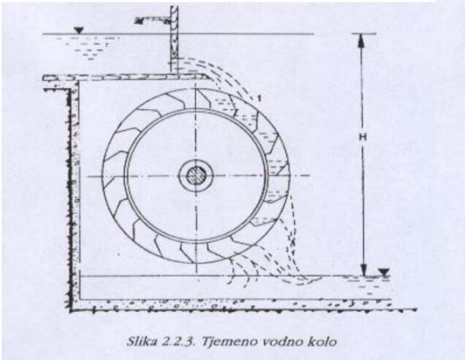
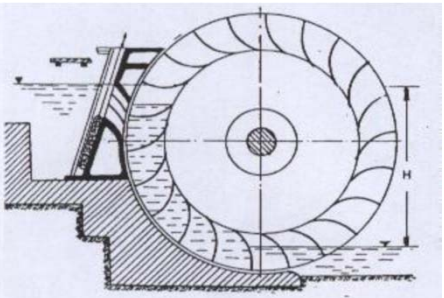
KORIŠTENJE VODNIH SNAGA

TURBINE

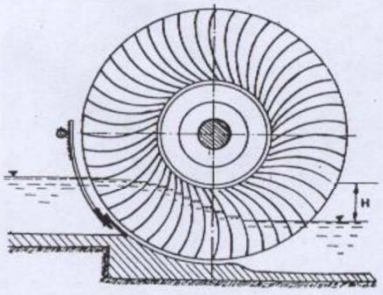
Povijesni razvoj



Slika 2.2.3. Tjemeno vodno kolo



Slika 2.2.4. Bočno vodno kolo



Slika 2.2.5. Podnožno vodno kolo

Osnovni pojmovi

- hidraulički strojevi u kojima se mehanička 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
  - prilagodiva promjenjivom radu
    regulacija

Osnovni tipovi

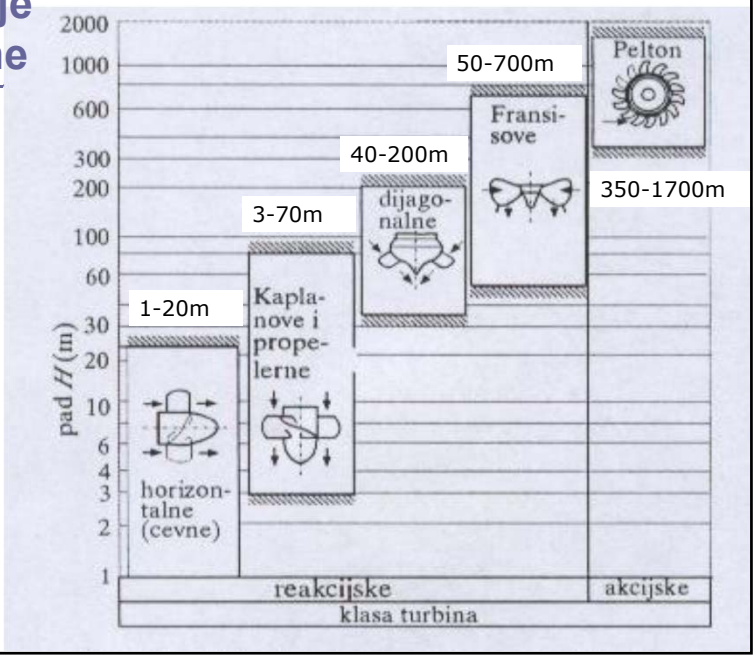
Osnovna podjela turbina obzirom na način djelovanja, odnosno način transformacije energije u okretnom kolu je podjela na

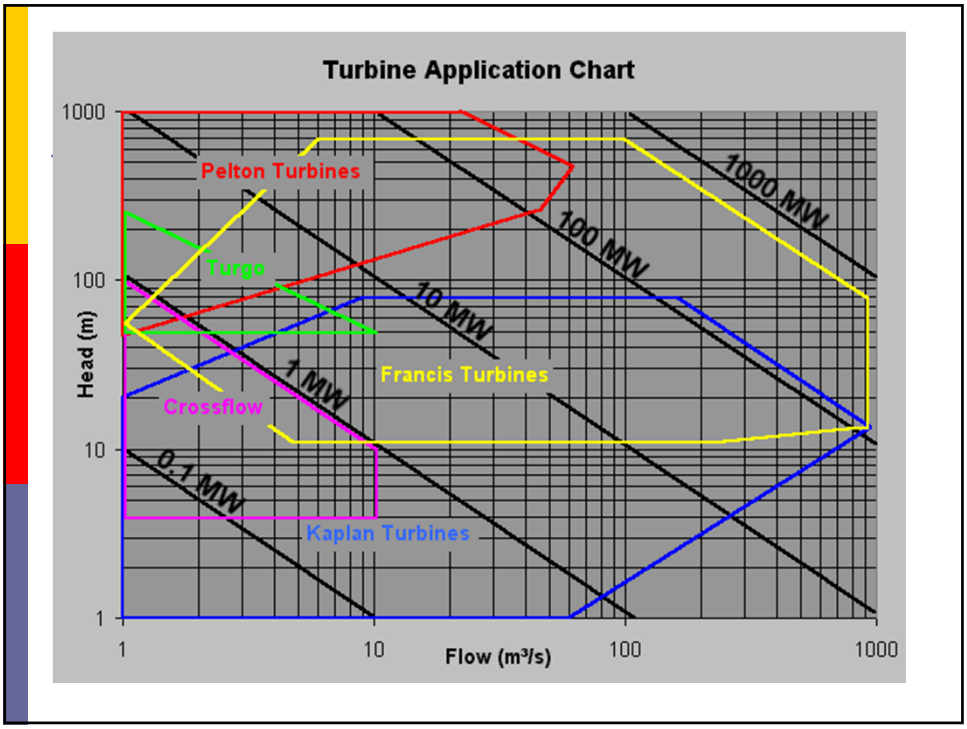
- **Reakcijske turbine**
  - Voda potpuno obuhvaća rotor
  - Predtlačne turbine
    – t. s viškom tlaka
  - Koristi se kinetička, potencijalna, tlačna energija
  - Imaju izlazni difuzor – aspirator
    - Francis
    - Kaplan
    - cijevne
- **Akcijske turbine**
  - Djelomično pod vodom
  - Turbine slobodnog mlaza
  - Koristi se kinetička energija
    - PELTON

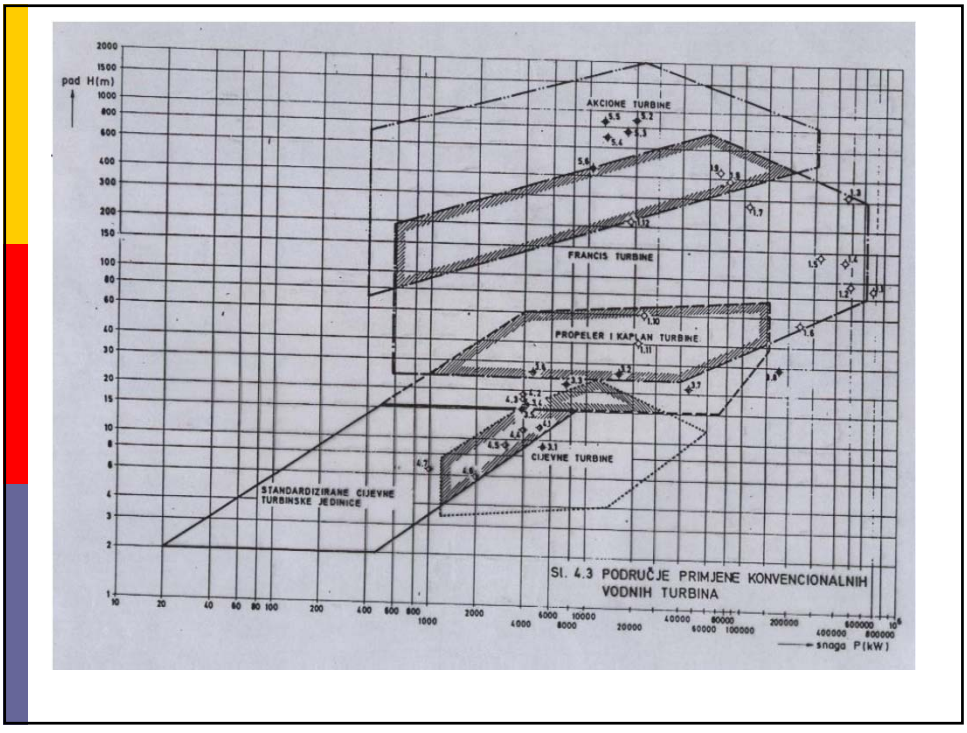
Osnovni tipovi

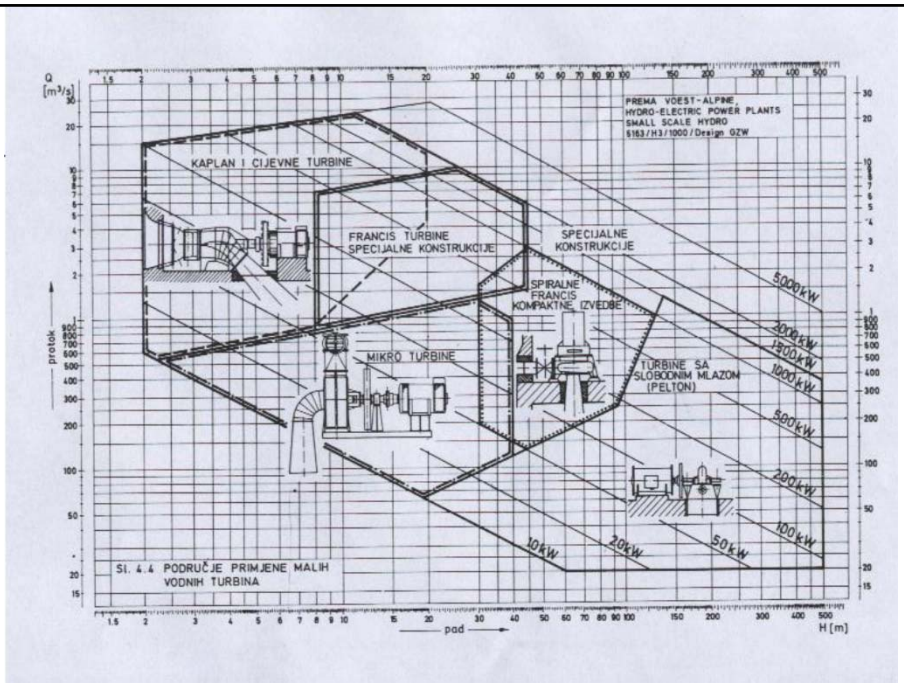
- Obzirom na opći tok strujanja vode kroz rotor turbine razlikuju se:
  - Radijalne: **Francis**
    - voda se kreće okomito na os
  - Aksijalne: **Propeler i Kaplan**
    - voda se privodi u smjeru osovine
  - Tangencijalne: **Pelton**
    - mlaz vode udara tangencijalno na lopatice
  - Radijalno-aksijalne: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

Područje primjene




Turbine Application Chart
Head (m)
Flow (m³/s)
1000
100
10
1
1
10
100
1000
Pelton Turbines
Turgo
Crossflow
Francis Turbines
Kaplan Turbines
1000 MW
100 MW
10 MW
1 MW
0.1 MW


pad H(m)
AKCIONE TURBINE
FRANCIS TURBINE
PROPELER I KAPLAN TURBINE
CIJEVNE TURBINE
STANDARDIZIRANE CIJEVNE TURBINSKE JEDINICE
snaga P(kW)
SI. 4.3 PODRUČJE PRIMJENE KONVENCIONALNIH VODNIH TURBINA



VLH Turbines: General data

Turbines VLH: Données générales

Maximum discharge per unit in m3/s
Débit maximum par groupe en m3/s

Net Head in meter / Hauteur de chute nette en m	Runner diameters in mm / Diamètres de roue en mm				
	3150	3550	4000	4500	5000
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		

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

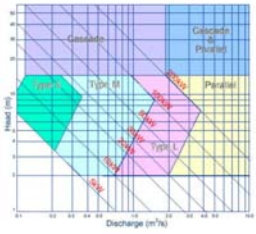
Net Head in meter / Hauteur de chute nette en m	Runner diameters in mm / Diamètres de roue en mm				
	3150	3550	4000	4500	5000
1,4	88	112	143	182	225
1,5	98	124	159	201	249
1,6	107	137	175	222	275
1,7	118	150	191	243	301
1,8	128	163	208	265	328
1,9	139	177	226	287	356
2,0	150	191	244	310	384
2,1	162	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				
2,9	262				
3,0	276				
3,1	290				
3,2	304				

Not available
Non disponible

* Output delivered at terminal
** Puissance électrique à la so

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-eKDIS™ 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.

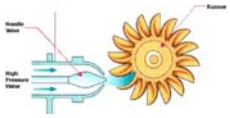
Hydro-eKIDS Type S
Discharge 0.1 ~ 0.3 m³/s
Head 2 ~ 15 m
Power 5 ~ 25 kW
Dimension 1260L x 600D x 1000H

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

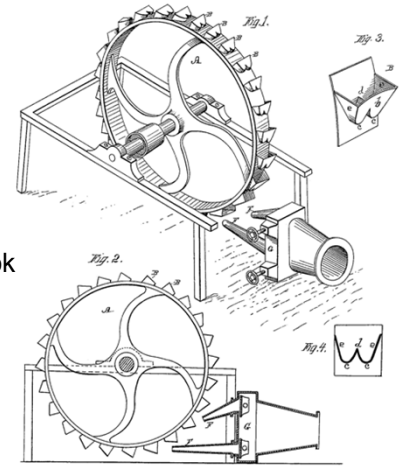
Hydro-eKIDS Type L
Discharge 1.0 ~ 3.5 m³/s
Head 2 ~ 15 m
Power 10 ~ 200 kW
Dimension 4600L x 1600D x 2500H

2

Pelton turbine - GLAVNI KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

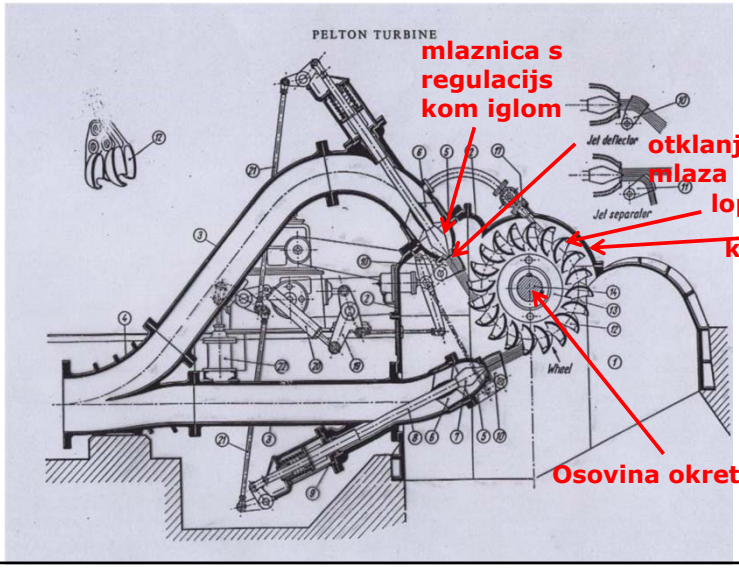


- ROTOR
  - METALNI DISK
    - LOPATICE
  - OSOVINA spaja disk s generatorom
    - HORIZONTALNA
    - VERTIKALNA
  - KUČIŠTE
- MLAZNICA s iglom koja regulira protok
- DOVOD
  - Usmjerava vodu prema mlaznicama
- ODVOD
  - Odvodi vodu iz turbine

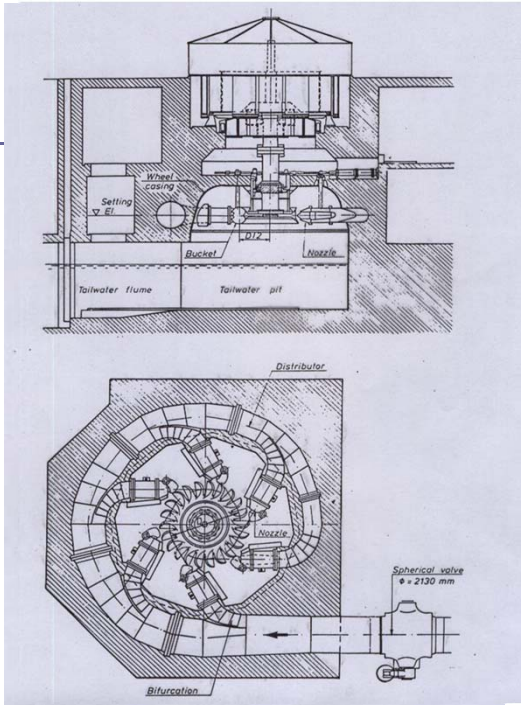


Vertikalna ili horizontalna os

Pelton turbine

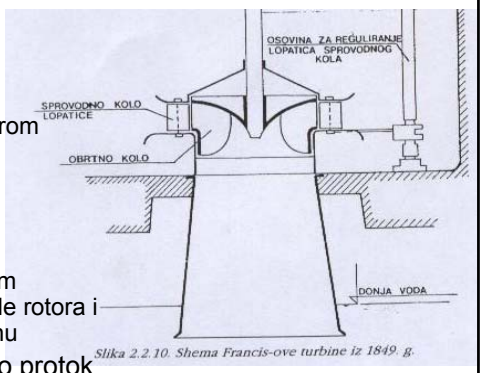


Pelton turbine

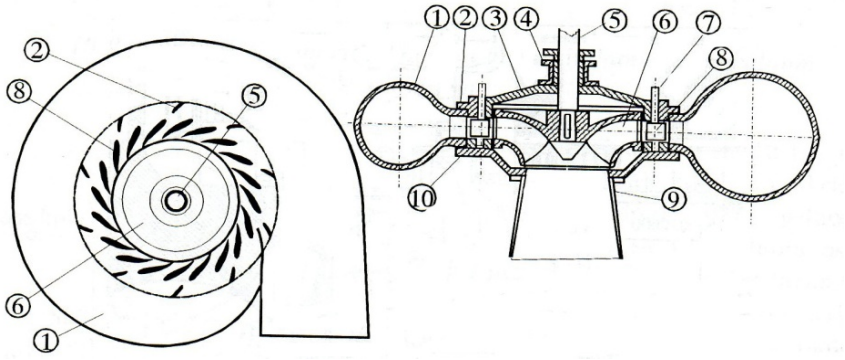


Francis turbine - GLAVNI KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

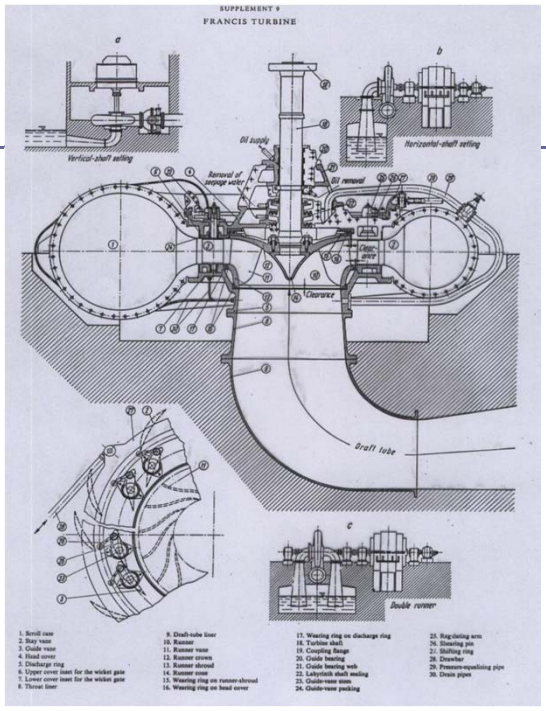
- ROTOR
  - OKRETNO KOLO s 2 prstena
    - između prstena LOPATICE
  - OSOVINA spaja disk s generatorom
    - HORIZONTALNA
    - VERTIKALNA
  - KUČIŠTE – poklopac turbine
- SPROVODNO KOLO
  - POKRETNE LOPATICE rotacijom usmjeravaju ulazak vode u kanale rotora i reguliraju protok vode kroz turbinu
- SPIRALA usmjerava ravnomjerno protok po obodu sprovodnog kola
- DIFUZOR prihvaća vodu koja napušta rotor i odvodi ju u nizvodni bazen



Slika 2.2.10. Shema Francis-ove turbine iz 1849. g.

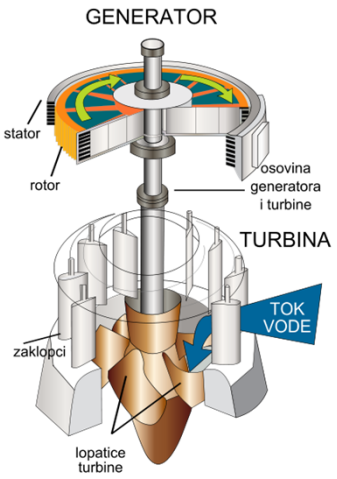


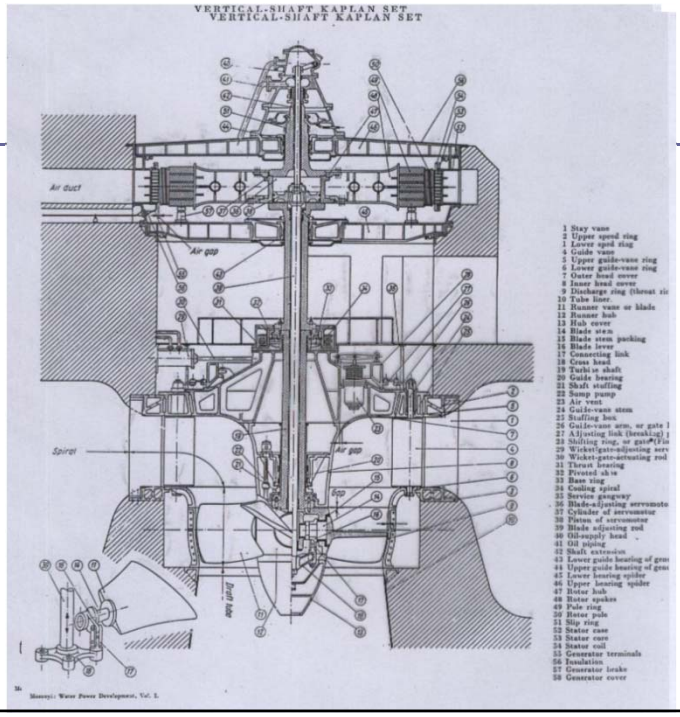
- 1 – SPIRALA
- 2 – STATORSKE LOPATICE
- 3 – POKLOPAC TURBINE
- 4 - VODEĆI LEŽAJ
- 5 – OSOVINA
- 6 – FRANCIS TURBINA
- 7 – OSOVINA ZA OKRETANJE LOPATICA SPROVODNOG KOLA
- 8 – LOPATICE SPROVODNOG KOLA
- 9 – DIFUZOR
- 10 – DONJI POKLOPAC



Kaplan turbine - GLAVNI KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

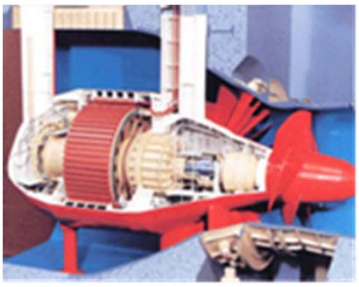
- ROTOR
  - OKRETNO KOLO
    - S 4-8 LOPATICA kojima se preko osovine može regulirati položaj
  - VERTIKALN OSOVINA spaja disk s generatorom
- SPROVODNO KOLO
  - POKRETNE LOPATICE rotacijom usmjeravaju ulazak vode u kanale rotora i reguliraju protok vode kroz turbinu
- KOMORA usmjerava ravnomjerno protok po obodu sprovodnog 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

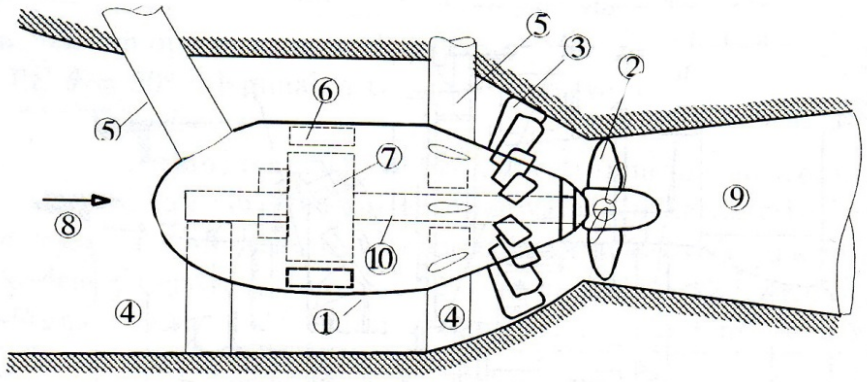




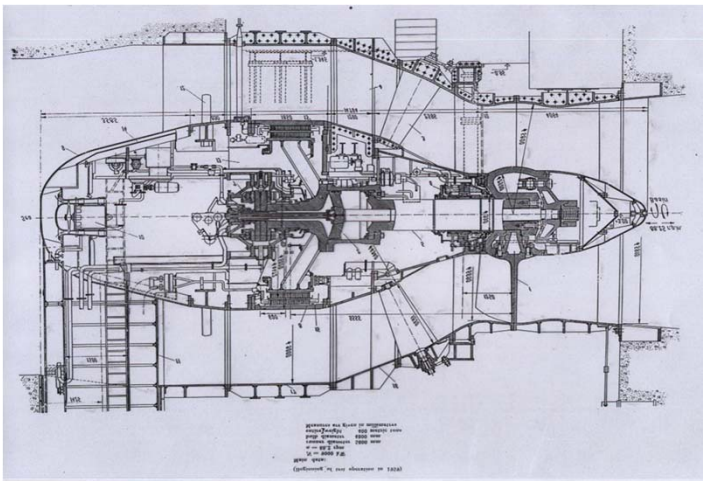
Cijevne ("Bulb") turbine - GLAVNI KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

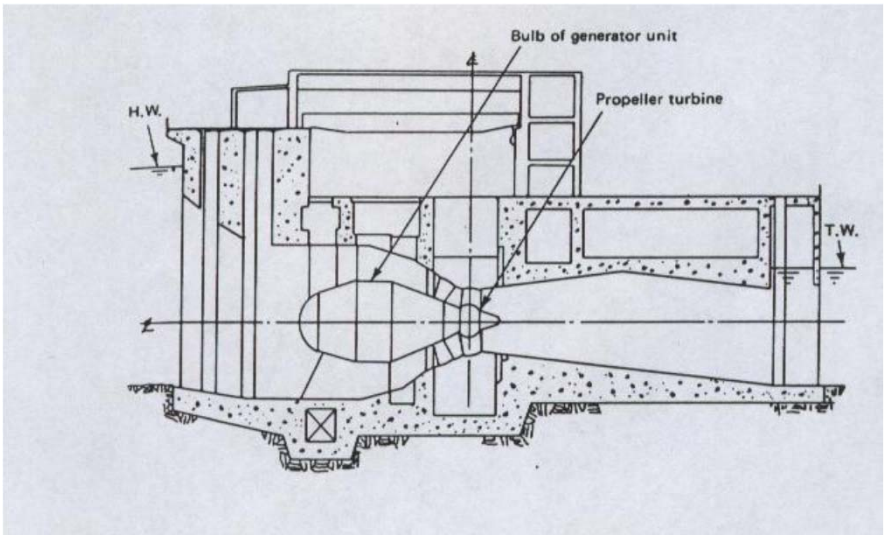
- UZVODNA KOMORA omogućuje direktan pristup vode do statora i rotora
- ROTOR u obliku kapi vode unutar kojeg se nalazi GENERATOR
- USMJERIVAČ
  - POKRETNE LOPATICE rotacijom usmjeravaju ulazak vode u kanale rotora i reguliraju protok vode kroz turbinu
- NOSAČI fiksiraju turbinu
- DIFUZOR evakuira vodu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

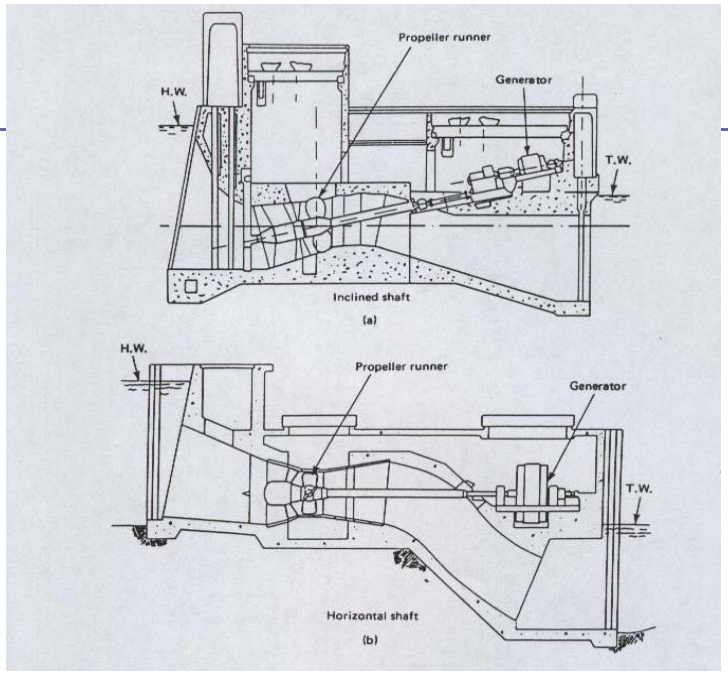




- 1 – KAPSULA
- 2 – TURBINA SA POKRETNIM LOPATICAMA
- 3 – LOPATICE SPROVODNOG KOLA
- 4 – HIDRAULIČKI OBLIKOVANI OSLONCI
- 5 – PRISTUPNI ŠAHT
- 6 – STATOR GENERATORA
- 7 – ROTOR GENERATORA
- 8 – DOVOD
- 9 – DIFUZOR
- 10 – OSOVINA TURBINE




Bulb of generator unit
Propeller turbine
H.W.
T.W.


Propeller runner
Generator
H.W.
T.W.
Inclined shaft
(a)
H.W.
Propeller runner
Generator
T.W.
Horizontal shaft
(b)

Osnovne karakteristike vodnih turbina

- SPECIFIČNI BROJ OKRETAJA
  - SPECIFIČNA BRZINA ili KOEF. BRZOHODNOSTI TURBINE

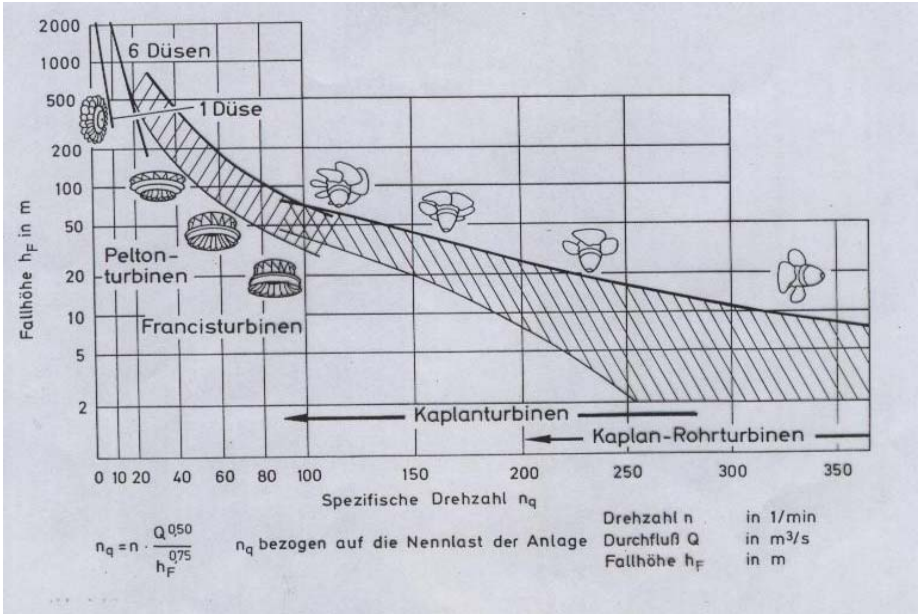
Kaplan i Francis $$n_s = \frac{nP^{1/2}}{H_n{}^{5/4}}$$

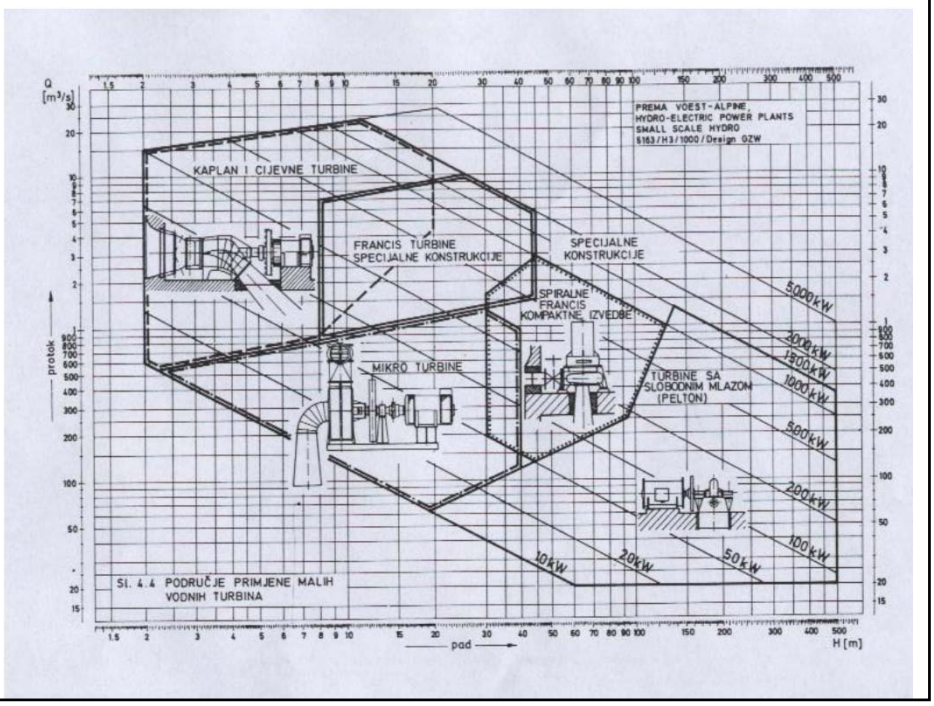
- P snaga turbine [KS]
- Hn neto pad turbine [m]
- N broj okretaja [okr/min]

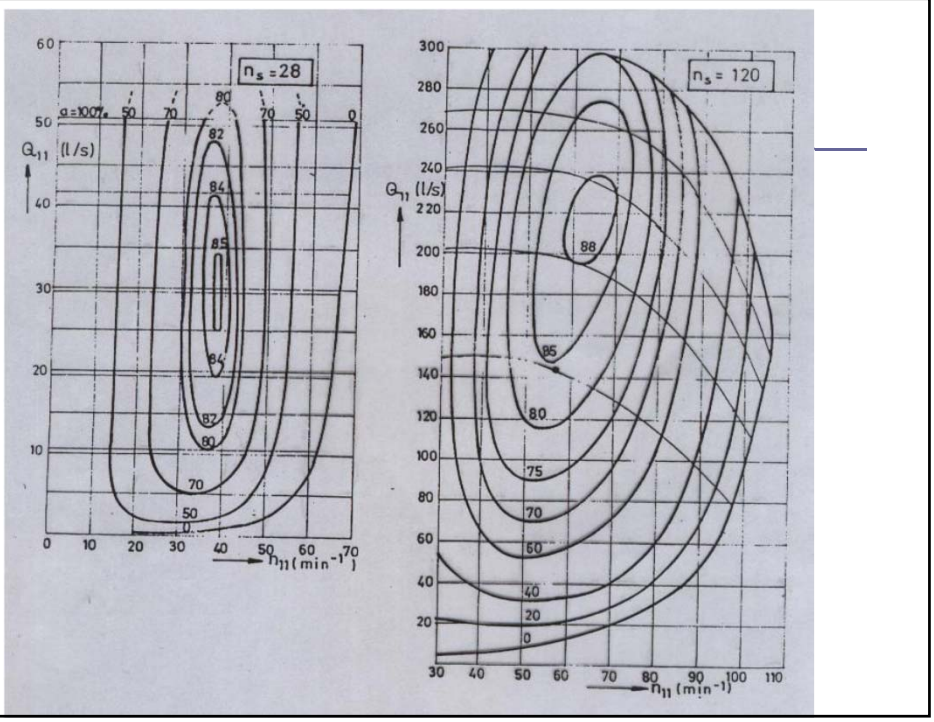
=broj okretaja turbine da pri padu od 1 m razvije snagu 1KS

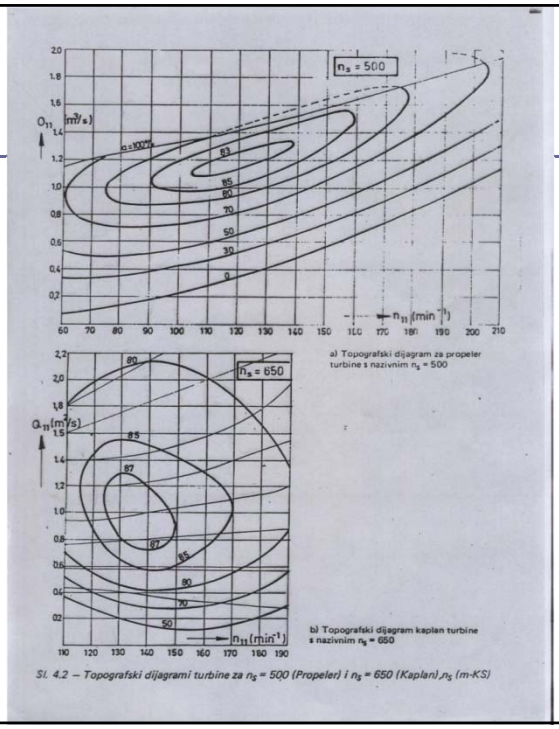
1KS = 0,736kW
P[KS]=1,36P[kW]

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

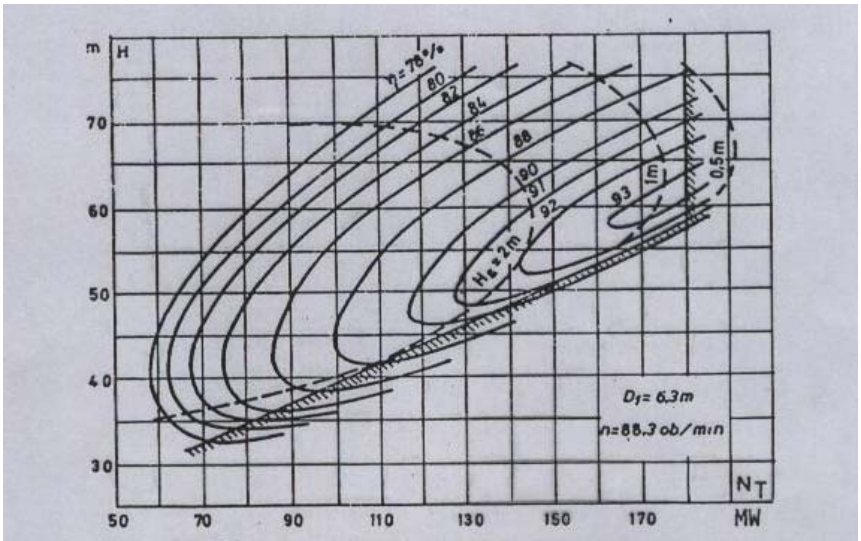



PREMA VOEST-ALPINE
HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS
SMALL SCALE HYDRO
5163/H3/1000/Design GZW
KAPLAN I CIJEVNE TURBINE
FRANCIS TURBINE SPECIJALNE KONSTRUKCIJE
SPECIJALNE KONSTRUKCIJE
SPIRALNE FRANCIS KOMPAKTNE IZVEDBE
MIKRO TURBINE
TURBINE SA SLOBODNIM MLAZOM (PELTON)
5000kW
3000kW
1500kW
1000kW
500kW
200kW
100kW
50kW
20kW
10kW
protok
pad
H [m]
Sl. 4.4 PODRUČJE PRIMJENE MALIH VODNIH TURBINA

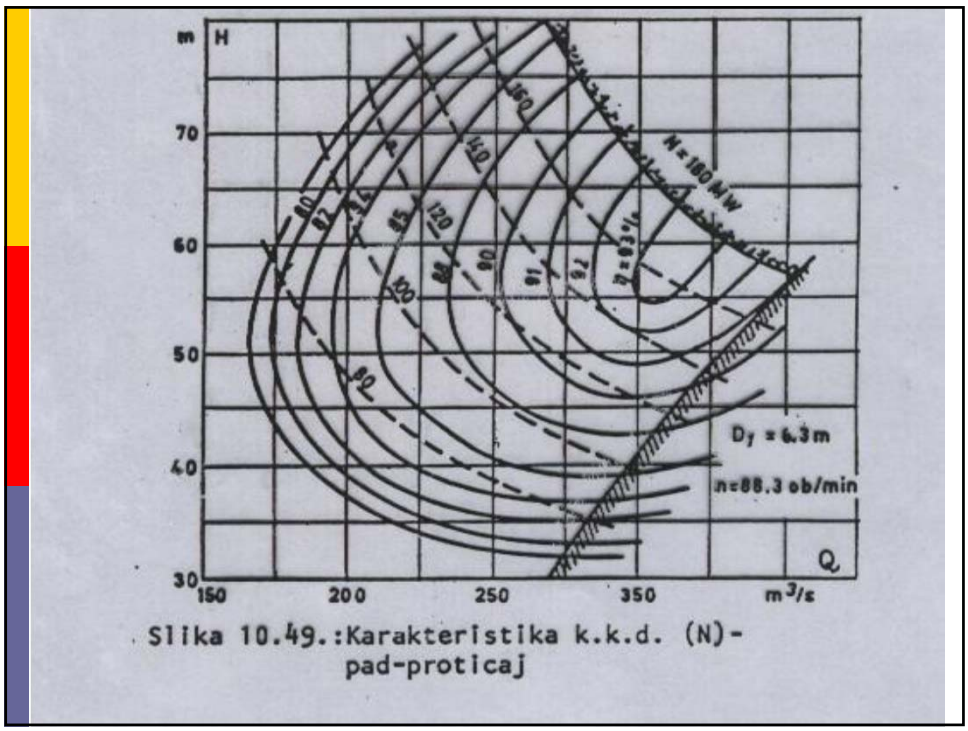

n_s = 28
Q_{11} (l/s)
n_{11} (min^{-1})
n_s = 120
Q_{11} (l/s)
n_{11} (min^{-1})



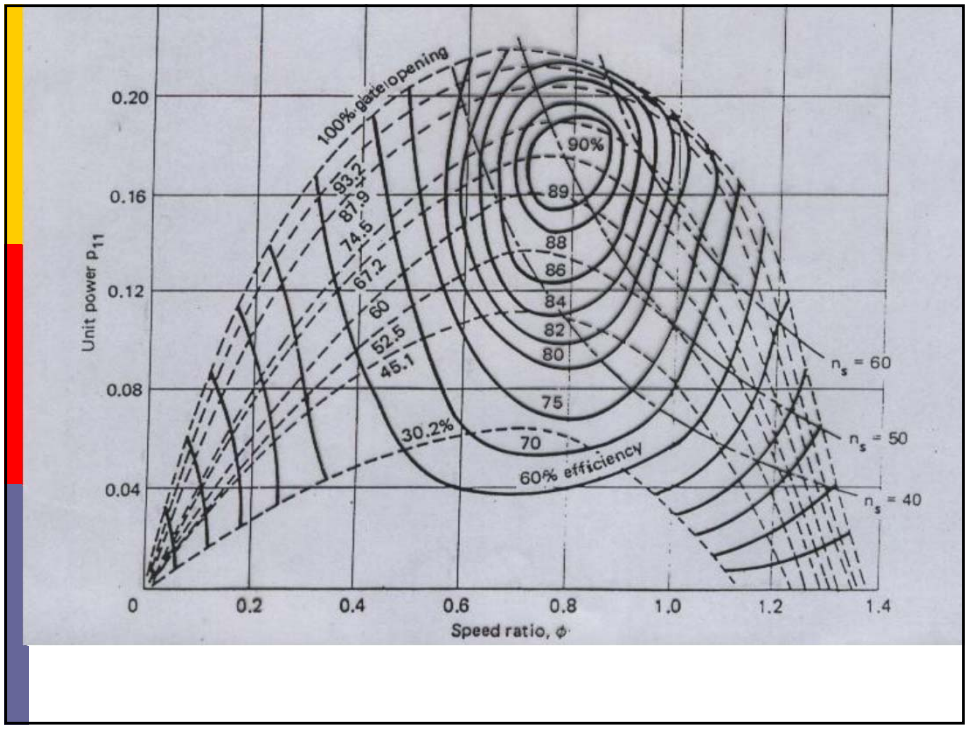
Sl. 4.2 – Topografski dijagrami turbine za n_s = 500 (Propeler) i n_s = 650 (Kaplan), n_s (m-KS)

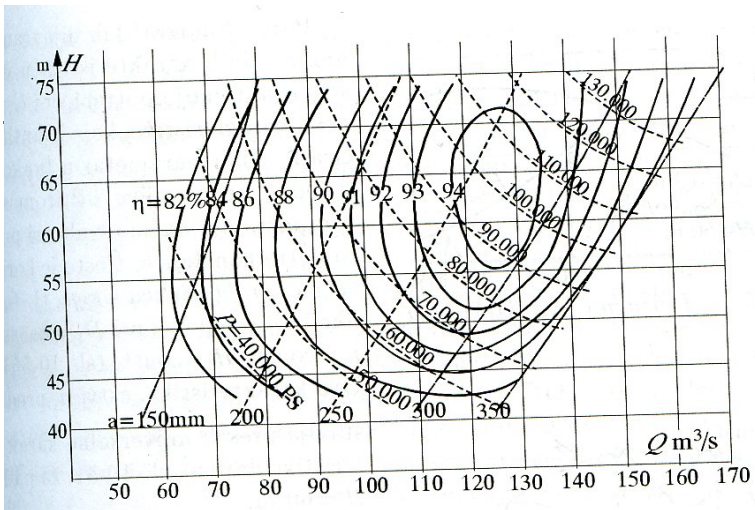


Slika 10.48.: Karakteristika k.k.d.- snaga-pad
na je ta karakteristika za jednu Francis-ovu turbinu (D
Pored k.k.d. pomoćnim linijama je prikazana i neophodna
hodna za zaštitu od kavitacije.

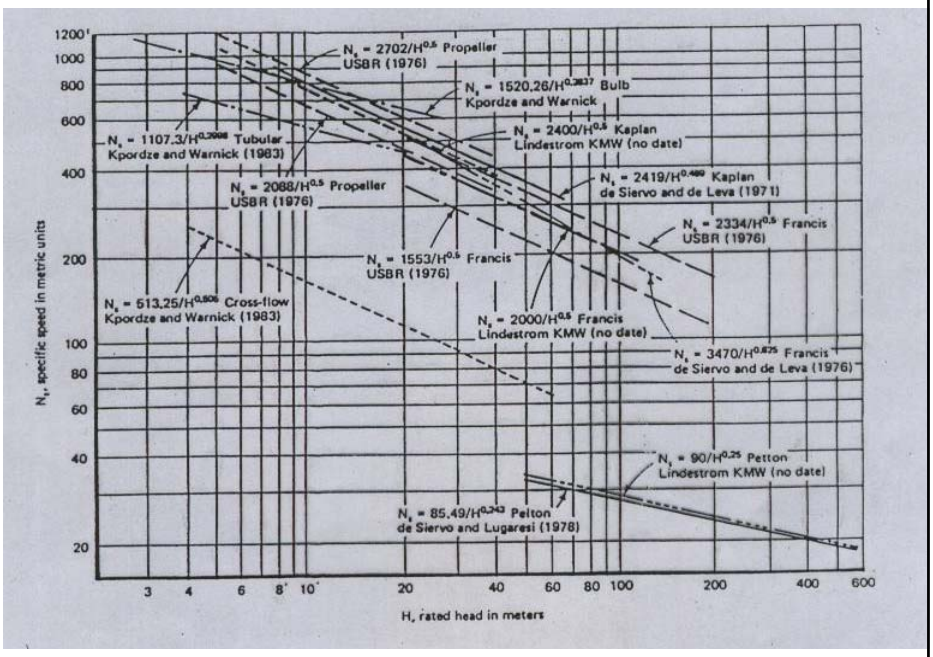


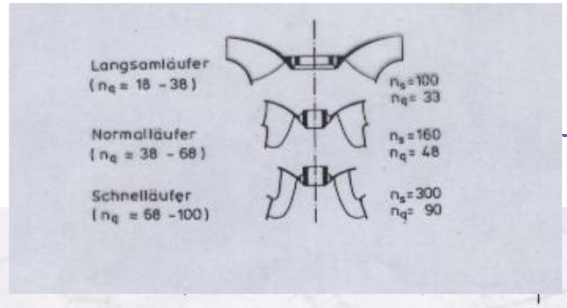
Slika 10.49.:Karakteristika k.k.d. (N)-pad-proticaj

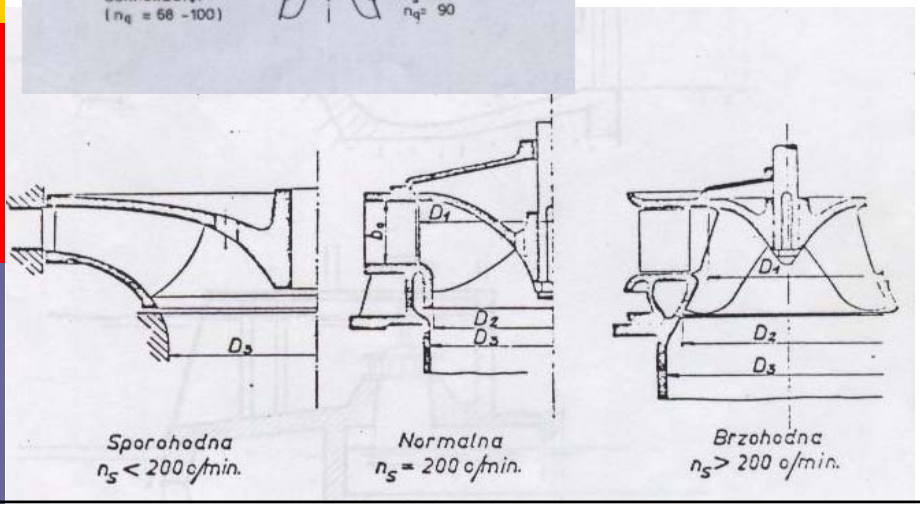


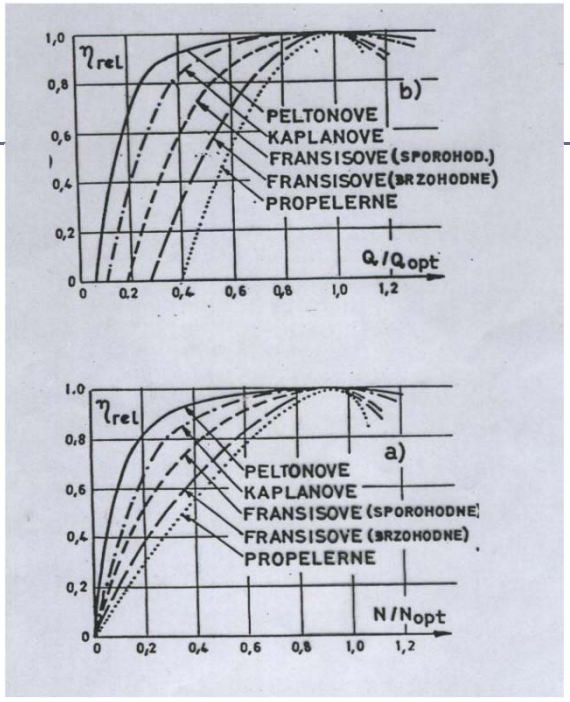


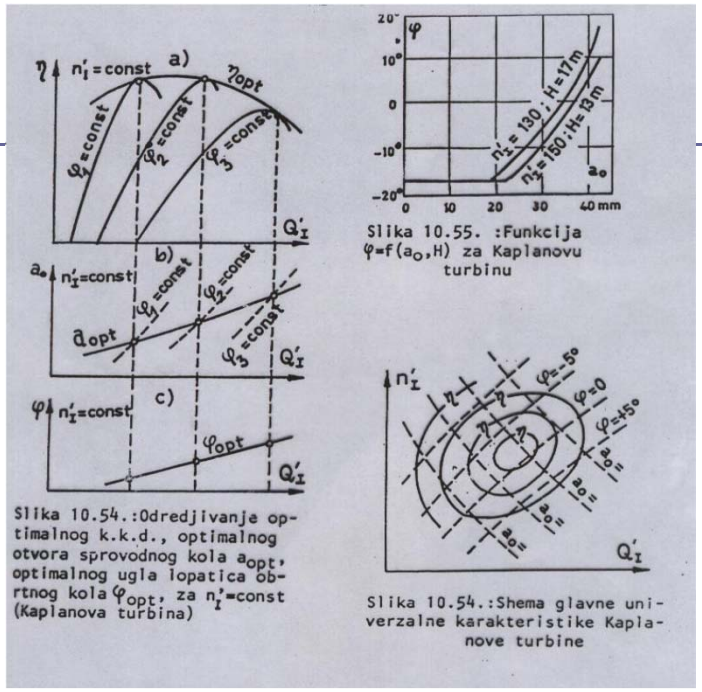
Sl. 10-53. Karakteristika proticaj-pad za turbinu HE Bajina Bašta. D =410 mm, n =136,36 o/min

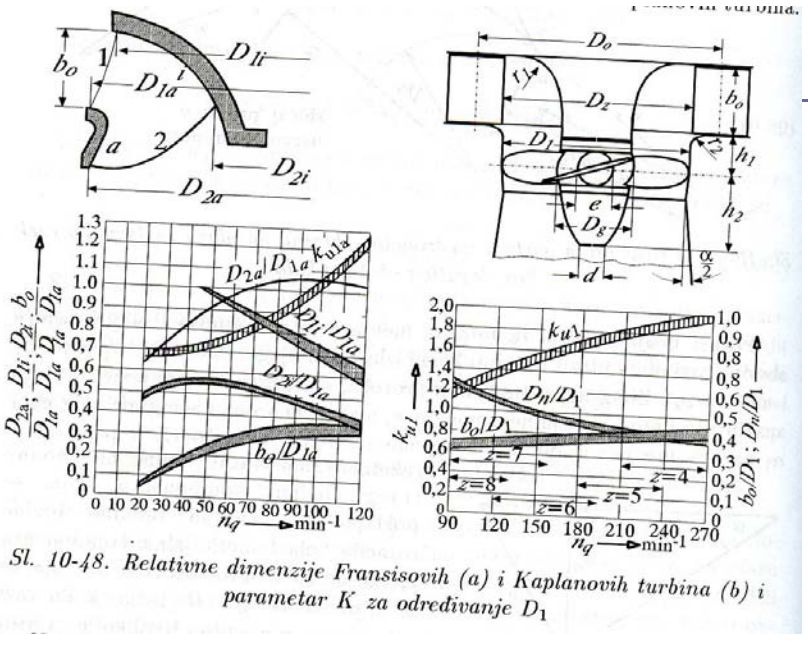


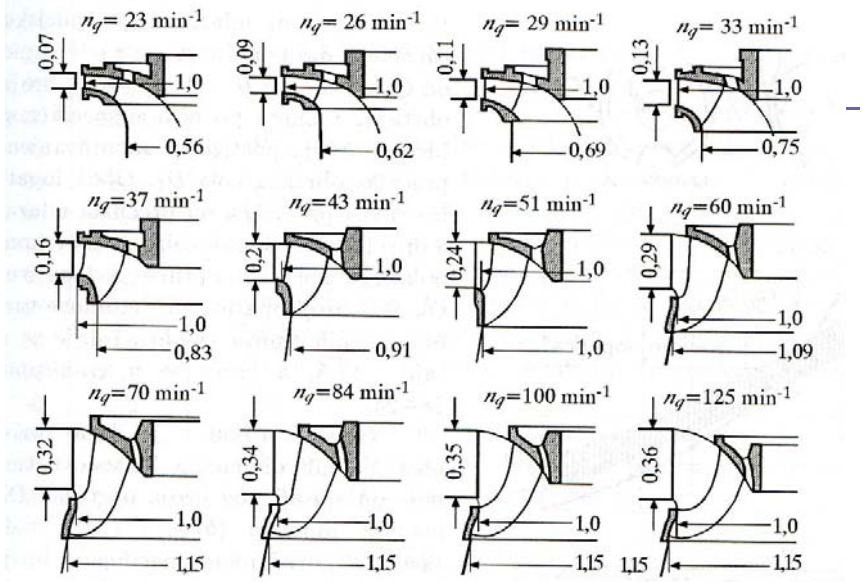

Langsamläufer
(n_q = 18 - 38)
n_s = 100
n_q = 33
Normalläufer
(n_q = 38 - 68)
n_s = 160
n_q = 48
Schnelläufer
(n_q = 68 - 100)
n_s = 300
n_q = 90


D_3
b_0
D_1
D_2
D_3
D_1
D_2
D_3
Sporohodna
n_s < 200 o/min.
Normalna
n_s = 200 o/min.
Brzohodna
n_s > 200 o/min.

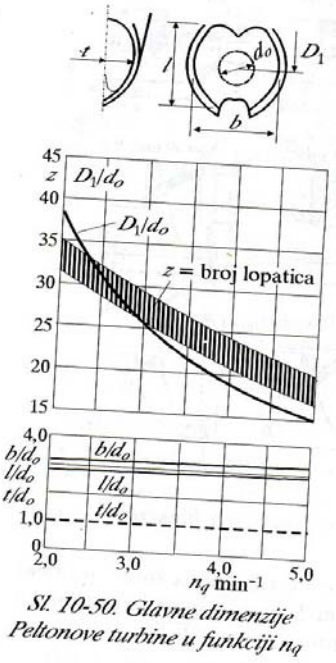

η_{rel}
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
b)
PELTONOVE
KAPLANOVE
FRANSISOVE (SPOROHOD.)
FRANSISOVE (BRZOHODNE)
PROPELERNE
Q/Q_{opt}
η_{rel}
1.0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
a)
PELTONOVE
KAPLANOVE
FRANSISOVE (SPOROHODNE)
FRANSISOVE (BRZOHODNE)
PROPELERNE
N/N_{opt}


a)
b)
c)
Slika 10.54.:Odredjivanje optimalnog k.k.d., optimalnog otvora sprovodnog kola a_{opt}, optimalnog ugla lopatica obrtnog kola φ_{opt}, za n'_I=const (Kaplanova turbina)
Slika 10.55. :Funkcija $\varphi=f(a_o,H)$ za Kaplanovu turbinu
Slika 10.54.:Shema glavne univerzalne karakteristike Kaplanove turbine


Sl. 10-48. Relativne dimenzije Fransisovih (a) i Kaplanovih turbina (b) i parametar K za određivanje D_1



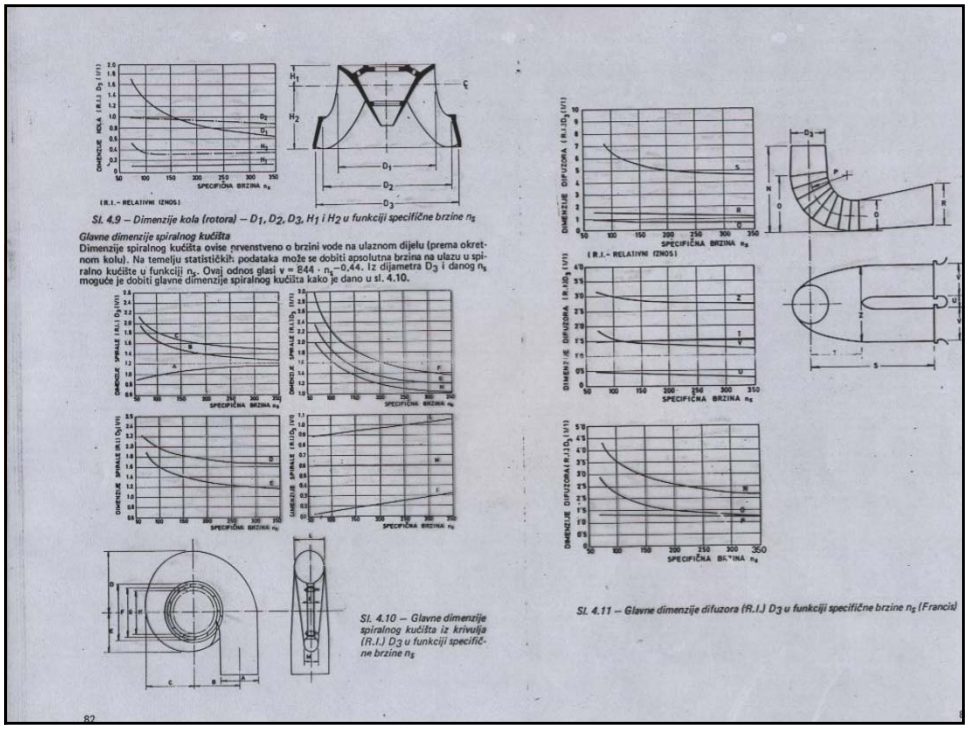
Sl. 10-49. Odnosi dimenzija Fransisove turbine u funkciji n_q



Sl. 10-50. Glavne dimenzije Peltonove turbine u funkciji n_q

Odabir tipa turbine

- raspoloživi pad ⟶ tip turbine i specifična brzina
- raspoloživa količina vode (Q [m^3/s])
  granična snaga pojedinih turbina ⟶ broj jedinica
  - raspodjela vode (trajanje)
    - kod jedinica većeg nazivnog protoka (veći η 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



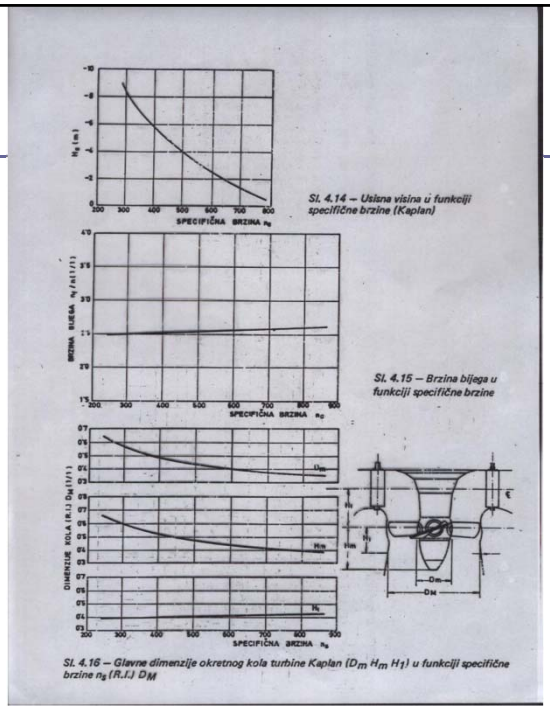
Sl. 4.9 – Dimenzije kola (rotora) – D_1, D_2, D_3, H_1 i H_2 u funkciji specifične brzine n_s

Glavne dimenzije spiralnog kućišta

Dimenzije spiralnog kućišta ovise prvenstveno o brzini vode na ulaznom dijelu (prema okretnom kolu). Na temelju statističkih podataka može se dobiti apsolutna brzina na ulazu u spiralno kućište u funkciji n_s. Ovaj odnos glasi $v = 844 \cdot n_s - 0{,}44$. Iz dijametra D_3 i danog n_s moguće je dobiti glavne dimenzije spiralnog kućišta kako je dano u sl. 4.10.

Sl. 4.10 – Glavne dimenzije spiralnog kućišta iz krivulja (R.I.) D_3 u funkciji specifične brzine n_s

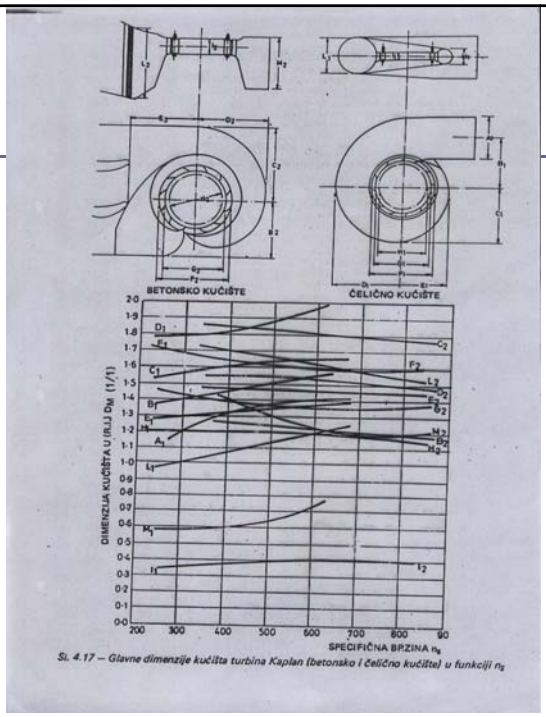
Sl. 4.11 – Glavne dimenzije difuzora (R.I.) D_3 u funkciji specifične brzine n_s (Francis)



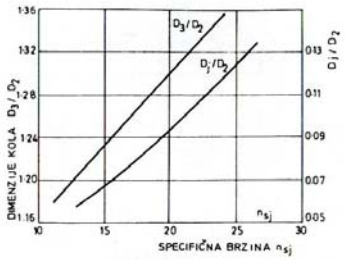
Sl. 4.14 – Usisna visina u funkciji specifične brzine (Kaplan)

Sl. 4.15 – Brzina bijega u funkciji specifične brzine

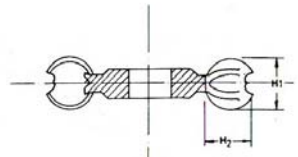
Sl. 4.16 – Glavne dimenzije okretnog kola turbine Kaplan (D_m H_m H_1) u funkciji specifične brzine n_q (R.I.) D_M



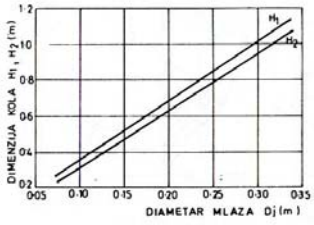
Sl. 4.17 – Glavne dimenzije kućišta turbina Kaplan (betonsko i čelično kućište) u funkciji n_q

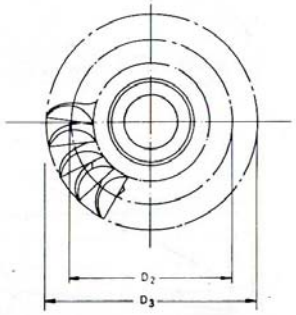


Sl. 4.22 – Odnos D_j/D_2 i D_3/D_2 u funkciji specifične brzine n_{sj} za Pelton turbine



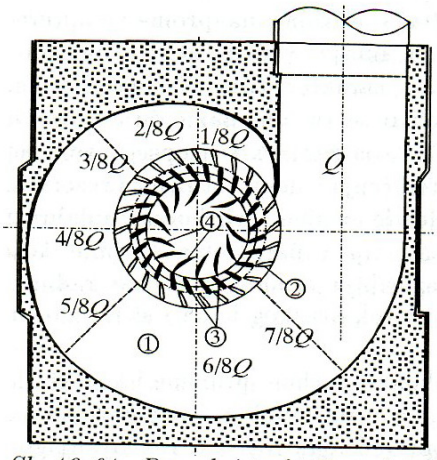
Sl. 4.23 – Dimenzije kola Pelton turbine



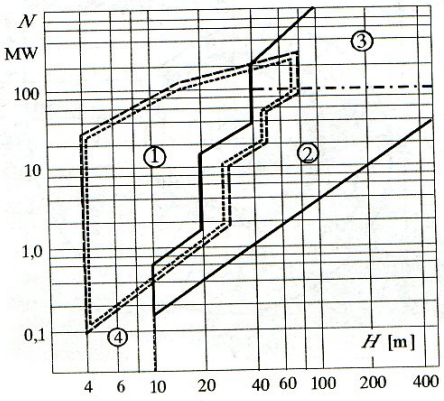


Područje primjene pojedinih turbina (P ≥ 10 MW)

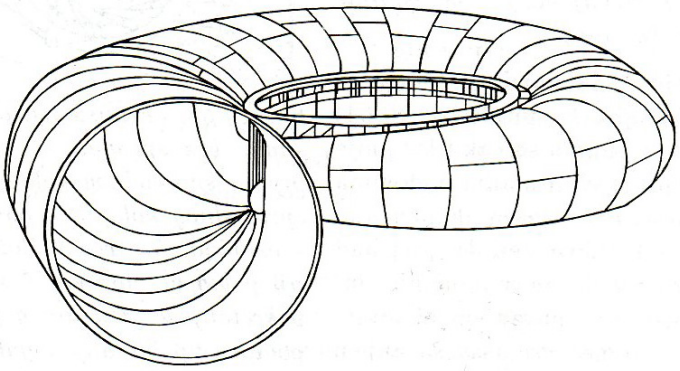
Tip turbine	Pad [m]	n_s [KS]	n_q
Cijevna	1 - 25	420 – 1200	140 – 400
Kaplan	30 – 70	250 – 900	100 – 300
Dijagonalna	40 – 200	175 – 450 (500)	60 – 160
Francis	50 – 700	60 – 400 (490)	20 – 120
Pelton	> 300	3 – 45 (70)	1 - 20



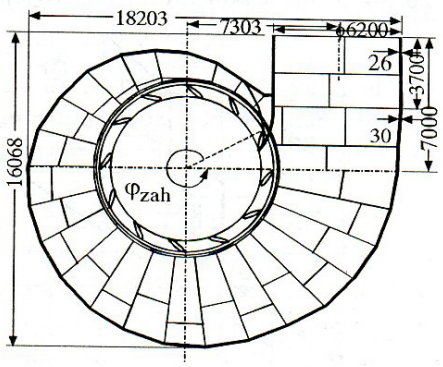
Sl. 10-61. Dovodni trakt Fransisove turbine: spirala (1), stator (2), sprovodno kolo (3), turbina (4). Shema raspodele proticaja po obodu statora



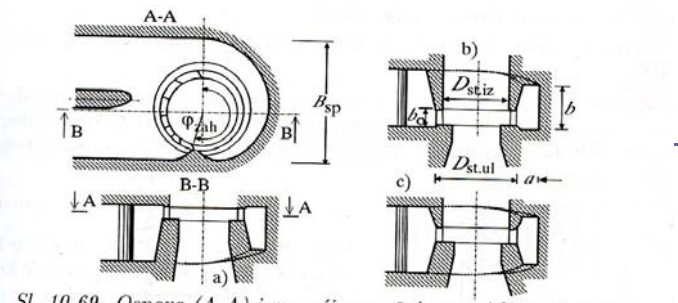
Sl. 10-62. Orijentacione oblasti primene raznih tipova spirala. 1 - betonske, 2 - čelične, 3 - čelične sa betonskim ukrućenjem, 4 - bez spirale (otvorena komora)



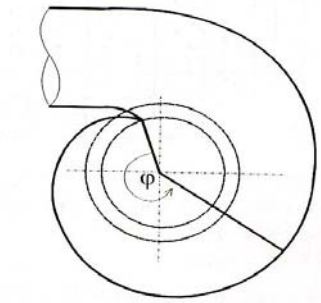
Sl. 10-66. Shema zavarene spirale sa statorom



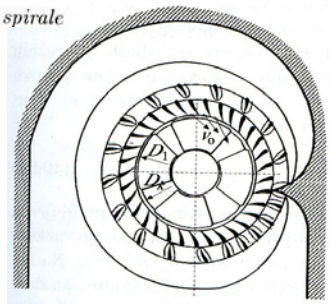
Sl. 10-65. Čelična spirala sa statorskim lopaticama. Ugao zahvatanja φ_{zah}.



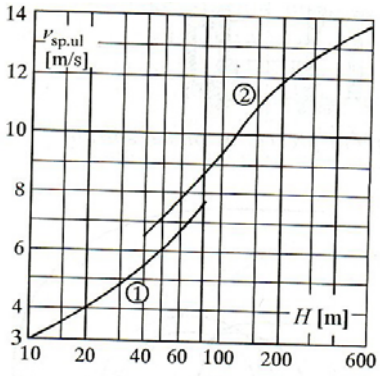
Sl. 10-69. Osnova (A-A) i mogući poprečni preseci betonske spirale



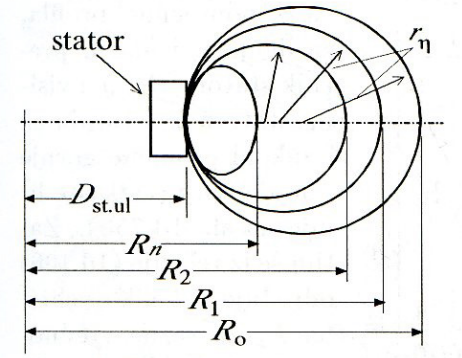
sl. 10-71. Označavanje ugla φ



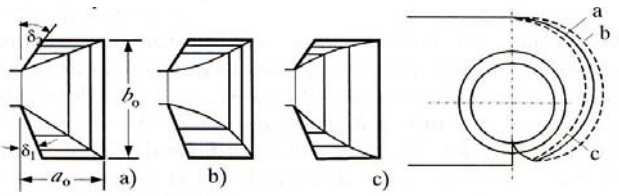
Sl. 10-70. Gušći statorski elementi, drukčije usmereni, poboljšavaju strujnu sliku na desnom, čeonom prilazu kolu



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