

# ISPITIVANJA HIDRAULIČNIH I ENERGETSKIH KARAKTERISTIKA KAPLANOVIH TURBINA U HE OVČAR BANJA

## HYDRAULIC AND POWER PERFORMANCE TESTS OF KAPLAN TURBINES IN HPP OVČAR BANJA

M. H. Benišek<sup>\*</sup>, I. O. Božić<sup>\*</sup>, D. B. Ilić<sup>\*</sup>, D. S. Petrović<sup>\*\*</sup>, Z. N. Ćirić<sup>\*\*\*</sup>

*\* Faculty of Mechanical Engineering University of Belgrade*

*\*\* Faculty of Electrical Engineering University of Belgrade*

*\*\*\* Electrical Engineering Institute "Nikola Tesla" – Belgrade*

**Abstract:** The hydraulic and power performance tests of the renovated Kaplan turbines at units A1 and A2 in HPP Ovar Banja are performed in site for three different net heads. On the basis of measured propeller curves for constant runner blades openings the combinatory characteristics are determined and the combinatory links are defined too. The obtained characteristics are given in this paper. Special attention is given to the Winter-Kennedy discharge measurements by using the calibrated discharge coefficients. Discharge coefficients are, also, determined by the Index test. The values of obtained discharge coefficients by the Index test with calibrated discharge coefficients are compared. The used measurement procedures gave the best opportunity for the units optimal efficiency operations.

**Key words:** Kaplan turbines, tests in site, efficiency, combinatory links, discharge coefficients

### 1. UVOD

Hidroelektrana „Ovčar Banja“ se nalazi na reci Zapadnoj Moravi i puštena je u rad 1954. godine, kada je sa svojom instalisanom snagom od oko 6MW predstavljala značajnu hidroelektranu u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije. Od tog vremena prošlo je više 55 godina, što predstavlja veoma dugi radni vek eksploatacije turbina. Revitalizacijom je trebalo uvesti novu savremeniju i tehnološki bolju opremu uz mogućnost povećavanja ukupne snage. U periodu od 2008 do 2010. godine izvršena je revitalizacija i povećana je ukupna instalisana snaga za oko 30%, što je danas svrstava u grupu malih hidroelektrana.

U mašinskoj zgradi ove protočne hidroelektrane ugrađena su dva vertikalna agregata sa Kaplanovim turbinama ukupne snage od 8 MW.

Radi provere garantovanih parametra revitalizovanih Kaplanovih turbina agregata A1 i A2, kao i radi određivanja njihovih propelernih i kombinatorskih karakteristika obavljena su merenja za tri različita konstantna pada. U radu su prikazani metodologija i rezultati ispitivanja turbina oba agregata koji su ispitivani na padovima čije su se vrednosti menjale oko srednjih vrednosti:  $H_r = 17,60 m$ ,  $H_r = 18,21 m$  и  $H_r = 19,28 m$  za agregat A1 i  $H_r = 18,27 m$ ,  $H_r = 19,20 m$  и  $H_r = 20,40 m$  za agregat A2.

Hidraulička ispitivanja Kaplanovih turbina izvršila je ekipa Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu – Centra za hidraulične mašine i energetske sisteme u saradnji sa ekipom Elektrotehničkog fakulteta, koja je vršila električna merenja.

## 2. METODOLOGIJA ISPITIVANJA KAPLANOVIH TURBINA

Metodologija merenja veličina pri hidrauličkim i energetskim ispitivanjima Kaplanovih turbina hidroagregata u hidroelektrani „Ovčar Banja“ je zasnovana na normama IEC [1,2] i na iskustvu stručnjaka Mašinskog i Elektrotehničkog fakulteta.

U narednim poglavljima je opisana metodologija i način merenja na agregatima A1 i A2 HE „Ovčar Banja“, instrumenti i izračunavanja potrebnih fizičkih konstanti.

### 2.1 Određivanje ubrzanja Zemljine teže i gustine vode

U ovom poglavlju dati su obrasci na osnovu kojih su određene neophodne fizičke veličine. U okviru Tabele 2.1, dati su obrasci na osnovu kojih su određene ubrzanje Zemljine teže i gustina vode, dok su parametri korišćene u okviru izraza navedenih u ovoj tabeli, definisani u Tabeli 2.2.

Tabela 2.1. Određivanje ubrzanja Zemljine teže i gustine vode

Naziv fizičke konstante:	Obrazac:	Izvor:
Ubrzanje Zemljine teže	$g = 9,80617 \cdot (1 - 2,64 \cdot 10^{-3} \cos 2\varphi_G + 7 \cdot 10^{-6} \cos^2 2\varphi_G) - 3,086 \cdot 10^{-6} z_G$	formula Helmerta [11]
Gustina vode	$\rho = 1000,1800014 + 0,0084284\theta - 0,0052857\theta^2$	[2]

Tabela 2.2. Parametri u izrazima za određivanje ubrzanja Zemljine teže i gustine vode

Naziv fizičke konstante:	Oznaka:	Vrednost:
nadmorska visina HE „Ovčar Banja“	$z_G$	270,1 m
geografska širina HE „Ovčar Banja“	$\varphi_G$	43°9'
temperatura vode	$\theta$	[°C]

Vrednost ubrzanja zemljine teže izračunata prema izrazu i vrednostima konstanti navedenih u prethodnim tabelama iznosi:  $g = 9,8043 \text{ (m/s}^2\text{)}$ .

### 2.2 Merenje protoka

Merenje protoka kroz turbine zasniva se na metodi Winter-Kennedy merenjem razlike pritisaka na zidovima u preseku spirale pomoću mernih pretvarača diferencijalnog pritiska tipa Foxboro (opseg 0-500mbar), koji se nalaze u turbinskoj sali.

Protok turbine agregata  $A_i$  ( $i=1,2$ ) se određuje prema metodi Winter-Kennedy na osnovu formule:

$$Q_i = K_{pi} \sqrt{\Delta p_i}, \quad (2.1)$$

Odnosno za turbinu A1 i A2

$$Q = K_{p1} \sqrt{\Delta p} = 0,11331 \sqrt{\Delta p}$$

$$Q = K_{p2} \sqrt{\Delta p} = 0,18647 \sqrt{\Delta p},$$

gde je:  $\Delta p$  [Pa] razlika pritisaka na zidovima preseka spirale merena pomoću mernih pretvarača

diferencijalnog pritiska,  $K_{pi} \left[ \frac{m^3}{s \cdot Pa^{0,5}} \right]$  koeficijent protoka za turbinu agregata  $A_i$   $i=1,2$ .

Koeficijent protoka  $K_{pi}$  određuje se preračunavanjem koeficijenta  $K_i$  prema izrazu

$$K_{pi} = \sqrt{\frac{10^3}{K_i \cdot g \cdot (\rho_{z_M} - \rho_{v_M})}}, \quad (2.2)$$

gde su:

-  $\rho_{z_M} = 13556 \text{ [kg/m}^3\text{]}$  i  $\rho_{v_M} = 998,962 \text{ [kg/m}^3\text{]}$  gustina žive i vode u U-cevi pri kalibraciji protokomera WK pri temperaturi oko U-cevi  $\theta_M = 16^\circ\text{C}$ .

Koeficijenti  $K_i$  ( $K_1 = 0,6326$  i  $K_1 = 0,2336$ ) su određen kalibracionim merenjem [5] protoka  $Q$  hidrometrijskim krilima i merenjem pada pritiska  $\Delta H \text{ [mmHg]}$  pomoću U-cevi pri čemu je određena zavisnost

$$\Delta H = K_i Q^2 \quad (2.3)$$

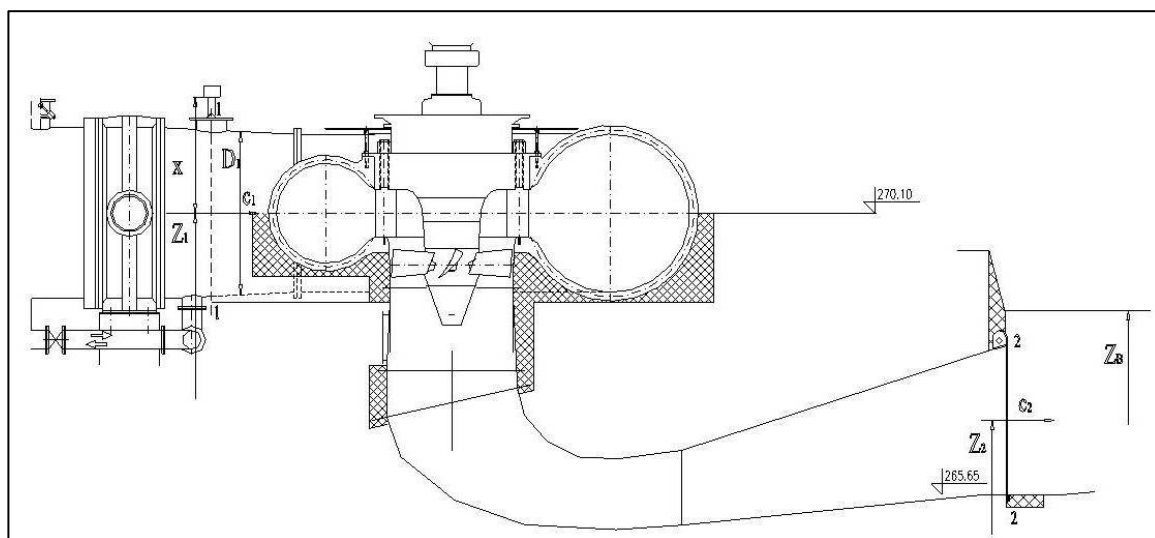
### 2.3 Određivanje neto pada

Neto pad turbina se određuje po preporukama IEC 41 1991-11 [1]. Referentni preseki su: ulaz 1-1 u turbinu (ulazni presek spirale), a izlaz 2-2 iz turbine (izlazni presek sifona).

Specifični strujni rad turbine  $E \text{ [J/kg]}$  je

$$E = gH = \frac{p_1 - p_2}{\rho} + g(z_1 - z_2) + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} \quad (2.4)$$

gde su prema slici 1:



Slika 2.1. Poprečni presek kroz protočni trakt Kaplanovih turbina u HE „Ovčar Banja“

$$p_1 = p_a + \Delta p_1 + \rho_v g x \quad (2.5)$$

$$p_2 = p_a + \rho_v g (z_B - z_2) \quad (2.6)$$

Specifični strujni rad

$$E = gH = \frac{\Delta p_1}{\rho_v} + g(z_1 + x) - g z_B + \frac{1}{2} Q^2 \left( \frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) \quad (2.7)$$

Neto pad

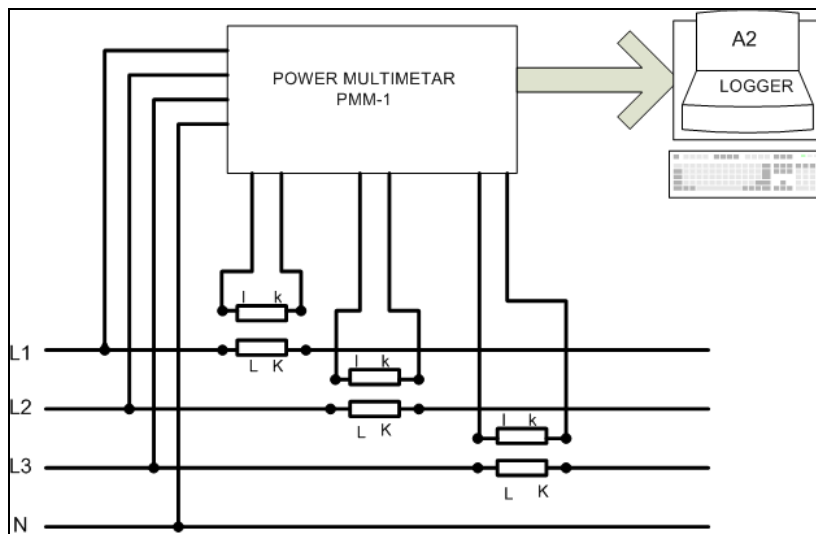
$$H = \frac{E}{g} \quad (2.8)$$

## 2.4 Merenje kote donje vode

Kota donje vode  $z_B$  određivana je neposredno na izlazu iz sifona merenjem rastojanja  $z_x$  od nivoa vode na izlazu iz sifona do kote praga  $z'_B$ , tj. kota donje vode računa se prema izrazu  $z_B = z'_B - z_x$ .

## 2.5 Merenje električnih parametara generatora

Merenje električnih veličina, kao što su: aktivna snaga ( $P_G$ ), reaktivna snaga ( $Q$ ), faktor snage ( $\cos \varphi$ ), napon generatora ( $U_G$ ), struja generatora ( $I_G$ ), napon pobude ( $U_f$ ) i struja pobude ( $I_f$ ) obavljeno je prema slici 2.2.



Slika 2.2. Principijelna šema merenja električnih parametara generatora

Merenja su obavljena pomoću digitalnog Power Multimetra, a kao registrator je korišćen PC koji je serijskom vezom RS 232 bio povezan sa Power Multimetrom [3].

## 2.6 Određivanje hidrauličkih snaga turbina

Hidrauličke snage turbine se određuju na osnovu izraza:

$$P_h = \rho g Q H = \rho Q E \quad (2.9)$$

gde su:  $\rho [kg/m^3]$  - gustina vode u protočnom traktu, koja se određuje za izmerenu temperaturu vode;  $g = 9,8043 [m/s^2]$ ;  $Q [m^3/s]$  - protok kroz turbinu i  $H [m]$  - neto pad turbine prema obrascu (2.8).

## 2.7 Određivanje unutrašnjih snaga turbina

Unutrašnje snage turbina  $P_i$  (snage koje obrtna kola predaju vratilima turbina) se određuju na osnovu izraza:

$$P_i = \frac{P_G}{\eta_G} + P_{gTAL} + P_{gTVL} \quad (2.10)$$

gde su:  $P_G$  (MW) - aktivna snaga generatora;  $\eta_G$  - stepen korisnosti generatora Ai;  $P_{gTAL}$  - određena vrednost gubitka snage na kombinovanom ležaju, a koji pripada turbini i  $P_{gTVL}$  gubitak turbinskog vodećeg ležaja određen proračunom na osnovu geometrije ležaja, procepa i brzine obrtanja. Na osnovu sačinjene metodologije i programa merenja određivanje stepena korisnosti generatora su izvršili stručnjaci Elektrotehničkog i Mašinskog fakulteta [3].  
Stepen iskorišćenja generatora je funkcionalna zavisnost aktivne snage generatora  $P_G$  i ukupnih gubitaka u generatoru  $P_{gG}$ ,  $\eta_G = f(P_G, P_{gG})$ , gde se ukupni gubici u generatoru  $P_{gG}$  dobijaju kao zbir pojedinačnih gubitaka

$$P_{gG} = P_{vent} + P_{Fe} + P_{Cu} + P_f + P_{GL} \quad (2.11)$$

Tabela 2.3. Izrazi za izračunavanje pojedinačnih gubitaka snage generatora

Naziv pojedinih gubitaka u generatoru	Oznaka	Izraz
Gubici pobude	$P_f$	$P_f = U_f \cdot I_f$
Ventilacioni gubici	$P_{vent}$	$P_{vent} = P_{kal} \pm P_{odv}$
Gubici u aktivnom gvožđu	$P'_{Fe}$	$P'_{Fe} = P_{kal} - P_{vent} - P_f$
Gubici u aktivnom gvožđu preračunati na nominalni napon	$P_{Fe}$	$P_{Fe} = P'_{Fe} \left( \frac{U_G}{U_n} \right)^2$
Gubici u bakru (gubici kratkog spoja)	$P'_{Cu}$	$P'_{Cu} = P_{kal} - P_{vent} - P_f$
Gubici u bakru se preračunati na nominalnu struju	$P_{Cu}$	$P_{Cu} = P'_{Cu} \left( \frac{I_G}{I_n} \right)^2$
Gubici u ležajevima generatora	$P_{GL}$	$P_{GL} = P_{gR} + P_{gAG}$
Gubici u radijalnim ležajevima generator R1 i R2	$P_{gR}$	$P_{gR} = P_{gR1} + P_{gAG}$
Gubitak snage u aksijalnom ležaju koji pripada generatoru	$P_{gAG}$	$P_{gAG} = 0,333 \cdot P_{gA}$

Koristeći rezultate ispitivanja [3] pojedinačnih gubitaka snage  $P_{kal}$  generatora agregata A1 i A2 određene su funkcionalne zavisnosti  $\eta_G = f(P_G)$  za:

$$\text{agregat A1: } \eta_G = f(P_G) = \frac{P_G}{0,002037 \cdot P_G^2 + 1,001 \cdot P_G + 0,06315} \quad (2.12)$$

$$\text{agregat A2: } \eta_G = f(P_G) = \frac{P_G}{0,001629 \cdot P_G^2 + 1,001 \cdot P_G + 0,08324}$$

## 2.8 Određivanje hidrauličkih stepena korisnosti turbina

Hidraulički stepeni korisnosti turbina se određuju na osnovu izraza:

$$\eta_h = \frac{P_i}{P_h} \quad (2.13)$$

Trebalo bi napomenuti da je u okviru hidrauličkog stepena korisnosti  $\eta_h$  u izrazu (2.13), uključen i volumetrijski stepen korisnosti, tj.:  $\eta_h = \eta'_h \eta_Q \eta_R$ , gde su:  $\eta'_h$  -pravi hidraulički stepen korisnosti;  $\eta_Q$  -volumetrijski stepen korisnosti i  $\eta_R$  -stepen korisnosti na trenje na spoljašnjim površinama (bočnih diskova), kojih nema,  $\eta_R = 1$ .

## 2.9 Određivanje stepena korisnosti agregata

Stepeni korisnosti agregata (Kaplanova turbina i generator) se određuju kao odnos izlazne snage generatora  $P_G$  i hidrauličke snage  $P_h$ :

$$\eta_A = \frac{P_G}{P_h} \quad (2.14)$$

## 2.10 Merenje uglova otvora obrtnih kola i otvora sprovodnih aparata

Uglovi otvora lopatica obrtnih kola  $\beta(^{\circ})$  i otvora lopatica sprovodnih aparata  $A_{0rel}(-)$  očitavani su direktno na panelu elektrane, pošto je prethodno određena međuzavisnost između uglovnog položaja lopatica i hodova servomotora.

## 3. ODREĐIVANJE OPTIMALNIH KOMBINATORSKIH ZAVISNOSTI

Optimalne kombinatorske zavisnosti  $A_{0rel} = f(\beta)$  dobijaju se pri  $\eta_{hmax}$ , a za različite parametarske vrednosti  $H = const$ . Određivane su merenjem propelernih karakteristika turbina tj. za konstantne vrednosti otvora obrtnog kola  $\beta$ , a za različite vrednosti otvora lopatica sprovodnog aparata  $A_{0rel}$  tako da bude obuhvaćena i tačka najvišeg stepena korisnosti. Zavisno od neto pada, vrednosti otvora obrtnog kola  $\beta$  uzimane su u oblasti garantovanih karakteristika turbine:  $\beta \cong +4^{\circ}; +10^{\circ}; +15^{\circ}; +20^{\circ}; +25^{\circ}; +29^{\circ}$

Za svaku vrednost radne tačke određene položajima lopatica obrtnog kola  $\beta$  i sprovodnog aparata  $A_{0rel}$  merene su sve potrebne veličine date u poglavlju 2 pomoću kojih su izračunate potrebne veličine, pri čemu je svaka merena veličina, nakon postizanja stacionarnog stanja, očitavana pet puta za isti merni režim.

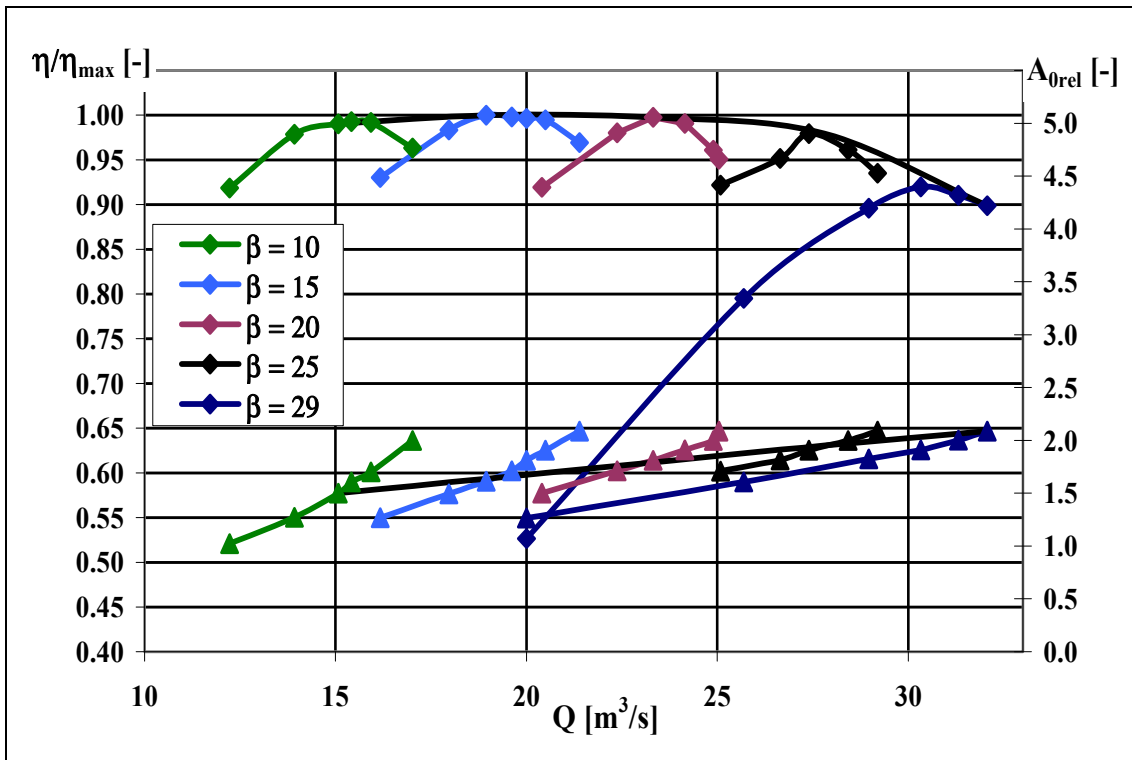
Neto pad prilikom merenja nije se mogao održavati konstantnim, te je, s obzirom na malu promenu pada  $\pm 2\% H_r$ , izvršeno svođenje na isti srednji referentni pad  $H_r$ . Za jednu seriju merenja (merenja obavljena pri približno istom padu) srednji referentni pad je:

$$H_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i, \quad (3.1)$$

gde su:  $n$  -broj merenja u jednoj mernoj seriji i  $H_i$  -mereni padovi u mernoj seriji.

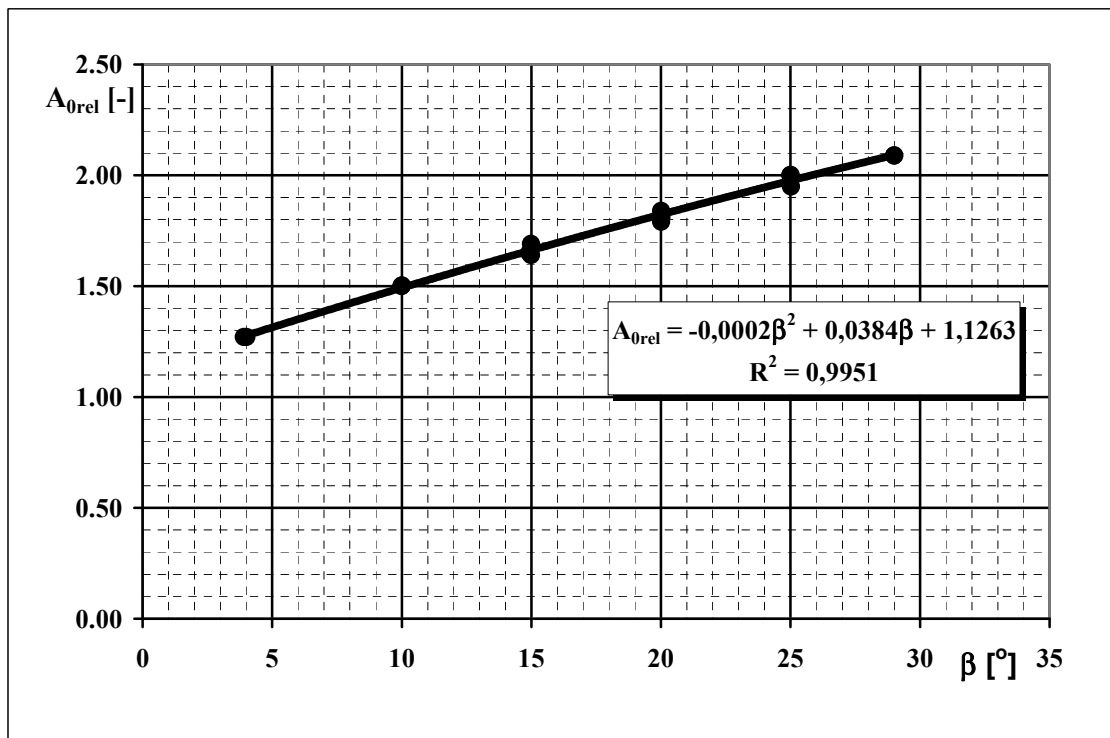
Ucrtavanjem obvojnice dobijenih propelernih krivih  $\eta_r = f_p(Q_r)$  za  $H_r = const$  određuju se maksimalni stepeni korisnosti za sve otvore lopatica obrtnog kola od  $\beta_{min}$  do  $\beta_{max}$ .

Dodirne tačke obvojnice i odgovarajućih propelera iz dijagrama  $A_{0rel} = f(Q)$  određuju se optimalni otvori sprovodnog aparata. Na slici 3.1, primera radi, za turbinu agregata A2 za jedan mereni pad  $H_r = 19,2 m$ , prikazan je dijagram propelernih i kombinatorskih karakteristika.



Slika 3.1. Propelerne i kombinarske karakteristike Kaplanove turbine agregata A2 za  $H_r = 19,2$  m

Na osnovu propelerne i kombinarske karakteristika dobijenih za sve merene padove turbine A1 i A2 određene su kombinarske zavisnosti  $A_{0rel} = f(\beta)$ . Nakon analize utvrđeno je da postoje neznatna odstupanja kombinarske zavisnosti dobijene za svaki mereni srednji pad  $H_r$  (vrednosti srednjih padova  $H_r$  za agregate su date u Uvodu). Primera radi na dijagramu slike 3.2 prikazana je kombinarska zavisnost agregata A2 za merene  $H_r$ .



Slika 3.2. Kombinarska zavisnost turbine agregata A2  $A_{0rel} = f(\beta)$  za konstantne padove

#### 4. ODREĐIVANJE KONSTANTI PROTOKA $K_{pi}$ I PROPELERNIH KARAKTERISTIKA TURBINA INDEX METODOM

U poglavlju 2 je prikazan postupak određivanja protoka turbine A1 i A2. Za određivanje protoka korišćeni su koeficijenti protoka  $K_{pi}$  koji su dobijeni kalibracijom merenjem brzina u poprečnom preseku hidrometrijskim krilcima [5]. U ovom radu sprovedena je i analiza mogućeg odstupanja energetske parametara za slučaj kada bi se umesto prikazane metodologije apsolutnog određivanja stepena korisnosti koristila relativna metoda Index testa. Index test se sprovodi pri garancijskim ispitivanjima pri čemu je poznata modelska univerzalna karakteristika ispitivane turbine. Koeficijenti protoka prototipova turbina  $K_{pi}$  se mogu odrediti preračunavanjem vrednosti modelskih ispitivanja koeficijenata protoka  $K_{pmi}$  (ukoliko takvi rezultati postoje). Koeficijenti protoka pri modelskim ispitivanjima nisu određivani te se opisani postupak nije mogao primeniti. Energetska modelska ispitivanja su izvršena i dobijene univerzalne karakteristike modela su preračunata na glavna izvođenja A1 i A2, što je omogućilo da se na osnovu Index metode mogu odrediti koeficijenti protoka na osnovu obrasca

$$K_{pi}^{IND} = \frac{P_r}{\rho \cdot g \cdot H_r \cdot \eta^{IND} \cdot \sqrt{\Delta p}} \quad (4.1)$$

gde su:  $P_r$  - merena unutrašnja snaga turbine preračunata na konstantan referentan pad  $H_r$ ,  $\eta^{IND}$  - maksimalna vrednost unutrašnjeg stepena korisnosti turbine dobijen preračunavanjem maksimalnog stepena korisnosti modelskih ispitivanja,  $\Delta p$  razlika pritiska na priključcima spirale čiji je položaj određen na osnovu [1] i meri se pomoću mernih pretvarača diferencijalnog pritiska.

Nakon sprovedene analize dobijeni su koeficijenti protoka  $K_{pi}^{IND}$  za turbine oba agregata pa je za:

$$\begin{aligned} \text{agregat A1: } K_{p1}^{IND} &= 0,1109 \left[ \frac{m^3}{s \cdot Pa^{0,5}} \right] \\ \text{agregat A2: } K_{p2}^{IND} &= 0,1869 \left[ \frac{m^3}{s \cdot Pa^{0,5}} \right] \end{aligned}$$

Protok se određuje na osnovu obrasca:

$$Q_i^{IND} = K_{pi}^{IND} \cdot \Delta p^{0,5} \quad (4.2)$$

Relativne greške odstupanja računatog protoka  $Q^{IND}$  pomoću koeficijenata protoka dobijenih Index metodom od merenog protoka  $Q$  se određuje na osnovu sledećeg izraza:

$$f_{pQi} = \frac{Q^{IND} - Q}{Q} \cdot 100\% = \frac{K_{pi}^{IND} - K_{pi}}{K_{pi}} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

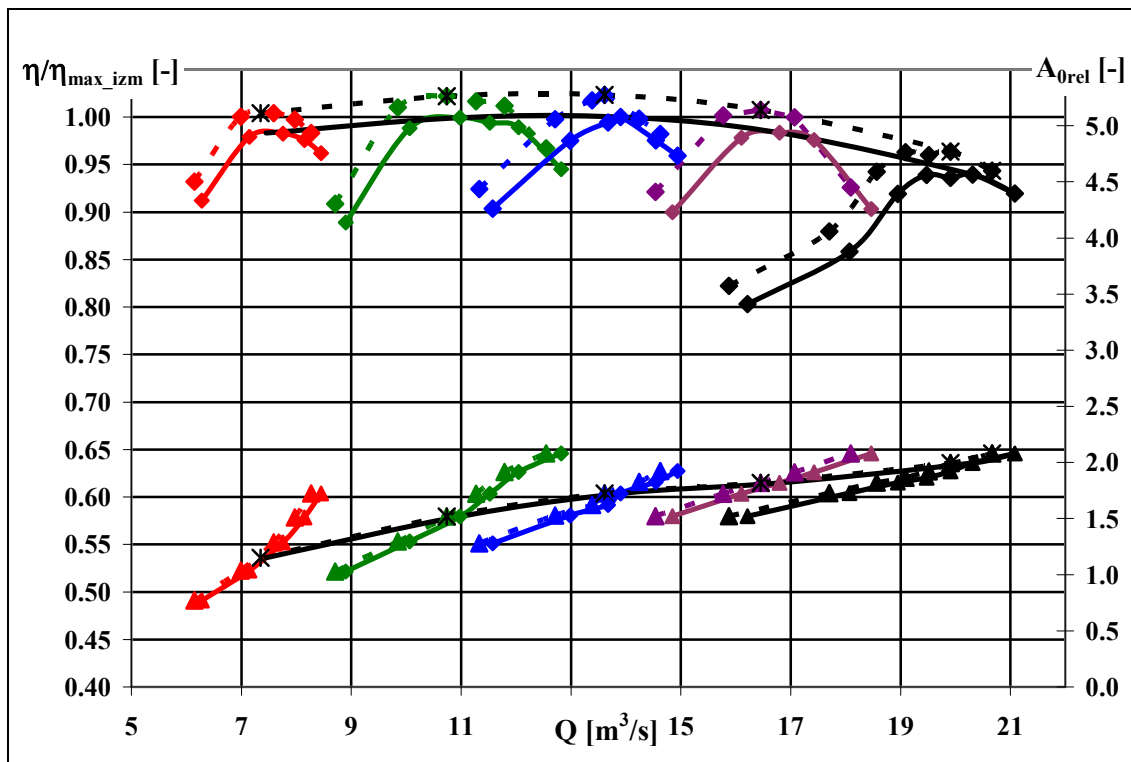
pa je za:

$$\begin{aligned} \text{agregat A1: } f_{pQ1} &= -2,13 \% \\ \text{agregat A2: } f_{pQ2} &= 0,23 \% \end{aligned}$$

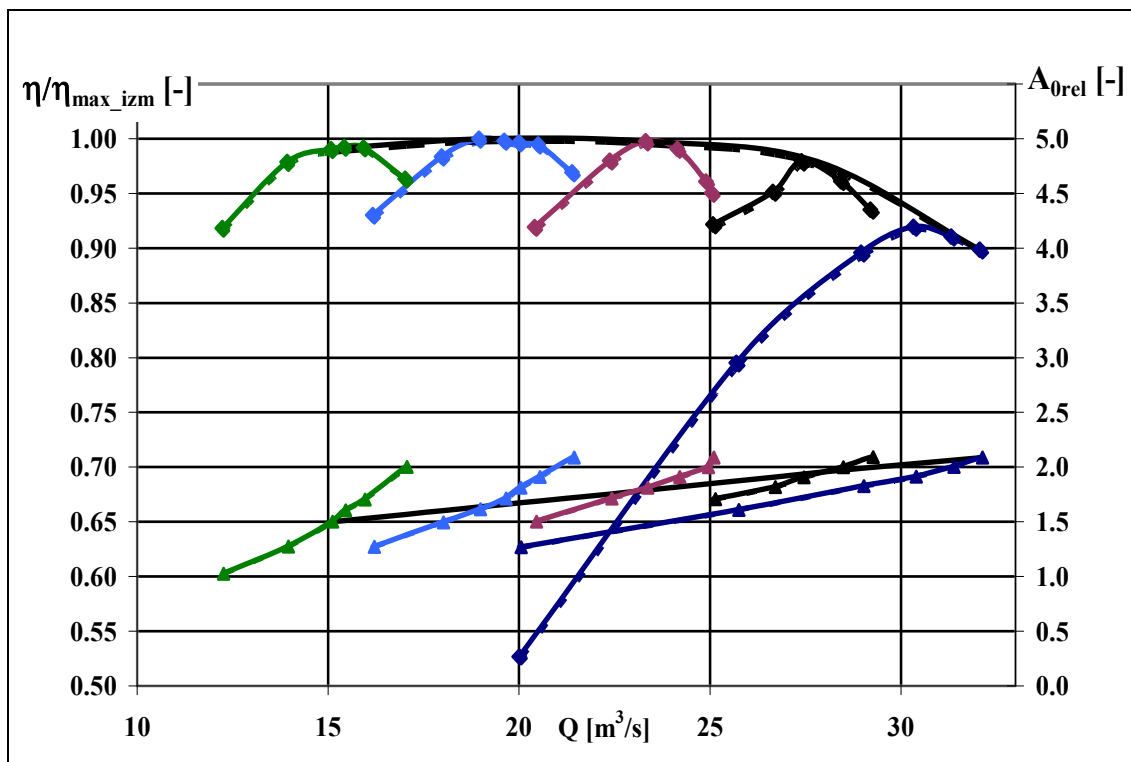
Korišćenjem identične metodologije opisane u poglavlju 2, ali sa novim koeficijentima protoka  $K_{pi}^{IND}$  dobijaju se propelerne i kombinarske karakteristike.



Primeru radi, na slikama 4.1 i 4.2 date su samo karakteristike turbina A1 (za  $H_r = 18,21\text{ m}$ ) i A2 (za  $H_r = 19,2\text{ m}$ ) određene merenjem i karakteristike određene Index metodom (isprekidane linije) svedene na maksimalne stepene korisnosti dobijene merenjem (pune linije) svake turbine. Kao što se može videti, odstupanja u stepenima korisnosti identična su odstupanjima u određivanju koeficijenata protokomera Winter-Kennedy.



Slika 4.1. Uporedne propelerne i kombinarske karakteristike Kaplanove turbine agregata A1 dobijene merenjem i Index metodom za  $H_r = 18,21\text{ m}$



Slika 4.2. Uporedne propelerne i kombinarske karakteristike Kaplanove turbine agregata A2 dobijene merenjem i Index metodom za  $H_r = 19,2\text{ m}$

## 5. ANALIZA TAČNOSTI MERENJA

Procena tačnosti merenja se sastoji u određivanju sistematskih grešaka  $f_{sk}$  instrumenata, određivanju slučajnih grešaka  $f_k$  višekratnih merenja veličina i određivanju ukupnih grešaka  $f_{uk}$  merenja veličina, kao i određivanju relativnih grešaka. Ukupna greška se određuje na osnovu izraza  $f_{uk} = \sqrt{f_{sk}^2 + f_k^2}$ , gde  $k$  označava naziv merene veličine.

Greške posrednih merenja veličina se određuju na osnovu grešaka direktnih merenja uticajnih veličina i analitičkih izraza koji povezuju sve uticajne veličine sa veličinom čiju grešku tražimo. Maksimalne vrednosti relativne sistematske, slučajne i ukupne greške su date u tabeli 5.1.

Tabela 5.1 Maksimalne vrednosti relativnih, sistematskih, slučajnih i ukupnih grešaka merenja

Merena veličina	Relativna sistematska greška [%]	Relativna slučajna greška [%]	Maksimalna relativna ukupna greška [%]
Unutrašnja snaga turbine	±0,5	±0,6	±0,78
Protok	±1,2	±1,0	±1,56
Neto pad	±0,3	±0,3	±0,42
Stepen korisnosti	±1,33	±1,20	±1,79

## 6. ZAKLJUČAK

Na osnovu obavljenih merenja na agregatima A1 i A2 HE „Ovčar Banja“ i izvršenih analiza dobijenih rezultata može se zaključiti sledeće:

- Merenja su obavljena za tri neto pada za svaku turbinu. Prilikom merenja nije bilo moguće održavati konstantan pad za duži vremenski period, već se on menjao u uskim granicama u odnosu na srednj pad  $\pm 2\% H_r$ .
- Sve vrednosti dobijene merenjima pri padovima koji se razlikuju od srednje vrednosti pada su preračunate na srednju vrednost pada.
- Merenja su obavljena u skladu sa normama IEC 41 1991-11 i IEC 60193/1999-11.
- Stepni korisnosti su određeni apsolutnom metodom koristeći kalibrisani protokomer Winter-Kennedy.
- Procenjena tačnost merenja zadovoljava s obzirom na karakter ovih merenja.
- Protok je meren apsolutnom metodom pri čemu je korišćen kalibrisan koeficijent protokomera.
- Određene su kombinatorske karakteristike na merenim padovima.
- Određeni su koeficijenti protokomera obe turbine pomoću relativne Index metode.
- Upoređenjem karakteristika turbina dobijenih merenjem apsolutnom metodom i rezultata dobijenih relativnom Index metodom zaključeno je: da se za turbinu A2 rezultati dobijeni apsolutnom metodom odlično slažu sa rezultatima Index testa, a da u slučaju turbine agregata A1 postoje odstupanja od 2%. Razlozi za odstupanje mogu biti ili na strani kalibrisanja protokomera ili na strani preračunatih karakteristika modelskih ispitivanja revitalizovane turbine.

## ZAHVALNOST

Autori duguju zahvalnost Ministarstvu za nauku i zaštitu životne sredine, firmi ATB-Sever i stručnim timovima HE „Ovčar Banja“.

## REFERENCE

- [1] IEC 41 1991-11 Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump turbines.
- [2] IEC 60193/1999-11 Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines model acceptance tests
- [3] Petrović D., Benišek M., Ćirić Z., Ilić D, Božić I. Izveštaj o ispitivanju parametara i karakteristika generatora A2 HE „Ovčar Banja“, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2010.
- [4] D. Petrović, V. Vidaković, Z. Ćirić, S. Stojković, M. Benišek, I. Božić, M. Dragić, M. Zeljić: An Increase of Hydro-Aggregate's Installed Power and Efficiency Factor Before the Revitalization Phase, Thermal Science, International Scientific Journal, Vol. 10, issue 15, 2006., pp 17-32, <http://thermalscience.vin.bg.ac.yu/pdfs/2006-4/01-Petrovic.pdf>
- [5] Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" - Kompleksna ispitivanja HE „Ovčar Banja“ - sveska 1 - Eksploatacione karakteristike agregata i postrojenja, Beograd, 1990
- [6] Bowman A.H., Schoonover. M.R.: Procedure for high precision density determinations by hydrostatic weight, Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol. 71.C, No.3, July 1967, p. 179-198.
- [7] Benišek M.: Hidraulične turbine, Mašinski fakultet, Beograd, 1998.
- [8] Brand L.F.: Die Messenrichtungen der Hydraulischen Versuchsanstalt "Brunnenmuhle", Voith Forschung und Konstruktion, Heft 30, 1984, auf. 7.1.
- [9] D. Petrović, S. Stojković, V. Vidaković, D. Arnautović, S. Bogdanović, Z. Ćirić, M. Benišek, I. Božić: Possibilities to Increase Power and Efficiency Hydro Generating Unit, CIGRE 2008, A1-105, Paris, France. 24 – 29.08. 2008
- [10] Benišek M., Ignjatović B., Vušković I.: Efficiency scale-up for tube turbines at the operating point of best efficiency and outside the point of best efficiency, Symposium IAHR, 13-17 september, Amsterdam, 1982.
- [11] Benišek M., Božić I.: Određivanje propelernih i kombinatorskih karakteristika Kaplanove turbine agregata agregata br. 3 HE „Zvornik“ i koeficijenta protoka protokomera Winter-Kennedy izveštaj br. 06-03-02/2007, Mašinski fakultet, Beograd, 2007
- [12] Petrović D., Josifović B.: Izveštaj o određivanju stepena iskorišćenja generatora pri ispitivanju turbine u HE „Zvornik“, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2006
- [13] Petrović D., Benišek M., Ćirić Z., Zeljić M., Josifović S., Božić I. Određivanje pojedinačnih gubitaka generatora u HE "Zvornik", dokument br. 205019, EI "Nikola Tesla", Centar za automatiku i regulaciju, 2005.