

UDK 621.224.24

Razvoj malih francisovih turbin

FRANC SCHWEIGER — JANEZ GREGORI

0. UVOD

Industrijski razvoj in velika poraba električne energije v naseljih in mestih nas silita k izkoriščanju še tistih virov, ki so ostali nekako zanemarjeni. V to skupino spadajo predvsem mali hidroagregati, ki izkoriščajo naravni vir energije manjših pretokov in hroudournikov. Moč posameznega agregata je sicer razmeroma majhna, vendar pa pomeni razpoložljiv celotni hidropotencial malih virov znaten prispevek k energetskemu stanju. Zato so posamezne dežele, kakor tudi mi sami, začeli obnavljati stare enote in razvijati nove. Da se je to delo uspešno razvijalo, so bili potrebni hidrometeorološki podatki, ki dajejo osnovno obvestilo o možnosti postavitve takšnih agregatov. Glede na ugotovljene pretoke Q (m^3/s) in padce H (m) na posameznih vodotokih dobimo ustrezne tipe malih agregatov z značilnimi oblikami. Ta razmišljanja vodijo do poenostavitve mnogih elementov malih turbin, hkrati pa je izkoriščanje majhnih vodotokov prineslo še stranske pozitivne vrednote:

- pozitivni vplivi na oddaljena naselja, saj imajo vir energije v neposredni bližini ob ugodni napetosti;
- pri izdatnejši akumulaciji je mogoč razvoj lokalnega turizma z zaposlovanjem ljudi iz okolice;
- urejanje hroudournikov in erozijskega delovanja v času večjih pretokov;
- izdatno mešanje vode in zraka, kar se pokaže v ugodnejši biološki strukturi mečanice in življenja v vodi.

Tehnične pogoje, povezane z ekonomskimi, pa strnemo lahko za male turbine takole:

- ekonomska izvedba, ki narekuje poenostavljeno oblikovanje vseh elementov malega agregata;
- sprejemanje posameznih tipov malih enot, ki s primernim izkoristkom pokrivajo območje za izbrani pretok in padec;
- možnost prilagoditve enote terenskim razmeram ob primerni ceni;
- preprosta regulacija z možnostjo vključitve na mrežo ali samostojno obratovanje;
- prednost akumulacije vode in njena izraba v kmetijstvu.

V tej študiji bomo podali način in popis osnovnih parametrov, ki določajo malo turbino. Uporabili bomo statistično analizo za določitev posameznih veličin, kar pomeni optimalno rešitev problema. Rezultati te analize bodo v posebno pomoč vsem, ki jih zanima ta problematika.

1. PARAMETRI MALE FRANCISOVE TURBINE

Izhodišče za določanje osnovnih parametrov male francisove turbine je Eulerjeva turbinska enačba. Posamezni členi v Eulerjevi enačbi so izraženi s teoretičnimi hitrostmi pri vstopu in izstopu iz rotorja. Dejanske hitrosti v rotorju pa so zaradi viskoznosti toka in hrpavosti sten različne in povezane z neizogibnimi izgubami ter spremembami smeri toka. Razlike med teoretičnimi vrednostmi in dejanskimi hitrostmi je mogoče ugotoviti samo eksperimentalno z meritvijo. Takšen način je razmeroma drag, časovno omejen in zahteva laboratorijske postaje z merilno opremo. Mnogi izdelovalci velikih vodnih agregatov so uporabili že sprejete osnovne tipe turbin, preizkušene na modelni velikosti, kot izhodišče za oblikovanje malih turbin. Modeli velikih turbin so izoblikovani zelo natančno, pri čemer so uporabljene različne teoretične metode. Rezultati takšnega načina so splošne prostorske ploskve, ki sestavljajo pretočni kanal turbine. Izdelava takšnih rotorjev je izredno draga. S poenostavitvijo lopatičnih kanalov z geometrijskimi ploskvami stožcev in valjev izdelavo izredno poenostavimo, pri čemer delno odstopamo od optimalnih pretočnih razmer. To se pokaže v določenem zmanjšanju izkoristka turbine, kar pa je sprejeto kot ekonomsko upravičljivo.

V našem načinu določanja osnovnih veličin rotorja bomo skušali zajeti izkušnje vseh izdelovalcev in njihove izsledke uporabiti kot izhodišče za oblikovanje malih turbin. Zbrali bomo statistične podatke že izvedenih agregatov in jih ustrezno ovrednotili. Tip turbinskega stroja je določen in oblikovno podan s tipsko vrtilno hitrostjo, ki je podana z enačbo:

$$n_q = \frac{n Q^{0,5}}{H^{0,75}} \quad (1.1),$$

kjer pomenijo: H — padec v m, Q — pretok v m^3/s , n — vrtilno hitrost v min^{-1} .

V enačbi za n_q so vsi parametri, ki so značilni za turbinski stroj.

Enačbo (1.1) pa lahko izrazimo tudi v brezdimenzijski obliki, in sicer:

$$\sigma = \frac{\varphi^{0,5}}{\psi^{0,75}} = 0,00634 n_q \quad (1.2),$$

kjer je σ — tipsko število.

Za širšo uporabnost bodo nekateri parametri podani v brezdimenzijski obliki, in sicer:

$$\psi = \frac{gH}{K_{\psi} n^2 D_R^2} \text{ — energijsko število} \quad (1.3)$$

$$\varphi = \frac{Q}{K_{\varphi} n D_R^3} \text{ — pretočno število} \quad (1.4),$$

kjer pomenijo: D_R — premer rotorja, K_{φ} , K_{ψ} — konstanti.

Parametre, ki jih bomo podrobno obravnavali, lahko razdelimo v dve osnovni skupini, torej:

- hidravlično-energijske parametre,
- geometrijske parametre.

Obe skupini parametrov popolnoma določata malo turbino, tako po dimenzijah kakor tudi po njihovih hidravličnih značilnostih.

Podatke, zbrane iz znanih agregatov, bomo vnašali v diagrame in jih po metodah statistike ovrednotili. Polju točk, ki ga predstavljajo podatki, določimo regresijsko krivuljo.

Padec H je osnovni hidravlični parameter, ki ima pomembno vlogo pri projektiranju in je tesno povezan s tipsko vrtilno hitrostjo, torej lahko pišemo:

$$H = f(n_q) \quad (1.5).$$

Enačba pove, da izbranemu padcu pripada določena tipska vrtilna hitrost, pri čemer pa se dana povezava z razvojem spreminja.

Dalje bomo podali brezdimenzijske parametre v odvisnosti:

$$\psi = f(n_q) \quad (1.6),$$

$$\varphi = f(n_q) \quad (1.7).$$

Podobno kakor smo v enačbi (1.2) podali tipsko število, sedaj povežemo hidravlične in geometrijske parametre in jih skupaj prikažemo v diagramu. Rezultat te povezave je tipski premer rotorja turbine, ki ima obliko:

$$\vartheta = \frac{\varphi^{0,25}}{\psi^{0,5}} = \frac{K_{\vartheta} D_R (gH)^{0,25}}{Q^{0,5}} \quad (1.8).$$

K_{ϑ} je konstanta.

Iz obeh enačb (1.2) in (1.8) vidimo, da sta vrtilna hitrost in tipski premer funkciji energijskega in pretočnega števila, torej imamo:

$$\vartheta = f(\sigma) = f(\varphi, \psi) = f(n_q) \quad (1.9).$$

Oba parametra, enačbi (1.2) in (1.8), sta funkciji energijskega in pretočnega števila in ju lahko predstavimo v skupnem »tipskem grafu«. Jasno pa je, da ostane oblikovanje rotorjevega kanala na voljo konstrukterju, ki mora upoštevati tudi razpoložljivo tehnologijo.

2. OPTIMIZACIJA PARAMETROV MALIH FRANCISOVIH TURBIN

Zbrane podatke smo uporabili iz znanih malih agregatov za nadaljnjo analizo in oblikovanje grafov. Ti grafi naj uporabnikom pokažejo razvoj malih agregatov kakor tudi izhodišče za njihovo dimenzioniranje. Dalje želimo poudariti razliko v oblikovanju turbin glede na njihovo ustvarjeno moč. Tak postopek je nujno potreben, saj obnovljena moč turbine pomembno vpliva na izbiro nekaterih parametrov. Tako mora projektant upoštevati predvideno moč turbine in razpoložljivi padec, da pravilno izbere tipsko vrtilno hitrost, ki narekuje osnovno obliko male turbine in njenih komponent. Po zbranih podatkih za male francisove turbine smo z uporabo statistike dobili naslednje regresijske funkcije:

$$H = \frac{22000}{n_q^{1,45}} \quad (2.1),$$

za območje moči 1 MW < P < 2 MW oziroma

$$H = \frac{7500}{n_q^{1,45}} \quad (2.2)$$

za območje moči P < 1 MW.

Premik v odvisnosti $H = f(n_q)$ glede na območje moči je znaten in jasno razviden iz dveh analitičnih izrazov v enačbah (2.1) in (2.2). Podatki $H = f(n_q)$ omogočajo, da izberemo za določen padec in območje moči najprimernejši tip stroja.

Za nadaljnje študije pa pomeni brezdimenzijski prikaz posameznih parametrov posebno prednost. Tu lahko vidimo predvsem razvoj posameznih tipov malih francisovih turbin in njihov vpliv na osnovne konstrukcijske elemente.

Vrednost energijskega števila, ki je proporcionalen s padcem H , pa dobi vrednost:

$$\psi = \frac{530}{n_q^{1,4}} \quad (2.3).$$

Podobno izrazimo pretok Q s pretočnim številom kot funkcijo $\varphi = f(n_q)$, pri čemer dobimo po statistični metodi konstantno vrednost, in sicer:

$$\varphi = 0,338 \quad (2.4).$$

Pretočno število φ je neodvisno od tipske vrtilne hitrosti, kar se kaže v izrazito poenostavljeni odvisnosti od višine rotorjevega kanala.

Z združitvijo energijskega in pretočnega števila v skupni graf dobimo najpomembnejšo brezdimenzijsko povezavo $\vartheta = f(\sigma)$, ki omogoča dimenzioniranje male turbine, torej:

$$\vartheta = \frac{1,475}{\sigma^{0,3}} \quad (2.5)$$

Ovrednotenje parametrov ϑ in σ pri znanih optimalnih podatkih da polje točk, ki ga statistično obdelamo. Rezultat te statistične analize je iskana funkcija, izražena v enačbi (2.5). Tako dobimo »tipski graf«, ki povezuje tip hidravličnega stroja z njegovimi geometrijskimi parametri. Povezava $\vartheta = f(\sigma)$ pa hkrati pomeni tako optimalno statistično vrednost doslej izvedenih malih francisovih turbin. Enačbo (2.5) oziroma ustrezní graf rabi za izračun premera rotorja po enačbi (1.8), namreč:

$$D_R = \frac{\vartheta Q^{0,5}}{K_{\vartheta} (gH)^{0,25}} \quad (2.6)$$

pri znani tipski vrtilni hitrosti in izračunanem tip-skem premeru rotorja.

Uvodne študije regresijskih funkcij za energijsko in pretočno število malih francisovih agregatov kažejo tesno povezanost teh števil z ustreznimi števili za velike francisove turbine. Ta informacija, čeprav začetna, potrjuje zanesljivost rezultatov, dobljenih za male turbine.

Razvidno je, da so mnogi konstrukterji uporabili brezdimenzijska števila in razmerja, ki veljajo za velike turbine za izračun malih turbin s primerno oblikovno poenostavitvijo.

3. SKLEP

Ta študija je statistično ovrednotenje podatkov, zbranih po sedanjih agregatih in vpogled v razvojno smer malih francisovih turbin. Hkrati tudi ugotovljamo dosežke na tem področju in razvoj posameznih izdelovalcev. Zbrani podatki se nanašajo na optimalno točko izkoristka stroja, tako da pomeni regresijska krivulja povprečje večine obravnavanih malih francisovih turbin. Rezultate lahko uporabimo za hitro ocenitev osnovnih turbinskih parametrov.

Dosežke dela lahko strnemo v naslednje sklepe:

- statistična analiza zbranih podatkov, skupaj z regresijskimi funkcijami, daje zanesljivo informacijo o malih francisovih turbinah;
- predstavljeni rezultati omogočajo zanesljivo spremljanje razvoja malih agregatov;
- energijski parametri so podani v funkcijski odvisnosti $H = f(n_q)$, $\psi = f(n_q)$ in $\varphi = \text{konst}$;
- tipski premer $\vartheta = f(n_q)$ združuje energijske in geometrijske parametre v tipski graf, ki podrobno popiše rotor turbine;
- enačba (2.6) omogoča izračun premera rotorja male francisove turbine ob znanem tipskem premeru rotorja, enačba (2.5).

Druge osnovne veličine rotorja lahko izračunamo iz geometrijskih razmerij, podanih za velike turbine. Tak način je upravičen, saj se tudi parametri, podani v tej študiji, dobro ujemajo z rezultati za velike turbine.

Podana študija skupaj z rezultati omogoča projektantom in raziskovalcem hitro orientacijo in vpogled v razvojne smeri po svetu, kakor tudi presojo o lastnem napredku na področju malih francisovih turbin.

4. LITERATURA

- 111 Schweiger, F.-Gregori, J.: Developments in Francis turbines. Water Power and Dam Construction. August 1985.
- 121 Schweiger, F.-Gregori, J.: Analysis of small hydro turbine design. Small hydro power 1990. WP and DC.
- 131 Schweiger, F.-Gregori, J.: Sodoben prijem in smer-nice ob izbiri francisove turbine. Strojniški vestnik. Ljubljana 1987/7-9. str. 109-116.
- 141 Schweiger, F.-Gregori, J.: Development in the Design of Water turbines. Water Power and Dam Construction. May 1989.
- 151 De Siervo, F.-De Leva, F.: Modern trends in selecting and design Francis turbines. Water Power and Dam Construction. August 1976.

Naslava avtorjev: prof. dr. Franc Schweiger, dipl. inž.

Fakulteta za strojništvo v Ljubljani in

mag. Janez Gregori, dipl. inž.

NOELL, Ženeva (Švica)

Prejeto: 11.1.1991