

# KORIŠTENJE VODNIH SNAGA



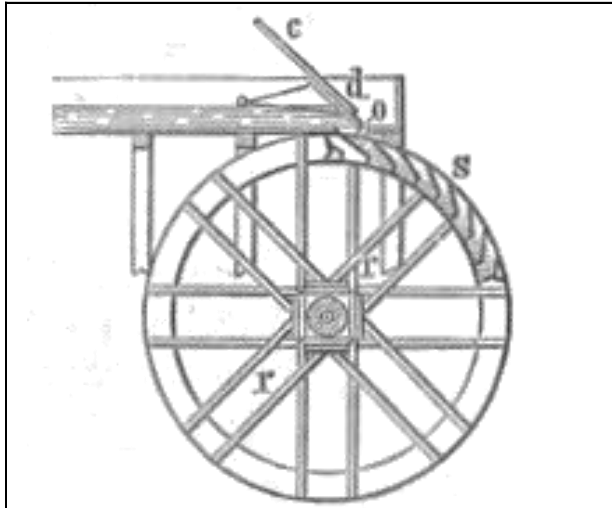
TURBINE

# Osnovni pojmovi

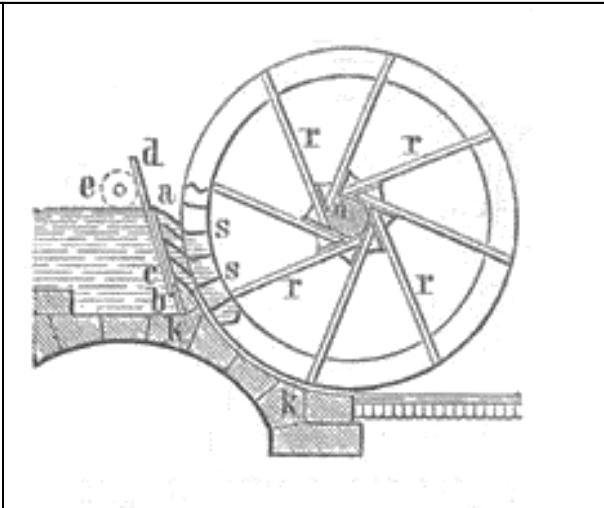
---

- hidraulički strojevi u kojima se energija vode pretvara u mehaničku energiju vrtnje stroja
  - što veći raspon padova
  - što veći kapacitet
  - što veći korisni učinak
  - što veći broj okretaja  
manje dimenzije
  - što bolja prilagodba promjenjivom režimu rada (protoka)

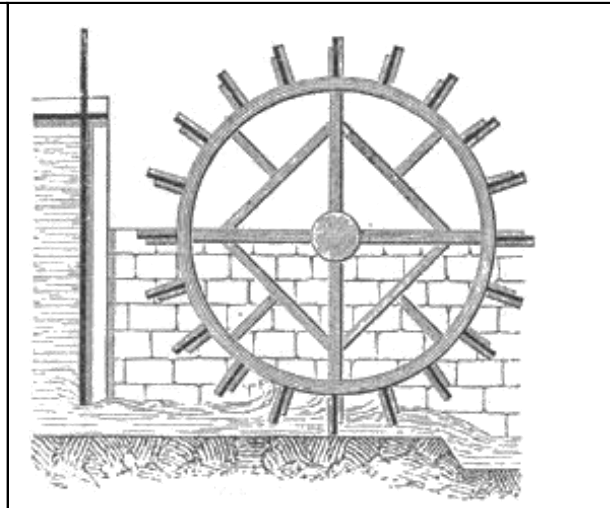
# Povijesni razvoj – vodno kolo



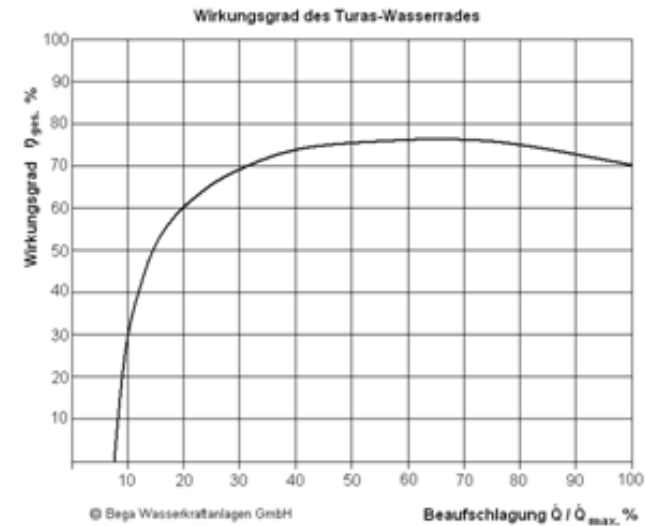
Tjemeno vodno kolo



Bočno vodno kolo



Podnožno vodno kolo



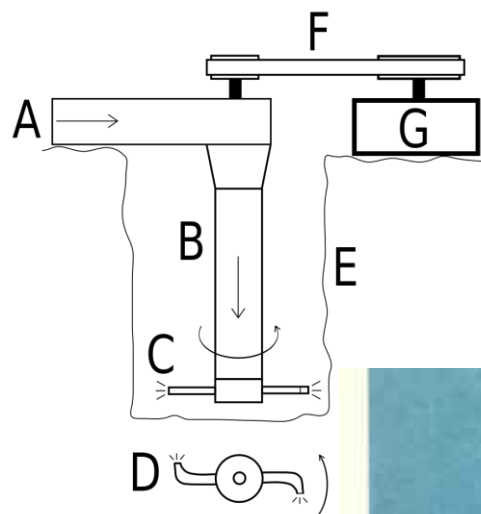




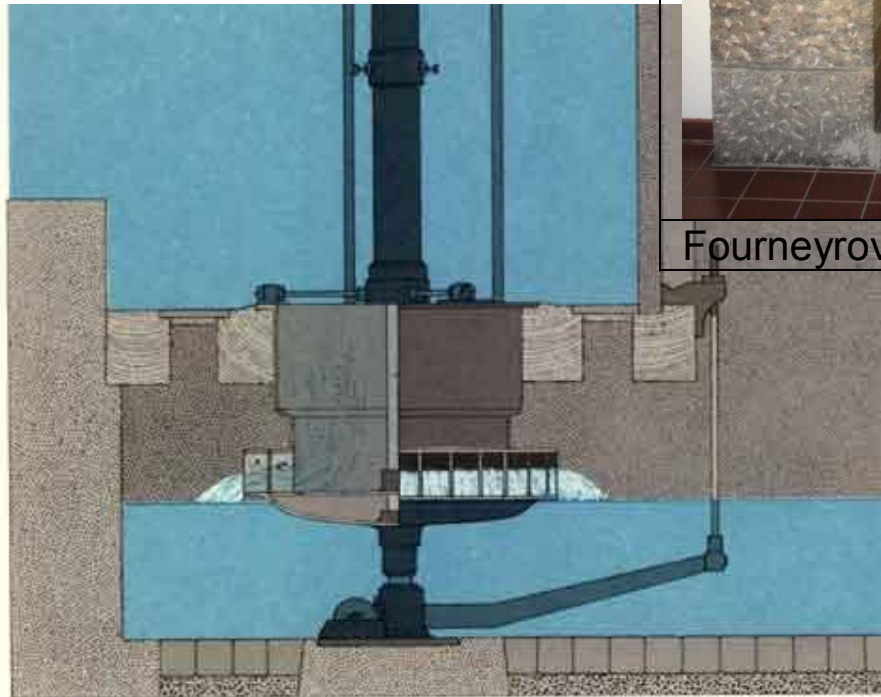
r. Dobra, Vrbovsko



# Povijesni razvoj

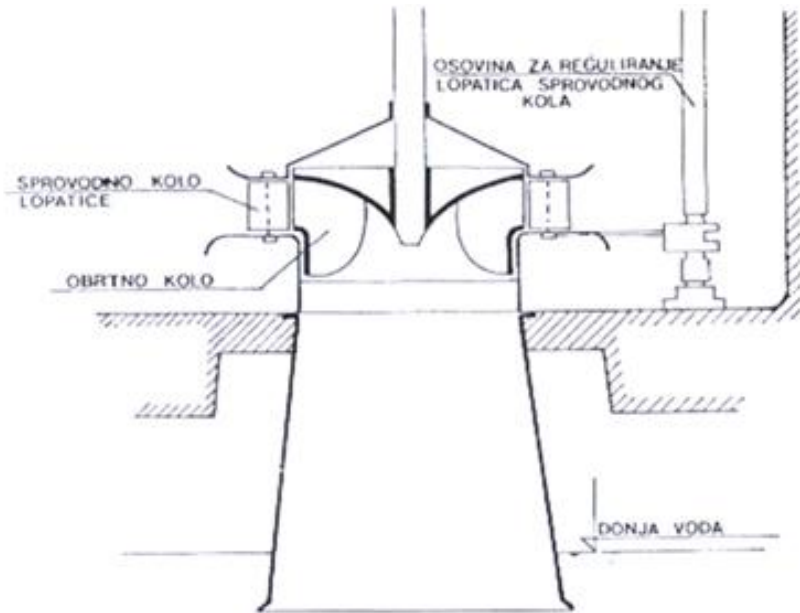


Segnerovo vodno kolo

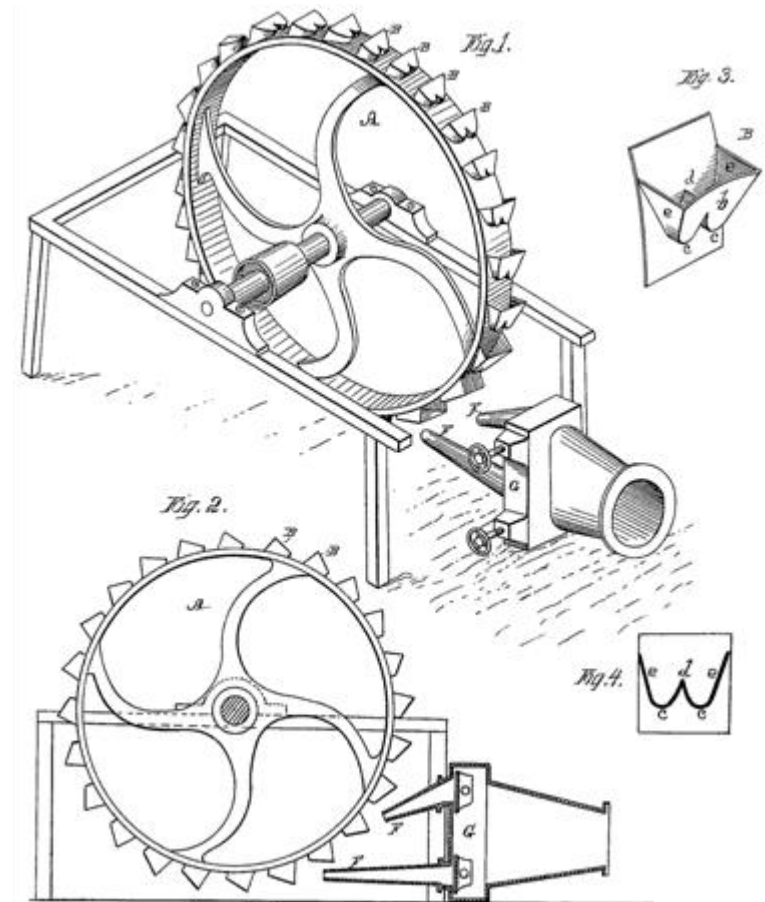


Fourneyrov hidraulički stroj

# Povijesni razvoj



Francis turbina, 1849.



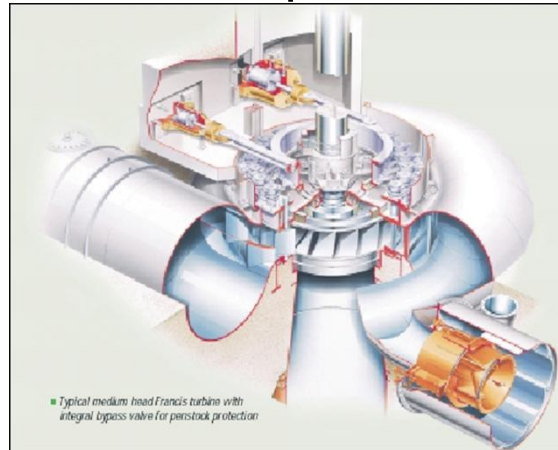
Pelton turbina, 1890.

# Osnovni tipovi

Osnovna podjela turbina obzirom na način djelovanja, odnosno **način transformacije energije u okretnom kolu** je podjela na:

## □ Reakcijske turbine

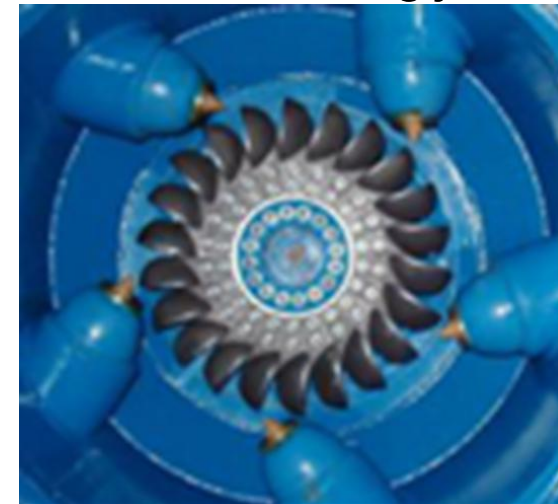
- Voda potpuno obuhvaća rotor
- Koristi se kinetička, potencijalna, tlačna energija
- Imaju izlazni difuzor – aspirator
  - Francis
  - Kaplan
  - cijevne



## □ Akcijske turbine

- Turbine slobodnog mlaza
- Koristi se kinetička energija

PELTON



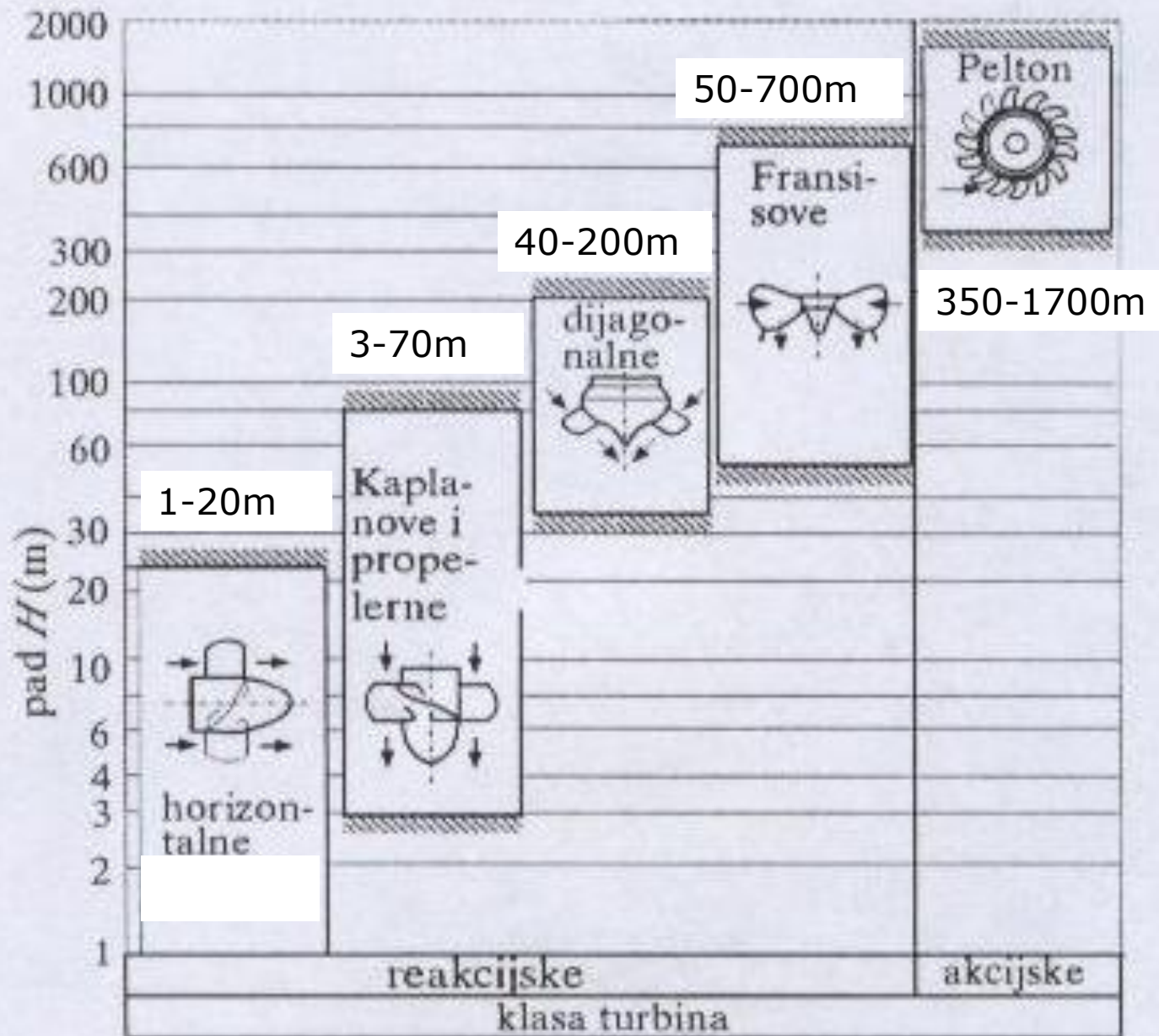
# Osnovni tipovi

---

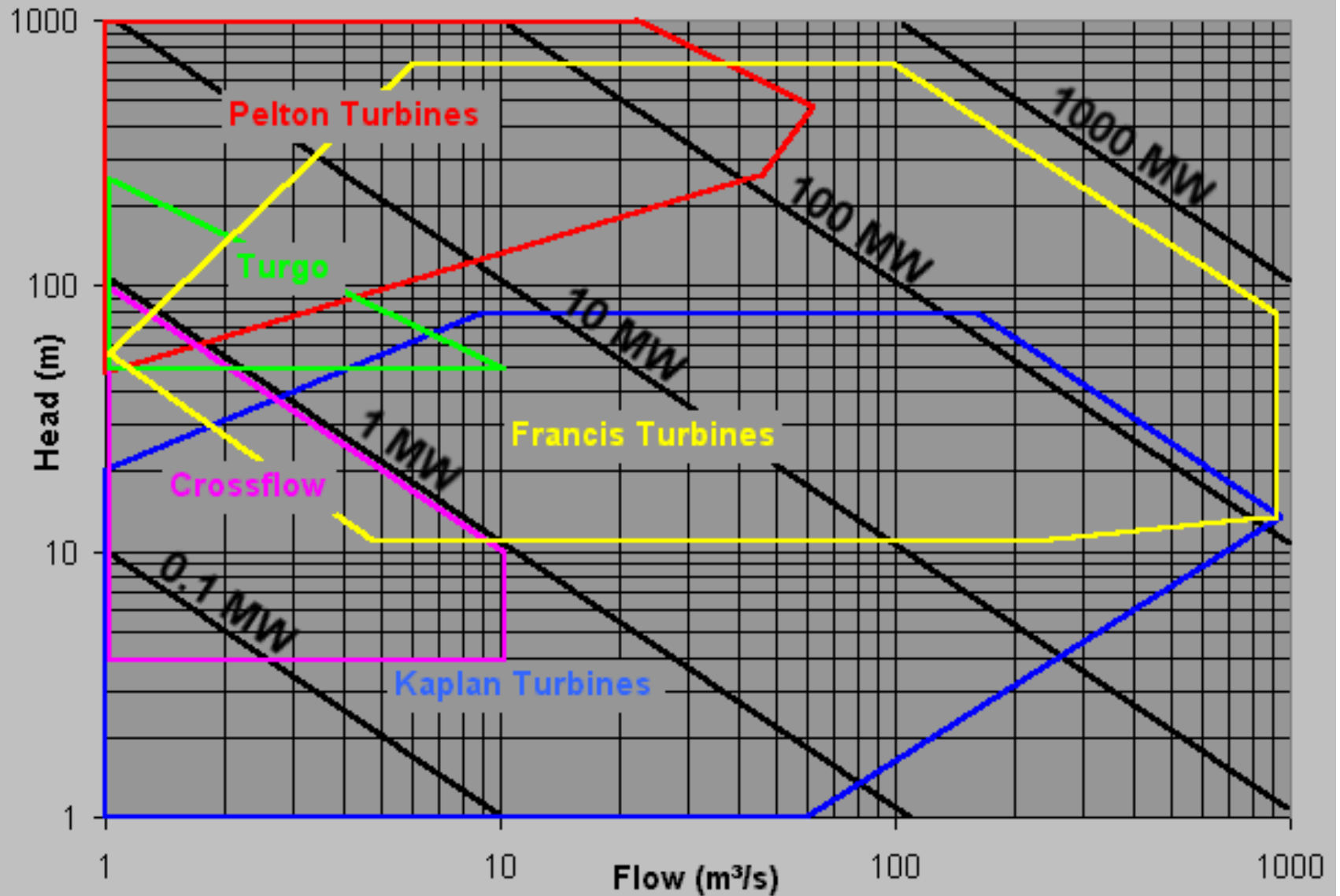
- Obzirom na opći tok strujanja vode kroz rotor turbine razlikuju se:
  - Radijalne: **Francis**
    - voda se kreće okomito na os
  - Aksijalne: **Propeler i Kaplan**
    - voda se privodi u smjeru osovine
  - Tangencijalne: **Pelton**
    - mlaz vode udara tangencijalno na lopatice
  - Radijalno-aksijalne: **Dijagonalne**
    - dovod vode je kombiniran

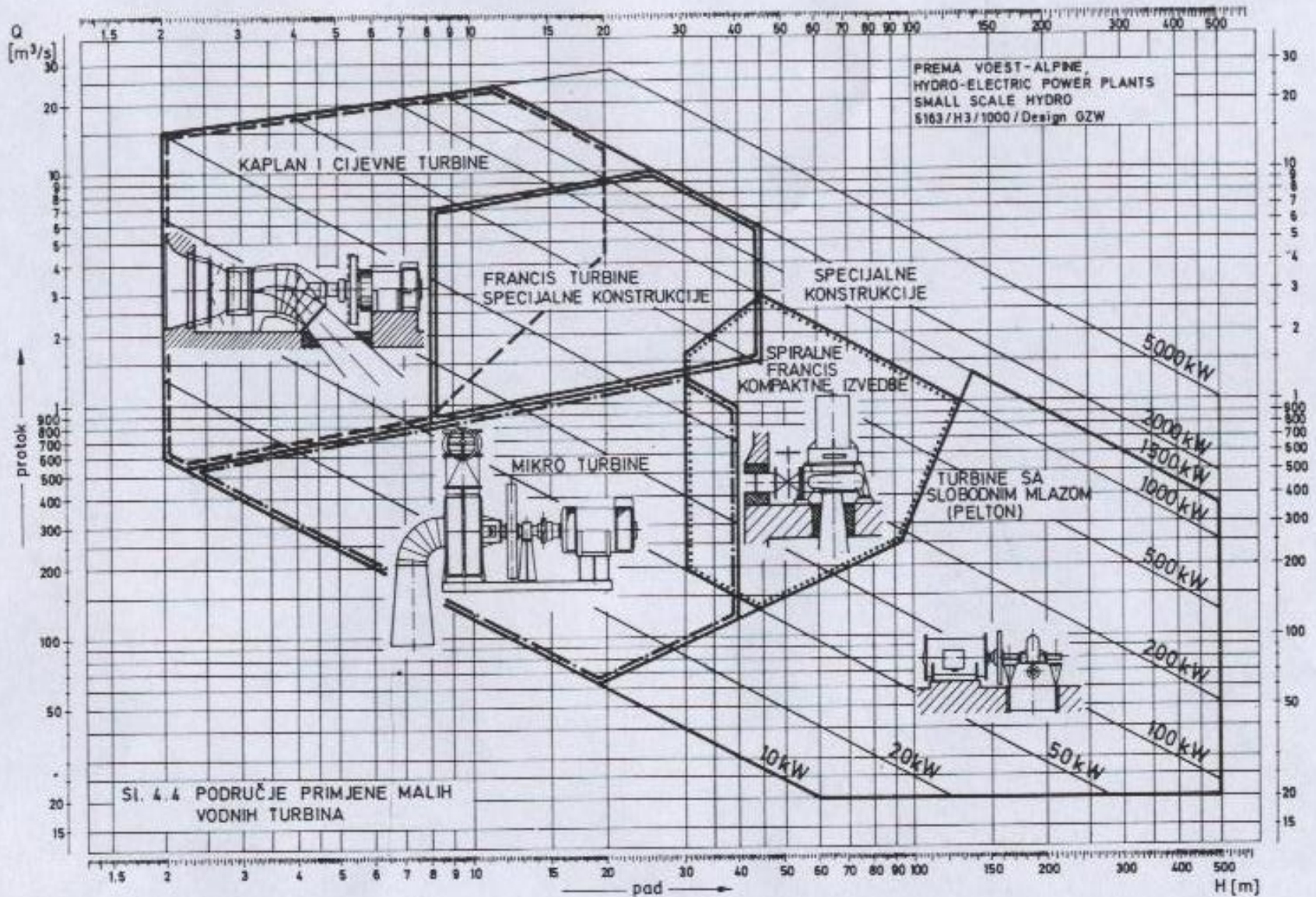


# Područje primjene



# Turbine Application Chart





SI. 4.4 PODRUČJE PRIMJENE MALIH VODNIH TURBINA







# VLH Turbines: General data

## Turbines VLH: Données générales

Maximum discharge per unit in m<sup>3</sup>/s  
Débit maximum par groupe en m<sup>3</sup>/s

Maximum electrical output per unit in kW (\*)  
Puissance électrique maximum par groupe en kW (\*\*)

		Runner diameters in mm Diamètres de roue en mm				
		3150	3550	4000	4500	5000
Net Head in meter Hauteur de chute nette en m	1,4	8,2	10,4	13,3	16,8	20,7
	1,5	8,5	10,8	13,7	17,4	21,4
	1,6	8,8	11,2	14,2	17,9	22,1
	1,7	9,1	11,5	14,6	18,5	22,8
	1,8	9,3	11,8	15,0	19,0	23,5
	1,9	9,6	12,2	15,4	19,5	24,1
	2,0	9,8	12,5	15,8	20,0	24,7
	2,1	10,1	12,8	16,2	20,5	25,4
	2,2	10,3	13,1	16,6	21,0	26,0
	2,3	10,5	13,4	17,0	21,5	26,5
	2,4	10,8	13,7	17,4	22,0	27,1
	2,5	11,0	13,9	17,7	22,4	
	2,6	11,2	14,2	18,1	22,9	
	2,7	11,4	14,5	18,4	23,3	
2,8	11,6	14,8	18,7			
2,9	11,8	15,0	19,1			
3,0	12,0	15,3	19,4			
3,1	12,2	15,5	19,7			
3,2	12,4	15,8	20,0			

		Runner diameters in mm Diamètres de roue en mm				
		3150	3550	4000	4500	5000
Net Head in meter Hauteur de chute nette en m	1,4	88	112	143	182	225
	1,5	98	124	159	201	249
	1,6	107	137	175	222	275
	1,7	118	150	191	243	301
	1,8	128	163	208	265	328
	1,9	139	177	226	287	356
	2,0	150	191	244	310	384
	2,1	162	206	263	334	413
	2,2	173	221	282	358	443
	2,3	185	236	301	382	474
	2,4	197	252	321	408	
	2,5	210	268	341	433	
	2,6	223	284	362	460	
	2,7	236	300	383	486	
2,8	249	317	404			
2,9	262	334	426			
3,0	276	352	448			
3,1	290	370	471			
3,2	304	388	494			

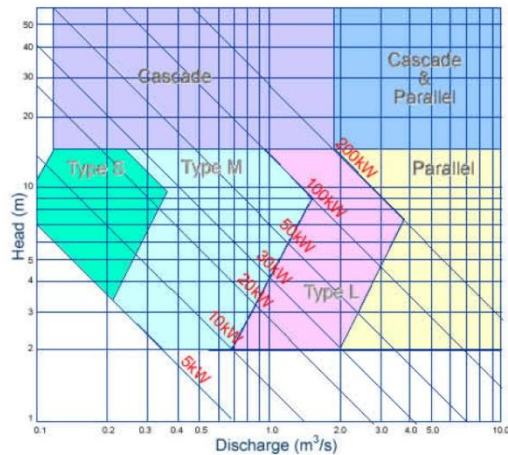
Not available  
Non disponible

\* Output delivered at terminal box of the frequency converter  
\*\* Puissance électrique à la sortie du convertisseur

Nota: These above data are given only for information.  
Nota: Les données ci-dessus sont données uniquement pour information



# WIDE RANGE OF APPLICABLE SITE CONDITION



Hydro-eKIDS™ as three types of standard unit so as to conform to the various types of the site condition.

Each unit has three types of runner to suit to the various water flow.

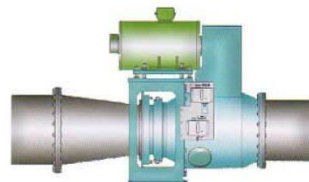
Hydro-eKIDS™ is shipped adjusting angles of runner vane and guide vane to conform to the site condition exactly.

Runner vane angle also can be adjusted after installation to detach the runner. When the discharge fluctuates in rainy season or dry season, Hydro-eKIDS™ can operate under the best condition adjusting the runner vane angle.



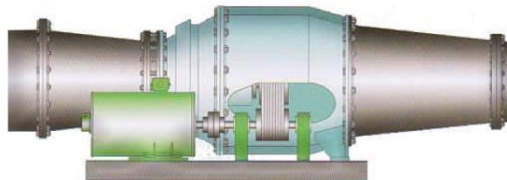
## Hydro-eKIDS Type S

Discharge 0.1 ~ 0.3 m³/s  
Head 2 ~ 15 m  
Power 5 ~ 25 kW  
Dimension 1260L x 600D x 1000H



## Hydro-eKIDS Type M

Discharge 0.1 ~ 1.4 m³/s  
Head 2 ~ 15 m  
Power 5 ~ 100 kW  
Dimension 2050L x 111 OD x 1700H



## Hydro-eKIDS Type L

Discharge 1.0 ~ 3.5 m³/s  
Head 2 ~ 15 m  
Power 10 ~ 200 kW  
Dimension 4600L x 1600D x 2500H

# Pelton turbine - GLAVNI KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

## □ ROTOR

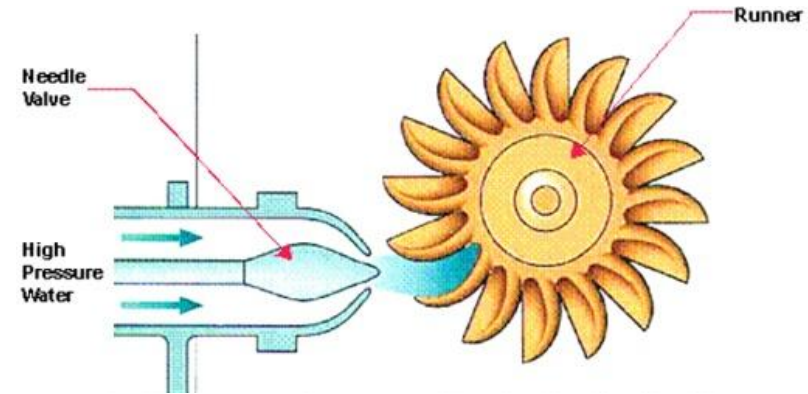
- METALNI DISK
  - LOPATICE
- OSOVINA spaja disk s generatorom
  - HORIZONTALNA
  - VERTIKALNA
- KUČIŠTE

## □ DOVOD

- **MLAZNICA** s iglom koja regulira protok i otklanjačem/skretačem mlaza (deflektorom)

## □ ODVOD

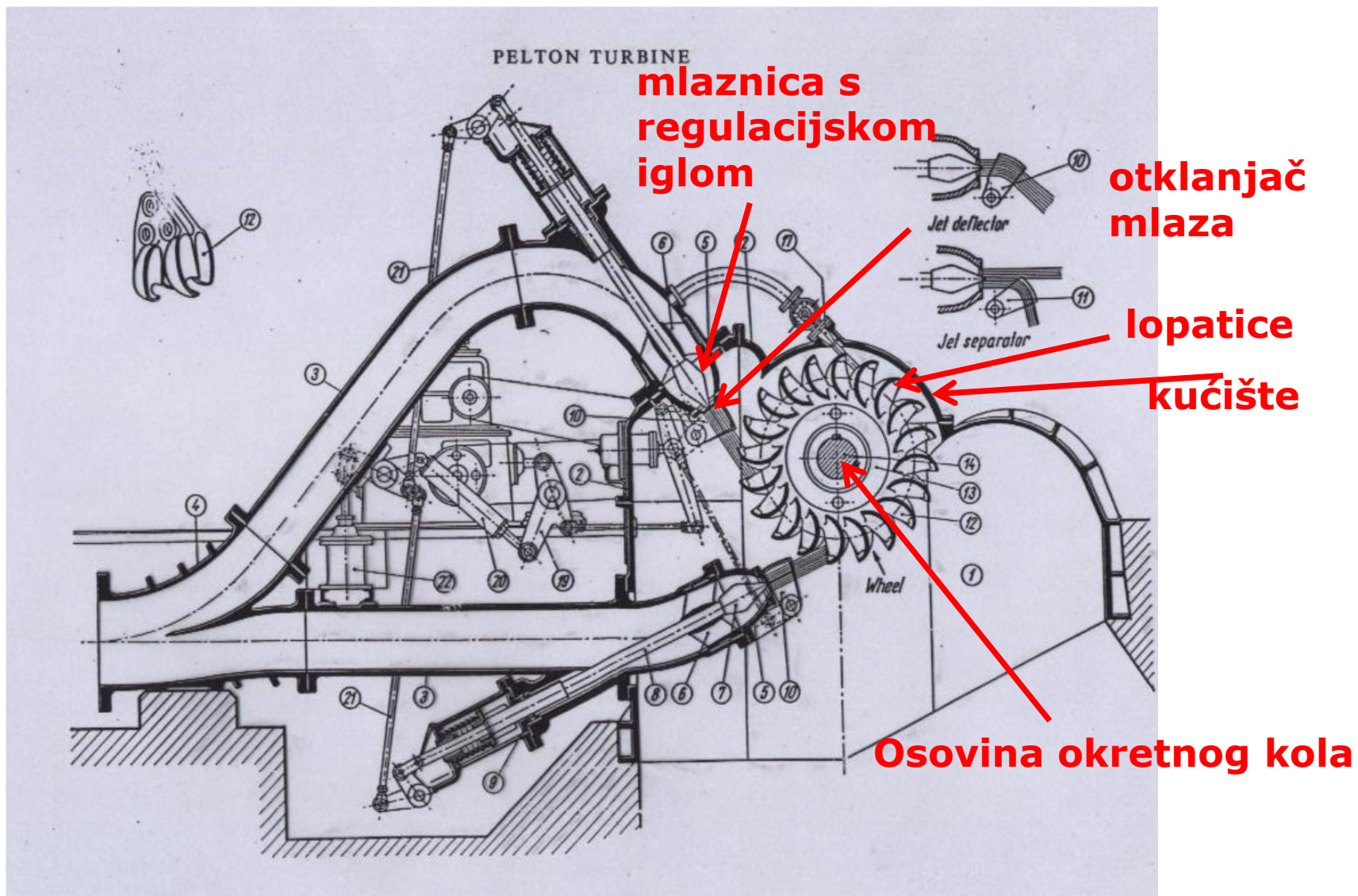
- Odvodi vodu iz turbine



Vertikalna ili horizontalna os



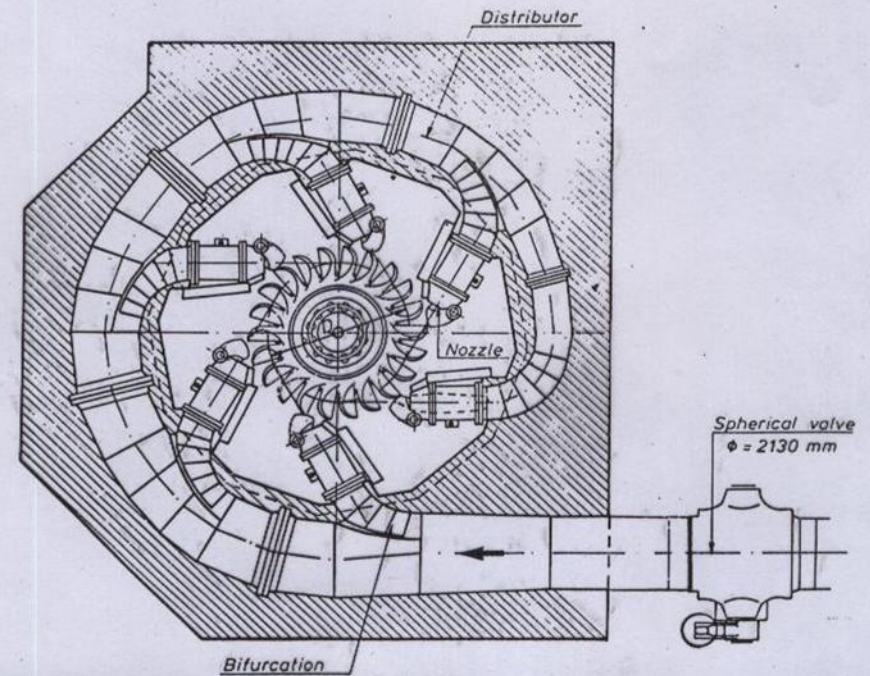
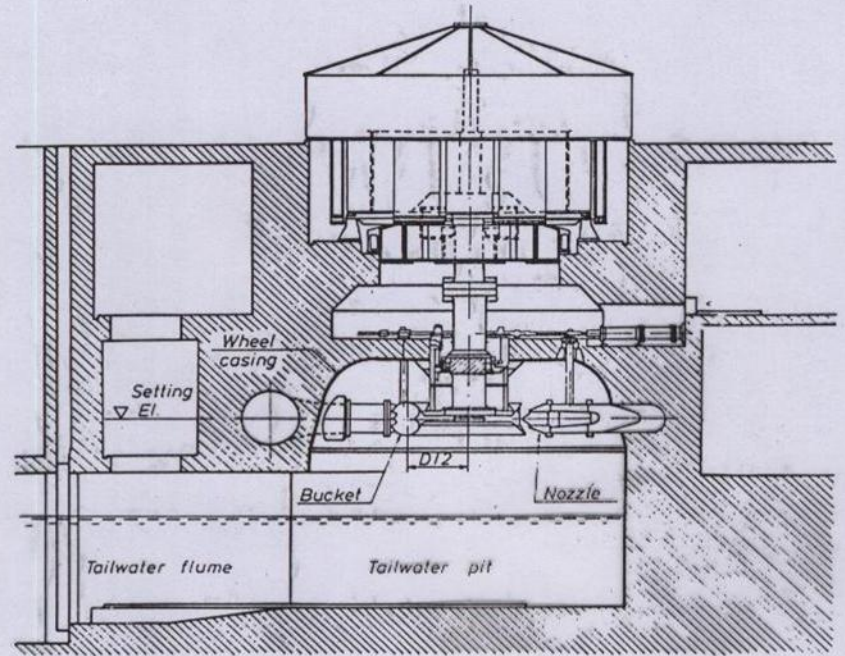
# Pelton turbine – t. s horizontalnom osi





# Pelton turbine

t. s vertikalnom osi

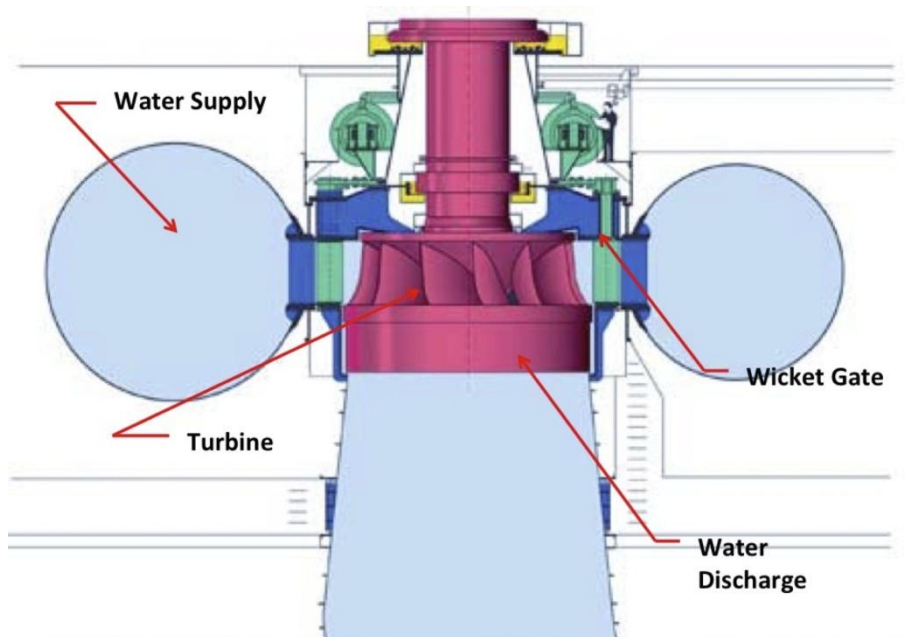


# Francis turbine - GLAVNI KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

## □ ROTOR

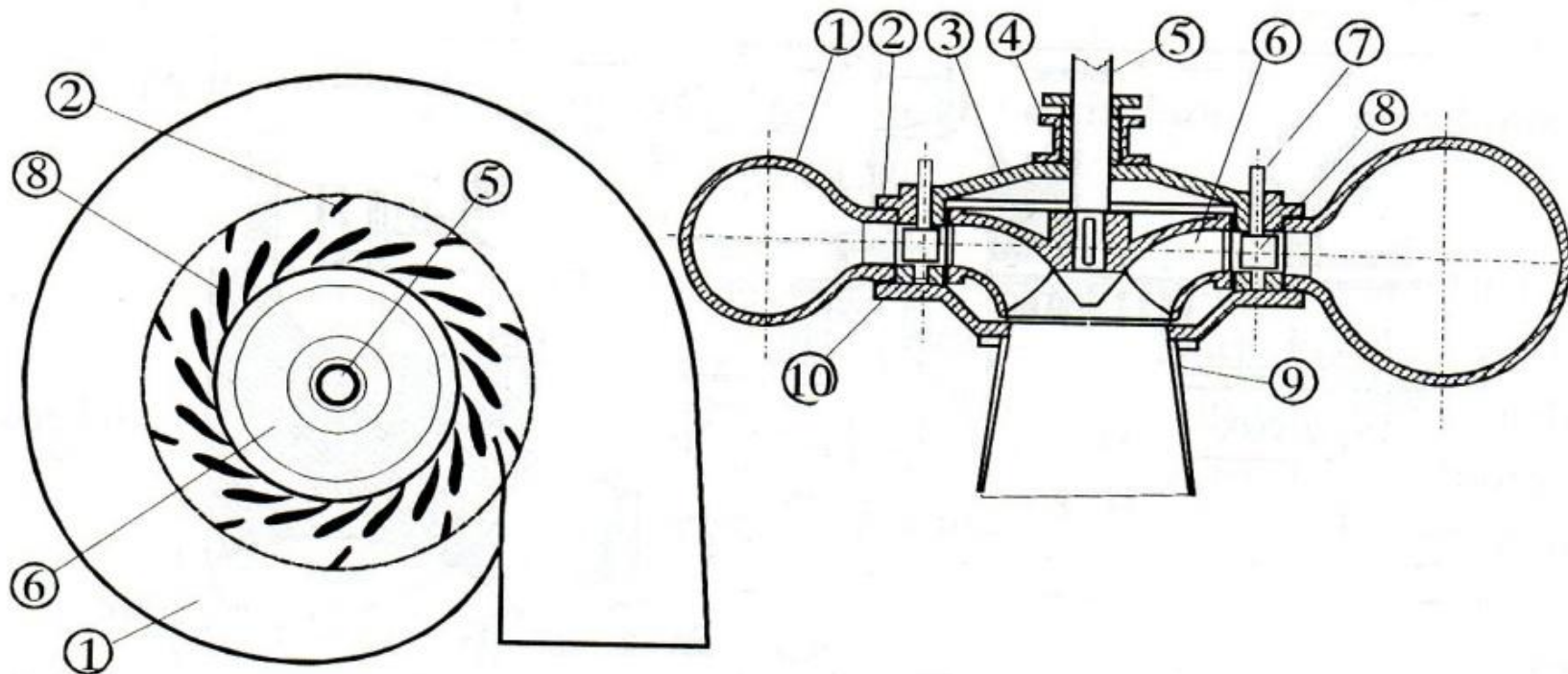
- OKRETNO KOLO s 2 prstena
  - između prstena LOPATICE
- OSOVINA spaja disk s generatorom
  - HORIZONTALNA
  - VERTIKALNA
- KUČIŠTE – poklopac turbine

- SPIRALA usmjerava ravnomjerno protok po obodu sprovednog kola
- STATOR s fiksnim lopaticama
- SPROVODNO KOLO
  - POKRETNE LOPATICE rotacijom usmjeravaju ulazak vode u kanale rotora i reguliraju protok vode kroz turbinu
- DIFUZOR prihvaća vodu koja napušta rotor i odvodi ju u nizvodni bazen



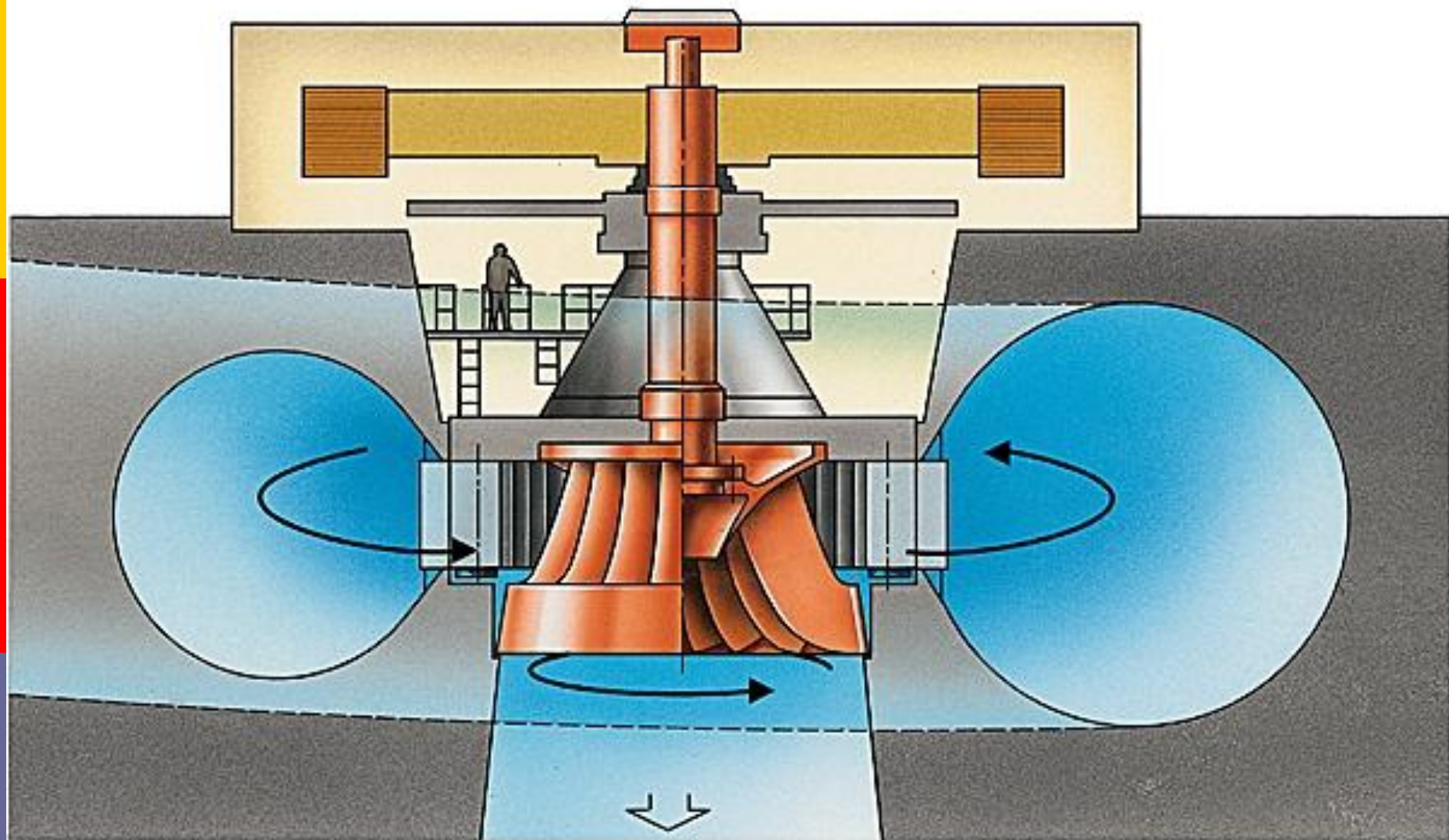






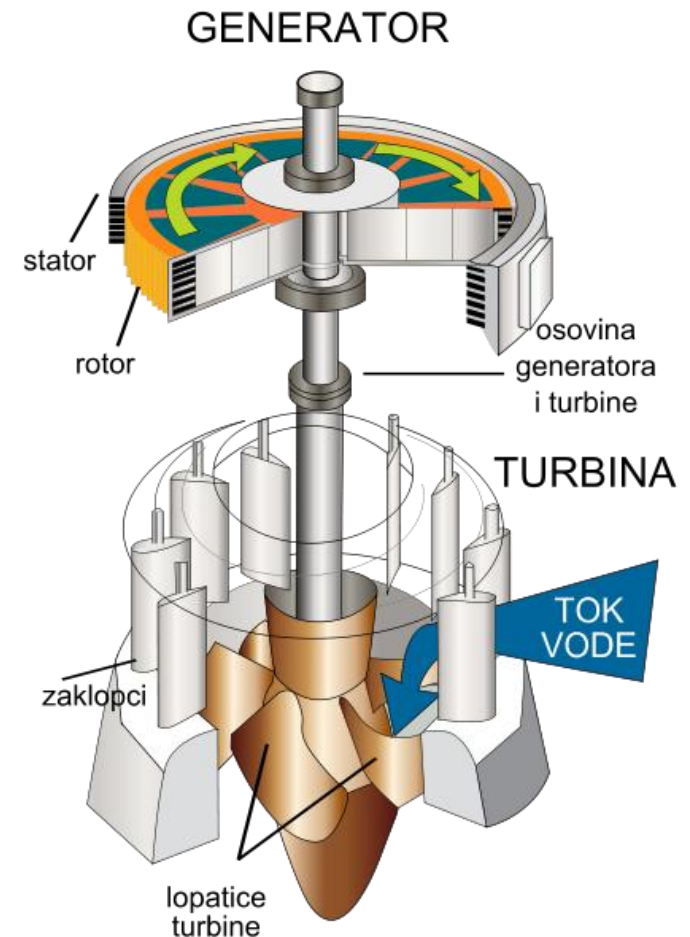
- 1 – SPIRALA
- 2 – STATORSKE LOPATICE
- 3 – POKLOPAC TURBINE
- 4 - VODEĆI LEŽAJ
- 5 – OSOVINA
- 6 – FRANCIS TURBINA
- 7 – OSOVINA ZA OKRETANJE LOPATICA SPROVODNOG KOLA
- 8 – LOPATICE SPROVODNOG KOLA
- 9 – DIFUZOR
- 10 – DONJI POKLOPAC





# Kaplan turbine - GLAVNI KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

- **ROTOR**
  - **OKRETNO KOLO**
    - S 4-8 LOPATICA kojima se preko osovine može regulirati položaj
  - **VERTIKALN OSOVINA** spaja disk s generatorom
- **SPROVODNO KOLO**
  - **POKRETNE LOPATICE** rotacijom usmjeravaju ulazak vode u kanale rotora i reguliraju protok vode kroz turbinu
- **KOMORA** usmjerava ravnomjerno protok po obodu sprovednog kola, izvodi se od armiranog betona a s unutarnje strane se oblaže čelikom
- **DIFUZOR** prihvaća vodu koja napušta rotor i odvodi ju u nizvodni bazen



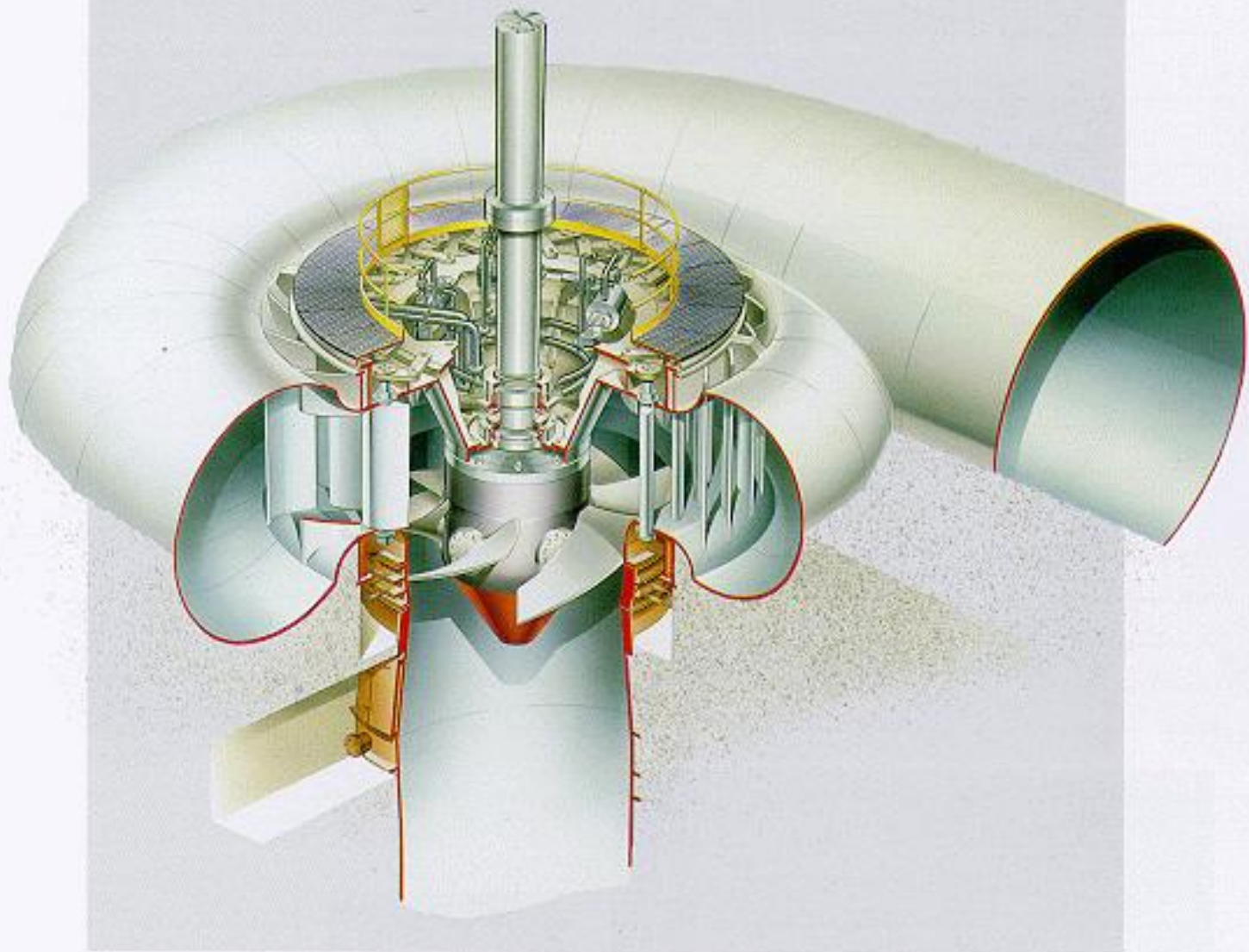


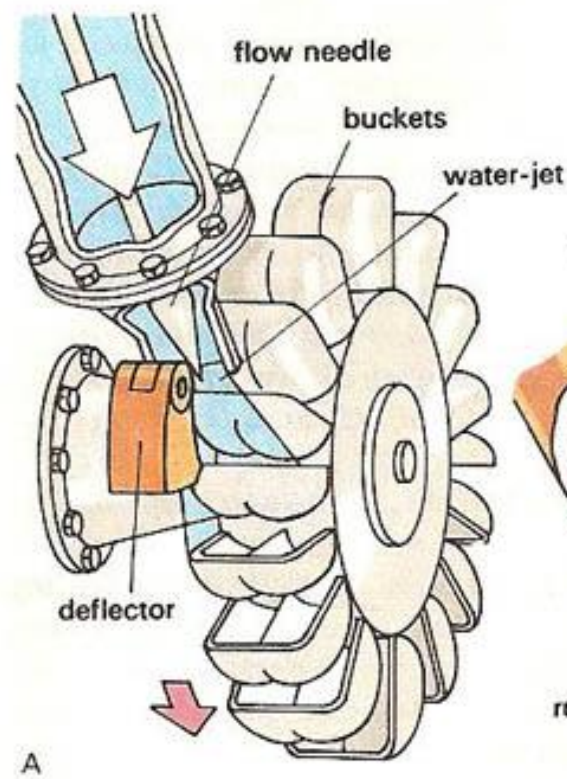
Kochelsee

Kaplan Turbine  
aus der Bohrer- & Kraftwerk  
1928 bis 1930 am Kochelsee, 1.1.1930  
1928 bis 1930 am Kochelsee, 1.1.1930  
1928 bis 1930 am Kochelsee, 1.1.1930

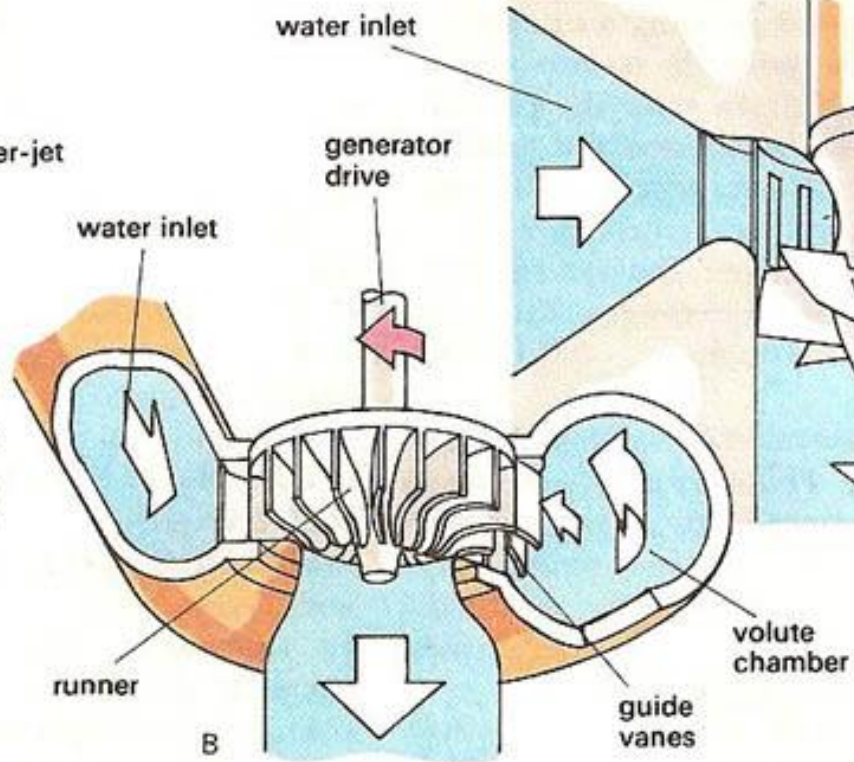




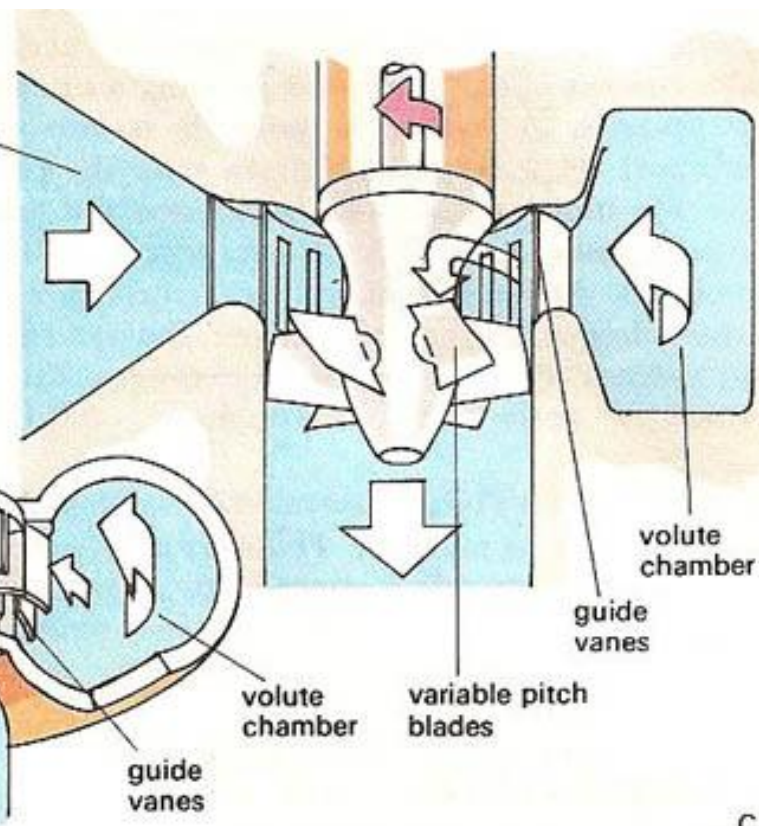




A



B



C

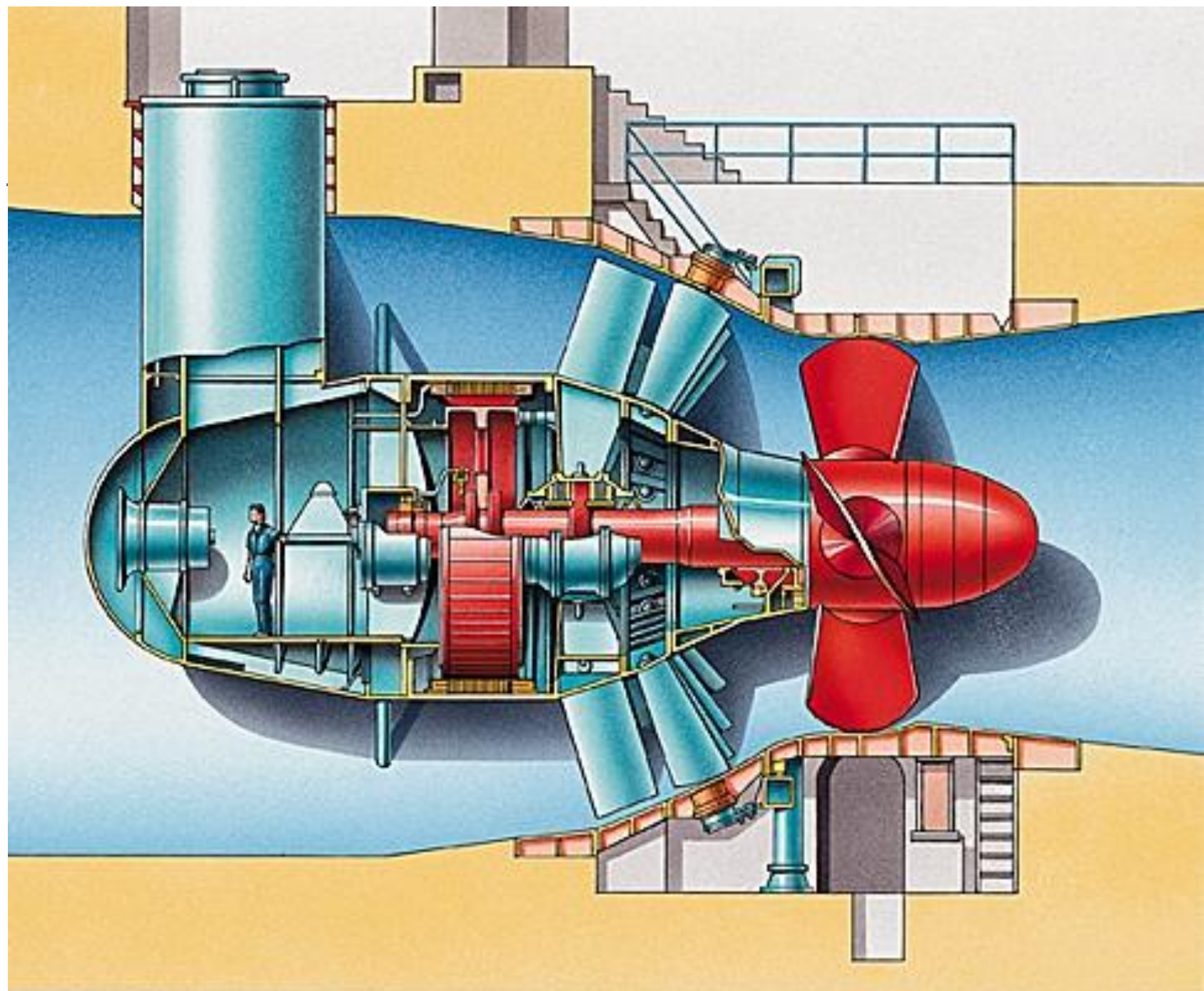
# Cijevne (“Bulb”) turbine - GLAVNI KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

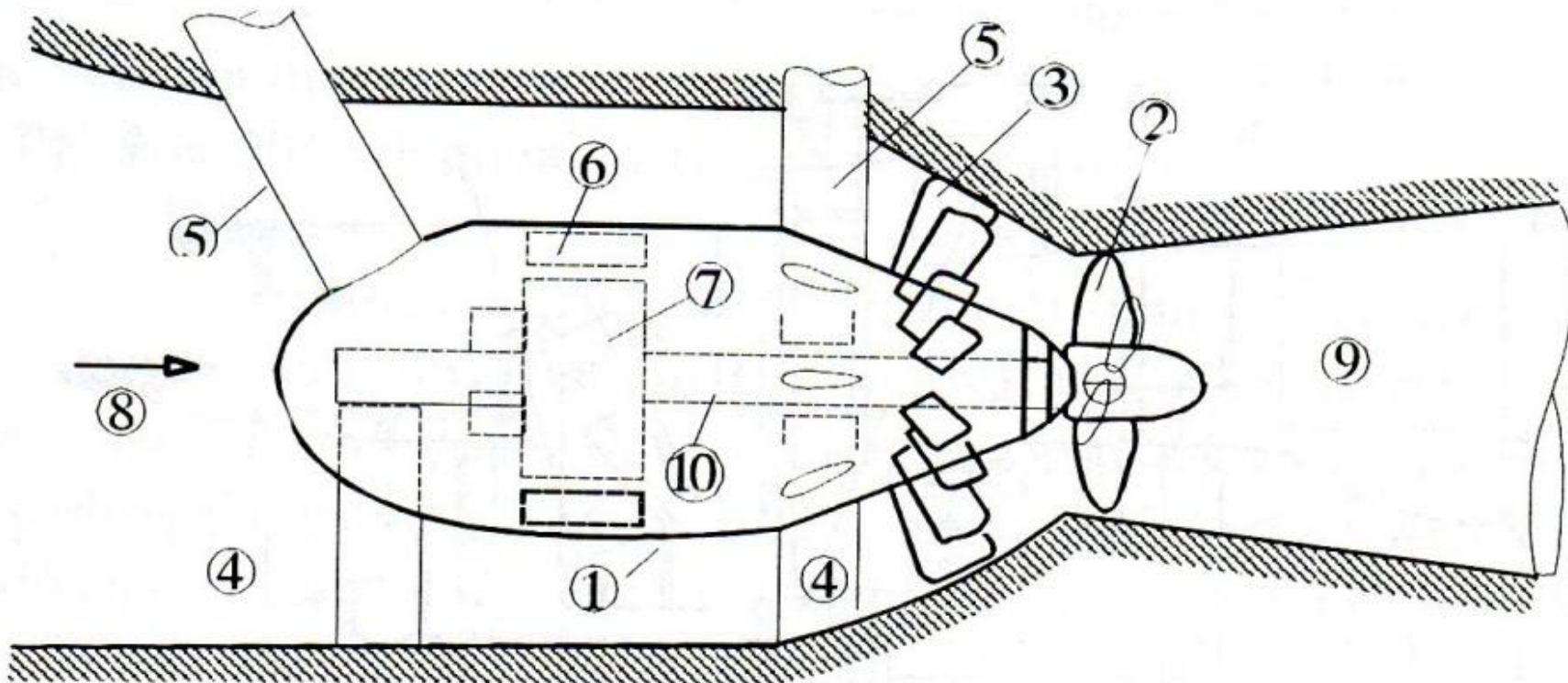
---

- **UZVODNA KOMORA** omogućuje direktan pristup vode do statora i rotora
- **ROTOR** u obliku kapi vode unutar kojeg se nalazi **GENERATOR**
- **USMJERIVAČ**
  - **POKRETNE LOPATICE** rotacijom usmjeravaju ulazak vode u kanale rotora i reguliraju protok vode kroz turbinu
- **NOSAČI** fiksiraju turbinu
- **DIFUZOR** evakuira vodu koja je prošla kroz turbinu.
- **PRISTUPNI ŠAHT** do generatora



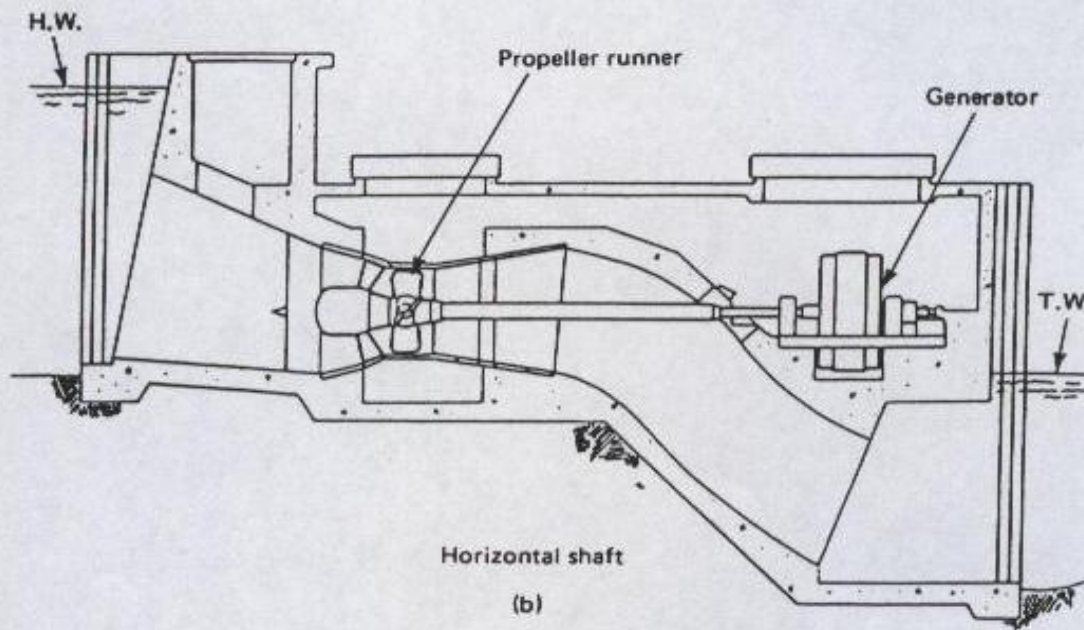
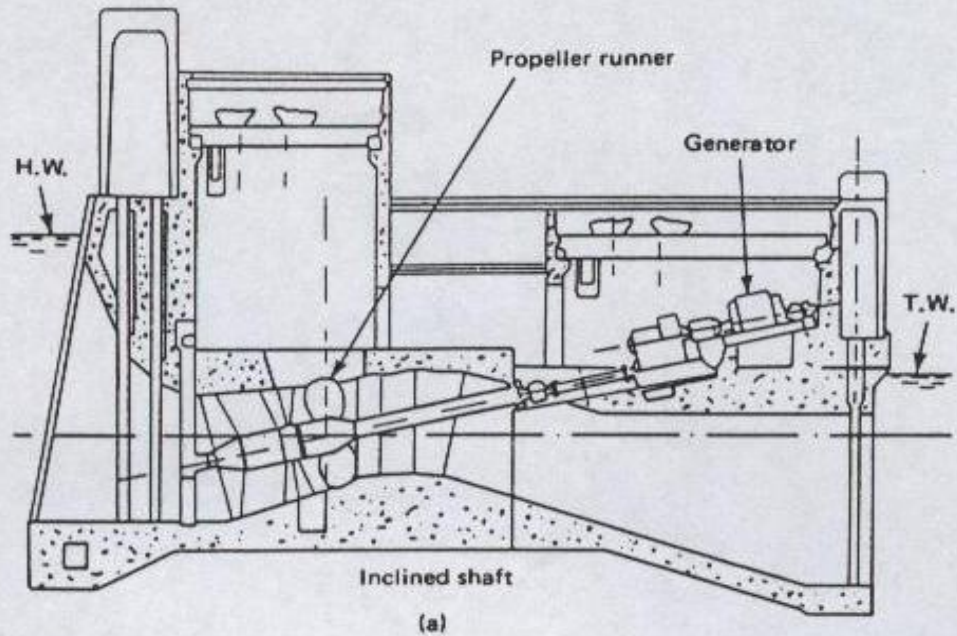




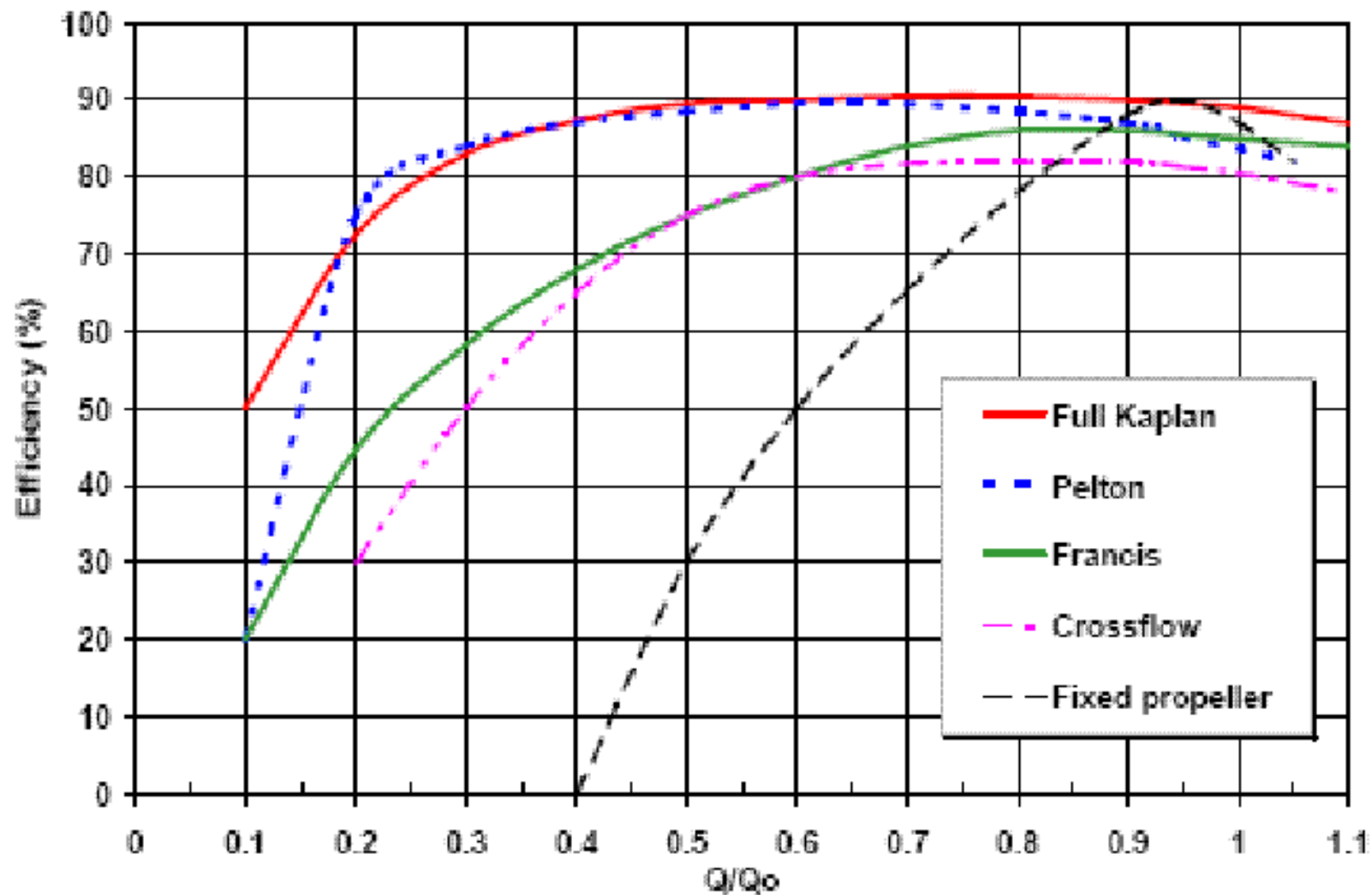


- 1 – KAPSULA
- 2 – TURBINA SA POKRETNIM LOPATICAMA
- 3 – LOPATICE SPROVODNOG KOLA
- 4 – HIDRAULIČKI OBLIKOVANI OSLONCI
- 5 – PRISTUPNI ŠAHT
- 6 – STATOR GENERATORA
- 7 – ROTOR GENERATORA
- 8 – DOVOD
- 9 – DIFUZOR
- 10 – OSOVINA TURBINE









# Osnovne karakteristike vodnih turbina

---

- Snaga koju turbina razvija ovisna je o nekoliko faktora koji zajedno čine implicitnu funkciju:

$$f(P, Q, H, D, n, g, \rho, \mu, \delta) = \emptyset$$

- $P$  [W] – snaga
- $H$  [m] – pad
- $D$  [m] – promjer kola turbine
- $N$  [ $\text{min}^{-1}$ ] – broj okretaja
- $\mu$  [ $\text{Ns/m}^2$ ] – dinamički viskozitet
- $\delta$  [m] – apsolutna hrapavost površina
- $g$  [ $\text{m/s}^2$ ] – gravitacijsko ubrzanje
- $\rho$  [ $\text{kg/m}^3$ ] – gustoća vode

# Osnovne karakteristike vodnih turbina

---

- Funkcija karakteristika:

$$f(K_P, K_Q, K_n, Re, \delta/D) = \emptyset$$

- $K_P$  – karakteristični parametar snage turbine
- $K_Q$  – karakteristični parametar protoka turbine
- $K_n$  – karakteristični parametar brzine vrtnje
- $Re$  – Reynoldsov broj
- $\delta/D$  – relativna hrapavost



# Osnovne karakteristike vodnih turbina

---

☰ JEDINIČNA SNAGA

$$P_{11} = \frac{P}{D^2 H^{3/2}}$$

□ JEDINIČNI PROTOK

$$Q_{11} = \frac{Q}{D^2 H^{1/2}}$$

□ JEDINIČNI BROJ OKRETAJA

$$n_{11} = \frac{nD}{H^{1/2}}$$

snaga

protok

broj okretaja

turbine promjera 1m na padu 1m

# Osnovne karakteristike vodnih turbina

## ▣ SPECIFIČNI BROJ OKRETAJA

### ■ SPECIFIČNA BRZINA ili KOEF. BRZOHODNOSTI TURBINE

Kaplan i Francis

$$n_s = \frac{nP^{1/2}}{H_n^{5/4}}$$

- ▣ P snaga turbine [kW]
- ▣  $H_n$  neto pad turbine [m]
- ▣ N broj okretaja [okr/min]

=broj okretaja turbine da pri padu od 1 m razvije snagu 1kW

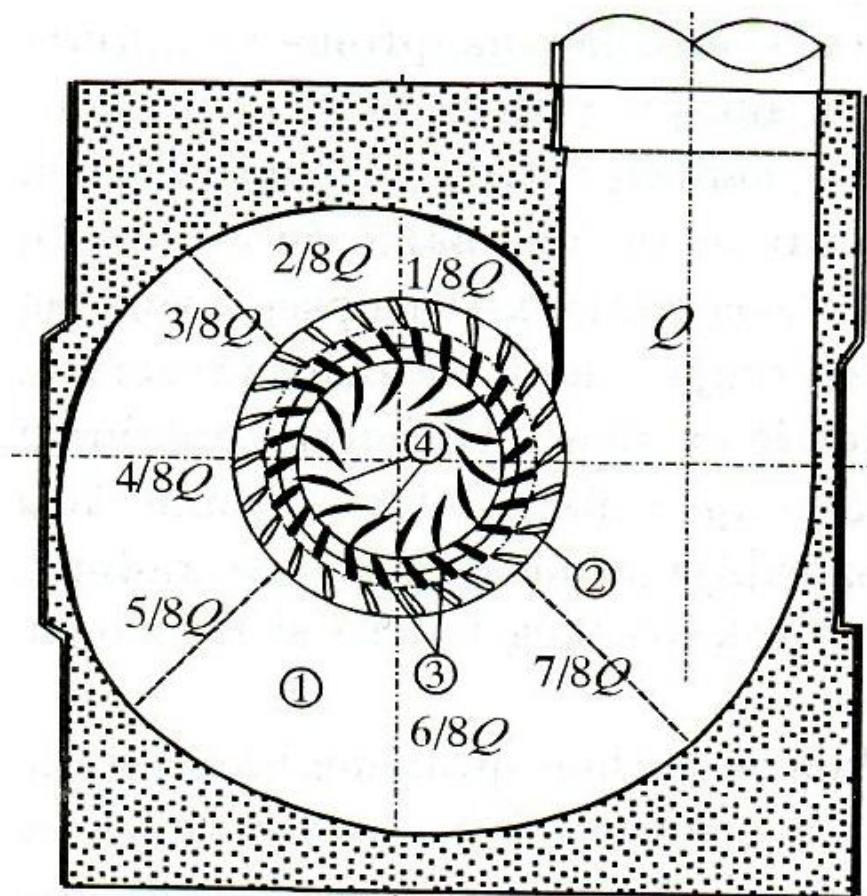
Tip turbine	$n_s$
Pelton	2-70
Francis	60-450
propeler i Kaplan	400-1200
cijevne	400-1200

# Odabir tipa turbine

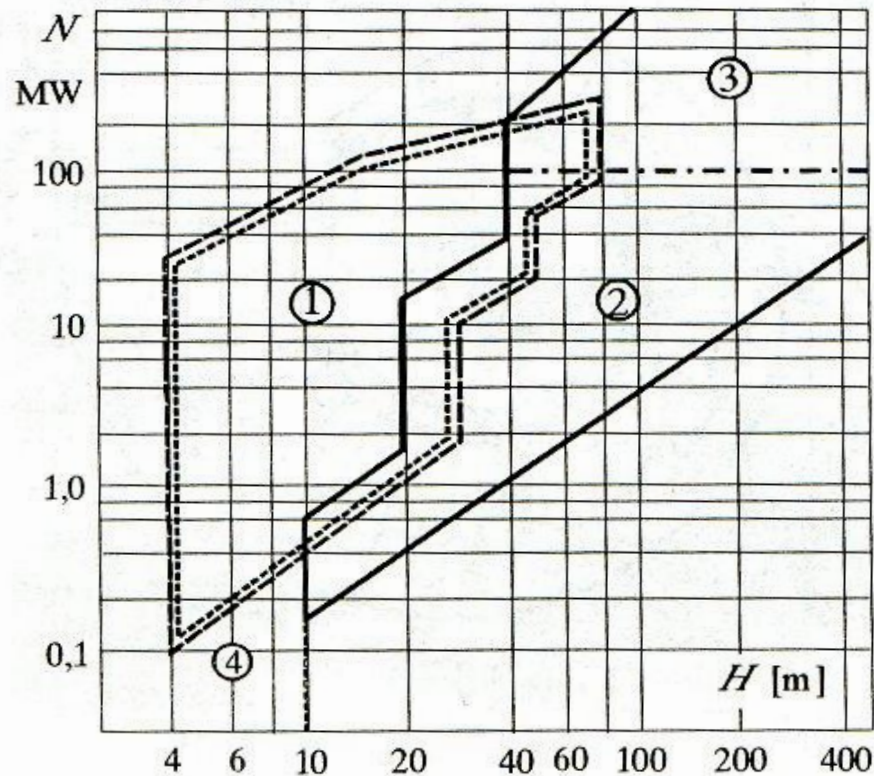
---

- raspoloživi pad  $\longrightarrow$  tip turbine i specifična brzina
- raspoloživa količina vode ( $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ])  
granična snaga pojedinih turbina  $\longrightarrow$  broj jedinica
  - raspodjela vode (trajanje)
    - kod jedinica većeg nazivnog protoka (veći  $\eta$  i veća proizvodnja energije) ne koristi se dio malih voda.
    - rješenje se traži izborom većeg broja manjih jedinica ili kombinacijom većih i manjih jedinica.
    - veći broj jedinica povećava ulaganja, te se konačno rješenje donosi na osnovi gospodarske odluke.
- uloga HE u mreži kao i potrebe EES mogu utjecati na izbor nazivne snage i nazivnog protoka i broj jedinica.
- rezervna snaga i uloga HE utječu na izbor veličine izgradnje i broj jedinica.
- unifikacija proizvodnih grupa može dijelom utjecati na izbor rješenja.
- uvjeti transporta – dopreme opreme do strojarnice

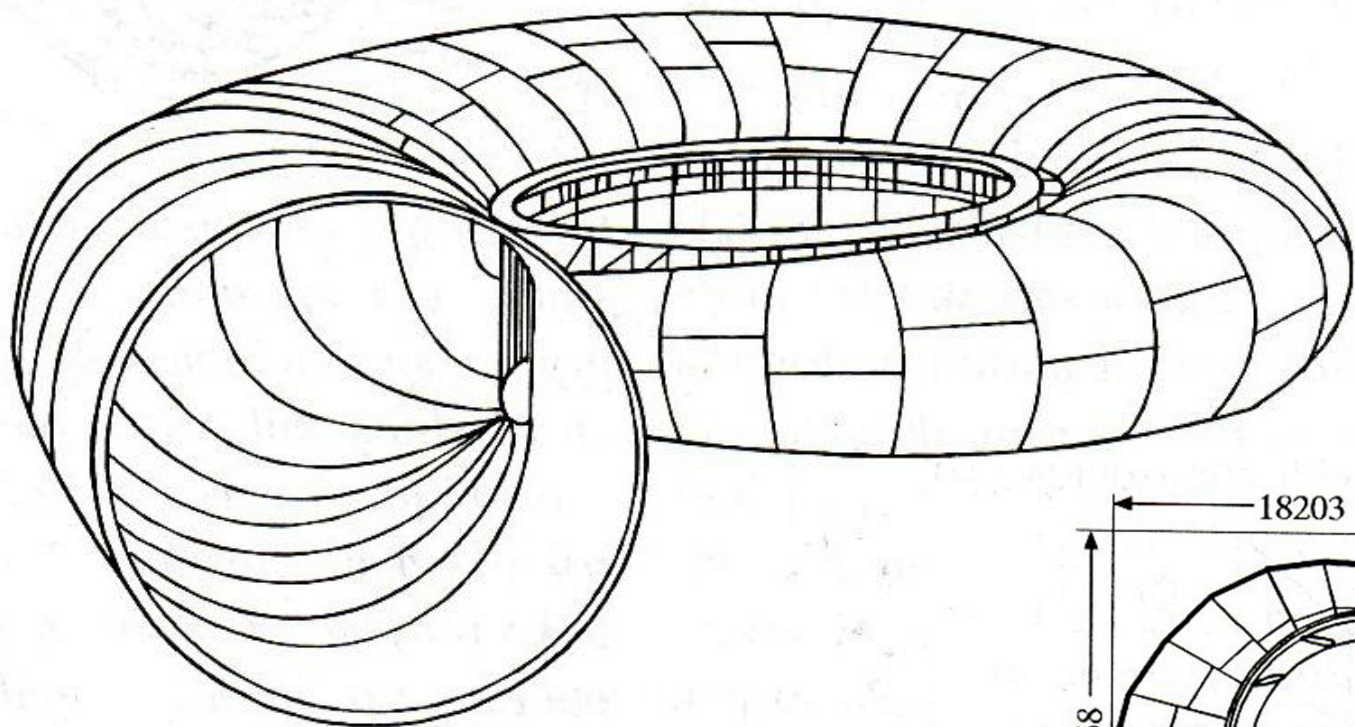




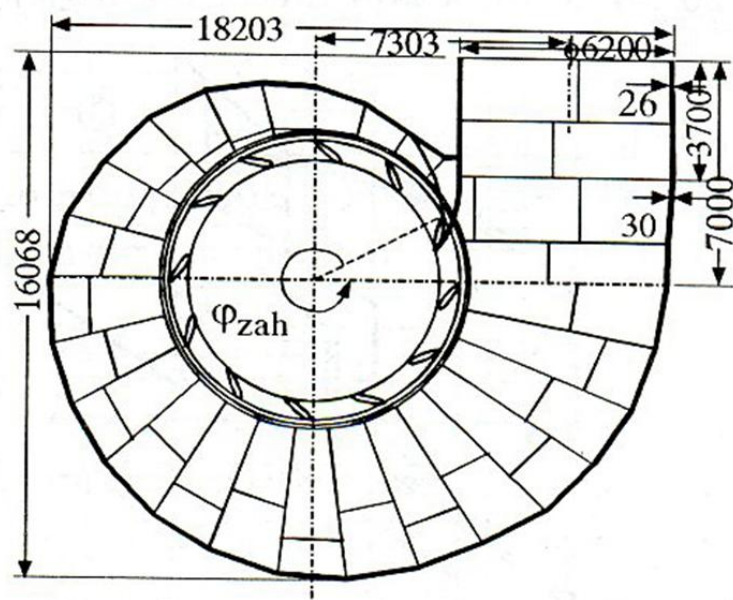
Sl. 10-61. Dovodni trakt Fransisove turbine: spirala (1), stator (2), sprovodno kolo (3), turbina (4). Shema raspodele proticaja po obodu statora



Sl. 10-62. Orijentacione oblasti primene raznih tipova spirala. 1 - betonske, 2 - čelične, 3 - čelične sa betonskim ukrućenjem, 4 - bez spirale (otvorena komora)

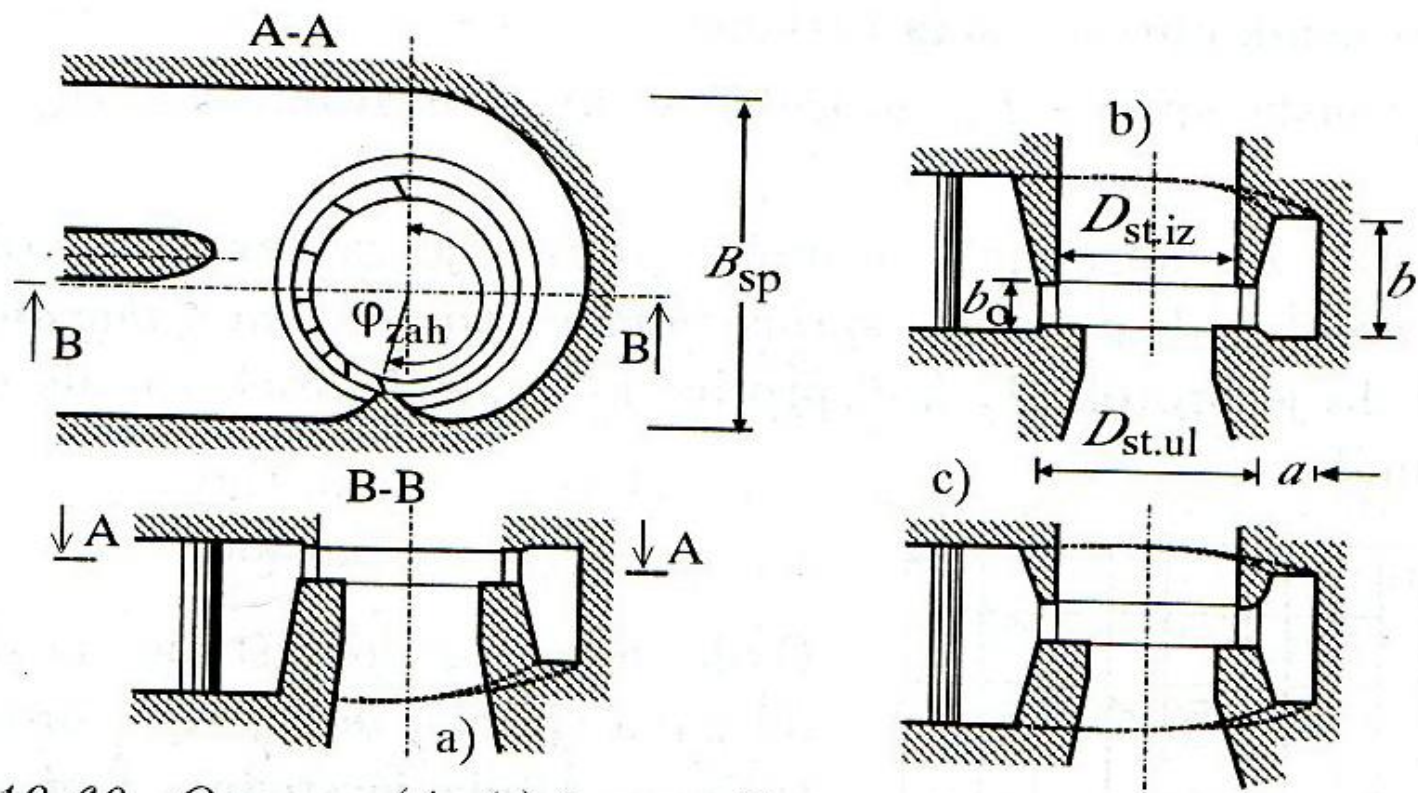


Sl. 10-66. Shema zavarene spirale

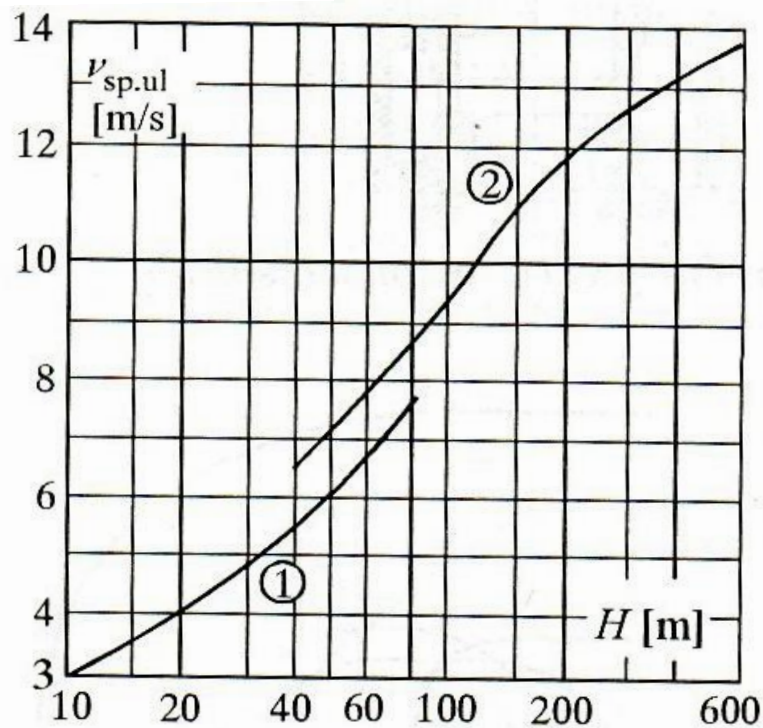


Sl. 10-65. Čelična spirala sa statorskim lopaticama. Ugao zahvatanja  $\varphi_{zah}$ .

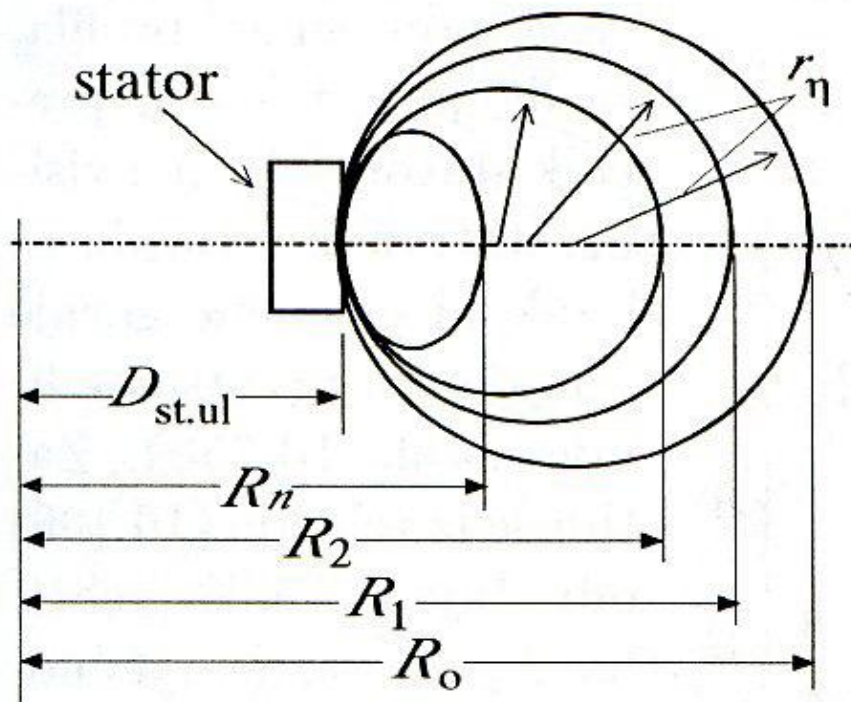




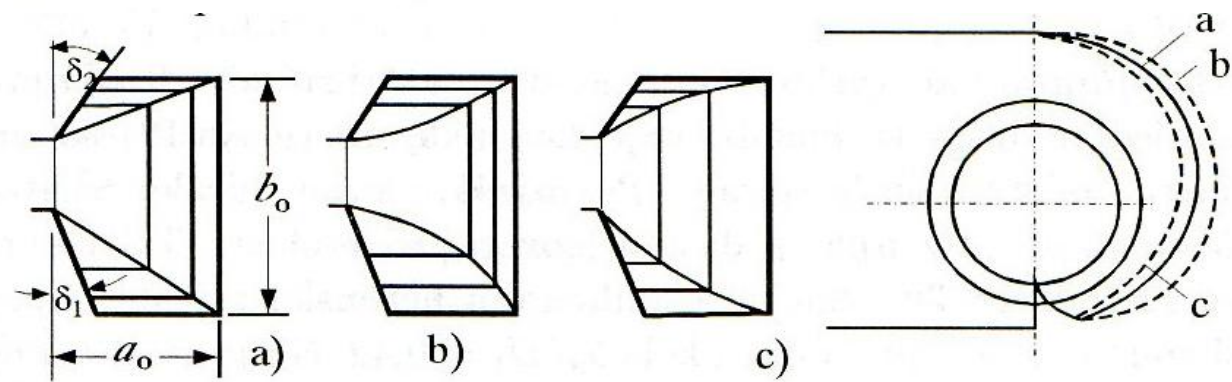
Sl. 10-69. Osnova (A-A) i mogući poprečni preseći betonske spirale



Sl. 10-72. Zavisnost srednje brzine na ulaznom preseku spirale od pada 1) betonske, 2) čelične spirale



Sl. 10-73. Način konstruisanja metalne spirale



Sl. 10-74. Betonska spirala: a) linearno smanjivanje visine i širine, b) brže smanjenje visine, c) brže smanjenje širine



# Kavitacija

---

