

# **BANKI TURBINA – POGODAN TIP MALE HIDROTURBINE ZA ISKORIŠĆENJE POTENCIJALA MALIH REKA (TOKOVA)**

## **BANKI TURBINE – CONVINIENT SMALL HYDRAULIC TURBINE TYPE TO HARNESS POTENTIAL OF SMALL RIVERS**

**Branislav Ignjatović\*, Miroslav Benišek\*\*, Miloš Nedeljković\*\*, Dejan Ilić\*\*,  
Đorđe Čantrak\*\*, Ivan Božić\*\***

*<sup>1</sup> JP Đerdap, Sektor za razvoj i investicije, Pop Stojanova 2, Beograd*

*<sup>2</sup> Mašinski fakultet, Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, Beograd*

**Abstract:** The paper presents two original fully described constructions of Banki turbines, i.e.: console type and open type Banki turbine. In dependence upon the discharge and head a small hydro-electric plant, the choice between two types may be made. Typisation of these turbines has been made and general diagrams are shown.

**Key words:** Banki turbine, new designs, typisation

### **1. UVOD**

Dobre osobine Banki turbine, kao što su jednostavnost konstrukcije i relativno dobar stepen korisnosti u širokom opsegu od 20-100 % instalisanog protoka, iskorišćene su pri razradi tehničkih rešenja turbinskih agregata, namenjenih za energetske korišćenje na malim vodotocima.

Projektovana su dva originalna konstruktivna rešenja turbinskih agregata, i to: sa “konzolnom Banki turbinom”, primenljivo na malovodnim vodotocima na kojima se mogu ostvariti veći padovi, i sa “otvorenom Banki turbinom”, namenjeno za korišćenje na vodotocima sa malim padovima i relativno skromnim proticajima.

Razvijeni tipovi konzolne Banki turbine primenljivi su za protoke od 20-100 l/s pri padovima od 12-50 m, dok se otvorene Banki turbine mogu koristiti pri protocima od 40-300 l/s na padovima od 1-8 m.

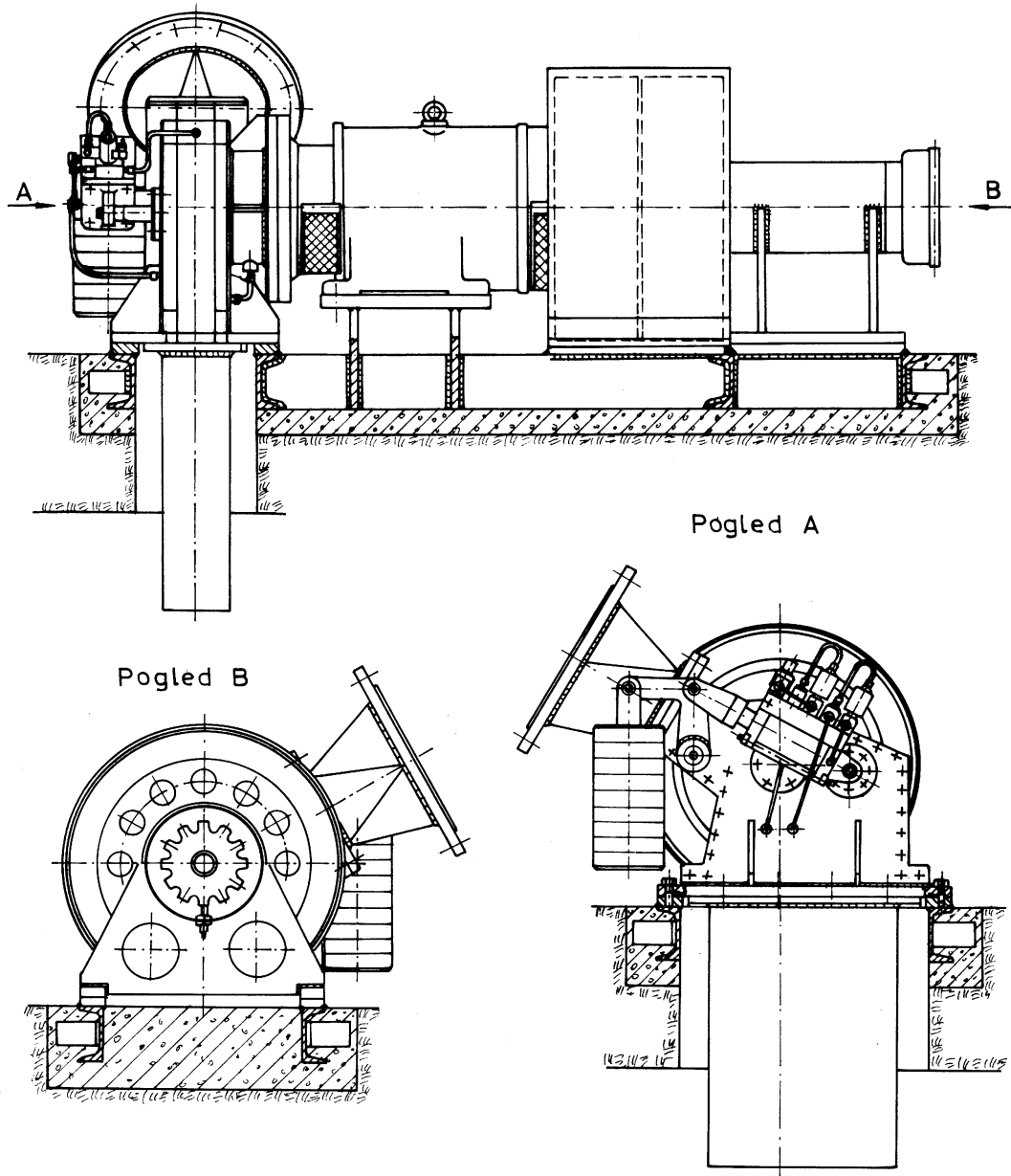
Turbinski agregati su opremljeni asinhronim generatorima sa kondezatorskom pobudom, namenjenim za rad u izolovanom sistemu ili paralelno sa distributivnom mrežom.

### **2. KONZOLNA BANKI TURBINA**

Tehničko rešenje turbinskog agregata sa konzolnom Banki turbinom dato je na sl.1.

Banki turbina je uprošćene konstrukcije bez sopstvenog vratila i ležaja. Obrtno kolo se postavlja na vratilo generatora, a oklop turbine se vezuje sa prirubicom na kućištu generatora.

Oklop turbine i generator su postavljeni na zajedničko postolje. Na kraju slobodnog kraja vratila generatora postavljen je zamajac radi ostvarenja ravnomerne brzine agregata potrebne za izolovani pogon. Kod prikazanog tehničkog rešenja ugrađen je i dodatni zamajac sa svojim uležištenjem, takođe postavljen na zajednički ram.



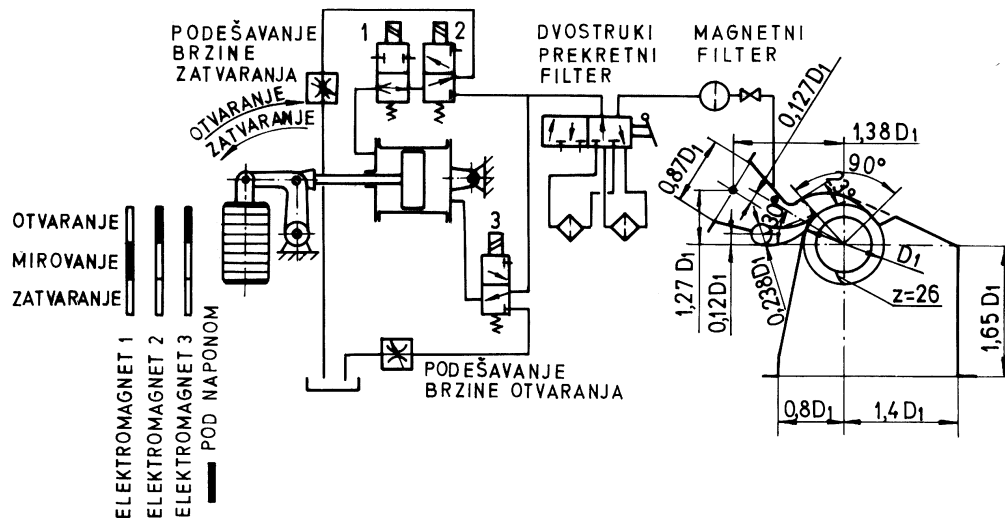
Slika 1

Obrtno kolo je izrađeno od nerđajućeg, a ostali delovi turbine od konstrukcijskih čelika. Oklop turbine je trodelan, a zaptivanje je izvedeno gumenim gajtanom okruglog preseka. Zaptivanje obrtnog dela sa strane vratila izvedeno je V-prstenom od perbunana.

Regulacija protoka se ostvaruje zakretanjem sprovodne lopatice tipa "klapna", sa osovinom na kraju. Lopatica je uležištena čaurama od samomaznog materijala na osnovi teflona i poliestera, a zaptivanje rukavaca lopatice je izvedeno sa manžetnama od perbunana sa unutrašnjom zaptivnom usnom. Bočno zaptivanje lopatice je sa okruglom gumom u žlebovima.

S obzirom na padove sa kojima turbina radi, za regulaciju je izabran hidraulički pogon sa vodom iz protočnog trakta, sl. 2. Servomotor je dvostrukog dejstva, izrađen od nerđalućeg čelika. Zaptivanje klipa i klipnjače izvršeno je manžetnama od perbunana, a njihovo vođenje prstenovima na bazi teflona. Zglobne veze polužja sa servomotorom i tegom izvedene su sa samomaznim zglobnim ležajima.

Komandovanje servomotora se obavlja preko elektromagnetnih ventila.



Slika 2

### 3. OTVORENA BANKI TURBINA

Tehničko rešenje turbinskog agregata sa otvorenom Banki turbinom dato je na sl. 3.

Kako je otvorena Banki turbina namenjena za korišćenje na najmanjim padovima, dovod vode u turbinu je sa donje strane obrtnog kola, kroz usmerivač vode.

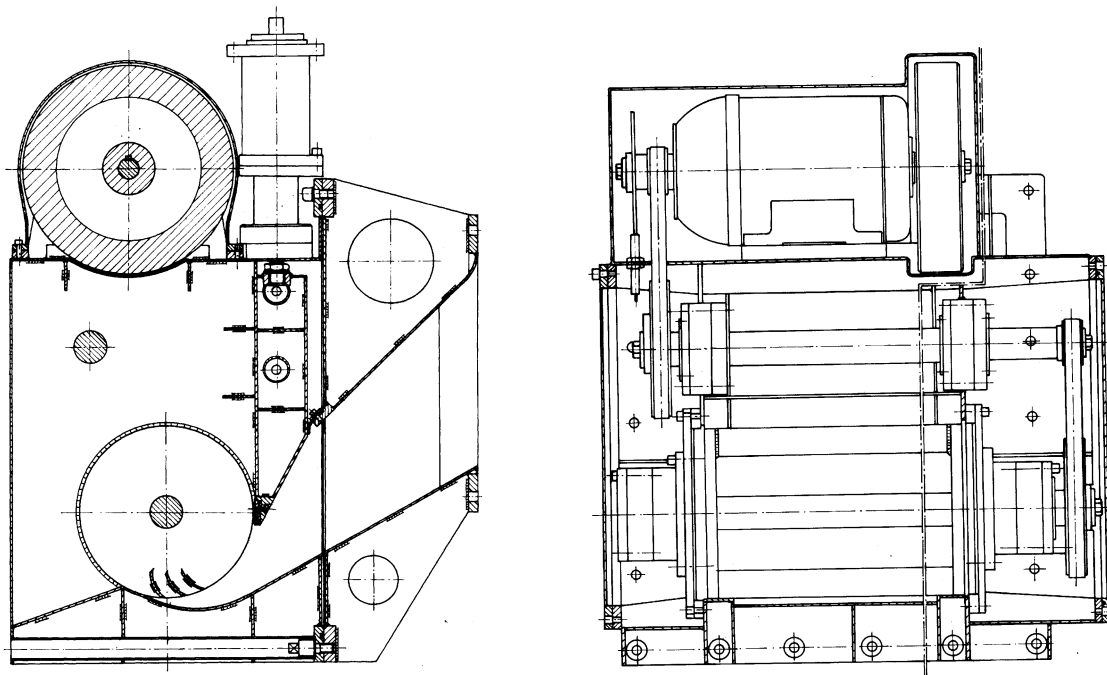
Obzirom na male padove na kojima turbina radi, dolazi do niske učestanosti obrtanja turbine, što zahteva primenu dvostepenog kaišnog multiplikatora kod korišćenja standardnih generatora sa sinhronom učestanosti obrtanja od  $1500 \text{ min}^{-1}$ .

Dvostepeni multiplikator je ostvaren preko međuvratila, uz primenu zupčastih kaiševa. Vratilo turbine i međuvratilo uležišteni su sa samopodesivim kotrljajnim ležajima podmazanim mašću, a zaptivanje kućišta ležaja je sa V-prstenovima. Kućišta ležaja turbinskog vratila prema vodi su, takođe, zaptivena pomoću V-prstenova.

Kaišni prenosi se nalaze u bočnim komorama kućišta turbine, čiji su poklopci zaptiveni pomoću gumenih gajtana okruglog preseka.

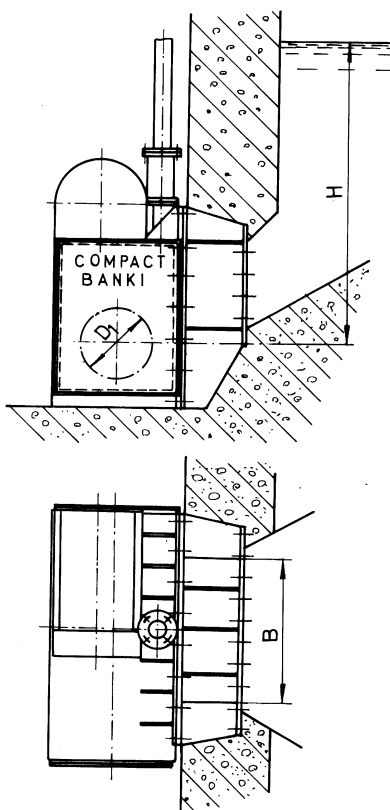
Regulacija protoka se ostvaruje spuštanjem sprovodne lopatice u obliku tablastog zatvarača. Zaptivanje sprovodne lopatice izvedeno je primenom ravnih gumenih zaptivača. Sprovodna lopatica je točkovima, uležištenim sa samomaznim čaurama, a zaptivenim prema vodi sa V-prstenom.

Za regulaciju turbine može se koristiti elektromotorni i uljno-hidraulični pogon. Sa uzvodne strane kućišta turbine postavljen je usmerivač vode, koji se ugrađuje u beton brane ili zaustavnog zida. Na kućištu turbine postavljen je generator sa zamajcem.



Slika 3

Kompletan turbinski agregat se ugrađuje na otvorenom prostoru na telu brane ili zaustavnog zida, pa je potpuno oklopljen, sl. 4.



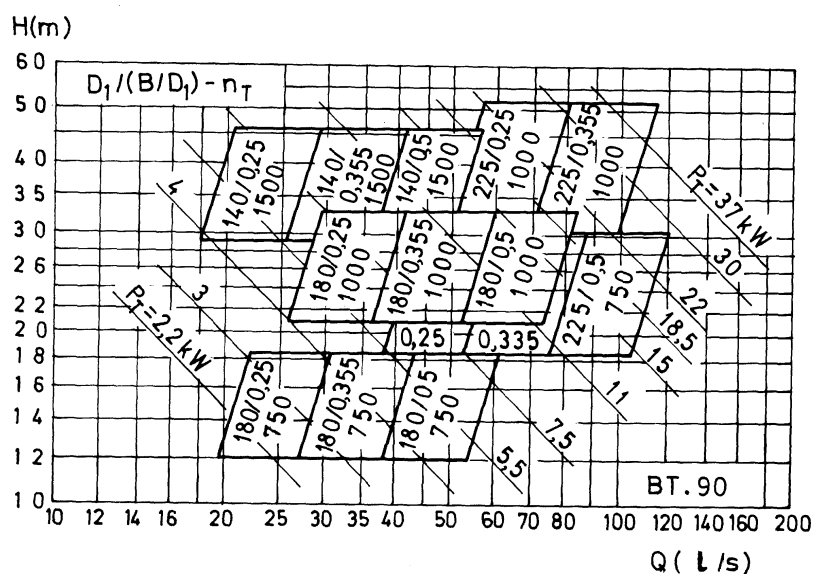
Slika 4

#### 4. TIPIZACIJA TURBINSKIH AGREGATA

Hidrauličke karakteristike turbinskih agregata određene su na bazi rezultata modelskih ispitivanja Banki turbina, izvršenih u Laboratoriji za strujno-tehnička merenja i modelska ispitivanja Mašinskog fakulteta u Beogradu [1].

Modelskim ispitivanjima utvrđeni su optimalni hidraulički oblici protočnog trakta klasične Banki turbine. Pri ovim ispitivanjima dobijen je optimalni obuhvatni ugao spirale sprovodnog aparata  $\varphi = 90^\circ$ , pa je ova serija Banki turbine označena sa BT.90.

Na sl. 5 dat je dijagram za izbor tipiziranih, konzolnih Banki turbina prema raspoloživim padovima i protocima.



Slika 5

Svaki tip konzolne Banki turbine određen je prečnikom obrtnog kola  $D_1$  [mm], relativnom širinom sprovodnog aparata  $B/D_1$  i učestanošću obrtanja  $n_T$  [ $\text{min}^{-1}$ ].

Tipizirana su tri prečnika obrtnog kola  $D_1 = 140, 180$  i  $225$  mm, kao i tri relativne širine sprovodnog aparata  $B/D_1 = 0,25; 0,355$  i  $0,5$ .

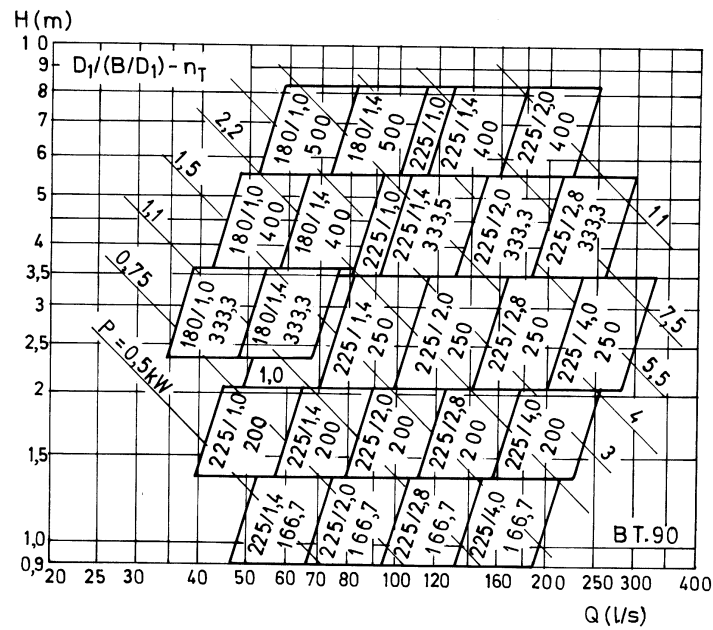
Na sl. 6 dat je dijagram tipiziranih parametara otvorene Banki turbine. Kod ovog tipa turbine tipizirana su dva prečnika obrtnog kola  $D_1 = 180$  i  $225$  mm, i pet relativnih širina sprovodnog aparata  $B/D_1 = 1,0; 1,4; 2,0; 2,8$  i  $4,0$ .

U tabeli 1 date su ukupne i pojedinačne vrednosti prenosnog odnosa kaišnog multiplikatora za tipizirane učestanosti obrtanja turbine, pri sinhronoj učestanosti obrtanja generatora od  $1500 \text{ min}^{-1}$ .

Tabela 1

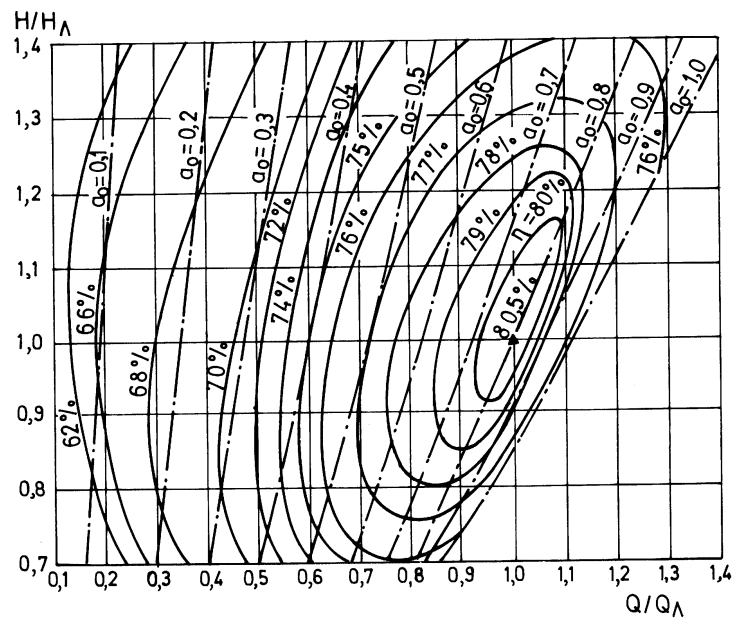
$n_T$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	400	333,3	250	200	166,7
$i = i_1 \cdot i_2$	3,75	4,5	6	7,5	9,0
$i_1$	1,5	1,5	2	2,5	3
$i_2$	2,5	3	3	3	3

Oba tipa Banki turbine mogu da se eksploatišu i u široj radnoj oblasti od one date na dijagramima sa sl. 5 i 6.



Slika 6

Na sl. 7 data je eksploataciona protočna karakteristika Banki turbine sa relativnim padovima  $H/H_\Lambda$  i relativnim protocima  $Q/Q_\Lambda$ , primenljiva za svaku tipiziranu jedinicu.



Slika 7

U tabelama 2, 3 i 4 date su optimalne pogonske tačke tipiziranih turbina preko  $H_\Lambda$  i  $Q_\Lambda$ .

Tabela 2

$D_A$ [mm]	140					
$B/D_A$	0,25		0,355		0,5	
$n_T$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$H_A$	$Q_A$	$H_A$	$Q_A$	$H_A$	$Q_A$
1500	36,0	24,7	36,0	35,1	36,0	49,4

Tabela 3

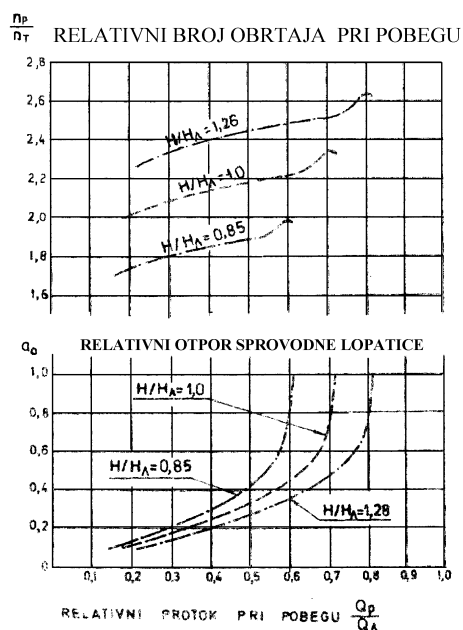
$D_j$ [mm]	180					
$B/D_A$	0,5		0,355	0,5	1,0	1,4
$n_T$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$H_A$	$Q_A$	$Q_A$	$Q_A$	$Q_A$	$Q_A$
1 000	26,4	34,9	49,6	69,9	-	-
750	14,9	26,3	37,3	52,5	-	-
500	6,6	-	-	-	69,9	97,8
400	4,2	-	-	-	55,7	78,0
333,3	2,9	-	-	-	46,3	64,9

Tabela 4

$D_j$ [mm]	225								
$B/D_A$	0,5		0,355	0,5	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0
$n_T$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$H_A$	$Q_A$	$Q_A$	$Q_A$	$Q_A$	$Q_A$	$Q_A$	$Q_A$	$Q_A$
1 000	41,3	68,3	97,0	-	-	-	-	-	-
750	23,2	51,2	72,7	102,4	-	-	-	-	-
400	6,6	-	-	-	109,2	152,9	218,4	-	-
333,3	4,6	-	-	-	91,2	127,6	182,3	255,3	-
250	2,6	-	-	-	68,5	95,9	137,1	191,9	274,1
200	1,65	-	-	-	54,6	76,4	109,2	152,9	218,4
166,7	1,15	-	-	-	-	63,8	91,2	127,6	182,3

## 5. POBEG TURBINSKIH AGREGATA

Na sl. 8 date su karakteristike pobega Banki turbine serije BT.90, i to zavisnost relativne učestanosti obrtanja u pobegu  $n_P/n_T$  i relativnog otvora sprovodnog aparata od relativnog protoka u pobegu  $Q_P/Q_A$  za tri pada.



Slika 8

Kod konzolne Banki turbine sa hidrauličnim pogonom sprovodne lopatice, zaštita od pobega se ostvaruje zatvaranjem sprovodne lopatice pod delovanjem tega u beznaponskom stanju elektromagnetnih ventila za komandovanje.

Pri elektromotornom pogonu sprovodne lopatice, kod otvorene banki turbine, zaštita turbinskog agregata od pobega se ostvaruje spuštanjem sprovodne lopatice sa napajanjem elektromotora iz akumulatorske baterije.

## 6. UPRAVLJAČKI UREĐAJ TURBINSKOG AGREGATA

Upravljački uređaj turbinskog agregata obezbeđuje sledeće delovanje:

- automatski start i vezivanje agregata na izolovanu mrežu,
- automatski start i vezivanje agregata na distributivnu mrežu,
- regulaciju učestanosti obrtanja u izolovanom pogonu,
- promenu snage agregata u paralelnom radu,
- programsko delovanje pri potpunom i delimičnom zbacivanju snage,
- zaustavljanje agregata sa isključenjem generatora sa izolovane mreže,
- zaustavljanje agregata sa isključenjem generatora sa distributivne mreže,
- zaustavljanje agregata pri preopterećenju kod izolovanog pogona,
- zaustavljanje agregata pri pobegu, i
- zaustavljanje agregata pri delovanju električnih zaštita generatora.

## 7. ZAKLJUČAK

Nakon višegodišnjeg bavljenja problemom malih hidroelektrana i njihovom primenom na malim vodotocima sa širokim opsegom protoka, pokazalo se da Banki turbina pri padovima od 1-50 m ima, uopšteno rečeno, nesumljivu prednost u odnosu nad mnogim drugim tipovima turbina.

Vođeni zahtevom da male hidroelektrane moraju biti što jednostavnije i ujedno bez posade, proistekle su konstrukcije konzolne i otvorene Banki turbine zavisno od veličine pada. Posebna važnost u primeni Banki turbina sastoji se u posedovanju univerzalnih hidrauličkih karakteristika i svodnih dijagrama. Shodno tome, obavljena su obimna eksperimentalna ispitivanja u cilju osvajanja najpogodnijih hidrauličkih oblika i određivanja univerzalnih karakteristika.

**ZAHVALNOST:** Autori duguju zahvalnost Ministarstvu za nauku i životnu sredinu koje je finansiralo projekat EE 719-1019B.

## REFERENCE

### *Izveštaji*

- [1] Benišek M., Ignjatović B., Nedeljković M., Ilić D., Čantrak Đ, Božić I.: Energetska ispitivanja Banki turbine BT.300.120 obuhvatnog ugla uvodnog ugla uvodnog organa  $\varphi = 120^\circ$  i modifikovane Banki turbine BT.300.90 obuhvatnog ugla uvodnog ugla uvodnog organa  $\varphi = 90^\circ$  u Centru za hidraulične mašine i energetske mašine Mašinskog fakulteta u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd 2005.