

IZBOR TIPA I DIMENZIONISANJE TURBINE

Prema strukturi toka u protočnom traktu turbine se mogu podeliti na nekoliko sistema:

- cevne	2 – 20 m	}	reakcijske turbine
- Kaplanove	3 – 80 m		
- dijagonalne	40 – 200 m		
- Francisove	30 – 700 m		
- Peltonove	300 – 2000 m		akcijska turbina

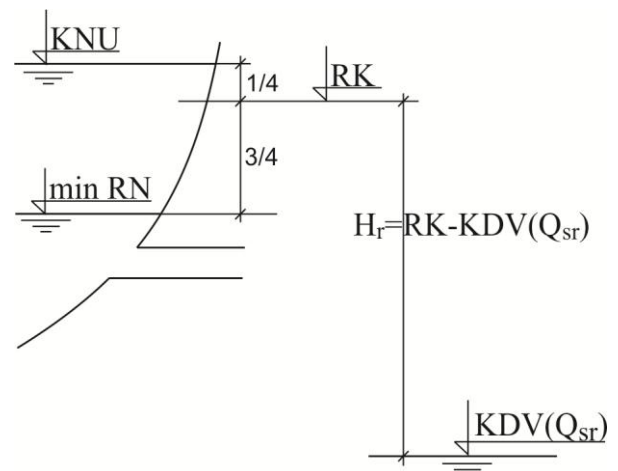
Padovi sa kojima rade hidroelektrane u elaboratu iznose od 90 m do 150 m. To odgovara padu koji mogu da iskoriste Francisove turbine, tako da svi studenti usvajaju – **Francisove turbine**. Sistem turbine bitan je da bi se odredio specifični broj obrtaja turbine.

Turbine se dimenzionišu na **radni pad (H_r)** i ta vrednost dobija se kao rezultat tehno-ekonomskih analiza. Ako se usvoji previše mala vrednost (bliska $H_{neto,min}$) HE bi bila poddimenzionisana jer bi ostao veliki deo snage koja se ne može iskoristiti. Za vrednost radnog pada koja je bliska maksimalnim padovima ($H_{neto,max}$) HE bi bila predimenzionisana i samo bi kratak deo vremena mogla da radi sa optimalnim snagama.

Iako se vrednost H_r u praksi određuje na osnovu tehno-ekonomskih analiza, u elaboratu će se ta vrednost odrediti na sledeći način:

$$H_r = RK - KDV(Q_{sr})$$

RK – radna kota (videti sliku)



Instalisana snaga HE (N_{inst}) određuje se na osnovu instalisanog protoka i radnog pada:

$$N_{inst} = \rho \cdot g \cdot Q_{inst} \cdot H_r \cdot \eta \quad (\text{vrednost se izražava u MW})$$

$$\eta = \eta_t \cdot \eta_g$$

η_t – koeficijent korisnog dejstva turbine

$\eta_g = 0,95$ – koeficijent korisnog dejstva generatora

$\eta = 0,85$ – koeficijent korisnog dejstva HE

Instalisana snaga turbine (N_t)

$$N_t = \frac{N_{inst}}{m \cdot \eta_g}$$

m – broj agregata (svi studenti imaju HE sa dva agregata)

Specifični i sinhroni broj obrtaja turbine

Da bi se odredio sinhroni broj obrtaja turbine (n) neophodno je prethodno odrediti specifični broj obrtaja (n_s) za dati radni pad i vrstu turbine. Ova vrednost očitava se sa dijagrama u prilogu 7.

$$\text{Francisova turbina, } H_r \Rightarrow n_s$$

Na osnovu specifičnog broja obrtaja može se odrediti nominalni (sinhroni ili stvarni) broj obrtaja turbine korišćenjem relacije (snaga se unosi u kW):

$$n_s = \frac{n \sqrt{1,34 N_t}}{\sqrt[4]{H_r^5}} \Rightarrow n$$

Ovaj broj obrtaja turbine, pošto ujedno predstavlja i broj obrtaja generatora, mora da bude sinhronizovan, tj. mora da bude tako odabran da proizvedena naizmenična struja ima frekvenciju od 50 Hz. Frekvencija proizvedene struje (f), osim od broj obrtaja, zavisi i od broja pari polova generatora (p), i važi relacija:

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \Rightarrow n = \frac{3000}{p} (\text{min}^{-1})$$

U tabeli u prilogu 8 date su vrednosti sinhronog broja obrtaja u zavisnosti od broja pari polova generatora, koji se najčešće sreću u praksi. Sinhroni broj obrtaja usvaja se kao najbliža vrednost (iz tabele) vrednosti koja je dobijena na osnovu specifičnog broja obrtaja. Za usvojenu vrednost sinhronog broja obrtaja neophodno je odrediti stvarni specifični broj obrtaja turbine n_s .

Koeficijent kavitacije određuje se na osnovu izraza:

$$\sigma_T = 0,0318 \left(\frac{n_s}{100} \right)^2$$

Dubina potapanja turbine (visina "sisanja"):

$$H_s = 10 - \frac{KDV}{900} - k \cdot \sigma_T \cdot H_{\max}$$

Merodavna vrednost visine sisanja (H_s) javiće se za najnepovoljnije vrednosti kote donje vode, pada i koeficijenta kavitacije. Vrednost može biti i pozitivna i negativna.

KDV - merodavna kota donje vode je minimalna kota donje vode, koja se javlja u slučaju kada radi jedan agregat sa polovinom svog instalisanog protoka: $KDV = KDV(Q_t/2)$, Q_t – instalisani protok kroz turbinu.

H_{\max} - maksimalni neto pad sa kojim HE radi, što odgovara maksimalno bruto padu umanjenom za gubitke u derivaciji (pri protoku koji odgovara polovini protoka kroz jedan agregat $Q_t/2$).

k – koeficijent sigurnosti, usvojiti vrednost $k = 1,1$.

Kota obrtnog kola turbine odgovara koti donje vode uvećanoj za vrednost H_s .

$$KOK = KDV + H_s$$

Ulazni prečnik Francisove turbine može se odrediti iz sledećeg izraza:

$$D_1 = 62,5 \frac{\sqrt{H_r}}{n}$$

Dobijeni prečnik zaokružuje se na najbližu vrednost prečnika turbina koje se proizvode (prilog 11).

U elaboratu će se pretpostaviti da je dubina potapanja turbine okvirno između -3 m i -1 m. Zbog toga se izbor osnovnih parametara turbine obavlja se tabelarno, prema sledećoj tabeli:

n_s^* (min^{-1})			n_s^* iz priloga 7		
n (min^{-1})		prethodna	n iz priloga 8	naredna	
n_s (min^{-1})					
σ_T					
KDV (mnm)					
H_s (m)					
KOK (mnm)					
D_1 (m)					

n_s^* - vrednost očitana iz priloga 7 za dobijeno H_r

n – sinhroni broj obrtaja (vrednost iz priloga 8) najbliži računski određenoj vrednosti na osnovu n_s^* . Uzima se još i prethodna i naredna vrednost n iz tabele iz priloga 8.

n_s – specifični broj obrtaja određen za stvarne sinhronne brojeve obrtaja

σ_T, H_s – određuju se za sve tri vrednosti n

Dalji proračun se radi za usvojenu vrednost. Usvaja se H_s u intervalu $-3\text{m} < H_s < -1\text{m}$ ili vrednost najbliža tom intervalu i za tu vrednost se određuju KOK i D_1 .

D_1 – određuje se za usvojenu vrednost KOK. Zaokružuje se na jedan od preporučenih prečnika (prilog 11)

Tip Francisove turbine

Svaki sistem turbina ima veliki broj tipova, koji se razlikuju prema relativnim razmerama i konfiguraciji elemenata protočnog trakta. Tip turbine, u okviru elaborata, određiće se na osnovu padova koje će turbina koristiti (minimalni i maksimalni padovi).

- Maksimalan neto pad javlja se u slučaju kada je nivo vode u akumulaciji maksimalan (na KNU), a turbine radi sa minimalnim protokom, što za Francisove turbine iznosi polovinu instalisanog protoka kroz turbine ($Q_t/2$):

$$H_{\text{netto,max}} = \text{KNU} - \text{KDV}(Q_t/2) - \Delta h_T(Q_t/2) - \Delta h_C(Q_t/2)$$

- Minimalan pad sa kojim turbina može raditi javlja se kada rade obe turbine sa svojim instalisanim protocima, a nivo vode u jezeru je na minimalnom radnom nivou:

$$H_{\text{netto,min}} = \text{minRN} - \text{KDV}(Q_{\text{inst}}) - \Delta h_T(Q_{\text{inst}}) - \Delta h_C(Q_{\text{inst}})$$

U prilogu 11 data je tabela sa tipovima Francisovih turbina i opseg padova koje određeni tip može koristiti. Potrebno je odrediti tip turbine, kao i njene osnovne dimenzije: izlazni prečnik (D_2) i visinu lopatica sprovodnog kola (b_0). Dimenzije se određuju se na osnovu odnosa datih u tabeli i već izračunatog ulaznog prečnika turbine (D_1):

$$\frac{D_2}{D_1} \Rightarrow D_2$$

$$\frac{b_0}{D_1} \Rightarrow b_0$$

DIMENZIONISANJE TURBINSKE SPIRALE

Spirala turbine ima dve osnovne uloge: da dovede vodu do turbine i da ravnomerno rasporedi vodu po celom obodu statorskog i sprovodnog kola. Kod većine savremenih HE koriste se dve vrste spirala: betonske i čelične. Oblast primene pojedinih tipova spirala zavisi od pada i protoka (odnosno snage) sa kojim radi turbina, a orijentacione oblasti prikazane su na dijagramu u prilogu 9. Kao što se sa dijagrama može videti, za padove od oko 90 - 150 m primenjuje se čelična spirala.

Približan proračun poprečnih preseka spirale (F_φ), za različite uglove zahvatanja φ (videti skicu), sprovodi se na osnovu hipoteze da je srednja brzina duž spirale konstantna:

$$v_\varphi = v_{ul} = \text{const}$$

gde je v_{ul} - brzina na ulazu u spiralu, a v_φ - brzina u preseku čiji je ugao zahvatanja φ .

Iz osnovne uloge spirale, da obezbedi ravnomeran dotok vode u stator i sprovodno kolo, sledi da je protok koji protiče kroz neki presek spirale:

$$Q_\varphi = Q \frac{\varphi}{360^\circ}$$

Znači, površina poprečnog preseka spirale, u bilo kom preseku, koji je definisan uglom φ , može se odrediti korišćenjem izraza:

$$F_\varphi = \frac{Q}{v_\varphi} \frac{\varphi}{360^\circ} \Rightarrow D_\varphi = \sqrt{\frac{4 Q \varphi}{v_\varphi \pi 360^\circ}}$$

Za određivanje brzine na ulazu u spiralu (v_{ul}) koristi se dijagram dat u prilogu 10, koji je za realizovane turbine i spirale dao najbolje odnose brzine i pada. Ulazni prečnik spirale dobija se na osnovu ulazne brzine i protoka na ulazu u spiralu (Q_{ul}), koji iznosi:

$$Q_{\varphi 1} = Q_t \frac{\varphi_{zah}}{360^\circ}$$

φ_{zah} – ugao zahvatanja, usvojiti $\varphi_{zah} = 350^\circ$
 Q_t - instalisani protok kroz jednu turbinu

Direktna zavisnost prečnika (D_φ) spirale od ulaznog prečnika (D_{ul}) i ugla (φ) dobija se iz uslova da je $v_\varphi = v_{ul}$:

$$\frac{Q_\varphi}{\frac{D_\varphi^2 \pi}{4}} = \frac{Q_{ul}}{\frac{D_{ul}^2 \pi}{4}} \Rightarrow D_\varphi = D_{ul} \sqrt{\frac{\varphi}{360^\circ}}$$

Potrebno je odrediti prečnike spirale na svakih 45° .

Za male uglove φ (manje od oko 90°) nije moguće realizovati kružni poprečni presek spirale (pa ni računati prečnik na opisani način). Na tom je delu poprečni presek spirale eliptičnog oblika, kako bi se najbolje prilagodio gornjoj i donjoj ivici statorskog kola.

U preliminarnim proračunima ulazni prečnik statorskog kola ($D_{st,ul}$) i izlazni prečnik statorskog kola ($D_{st,izl}$) mogu se odrediti se u funkciji prečnika turbine, na sledeći način:

$$D_{st,ul} = 1,5 D_1$$

$$D_{st,izl} = 1,3 D_1$$

