b) impulsne (akcione) turbine.

Na reakcione turbine dolazi voda, čiji se pritisak mijenja kako prolazi kroz turbinu i predaje svoju energiju. Moraju biti u kućištu da bi se održao pritisak vode, ili ne moraju biti u potpunosti uronjene u vodenom toku.

Newtonov zakon opisuje prenos energije za reakcione turbine.

Od većine vodnih turbina, u upotrebi su reakcione turbine i koriste se pri niskom ili srednjem hidrostatskom pritisku. U reakcionoj turbini pritisak se pojavljuje na stacionarnim i pokretnim lopaticama.

Impulsne turbine mijenjaju brzinu vodenog mlaza. Mlaz udara na zakrivljene lopatice turbine koje mijenjaju smjer mlaza. Rezultujuća promjena količine kretanja uzrokuje silu na lopaticama turbine. Usljed vrtnje turbine, sila djeluje na put, rad i preusmjereni vodeni tok ima smanjenu energiju. Prije udara u lopatice turbine, mlaznica pretvara pritisak vode (potencijalna energija) u kinetičku energiju i usmjerava je na turbinu. Na lopaticama turbine ne dolazi do promjene pritiska, pa turbini nije potrebno kućište za rad.

Newtonov zakon opisuje prenos energije kod impulsnih turbina. Impulsne turbine se najčešće koriste pri visokom hidrostatskom pritisku.

Snaga dobivena iz struje vode je:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (4)$$

gdje je:

P - snaga (J/s ili W)

η -efikasnost turbine

ρ - gustina vode (kg/m³)

g - gravitaciono ubrzanje (9.81 m/s²)

H -visina (m); za mirujuću vodu to je razlika između ulazne i izlazne površine; voda koja teče ima dodatnu komponentu koja se računa za kinetičku energiju toka, ukupni pritisak je jednak sumi statičke i dinamičke komponente pritiska.

Q - protok (m³/s)

Postoje vodne turbine dizajnirane za reverzibilne hidroelektrane. U mogućnosti su promijeniti smjer toka i raditi kao pumpa da napune visinski spremnik za vrijeme niske potrošnje električne energije, te se kasnije prebaciti na turbinski režim rada za vrijeme visoke potrošnje električne energije. Takvi tipovi turbina su obično Deriazova ili Francisova turbina.

Velike moderne vodne turbine rade sa stepenom većim od 90% (ova veličina se razlikuje od stepena iskorištenja).

Vrste vodnih turbina:

- Reakcione turbine:Francisova turbina, Kaplanova turbina, Tysonova turbina, Gorlova turbina, Vodeničko kolo, Arhimedov vijak
- Impulsne turbine:Peltonova turbina, Turgo turbina, Turbina s križnim protokom – Banki turbina, Jonvalova turbina, Teslina turbina.

Odabir turbine temelji se uglavnom na raspoloživom pritisku vode, a manje na raspoloživom protoku. Uglavnom se impulsne turbine koriste za postrojenja visokog hidrostatskog pritiska, a reakcione turbine za postrojenja niskog hidrostatskog pritiska. Kaplan turbine sa podesivim nagibom lopatica su primjerene za širok spektar uslova toka i pritiska, jer u tim uslovima postižu najvišu efektivnost.

Male turbine (ispod 10 MW) mogu imati horizontalne osovine, a čak i i veće turbine do 100 MW mogu imati horizontalnu osovinu. Vrlo veliki Francisovi i Kaplanovi strojevi uglavnom imaju vertikalne osovine, jer se tako najbolje iskorištava raspoloživi pritisak, te je takva ugradnja generatora ekonomičnija. Peltonova kola mogu imati ili vertikalne ili horizontalne osovine, jer je veličina stroja puno manja od raspoloživog pritiska. Neke impulsne turbine koriste višestruke mlazove vode na jednom rotoru u svrhu povećanja specifične brzine i balansiranja osovine.

Standardni rasponi piezometričkih visina:

- Vodno kolo $0.2 < H < 4$ (H = piezometrička visina u m)
- Arhimedov vijak $1 < H < 10$
- Kaplanova turbina $2 < H < 40$
- Francisova turbina $10 < H < 350$
- Peltonovo kolo $50 < H < 1300$
- Turgo turbina $50 < H < 250$

Specifična brzina n_s turbine karakterizira oblik turbine na način koji nije vezan za njenu veličinu. To omogućava da nova konstrukcija turbine bude određena postojećom konstrukcijom poznatih radnih osobina.

Specifična brzina je također glavni kriterij za određivanje pravilnog tipa turbine za određeno hidro-postrojenje. Specifična brzina je brzina turbine po jedinici pieziometričke visine kada proizvodi jedinicu snage.

Turbine su konstruisane da rade decenijama uz vrlo malo održavanja glavnih elemenata, remont se izvršava u intervalu od nekoliko godina. Održavanje rotora i dijelova izloženih vodi uključuju odstranjivanje, inspekciju i popravak istrošenih dijelova.

Uobičajeno trošenje uključuje kavitaciju, pucanje usljed zamora materijala i abraziju zbog čvrstih čestica u vodi. Čelični elementi se popravljaju zavarivanjem. Oštećena područja se izrezuju ili bruse, pa kasnije zavaruju natrag na originalni ili poboljšani profil. Starim rotorima turbina se može na taj način dodati velika količina nerđajućeg čelika do kraja njihovog radnog vijeka. Komplikovani postupci varenja se mogu koristiti za postizanje popravaka najvišeg kvaliteta. Ostali elementi koji zahtijevaju inspekciju i popravke tokom remonta su ležajevi, kućište i rukavci osovine, servomotori, rashladni sistem za ležajeve i zavojnice generatora i sve površine. ([https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina_\(2\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina_(2))).

Preferirana vodna turbina za pripadajuću lokaciju je Kaplanova turbina, čije karakteristike se daju u nastavku.

Kaplanova turbina– izvedbe Kaplanovih turbina

Zahvat vode kod Kaplanove turbine se izvodi uređajem koji je obično trapeznog presjeka, izveden od betona. Konstrukcija uređaja treba osigurati ujednačenu distribuciju vode po izlaznom presjeku uređaja, te spriječiti odvajanje struje na statorskim lopaticama. Kod visokih padova (za ovakav tip hidrauličkih turbina) dobavni aparat se izvodi od čelika u obliku spirale kružnog presjeka.

Predprivodećih lopatica obično ima 10-12, a privodećih 20-32 lopatice. **Privodeće lopatice**, osim regulacije protoka, imaju zadatak da pravilno usmjere struju vode prema rotorskim lopaticama. Regulacija protoka se izvodi zakretanjem regulacionih lopatica oko svojih osi, a u graničnom slučaju moguće je lopaticama potpuno zatvoriti protočne kanale.

Rotor se sastoji od lopatica ušvršćenih na rotirajuće vratilo čiji broj se, zavisno od pada, mijenja između 4 i 8. Što je manji pad, to je i broj lopatica rotora manji. Rotorske lopatice mogu biti čvrsto vezane na vratilo, a takve turbine se tada nazivaju **propelernim turbinama**. Oblik i dužina profila lopatice se mijenjaju promjenom radijalne koordinate, u odnosu na osu stroja. Rotorske lopatice mogu biti i pomične u odnosu na vratilo stroja, kada zakretanjem oko vlastitih osi vrše fino podešavanje opstrujavanjem profila, osiguravajući visoku korisnost turbine u širokom radnom području.

Dvostrukom regulacijom (zakretanjem regulacionih i rotorskih lopatica), moguće je osigurati visoku korisnost u širokom radnom području. Obrada rotorskih lopatica se izvodi na način da se osigura minimalna zračnost te se tako sprečava pretjecanje vode s tlačne strane na pretlačnu stranu lopatice. Promjer rotora može biti od 2 do 8 m. Obično je brzina vrtnje od 79 do 429 obrtaja u minuti. Transport vode iz rotora vrši difuzor, koji smanjenjem izlazne energije povećava iskoristivost turbine.

Što se tiče razvoja ove turbine, 1912. godine prof. Viktor Kaplan prijavljuje svoj prvi patent turbine, a 1925 g. u Austriji je pušteno u pogon nekoliko Kaplanovih turbina.

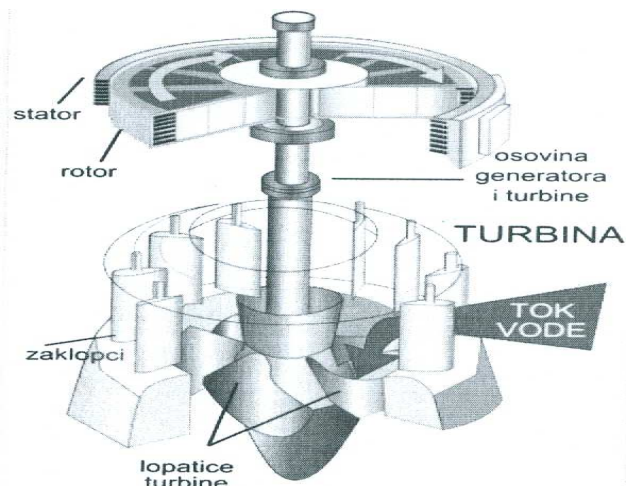
Način rada i najčešće izvedbe Kaplanovih turbina. Glavni vodeni tok kroz Kaplanovu turbinu je aksijalan. Ugao zakreta lopatica rotora određuje se prema otvoru privodnog kola i trenutnom padu. Kombinatorna veza se definiše na način da korisnost bude što veća u svim pogonskim uslovima. Odnos otvora lopatica privodnog i radnog kola kod turbina sa zakretnim lopaticama rotora reguliše se preko posebnog uređaja koji se naziva kulisa. Sistem automatske regulacije turbina s pomičnim lopaticama rotora upravlja i privodnim i radnim kolom – odnosno takve turbine nazivamo dvostruko regulisanim turbinama. Kaplanove turbine spadaju u grupu reakcionih turbina, što znači da se pritisak mlaza vode mijenja kroz turbinu. Turbine s većim padom imaju veću razliku pritisaka između lopatica rotora i difuzora, tako da na lopaticama rotora dolazi do pojave kavitacije. Da bi se povećao stepen iskorištenja Kaplanove turbine i unaprijedila njegoa konstrukcija, u zadnje vrijeme se primjenjuje računarska dinamika fluida. Kaplanove turbine se najčešće koriste kao propelerne turbine, ali postoji i nekoliko drugih izvedbi kao npr. cijevne turbine.

Propelerne turbine. Ovakve turbine nemaju zakretne lopatice rotora, već su fiksne, spadaju u grupu pretlačnih aksijalnih turbina. Primjenjuju se za velike protoke i male geodetske padove (od 1-3 do 60-70 m). Rotor propelerne turbine sastoji se od lopatica radnog kola i glavine rotora. Radno kolo ima 3 do 8 lopatica, pri čemu je broj lopatica veći ako je veći nazivni pad turbine. Voda se na lopatice rotora dovodi aksijalno (u smjeru vratila) privodnim kolom tj. pomičnim lopaticama statora. Promjena protoka odnosno regulacija snage provodi se zakretanjem lopatica privodnog kola, zbog čega se mijenja i ugao strujanja vode na lopatice radnog kola. Propelerne turbine s fiksnim lopaticama nisu elastične u pogonu, pa se grade samo za manje jedinice odnosno u malim HE.

Cijevne turbine. Ovakve turbine i električni generator su u potpunosti uronjeni u protočnu cijev. Cijevne turbine se koriste pri najnižim padovima i velikim protocima, te su pogodne za primjenu na velikim protočnim rijekama. Prednost ove izvedbe je što nema dobavnog spiralnog aparata. Imaju predprivodeće /nepomične/ i privodeće /pomične/ lopatice. Dozvoljavaju dvostruku regulaciju; zakretanjem privodećih i rotorskih lopatica, a posljedica toga je visoka korisnost u cijelom radnom području. Kod ove turbine niskog pada udio kinetičke

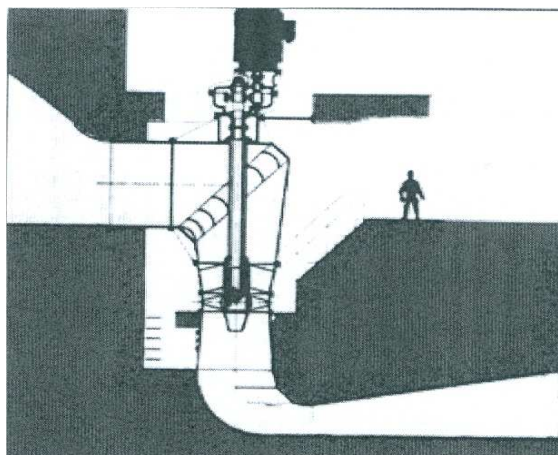
energije s obzirom na raspoloživi pad na izlazu difuzora može iznositi i do 50-60 % , pa se radi toga konstruišu turbine sa minimalnim gubicima pri strujanju, odnosno minimalnom energiju na izlazu iz rotora (osigurava se pravilnom izvedbom difuzora te bezvrtložno strujanje na izlazu iz rotora – strujanje u smjeru ose difuzora). (https://hr.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turbina (5))

Karakteristike Kaplanovih turbina. Iz svega gore navedenog može se reći da dobre hidrodinamičke i specifične konstruktivne karakteristike Kaplan turbina, omogućuju ovim turbinama široku primjenu u oblastima malih padova i velikih protoka, kako u velikim tako i u malim hidrenergetskim postrojenjima. Iako su ove turbine odavno u upotrebi, u posljednjih nekoliko decenija proizašle su mnogobrojne studije i radovi u oblasti hidrauličnih turbina kao posljedica tijesne povezanosti naučnih istraživanja i inženjerskih radova. (Božić i Benišek (6)).



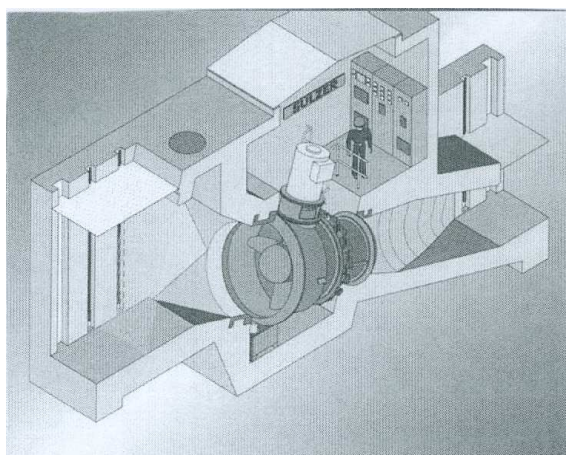
Slika 1 Kaplanova turbina i električni generator u isječenom prikazu

https://hr.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turbina (5).



Slika 2 Kaplanova Propelerna turbina

(Franjić (7))

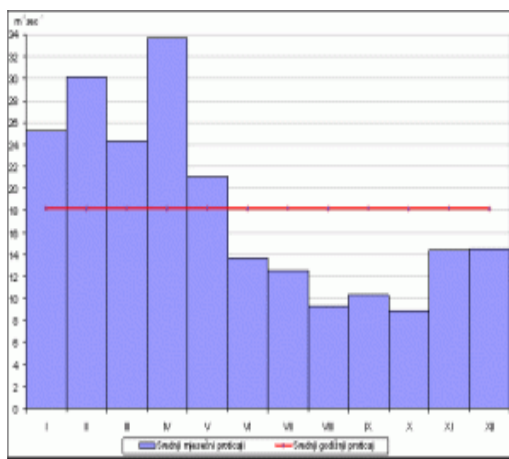


Slika 3 Kaplanova Cijevna turbina

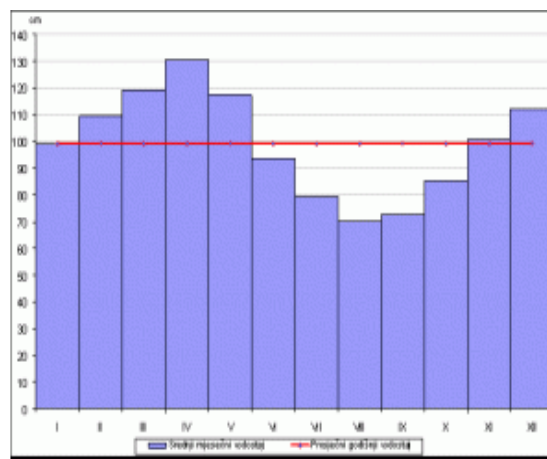
RAZMATRANA LOKACIJA IDEJNE MHE - OPŠTINA VISOKO, RIJEKA FOJNICA , RASPOLOŽIVI ULAZNI PARAMETRI

Fojnička rijeka je rijeka u Bosni i Hercegovini, lijeva pritoka rijeke Bosne. Nastaje na sjeveroistočnim i istočnim obroncima planinskih predjela Vranice, Dobruške Vranice, Pogorelice i Bitovnje na nadmorskoj visini od 1630 m. Ukupna dužina toka na području toka sa izvorišnim krakom toka Jezernice, iznosi 45,74 km, površina sliva jeste 727, 4 km². Sve do naselja Fojnica nosi naziv Dragača, odakle se naziva Fojnička rijeka. Obilježja toka srednje veličine poprima nizvodno od ušća toka Željeznice. Značajnije pritoke na teritoriji SBK su joj još i Lepenica i Kreševka sa desne i Mlava sa lijeve dolinske strane. U većim dolinskim proširenjima su se razvila

naselja i opštinski centri: Fojnica, Kiseljak i Visoko gdje se u centru grada ulijeva u rijeku Bosnu. Godišnji tok vodostaja na Fojničkoj rijeci (podaci iz hidrološke stanice Krupačke stijene) predstavljen je na slici 5.1. Prosječni godišnji vodostaj ima vrijednost od **99,1 cm**, ali je također uočljiva izrazita neravnomjernost u godišnjem toku. Konkretnije, u godišnjem hodu srednjih vodostaja, za razliku od prethodne dvije stanice, mogu se izdvojiti dva karakteristična vremenska intervala unutar kojih su evidentni visoki odnosno sniženi vodostaji. Period visokih vodostaja pada u vremenskom intervalu od februara do maja, sa prosjekom od **119,1 cm**, sa maksimumom u aprilu – **130,5 cm**. Sniženi vodostaji su registrovani u periodu juni – oktobar sa periodskim od **80,3 cm**. Minimum vodostaja nastupa u avgustu kada iznosi svega **70,3 cm**.



Slika 4 Godišnji tok protoka Q [m³/s]



Slika 5 Godišnji tok vodostaja [cm]

V.S. Krupačke stijene (Fojnička rijeka)

Analizom grafikona godišnjeg toka na slici 5 može se uočiti prisustvo još po jednog sekundarnog maksimuma odnosno minimuma vodostaja. Sekundarni maksimum pada na decembar sa vrijednošću od **112,1 cm**, dok sekundarni minimum nastupa u januaru kada mu je vrijednost bliska godišnjem prosjeku – **99,2 cm**.

Godišnji tok protoka na Fojničkoj rijeci je predstavljen na grafikonu na slici 4. Prosječni godišnji srednji protok iznosi $18,2 \text{ m}^3/\text{sec}$. U godišnjem hodu ovog tipa protoka, analogno vodostajima, mogu se izdvojiti dva karakteristična perioda.

Period povišenih vodostaja je vremenski pozicioniran na januar-maj tokom kojeg prosjek iznosi **26,9 m³/sec** sa maksimumom u februaru – **30,1 m³/sec** i aprilu **33,7 m³**. Preostali (duži) dio godine se karakteriše vrijednostima ispod godišnjeg prosjeka. Periodski srednjak iznosi **11,9 m³/sec**, sa minimalnim protoka koji nastaju tokom avgusta – $9,3 \text{ m}^3/\text{sec}$, septembra – **10,3 m³/sec** i oktobra – **8,9 m³/sec**. Ovakav godišnji hod srednjih protoka je posljedica čitavog niza faktora od kojih su najznačajniji fizičkogeografski izraženi preko veličine uticaja klimatskih elemenata (visina padavina, temperature i isparavanja), reljefa (posebno njegove raščlanjenosti), geološke građe, tipova tla i gustine mrežne veze.

Rijeka Fojnica je izrazito bogata ribljim fondom pretežno salomonidnim vrstama ribe kao što su Potočna Pastrmka, Lipljen i Mladica koje nadprosječno ima u ovako maloj vodi. Režim ribolova za ovu rijeku vrijedi kao za sve salomonidne vode u FBiH.

Gornja tačka razmatrane lokacije u naselju Buci jeste **439,65 m** /zahvat/ nadmorske visine a donja **432,72 m** (mjesto predviđeno za gradnju strojare) nadmorske visine. U neposrednoj blizini lokacije prolazi DV 10 kV Buci-Goduša (udaljen oko 300 m).

Krupačke stijene je jedina vodomjerna stanica koja posjeduje relevantne parametre koji mogu poslužiti za hidrološku obradu profila MHE na Rijeci Fojnici u naselju Buci i isti su iskorišteni u ovome radu.

https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina (8).

EKOLOŠKI I OKOLINSKI ASPEKTI I UTICAJ MALIH HIDROELEKTRANA NA ŽIVOTNU SREDINU

Mala hidroenergetska postrojenja, predstavljaju važnu komponentu unutar sistema iskorištavanja i gospodarenja vodnim resursima, usljed mnogih dobrih strana ovakvih postrojenja.

Mala hidroelektrana je takvo postrojenje koje se svojim načinom rada, oblikom i veličinom konstruktivnih elemenata, maksimalno mora uklopiti u okolinu i podrediti ostalim infrastrukturnim objektima i korisnicima prostora i voda, što ukazuje na njen mali uticaj na životnu sredinu.

Prednosti malih hidroenergetskih postrojenja su:

- Svojim radom ne zagađuju vazduh,
- Sprečavaju opasnost od poplava jer omogućavaju regulaciju vodotoka,
- Nakon upotrebe vraćaju vodu nazad u korito tj. ne „troše“ istu nepovratno (ovaj princip je narušen jedino u situacijama kada su male hidroelektrane izgrađene daleko od riječnog korita, ili kada ne vraćaju vodu u isto korito),
- Mogu se koristiti za vodosnabdijevanje i navodnjavanje,
- Pošto su , najčešće, locirane izvan naseljenih mjesta, nivo buke prisutne u mašinskoj zgradi, ispod je dopuštenih i preporučenih nivoa,
- Svojim dizajnom se potpuno mogu uklopiti u pejzaž, tako da su nepovoljni vizuelni efekti svedeni na minimum.

U slučaju da se u sklopu elektrane predviđa akumulacija, ona se može koristiti u npr. Vodoprivredne svrhe (ribnjaci) ili sportsko-rekreativne svrhe, a svojom veličinom ne mogu bitno ugroziti geološko-pedološke karakteristike na kom se nalaze, za razliku od velikih hidroenergetskih objekata.

Male hidroelektrane ne utiču na promjene klimatskih karakteristika područja s obzirom na veličinu vodene akumulacije, kao što je slučaj kod velikih hidroelektrana.

Kod malih HE nema rizika od pojave pobunjivanja seizmičnosti (nema uticaja u akcidentu), jer je visina brane sa svojom akumulacijom mala u odnosu na brane kod velikih hidroelektrana (koje predstavljaju moguću inicijalnu seizmičku tačku).

Da bi se izbjegli štetni uticaji mHE, naročito ako se na jednom manjem vodotoku nalazi više malih hidroelektrana, pri planiranju njihove gradnje posebnu pažnju treba posvetiti:

- Adekvatnom izboru lokacija,
- Protoku vode,
- Riziku od pogrešnog upravljanja resursima,
- Nedostatku biloškog minimuma količine vode,
- Uticaju na floru i faunu,

Određivanje vrijednosti ekološki prihvatljivog protoka zasniva se na definisanju zadržanog dotoka, odnosno „biloškog minimuma“ hidrološkim metodama, kao i provjeri dovoljnosti tako definisanog zadržanog dotoka za određivanje autohtonih zajednica matičnog vodotoka nizvodno od vodozahvata kroz osiguranje osnovnih životnih uslova za vodotok karakterističnih bioindikatora, odnosno ribljih zajednica.

Prema Zakonu o vodama prilikom zahvatanja površinskih voda mora se nizvodno od zahvata obezbijediti garantovani minimum. U Zakonu se pravi razlika između garantovanog i vodnog minimuma. Garantovani minimum je protok koji je nizvodno od brane neophodan za opstanak i razvoj nizvodnih biocenoza, čuvanje kvaliteta vode vodotoka u skladu sa propisima i zadovoljavanje racionalnih potreba nizvodnih korisnika, koji ne smije biti manji od projektovane vrijednosti. Pošto je izostalo donošenje propisa kojim se definiše način određivanja garantovanog minimuma, primjenjuje se praksa zemalja iz okruženja gdje se garantovani minimum ili „garantovani protok“ ili „ekološki održiv protok“ definiše kao protok koji iznosi 10 % od srednjeg višegodišnjeg protoka ili protok tzv. male vode vjerovatnoće pojave 95% na određenom profilu vodotoka. Prilikom izgradnje mHE postoji opasnost od ugrožavanja normalnog života flore i faune. Kako bi se zaštitila populacija riba, potrebno je izgraditi zaobilazne kanale koji će omogućiti ribama da zaobiđu područje mHE. Da bi zaštita bila potpuna poželjno je kod turbina instalirati sonare koji usmjeravaju ribe u zaobilazne kanale (tzv. *Fish Guidance System*):

- Prolaz za ribe sa okomitim otvorima,
- Prolaz za ribe sa rotacijskim otvorima,
- Bio-akustična ograda za ribe.

EKONOMSKI I TEHNIČKI ASPEKTI - INVESTICIONI TROŠKOVI I TROŠKOVI POGONA

Svako energetska postrojenje, osim proizvodnje, također koristi i energiju za vlastiti rad. Ti troškovi se nazivaju pogonskim troškovima. Kod vodosnabdjevačkih sistema u cjevovodima hidraulična snaga, koja se manifestuje porastom pritiska anulira se prigušnim elementima koji su potrošači energije. Nadalje, samo prigušenje pritiska može se također dobiti postavljanjem turbina na pogodna mjesta u cjevovodu i time je iz vodosnabdjevačkog cjevovoda moguće dobiti dio energije potrebne za , npr., pogon pumpi. Ako je moguće dobiti višak energije, ta energija se može dalje eksploatirati ili prodavati čime se minimiziraju pogonski troškovi postrojenja i dodatno proizvodi korisna energija uz ekonomske beneficije.

Problemi vezani za projektovanje i puštanje u rad male HE leže u ekonomskim i zakonodavnim izvorima. Gradnja male HE je ekonomski zahtjevan projekat i danas je u BiH glavni problem nezainteresovanost mjerodavnih tijela za ulaganja u obnovljive izvore energije, što isključuje i potrebno djelovanje državnih organa usmjereno na banke da se otvore ka ulaganju, jer tržišni interes banaka izostaje zbog niskih kamata za ovakve investicije (u svakom slučaju nižih kamata nego za ostale tržišne aktivnosti).

Dodatni problem predstavljaju česti neriješeni imovinsko-pravni odnosi na potencijalnim lokacijama izgradnje malih HE ili implementacije istih u vodosnabdjevačke sisteme kao i neriješena katastarska pitanja i njihovo

sporo rješavanje. Općenito, velike HE imaju malih poteškoća u poređenju sa konvencionalnom generacijom, ali male HE – odnosno vrlo male elektrane i one s malim padom, se mogu normalno nadmetati tamo gdje su uvedene naknade za vanjske troškove povezane sa fosilnim gorivima ili nuklearnom energijom. Početni investicioni troškovi ulaganja po kW su veliki, ali su troškovi rada MHE ekstremno niski, budući da nema potrebe plaćati gorivo. Potreban kapital za MHE zavisi o efektivnom padu, protoku, geološkim i zemljopisnim značajkama, opremi (turbine, generatori i td.) i građevinskim radovima, te o neprekidnosti riječnog toka. Korištenjem postojećih brana, pregrada, rezervoara i jezera može značajno smanjiti ekološki uticaj i troškove. Elektrane s malim padom i velikim protokom zahtijevaju veća početna ulaganja, jer građevinski radovi i turbinska mehanizacija mora podnijeti veći protok vode. Uzevši u obzir 5000 sati punog opterećenja na godinu, investicioni troškovi za malu HE od 100 kW su u opsegu od 0,95 € do 1,8 € po kWh/god., ili od 475 000€ do 900 000 €, dok je za malu HE od 2 MW taj raspon između 0,55 € i 0,75 € po kWh/god., ili između 5,5 i 7,5 miliona €.

Predmetni pogon za lokalitet koji se razmatra u ovome radu spada u 2 kategoriju vodotokova (2500 -4500 €/kW) https://hr.wikipedia.org/wiki/Male_hidroelektrane (1)).

Na slici 6 prikazan je dijagram troškova sa procentualnim učešćem svih radnji potrebnih za izgradnju male HE. Ako pretpostavimo stacionarni i ravnomjerni tok, u dijelu nekog vodotoka, moguće je definisati njegovu snagu preko relacije

$$\Delta P = 9,81 \cdot Q_{sr} \cdot \Delta H \quad (\text{kW}) \quad (5)$$

Odnosno energiju preko relacije,

$$\Delta E = 9,81 \cdot Q_{sr} \cdot \Delta H \cdot T \quad (\text{kWh}) \quad (6)$$

Gdje je

Q_{sr} (m³/s) - srednji protok

ΔH (m) - visinska razlika vodotoka

T (h) - vremenski period

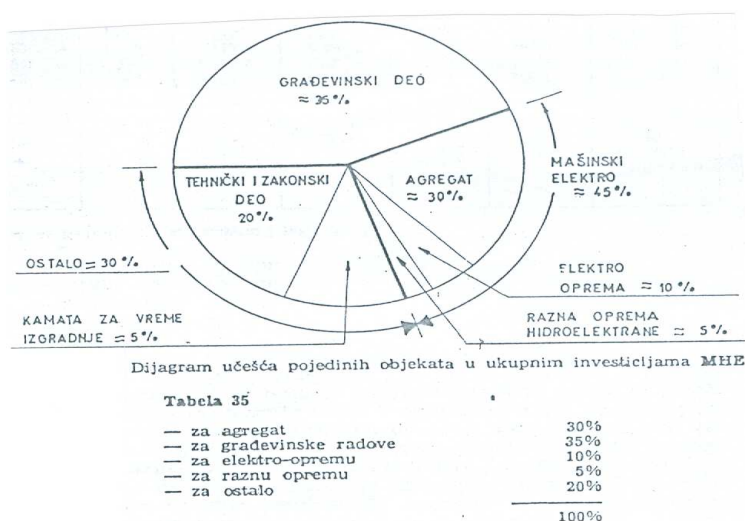
Da bi se izračunao energetska kapacitet potrebno je poznavati funkciju rasporeda protoka duž toka tj. funkcionalnu zavisnost $Q_{sr}=f(L)$ za proučavani vodotok (ona se daje kao skokovita funkcija pošto je analitički izraz teško uspostaviti). (Studija ekonomske opravdanosti gradnje MHE „SENDO“ d.o.o. Sarajevo (9))

Uzimanjem prethodno poznatog podatka za rijeku Fojnicu $Q_{min}=8,9$ m³/s za mjesec oktobar i uzmimo 85 % istog protoka za zahvat /ako se računa 15 % biloški minimum/ i za vrijednost $H_n=6$ m kao raspoloživi neto pad između gornje i donje tačke vodotoka, za razmatranu lokaciju možemo onda izračunati minimalnu iskoristivu snagu P_{min} koju idejna hidroelektrana daje na izlazu transformatora u strojari po osnovu relacije,

$$P_{min} = 9,81 \cdot Q_{min} \cdot H_n \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_C \cdot \eta_T = 9,81 \cdot 8,9 \cdot 0,85 \cdot 6 \cdot 0,87 \cdot 0,90 \cdot 0,99 = 345 \quad (\text{kW})$$

Odnosno godišnja minimalna proizvodnja naše idejne male HE iznosi $E_{min}=1,7$ GWh za 5000 radnih sati.

Proračun troškova investiranja se da uraditi po osnovu modula prikazanog na slici 6 tj. predračun troškova od svih radnji koje sadrži investicija, s tim da se u zbirni trošak investicije dodaju i troškovi pogona. Detaljni proračun hidroenergetskog kapaciteta razmatrane dionice vodotoka rijeke Fojnice i specifikacija svih troškova u cijelosti predviđa detaljna studija u kojoj je sadržan idejni projekat kojemu prethode dozvole i saglasnosti potrebne za gradnju ovakvih vrsta postrojenja. U 2014 godini poticajna otkupna cijena el.energije je iznosila **10,56 pf/kWh** za hidroelektrane do 1 MW instalisane snage (Službene novine FBiH 18/98 (10)), (Odluka o metodologiji FBiH (11)).



Slika 6 Dijagram troškova kod izgradnje mHE (Kercan (7))

SAGLASNOSTI I DOZVOLE POTREBNE ZA IZGRADNJU MHE

Za izgradnju MHE potrebno je pribaviti sljedeće dozvole:

- 1) Odluku opštinskog vijeća o davanju prethodne saglasnosti za dodjelu koncesija za izgradnju male HE
- 2) Prethodna vodna saglasnost izdata od strane nadležnog kantonalnog ministarstva za poljoprivredu, vodoprivredu i šumarstvo.
- 3) Prethodna elektrenergetska saglasnost za proizvođača na distributivnu mrežu.
- 4) Urbanističke i dozvole za gradnju svih objekata koji se planiraju graditi
- 5) Ugovor o priključenju mHE na postojeću ED mrežu
- 6) Uputrebna dozvola izdata od strane opštine mjesta u kojem je objekat izgrađen
- 7) Dozvola od nadležnog operatora

ZAKLJUČAK

Usmjeravanje na korištenje obnovljivih energetskih izvora je u svijetu afirmisano brojnim konvencijama i operacionalizovano mnogim programima, strategijama i planovima. Hidroenergija je veoma fleksibilan obnovljivi izvor energije i sve je više zastupljena. Poseban značaj, danas se u svijetu pridaje malim hidroelektranama, kao veoma značajnim i vrlo atraktivnim objektima, koji, kao obnovljivi energetski izvor, mogu predstavljati značajan dopunski resurs električne energije jedne države. Male hidroelektrane (MHE), posebno na području Bosne i Hercegovine čiji vodotokovi nisu dovoljno iskorišteni, nude velike mogućnosti za ulaganje i razvoj. Jedan od takvih neiskorištenih hidropotencijala predstavlja i vodotok rijeke Fojnice na teritoriji Opštine Visoko.

U ovom radu razmotreni su tehnički i ekonomski aspekti mogućnosti izgradnje i eksploatacije MHE na rijeci Fojnici, na području Opštine Visoko, kao distribuiranog izvora električne energije priključenog na postojeću infrastrukturu elektroenergetske distributivne mreže.

Polazeći od pretpostavke da su sve zakonom propisane saglasnosti i dozvole ishodovane, na bazi ulaznih parametara hidroenergetskog potencijala rijeke Fojnice izvršen je proračun instalisane snage (345 kW) i električne energije (1,7 GWh godišnje) kao temeljnih parametara opravdanosti izgradnje predmetne MHE.

Zatim su definisani tip i atributi postrojenja MHE, te vodozahvata sa dovodnim kanalom. Za ovu MHE preferira se Kaplanova turbina potopljene izvedbe ugrađena u dovodni kanal.

U radu se razmatra i mogući uticaj na okolinu i prezentiraju se sve moguće prepreke koje se mogu pojaviti u pripremi, realizaciji i eksploataciji predmetne MHE.

Može se reći da ovakav uvodni prikaz sa prezentovanim pokazateljima može poslužiti kao osnova za razmatranje opravdanosti investiranja u distribiranu proizvodnju el.energije (MHE) na rijeci Fojnici. Dalje ostaje da se uspostavi korelacija između mogućeg načina finansiranja projekta-obračun kredita ili vlastitih sredstava potencijalnog investitora-životni vijek objekta-otkupna cijena električne energije-ukupni godišnji prihodi-ukupni rashodi (troškovi koncesije, vodne naknade, obračun plata, održavanje, osiguranje odnosno ukupni godišnji troškovi poslovanja).

LITERATURA

1. https://hr.wikipedia.org/wiki/Male_hidroelektrane, 2016
2. https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina, 2016
3. <https://sr.sribd.com/Seminarski-Proračun-Malih-HE>, 2016.
4. Kercan V., 1979, "Male hidrocentrale", Turboinštitut, Ljubljana
5. https://hr.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turbina, 2016
6. Božić I., Benišek M., 2013 „Numerička Simulacija strujanja u modelu Kaplan Turbine“ , Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet
7. Franjić K., 2010, „Hrvatski hidropotencijali i male hidroelektrane“
8. https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina, 2016
9. Studija ekonomske opravdanosti gradnje MHE „SENDO“ d.o.o. Sarajevo, 2014
10. Zakon o vodama (Sl.novine FBiH 18/98 – član. 180 stav 3. i Stav 4.)
11. Odluka o metodologiji utvrđivanja otkupnih cijena el.energije Vlade FBiH, 2011