

UDK 621.224—5:621.311.21

## Uporabnost majhnih vodnih turbin z različnimi izvedbami regulacije

LEOPOLD ŠOLC

### Namen

Do nedavna smo majhne hidroelektrarne postavljali izključno v krajih, kamor ni segala javna električna mreža. V krajih, priključenih na mrežo elektrogospodarstva, jih na splošno nismo gradili, ker njihova energija ne bi bila cenejša od energije iz mreže. Znatna podražitev vseh vrst goriv za termoelektrarne pa gradnjo majhnih hidroelektrarn sedaj gospodarsko upravičuje in potreba po lajšanju energetske krize jo tudi terja.

Ne glede na sedanje blažje gospodarske kriterije moramo slej ko prej postavljati majhne hidroelektrarne čim ceneje. Le varnost obratovanja in kakovost energije ne smeta utrpeti škode.

Vodna turbina pomeni po svoji nabavni ceni pomemben delež naložbe. Zato so upravičena in potrebna prizadevanja, da turbine za majhne hidroelektrarne čim bolj poenostavimo in s tem pocenimo. Tu mislimo predvsem na poenostavitev regulacije ali celo njeno opustitev, kar največ prispeva k znižanju cene.

Poenostavitev regulacije je mogoča v več stopnjah, katerih vsaka ustreza določenemu načinu obratovanja. Poenostavitev je sprejemljiva, če od turbine in priključene elektrostrojne opreme glede na kakovost obratovanja in količino proizvedene energije ne pričakujemo več, kakor poenostavitev lahko zagotavlja.

V tem članku bomo razdelili majhne turbine na več kategorij glede na izvedbo njihove regulacije in za vsako kategorijo opredelili področje njene uporabe. Ob tem bomo upoštevali druge dejavnike, ki soodločajo o sestavi in možnosti uporabe opreme, pripadajoče posameznim kategorijam. Obravnavali bomo tudi ceno opreme. Zaradi skoraj popolnega pomanjkanja podatkov o cenah opreme, bomo prisiljeni primerjati nabavne cene z ohlapnimi relativnimi merili. Podobna merila bomo uporabljali za oceno vrednosti majhne hidroelektrarne s splošnega družbenega vidika, to je glede na del celotne letne energije vodnega toka, ki ga agregat lahko predela v električno energijo.

Celovita obravnava vseh dejavnikov, ki vplivajo na izbiro opreme, naj za določen način obratovanja prispeva k optimalni izbiri kategorije turbine in druge opreme majhnih hidroelektrarn.

### Kategorije turbin in možnosti za njihovo obratovanje

Najpreprostejše so turbine z nepomičnimi dovodnimi organi. Šobe peltonovih turbin izdelamo npr. brez igel, vodilnike francisovih in propeler-

skih turbin sestavimo iz negibljivih lopatic, krilom propellerske turbine ne damo možnosti za spremembe naklonskega kota, šob bankijevih turbin ne opremimo z regulacijskimi jeziki itn. Turbine te kategorije so torej brez regulacije in kot take najcenejše.

Turbine brez regulacije lahko obratujejo samo s pretokom, ki ga določajo padec, hitrost vode v dovodnem organu (šobi, vodilniku) in njegov svetli prerez. Pretoka s turbino samo ni mogoče zmanjšati, niti njene moči. Turbina mora torej stalno obratovati s polno močjo. Če za polni pretok po strugi ne doteka dovolj vode, se izkoristek turbine močno zmanjša in turbina nima več moči.

V naslednjo kategorijo uvrščamo turbine, katerim lahko spremenimo pretočno sposobnost z montažnim posegom ob ustavljenem obratovanju. Tako npr. neregulirani peltonovi turbini zamenjamo šobo z drugo, z večjim ali manjšim prerezom. Pri francisovi turbini posamezne vodilne lopate zasukamo za določen kot in jih učvrstimo v novi legi ali pa v turbino vstavimo drug gonilnik z drugačno pretočno sposobnostjo. Krila propellerskega gonilnika odvijemo z glave in ponovno privijemo pod drugačnim naklonskim kotom. V šobo bankijeve turbine vstavimo vložek, ki zmanjšuje svetli prerez šobe in podobno.

Po vseh teh montažnih posegih se turbine obnašajo kot neregulirane, imajo le drugačen pretok kakor prej. Tega pretoka ni mogoče spremeniti brez ponovne ustavitve obratovanja in novega posega v notranjost turbine. Turbine morajo torej stalno obratovati z močjo, ki jo daje novi pretok.

S to kategorijo turbin je mogoče prilagoditi pretok manjšim poletnim ter zimskim vodam oziroma večjim pomladi in jeseni. Pravimo, da imajo te turbine sezonsko regulacijo.

V naslednjo, višjo kategorijo turbin sodijo tiste z ročno regulacijo. Te so opremljene z gibljivimi regulacijskimi organi: šobe peltonovih turbin imajo gibljive igle ali odklonila; francisove turbine so opremljene z obračljivimi lopaticami Finkovega vodilnika, ki jih je mogoče zasukati s pomočjo regulacijskega obroča; propellerske turbine dobe prav tako Finkov vodilnik ali pa imajo možnost spreminjanja naklonskega kota gonilnih kril prek ročic, vezic, križa in regulacijskega droga v votli turbinski gredi; šobe bankijevih turbin so opremljene z regulacijskim jezikom.

Lego regulacijskih organov je mogoče spremenjati med obratovanjem turbine z mehanizmom, ki ga imenujemo ročna regulacija. Ta omogoča zelo pogosto prilagajanje največjega mogočega pretoka skozi turbino razpoložljivi vodi, torej tudi kratkotrajni višji vodi ob poletnem deževju ali kratkotrajni nizki vodi ob hudem zimskem mrazu. Ročna regulacija tudi omogoča, v mejah razpoložljivega dotoka, prilagajanje moči turbine vsakokratni obremenitvi, če se le-ta prepogosto ne spreminja.

Najvišja kategorija turbin ima avtomatično regulacijo. Turbine te kategorije se po svoji konstrukcijski izvedbi ne razlikujejo od turbin z ročno regulacijo, katero pa zamenjuje avtomatični regulator. Vsako turbino z ročno regulacijo je zato mogoče pozneje opremiti z avtomatičnim regulatorjem, morda le ob malenkostni rekonstrukciji. (Turbin brez regulacije ni mogoče predelati v kategorijo s sezonsko regulacijo, niti le-teh v ročno regulacijo!).

Turbine z avtomatično regulacijo so med vsemi reguliranimi turbinami za obratovanje najprimernejše, saj se samodejno prilagajajo danemu dotoku oziroma obremenitvi. To upravičuje njihovo uvrstitev v najvišjo kategorijo, tako tudi po ceni, saj stane avtomatični regulator približno vsaj toliko kolikor turbina sama.

#### Vpliv instaliranega pretoka na trajanje obratovanja

Čeprav bi v majhni hidroelektrarni lahko namestili več agregatov, s čimer bi bilo olajšano prilagajanje vsakokratnemu dotoku, imajo — kakor po pravilu — skoraj vse samo po en agregat. Ta okoliščina je utemeljena s ceno opreme in gradbenega dela strojnice, zaradi česar tudi naše nadaljnje obravnavanje temelji na predpostavki *enega agregata*, in sicer *pretočne izvedbe*, kakršna prihaja v resnici v poštev — prav tako zaradi manjših investicijskih stroškov — skoraj pri vseh majhnih hidroelektrarnah.

Prav zaradi enega samega agregata je izbira največjega pretoka, ki določa pri danem padcu velikost turbine, zelo pomembno vprašanje pri turbinah vseh navedenih kategorij. Razmerje možnega največjega pretoka skozi turbino (v nadaljevanju ga imenujemo instalirani pretok) ter najmanjšega letnega dotoka vode ne vpliva samo na trajanje obratovanja, temveč pogosto tudi soodloča pri izbiri vrste turbine.

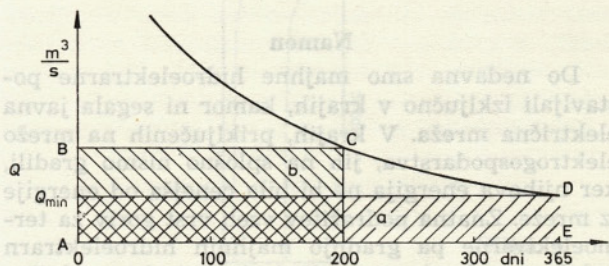
Naši vodni toki med letom močno spreminjajo svoje dotoke. Verno sliko določenega vodnega toka podaja krivulja trajanja dotokov, ki je tem bolj zanesljiva, čim več let je trajalo merjenje vode (glej sl. 1). Krivulja podaja najmanjši dotok  $Q_{\min}$  kot tisti vodni pretok, ki je na voljo vse leto.

Za izbiro instaliranega pretoka  $Q_i$  obstajata dve možnosti:

1.  $Q_i = Q_{\min}$

2.  $Q_i > Q_{\min}$ .

V prvem primeru je možnost obratovanja s turbino katerekoli kategorije zagotovljena vse leto. Največja možna proizvedena energija, ki jo na sl. 1 ponazarja pravokotnik a, je majhna.



Sl. 1. Krivulja trajanja dotokov

V drugem primeru lahko celo s turbinami brez regulacije dobimo letno več energije, če površina pravokotnika b presega površino a. Toda trajanje obratovanja je omejeno (po sliki na 200 dni). — S turbinami s sezonsko regulacijo bi se posrečilo podaljšati trajanje obratovanja čez omejitve. Še laže bi to dosegli s turbinami z ročno ali avtomatsko regulacijo, pri čemer bi lahko izkoristili vso energijo vode, ki jo ponazarja lik A — B — C — D — E.

V primeru  $Q_i > Q_{\min}$  izberemo za instalirani pretok katerokoli vrednost, ki je večja od najmanjšega dotoka. V preteklosti je na Slovenskem veljalo pravilo, naj bo instalirani pretok enak devetmesečnemu pretoku, tj. pretoku, ki je na voljo 270 dni v letu. S tem je bilo pri karakterističnih krivuljah trajanja naših voda in ob skoraj izključni uporabi francisovih in peltonovih turbin z ročno in avtomatično regulacijo zagotovljeno obratovanje vse leto.

Dandanes je treba vprašanje instaliranega pretoka reševati resneje, in sicer z več vidikov, med katerimi sta najpomembnejša zahteva po količini letno proizvedene energije in trajanje obratovanja. Na tem mestu se ne utegnemo spuščati v določanje instaliranega pretoka. Naj kot primer za njegovo težavnost navedemo, da prav zaželena količina proizvedene energije in trajanje obratovanja vplivata na izbiro turbinske vrste in nasprotno. Tako se npr. pri propelerski turbini, ki naj obratuje vse leto, instalirani pretok ne sme kaj prida razlikovati od najmanjšega dotoka. Mnogo vode ostane tako neizrabljene. Če želimo pri vsakodnevem obratovanju doseči več energije, moramo poseči po turbini manjše specifične vrtilne hitrosti, npr. francisovi turbini, ki ima pri delnih obremenitvah mnogo ugodnejše izkoristke kakor propelerska turbina. Na splošno velja, da je mogoče določiti optimalni instalirani pretok le po krivulji trajanja dotokov in dobrega poznavanja lastnosti posameznih vrst turbin.

### Odločujoči pomen obremenitve

Na izbiro najprimernejše kategorije turbine odločilno vplivata obremenitev in njeno časovno spreminjanje.

Nespremenljiva obremenitev, ki je enaka moči agregata, obratujočega z instaliranim pretokom, dopušča uporabo turbin najnižje kategorije (brez regulacije). Zelo pogosto spreminjajoča se obremenitev, ki variira med nič in polno močjo, terja turbino najvišje kategorije (z avtomatično regulacijo). Vmesni kategoriji (s sezonsko in ročno regulacijo) prihajata v poštev, kadar je redko potrebna spremembna moči, slednja pa tudi ob naprej znanih in ne posebno pogostih spremembah.

Skratka: čim zahtevnejše je obratovanje, višja kategorija turbine je potrebna.

### Soodločata tudi otočno in vzporedno obratovanje

O izbiri kategorije turbine soodločata oba načina obratovanja majhne hidrocentrale: vzporedno ali (in) otočno obratovanje.

Z javno mrežo vzporedno delovanje omogoča konstantno obremenitev, enako polni moči turbine, kar dopušča uporabo turbin nižjih kategorij. Otočno obratovanje, tj. obratovanje za lastno mrežo, le izjemoma dopušča obratovanje z nespremenjeno polno močjo, zaradi česar ustrezajo temu obratovanju na splošno le višje kategorije. Čim manjša je moč majhne hidroelektrarne, tem intenzivnejše je spreminjanje obremenitve. Če so spremembe tudi pogoste, jim z ročno regulacijo ni več mogoče slediti, potrebna je avtomatična regulacija.

Opreme, izbrane za vzporedno obratovanje, ne moremo uporabiti za otočno obratovanje, razen pri konstantni obremenitvi, enaki polni moči. Izjema so tudi turbine z ročno in avtomatično regulacijo. Moč prvih lahko s pomočjo ročne regulacije prilagajamo pri otočnem obratovanju spremenljivi obremenitvi, če spremembe niso pogoste in nepričakovane, pri vzporednem obratovanju pa razpoložljivemu dotoku. Avtomatična regulacija pri otočnem obratovanju samodejno izravnava moč turbine in obremenitev, pri vzporednem obratovanju pa samodejno prilagaja lego regulacijskega organa dotoku vode.

Turbine s pripadajočo opremo, ki naj bodo uporabne tako za vzporedno kakor za otočno obratovanje, je treba izbrati glede na zahteve otočnega obratovanja. Če je pri tem zahtevano tudi avtomatično upravljanje (brez osebja), prihajajo v poštev izključno turbine z avtomatično regulacijo.

### Nekatere prednosti enosmerne napetosti pri hidroelektrarnah z zelo majhnimi močmi

Medtem ko za vzporedno obratovanje uporabljamo le izmenično napetost, je pri otočnem obratovanju teoretično in praktično mogoče uporabljati generator za enosmerno napetost. Ta ima namreč

pri zelo majhnih močeh (nekaj kW) določene prednosti. Hidroelektrarne z manjšimi močmi in z otočnim obratovanjem delujejo na farmah v ZDA z enosmerno napetostjo. Ta omogoča uporabo turbin brez regulacije tudi pri spreminjajoči se obremenitvi: energija, ki presega trenutno obremenitev, se zbira v akumulatorjih. Akumulatorska baterija tako funkcionalno nadomešča vodni zbiralnik, ki bi bil precej dražji zaradi pregrade in potopitve zemljišča. Ko potreba po energiji presega moč turbine, črpajo porabniki potrebno pogonsko moč iz akumulatorjev.

Zaradi popolnega pregleda vseh dejavnikov, ki vplivajo na izbiro kategorije turbine in druge opreme majhne hidroelektrarne, enosmerne napetosti ne izključujemo iz obravnave. Ob razviti elektronski industriji so tudi pri nas pogoji za njeno — vsaj omejeno — ponovno uveljavitev.

### Primerjanje nabavnih stroškov opreme

Za dane obratovalne zahteve je smiselno izbrati ustrezno nižjo kategorijo turbine samo v primeru, če so skupni nabavni stroški turbine in druge opreme manjši od stroškov turbine višje kategorije in njene opreme. Če ni tako, je primernejša nabava opreme višje kategorije, ki lahko zadosti morebitnim poznejšim strožjim obratovalnim zahtevam. — Z druge strani pa gospodarsko ni upravičena nabava dražje opreme, ki po svojih zmožnostih presega dane zahteve obratovanja, ker presežne sposobnosti niso potrebne.

Nujno je torej, da v obravnavo vključimo tudi nabavno ceno opreme. Žal katalogov tipizirane opreme in cenikov še nimamo na voljo. Zaradi tega se moramo zadovoljiti z grobim ocenjevanjem, pri čemer bomo cene turbin posameznih kategorij in njihove opreme primerjevalno označili z naslednjim stopnjevanjem glede na kategorijo: »nizka«, »višja«, »visoka« in »najvišja«.

Poleg različnih kategorij turbin primerjamo medsebojno samo tisto opremo, ki je odvisna od obratovalnih zahtev, to sta predvsem regulator in generator.

### Ocene z vidika družbene koristi

Postavitev majhne hidroelektrarne, ki naj v otočnem obratovanju pokriva energijske potrebe investitorja, je v sedanji energetske krizi družbeno koristna: kolikor energije bo investitor odvezel vodi, toliko bo razbremenil druge energijske vire. V družbenem interesu je čim večja uporaba vodne energije, ki se neprestano obnavlja, in varčevanje z neobnovljivo energijo.

Z vidika družbene koristi, ali kar je enako, z energijskega vidika, vse majhne hidroelektrarne niso enakovredne. Če npr. večjemu vodnemu toku odvezamo le delček dotoka in še tega pretvarjamo v električno energijo samo včasih, je to ener-

gijsko najmanj vredno. Če pa bi z majhno hidroelektrarno izkoriščali največji možni pretok in z vzporednim obratovanjem neprestano pošiljali energijo v mrežo, bi bila taka elektrarna z energijskega vidika največ vredna. Med obema skrajnostma obstajajo mnoge vmesne vrednosti.

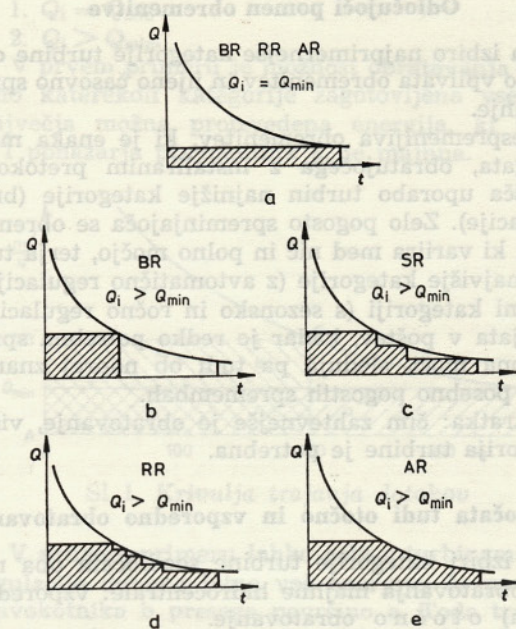
Vrednosti posameznih kategorij turbin in njihove pripadajoče opreme ocenjujemo s »slabo«, »boljše«, »dobro« in »najboljše«, s čimer vsaj približno razvrstimo posamezne kategorije z vidika pridobljene energije in družbene vrednosti.

### Uporabnost posameznih kategorij turbin v otočnem obratovanju

Uporabnost posameznih kategorij turbin v otočnem obratovanju z instaliranim pretokom, enakim najmanjšemu dotoku ali večjim ter ob izmenični ali enosmerni napetosti, hkrati s primerjevalno oceno nabavnih stroškov opreme in energijsko oceno naprave, podaja razpredelnica 1, ki velja za majhne hidroelektrarne pretočne izvedbe, opremljene z enim agregatom.

#### Turbine brez regulacije v otočnem obratovanju

Turbina brez regulacije pri  $Q_i/Q_{\min} = 1$  oziroma  $Q_i/Q_{\min} > 1$  lahko obratuje vedno samo s polno močjo ali pa miruje (sl. 2 a in b). Zaradi tega je primerna le pri polni in konstantni obremenitvi,



Sl. 2. Največja mogoča uporaba vodne energije s turbinami različnih kategorij v odvisnosti od instaliranega pretoka

BR — brez regulacije  
SR — sezonska regulacija  
RR — ročna regulacija  
AR — avtomatična regulacija

Razpredelnica 1: Uporabnost posameznih kategorij turbin v otočnem obratovanju

Kategorija turbin	Instalirani pretok $Q_i$	Napetost	Vrsta obremenitve	Cena opreme	Energijska ocena
BR brez regulacije	$Q_i = Q_{\min}$	~	konstantna $P_M = P_{T \max}$	nizka	slabo
		=	spreminjajoča $0 < P_M \leq P_{T \max}$	višja	slabo
	$Q_i > Q_{\min}$	~	konstantna $P_M = P_{T \max}$	nizka	bolje
		=	spreminjajoča $0 < P_M \leq P_{T \max}$	višja	bolje
SR sezonska regulacija	$Q_i > Q_{\min}$	~	konstantna $P_M = P_{T \max}$ $P_M < P_{T \max}$	višja	bolje
		=	spreminjajoča $0 < P_M \leq P_{T \max}$	visoka	bolje
RR ročna regulacija	$Q_i = Q_{\min}$	~	redko se spreminjajoča	visoka	slabo
	$Q_i > Q_{\min}$	~	in naprej znana $0 < P_M \leq P_{T \max}$	visoka	bolje
	$Q_i > Q_{\min}$	=	spreminjajoča $0 < P_M \leq P_{T \max}$	najvišja	bolje
AR avtomatična regulacija	$Q_i = Q_{\min}$	~	spreminjajoča	najvišja	slabo
	$Q_i > Q_{\min}$	~	$0 < P_M \leq P_{T \max}$	najvišja	bolje

kakršna je npr. ogrevanje z ogrevalno močjo, enako moči agregata. Rečeno velja le pri uporabi izmenične napetosti. Če pa s turbino poganjamo enosmerni generator in nanj priključimo akumulatorsko baterijo, ustreza naprava tudi spreminjajoči se obremenitvi, ker presežke proizvedene energije prevzame akumulatorska baterija. Njeno energijo lahko uporabljamo neposredno z enosmernim tokom, kar pri razsvetljavi in ogrevanju ne povzroča nobene spremembe. Če pa želimo z enosmerno napetostjo poganjati elektromotorje, moramo nabaviti bodisi motorje za to napetost ali pa inverter, ki pretvarja enosmerno napetost v izmenično. Uporabi enosmerne napetosti so po moči postavljene zelo ozke meje.

Zaradi akumulatorske baterije in nujnosti zamenjave standardnih motorjev za izmenično napetost z motorji za enosmerno napetost pri vseh porabnikih oz. nabave inverterja, je cena opreme pri enosmerni napetosti višja kakor pri izmenični. Treba je raziskati, če višjo ceno upravičujejo prednosti, ki jih imata enosmerna napetost in akumulatorska baterija:

- akumulatorska baterija omogoča spreminjajočo se obremenitev kljub turbini brez regulacije;
- akumulatorska baterija nadomešča vodni zbiralnik in dopušča krajša obratovanja z močjo, ki presega moč turbine.

Z energijskega vidika ima turbina s  $Q_i = Q_{\min}$  oceno »slabo«, saj bi pri nepretrganem obratovanju, kar je pri otočnem obratovanju prav gotovo redkost, kvečjemu lahko izkoristila pas a (glej sl. 1). Turbine s  $Q_i > Q_{\min}$  so energijsko nekoliko boljše, če je  $Q_i$  izbran tako, da je pravokotnik b večji od pravokotnika a (sl. 1). Pri tem se je treba zavedati, da taka turbina ne more obratovati pri dotoku, ki je manjši od  $Q_i$  in da torej ne zagotavlja energije vse leto.

#### *Turbine s sezonsko regulacijo v otočnem obratovanju*

Turbine s sezonsko regulacijo so upravičene samo, če je  $Q_i > Q_{\min}$ , sicer ne bi mogli govoriti o sezonskem prilagajanju požiralnosti turbine danemu dotoku vode (sl. 2 c). Mogoče je celoletno obratovanje, če ima turbina pri  $Q_{\min}$  še zadovoljiv izkoristek. Agregati s turbinami za sezonsko regulacijo pri izmenični ali enosmerni napetosti se lahko enako uporabljajo kakor turbine brez regulacije z dodatkom, da lahko »nesezonsko« naravnamo moč turbine na konstantno obratovanje na mreži z močjo, ki je manjša od polne moči turbine. Zaradi sezonske regulacije je turbina dražja in cena opreme pri izmenični napetosti višja kakor pri turbinah brez regulacije; pri enosmerni napetosti pa ceno opreme ocenjujemo z »visoko«, ker so potrebni še dodatni stroški za akumulatorsko baterijo in inverter, oz. enosmerne elektromotorje.

Energijsko so turbine s sezonsko regulacijo vse kakor boljše kakor turbine brez regulacije, saj lahko odvezamejo vodi več energije (glej sl. 2 c).

#### *Ročno regulirane turbine v otočnem obratovanju*

Turbine z ročno regulacijo so lahko dimenzionirane za  $Q_i = Q_{\min}$  ali  $Q_i > Q_{\min}$  (sl. 2 a in d). Slednje je primernejše, ker daje večji pretok tudi večjo moč, obratovanje pa je prav tako zagotovljeno vse leto, če instalirani pretok glede na vrsto turbine ni postavljen previsoko in ima turbina pri pretoku  $Q_{\min}$  še primerno dober izkoristek.

Z ročno regulacijo zelo primerno prilagajamo največjo moč turbine razpoložljivemu dotoku (omejevanje odpiranja). Pri obremenitvah, ki ne dosega največje moči turbine, pa zlahka prilagodimo pretok skozi turbino potrebni moči, da ostane vrtilna hitrost na predpisani višini (regulacija frekvence). Z ročno regulacijo je seveda mogoče slediti le spremembam obremenitve, ki niso prepogoste in se ne pojavljajo nepričakovano. — Če bi želeli s turbino z ročno regulacijo obvladati tudi pogoste in nenadne spremembe obremenitve, bi morali turbini priključiti generator enosmerne napetosti, ki bi polnil akumulatorsko baterijo; torej rešitev, ki smo jo opisali pri turbinah brez regulacije. Ta rešitev je praktično izvedljiva samo pri majhnih močeh. Turbina z ročno regulacijo je pri tem »degradirana« na opravljanje polovične funkcije, to je omejevanje odpiranja. Pri dimenzioniranju turbine z ročno regulacijo za  $Q_i = Q_{\min}$  bi turbini odvzeli še to funkcijo. Zato prihaja pri turbinah z ročno regulacijo in pri enosmerni napetosti v poštev le  $Q_i > Q_{\min}$ .

Turbine z ročno regulacijo imajo premične regulacijske organe, izdelane za trajno gibanje in vezane na mehanizem ročne regulacije. Zaradi tega so dražje kakor turbine za sezonsko regulacijo. Posebno draga je oprema pri enosmerni napetosti, za kar smo vzroke že navedli.

Z vidika splošne družbene koristi turbine z ročno regulacijo pri otočnem obratovanju nimajo pred turbinami s sezonsko regulacijo skoraj nobene prednosti.

#### *Avtomatično regulirane turbine v otočnem obratovanju*

Tudi turbine z avtomatično regulacijo so lahko dimenzionirane za  $Q_i = Q_{\min}$  ali  $Q_i > Q_{\min}$  (sl. 2 a in e). Tako kakor pri ročni regulaciji je druga rešitev tudi tu primernejša.

Turbine z avtomatično regulacijo so izdelane prav tako kakor turbine z ročno regulacijo, z edino razliko, da imajo namesto ročne regulacije priključen avtomatični turbinski regulator. Ta omogoča otočno obratovanje pri hitro se spreminjajočih in nenadnih obremenitvah, ne da bi se pri tem vrtilna hitrost bistveno spremenila. Prilagajanje največje

moči naravnemu dotokanju vode (omejevanje odpiranja) je pri večini dosedanjih hidravlično-mehaničnih majhnih regulatorjih treba opraviti ročno. Sodobni elektronski regulatorji pa imajo lahko regulacijo po dotoku izvedeno nadrejeno regulirano frekvence. Od vseh regulatorjev so elektronski regulatorji najbolj primerni za popolnoma samodejno obratovanje majhnih hidroelektrarn (brez posadke).

Cena opreme je zaradi avtomatičnega regulatorja ocenjena kot »najvišja«. — Z energijskega vidika avtomatični regulator v primerjavi z nižjimi kategorijami v otočnem obratovanju skoraj ne prinaša izboljšave.

### Zasilno reguliranje turbin brez regulacije

Turbin brez regulacije in s sezonsko regulacijo ne smemo razglasiti za regulirane, čeprav lahko med otočnim obratovanjem bolj ali manj zadovoljivo prilagajamo njihovo moč zmanjšani obremenitvi, in sicer s pomočjo predturbinskega zapirala (zasuna, zapornice) ali odpora.

S pripiranjem z zapirala povzročamo hidravlične izgube, s čimer zmanjšujemo koristni padec, pretok in moč turbine. (Pri turbinah z zelo majhnimi padci dosegamo enak učinek s pripiranjem zapornice v odvodnem kanalu, s čimer dvignemo spodnjo vodno gladino.) Očitno je ta način »reguliranja« uporaben samo v primeru, če ob zadostnem dotokanju vode ne potrebujemo polne moči turbine. Ob zadostnem dotoku omogoča torej ročno pripiranje predturbinskega zapirala uporabo turbin brez regulacije ali sezonsko reguliranje tudi pri spreminjajočih se obremenitvah in izmenični napetosti, če se spremembe pojavljajo poredko in vemo vnaprej, kdaj se bodo pojavile. Na tako zmanjševanje moči turbine se vendar ne kaže zanašati, ker pride lahko zaradi vibracij do okvare predturbinskega zapirala in je težko doseči novo stabilno obratovalno stanje.

Reguliranje s predturbinskim zapiralom popolnoma odpove v primeru, če se dotok vode zmanjša pod vrednost, za katero je dimenzionirana turbina brez regulacije, ali na katero je naravnana turbina s sezonsko regulacijo. Pri zmanjšanem dotoku dobimo iz turbine komaj kaj moči, ker s pripiranjem predturbinskega zapirala zmanjšujemo padec in izkoristek turbine, tako da so zmanjšani vsi trije faktorji moči.

Pri nabavi cenene neregulirane turbine, ki naj bi jo regulirali s predturbinskim zapiralom, je treba upoštevati, da ima tudi zapiralo svojo ceno in je primernejše poseči po turbini višje kategorije (z ročno ali avtomatično regulacijo), s katero bo mogoče racionalno uporabljati tudi dotoke, manjše od instaliranega pretoka.

Zaradi tehnične nezanesljivosti »reguliranja« turbine z zapiralom, ta možnost v razpredelnici 1 ni upoštevana. Naj utemeljimo to še z okoliščino,

da so se izjalovila dosedanja prizadevanja avtomatičnega reguliranja prek zapirala, ker postopka ni bilo mogoče stabilizirati.

Prav tako v razpredelnici 1 niso omenjene možnosti reguliranja turbin brez regulacije ali s sezonsko regulacijo v otočnem obratovanju z odpori. Tudi tu gre samo za polovično reguliranje, ker s tem postopkom le prenašamo presežke proizvedene energije nad koristnim bremenom na drugo koristno obremenitev (npr. gretje sanitarne vode) ali nekoristno obremenitev (vodni odpor), s čimer ohranjamo nespremenjeno obremenitev turbine, kar je pogoj za turbine, ki niso regulirane ali so regulirane samo sezonsko. Pri zmanjšanju dotoka pod instalirani pretok turbine brez regulacije in pod naravnani pretok turbine s sezonsko regulacijo, je seveda ta postopek neuporaben.

Reguliranje z odpori je vsekakor tehnično zanesljivejše kakor reguliranje z zapiralom. Ima tudi prednost, da je mogoče postopek avtomatizirati. V vsakem primeru kaže vendar preudariti, če morada turbine z ročno ali avtomatično regulacijo s pripadajočo opremo niso cenejše.

Razpredelnica 1 ne navaja uporabe samonaravnavevanja nereguliranih turbin po dotoku, zmanjšanem pod instalirani (naravnani) pretok, kar naj bi namesto turbin s sezonsko regulacijo omogočilo uporabo cenejše turbine brez regulacije (oz. nasprotno). Samonaravnavevanje temelji na teoretični predpostavki, da se ob zmanjšanju dotoka zmanjša padec in s tem tudi požiralnost turbine, s čimer se pojavi novo obratovalno ravnotežje. V novem obratovalnem stanju je zmanjšana tudi vrtilna hitrost turbine. Če električni stroj to dopušča, je samonaravnavevanje teoretično sprejemljivo (tiristrski regulator napetosti, toleriranje spreminjanja frekvence v širših mejah). Če naj agregat pri zmanjšanem padcu obdrži svojo vrtilno hitrost, samonaravnavevanje ni sprejemljivo. Praktičnih izkušenj še nimamo. Samonaravnavevanje nereguliranih turbin pri spreminjajoči se obremenitvi tudi teoretično ne prihaja v poštev.

### Uporabnost posameznih vrst turbin pri vzporednem obratovanju

Turbine vseh kategorij lahko uporabljamo za vzporedno obratovanje. Pri tem obratujejo z nespremenjeno močjo, ustrezajočo danemu dotoku in vso energijo oddajajo v mrežo. V poštev prihaja le izmenična napetost, predvsem iz asinhronskih generatorjev, ki so znatno cenejši od sinhronskih. Samo tiste majhne hidroelektrarne, ki morajo biti sposobne tudi za otočno obratovanje, morajo biti opremljene s sinhronskim generatorjem oz. z asinhronskim generatorjem, posebno prirejenim za otočno obratovanje. — Pregled uporabnosti posameznih kategorij turbin pri vzporednem obratovanju podaja razpredelnica 2.

Razpredelnica 2: Uporabnost posameznih kategorij turbin v vzporednem obratovanju

Kategorija turbin	Instalirani pretok $Q_i$	Napetost	Cena opreme	Energijska ocena
BR brez regulacije	$Q_i = Q_{\min}$ $Q_i > Q_{\min}$	~	nizka	bolje dobro
SR sezonska regulacija	$Q_i > Q_{\min}$	~	višja	dobro
RR ročna regulacija	$Q_i > Q_{\min}$	~	visoka	najbolje
AR avtomatična regulacija	$Q_i > Q_{\min}$	~	najvišja	najbolje

#### Vzporedno obratovanje z asinhronskimi generatorji

Asinhronski generatorji morajo obratovati nadsinhrono, da bi lahko oddajali svojo največjo moč. Če vrtilni moment turbine za to ni zadosten, se oddajana moč zmanjša ali začne generator celo črpati energijo iz mreže in obratovati kot asinhronski motor. Zato je za vzporedno obratovanje izredno pomembno, da pri nereguliranih turbinah njihova največja goltnost ne presega dotoka vode.

Velikost turbine brez regulacije za  $Q_i = Q_{\min}$  (gl. razpredelnico 2) mora biti skrbno določena glede na  $Q_{\min}$ , če naj turbina v resnici obratuje vse leto in energijsko izkorišča pas a na diagramu trajanja dotokov (sl. 1).

Turbina brez regulacije za  $Q_i > Q_{\min}$  mora prenehati z obratovanjem, kakor hitro se dotok zmanjša pod  $Q_i$  (obratovanje »vse ali nič« z avtomatičnim vključevanjem in izključevanjem glede na dotekanje vode). Energija torej ni zagotovljena vse leto.

Pri turbinah s sezonsko regulacijo za  $Q_i > Q_{\min}$  si zagotovimo nadsinhrono obratovanje s pravilno naravno regulacijskega organa. Ker je naravnavanje zamudno, je treba obratovanje ustaviti, če se dotok nepričakovano zmanjša pod naravnani pretok. Obratujemo lahko vse leto, če ima turbina pri  $Q_{\min}$  še zadovoljiv izkoristek.

Turbine z ročno regulacijo so pri vzporednem obratovanju smiselne le pri  $Q_i > Q_{\min}$ . Z ročno regulacijo lahko sproti sledimo počasnim spremembam dotekanja in si zagotavljamo stalno nadsinhrono obratovanje.

Pri turbinah z avtomatično regulacijo, ki so prav tako smiselne le pri  $Q_i > Q_{\min}$ , opravlja sprotne prilagajanje lege regulacijskega organa za dotekanje vode avtomatični regulator (»regulacija na nivo« zgornje vode), s čimer je zagotovljena popolna energijska uporaba dotokov do  $Q_i$ .

#### Vzporedno obratovanje s sinhronskimi generatorji

Sinhronski generatorji so primerni samo za pogon s turbinami z ročno in avtomatično regulacijo, ker lahko le-te v primeru potrebe preidejo na otočno obratovanje in reguliranje frekvence, pri tem turbine z ročno regulacijo samo pri nepogostih in naprej znanih spremembah. Turbine z ročno regulacijo lahko instaliramo v prvi stopnji izgradnje in jih pozneje dopolnimo z avtomatičnimi regulatorji.

#### Ocenitev posameznih vrst turbin v vzporednem obratovanju

Primerjalne ocene nabavnih stroškov za opremo v razpredelnici 2 so enake ocenam v razpredelnici 1, ki smo jih že utemeljili pri otočnem obratovanju. — Pač pa so energijske ocene vseh vrst turbin v vzporednem obratovanju višje kakor v otočnem: turbine izkoriščajo vso vodo, ki lahko steče skozi in energijo neprenehoma oddajajo v mrežo, v otočnem obratovanju pa je mogoče vodi odvzeti le toliko energije, kolikor jo je treba za pokrivanje vsakokratnih potreb. V otočnem obratovanju so agregati pogosto prisiljeni k mirovanju, medtem ko v vzporednem obratovanju lahko obratujejo brez prestanka.

Energijsko so v razpredelnici 2 najvišje ocenjene turbine z avtomatično regulacijo pri  $Q_i > Q_{\min}$  (sl. 2 e). Za njo veliko ne zaostajajo turbine z ročno regulacijo pri enakem instaliranem pretoku (sl. 2 d). Sledijo turbine s sezonsko regulacijo in brez nje pri  $Q_i > Q_{\min}$  (sl. 2 c in 2 b). Na zadnjem mestu so turbine brez regulacije pri  $Q_i = Q_{\min}$ , ki dajejo najmanj energije (sl. 2 a).

Prednost vzporednega obratovanja pred otočnim je očitna. Ko bo izdelan pregled vseh možnih lokacij za majhne hidroelektrarne z njihovimi energijskimi parametri in bo ocenjena možna količina

letno proizvedene energije, bo vidno, da bi množična postavitev majhnih hidroelektrarn pomenila znaten prispevek k osnovnemu pasu v dnevni diagramih porabe električne energije in s tem tudi dokajšen prihranek pri gorivu za termoelektrarne. Družbeni interes bo zahteval, da se bo elektrogospodarstvo bolj kakor doslej zanimalo za majhne hidroelektrarne in pospeševalo njihovo gradnjo pri vseh potencialnih investitorjih in omogočilo njihovo vzporedno obratovanje.

### Izvedbe, ki predvsem prihajajo v poštev

Za postavitev majhne hidroelektrarne za otočno obratovanje so dandanes najpogostejši interesi za zasebnega področja. Zanje so priporočljive naslednje izvedbe opreme:

1. brez regulacije,  $Q_i = Q_{\min}$ , izmenična napetost,
2. s sezonsko regulacijo,  $Q_i > Q_{\min}$ , izmenična napetost,
3. z avtomatično regulacijo,  $Q_i > Q_{\min}$ , izmenična napetost (z morebitno poprejšnjo investicijo za ročno regulacijo).

Med interesi za otočno obratovanje se pojavlja tudi SLO, vendar le v izjemnih razmerah. Normalno naj bi te majhne hidroelektrarne obratovale vzporedno vezane na mrežo. Zanje prihajata v poštev izvedbi:

1. z ročno regulacijo,  $Q_i > Q_{\min}$ , izmenična napetost,
2. z avtomatično regulacijo,  $Q_i > Q_{\min}$ , izmenična napetost.

Drugih interesentov za postavljanje majhnih hidroelektrarn za vzporedno obratovanje doslej še ni, ker še nismo dojeli družbene koristi takih energijskih objektov, niti še nismo razvili potrebne propagandne akcije. Tudi izdelovalci opreme stoje — žal — ob strani in čakajo... Številni jezovi, ob katerih so nekdanje obratovale vodne naprave, še bolj propadajo. Z razmeroma poceni opremo v izvedbah brez regulacije ali s sezonsko regulacijo pri  $Q_i > Q_{\min}$  in izmenični napetosti bi jih bilo mogoče kaj hitro opremiti. Kot investitorja bi prišla v poštev družbeni in zasebni sektor. Te majhne hidroelektrarne bi pomenile neposreden finančni interes tako za elektrogospodarstvo kakor za investitorje: prvega bi dodatno oskrbovale z električno energijo po nizki odkupni ceni, investitorjem pa bi pomenile trajen vir dohodkov.

Avtorjev naslov: dipl. ing. Leopold Šolc,  
Inštitut za turbinske stroje,  
Ljubljana

## POROČILA

UDK 389.6

### DOPOLNILNI ZAKON O MERSKIH ENOTAH

V Uradnem listu SFRJ, št. 74/1980 z dne 31. 12. 1980 je bil objavljen »Zakon o spremembi in dopolnitvi zakona o merskih enotah in merilih«. V zakonu je določeno, da se bo uporabljal od 1. 1. 1981. Prvi člen tega dopolnilnega zakona se glasi:

V zakonu o merskih enotah in merilih (Ur. l. SFRJ št. 13/76) se doda za prvim odstavkom 53. člena nov, drugi odstavek, ki se glasi:

»Ne glede na prvi odstavek tega člena je dovoljeno uporabljati na posameznih področjih (letalski promet, pomorski promet, železniški promet ipd.) merske enote, ki ne pripadajo mednarodnemu sistemu merskih enot, tudi po 31. decembru 1980, če je njihova uporaba predvidena s posebnimi mednarodnimi konvencijami in mednarodnimi pogodbami, ki jih je podpisala Socialistična federativna republika Jugoslavija.«

Dosedanji drugi odstavek, ki postane tretji odstavek, se spremeni tako, da se glasi:

»Zvezni izvršni svet določi, katere merske enote, ki ne pripadajo mednarodnemu sistemu merskih enot in niso navedene v II. in IV. poglavju seznama merskih

enot, je dovoljeno uporabljati tudi po 31. decembru 1980.«

V drugem členu dopolnilnega zakona so — v skladu s sklepi generalne konference za uteži in mere (1979) — objavljene spremembe in dopolnitve v seznamu merskih enot, ki je sestavni del zakona o merskih enotah in merilih, in sicer:

1. V I. poglavju se točka 40 spremeni z novo definicijo enote za svetilnost — kandelega:

»Candela je svetilnost, v dani smeri vira, ki oddaja enovalovno sevanje frekvence  $540 \times 10^{12}$  Hz in katero energijska jakost v tej smeri je  $1/683$  W/sr.«

2. Doda se nova točka 45 a:

»Enota za ekvivalentno dozo ionizirnega sevanja je sievert (izg. sivert) — znak: Sv.«

3. Točka 3 se glasi

— liter (znak l in L) =  $1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$

Dne 27. decembra 1980 je začela veljati odločba, po kateri se dosedanja merila in merilne naprave z opuščenimi (nezakonitimi) enotami lahko uporabljajo tudi nadalje, vendar morajo biti opremljene s pripomočki, ki omogočajo, da se izmerjena vrednost prikaže v dopuščenih (zakonitih) enotah.

B. K.