

Prezentacija rezultata istraživanja, razvoja i osvajanja malih hidroelektrana sa Banki turbinama

1. Uvod

Istraživanje malih hidroelektrana sa različitim tipovima hidrauličnih turbina imaju dugogodišnju naučnu tradiciju u okvirima Katedre za hidraulične mašine i energetske sisteme Mašinskog fakulteta u Beogradu. Intenzivan naučni i stručni razvoj u oblasti hidrauličnih mašina su započeli akademik Nikola Obradović i Prof.Dr.-Ing. Ivo Vušković. Istraživanja i razvoj različitih tipova turbina se obavljaju i danas.

U okviru projekta koje je finansiralo Ministarstvo nauke Republike Srbije razvije pod nazivom "Male hidroelektrane sa Banki turbinama za proizvodnju električne energije i direktne veze sa pumpnim sistemima", broj EE 718-1019B u periodu 2003-2006. god. je uobičajen razvoj odgovarajuće hidraulike protočnog trakta, njenog optimiziranja, izrade prototipa celog agregata, projektovanje i izrada ispitnog štanda, kao i samo ispitivanje modela Banki turbine i određivanje univerzalnih karakteristika.

U ovom radu biće prikazane glavne aktivnosti i rezultati postignuti u okviru ovog projekta. Na ovaj način se pokazalo da su domaća nauka i industrija sposobni da zaokruže ovakav jedan tehnološki proces. Ovo je utoliko važnije, kako raste upotreba ekoloških izvora energije u našoj zemlji.

Glavna osobina Banki turbine je relativno dobar stepen korisnosti u širokom opsegu 20-100% od instalisanog protoka, što odgovara malim vodotokovima sa velikom promenom protoka tokom godine u Srbiji. Imajući na umu i jednostavnost konstrukcije izrađena su tehnička rešenja turbinskih agregata, namenjenih za energetske korišćenje malih vodotokova.

Rezime

U okviru ovog rada se sažeto prikazuju rezultati višegodišnjeg istraživanja, razvoja i osvajanja malih hidroelektrana (MHE) sa Banki turbinama. Banki turbina zadržava visok stepen korisnosti u širokom intervalu protoka, što je od značaja za male vodotokove u Republici Srbiji, gde je velika promena protoka tokom godine. Banki turbina tipa BT 300.90 je razvijena po svim strogim principima hidroenergetske struke: istraživanje strujanja, geometrijsko-energetsko oblikovanje protočnog trakta, modelska ispitivanja, dobijanje univerzalnih karakteristika turbine, formiranje MHE i merenje karakteristika agregata. Ukazuje se da se, tek na ovaj način projektovana i ispitana hidraulična turbina, može pouzdano ugrađivati u MHE. Na bazi istraživanja je sačinjen katalog tipiziranih turbinskih agregata sa Banki turbinom, u rasponu snaga od 1 do 315 kW, protoka od 2 do $2,6 \cdot 10^4$ l/s i padova od 3 do 50 m.

Ključne reči: MHE, Banki turbina, istraživanje, razvoj, osvajanje.

Presentation of the Research Development and Realization Results of the Small Hydropower Plants with Banki Turbines

In this paper are briefly presented results of the investigation, development and realization of the small hydropower plants (SHP) with Banki turbines. Banki turbine holds high efficiency in a great discharge interval. This is of interest for small rivers with great flow fluctuations. Banki turbine of type BT 300.90 is developed under strict hydropower engineering principles: fluid flow investigation, geometrical and energetic shaping of the fluid flow geometry, model testing, obtaining turbine universal characteristics, forming SHP and measuring unit characteristics. It is shown that only in this way projected and tested hydraulic turbine could be successfully built in SHP. Catalogue of turbine units with Banki turbine in the interval of power of 1 to 315 kW, discharge of 2 to $26 \text{ m}^3/\text{s}$ and head of 3 to 50 m is obtained on the basis of the investigations.

Keywords: SHP, Banki turbine, investigation, development, realization.

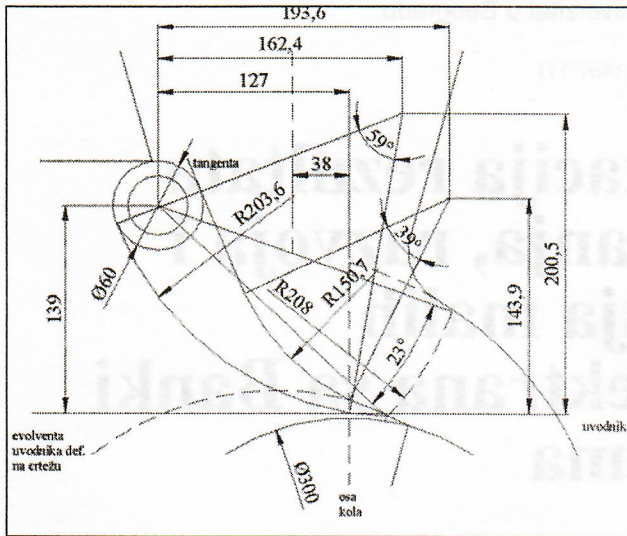
2. Istraživanje i osvajanje optimalnog oblika protočnog trakta Banki turbine

Istraživanje i osvajanje optimalnog oblika protočnog trakta Banki turbine je zasnovano na postojećim i novo razvijenim metodama. U okviru ove faze istraživanja su definisani oblik sprovednog aparata, obrtnog kola i optimalni oblik uvodne komore.

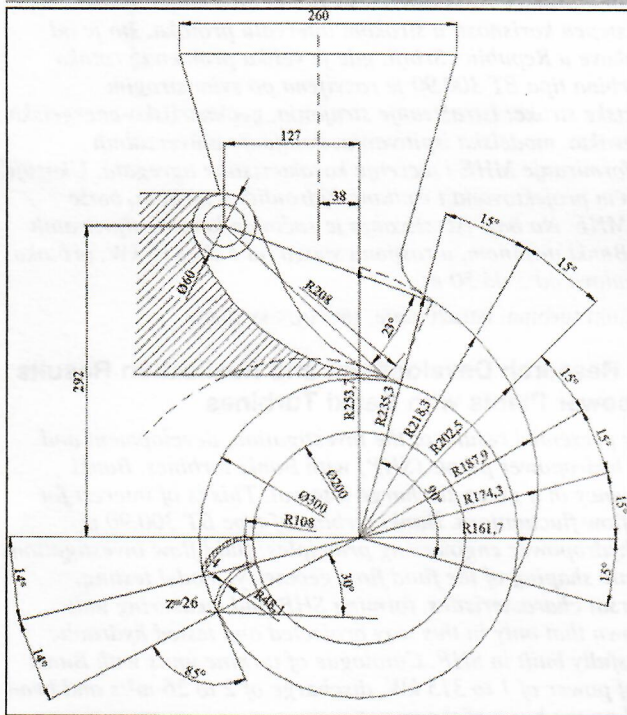
Definisanje granica strujnog prostora u cilju otklanjanja neželjenih strujnih efekata je veoma čest problem u

inženjerskoj praksi, posebno hidroenergetici i hidrotehnici. Strujanje u krivolinijskim kanalima različitog poprečnog preseka je veoma komplikovano i poprilično neistraženo. Pravilnim oblikovanjem optimalnog oblika hidrauličkog prostora se obezbeđuje stabilno strujanje, bez odlepljivanja struje, nastajanja sekundarnih strujanja i nestacionarnih pojava. Kako bi se izbeglo dugotrajno eksperimentisanje koje ponekad ne dovodi do optimalnog rešenja, za definisanje strujne geometrije je

Slika 1 Konstruktivni crtež sprovedne lopatice koja odgovara prečniku radnog kola $D_1=300\text{mm}$



Slika 2 Hidraulički oblik protočnog trakta Banki turbine sa obuhvatnim uglom $\varphi=90^\circ$



korišćena metoda kinetičke ravnoteže kao teorijski prilaz optimalnog rešenja oblika strujnog prostora. Korišćen je Lagranžev princip virtuelnog rada primenjen za određivanje najpovoljnijeg oblika strujnog prostora, bez pojava nastajanja zona "mrtve vode", koje se stvaraju kada fluid ne može da prati granice strujnog prostora. Jedan od uzroka nastajanja "mrtve vode" je i tzv. inercijsko odlepljivanje koje se ne može sprečiti isisavanjem graničnog sloja.

Protočni trakt Banki turbine se sastoji iz tri osnovna dela: uvodna komora sa sprovednom lopaticom, radno kolo i sifon. Princip rada, kao i za sve ostale

akcijske turbine je, iskorišćavanje kinetičke energije vode koja se dovodi pomoću uvodne komore radnom kolu, koji je veoma važan deo turbine. Njena uloga je da svojim usmernim površinama dovede vodu u radno kolo pod određenim uglom sa što manjim gubicima energije. U uvodnu komoru se smešta sprovedni organ (sprovedna lopatica), koji služi za regulaciju protoka. Pored mlaznika, sa hidrauličkog stanovišta, najpogodnije je da sprovedni organ bude hidraulički oblikovana lopatica, konzolno oslonjena, koja se završava evolventnim zaobljenjem (slika 1). Problem oblikovanja optimalne geometrije strujnog prostora, koja će obezbediti stabilno strujanje sa minimumom nepoželjnih pojava proučavano je od strane Strscheletzky -og [1,2] i u okviru radova navedenih u literaturi [4-7].

Definisanje integrala dejstva i odgovarajućeg uslova ravnoteže je učinjeno u okviru radova Benišek i sar. [4-7], sa teorijskim osnovama prikazanim u [10]. Metoda kinematske ravnoteže je primenjena u slučaju određivanja optimalnog oblika uvodne komore Banki turbine. Primenom određenog proračunskog postupka na varijantne geometrije uvodne komore Banki turbine izračunate su vrednosti integrala dejstva za svako rešenje. Prema primenjenoj teoriji, odabrano je varijantno rešenje oblika uvodne komore Banki turbine sa minimalnom vrednošću integrala dejstva (slika 2). Obuhvatni uglovi Banki turbine mogu imati različite vrednosti. U ovom radu je prikazana konstrukcija za usvojeni ugao od 90° . Usvojena je i konstrukcija

za obuhvatni ugao od 120° . Prikazani metod kinetičke ravnoteže zasnovan na Lagranževom principu virtuelnog rada primenjenom na strujanje fluida je koristan alat za analitičko određivanje optimalnog oblika granica strujnog prostora, ali zbog uticaja viskoznosti definitivni oblik strujnog prostora se ipak mora proveriti eksperimentalnim ispitivanjima, što je i učinjeno.

3. Projektovanje i izrada potrebne dokumentacije modela BT I turbinskog regulatora

U okviru ovih aktivnosti je izrađen sklopni crtež Banki turbine BT.90.K (slika 3). Projektovana su dva originalna konstruktivna rešenja turbinskih agregata sa:

- konzolnom Banki turbinom (slika 4), primenljivom na malovodnim vodotocima gde se mogu ostvariti veći padovi i
- otvorenom Banki turbinom, za korišćenje na vodotocima sa malim padovima i relativno velikim proticajima.

3.1 Konzolna Banki turbina

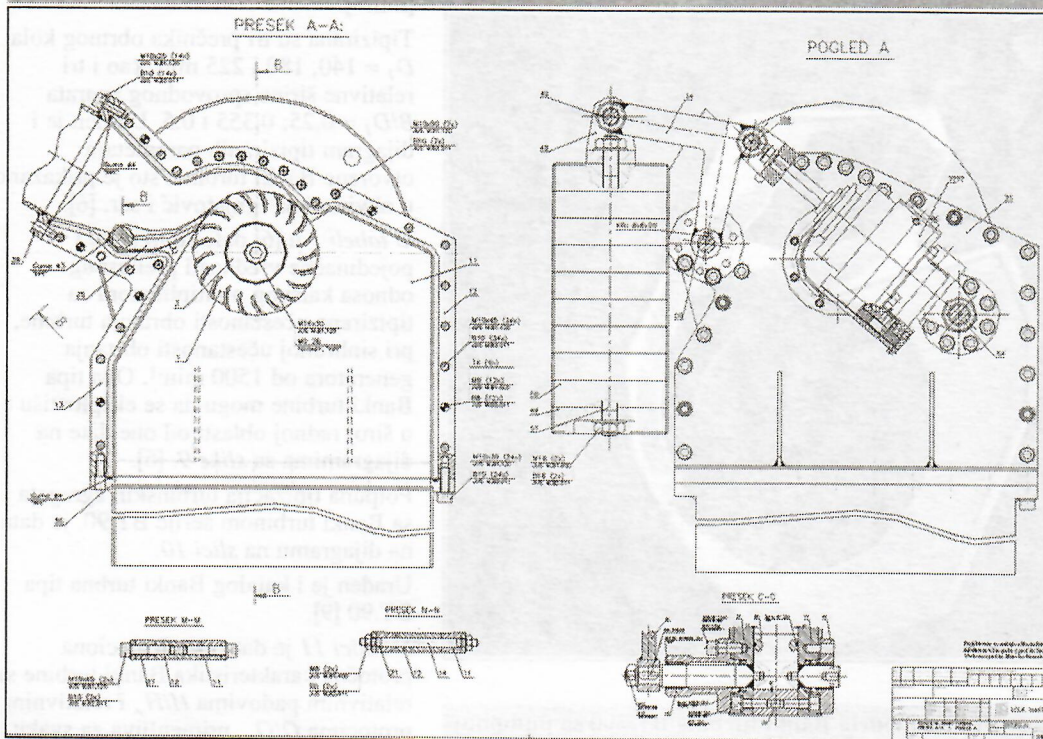
Banki turbina je uprošćene konstrukcije bez sopstvenog vratila i ležaja. Obrtno kolo se postavlja na vratilo generatora, a oklop turbine se vezuje sa prirubnicom na kućištu generatora. Oklop turbine i generator su postavljeni na zajedničko postolje. Na kraju slobodnog kraja vratila generatora postavljen 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.

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 perburnana.

Regulacija protoka se ostvaruje zakretanjem sprovedne lopatice tipa "klapna", sa osovinom na kraju. Geometrijski parametri lopatice su dati na slici 1. Lopatica je uležištena čaurama od samomaznog materijala na osnovi teflona i poliestera, a zaptivanje rukavaca lopatice je izvedeno sa manžetnama od perburnana sa unutrašnjom zaptivnom usnom. Bočno zaptivanje lopatice je sa okruglom gumom u žlebovima. [6]

S obzirom na padove sa kojima turbina radi, za regulaciju je izabran hidraulički pogon sa vodom iz protočnog trakta [6]. Servomotor je dvostrukog dejstva, izrađen od nerđajućeg čelika.

Slika 3 Sklopni crtež Banki turbine BT.90.K.

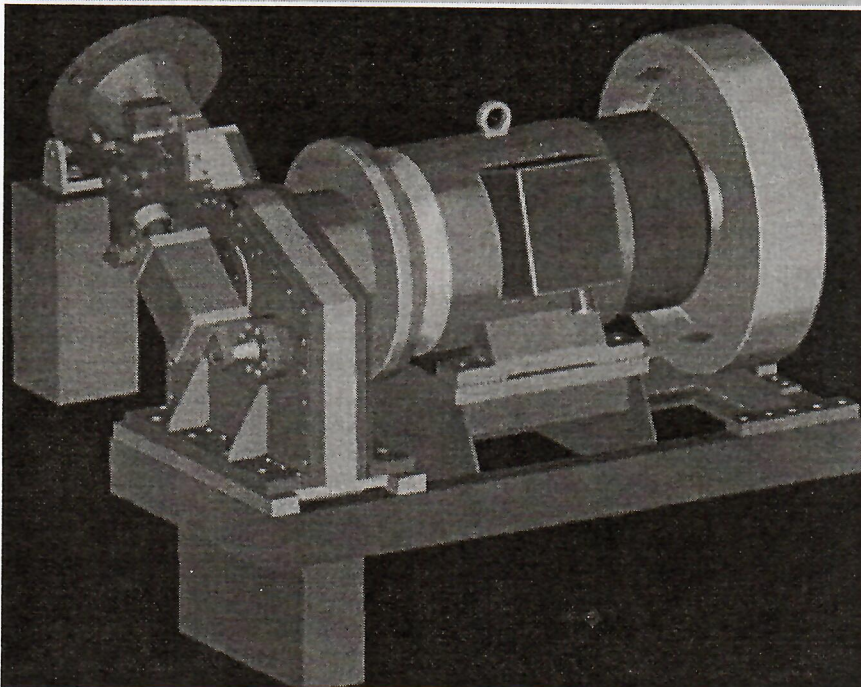


međuvratilo uležišteni su sa samopodesivim kotrljajnim ležajima podmazanim mašću, a zaptivanje kućišta ležaja je sa V-prstenovima. Kućišta ležaja turbinskog vratila prema vodi su, takođe, zaptivena pomoću V-prstenova.

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,

Slika 4 3D kompjuterski model konzolne Banki turbine BT.90.K [8].



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.

Kompletan turbinski agregat se ugrađuje na otvorenom prostoru na telu brane ili zaustavnog zida, pa je potpuno oklopljen [6]

4. Energetska ispitivanja modela Banki turbine

Istraživanja su obavljena na projektovanom i realizovanom modelu Banki turbine, prečnika obrtnog kola $D_1=300\text{mm}$ (slika 5). Ugrađen je u opitno postrojenje, na kome su izvršena obimna laboratorijska ispitivanja sa dva obuhvatna ugla ulaznog organa i to $\varphi=90^\circ$ i $\varphi=120^\circ$.

Izvršena je adaptacija opitnog postrojenja za energetska ispitivanja sistemom kočenja turbine elektromotornom kočnicom. Instalacija za ispitivanje je prikazana na slici 6.

Na osnovu sprovedenih opsežnih eksperimentalnih ispitivanja dobijeni su topografski dijagrami za dva različita obuhvatna ugla (slike 7 i 8).

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.

Zaptivanje klipa i klipnjače izvršeno je manžetnima od perbunana, a njihovo vođenje prstenovima na bazi teflona. Zglobne veze položaja sa servomotorom i tegom izvedene su sa samomaznim zglobnim ležajima. Komandovanje servomotora se obavlja preko elektromagnetnih ventila.

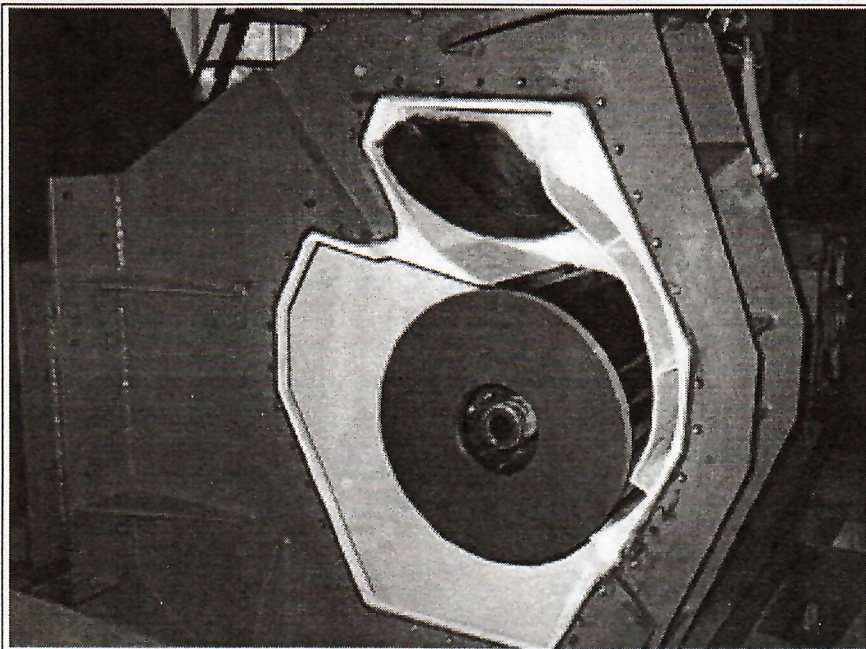
3.2 Otvorena Banki turbina - vodeni točak [6]

Kako je otvorena Banki turbina (vodeni točak) namenjena za korišćenje na

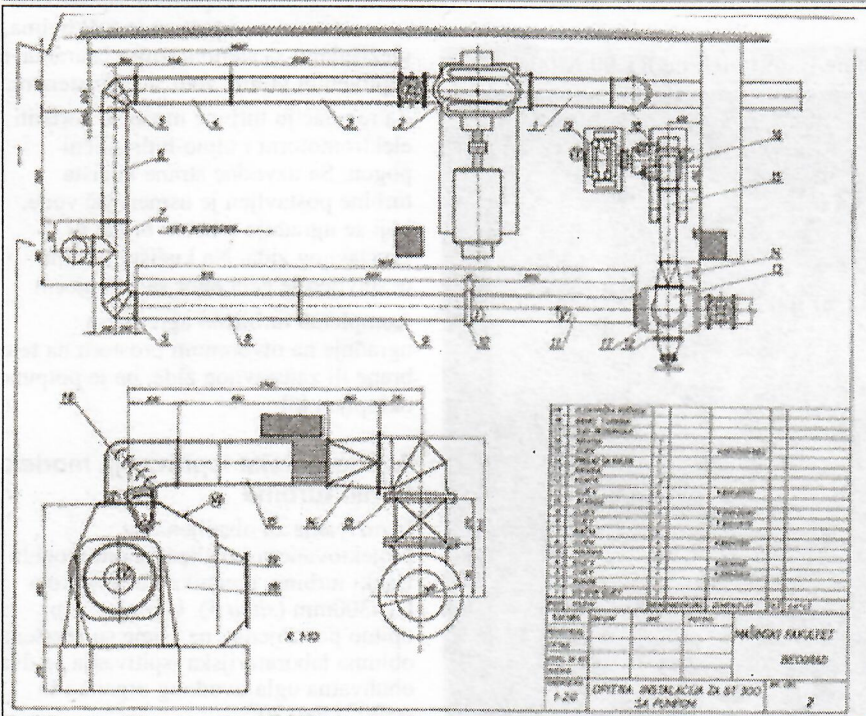
najmanjim padovima, dovod vode u turbinu je sa donje strane obrtnog kola, kroz usmerivač vode. S obzirom na male padove na kojima turbina radi, dolazi do niske učestanosti obrtanja turbine, što zahteva primenu dvostepenog kaišnog multiplikatora kod korišćenja standardnih generatora sa sinhronom učestanosti obrtanja od 1500 min^{-1} .

Dvostepeni multiplikator je ostvaren preko međuvratila, uz primenu zupčastih kaiševa. Vratilo turbine i

Slika 5 Ispitivani model Banki turbine sa obuhvatnim uglom $\varphi=90^\circ$



Slika 6 Instalacija za ispitivanje modela Banki turbine BT.300 sa pumpom



6. Rezultati ispitivanja modela BT.300.90 i BT.300.120 Š3C

Hidrauličke karakteristike turbinskih agregata određene su na bazi rezultata modelskih ispitivanja Banki turbina, izvršenih u Laboratoriji Centra za hidraulične mašine i energetske sisteme Mašinskog fakulteta u Beogradu [3].

Kao krajnji rezultat ispitivanja modela Banki turbine je nastala i tipizacija turbinskih agregata sa Banki turbinom serije BT.90. Definisane su oblasti primene konzolne Banki turbine, Banki turbine bez multiplikatora, sa kaišnim

multiplikatorom i sa zupčastim multiplikatorom. Izrađen je katalog raznih varijantnih konstruktivnih rešenja Banki turbina sa definisanim merama. Određeni su optimalni hidraulički parametri Banki turbina za različite prečnike obrtnog kola Na slici 9 je dat dijagram za izbor tipiziranih, konzolnih Banki turbina prema raspoloživim padovima i protocima.

Svaki tip konzolne Banki turbine određen je prečnikom obrtnog kola D_1 [mm], relativnom širinom sprovednog

aparata B/D_1 i učestanošću obrtanja n_T [min^{-1}].

Tipizirana su tri prečnika obrtnog kola $D_1 = 140, 180$ i 225 mm, kao i tri relativne širine sprovednog aparata $B/D_1 = 0,25; 0,355$ i $0,5$. Urađen je i dijagram tipiziranih parametara otvorene Banki turbine, što je prikazano u okviru rada Ignjatović i sar. [6].

U tabeli 1 u [6] date su ukupne i pojedinačne vrednosti prenosnog odnosa kaišnog multiplikatora za tipizirane učestanosti obrtanja turbine, pri sinhronoj učestanosti obrtanja generatora od 1500 min^{-1} . Oba tipa Banki turbine mogu da se eksploatišu i u široj radnoj oblasti od one date na dijagramima sa slike 9. [6].

Potpuna tipizacija turbinskih agregata sa Banki turbinom serije BT.90. je data na dijagramu na slici 10.

Urađen je i katalog Banki turbina tipa BT.90 [9].

Na slici 11 je data eksploataciona protočna karakteristika Banki turbine sa relativnim padovima H/H_Δ i relativnim protocima Q/Q_Δ , primenljiva za svaku tipiziranu jedinicu.

Optimalne pogonske tačke tipiziranih turbina preko H_Δ i Q_Δ i karakteristike pobege Banki turbine serije BT.90, i to zavisnost relativne učestanosti obrtanja u pobegu n_p/n_T i relativnog otvora sprovednog aparata od relativnog protoka u pobegu Q_p/Q_Δ za tri pada je dato u Ignjatović i sar. [6].

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

Pri elektromotornom pogonu sprovedne lopatice, kod otvorene Banki turbine, zaštita turbinskog agregata od pobege se ostvaruje spuštanjem sprovedne lopatice sa napajanjem elektromotora iz akumulatorske baterije.

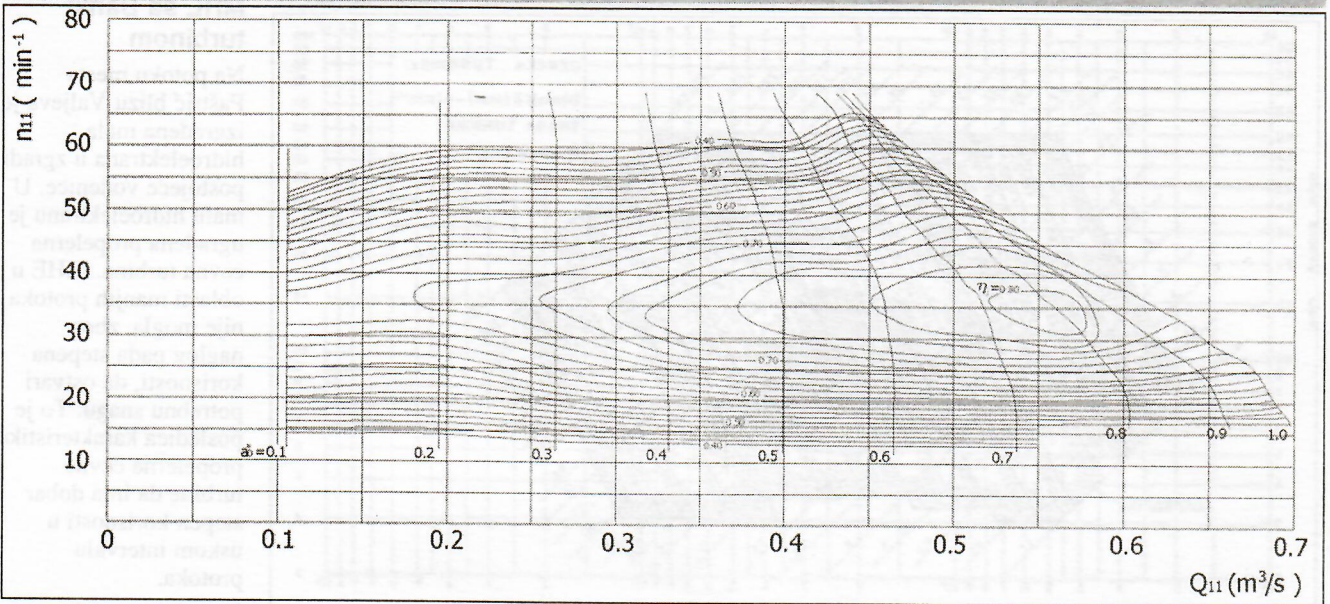
Delovanje upravljačkih uređaja turbinskog agregata je definisano u okviru Ignjatović i sar. [6].

4. Prototip Banki turbine BT.140.90 i adaptacija laboratorijskog postrojenja za ispitivanje

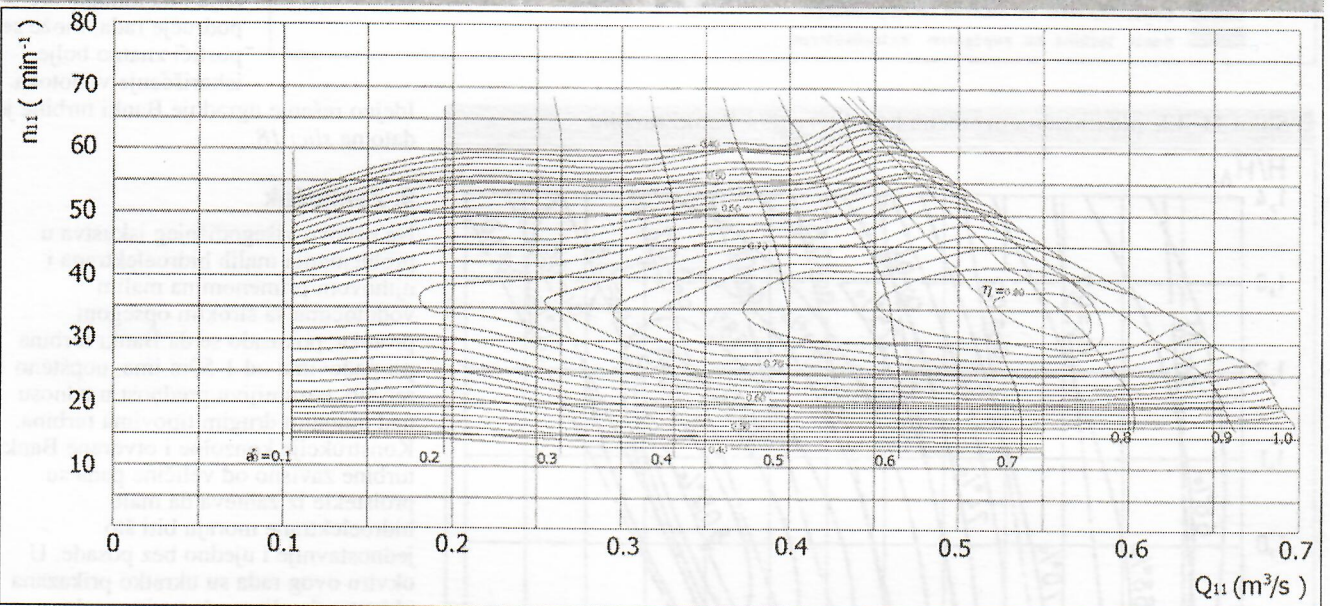
Na osnovu urađenog projekta, je realizovano tehničko rešenje konzolne Banki turbine prečnika $D_{1R}=140\text{mm}$ (slika 12).

Projektovana je i izrađena potrebna dokumentacija za adaptaciju laboratorijskog postrojenja za ispitivanje prototipa Banki turbine i to u nekoliko varijantnih rešenja. Ovde će biti prikazana jedna od varijantnih instalacija (slika 15).

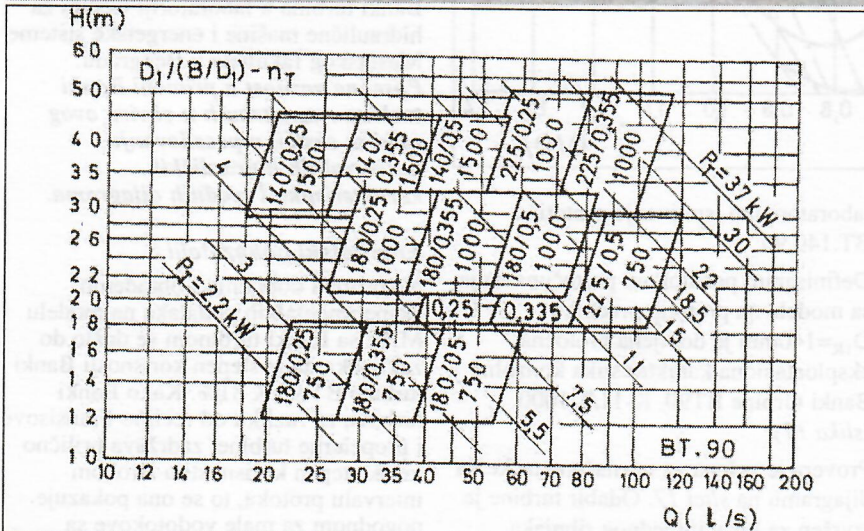
Slika 7 Topografski dijagram za turbinu BT.300.90



Slika 8 Topografski dijagram za turbinu BT.300.120



Slika 9 Dijagram za izbor tipiziranih, konzolnih Banki turbina prema raspoloživim padovima i protocima.

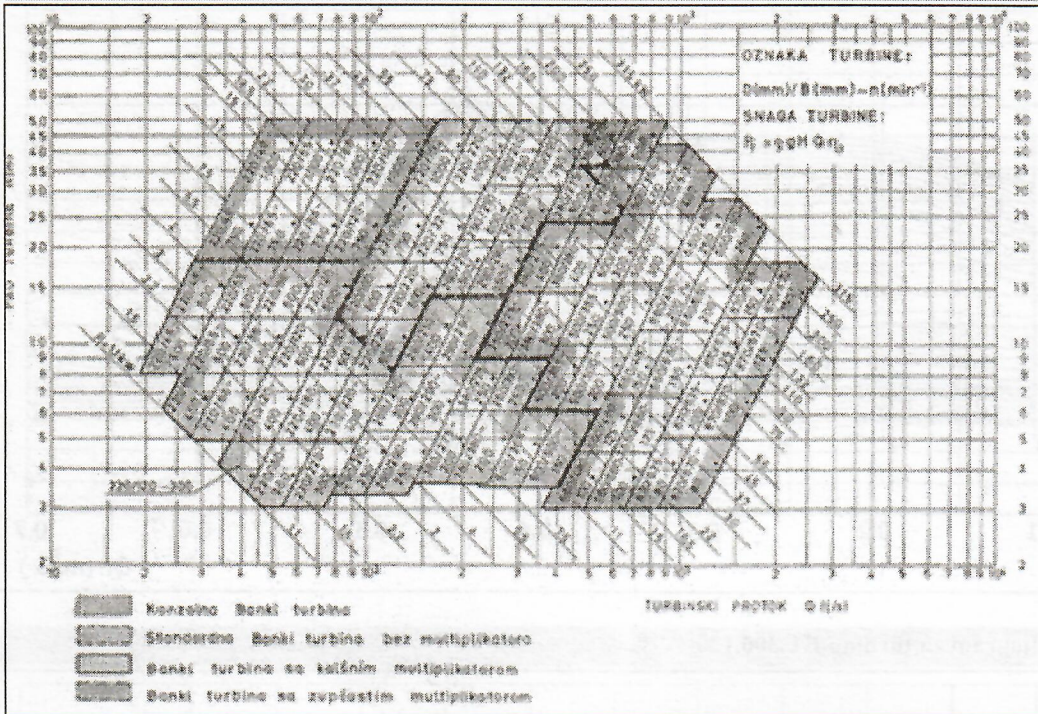


Kao prvo, ona ima mogućnost kalibracije zapreminskog protokomera tipa venturi, zapreminskom metodom do 100 l/s, koji čini jedan od glavnih elemenata za ispitivanje prototipa Banki turbine (slika 13).

Hidraulička instalacija prikazana na prethodnoj slici se sastoji od reparirane i ispitane potopne pumpe, tipa Flygt, ispitivanog protokomera, baždarnog rezervoara (slika 15), divertera sa pneumatskim sistemom za regulaciju položaja (slika 14) i sistema prohranskih i fleksibilnih creva sa jednim usisnim u ujedno potisnim rezervoarom. Cela instalacija se nalazi u laboratoriji Centra za hidraulične mašine i energetske sisteme, Mašinskog fakulteta u Beogradu.

U okviru realizacije pojedinih tehnoloških celina modela Banki

Slika 10 Tipizacija turbinskih agregata-turbinski agregati sa Banki turbinom serije BT.90.



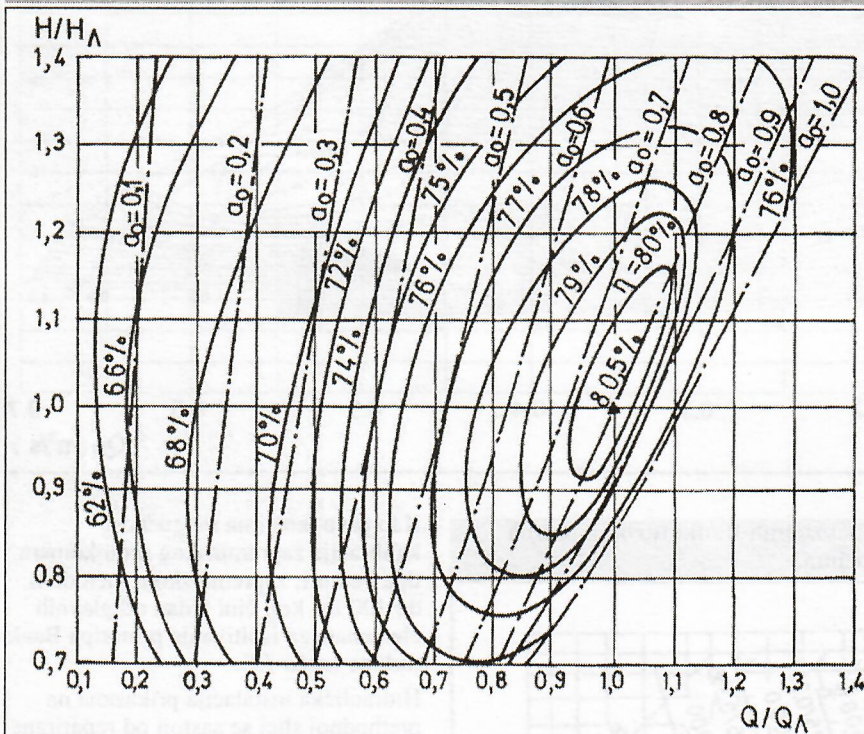
8. Primer primena MHE sa Banki turbinom

Na potoku mesta Paštrić blizu Valjeva je izgrađena mala hidroelektrana u zgradi postojeće vodenice. U malu hidroelektranu je ugrađena propelerna cevna turbina. MHE u oblasti manjih protoka nije mogla, zbog naglog pada stepena korisnosti, da ostvari potrebnu snagu. To je posledica karakteristike propelerne cevne turbine da ima dobar stepen korisnosti u uskom intervalu protoka.

Ugradnjom adekvatne Banki turbine u MHE, koja ima mnogo šire područje rada, može se postići znatno bolje iskorišćenje vodotoka.

Idejno rešenje ugradnje Banki turbine je dato na slici 18.

Slika 11 Eksploataciona protočna karakteristika Banki turbine



turbine su izrađeni svi elementi postrojenja za baždarenje protokomera zapreminskom metodom (slika 13) i svi delovi opitnog postrojenja (slika 16). Na ovaj način je završena adaptacija postojećeg opitnog postrojenja. Završene su tehničke specifikacije za realizaciju turbinskog regulatora Banki turbine, kao i izbor generatora prototipa Banki turbine usaglašenog sa mogućnostima opitne instalacije. U narednom periodu se očekuje

laboratorijsko ispitivanje prototipa BT.140.90.

Definisanim postupkom preračunavanja sa modela na prototip prečnika $D_{1R}=140\text{mm}$ je dobijena protočna eksploataciona karakteristika konzolne Banki turbine BT90, K-11/5-1000 (slika 17).

Provera je vršena za naznačene tačke na dijagramu na slici 17. Odabir turbine je izvršen za lokaciju jednog ribnjaka.

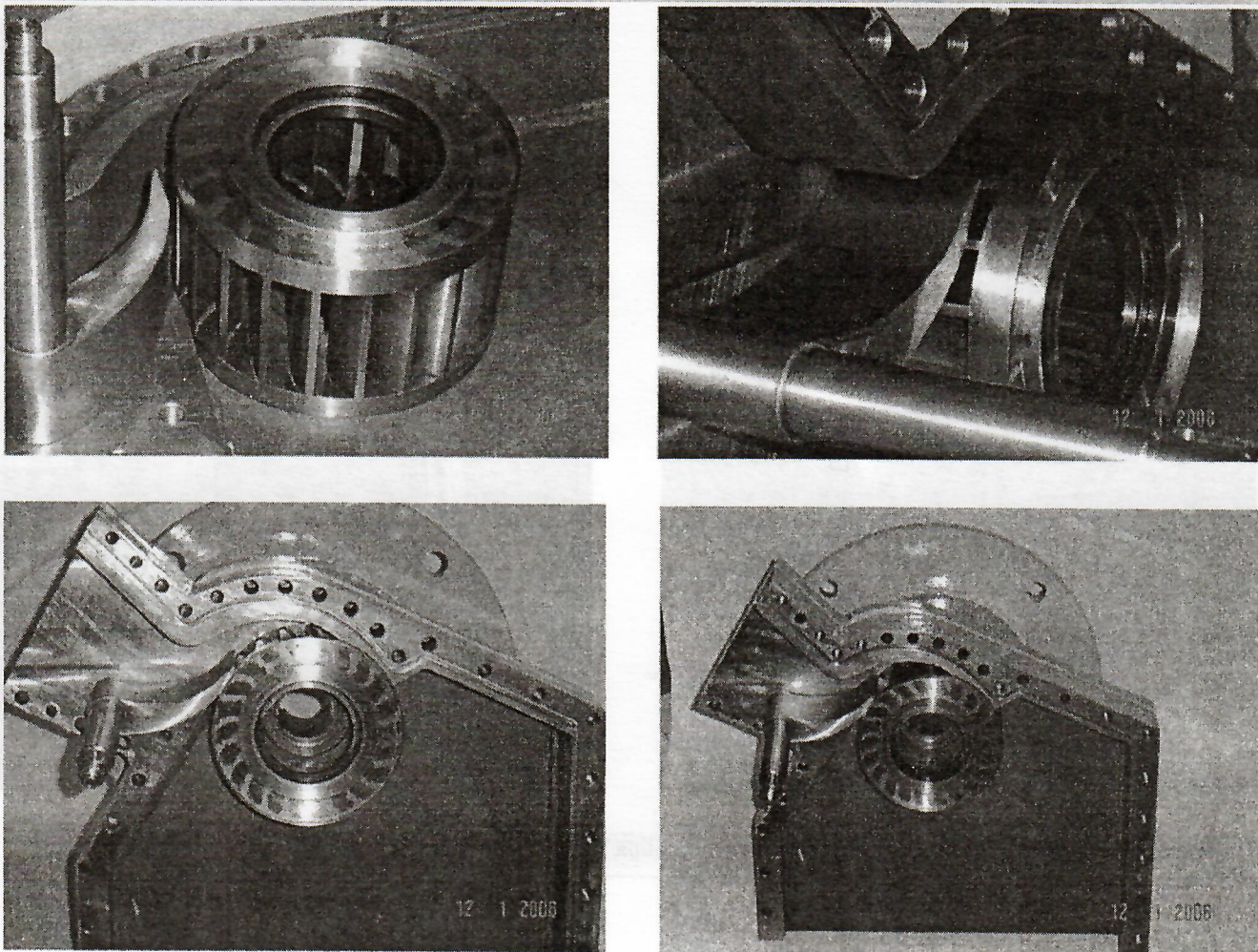
9. Zaključak

Na osnovu višegodišnjeg iskustva u problematici malih hidroelektrana i njihovom primenom na malim vodotocima sa širokim opsegom protoka, pokazalo se da Banki turbina pri padovima od 1-50m ima, uopšteno rečeno, nesumljivu prednost u odnosu nad mnogim drugim tipovima turbina. Konstrukcije konzolne i otvorene Banki turbine zavisno od veličine pada su proistekle iz zahteva da male hidroelektrane moraju biti što jednostavnije i ujedno bez posade. U okviru ovog rada su ukratko prikazana obimna obavljena eksperimentalna ispitivanja u cilju osvajanja najpogodnijih hidrauličkih oblika i određivanja univerzalnih karakteristika Banki turbina u laboratoriji Centra za hidraulične mašine i energetske sisteme Mašinskog fakulteta u Beogradu. **Posebna važnost u primeni Banki turbina razmatranih u okviru ovog rada se sastoji u posedovanju univerzalnih hidrauličkih karakteristika i svodnih dijagrama.**

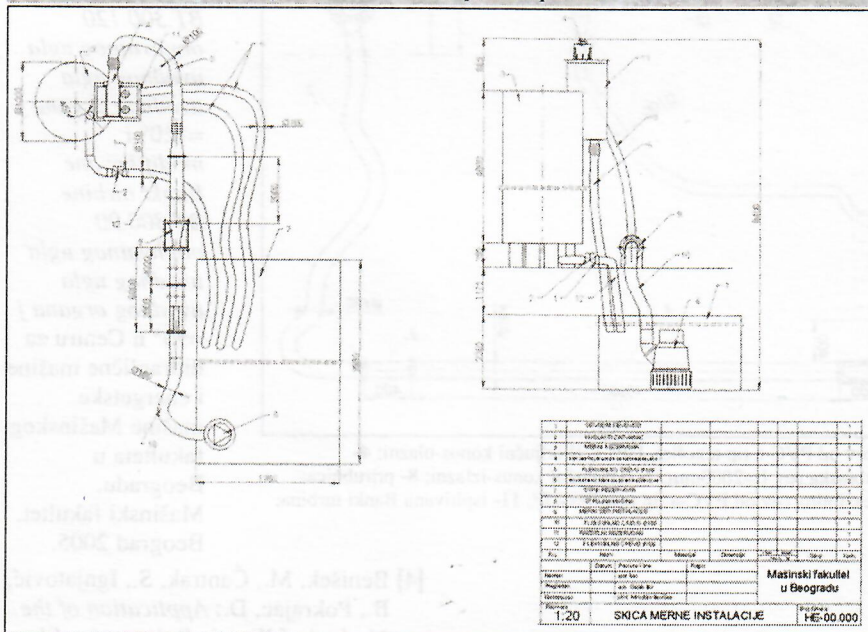
Energetski pokazatelji

Na osnovu dobijenih i obrađenih eksperimentalnih podataka na modelu MHE sa Banki turbinom se došlo do zaključka da je stepen korisnosti Banki turbine BT.90.K 81%. Kako Banki turbina, za razliku od recimo Fransisove i propelerne turbine, zadržava prilično visok stepen korisnosti u širokom intervalu protoka, to se ona pokazuje pogodnom za male vodotokove sa

Slika 12 Prototip Banki turbine BT.140.90, prečnika $D_{IR}=140\text{mm}$



Slika 13 Kalibracija protokomera zapreminskom metodom za instalaciju za ispitivanje karakteristika prototipa Banki turbine



velikim oscilacijama u protoku tokom godine. Ostali tipovi turbine jedinične regulacije (jeftinije opcije) imaju veliki stepen korisnosti van optimalne radne oblasti.

Ekološki pokazatelji

Ekološka istraživanja su pokazala i da hidroenergija poseduje daleko manje negativnih eko bodova čak i od vetrogeneratora.

Ekonomski pokazatelji

Svi ekonomski pokazatelji, koji su definisani u okviru odgovarajućih studija, ukazuju na opravdanost investicija u ovoj oblasti. Jednostavnost izrade Banki turbine obezbeđuje 30% manju cenu od alternativnih turbina (drugi tipovi).

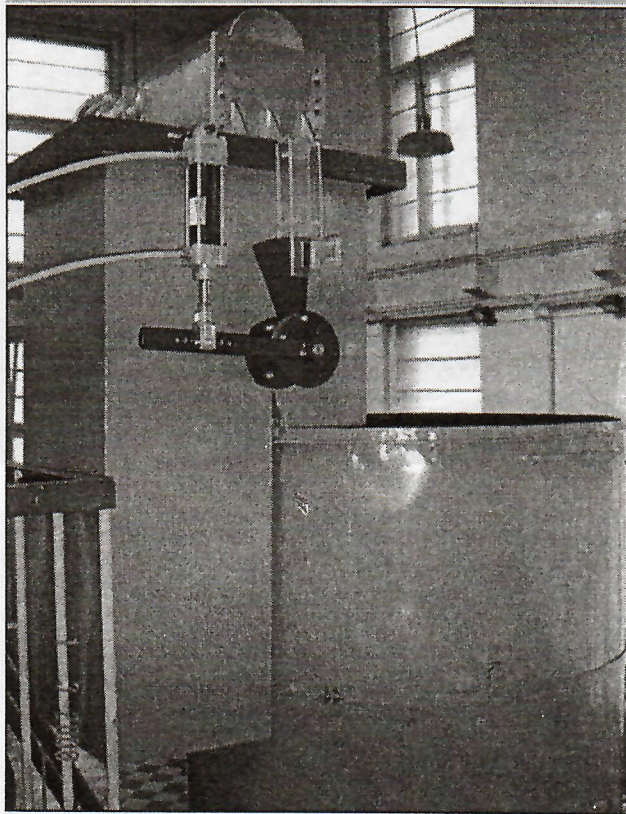
Tehnološke mogućnosti

Na osnovu svega prikazanog, može se zaključiti da je moguće proizvesti domaću MHE sa Banki turbinom sa odličnim karakteristikama. Na ovaj način se ukazuje na mogućnost investiranja u ovu privrednu granu, kako bi se smanjio deficit u trgovini sa inostranstvom. Na ovaj način, se još jednom, podvlači da bi trebalo prilikom uvoza baciti akcenat **samo** na visoke tehnologije.

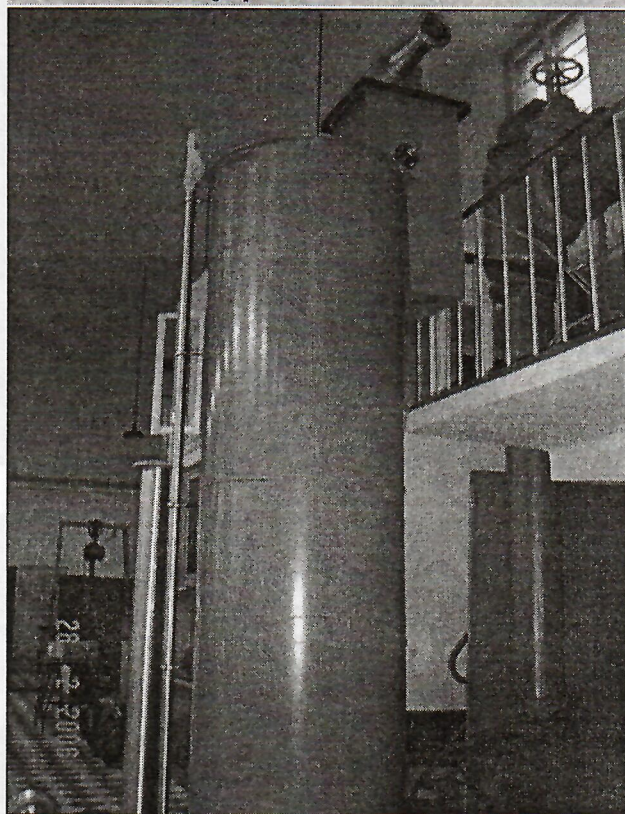
Zahvalnost

Autori duguju zahvalnost Ministarstvu za nauku i zaštitu životne sredine koje je finansiralo projekat EE 719-1019B, kao i Ministarstvu nauke Republike Srbije koje finansira projekat -01-2960/2006-85.

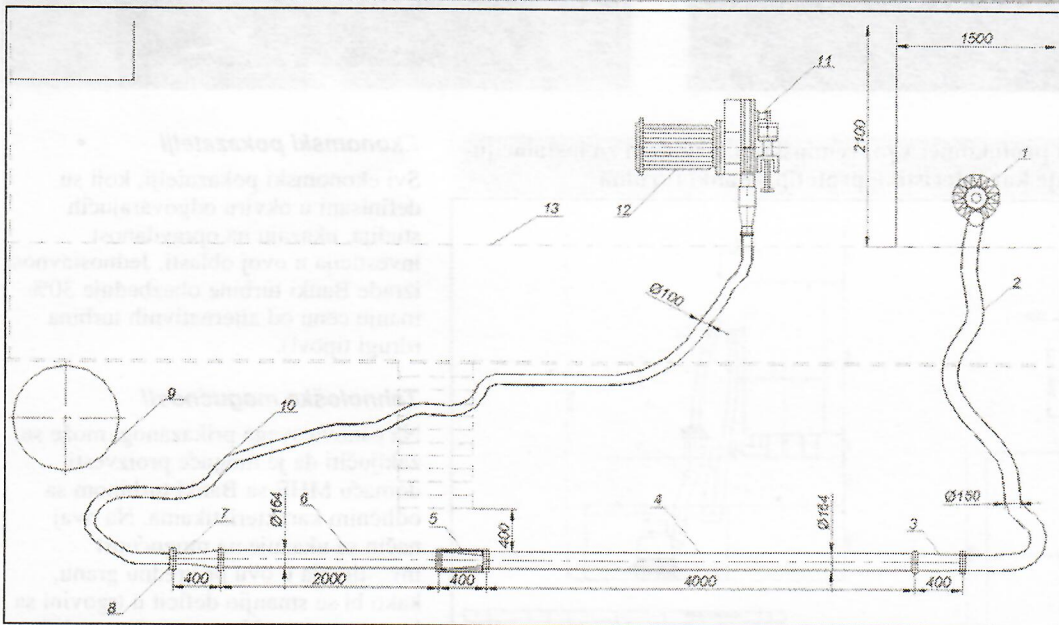
Slika 14 Diverter ugrađen na baždranom rezervoaru sa pneumatskim sistemom



Slika 15 Baždarni rezervoar zapreminske metode merenja protoka



Slika 16 Shematski prikaz instalacije za ispitivanje prototipa MHE sa Banki turbinom BT 140.90



1- potopna pumpa FLYGT 2151.011; 2- fleksibilna cev od PVC-a tip texoflex-UP; 3- Priključni konus-ulazni; 4- prohrumska cev L=4000m; 5- Venturimetar; 6- prohrumska cev L=2000mm; 7- priključni konus-izlazni; 8- pribrubnica; 9- baždarni rezervoar prečnika 1m, visine 3m; 10- fleksibilna cev od PVC-a tip texoflex-UP; 11- ispitivana Banki turbina; 12- generator; 13- usisni rezervoar 9980x1780mm.

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

[4] Benišek, M., Čantrak, S., Ignjatović, B., Pokrajac, D.: *Application of the Method of Kinetic Balance for Flow Passage Forming*, Hydraulic Machinery and Cavitation, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, pp. 455-464, 1996.

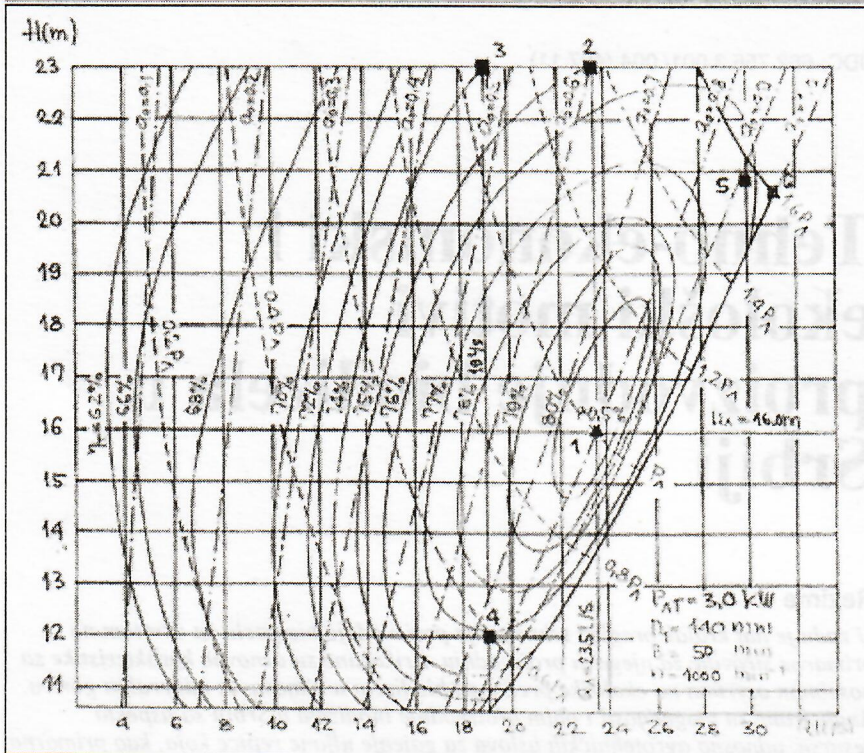
Literatura

[1] Strscheletzky, M.: *Ein Betrag zur Theoreme des hydrodinamic Gleichgewichts von Strömungen*,

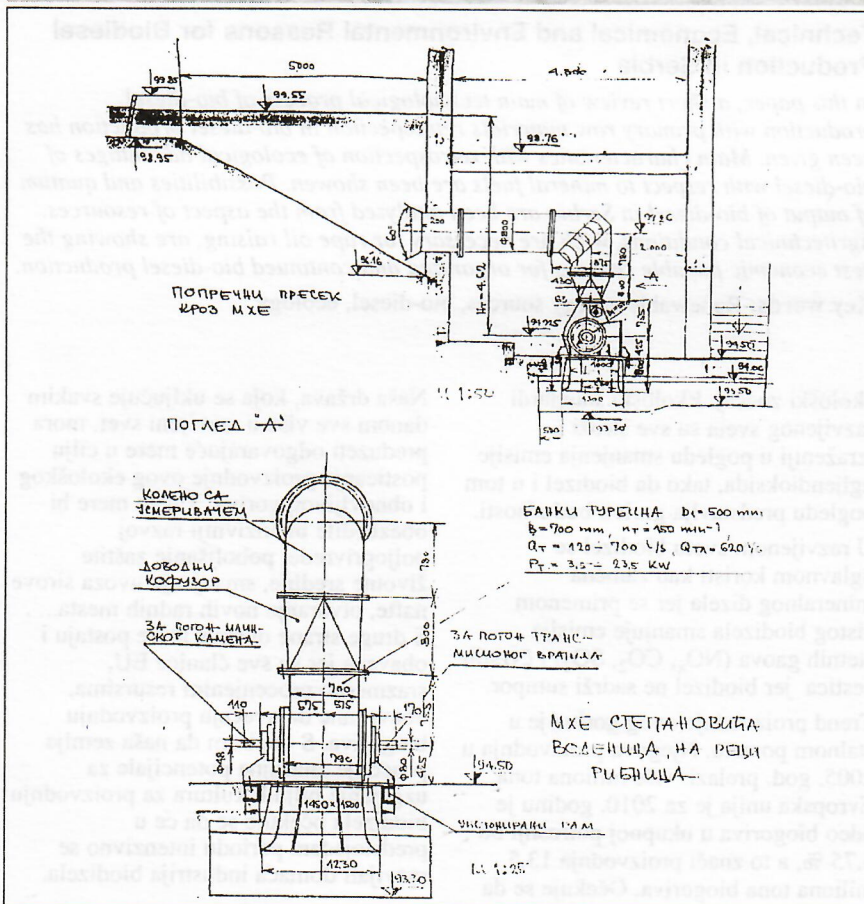
Voith Forschung und Konstruktion, Heft 2, Aufstaz 1, 1957.

[2] Strscheletzky, M.: *Kinetisches Gleichgewicht der Innerströmungen inkompressibler Flüssigkeiten*, VDI-Z Reihe 7, Nr. 21, Berlin, 1969.

Slika 17 Protočna eksploataciona karakteristika konzolne Banki turbine BT90, K-11/5-1000



Slika 18 MHE Stepanovića mlin



[5] Benišek M., Čantrak S., Nedeljković M., Ilić D., Božić I., Čantrak Đ.: *Defining the Optimum Shape of the*

Cross-flow Turbine Semi-spiral Case by the Lagrange's Principle of Virtual work, FME Transactions,

University of Belgrade, Faculty of Mechanical engineering, Belgrade, New Series, Vol.33, Number 3, pp. 141-144., 2005. http://www.mas.bg.ac.yu/transactions/Vol_33_No3.html

- [6] Ignjatović B., Benišek M., Nedeljković M., Ilić D., Čantrak Đ., Božić I. (2005): *Banki turbine – pogodan tip male hidroturbine za iskorišćenje potencijala malih reka (tokova)*, 12 Simpozijum termičara SCG, Zbornik na CD-u (ISSN 86-80587-51-6), Sokobanja 18-21.10.2005., Društvo termičara SCG i Mašinski fakultet u Nišu.
- [7] Benišek M.H., Čantrak S.M., Nedeljković M.S., Čantrak Dj.S., Ilić D.B., Božić I.O. (2006): *Fluid boundaries shaping using the method of kinetic balance*, Thermal Science, Vol.10, No. 4, Issue 15, pp. 153-162., UDC: 532.559/556, ISSN 0354-9836., <http://thermalscience.vin.bg.ac.yu/pdfs/2006-4/13-Benišek.pdf>
- [8] Benišek M i sar.: *Prezentacija - završni i godišnji izveštaj za 2006. god., Projekat EE 718-1019B: "Male hidroelektrane sa Banki turbinama za proizvodnju električne energije i direktne veze sa pumpnim sistemima"*, Mašinski fakultet, Beograd. (rukovodilac prof. dr Miroslav Benišek)
- [9] Benišek M. I sar. (2006): *Katalog Banki turbina tipa BT.90*, Mašinski fakultet, Beograd.
- [10] Čantrak S. (2005): *Hidrodinamika*, 4. izdanje, Mašinski fakultet, Beograd.