

IZBOR I KONSTRUKCIJA TURBINE ZA MIKRO HIDROELEKTRANU „JEVTIĆ” NA CRNOM TIMOKU

Miroljub Jevtić i Nikola Maričić¹

SAŽETAK:

U radu se opisuje način izbora turbine za konkretnu lokaciju mikro hidroelektrane na Crnom Timoku, primenom metode nomograma. Zatim se daje način skaliranja dimenzija postojeće, 5 puta manje, cevne turbine radi konstruisanja potrebne turbine. Procenjuje se i daje u vidu Q-H dijagrama područje upotrebe izvedene cevne turbine. Na kraju se eksperimentalno proveravaju procenjeni parametri turbine.

Ključne reči: *mikro hidroelektrana, cevna turbina, asinhroni generator*

1. UVOD

Mikro hidroelektrana „Jevtić” na Crnom Timoku konstruisana je i sagrađena u okviru projekta koji je finansiran od strane Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine. Prva faza mikro hidroelektrana (MHE) sadrži jedan agregat: asinhroni generator – cevna propelerna turbina i ima instalisanu snagu 38 kW. U drugoj fazi projekta ugradiće se još dva agregata, tako da će ukupna instalisana snaga MHE iznositi 100 kW. MHE je sagrađena na postojećoj brani napuštenog sistema za navodnjavanje, čija je visina 1,5 m.

2. IZBOR TURBINE

Pri izboru turbine korišćen je nomogram prikazan na slici 1 [1,2]. Postupak je sledeći. Na nomogramu je označen raspoloživi neto pad, $H_{min}=1,5$ m (tačka A na slici 1a), a zatim,

¹ Prof. dr Miroljub Jevtić i prof. dr Nikola Maričić, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, 38220 Kosovska Mitrovica, Kneza Miloša 7.

1. prema raspoloživom protoku u reci izabran je protok kroz turbinu od 2,2 m³/s i izračunata izlazna snaga na osovini (tačka B na slici) iz izraza:

$$P_t = \eta 10 Q_t H_n, \quad (1)$$

gde je Q_t – protok kroz turbinu (2,2 m³/s); H_n – neto pad (1,5 m). U izrazu (1) stepen iskorišćenja se pretpostavlja, zavisno od očekivanog tipa turbine (on se kreće od 65% do 80%, a za reakcijske turbine on iznosi 80 %).

2. Izabrana je potrebna brzina obrtanja turbine, N_t , s obzirom na sinhronu brzinu obrtanja odabranog asinhronog generatora (750 min⁻¹). Brzina obrtanja turbine od 200 min⁻¹ je najniža brzina koja može biti izabrana za zadatu brzinu asinhronog generatora (s obzirom na optimalni prenosni odnos od oko 3,5 za slučaj primene pljosnatog kaiša). Povučena je linija iz izabrane tačke (tačka C na slici 1a), koja je normalna na pravu snaga-pad (funkciju $P_t(H_n)$) između tačaka A i B. Ova prava ujedno određuje specifičnu brzinu turbine N_s koja je označena tačkom D.

Nomogram sa slike 1a je omogućio izbor brzine obrtanja osovine turbine, kao i potrebno povećanje brzine pomoću multiplikatora.

Na slici 1b dat je dijagram za određivanje prečnika radnog kola (D_e) turbine. On se koristi na sličan način kao onaj na slici 1a (redosled proračuna tačaka na slici 1b je A→B→C→D).

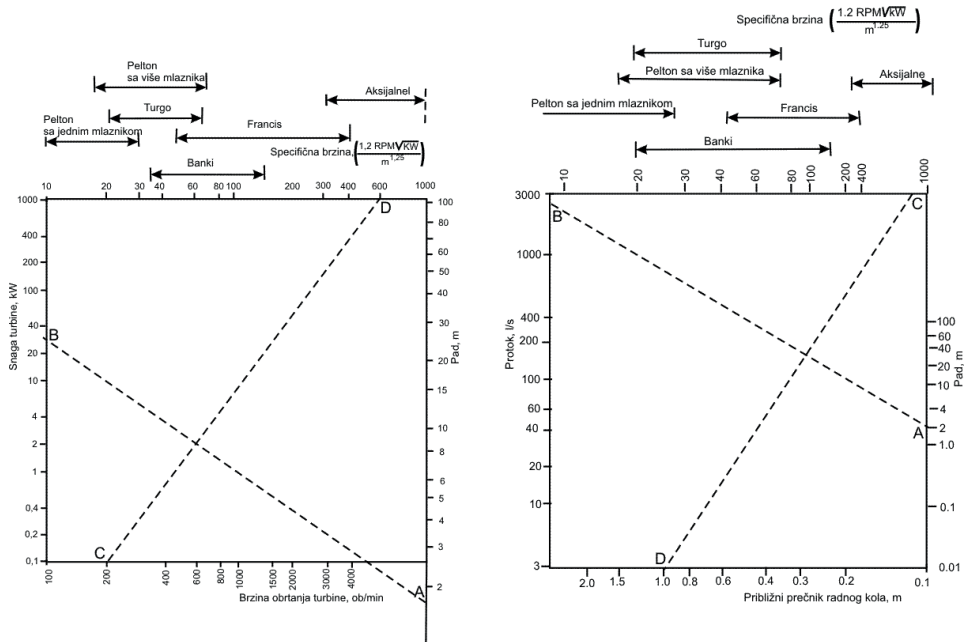
Na osnovu prethodne analize odabran je tip reakcijske aksijalne turbine: cevna propelerna neregulisana S turbina, prečnika radnog kola 1m, koju je trebalo konstruisati i izraditi u okviru projekta.

3. IDENTIFIKACIJA GEOMETRIJE RADNOG KOLA TURBINE

Na raspolaganju je bila mala cevna turbina prečnika radnog kola 200 mm (slika 2), koja je iskorišćena kao model za projektovanje realne turbine prečnika radnog kola 990 mm.

Merenje geometrije radnog kola realizovano je na troosnoj numeričkoj mernoj koordinatnoj mašini DEA EPSILON 2304. Računarska podrška mernoj mašini se ostvaruje pomoću računara MICRO PDP 11. Tačnost merenja je 0,005 mm. Obrada dobijenih rezultata merenja izvršena je CAD/CAM paketom UNIGRAPHIC II [3].

Na bazi izmerenih koordinata markiranih tačaka na lopatici turbine generisani su numerički trodimenzijski modeli lopatice i obrtnog kola raspoložive cevne turbine (modela). Određene su i masene karakteristike modela radnog kola i data pretpostavka masenih karakteristika skaliranog realnog radnog kola. Na osnovu rezultata merenja, softverskim paketom SOLID EDGE 1.6 generisana je geometrija modela obrtnog kola turbine.



Slika 1. Nomogrami za izbor osnovnih karakteristika turbine i radnog kola

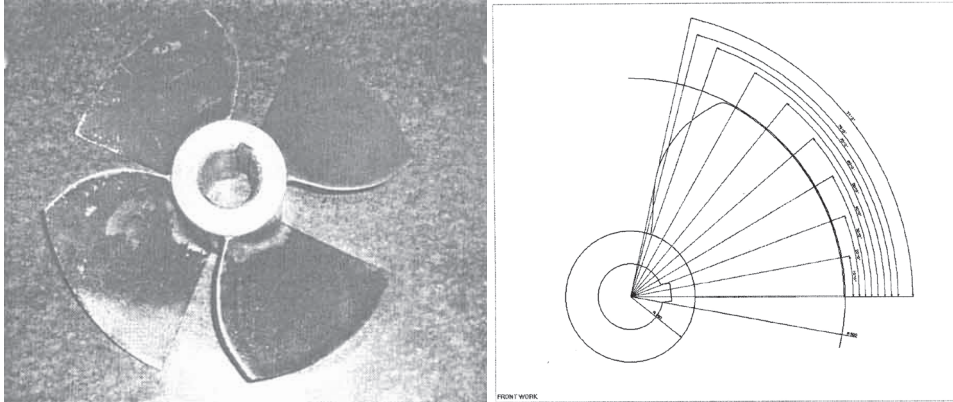
Posle izvršenih merenja i definisanja trodimenzijskog modela radnog kola turbine izvršeno je skaliranje njegovih dimenzija. Dimenzije su uvećane 4,95 puta. Na slici 3 dat je grafički prikaz lopatice na kojoj su definisani preseći za koje je modelirana površ 4,95 puta uvećane lopatice. Pošto su lopatice realne turbine rađene kovanjem bilo je potrebno odrediti geometriju uvećane površi lopatice. Lopatice su urađene od čelične ploče debljine 12 mm.

Dobijeni podaci su iskorišćeni za:

1. Proveru geometrije alata za kovanje lopatice;
2. Modeliranje geometrije realne turbine i proračun strujanja vode kroz cevnu turbinu metodom konačnih zapremina softverom FLOWLAB 1.2;
3. Modeliranje i proračun dinamike sprege radnog kola i generatora.

4. PROCENA KARAKTERISTIKA IZVEDENE CEVNE TURBINE

Da bi se procenile karakteristike izvedene turbine, korišćeni su dobijeni geometrijski i maseni podaci izvedene turbine [4,5] a od hidrauličnih karakteristika modelske turbine korišćen je deo podataka dobijen merenjem za jedan radni režim, koji je dat od strane proizvođača.



Slika 2. Radno kolo modela turbine

Slika 3. Grafički prikaz lopatice na kojoj su definisani preseki za koje je modelirana površ 4,95 puta uvećane lopatice

Da bi se izvršilo predviđanje područja upotrebe izvedene turbine, razvijen je odgovarajući softver pomoću koga je direktno dobijeno područje upotrebe u obliku dijagrama u (Q, H) sistemu. Upotrebljivost razvijenog softvera verifikovana je na proračunu područja upotrebe cevnih turbina drugih proizvođača [6]. Pri tome su korišćene relacije:

- za ukupnu snagu P na spojnici vratila turbine i unutrašnju snagu P_i na izlazu vratila iz turbine:

$$P = \eta \rho g Q H = \eta \rho H Y \quad P_i = \eta_i \rho g Q H = \eta_i \rho H Y \quad (2)$$

gde su: η , η_i – ukupni i unutrašnji stepen iskorišćenja turbine ($\eta = \eta_m \eta_i$, gde je $\eta_m = 0,9$); Q – protok vode u m^3/s ; ρ – gustina vode u kg/m^3 ; H – neto turbin-ski pad vode u m ; $g = 9,81 m/s^2$ – ubrzanje zemljine teže; $Y = g H$ – jedinični neto rad u J/kg .

- za korelaciju između modelske (indeks M) i odgovarajuće (izvedene) turbine, dobijenu iz dimenzijske analize teorije sličnosti [7]:

$$\left(\frac{nD_1}{\sqrt{H\eta_h}} \right)_M = \frac{nD_1}{\sqrt{H\eta_h}} = const.;$$

$$\left(\frac{Q\eta_Q}{D_1^2 \sqrt{H\eta_h}} \right)_M = \frac{Q\eta_Q}{D_1^2 \sqrt{H\eta_h}} = const. \quad 3)$$

gde su h_Q - volumetrijski gubici ($h_Q \approx 1$), $D_{1,M}$, D_1 - poznate vrednosti prečnika radnog kola modelske i izvedene turbine; $(\overline{n, Q, h_h})_M$ - poznate vrednosti parametara modelske turbine; (H, n, Q, η_h) - parametri izvedene turbine; η_h - hidraulični stepen iskorišćenja;

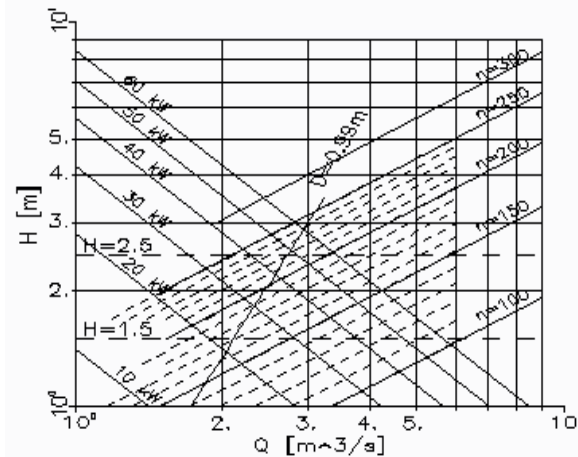
- za hidraulični stepen iskorišćenja turbine [7]:

$$\eta_h = 0.8008 + 4 \cdot 10^{-10} \left(D_1 \frac{\sqrt{2gH}}{\nu} - 2.02 \cdot 10^6 \right) \quad (4)$$

gde je ν - kinematička viskoznost vode.

Iz relacije (3), za različite neto padove H izvedene turbine, određuju se vrednosti $(\overline{Q, h_h})$. Na osnovu (2), za poznato $(\overline{Q, h_h})$ direktno se izračunava unutrašnja $P_i = h_i r Q Y = h_h r Q Y$ i ukupna $P = \eta P_i$ snaga izvedene turbine, odnosno područje upotrebe izvedene neregulisane turbine za $D_1 = const$.

Na osnovu navedenog proračuna i odgovarajućeg softvera određeno je područje upotrebe izvedene neregulisane cevne turbine prečnika $D_1 = 0,99$ m, koje je dato u vidu dijagrama na slici 4.



Slika 4. Procenjeno područje upotrebe izvedene cevne neregulisane turbine.

5. REZULTATI PROVERE PARAMETARA MHE U TOKU RADA

Na početku rada MHE izvršena je provera parametara sistema: turbina – mehanički prenos – generator. Za ostvareni neto pad od 2,5 m (brana sa dodatim ustavama), dobijena je snaga asinhronog generatora od 38 kW. Proizvođač modela turbine (sa radnim kolom prečnika 200 mm) dao je, za određeni radni režim [4], ukupni stepen iskorišćenja (turbina - generator) 0,6. Pri tome, turbina i generator

su bili spregnuti direktno na osovini, bez mehaničkog prenosa. U slučaju ugrađene turbine (prečnika radnog kola 998 mm), „efekat razmere” [7] povećava stepen iskorišćenja ali ga, istovremeno, prenos pomoću remenica smanjuje. Sa slike 4 sledi da za pad od 2,5 m maksimalni protok kroz turbinu iznosi 2,5 m³/s. Primeenom izraza (1), za električnu snagu od 38 kW (koja je izmerena), ukupni stepen iskorišćenja ugrađenog agregata je 0,6. Prema tome, dobijen je isti stepen iskorišćenja kao kod sistema: model turbine – generator.

6. ZAKLJUČAK

Realizovani model za izbor i konstrukciju turbine MHE sadrži primenjenju metodu nomograma za izbor tipa turbine, metodu skaliranja i primenu teorije sličnosti pri konstrukciji turbine, procenu područja upotrebe izvedene turbine i eksperimentalnu proveru njenih eksploatacionih parametara.

7. LITERATURA

[1] A.Harvey, A.Brown, P.Hettiarachi and A.Inversin, *Micro Hydro Design Manual. A guide to small-scale water power scheme*. Intermediate Technology Publications, London, UK, 2000.

[2] A.Sarić i M.Jevtić, *Izbor turbine i generatora za mikro hidroelektrane*, Zbornik XXVII Savetovanja JUKO CIGRE, Zlatibor, 2005, str. 98-105.

[3] *** Tehnička informacija, Vojno-tehnički institut, Žarkovo, 1992.

[4] M. Jevtic, *Razvoj modela mikro hidroelektrane na brani sistema za navodnjavanje sa ispitivanjem i analizom njegovog rada u distributivnom sistemu – konačni izveštaj o realizaciji Projekta*, Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine, Beograd, 2006.

[5] N. Maričić, *Procena karakteristika izvedene cevne neregulisane mikro hidroturbine*, Elektroprivreda, 58(2006)3, pp 48-53.

[6] *** *Zgradimo majhno hidroelektrano, 3.del – Turbine in pomožna oprema*, Zveza organizacij za tehničko kulturo Slovenije, Ljubljana, 1983.

[7] M.Benišek, *Hidraulične mašine*, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1998.

**SELECTION AND CONSTRUCTION OF TURBINE FOR MICRO
HYDRO POWER PLANT „JEVTIĆ” ON CRNI TIMOK**

ABSTRACT:

The method of turbine type selection by use of nomogram, for given micro hydro power site on Crni Timok, is described in the paper. The method of scaling of dimensions of existing, 5 times smaller, pipe turbine is given for the designing of turbine. The area of use is predicted and given in form of Q-H diagram. At the end, the result of testing of parameters of constructed pipe S-turbine is given.

