

UDK 621.224.35

Novejši dosežki pri hidrodinamičnem razvoju nizkotlačnih vodnih turbin

BORIS VELENŠEK

Teoretično optimiranje hidravličnih oblik in razvoj metod za napoved karakteristik cevnih in navpičnih kaplanskih turbin sta omogočila razvoj nekaterih konkurenčnih strojev, s katerimi si je slovenska strojna industrija v 80. letih pridobila nova priporočila.

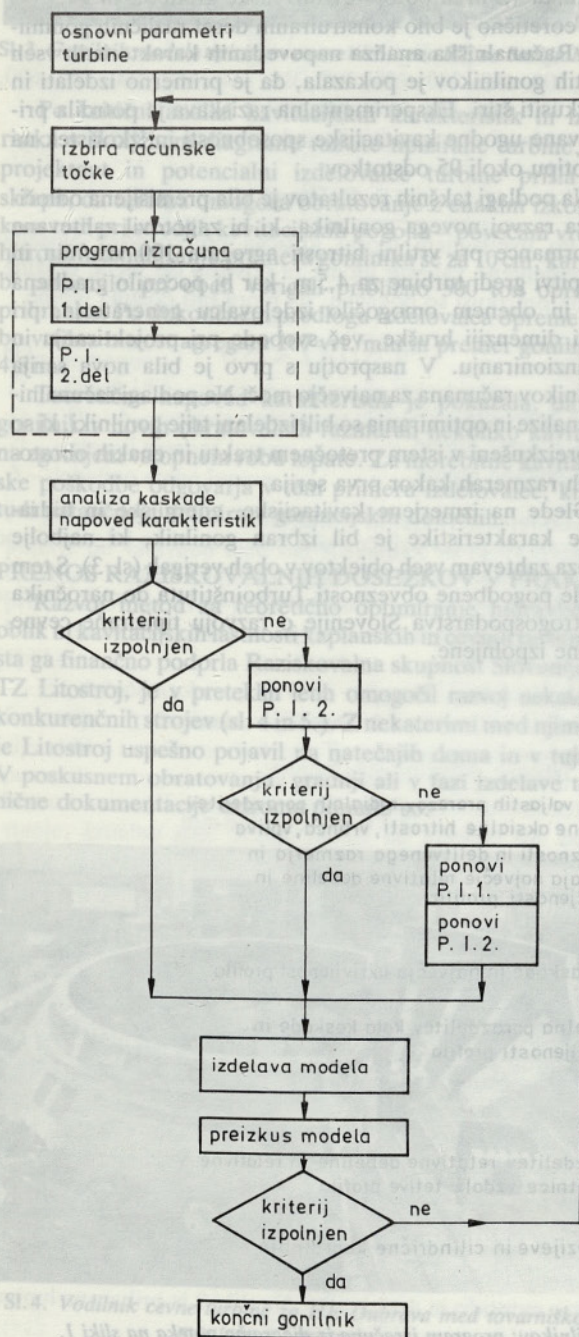
UVOD

Medtem ko so v šestdesetih in sedemdesetih letih hidroelektrarne (HE) s turbinami srednjih in visokih padcev uspešno tekmovali s termoelektrarnami in jedrskimi elektrarnami, je šele naftna kriza in z njo povezana skokovita rast cen energije v 70. letih ekonomsko upravičila tudi izrabo

vodotokov, ki imajo nizke padce in velike pretoke. Rentabilnost takšnih hidroelektrarn je odvisna od več dejavnikov: projekta, izbire tipa turbine, konstrukcije in uspešnosti pri zmanjšanju izgub v dotočnem in dovodnem delu HE, elementih pretočnega trakta turbine, gonilniku, sesalni cevi in odtočnem kanalu na minimum.

Padec, pretok, vrtilna hitrost, premer, razmerje notranjega in zunanega premera, število lopat.

Obratovalni režim /zahteve HE.



Računanje porazdelitev tlaka in hitrosti (singularitetna metoda + teorija o mejni plasti). Napoved profilnih izgub, kavitacije aksialne sile, hidravličnega momenta na lopato in momenta na gred (moči).

Trikoordinatni vrtilni stroj
Frezalnik CNC MAHO 600C 4-osni

Preizkuševališče s samodejnim odbiranjem in računalniško obdelavo izmerkov.

Sl.1. Računalniško podprto konstruiranje kaplanskih in cevnih gonilnikov: izračun, analiza in napoved performanc

Zato so se raziskave hidrodinamike turbinskih strojev preusmerile na krilne stroje, predvsem na cevne turbine. Že po nekaj letih intenzivnih raziskav je prišlo do razvoja in izdelave konkurenčnih cevnih turbin, ki so zaradi večje prepustnosti, dobrega izkoristka, manjših gradbenih del in zanesljivega obratovanja vplivale na občutno zmanjšanje naročil za navpične kaplanske turbine.

Večino rezultatov dobimo z modelskimi preizkusi na preizkuševališčih z avtomatskim odbiranjem in računalniško obdelavo izmerkov. Rezultati, dobljeni na homolognih modelih, se potem preračunajo na izvedbo z zadostno natančnostjo in v skladu s Priporočili Mednarodne elektrotehniške komisije (IEC Recommendations). Dobljeni rezultati performanc stroja in geometrična oblika so podlaga izdelovalcu turbine in opreme za izdelavo tehniške dokumentacije.

OPTIMIRANJE GONILNIKA

Metoda teoretičnega optimiranja

Pri razvoju turbin za nizke padce se največ pozornosti posveča optimiranju gonilnika in sesalne cevi – najbolj občutljivima elementoma turbine. Dober izkoristek in dobre kavitacijske lastnosti turbine so skoraj v celoti odvisne od gonilnika. Gonilnik se optimira glede na profilne izgube, hidrodinamične, energetske in kavitacijske lastnosti.

Ker je eksperimentalno optimiranje zamudno in drago, je Turboinštitut v začetku 80. let začel razvijati metode za računalniško podprto konstruiranje turbinskih strojev. Pri tem se je posebno obnesla metoda za izračun in analizo toka v cevnem gonilniku. Metoda omogoča napovedovanje hidrodinamičnih, energijskih, kavitacijskih in momentnih karakteristik v razvojni fazi gonilnika in nadomešča drago in dolgotrajno eksperimentalno optimiranje na velikem številu modelov (sl. 1 in 2). Metoda je eksperimentalno ovrednotena in uspešno uporabljena za razvijanje cevnih gonilnikov po naročilu izdelovalcev vodnih turbin ali investorjev.

Razvoj tipiziranega gonilnika za HE na Savi in Muri

Uspeh optimiranja, ki je v glavnem odvisen od performanc turbine, je popoln, če velikost in vrtilna hitrost turbine v projektu še nista dokončno določeni. Popoln uspeh optimiranja bo dosežen le ob stalnem sodelovanju projektanta, razvijalca in izdelovalca.

Do takšnega sodelovanja je prišlo pri raziskavah in razvoju modela tipizirane cevne turbine za Hidroelektrarne na Savi in Muri.

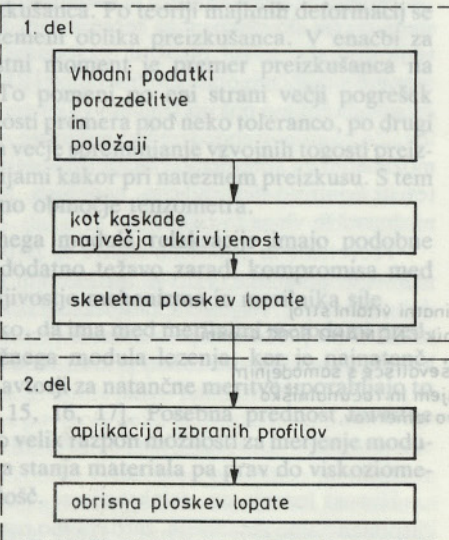
V začetni fazi razvoja so bili gonilniki računani za projektne parametre: vrtilna hitrost 93,74 vrt/min, premer gonilnika 4,9 m in potopitev turbinske gredi 5,5 m.

Teoretično je bilo konstruiranih deset različnih gonilnikov. Računalniška analiza napovedanih karakteristik vseh desetih gonilnikov je pokazala, da je primerno izdelati in preizkusiti štiri. Eksperimentalna raziskava je potrdila pričakovane ugodne kavitacijske sposobnosti in izkoristek na prototipu okoli 95 odstotkov.

Na podlagi takšnih rezultatov je bila premišljena odločitev za razvoj novega gonilnika, ki bi zagotovil zahtevane performance pri vrtilni hitrosti agregata 100 vrt./min in potopitvi gredi turbine za 4,5 m, kar bi pocenilo gradbena dela in obenem omogočilo izdelovalcu generatorja, pri enaki dimenziji hruške, več svobode pri projektiranju in dimenzioniranju. V nasprotju s prvo je bila nova serija gonilnikov računana za največjo moč. Na podlagi računalniške analize in optimiranja so bili izdelani trije gonilniki, ki so bili preizkušeni v istem pretočnem traktu in enakih obratovalnih razmerah kakor prva serija.

Glede na izmerjene kavitacijske, energijske in hidravlične karakteristike je bil izbran gonilnik, ki najbolje ustreza zahtevam vseh objektov v obeh verigah (sl. 3). S tem so bile pogodbene obveznosti Turboinštituta do naročnika Elektrogospodarstva Slovenije o razvoju tipizirane cevne turbine izpolnjene.

Program izračuna



Izbira valjastih prereзов, radialnih porazdelitev vstopne aksialne hitrosti, vrtinca, vpliva viskoznosti in delitvenega razmerja in položaja največje relativne debeline in ukrivljenosti profila

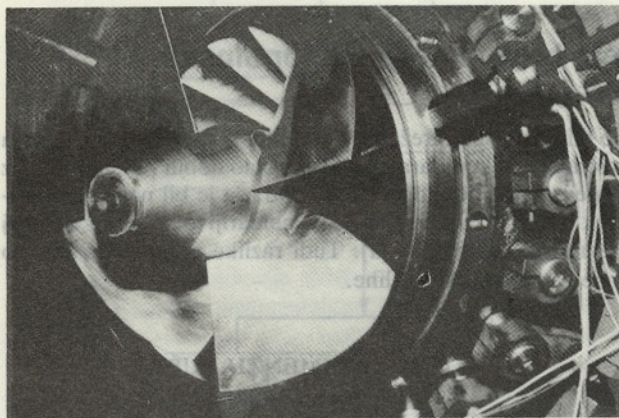
Kot kaskade in največja ukrivljenost profila

Radialna porazdelitev kota kaskade in ukrivljenosti profila

Porazdelitev relativne debeline in relativne skeletnice vzdolž tetive profila

Kartezijeve in cilindrične koordinate

Sl. 2. Računalniško podprto konstruiranje kaplanskih in cevnih gonilnikov: program izračuna iz diagrama poteka na sliki 1.



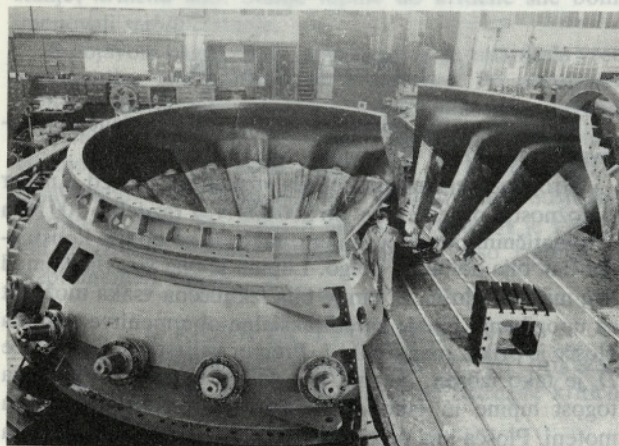
Sl. 3. Gonilnik modela tipizirane cevne turbine za HE na Savi in Muri

Po kritični analizi kavitacijskih karakteristik in izkoristka v školjčnem diagramu razvite tipizirane turbine, sta projektant in potencialni izdelovalec turbine prišla do sklepa, da turbina omogoča obratovanje z enakim izkoristkom tudi pri strožjih kavitacijskih pogojih – povečani vrtilni hitrosti in zmanjšanju premera gonilnika še za 10 cm, kar naj bi pomenilo pri obeh verigah približno 500 ton opreme prihranka. Po dokončnem predlogu izdelovalca opreme naj bo vrtilna hitrost agregata 107 vrt./min in premer gonilnika 4,8 m.

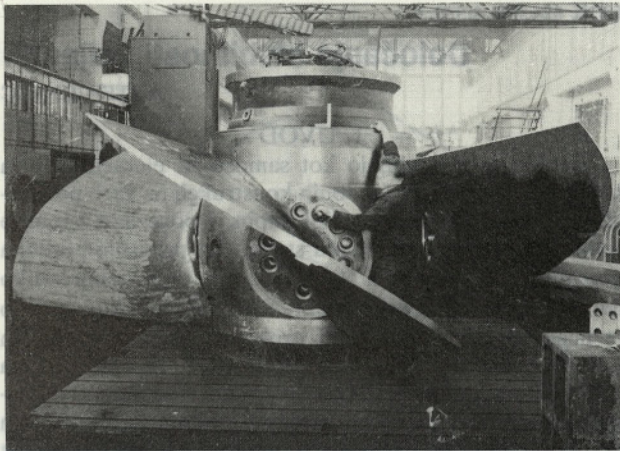
Teoretična napoved karakteristik je pokazala, da bo gonilnik v novih obratovalnih razmerah nekoliko kavitiral na zgornjem vstopnem robu lopate. Za morebitne kavitacijske poškodbe odgovarja v tem primeru izdelovalec, ki jih tudi natančneje definira v garancijskih določilih.

PRENOS RAZISKOVALNIH DOSEŽKOV V PRAKSO

Razvoj metod za teoretično optimiranje hidravličnih oblik in kavitacijskih lastnosti kaplanskih in cevni turbini, ki sta ga finančno podprla Raziskovalna skupnost Slovenije in TZ Litostroj, je v preteklih letih omogočil razvoj nekaterih konkurenčnih strojev (sl. 4 in 5.). Z nekaterimi med njimi se je Litostroj uspešno pojavil na natečajih doma in v tujini. V poskusnem obratovanju, gradnji ali v fazi izdelave tehnične dokumentacije oziroma ponudb so:



Sl. 4. Vodilnik cevne turbine za HE Dubrava med tovarniško montažo v Litostroju



Sl. 5. Gonilnik cevne turbine za HE Dubrava med tovarniško montažo v Litostroju

Kaplanske turbine	Moč MW	Padec m	Premer	
			rotorja m	Pretok m ³ /s
HE Mostar	3 × 23,5	21,5	4	120
HPP Banyea	2 × 2,6	19,45	1,6	15,2
HE Fala	2 × 21,4	12,25	5,2	175
HE Podsused	2 × 26	11	6,5	250
Cevne turbine				
HE Dubrava	2 × 40	17,5	5,4	250
HE na Savi in Muri	37 × 12	7-8	4,9 (4,8)	167
– HE Vrhevo				
– HE Boštanj				
HE Đurđevac	3 × 50	20	5,6	283
HE Foča	3 × 18,5	14	4,25	150
HPP Chassma	12 × 23	10-14	6,3	

SKLEP

Z uporabo razvijanja in izpopolnjevanja teoretičnih metod izračuna in analize hidrodinamičnih, energijskih in kavitacijskih lastnosti gonilnikov, se je sredi 80. let izkoristek kaplanskih in cevni turbini na modelu povečal v optimumu za 1 do 1,5 odstotkov in pri polni moči za 2 – 3 odstotke. Zaradi izboljšanja kavitacijskih zmožnosti profilov in zmanjšanja profilnih izgub se je izboljšal izkoristek.

Vodne turbine so še vedno edini energijski stroji, ki jih v Jugoslaviji znano sami razvijati, izdelovati in za zdaj še kar uspešno prodajati, tudi po svetu. Ali bomo v tem uspevali še v prihodnje, je odvisno od razvoja sodobnejših tridimenzijskih metod računanja toka v stroju in vpeljave eksperimentalne laserske anemometrije. Zaradi pomanjkanja kadrov in opreme zaostajamo v obojem za konkurenco že najmanj za 5 let.