RAZVOJ I OSVAJANJE TURBINSKIH AGREGATA SA KAPLANOVIM TURBINAMA ZA ISPUŠTANJE BIOLOŠKOG MINIMUMA IZ AKUMULACIJA

Branislav Ignjatovic, Miroslav Benišek♣

Ključne reči: *Turbinski agregat, akumulacija, biološki minimum*

SAŽETAK:
Na akumulacijama u Srbiji javlja se potreba za ispuštanje biološkog minimuma, protoka 300-500 l/s. U sadašnjim uslovima biološki minimum se obično ispušta obilaznim vodom oko zatvarača temeljnog ispusta, prečnika 250-300 mm, na padu od 20-50 m, uz uništavanje energije na ventilu ili prigušnici. Kako bi se voda biološkog minimuma iskoristila za proizvodnju električne energije, na Mašinskom fakultetu u Beogradu razvijen je tipski turbinski agregat sa Kaplanovom turbinom sa 6 lopatica, prečnika obrtnog kola D_1 = 250 mm, 3000 min^{-1}, brzohodosti n_S = 450min^{-1}, koja pogoni asinhroni generator u paralelnom radu sa mrežom. S obzirom na to da se radi o ispuštanju konstantnog protoka, primenjeno je propelerno obrtno kolo, koje ima isti ili čak nešto bolji stepen korisnosti od turbine sa dvostrukom regulacijom. Turbinski regulator obezbeđuje isti protok pri promeni neto pada.

1. UVOD

U projektima MHE, koje bi se gradile na akumulacijama, razmatrana je mogućnost ispuštanja biološkog minimuma kroz turbinske agregate uz proizvodnju električne energije [1], [2], [3], [4]. U tabeli 1 dati su podaci o tehničkim karakteristikama ovakvih turbinskih agregata na akumulacijama u Srbiji. S obzirom na relativno veliku promenu neto padova i potrebu za ispuštanjem konstantnog

♣ Branislav Ignjatović, dipl. inž., JP Đerdap, Sektor za razvoj i investicije, Beograd, Pop Stojanova 2a;
Prof. dr. Miroslav Benišek, dipl. inž., Mašinski fakultet, Beograd, 27 Marta 80

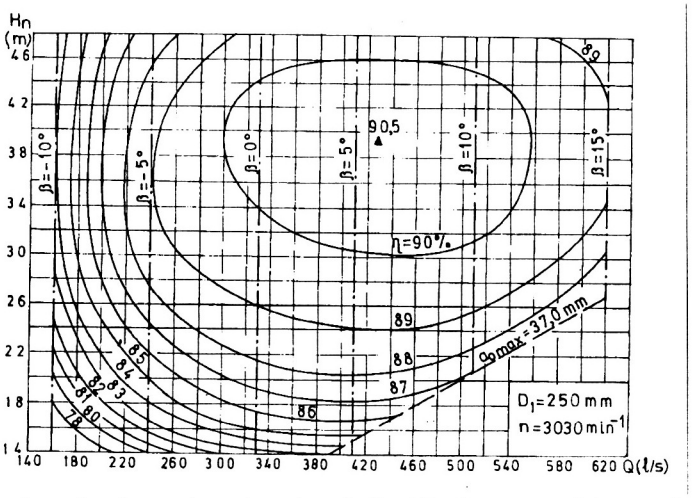
protoka, autori su za primenu odabrali propelernu Kaplanovu turbinu, koja ima dobru, malo poznatu osobinu da pri napred navedenim uslovima ostvaruje dobar stepen korisnosti, koji je isti, ili čak nešto veći nego kod klasične Kaplanove turbine sa dvostrukom regulacijom. Na Mašinskom fakultetu razvijena je Kaplanova turbina sa 6 lopatica, brzohodosti $n_S \approx 450 min^{-1}$, sa čeličnom spiralom koja se može primeniti za intervale padova iz tabele 1. Potencijalni proizvođač turbina GOŠA iz Smederevske Palanke je izradio model turbine do ulaza u obrtno kolo, koji je u Hidrauličkoj laboratoriji ispitan vazduhom.

Tabela 1. Tehničke karakteristike agregata

Akumulacija	Reka	Q_T (l/s)	H_n (m)	P_T (kW)
Vrutci	Đetinja	360÷410	18,5÷46,3	166
Bovan	Moravica	300÷350	20÷44,5	136
Zavoj	Visočica	380÷450	20÷50	183
Barije	Veternica	365÷400	37÷50	174

2. HIDRAULIČKI I GEOMETRIJSKI PARAMETRI TURBINSKIH AGREGATA

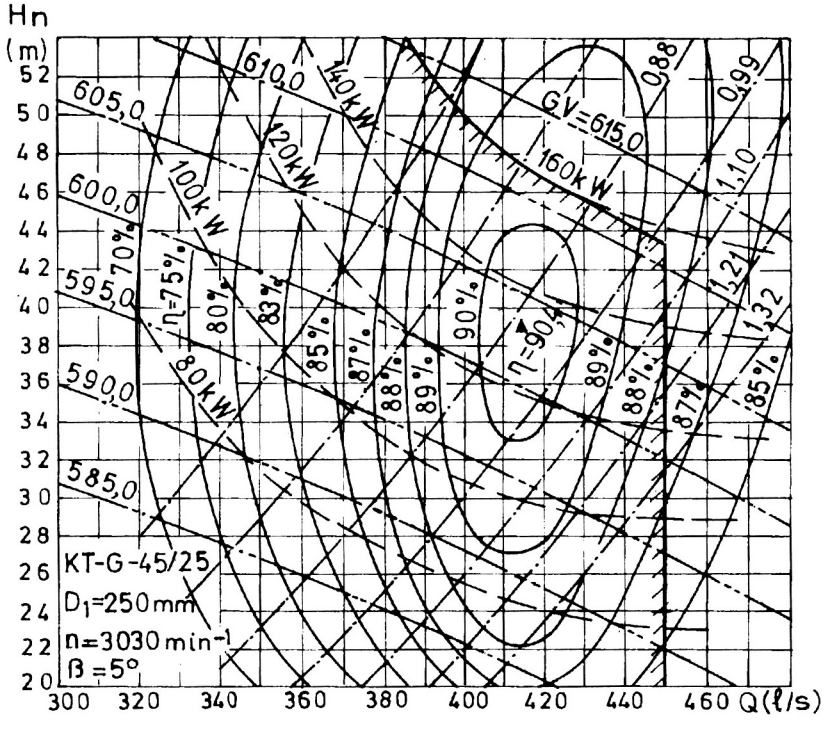
Na osnovu preliminarnih podataka za model Kaplanove turbine određeni su parametri turbine koja bi zadovoljila uslove iz tabele 1.



Slika 1. Protočna eksploataciona karakteristika Kaplanove turbine sa dvostrukom regulacijom

Osnovni parametri turbinskog agregata su sledeći:

- učestanost obrtanja agregata	3030 min^{-1}
- prečnik obrtnog kola D_1	250 mm
- broj lopatica obrtnog kola Z_1	6
- broj lopatica sprovodnog aparata Z_0	16
- podeoni prečnik sprovodnog aparata D_0	305,5 mm
- visina sprovodnog aparata b_0	94,4 mm
- ugao obuhvata spirale φ_0	330°
- ulazni prečnik spirale D_U	350 mm
- broj statorskih lopatica Z_{ST}	16
- relativna visina sifona h_S /D_1	2,7
- izlazni prečnik sifona D_i	485 mm
- nominalna snaga generatora	174 kVA
- nominalna aktivna snaga generatora	160 kW
- faktor snage	0,92
- stepen korisnosti generatora	92,5%

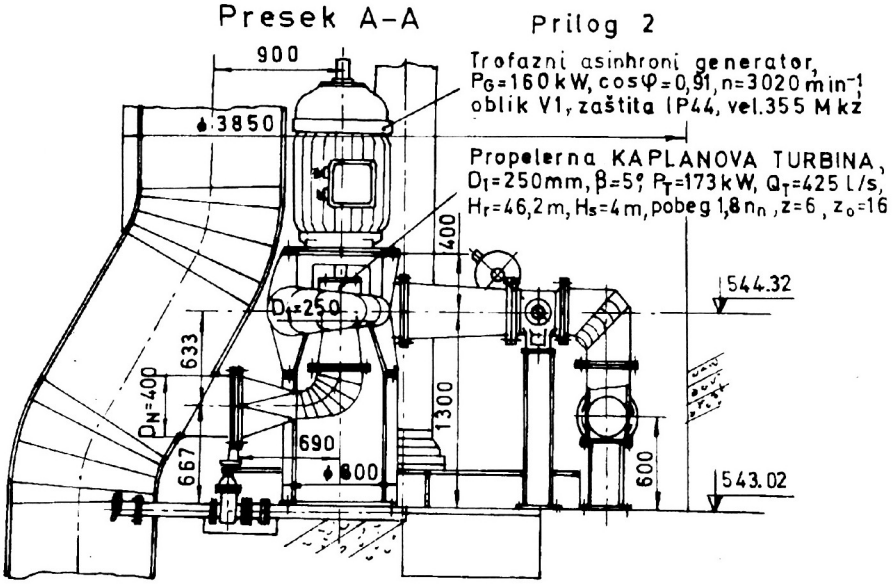


Slika 2. Eksploataciona protočna karakteristika propelerne Kaplanove turbine pri β=5° za MHE Zavoj, sa ucrtanim snagama generatora

Na sl. 1 data je protočna eksploataciona karakteristika Kaplanove turbine sa dvostrukom regulacijom sa ucrtanim vrednostima ugla lopatica obrtnog kola, koje su praktično linije konstantnog protoka. U zavisnosti od traženog protoka biološkog minimuma bira se konstantni ugao lopatica obrtnog kola. Tako je za MHE Bovan $\beta=0°$, za MHE Vrutci $\beta=3°$, a za ostale dve $\beta=5°$. Na sl. 2 prikazana je protočna eksploataciona karakteristika propelerne Kaplanove turbine za $\beta=5°$. S obzirom na to da propelerne Kaplanove turbine rade u optimalnim pogonskim uslovima ($Q_{11} \approx Q_{11A} < Q_{11max}$) to se očekuju vrednosti kritičnog kavitacijskog koeficijenta od $\sigma_{Kr}=0{,}25 \div 0{,}30$, a što zahteva visinu sisanja od oko $H_S=-4{,}0$ m. S obzirom na dispoziciona rešenja, po kojima je turbina smeštena iznad nivoa donje vode, negativna visina sisanja se ostvaruje perforiranom prigušnom pločom na izlazu iz sifona, čime ujedno gubi i deo pada. Kako se voda do turbinskog agregata dovodi dužim cevovodom manjeg prečnika, to pri pobegu, usled povećanja protoka, dolazi do povećanih gubitaka u dovodnom sistemu i manjeg neto pada, i zbog toga ne dolazi do velikog povećanja učestanosti obrtanja.

3. TEHNIČKO REŠENJE TURBINSKOG AGREGATA

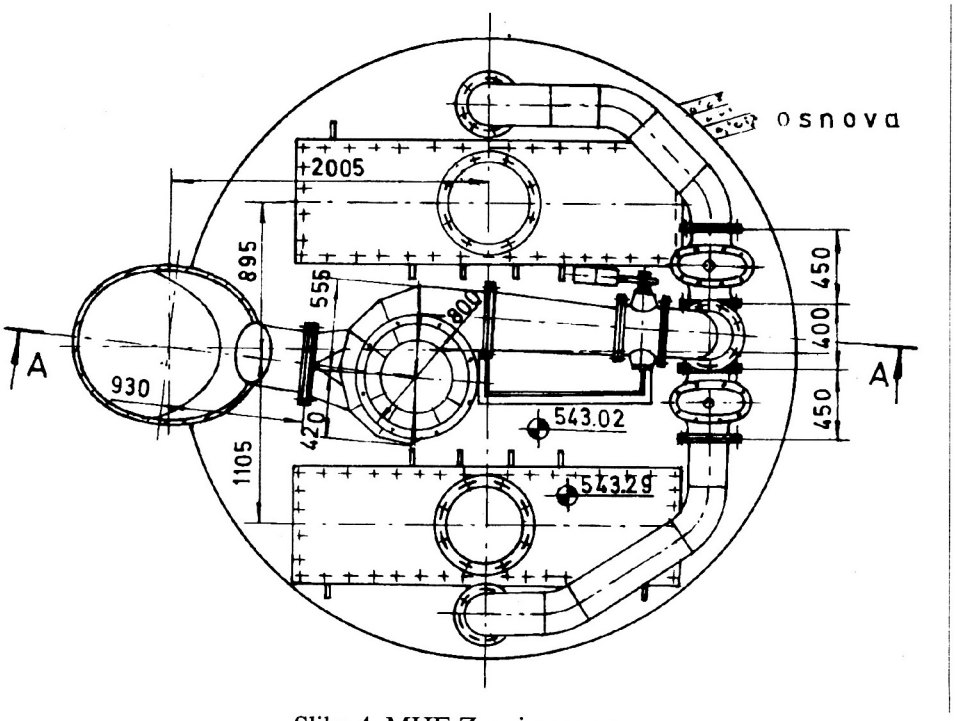
Tehničko rešenje ugradnje turbinskog agregata, u uslovima već izgrađene akumulacije Zavoj, dato je na sl. 3.



Slika 3. MHE Zavoj, poprečni presek A-A

Turbinski agregat smešta se između poklopaca zatvarača temeljnog ispusta, a povezuje se obilaznim vodom i ubetoniranom cevi za aeraciju temeljnog ispusta iza zatvarača. Zasuni na obilaznom vodu se razdvajaju i između njih se ugrađuje T račva sa odvojkom na turbini. Iza račve ugrađuje se usmereno koleno sa elementima za ujednačenje polja brzina na izlazu, a potom se postavlja leptirasti zatvarač D_N 300 sa tegom i uljnim amortizerom za zaštitu turbinskog agregata od pobega. Aktiviranje leptirastog zatvarača je preko elektromehaničkog okidača. Turbina je sa leptirastim zatvaračem spojena preko difuzora D_N 300/350.

Turbinski agregat se nalazi na cilindričnom postolju vezanom za beton. Na izlazu iz sifona postavljena je prigušna ploča, koja omogućuje stvaranje nadpritiska na izlazu iz turbine, i koji odgovara visini sisanja od H_S=-4 m u nominalnom pogonskom režimu. Izlaz iz turbine povezan je kolenom D_N 400, koje se ugrađuje u cev za aeraciju.



Slika 4. MHE Zavoj, osnova

Regulacija protoka turbine ostvaruje se sprovodnim aparatom, čiji je mehanizam zakretanja sa elektromotornim i ručnim pogonom. Na vrhu asihronog generatora postavljen je taho generator za merenje učestanosti obrtanja. Elektrooprema turbinskog agregata za automatski rad, signalizaciju i zaštite, kao i blok kondezatorskuh baterija smešteni su iznad šahta na ulazu u kosu galeriju na koti

627,02mi JM. S obzirom na uslove smeštaja agregata u šahtnoj zatvaračnici, sa velikim sadržajem vlage i intezivnom korozijom, turbinski agregat je kompaktne konstrukcije sa jednim vratilom (generatorskim), sa turbinom izrađenom od nerđajućeg čelika, sa uležištenjem bez podmazivanja, dok je generator zaštite IP 54. Sprovodni aparat je sa elektromotornim servouređajem.

Ovim je dobijen kompaktan ekološki čist turbinski agregat, sa visokim energetskim parametrima.

4. AUTOMATIKA, SIGNALIZACIJA I ZAŠTITA TURBINSKOG AGREGATA

Turbinski agregat treba da radi bez prisustva posade. Uređaj za automatsko upravljanje treba da obezbedi automatski start i vezivanje agragta na mrežu, održavanje otvora sprovodnog aparata u zavisnosti od kote u akumulaciji, zaustavljanje agregata sa isključenjem generatora sa mreže pri otvoru praznog hoda, zaštitu agregata od pobega, zaustavljanje agregata pri delovanju električnih zaštita generatora sa zbacivanjem snage, signalizaciju i zaustavljanje agregata pri povećanim vibracijama, signalizaciju i zaustavljanje agregata pri visokoj temperaturi radijalno - aksijalnog ležaja, signalizaciju i zaustavljanje pri visokoj temperaturi zaptivača vratila.

Prema [5] za generatore snaga preko 100 kW predviđaju se električne zaštite od kratkog spoja, strujnog preopterećenja, prenapona, nesimetrije i povratne snage.

Turbinski agregat treba da ima mogućnost lokalnog upravljanja sa komandnih ormara u šahtu zatvaračnice i kosoj galeriji, automatskog upravljanja, i daljinskog upravljanja.

Pri automatskom upravljanju, kod starta agregata, sprovodni aparat se otvara na krajnju vrednost koja odgovara koti u akumulaciji, a uključenje generatora na mrežu se obavlja pri dostizanju 95 % nominalne učestanosti obrtanja.

Pri zaustavljanju agregat sprovodni aparat se zatvara do kraja, a pri otvoru praznog hoda obavlja se isključenje generatorskog prekidača.

Leptirasti zatvarač se zatvara ukoliko pobeg od 115 % traje duže od 60 sekundi.

Predviđa se merenje vibracija na prirubnici kućišta generatora i postolju turbine. Efektivne vrednosti vibracija pomeraja ili brzine, pri kojima se daje signalizacija ili obavlja zaustavljanje, odrediće se posle ispitivanja.

5. ZAKLJUČAK

1. Kod većine akumulacija u Srbiji, kod kojih je razmatrano ispuštanje biološkog minimuma kroz turbinski agregat uz proizvodnju električne energije, zbog

ujednačenosti protoka i padova, sa jednim tipskim turbinskim agregatom mogu se zadovoljiti sve potrebe.

2. Zbog dobre osobine propelernih turbina da imaju visok stepen korisnosti pri promenljivom padu i konstantnom protoku, primenom propelerne Kaplanove turbine može se dobiti turbinski agregat sa dobrim energetskim karakteristikama.
3. Primenom asihronih generatora otpada potreba za sinhronizacijom pri vezivanju na mrežu, pa se priključenje na mrežu obavlja preko start-stop automata.
4. Umesto regulacije turbinskog agregata po brzini obrtanja, a što zahteva i određeni zamajni momenat obrtnih masa, uvodi se regulacija po konstantnom protoku.
5. S obzirom na zahteve za pouzdanošću rada turbinskog agregata bez pogonskog osoblja u nepovoljnim klimatskim uslovima, nameće se potreba za visokom automatizacijom koja je otporna na visoku vlažnost.
6. Konstrukcija agregata treba da je što prostija, uz primenu samomaznih materijala za uležištenja i protočnim traktom izrađenim od nerđajućeg čelika, kako bi se dobio ekološki čist turbinski agregat.
7. U dosadašnjoj fazi razvoja turbinskog agregata osvojena je hidraulika, koja treba da se proveri modelskim ispitivanjima, ili na malom prototipu, kako bi se sa velikom pouzdanošću unapred znale hidrauličke performanse.
8. Predstoji posao na razradi konstruktivnih rešenja, proveri čvrstoće i veka primenjenih delova, kao i osvajanju automatike, regulacije, signalizacije i zaštite.

LITERATURA

[1] I.Vušković, B. Ignjatović, J. Gildedović, M. Benišek: "Idejni projekat elektromašinskog rešenja hidroelektrane Vrutci", *Naučno društvo SR Srbije,* Beograd.

[2] B. Ignjatović, I. Vušković, M. Benišek: "Idejni projekat MHE Bovan na reci Moravica, mašinski deo", *Mašinski fakultet,* Beograd 1993.

[3] Energoprojekt - Hidroinžinjering: "Idejni projekat mini HE "Barije", Beograd 1989.

[4] B. Ignjatović: "Idejno rešenje turbinskog agregata na obilaznom vodu za propuštanje biološkog minimuma na temeljnom ispustu akumulacije Zavoj - MHE Zavoj", *JP Đerdap, Sektor za investicije i razvoj,* Beograd 1996.

[5] ZEP: "Smernice za izgradnju malih elektrana, elektrooprema", Beograd 1984.

DEVELOPMENT OF TURBINE CONCERNING BIOLOGICAL MINIMUM IN WATER ACUMULATION

ABSTRACT:

On the water storage reservoirs of the R. Serbia exist the demand for minimal biological out flow about 300 to 500 l/s. The biological minimum flow rate, in the actual conditions, by the by pass conduits of 250 to 300 mm diameters located near

the bottom valve is realised. The gross heads, on such facilities are 20 to 50 m whose water energies in the valves or energy "destroiers" are reduced. On the Belgrade's Mechanical faculty for the aim of producing the electrical energy in such facilities, the standard model Kaplan turbine agregat of six runner's blades, runner's diameter D_1=250 mm and rotational speed n=3000 min^{-1} is developed. For the constant out flow discharge reason the propeller type runner is applied which has the same or some better turbine efficiency than the adjustable blade runner. The turbine governor has to provide the constant discharge for various head values.