

KVS - strojarnica

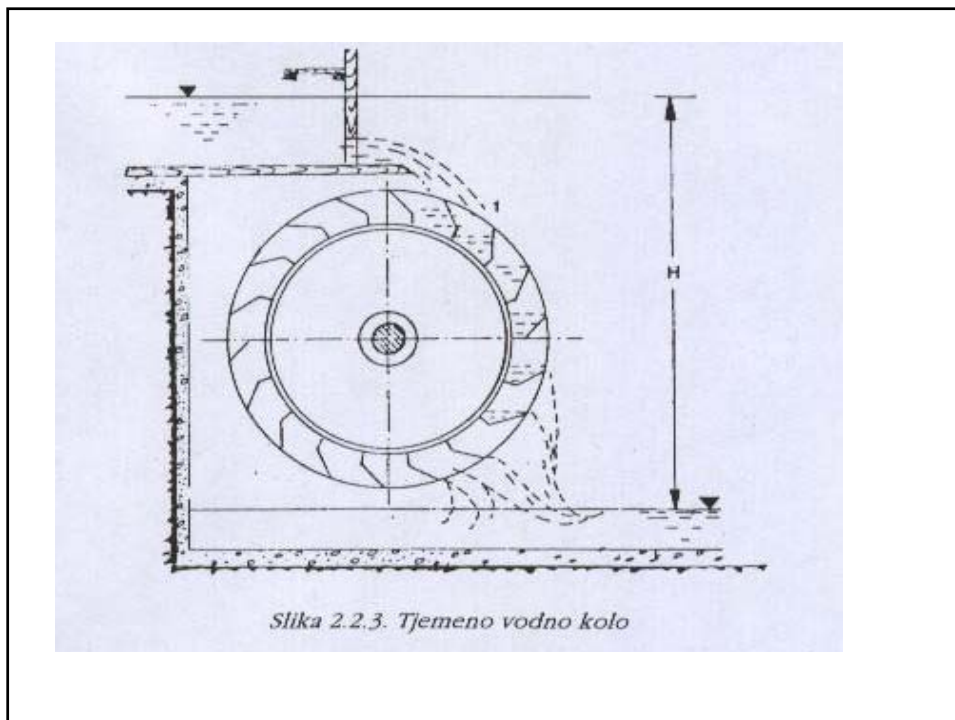
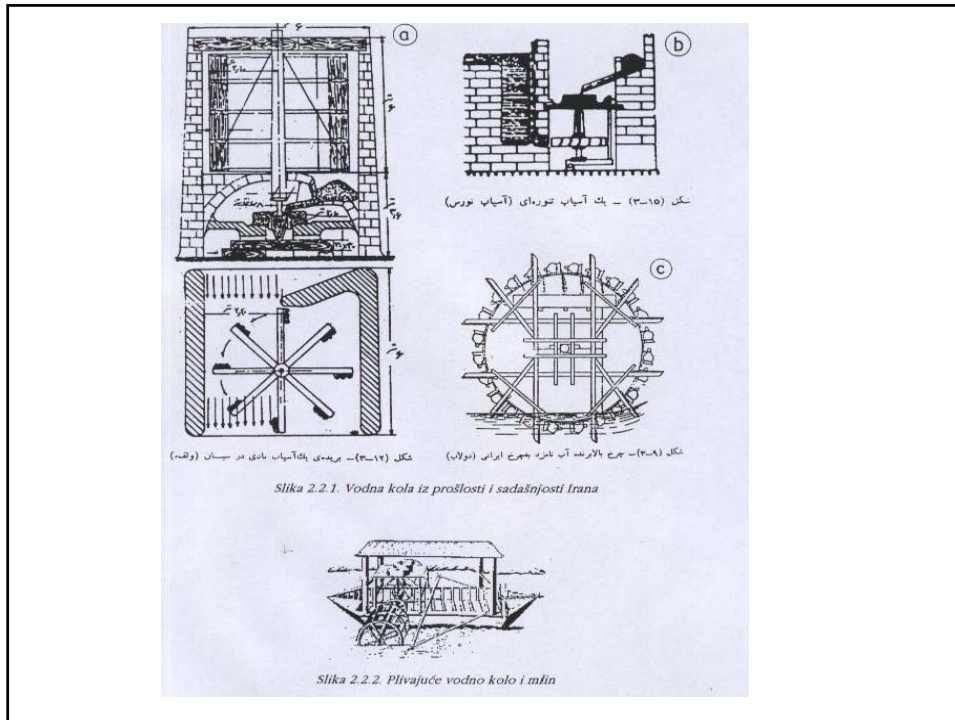
- Strojarnica, u širem smislu, je skup građevina i opreme koja se koristi za pretvaranje energije vode u električnu energiju i njenu predaju u distribucijsku mrežu.
- Položaj (dispozicija) strojarnice ovisi o cjelokupnom rješenju hidroelektrane i definira se na osnovi koncepcije korištenja energije konkretnog vodotoka, lokalnih uvjeta, sigurnosti u radu i ekonomskih karakteristika rješenja (gospodarsko-tehnički kriteriji izbora rješenja i položaja strojarnice).
- Strojarnice mogu biti nadzemne i podzemne

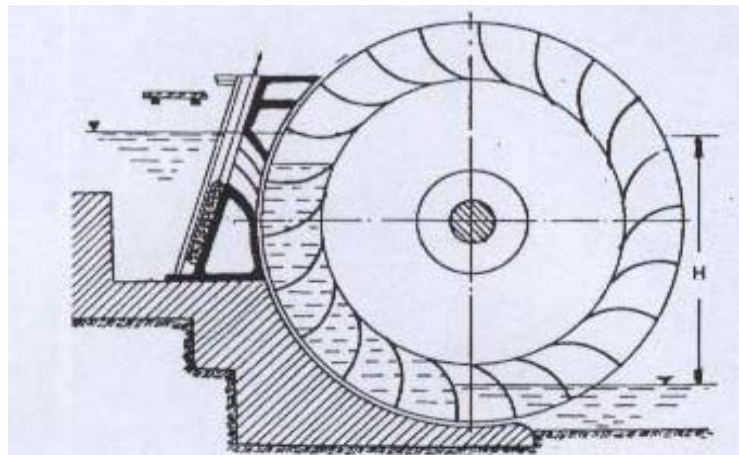
- Osnovni proizvodni stroj je vodna turbina – kraće turbina, koja se smješta u strojarnicu i ona definira osnovne dimenzije strojarnice kao i njen visinski položaj.
- Ostali sadržaji se prilagođavaju rješenju turbine.
- Uz turbinu ili više njih u sklopu strojarnice nalazi se i druga osnovna oprema:
 - generator(i)
 - transformator(i)
 - gasklopno postrojenje
 - uređaji upravljanja, zaštite i dojave.

- U strojarnici se nalaze i pomoćni uređaji koji omogućuju sigurnu i dugotrajnu proizvodnju električne energije. Pomoćni uređaji obuhvaćaju:
 - vlastitu potrošnju
 - opskrbu izmjeničnim naponom
 - opskrbu istosmjernim naponom
 - opskrbu komprimiranim zrakom
 - rashladni i drenažni sustav
 - dizalice i unutarnji transport
 - uljno gospodarstvo.
- Prije početka korištenja hidroelektrane provodi se ispitivanje svih građevina i opreme, te se određeno vrijeme radi u tzv. probnom pogonu, tijekom kojeg se otklanjaju uočeni nedostaci i optimiraju se uvjeti rada i korištenja opreme i uređaja.

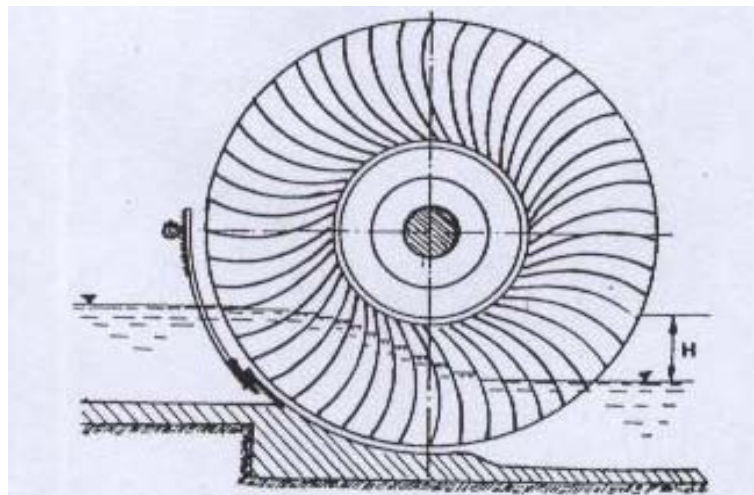
Turbine

- Hidraulički strojevi – vodne turbine koriste se za pretvaranje (transformaciju) energije vode (potencijalne i kinetičke) u mehaničku energiju (promjenom smjera toka ostvaruje se vrtnja rotora turbine), a vrtnjom se u magnetnom polju generatora stvara električna energija.
- Analogno se ostvaruje i obrnuti proces – dovođenjem energije u motor, ostvaruje se vrtnja kojom se crpkom podiže voda na višu razinu, te pohranjuje energija u energiju položaja (potencijalna energija) podignute vode.
- Ključni element turbine je okretno kolo.

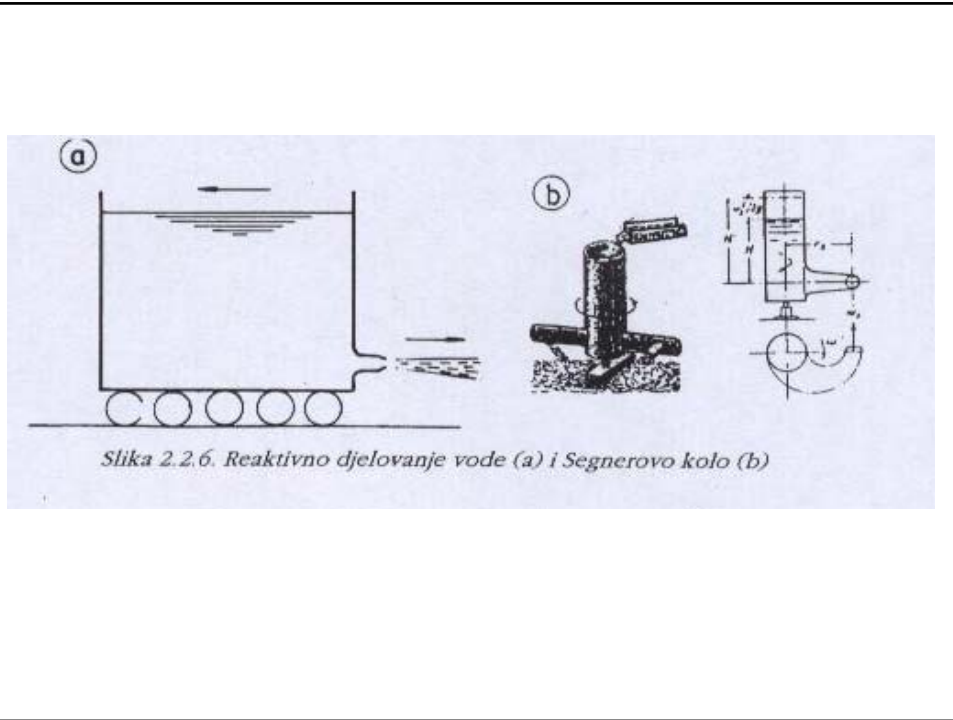




Slika 2.2.4. Bočno vodno kolo



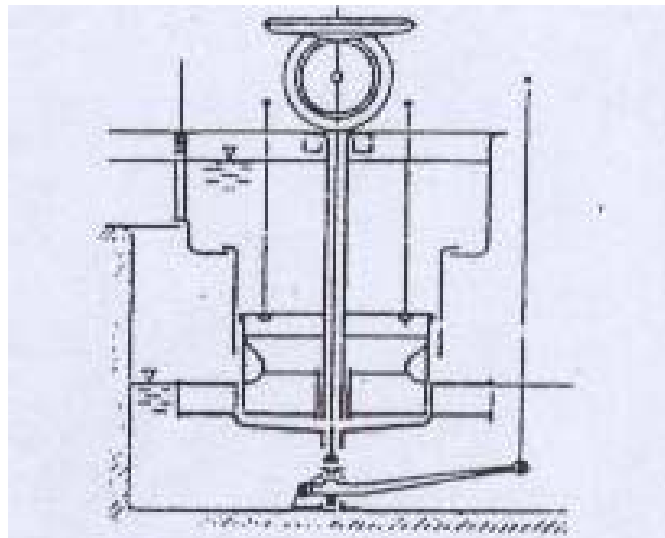
Slika 2.2.5. Podnožno vodno kolo



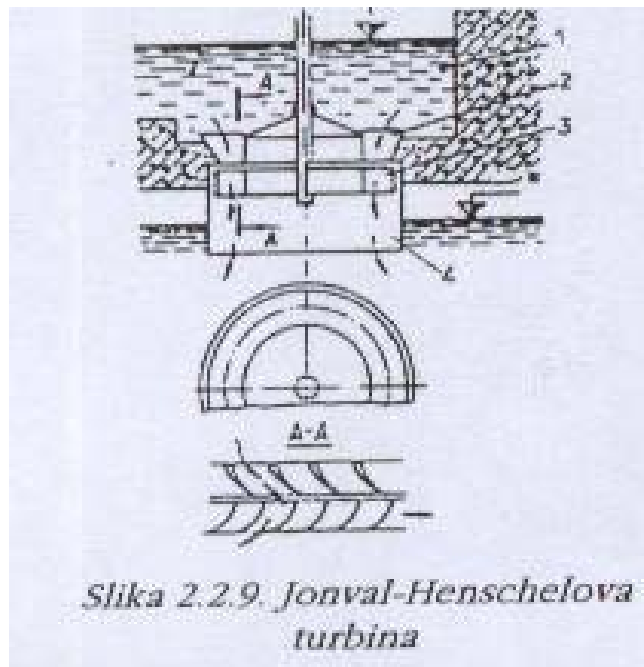
Slika 2.2.6. Reaktivno djelovanje vode (a) i Segnerovo kolo (b)



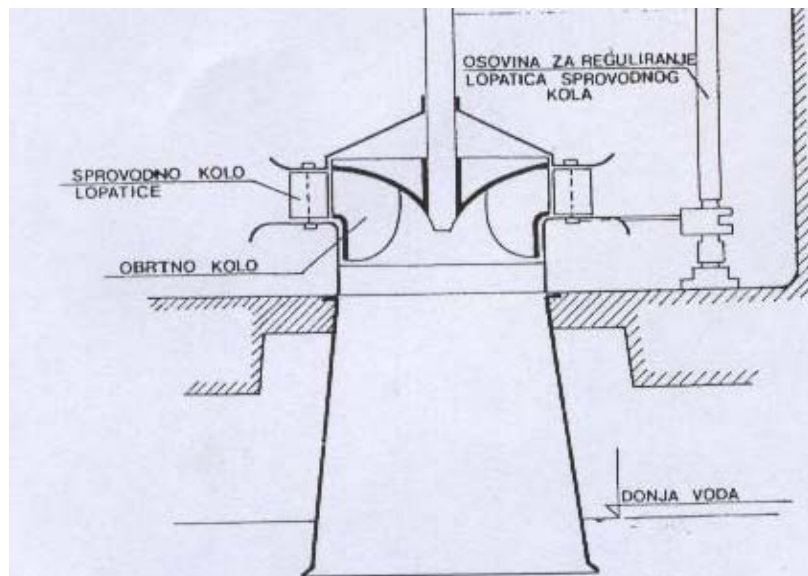
Slika 2.2.7. Shema Euler-ove turbine



*Slika 2.2.8. Fourneyron-ova
turbina*



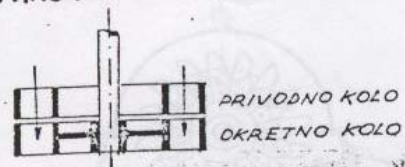
*Slika 2.2.9. Jonval-Henschelova
turbina*



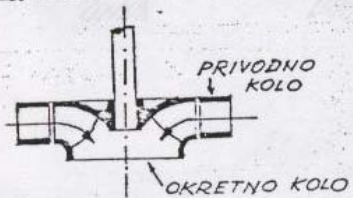
Slika 2.2.10. Shema Francis-ove turbine iz 1849. g.

PODIJELA TURBINA PREMA SMERU NAILASKA VODE

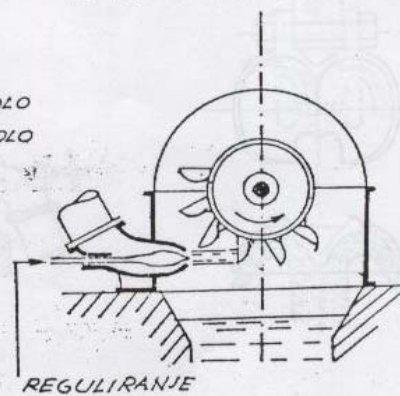
1. AKSIJALNE TURBINE

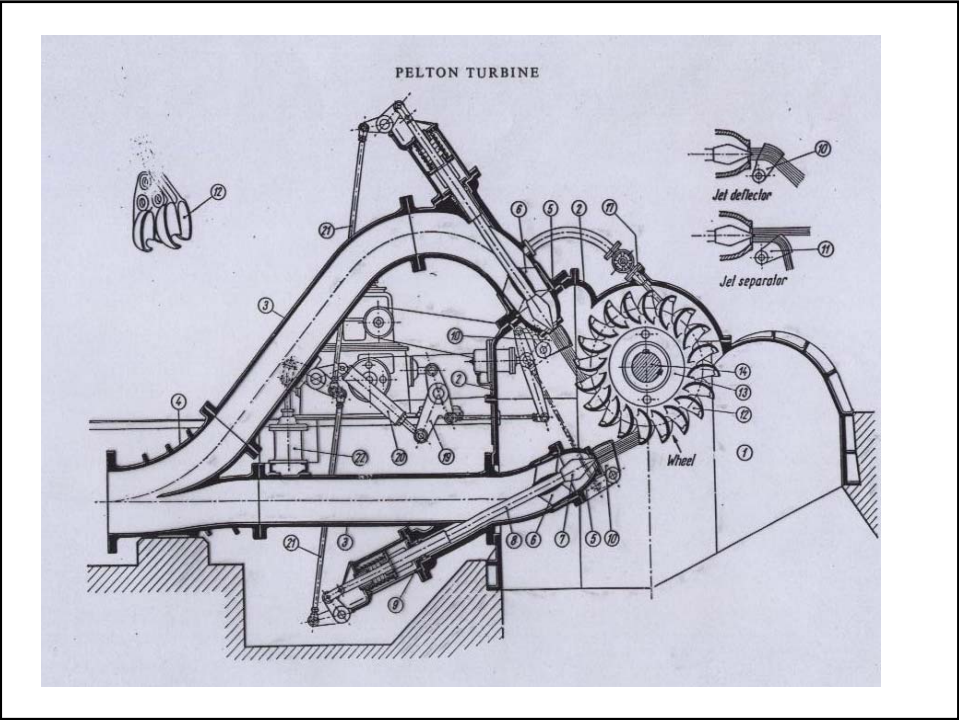
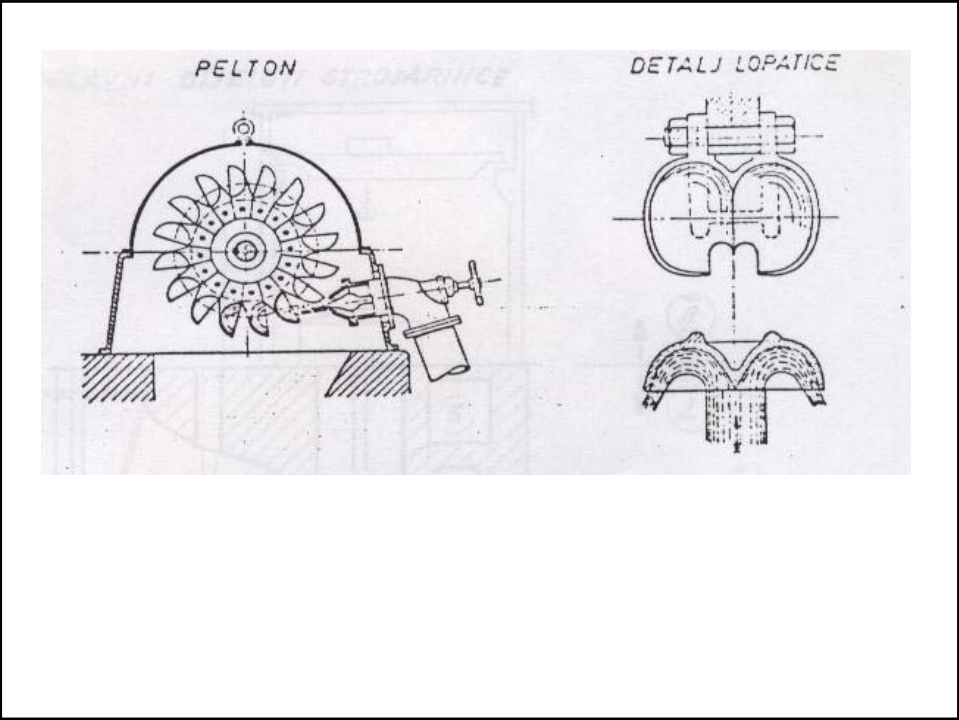


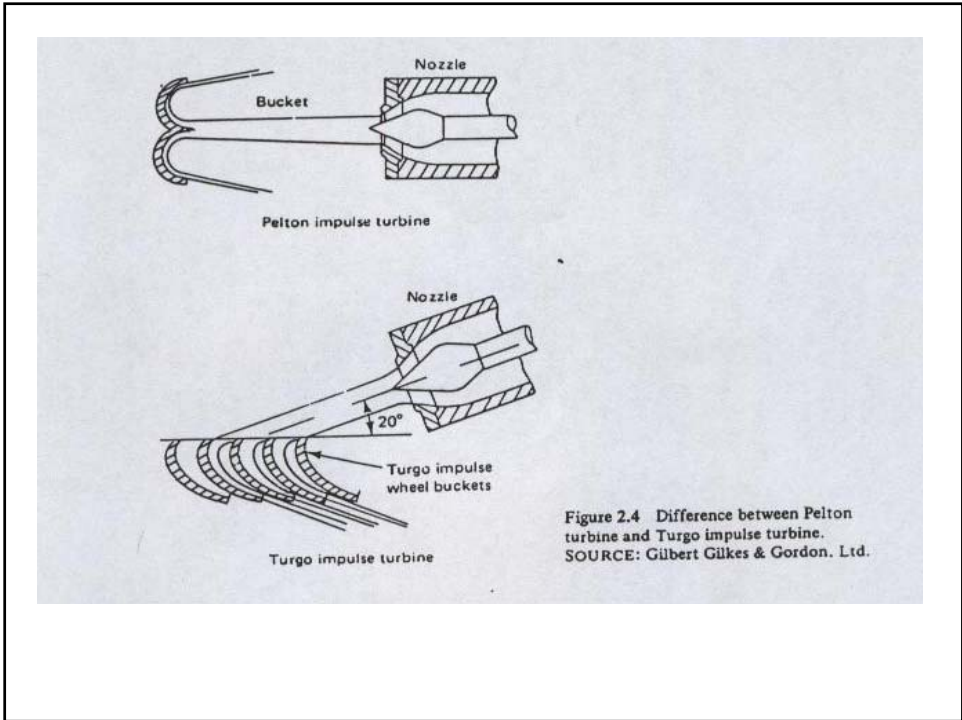
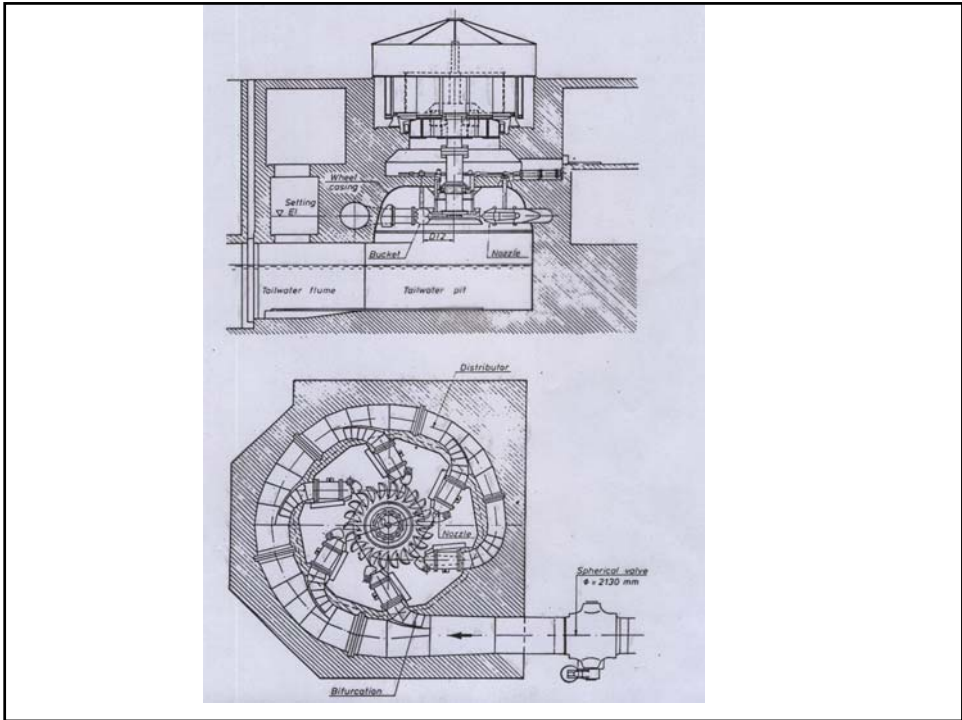
2. RADIJALNE TURBINE

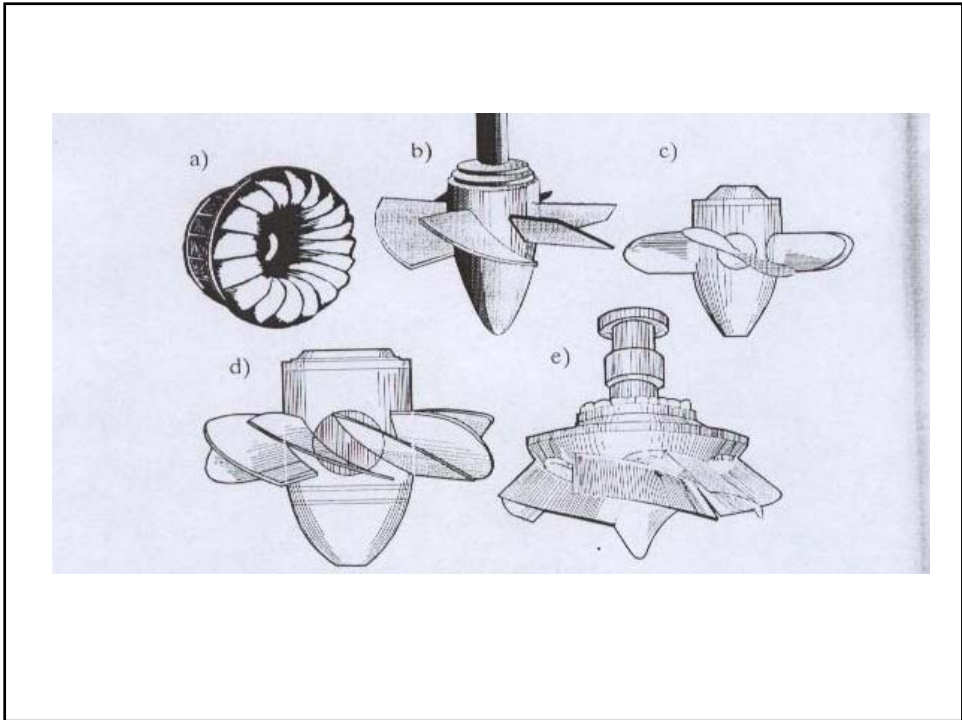
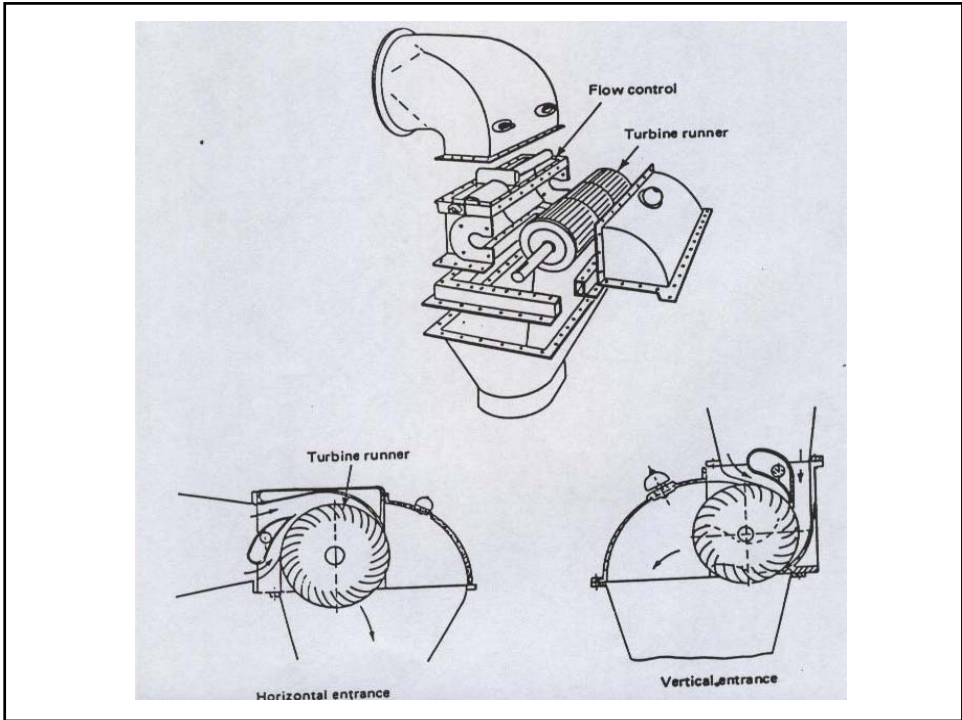


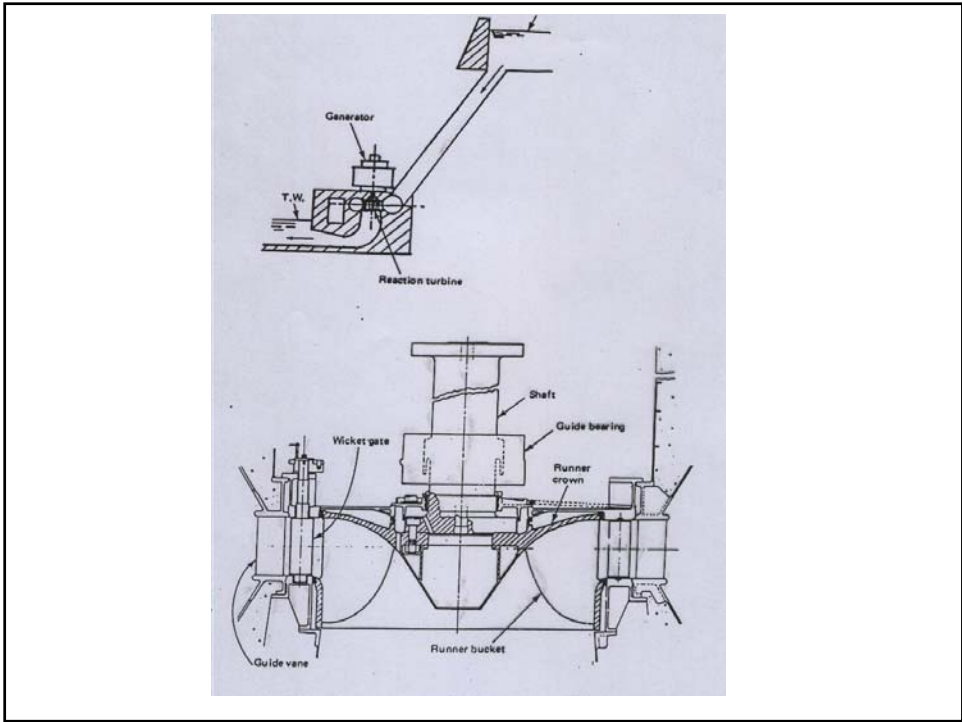
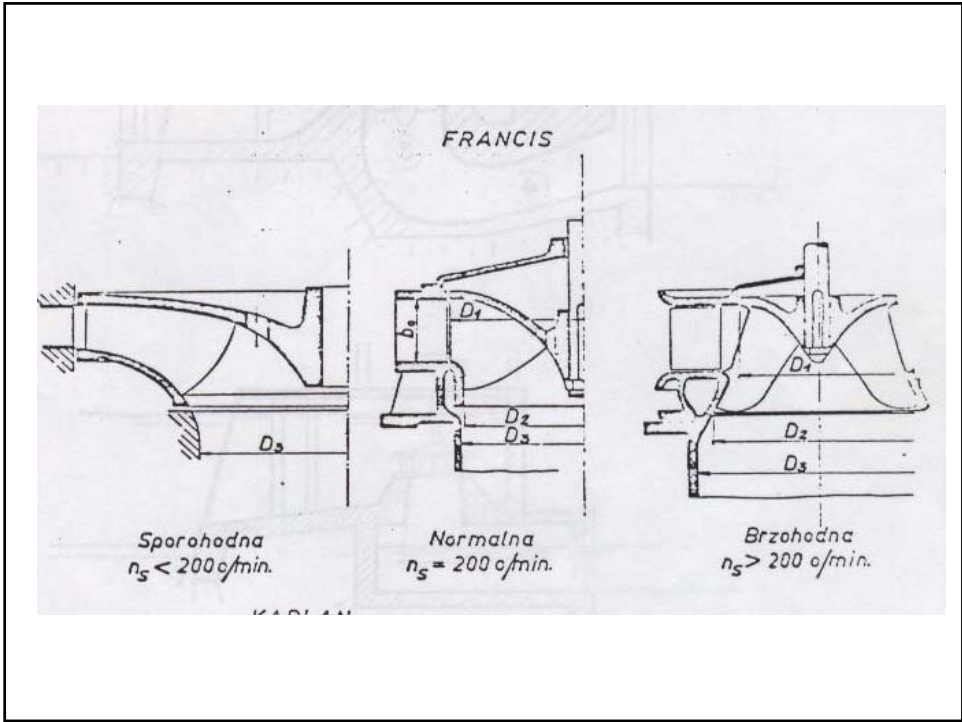
3. TANGENCIJALNA KOLA

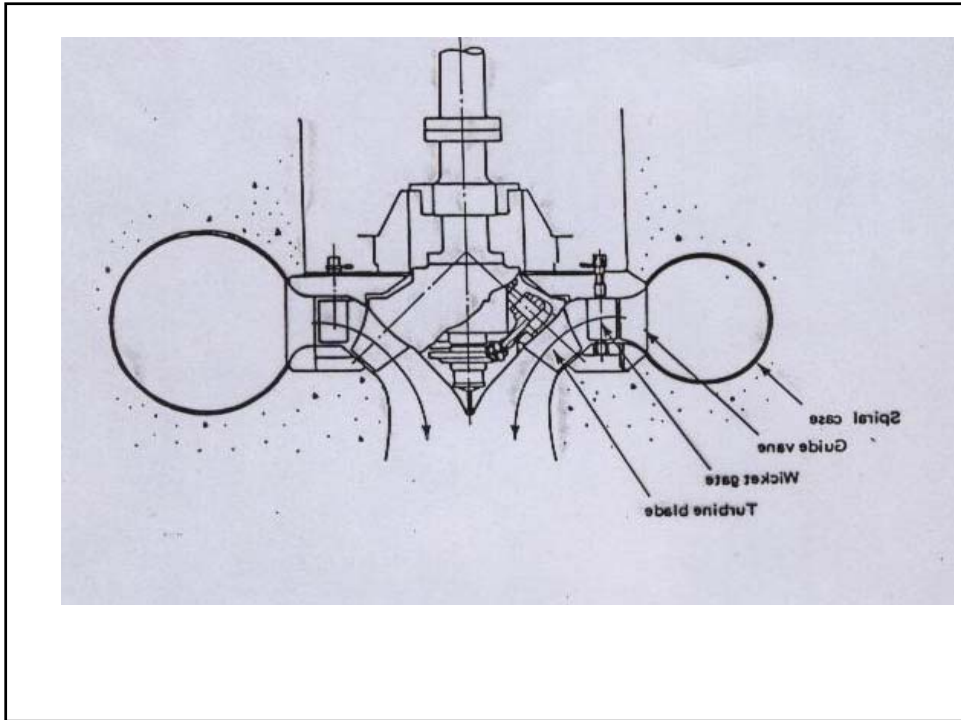
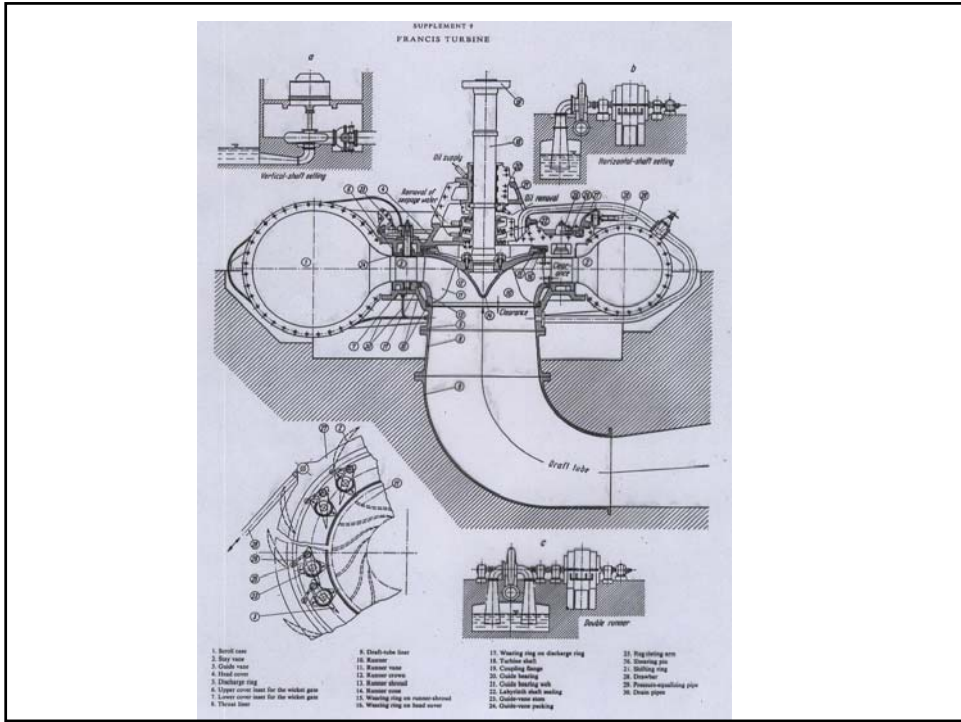




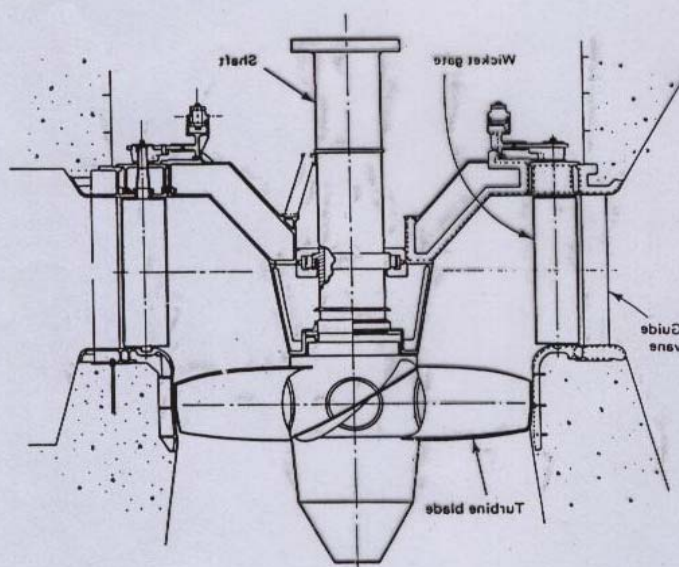
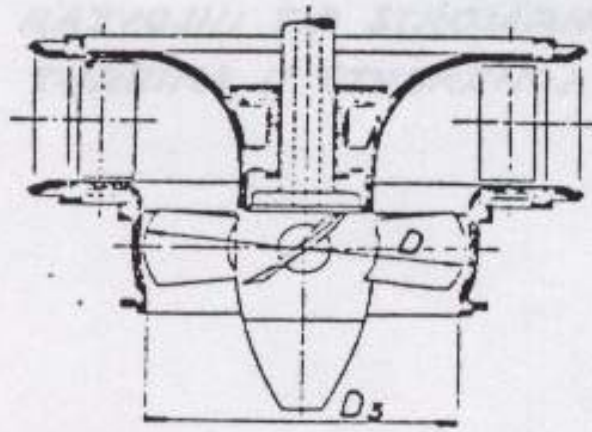


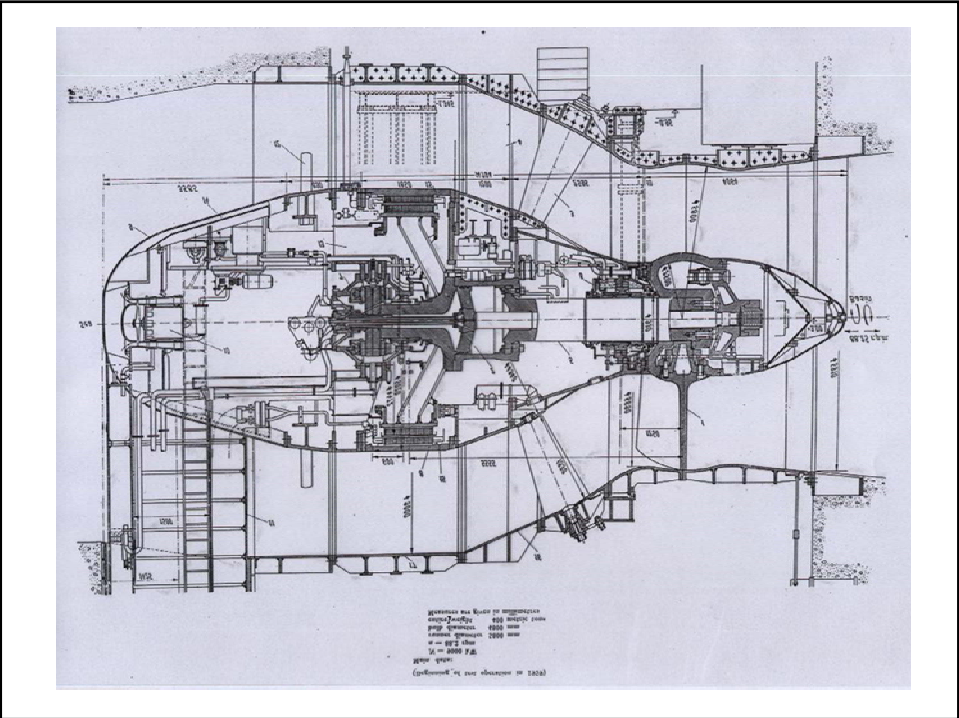
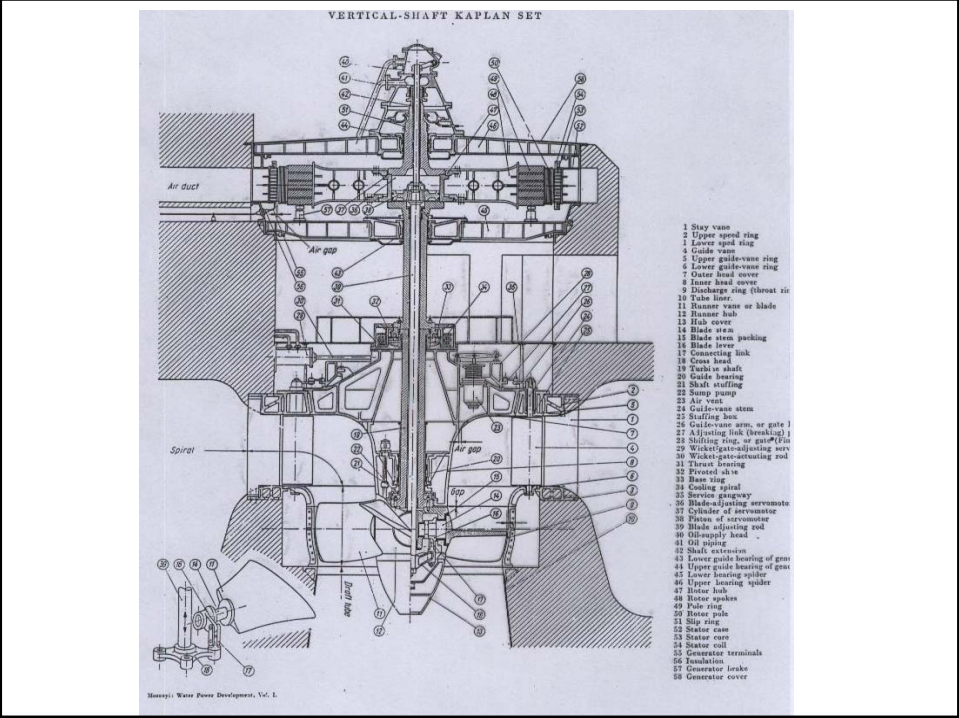


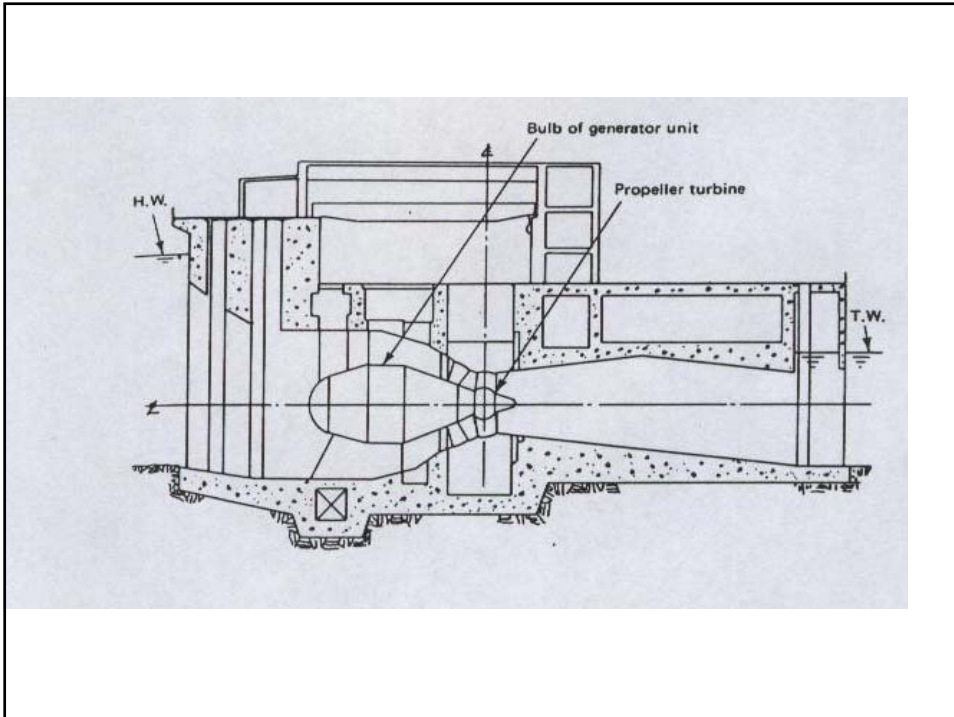
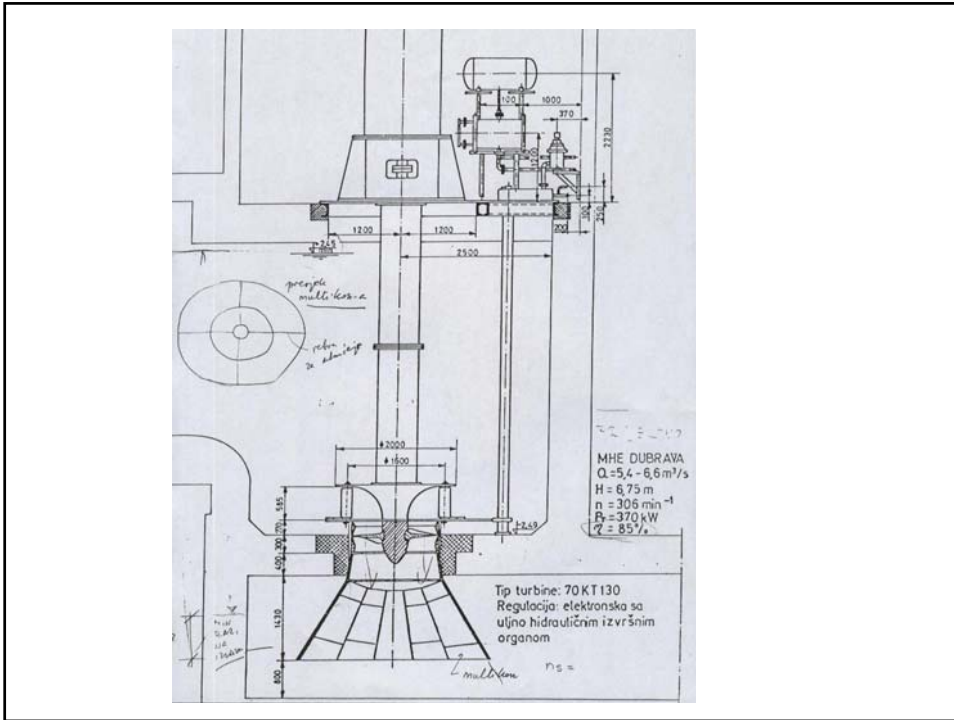


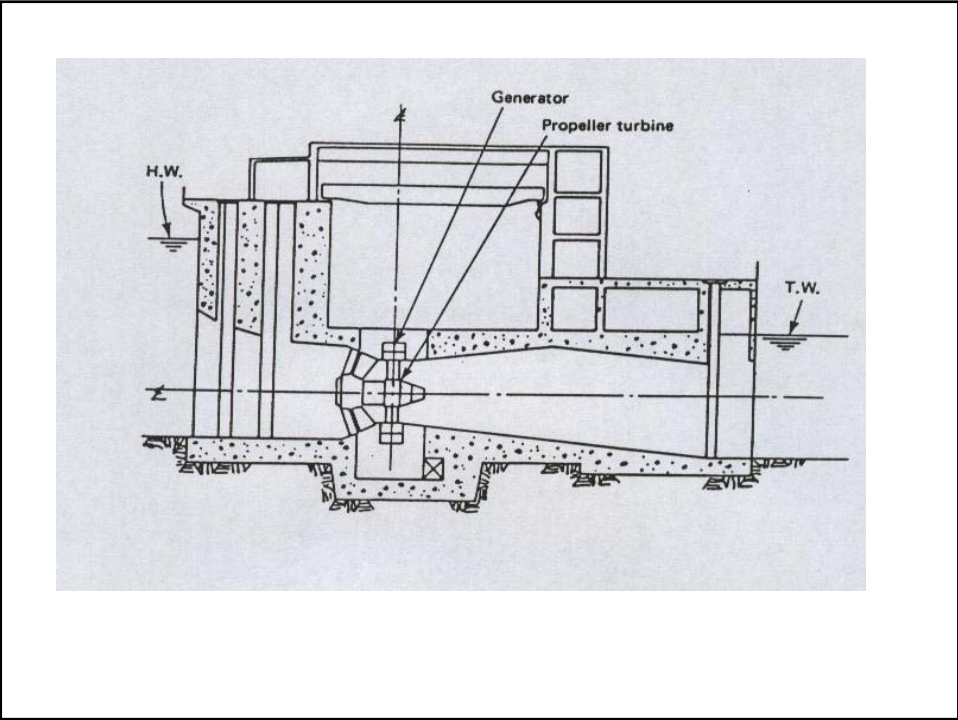
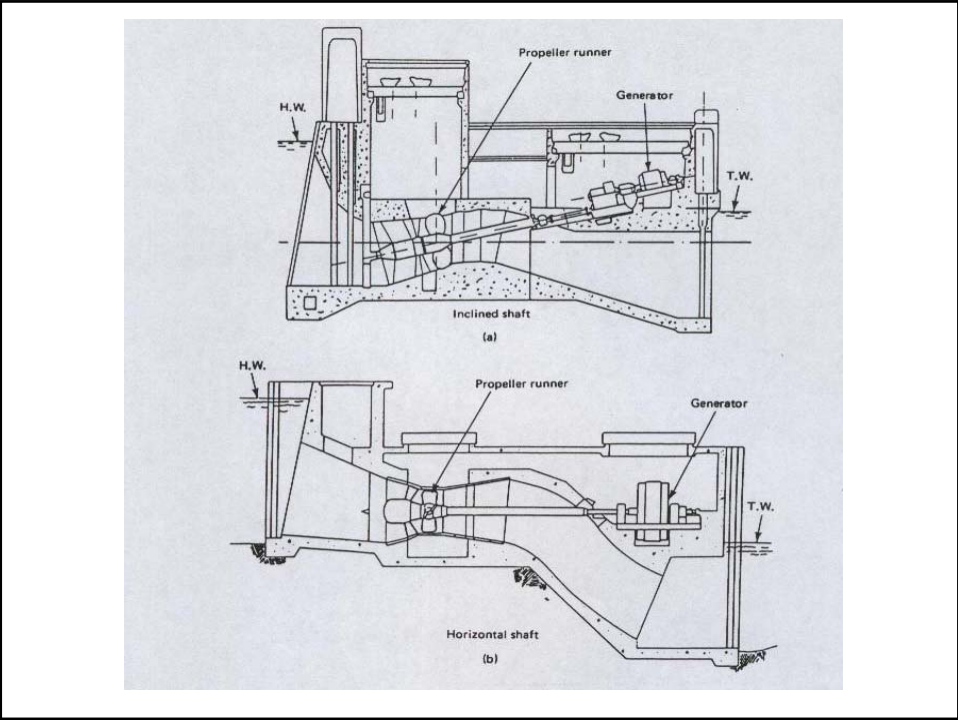


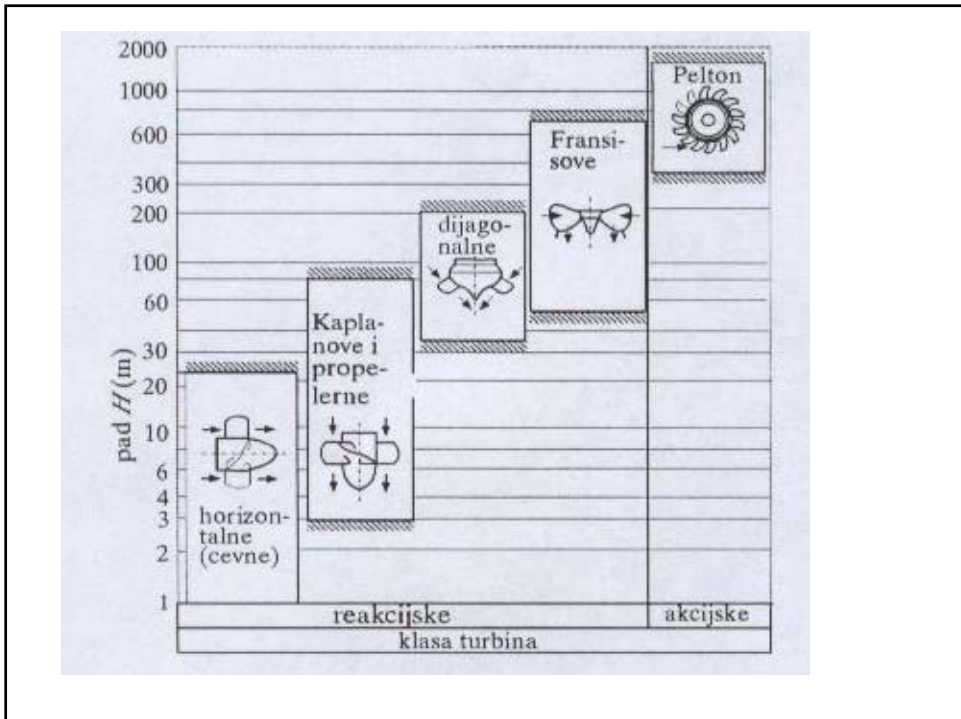
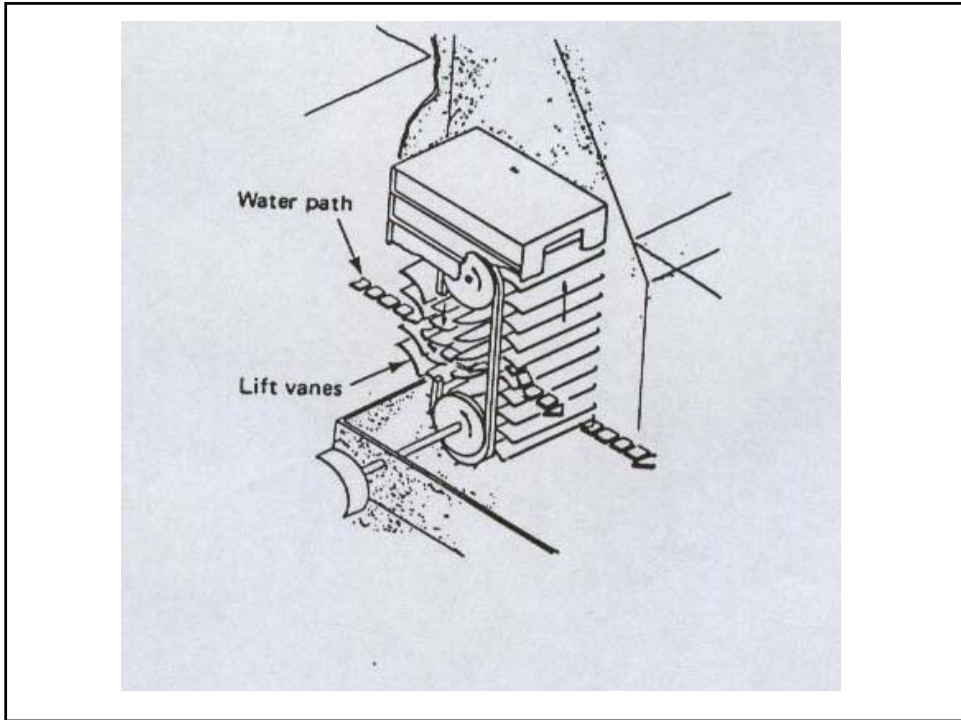
KAPLAN

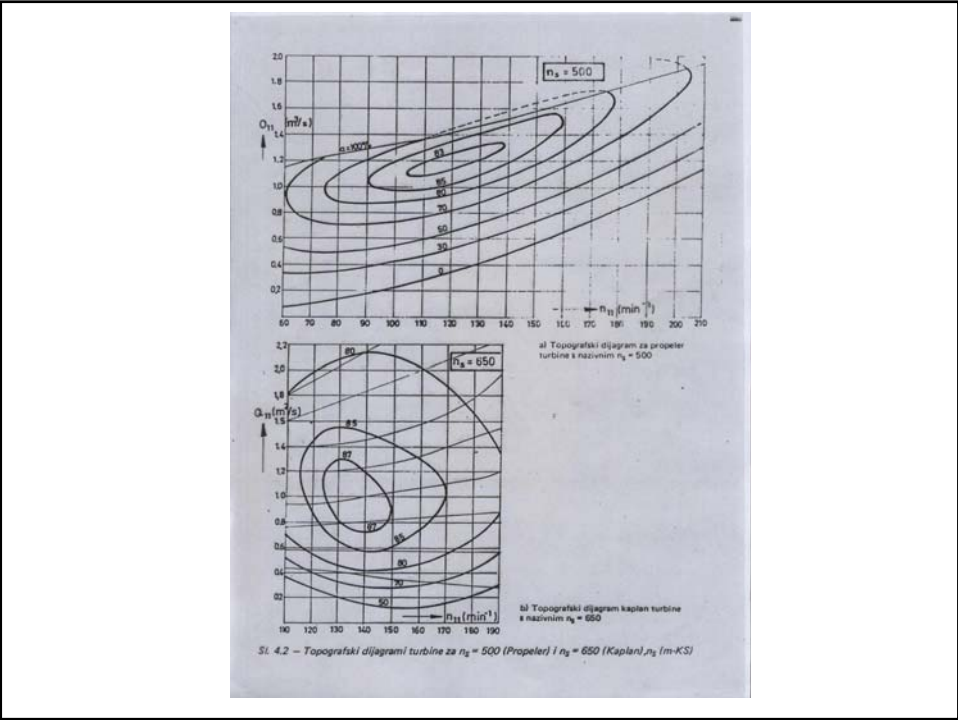
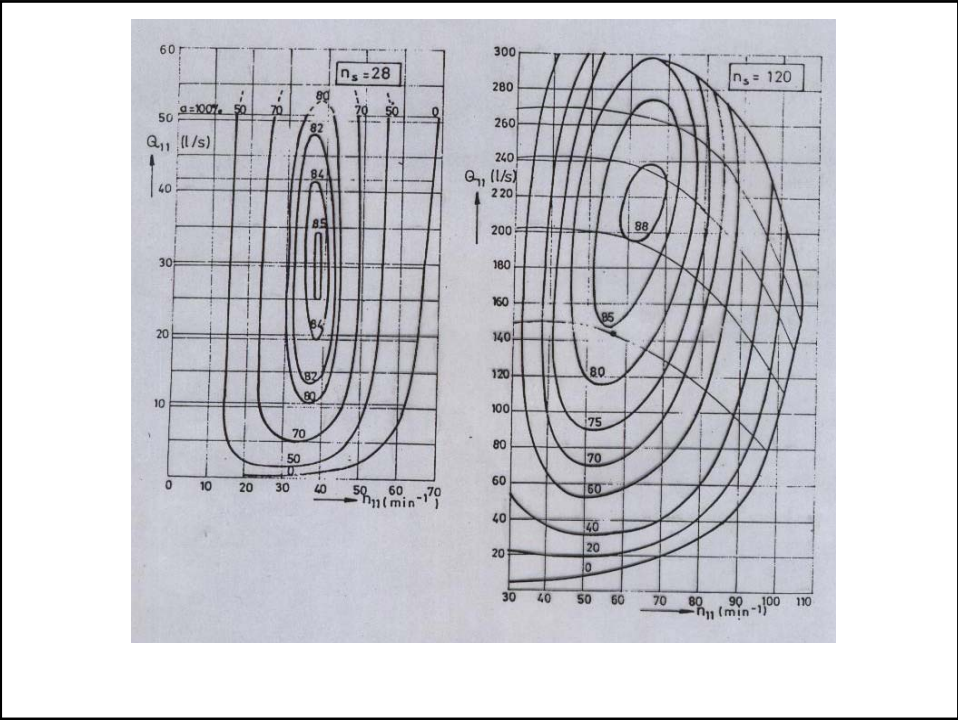












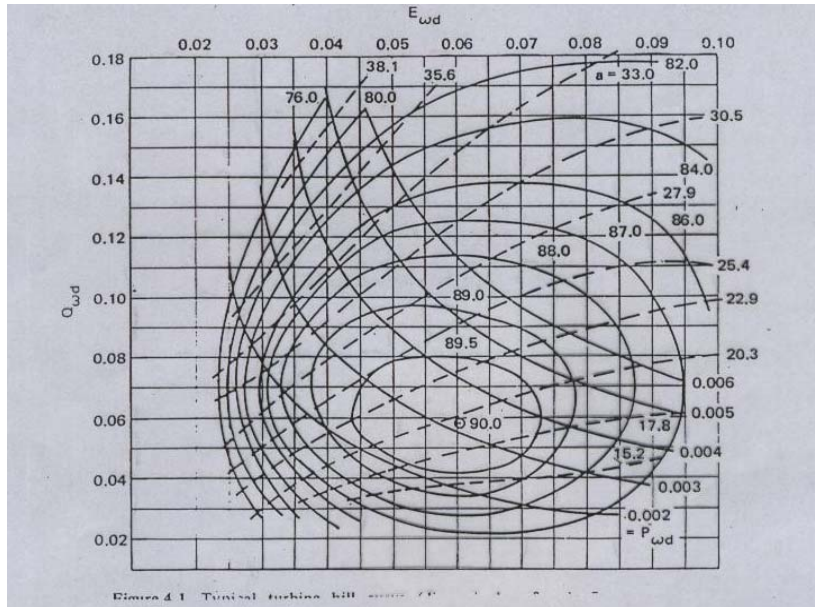
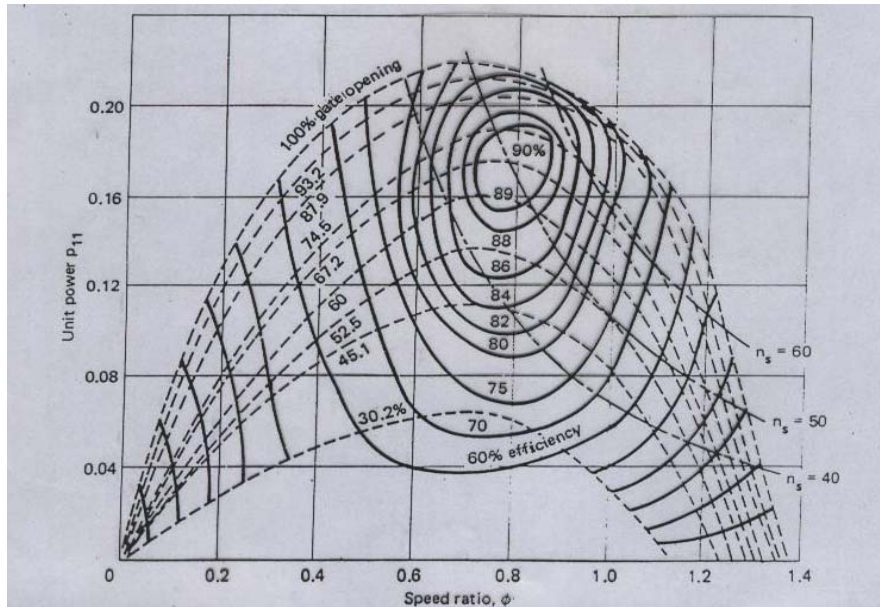
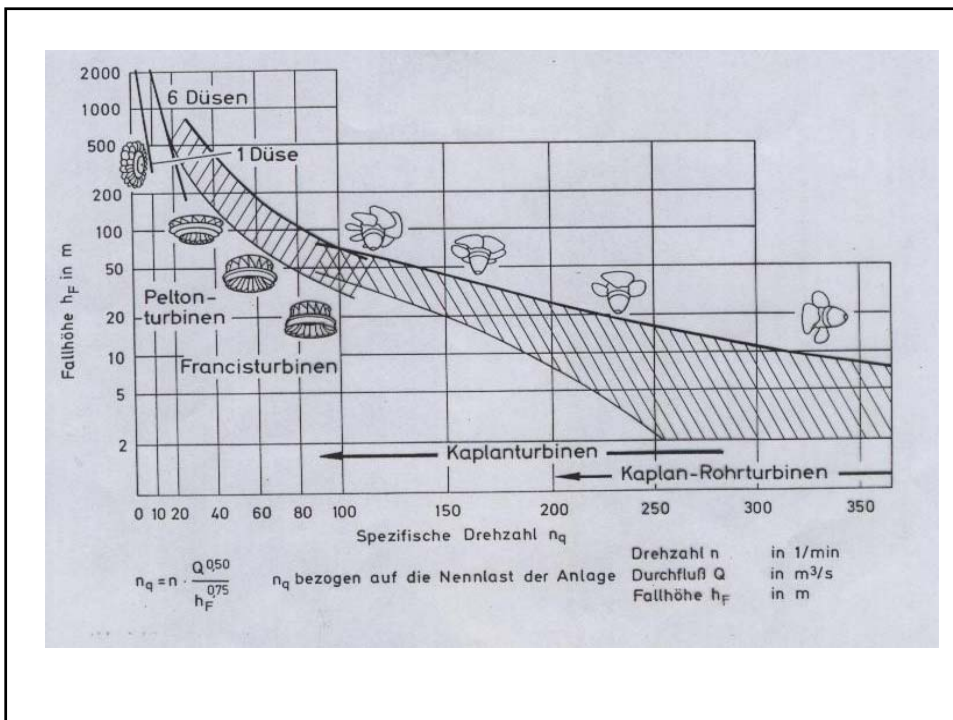
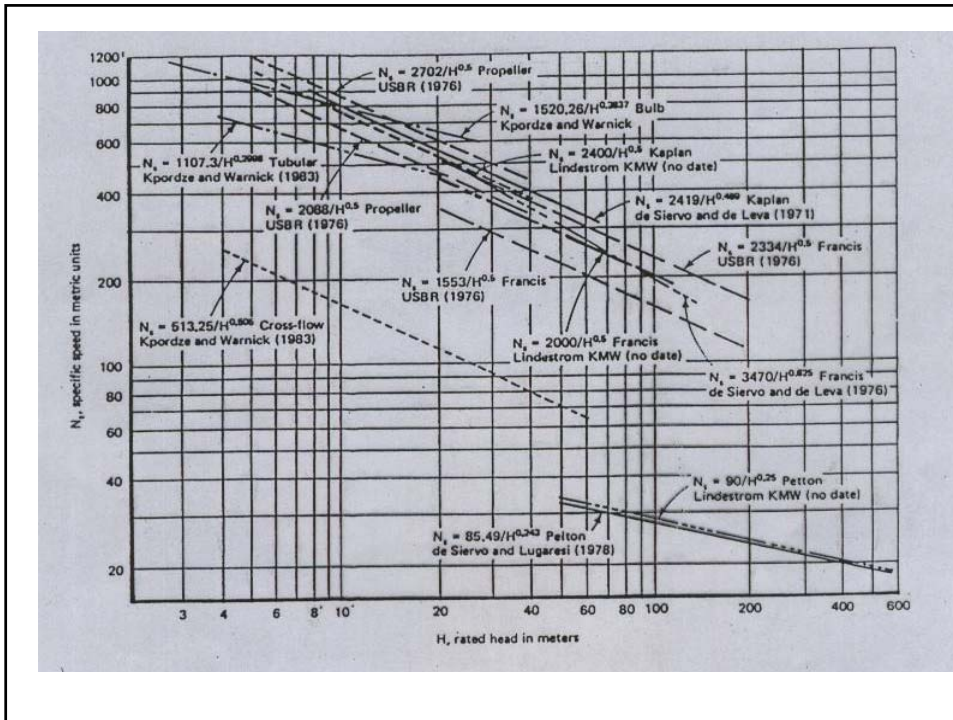
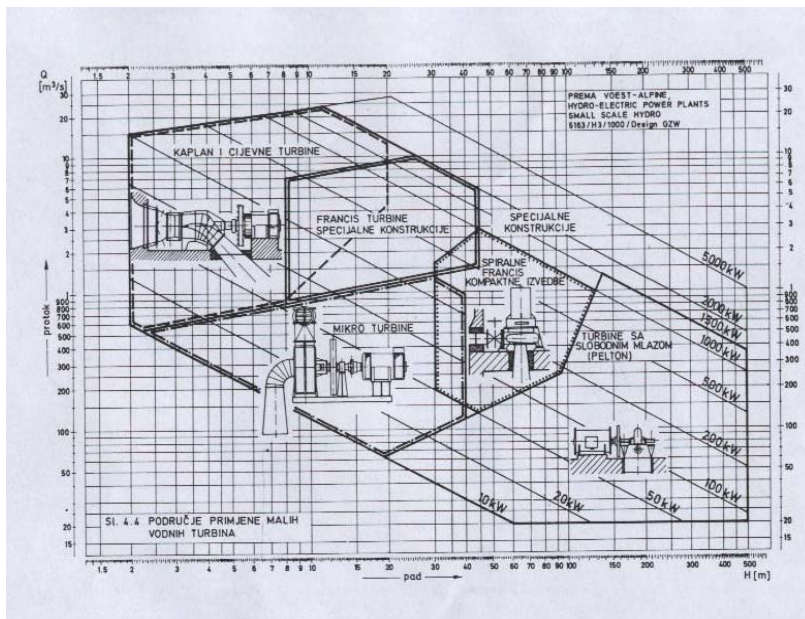
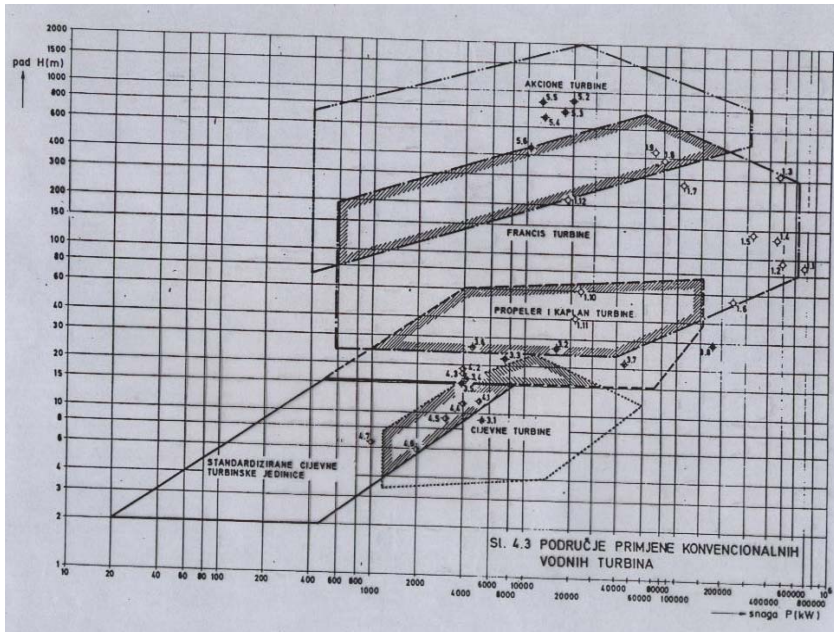


Figure 4.1 Typical turbine hill chart







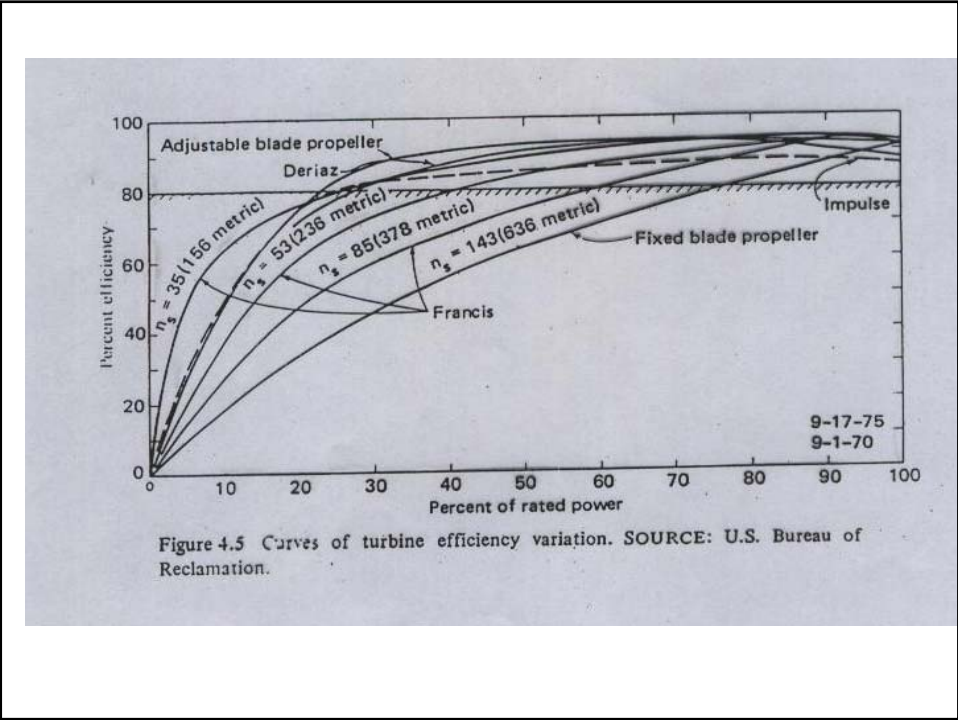
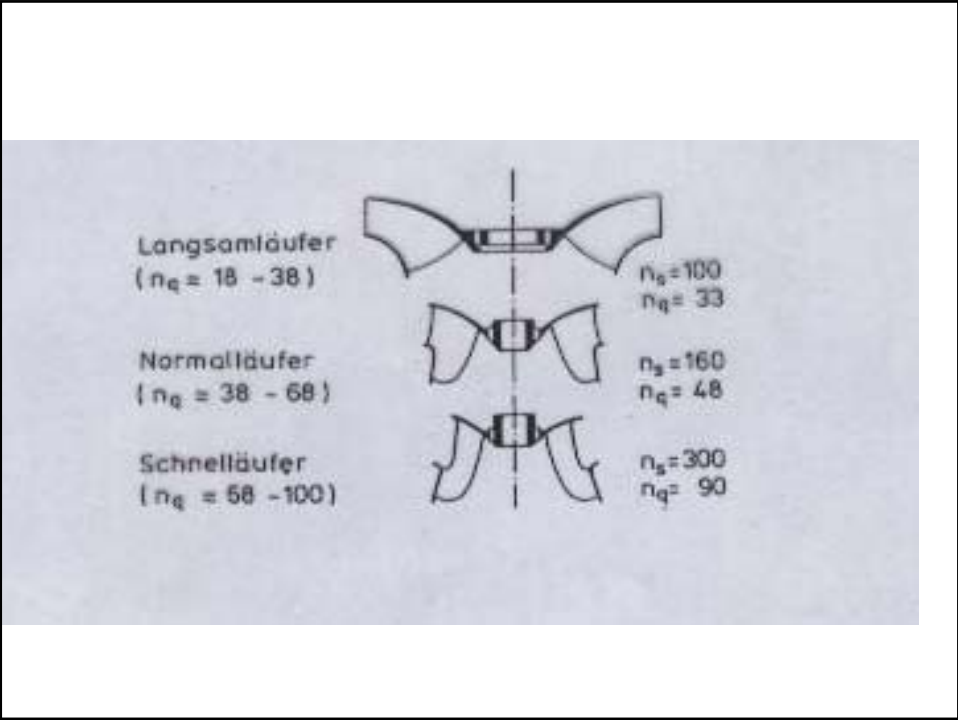
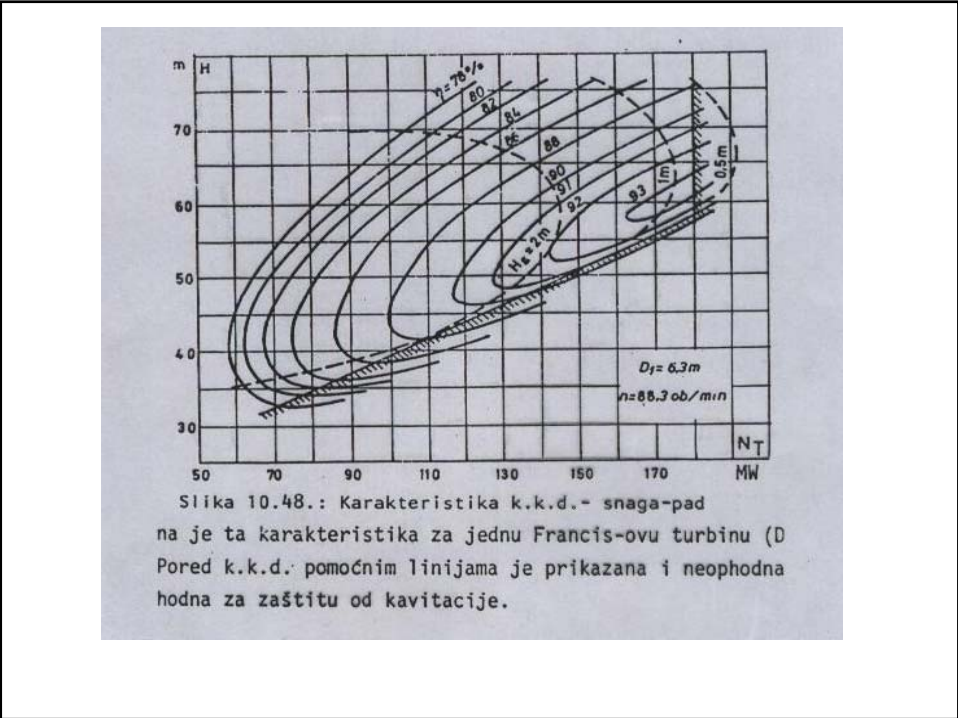
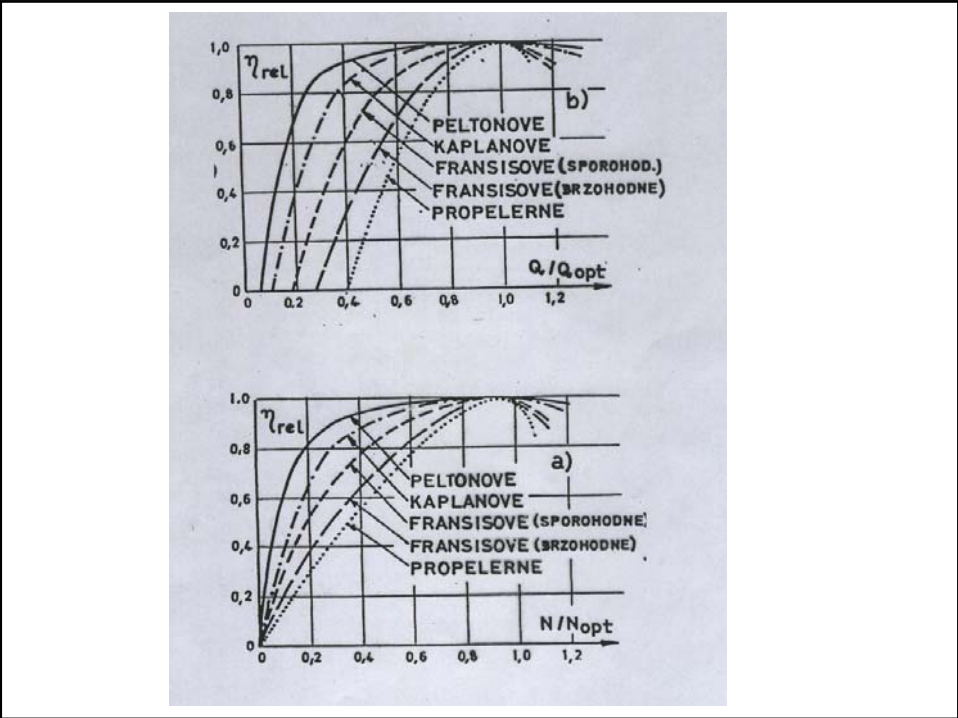
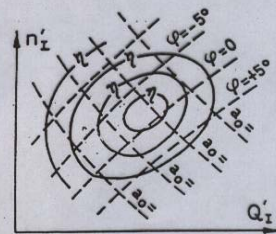
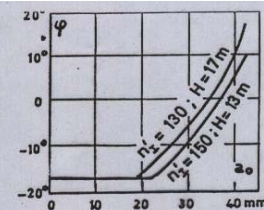
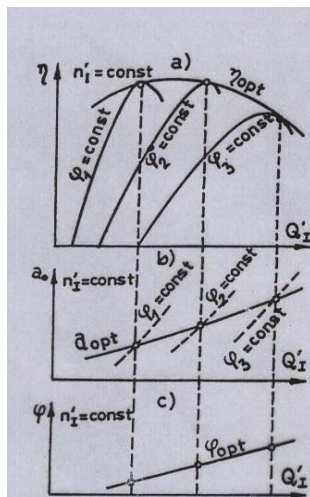
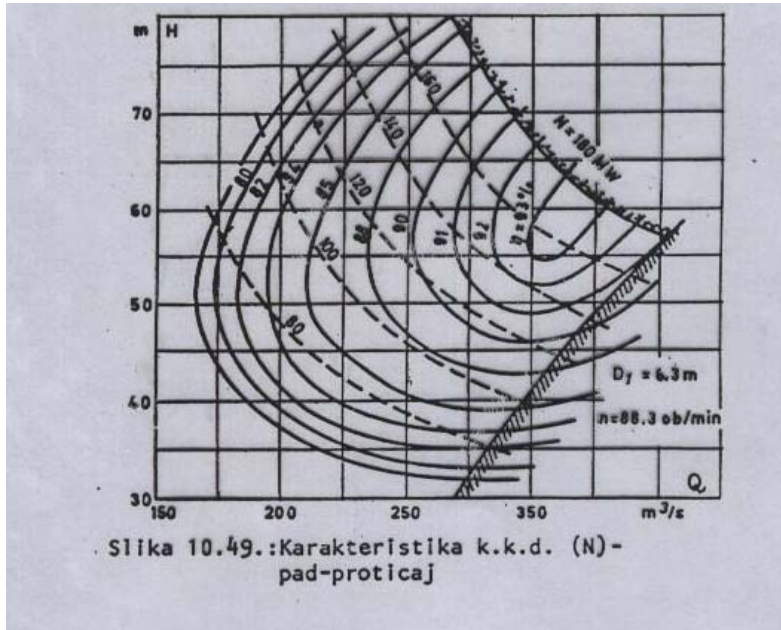
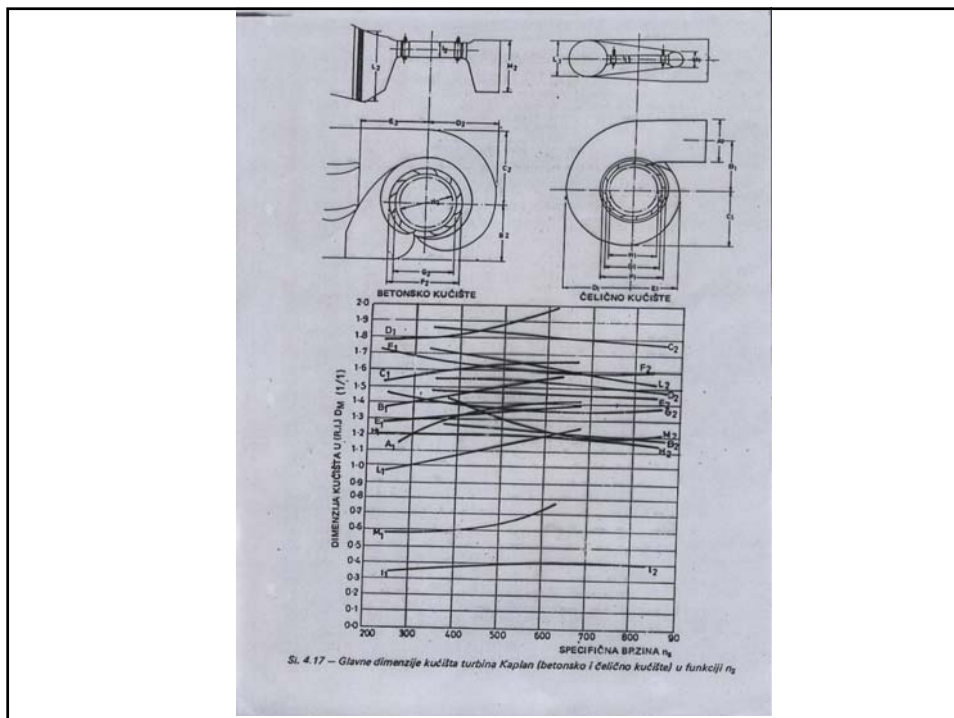
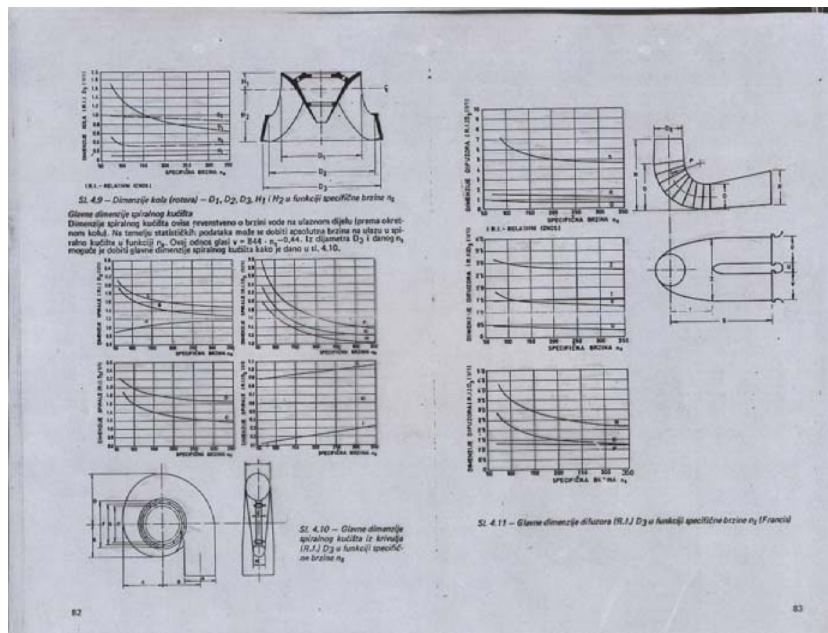


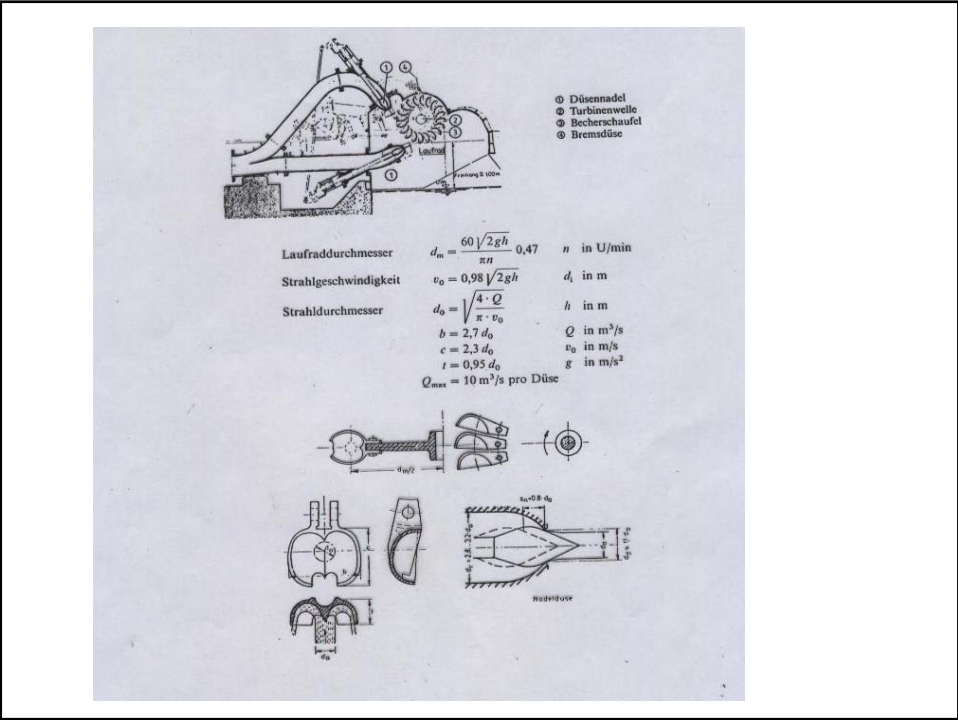
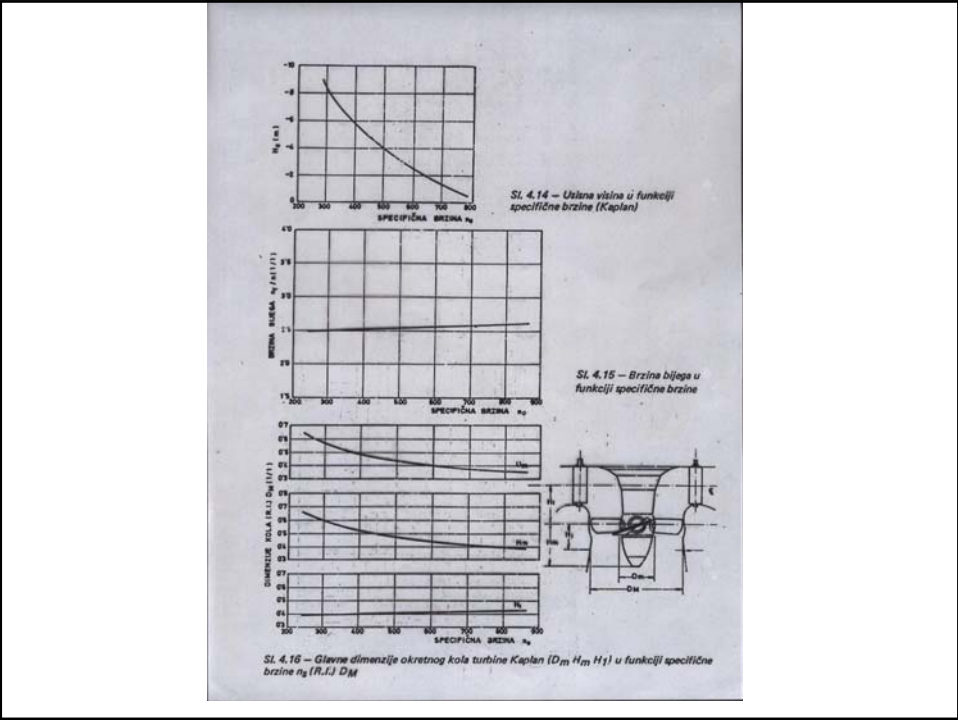
Figure 4.5 Curves of turbine efficiency variation. SOURCE: U.S. Bureau of Reclamation.

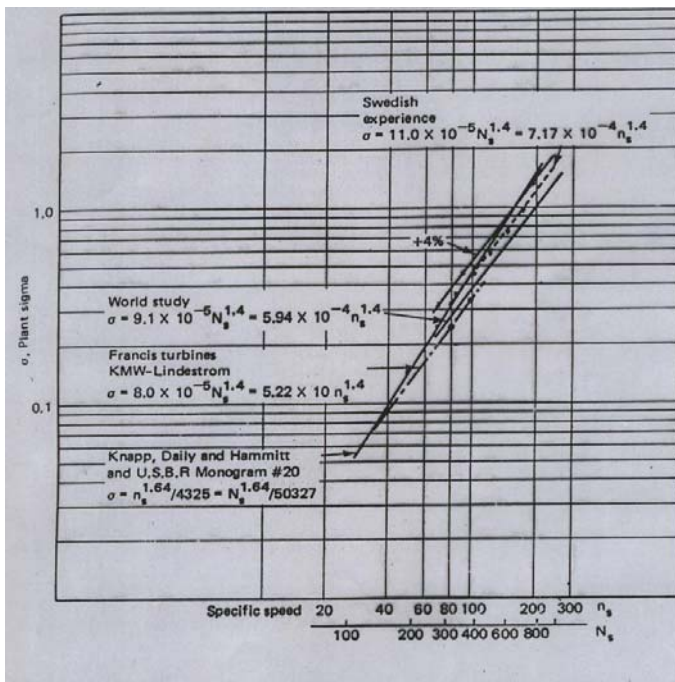
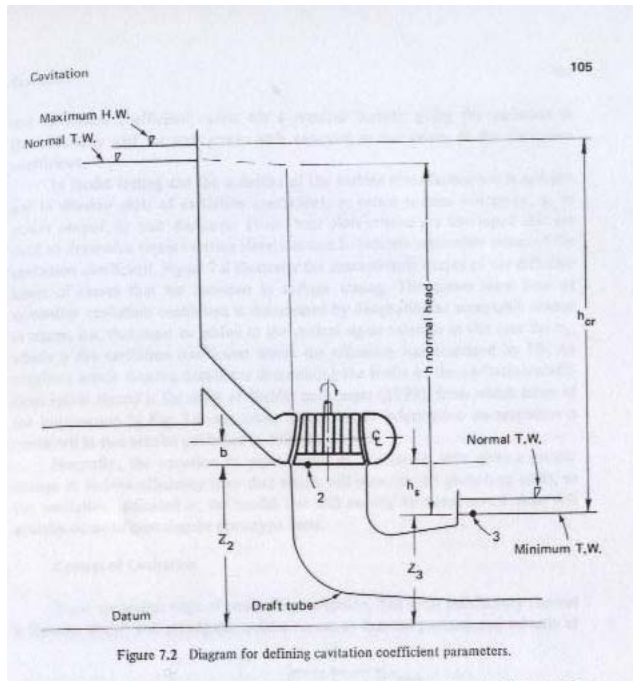


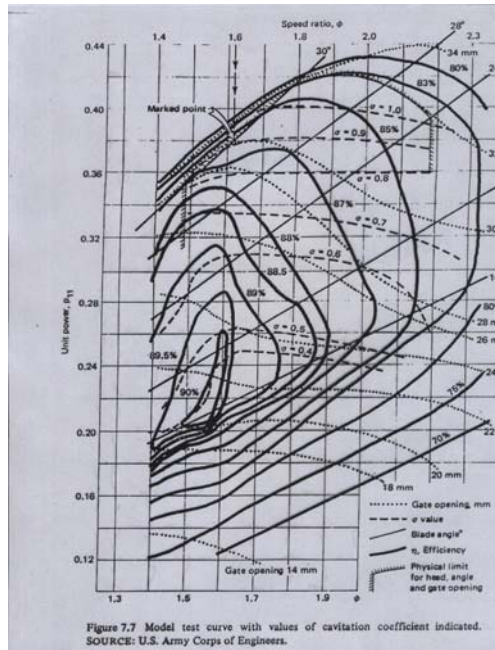
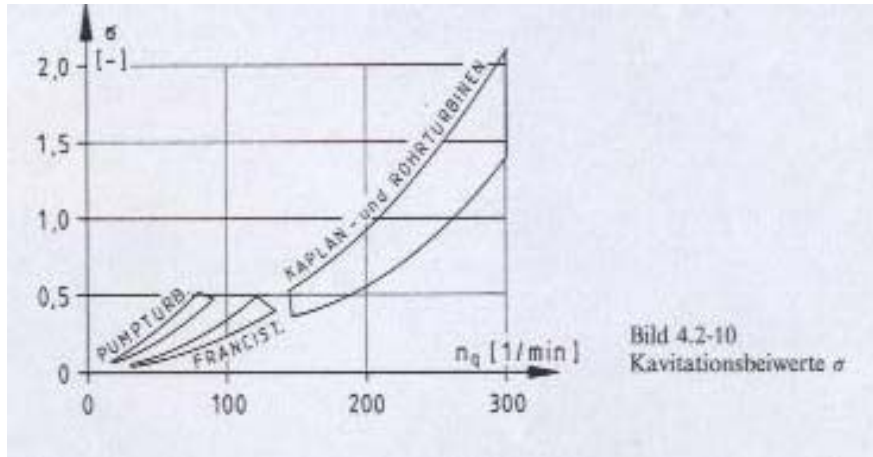
Slika 10.48.: Karakteristika k.k.d.- snaga-pad na je ta karakteristika za jednu Francis-ovu turbinu (D Pored k.k.d. pomoćnim linijama je prikazana i neophodna hodna za zaštitu od kavitacije.

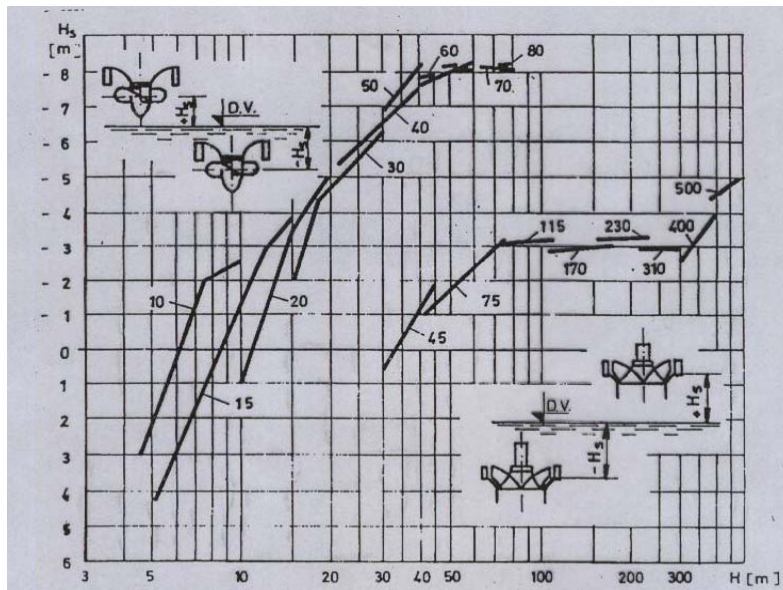




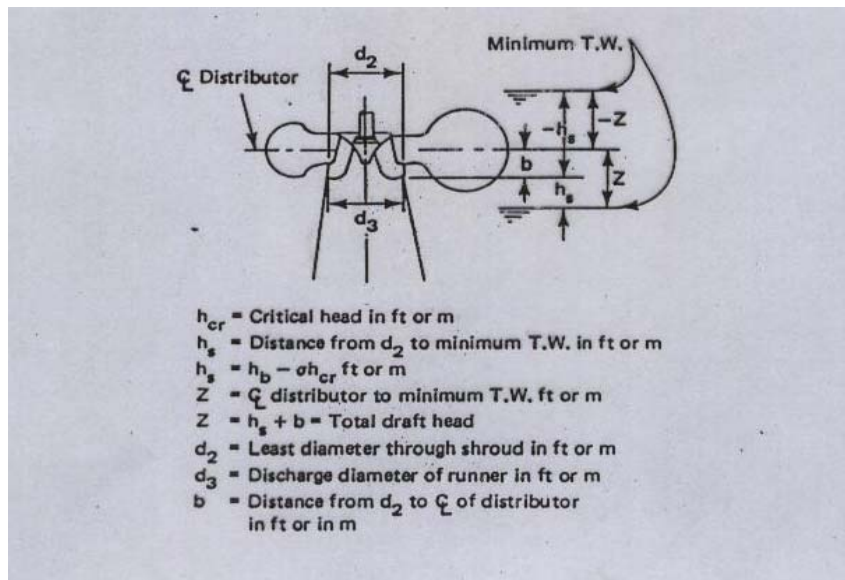


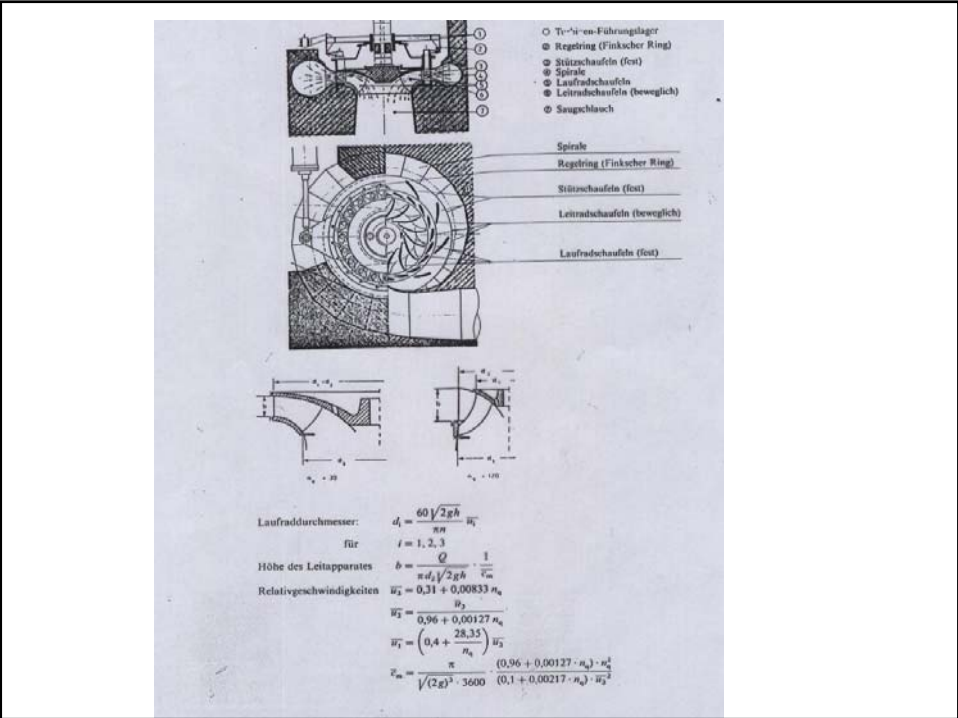
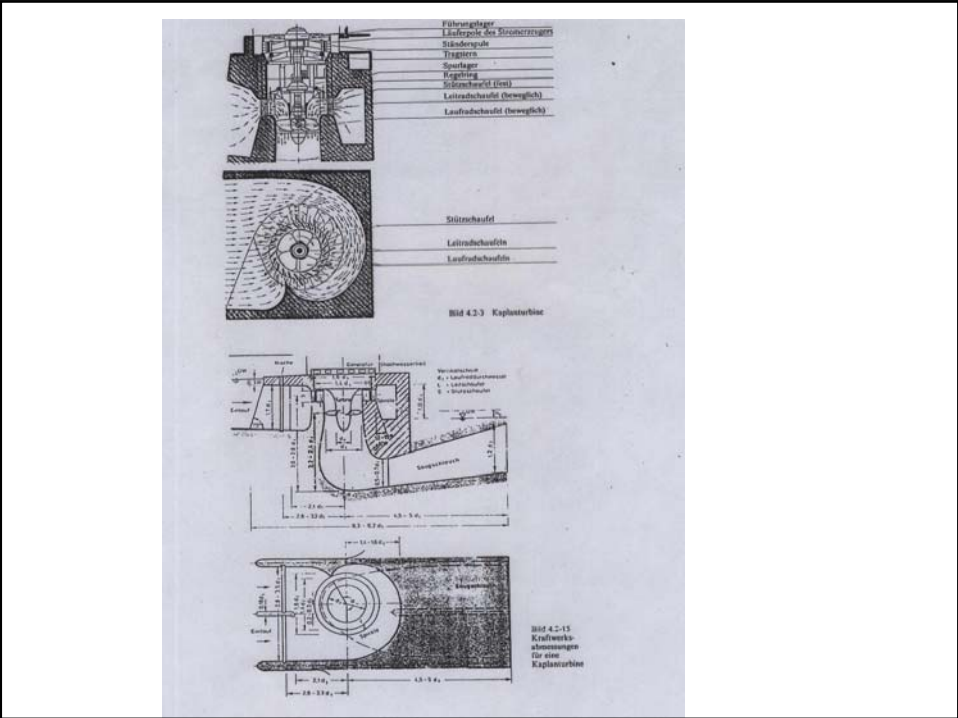


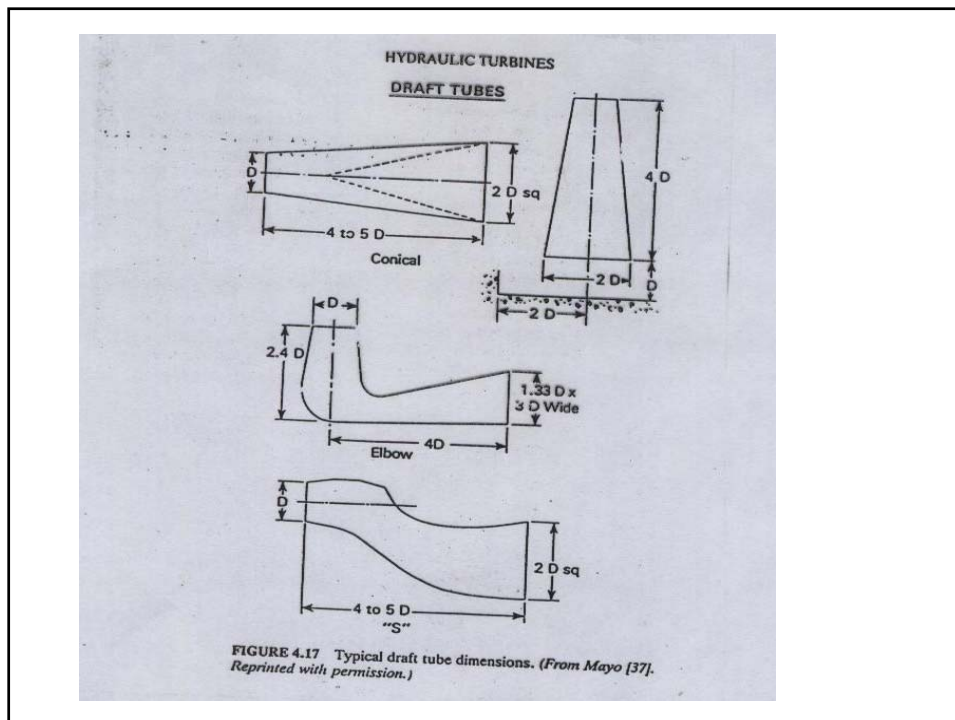
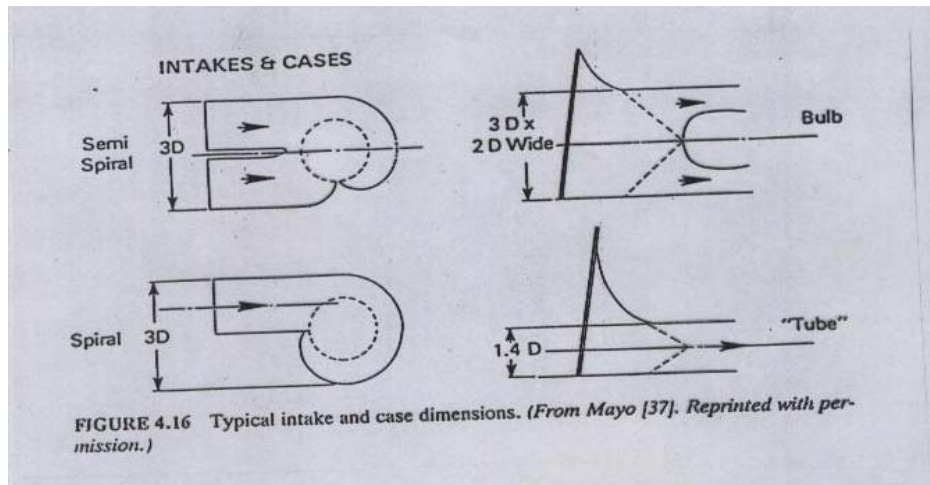




Slika 2.14.36. Nomogrami za upoređenje usisnih visina



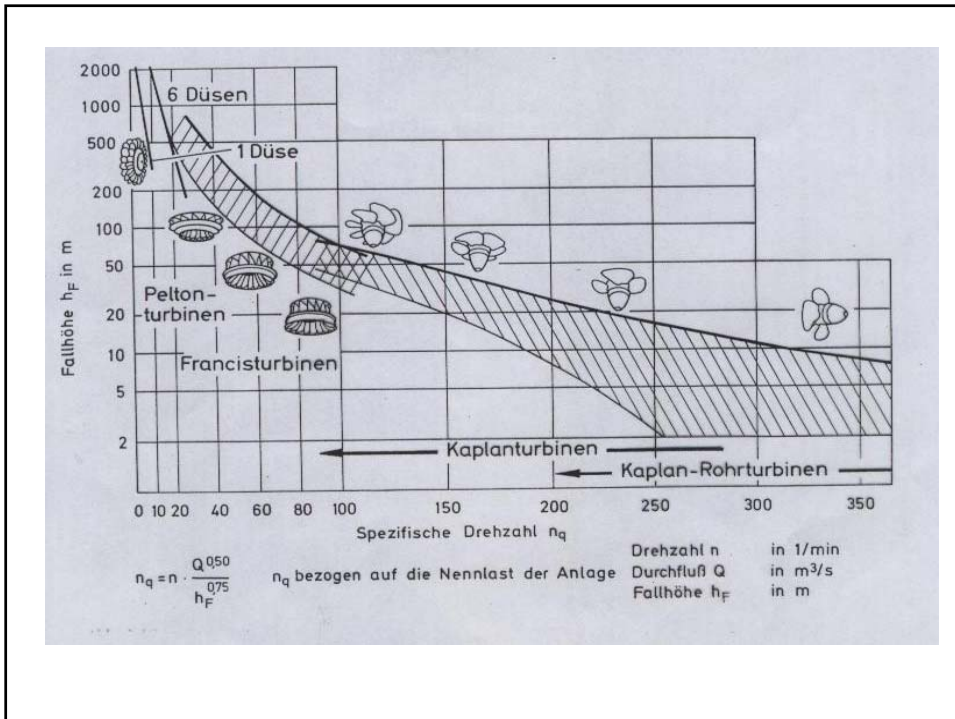
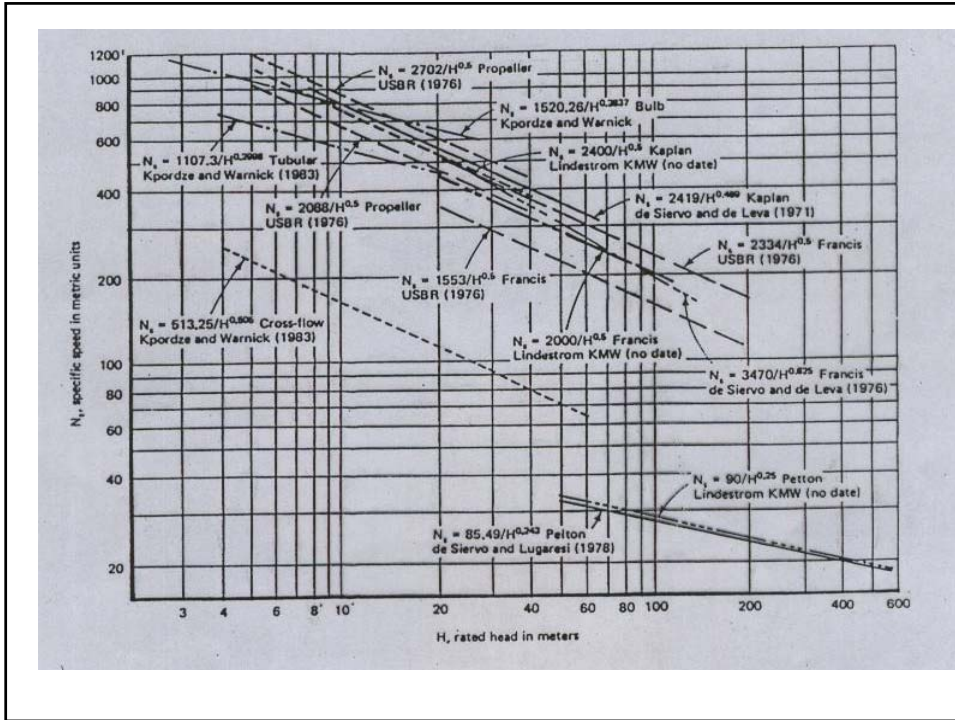




Broj i veličina agregata (proizvodne grupe)

- Na osnovi raspoloživog pada procjenjuje se tip turbine i specifična brzina.
- Na osnovi raspoložive količine vode (Q [m^3/s]) i granične snage pojedinih turbina bira se broj jedinica.
- Raspoloživa voda – 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 također može dijelom utjecati na izbor rješenja.
- Uvjeti transporta – dopreme opreme do strojarnice (u cijelosti ili u dijelovima).



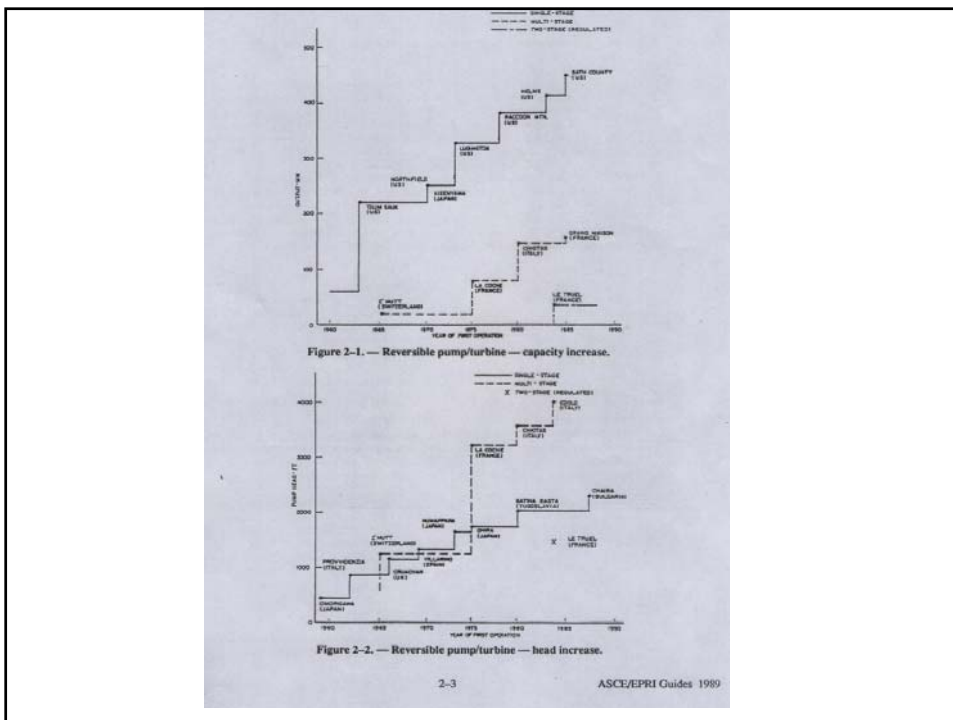
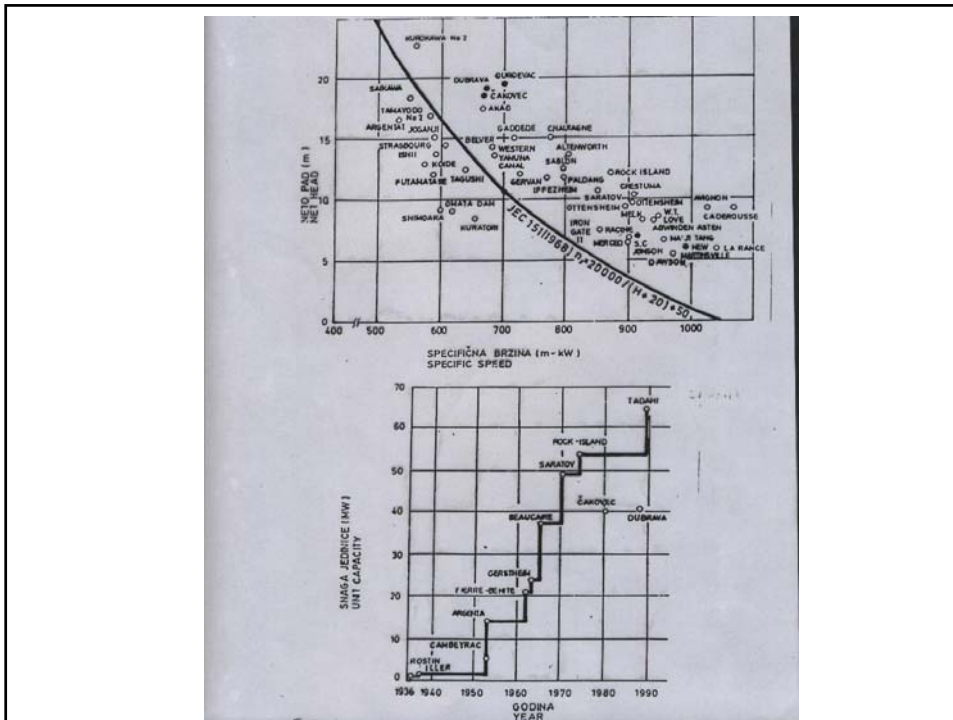


Figure 2-1. — Reversible pump/turbine — capacity increase.

Figure 2-2. — Reversible pump/turbine — head increase.

Područje primjene pojedinih turbina ($P \geq 10$ 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

Generatori

- Danas uglavnom sinkroni generatori. Budući da ih pokreću vodne turbine nazivaju se i hidrogeneratori.
- Za manja postrojenja izuzetno se koriste i asinkroni generatori.
- Glavni dijelovi su stator i rotor. Korisni namot nalazi se uglavnom na statoru. Na stezaljkama tog namota (obično iz bakra) električna se energija oduzima kod generatora, a privodi kod motora.
- Aktivni (korisni) namot se sastoji iz pojedinih zavoja koji su tako raspoređeni da se promjenom struje odnosno napona stvara tzv. okretno polje.

- Kod motora to ima za posljedicu vrtnju rotorskog namota u smjeru polja.
- Kod sinkronih strojeva se to polje stvara vrtnjom rotora i njegovog namota pa u statorskom namotu nastaju tzv trofazne (ili višefazne) struje koje se dobivaju na stezaljkama generatora.
- Prividna snaga $S = \sqrt{3} U J$ [VA]
 - U linijski napon (V); J linijska struja (A)
- Djelatna ili radna snaga $P = \sqrt{3} U J \cos\varphi$ [W]
 - $\cos\varphi$ – faktor snage (kosinus faznog pomaka između struje i napona iste faze)
- Zamašni moment $G D^2$
 - D (m) – unutarnji promjer statorskog namota; G (kg) – masa generatora

- Akceleracijska konstanta

$$T_a = 2 \times \text{kinetička energija (kWs)} / \text{nazivna snaga (kW)}$$

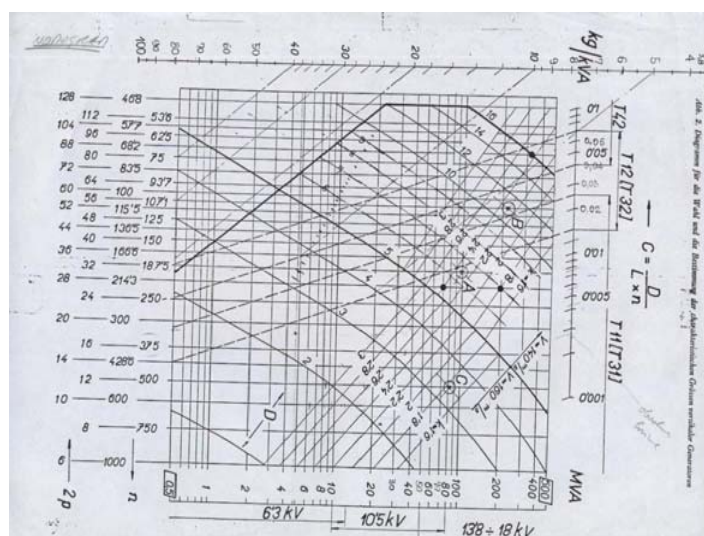
$$T_a = GD^2 n^2 / C S \text{ (s)}$$

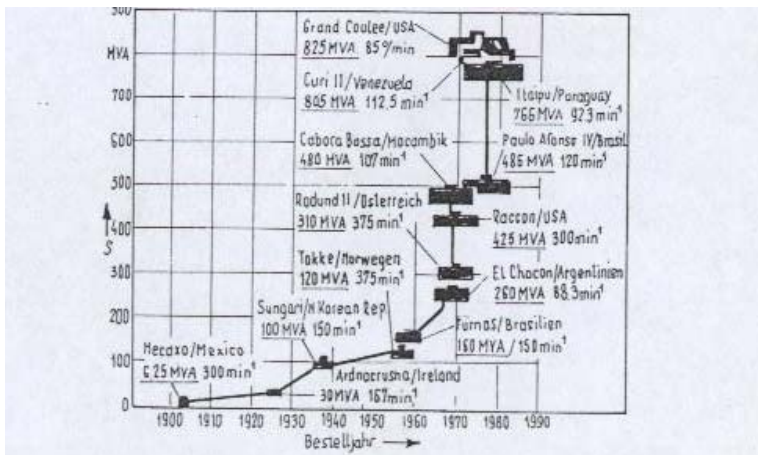
- n – nazivni broj okretaja (nazivna brzina vrtnje) (min⁻¹)
- C – konstanta (C = 730)

	Vertikalni generator	Generator cijevne turbine
GD ² (tm ²)	10000	4100
n (min ⁻¹)	75	75
S (MVA)	31,5	31,5
T _a (s)	4,8	2,0

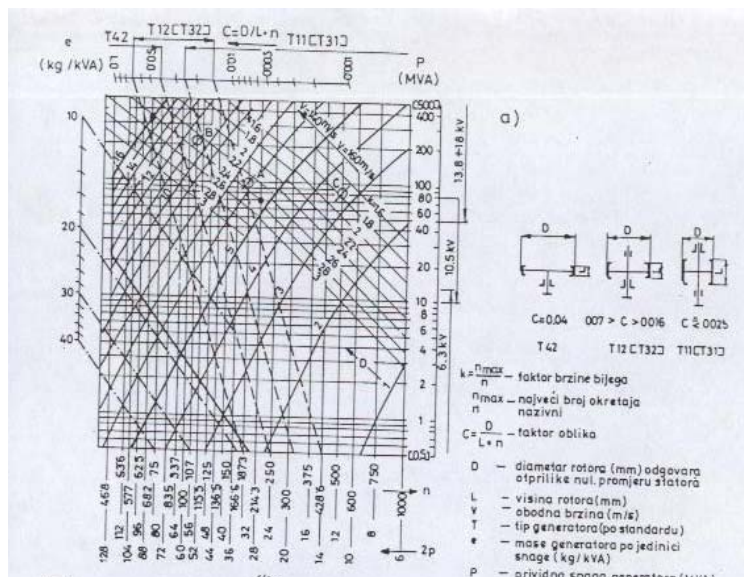
Za otočni rad poželjno je T_a = (3-5)s; a za paralelni pogon s mrežom T_a = (1-2)s

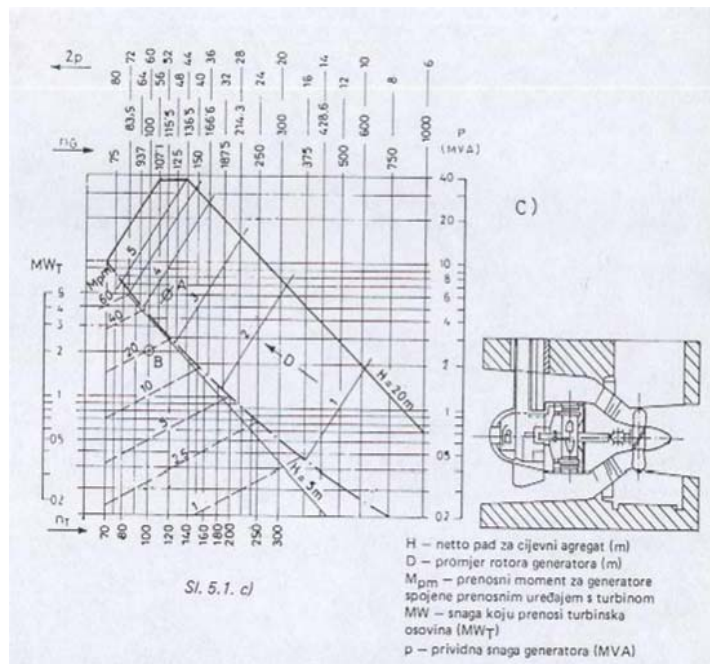
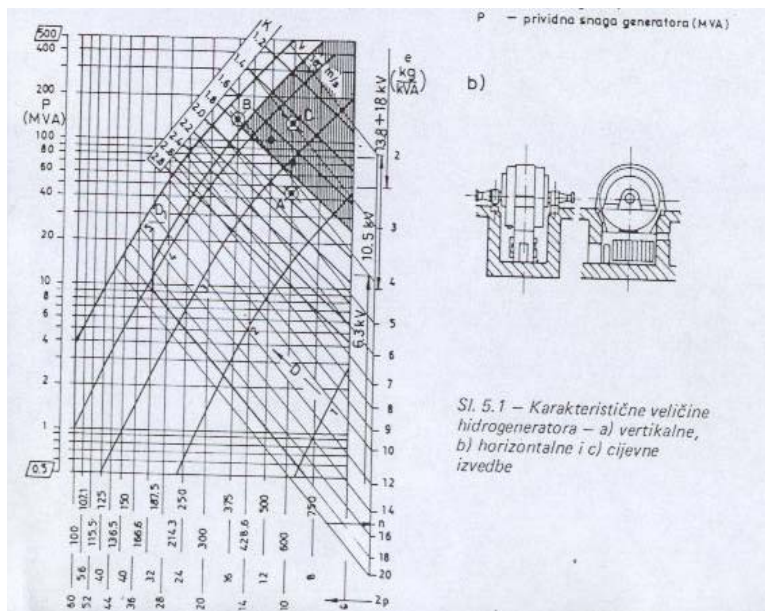
- Nazivni naponi su 6,3; 10,5; 13,8 – 18,2 (kV)





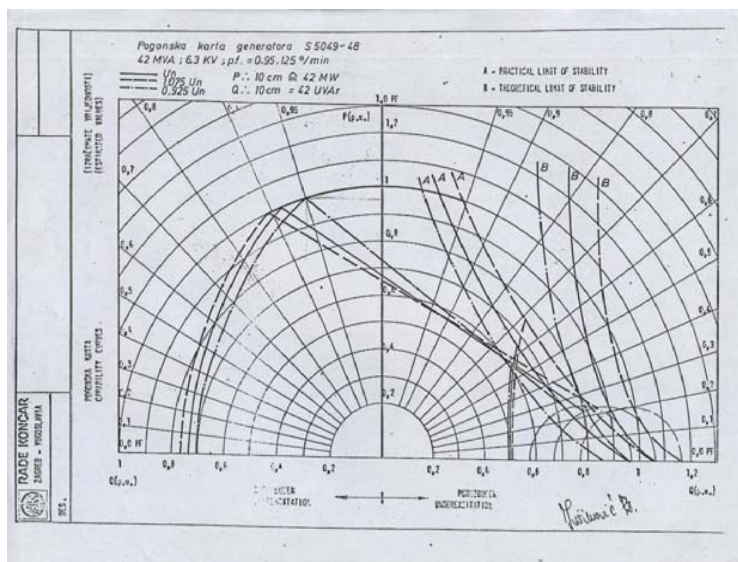
Sl. 5.2 – Razvoj porasta nazivne snage hidrogeneratora od 1900–1980. godine

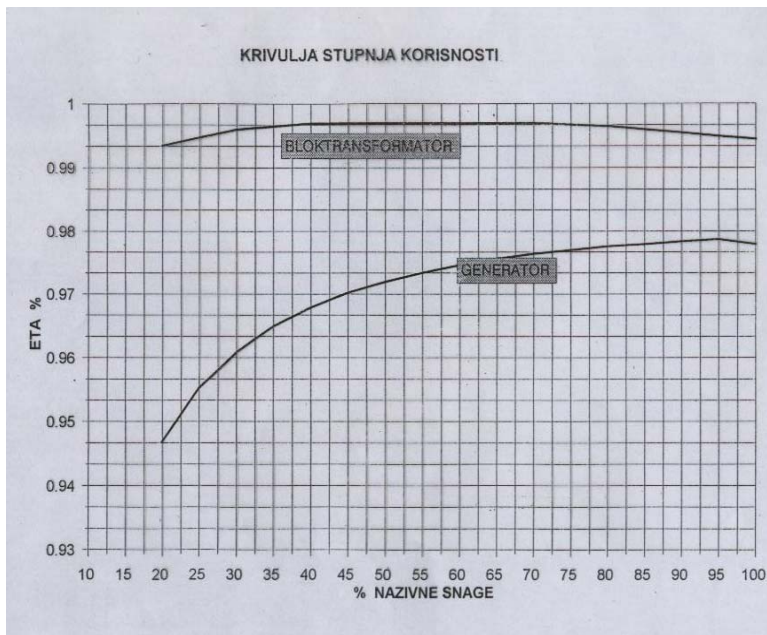
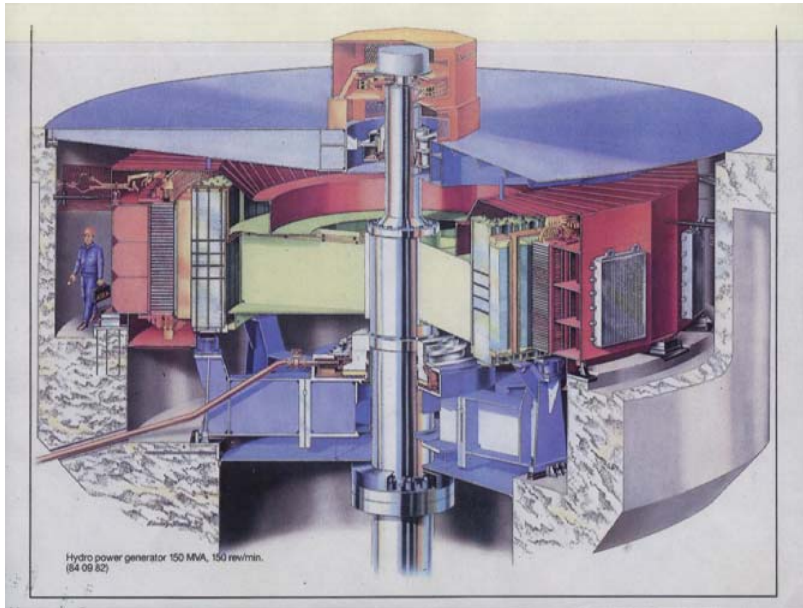


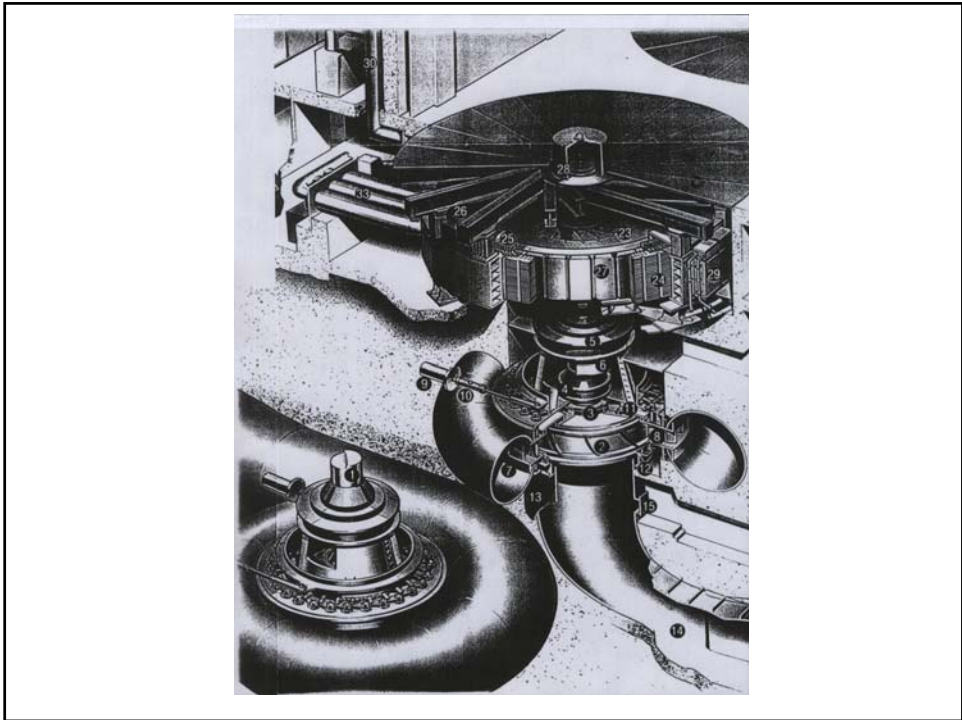


- Hlađenje generatora
 - Zračno
 - Otvoreni (<10 MVA)
 - Zatvoreni (hladnjaci)
 - Vodeno

• Stator	vodom	vodom
• Rotor	zrakom	vodom
- Kočenje
- Uzbuda



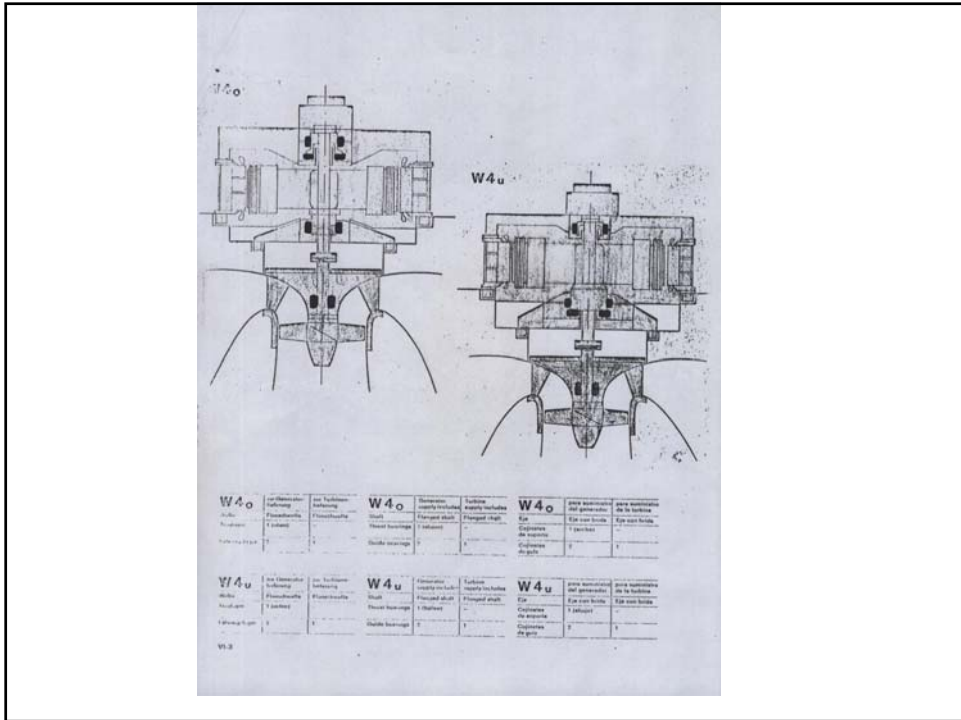
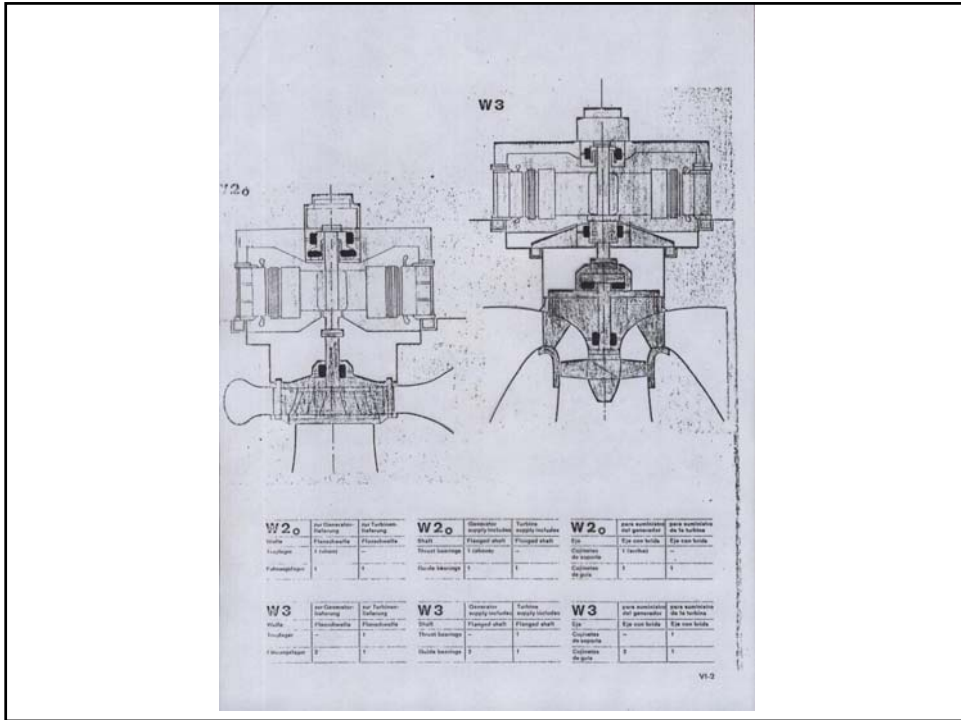


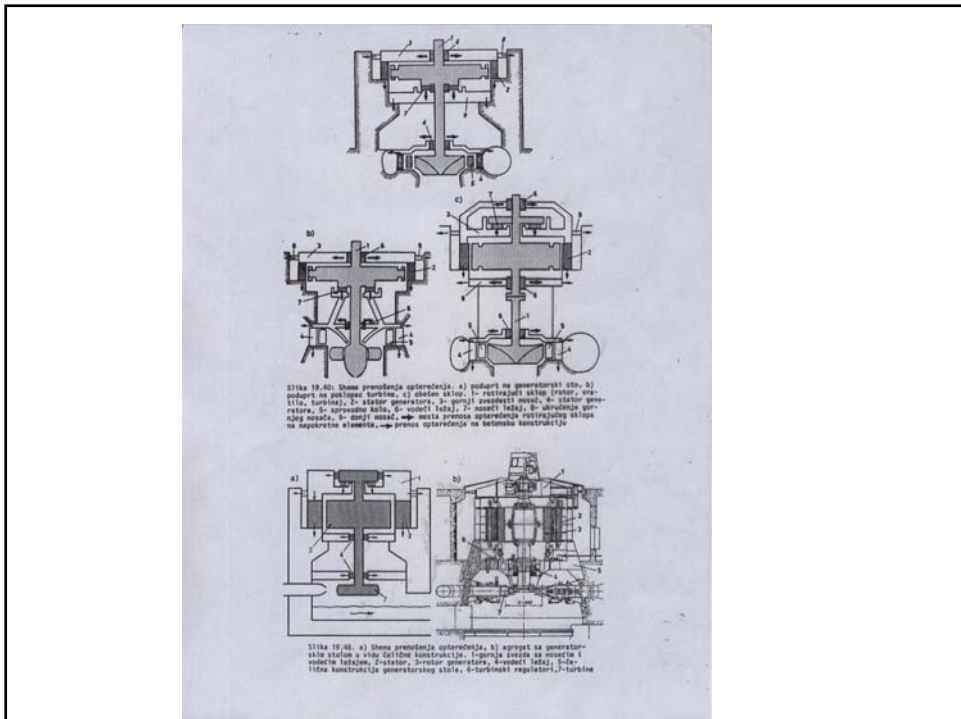
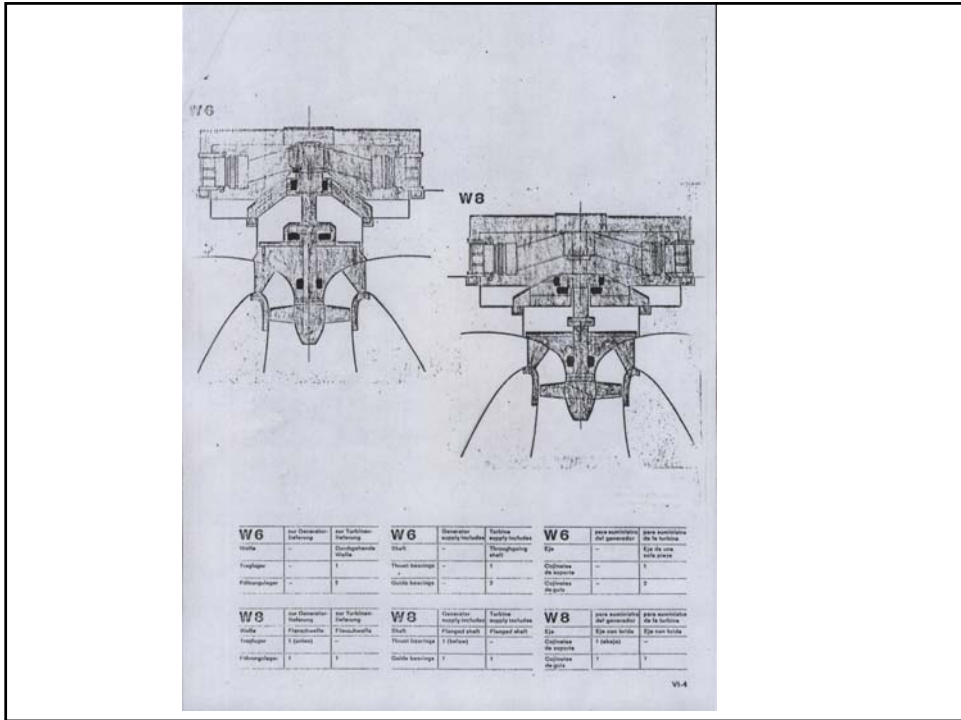


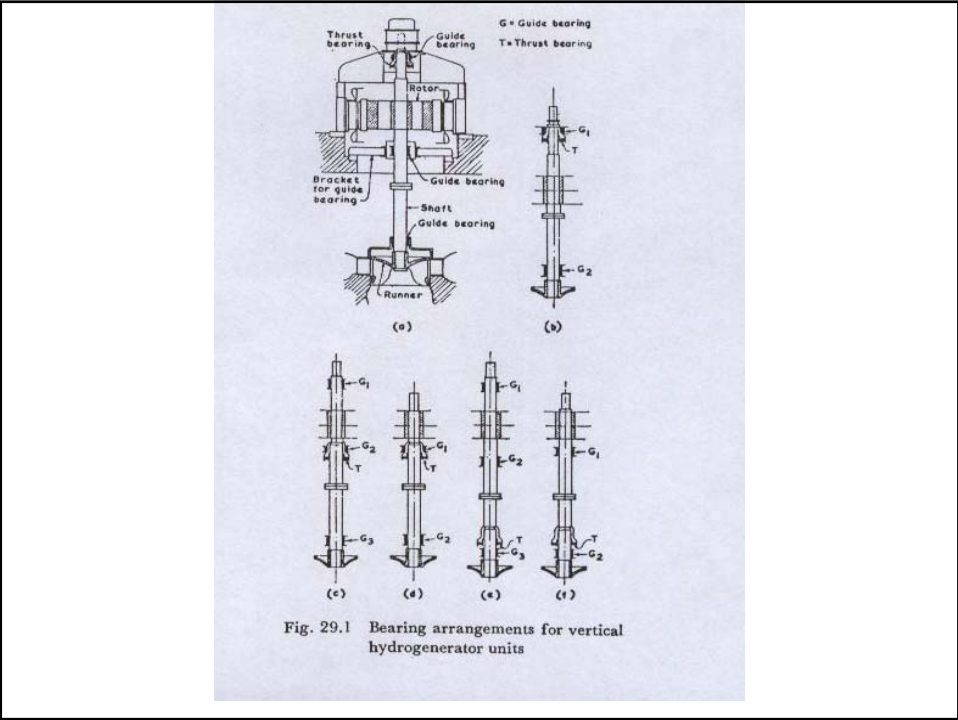
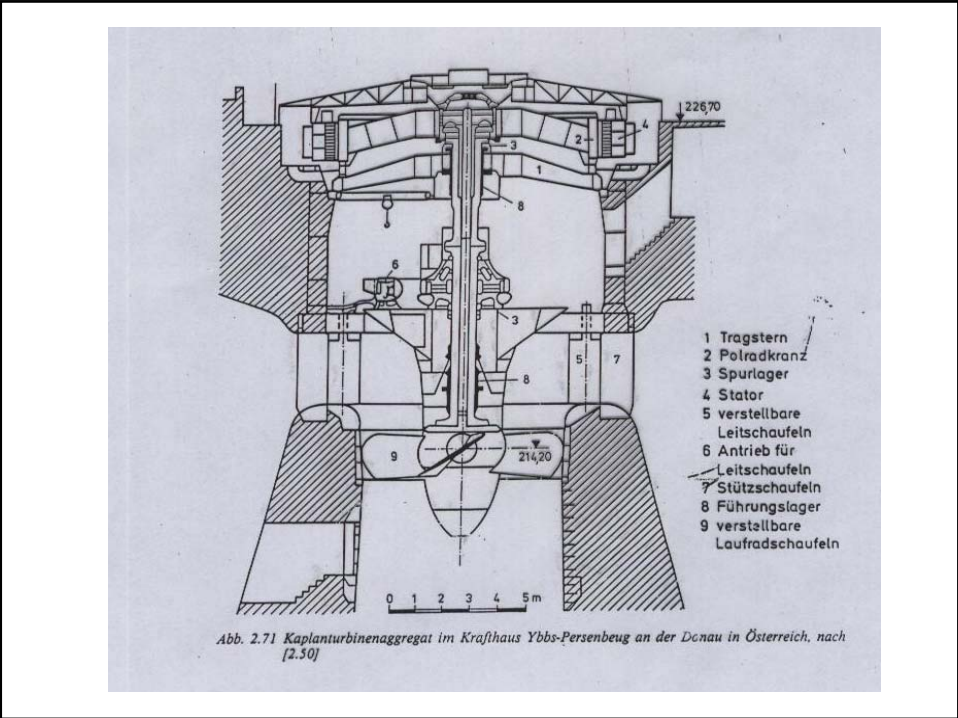
W 1

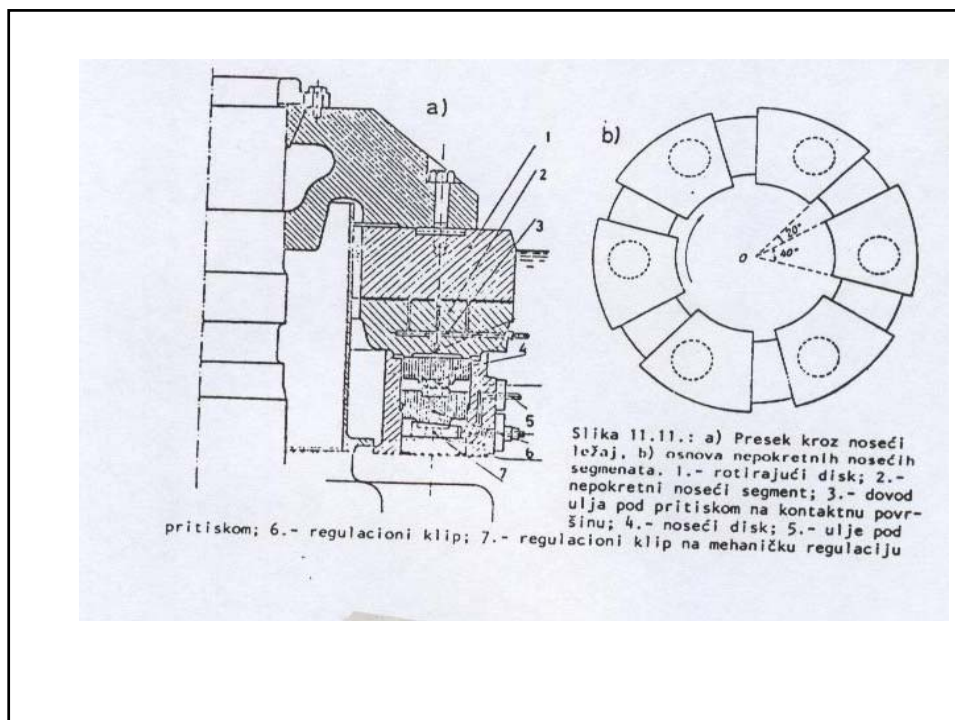
DG/12*	mit Dichtung Verriegelung	mit Tuckring- Verriegelung	DG/12*	Glennschut- verriegelung	Tuckring- verriegelung	DG/12*	ohne Dichtung und Verriegelung	mit Dichtung und Verriegelung
Stufe	Flanschmaße	Flanschmaße	Stufe	Flanschmaß	Flanschmaß	Stufe	Flanschmaß	Flanschmaß
Anschlöße	—	—	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung
Bohrungen	—	—	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung
* 12 und 14: Maße ohne Flansch			* 12 und 14: Maße mit Flansch			* 12 und 14: Maße mit Flansch		
W 1	mit Dichtung Verriegelung	mit Tuckring- Verriegelung	W 1	Glennschut- verriegelung	Tuckring- verriegelung	W 1	ohne Dichtung und Verriegelung	mit Dichtung und Verriegelung
Stufe	Flanschmaße	Flanschmaße	Stufe	Flanschmaß	Flanschmaß	Stufe	Flanschmaß	Flanschmaß
Bohrungen	—	—	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung
Flanschbohrung	—	—	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung	Flanschbohrung
* 12 und 14: Maße ohne Flansch			* 12 und 14: Maße mit Flansch			* 12 und 14: Maße mit Flansch		

W 1









Transformatori snage (energetski transformatori)

- Transformatori služe za pretvaranje (električne energije) stanovitog izmjeničnog napona, određene frekvencije, u drugi napon jednake frekvencije.
- Transformator se sastoji od jezgre složene iz tankih visokolegiranih limova međusobno izoliranih zbog smanjenja gubitaka. Na jezgru su navučeni namoti višeg i nižeg napona koji su međusobno izolirani.
- Ovisno o snazi transformatori se izvode u tzv suhoj izvedbi, a za veće snage i napone smješteni su u kotao iz čeličnog lima, koji je napunjen specijalnim mineralnim uljem. Kroz kotao prolaze provodni izolatori višeg i nižeg napona za priključak na dio instalacije u koju se transformator ugrađuje.

- Transformatori se prema namjeni dijele na:
 - energetske transformatore
 - blok transformator (transformacija energije proizvedene u generatoru s kojim je spojen direktno)
 - mrežni transformator (vrši transformaciju u mreži)
 - mjerne transformatore (mjerenje struje i napona)
 - specijalne transformatore (za posebne svrhe)

- Smješta se što bliže generatoru. (skice)

- Generator daje između 6 i 18 kV a u mrežu se upućuje:
 - 35 kV (transformator manje snage)
 - 110 kV (< 50 MVA)
 - 220 kV (< 200 MVA)
 - 380 kV (> 200 MVA)

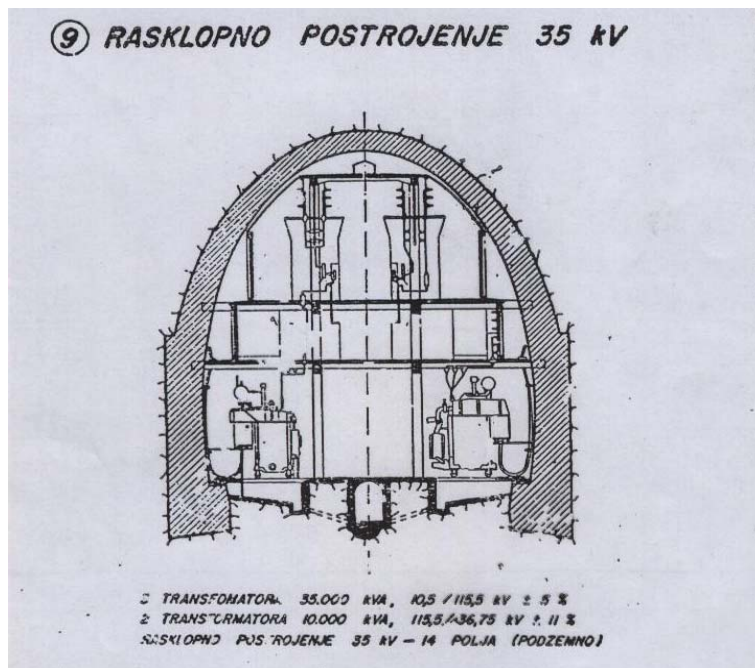
- Jedna proizvodna jedinica ima jedna blok transformator jednake prividne snage kao i generator.
- Hlađenje – ulje hlađeno vodom (ispod transformatora izvodi se sabirni kanal za ulje).
- Doprema – veliki su tereti i velikih gabarita te se treba posebno planirati doprema i unutarnji transport.
- Visina transformatora kreće se od 8 do 10 m,
- Dužina transformatora je 6 - 18 m.
- Širina se kreće od 4 – 10 m (manja nazivna snaga – manje dimenzije).
- Masa se kreće od 80 do 350 t po jedinici ovisno o prividnoj snazi.

Rasklopno postrojenje

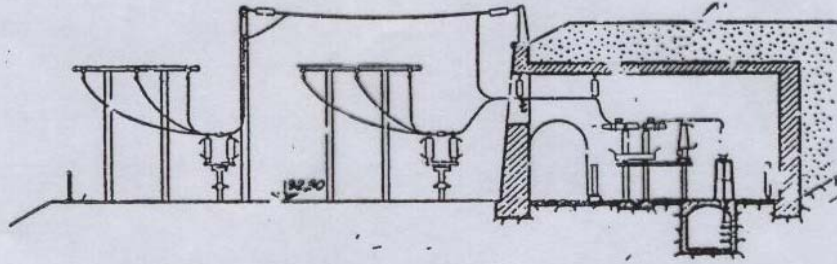
- Smješta se van strojarnice i van podzemnih prostorija.
- Orijentaciono su potrebne površine:
 - 35 kV postrojenje ~ 200 m²
 - 110 kV postrojenje ~ 450 m²
 - 220 kV postrojenje ~ 1300 m²
 - 380 kV postrojenje ~ 3000 m²
- Zadaća rasklopnog postrojenja je prijenos energije iz sustava u sustav. Povezuje izvor (ili izvore) energije s mrežom.
- Rasklopno postrojenje sadrži komponente koje omogućuju uklapanje i isklapanje pojedinih dijelova prijenosnih linija.

- Niskonaponska RP < 1000 V (380; 600 V);
- Visokonaponska RP > 1000 V (3; 6; 10; 20; 30; 110; 220; 380 kV)
- Unutarnja i vanjska RP
 - S konvencionalnom opremom (otvorena –vanjska)
 - Blindirana izvedba SF₆ (sumpor hexafluorid).
- Uređaji za uklapanje i isklapanje:
 - Rastavljači – vidljivo odvajanje (u neopterećenom stanju)
 - Učinski rastavljači – za mali teret
 - Dozemni rastavljač.
 - Prekidači snage – uklapanje i isklapanje u normalnim pogonski uvjetima, kod kratkog spoja i u najnepovoljniji uvjetima (zračni, malouljni i SF₆).

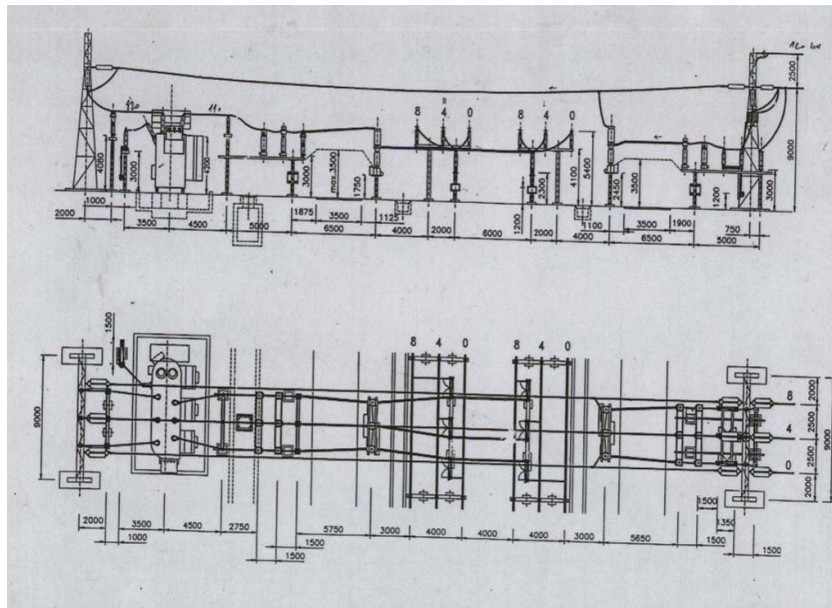
- Elementi RP:
 - Sabirnice
 - Rastavljači
 - Prekidači
 - Mjerni transformatori
 - Prigušnice (ograničenje struja kratkog poja)
 - Transformatori
 - Ostala oprema (spojni i ovjesni materijal; izolatori; upravljački, zaštitni i signalni uređaji; energetska i signalna kablovi; uređaji uzemljenja; kompresorski uređaji; itd)

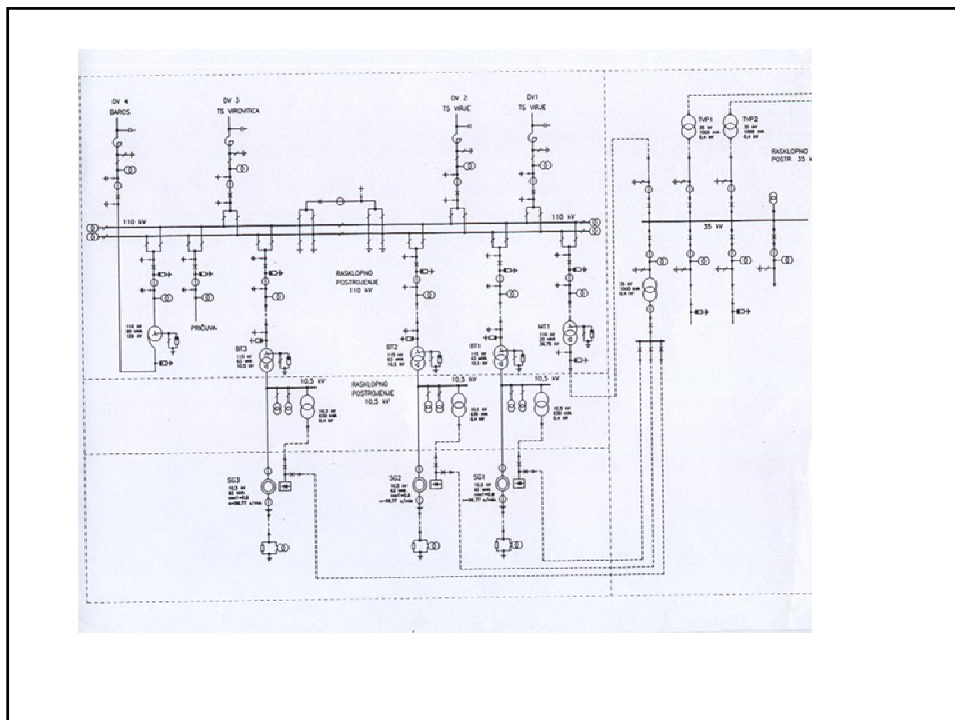


⑩ RASKLOPNO POSTROJENJE 110 KV



RASKLOPNO POSTROJENJE 110 KV - 18 POLJA (NADZEMNO)

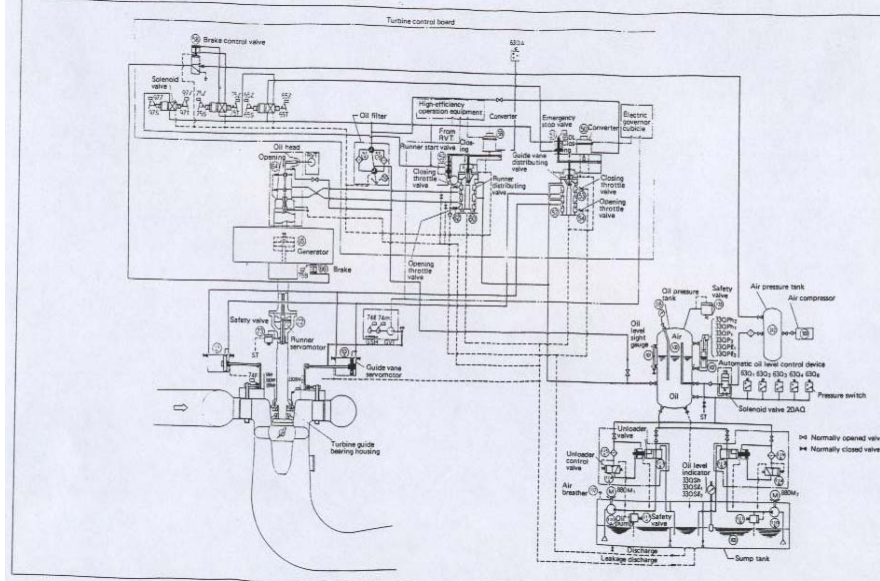




Sustav regulacije vodnih turbina i električnih generatora

- Osnovni princip – traži se automatska regulacija izlazne veličine (regulirana veličina). Ta veličina treba biti čim bliža poredbenoj veličini usprkos poremećajima.
- Dobra regulacija:
 - Precizna i pouzdana u stalnom režimu
 - Stabilna i brzi odziv u prijelaznom režimu.
- Danas se koriste elektronički sklopovi (ranije–mehanički)
- Sustav regulacije sastoji se iz:
 - Regulatora (turbinski (regulacijski krug frekvencije – brzina vrtnje; regulacijski krug snage) (podaci iz EES, GV,DV)
 - Mjernih organa koji daju signale povratne veze
 - Organa koji izvršavaju naloge dane od regulatora (servomotori regulacije koji reguliraju uređaje za dovod vode turbini).

Fig. 2. Automatic control of Kaplan turbine

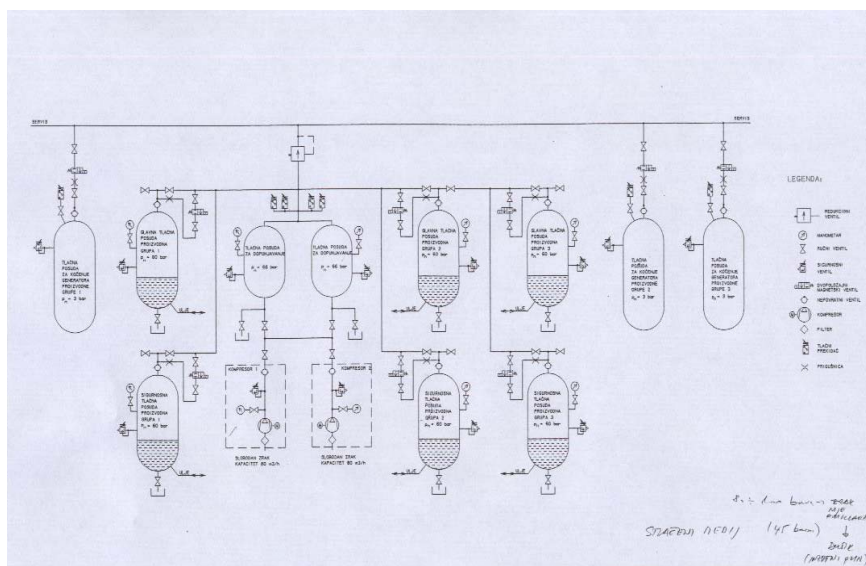


Odvodnja i rashladna voda

- Odvodnja (pražnjenje se treba obaviti za 6 – 8 sati)
 - Procjedne vode
 - Protočnog trakta
- Rashladna voda
 - Hlađenje generatora (oko 60% ukupne rashladne vode)
 - Hlađenje ulja generatora (10 – 20%)
 - Hlađenje ležajeva (noseći i vodeći) (~ 15%).
 - Podmazivanje brtve (labirinta brtve – osovina / kućište)
 - Potreba oko 1 l/s po 1 MW snage.
- Voda za piće

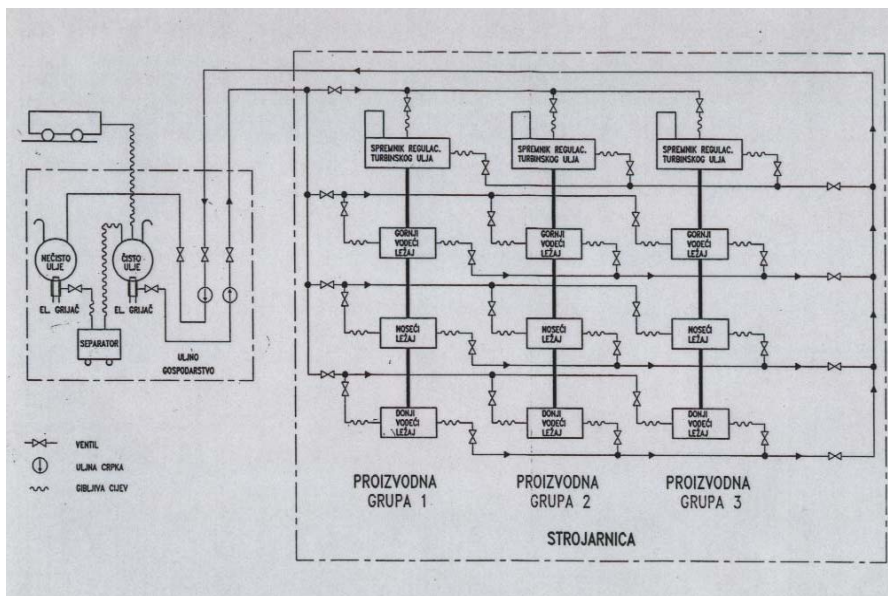
Tlačni zrak

- Izvode se dva sustava:
 - Visokotlačni (4 – 6 MPa)
 - Niskotlačni (0,7 MPa)
 - (brzine strujanja zraka su od 20 – 30 m/s)
- Koristi se za:
 - Stavljanje pod pritisak ulja u rezervoarima uljne regulacije (4-6 MPa)
 - kočenje generatora
 - Ispuhivanje vode iz protočnog trakta reverzibilnih proizvodnih grupa (0,7 MPa)
 - Pneumatske sklopke visokog napona (4-6 MPa)
 - Sustave zračnog hlađenja.



Uljno gospodarstvo

- **Turbinsko ulje** koristi se za:
 - Regulaciju ($W_{ulja} = k m P \sqrt{D \sqrt{H}}$)
 - $k = 1$ (kod dvojne regulacije- Kaplan, cijevna)
 - $k = 0,5 - 0,6$ (Francis)
 - $k = 1,5$ (Pelton)
 - m – broj agregata
 - P – snaga (MW)
 - D – promjer turbine (m)
 - H – pad (m)
 - Servouređaje zatvarača
 - Podmazivanje ležajeva ($W_{podmazivanja} = 0,3 W_{ulja}$)
- **Izolacijsko ulje** – koristi se u transformatorima
- Rezervoari za neiskorišteno, korišteno i pročišćeno ulje.



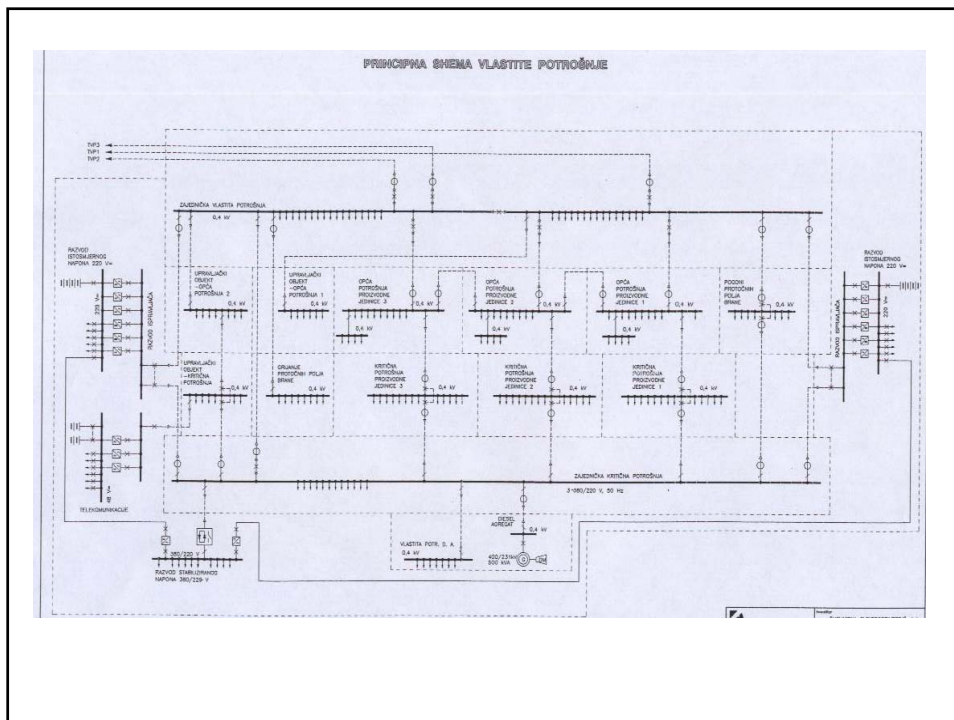
Vlastita potrošnja

- Neprikosnoveni potrošači (bez prekida)
- **KRITIČNA POTROŠNJA**
 - DIESEL AGREGAT
 - Uzbuda generatora
 - Sustav uljne regulacije
 - Sustav za hlađenje (s pumpama)
 - Tlačni zrak
 - Sigurnosni uređaji (požar; signalizacija)
 - AKU baterije (istosmjerno napajanje)
 - Upravljačko – informacijski sustav

- **Kratkotrajno bez napajanja:**
 - Crpke drenažnog sustava
 - Zatvarači
 - Osvjetljenje hale
 - Uređaji za punjenje akumulatora
- **Dulje bez napajanja:**
 - Dizalice
 - Filtracija i obnavljanje ulja
 - Osvjetljenje kruga, skladišta, radionica,
 - Osvjetljenje ostalih manje značajnih operativnih prostora.

- Istosmjerna struja (rezerva AKU baterije)
 - Upravljanje
 - Signali
 - Zaštitni i kontrolni uređaji.

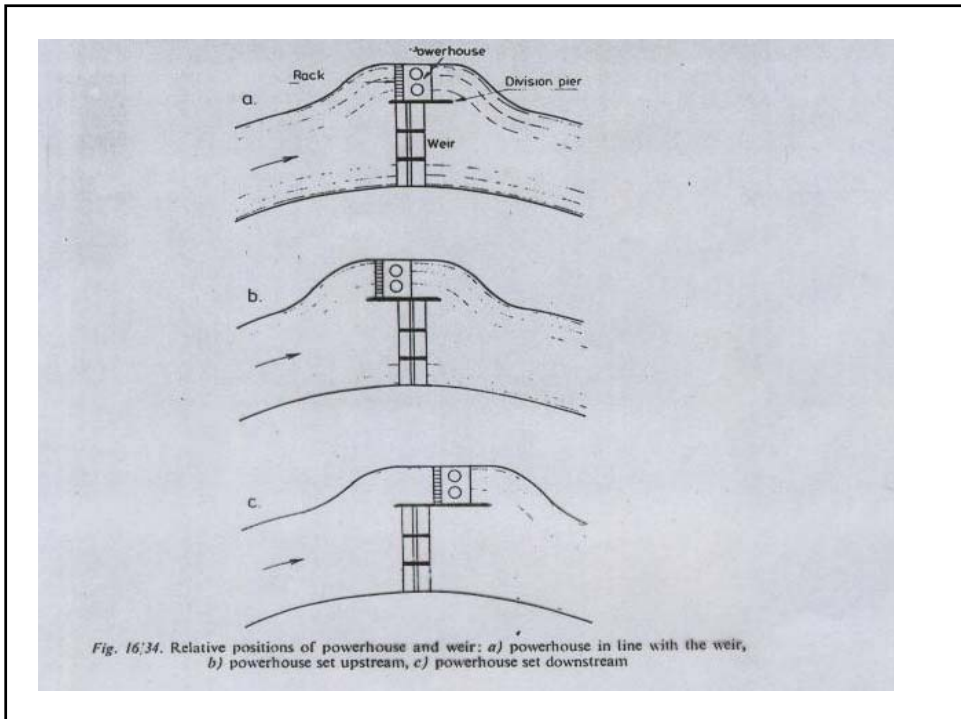
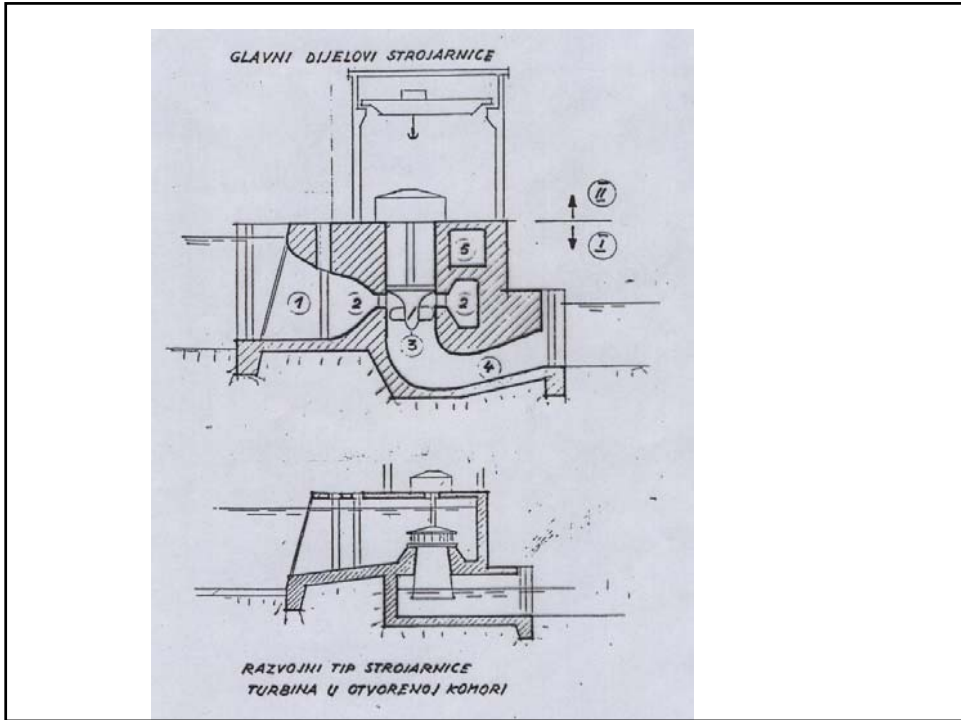
- Siguronosni sustav traži dva nezavisna sustava napajanja:
 - Glavni sustav:
 - Ako ne radi HE – iz EES preko kućnog transformatora
 - Ako radi HE – generator – blok transformator – vlastito napajanje (0,5 – 0,8 % P_i)
 - Rezervni sustav:
 - Kod manjeg pada HE – diesel agregat
 - Kod većeg pada kućna HE (kod većih postrojenja 0,3 – 0,4 % P_i)
 - (HE Senj za potrošače I i II grupe MHE i diesel agregat)



Strojarnica – dispozicija i rješenja

- Strojarnice se mogu promatrati sa različitih stajališta - kriterija.
 - **prema padu**
 - niskotlačne
 - srednjetlačne i
 - visokotlačne.
 - **prema rješenju zgrade strojarnice**
 - konvencionalna površinska
 - podzemna i
 - strojarnica u oknu.
 - **prema položaju osi turbine**
 - s vertikalnom osi
 - s vodoravnom osi i
 - s kosom osi (MHE; < 10 MW)

- Niskotlačna hidroelektrana je HE pada u pravilu manjeg od 30 m. Može biti pribranska i derivacijska. Za nju je karakteristično da je zgrada strojarnice dio brane ili se nalazi na derivaciji, te se konstruira i izvodi kao i brane.
- U pravilu su to površinske konvencionalne strojarnice s turbinama vertikalno ili vodoravno položenih osi.
- Obzirom na pad koriste se cijevne i Kaplan turbine.
- Konvencionalna strojarnica na površini može biti:
 - S montažnim prostorom
 - Poluvanjska s natkrivenim strojevima ali kranom izvana
 - Bez montažnog prostora
 - U stupu



summed by Stromkraftwerke AG in 1940

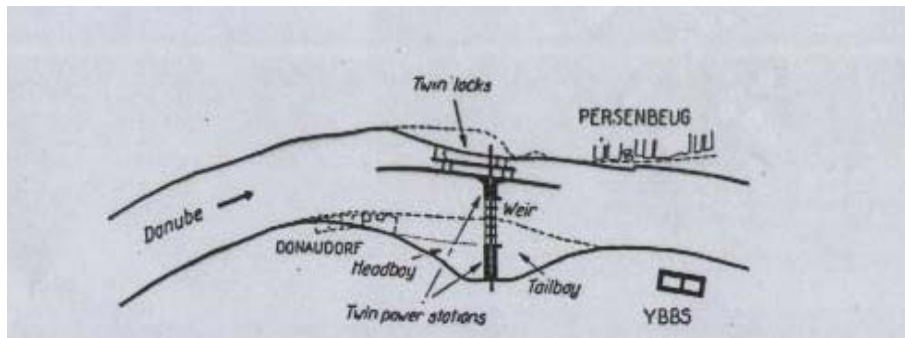
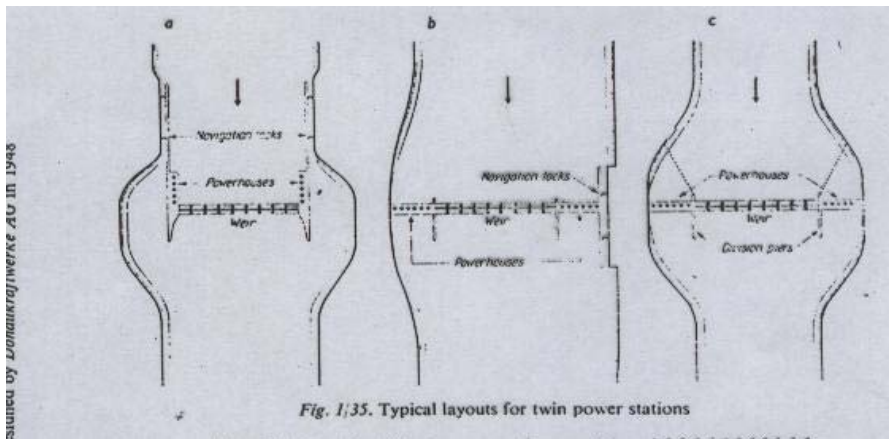


Fig. 2/35. One of the layouts suggested for the Ybbs-Persenbeug power station on the Danube, featuring a twin type of arrangement. Proposed by ...

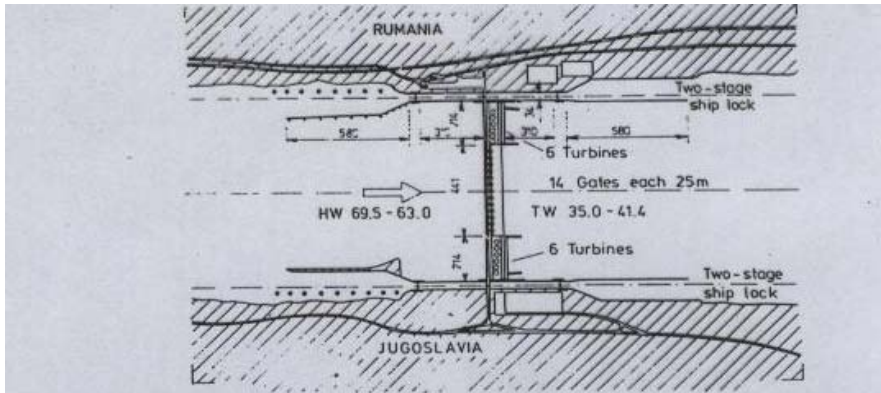
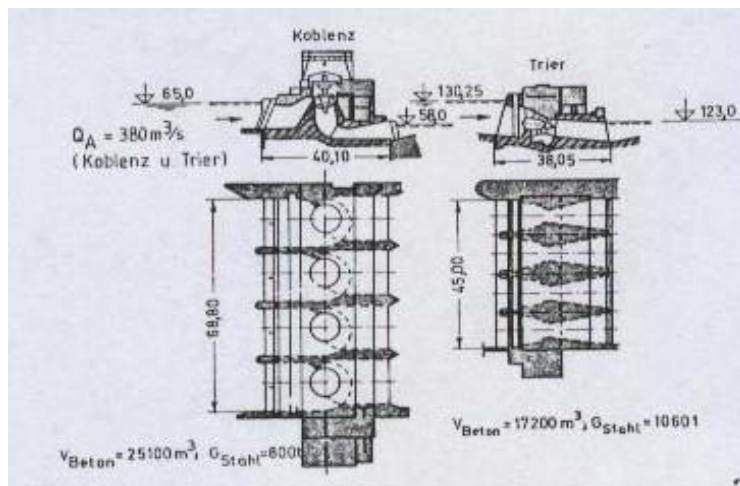
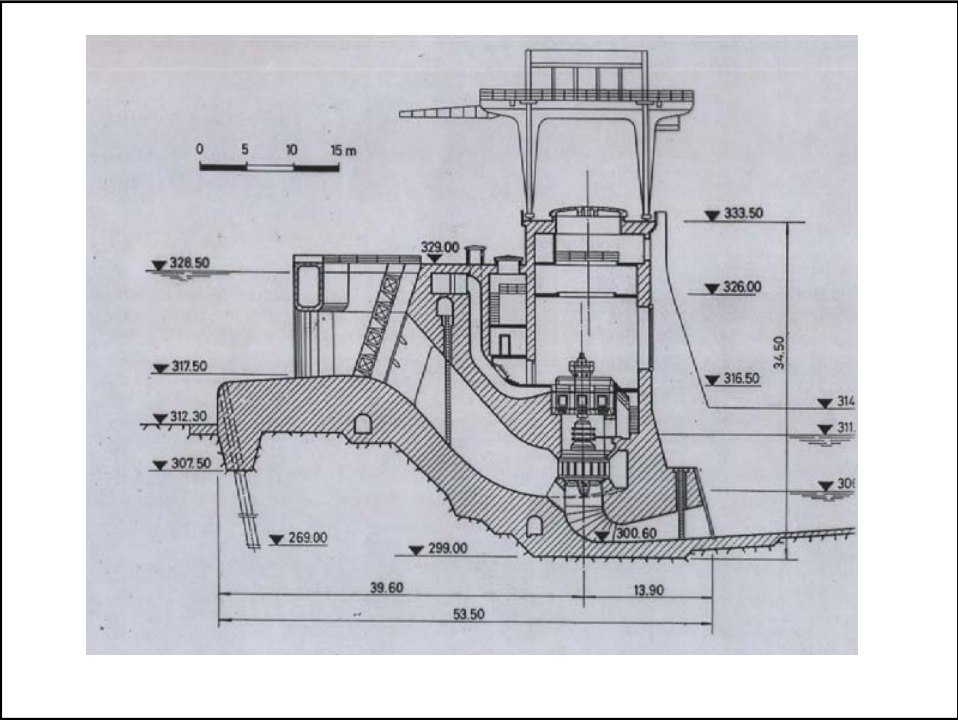
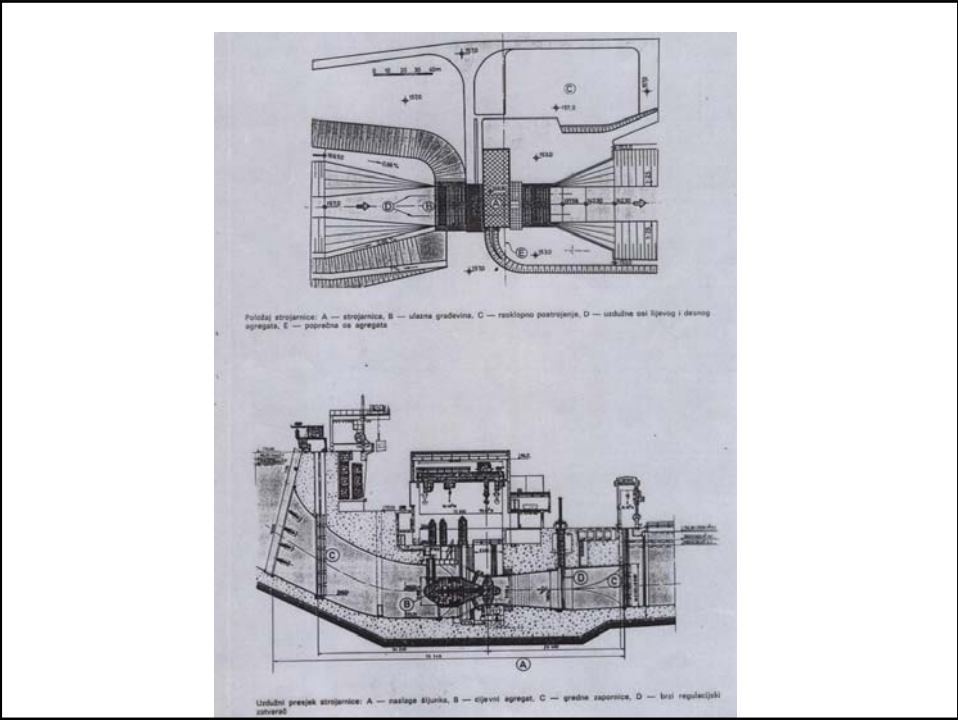
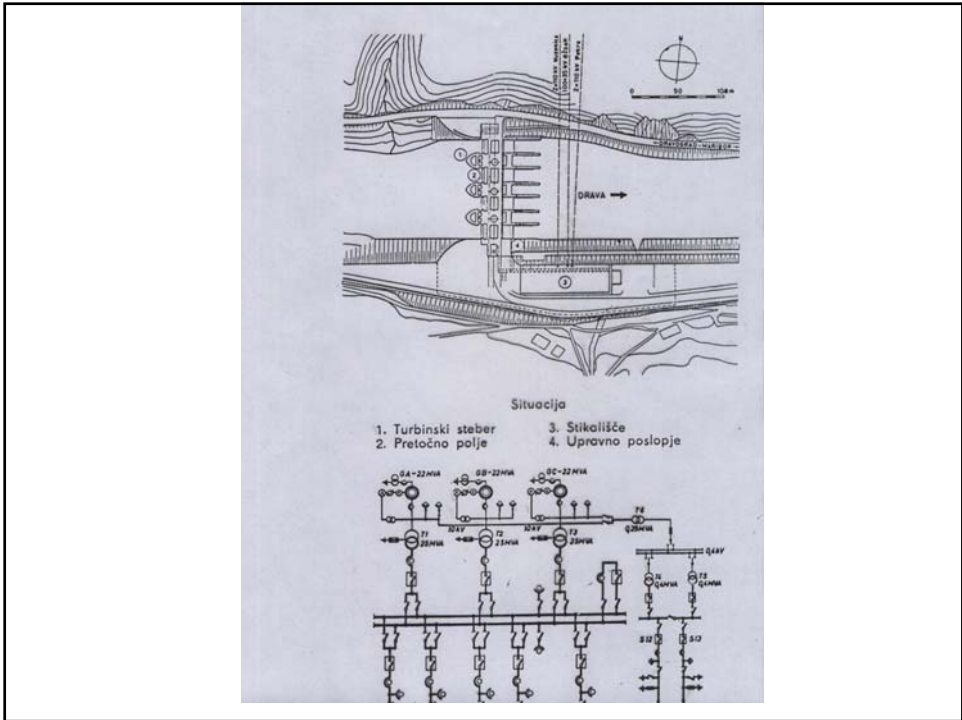
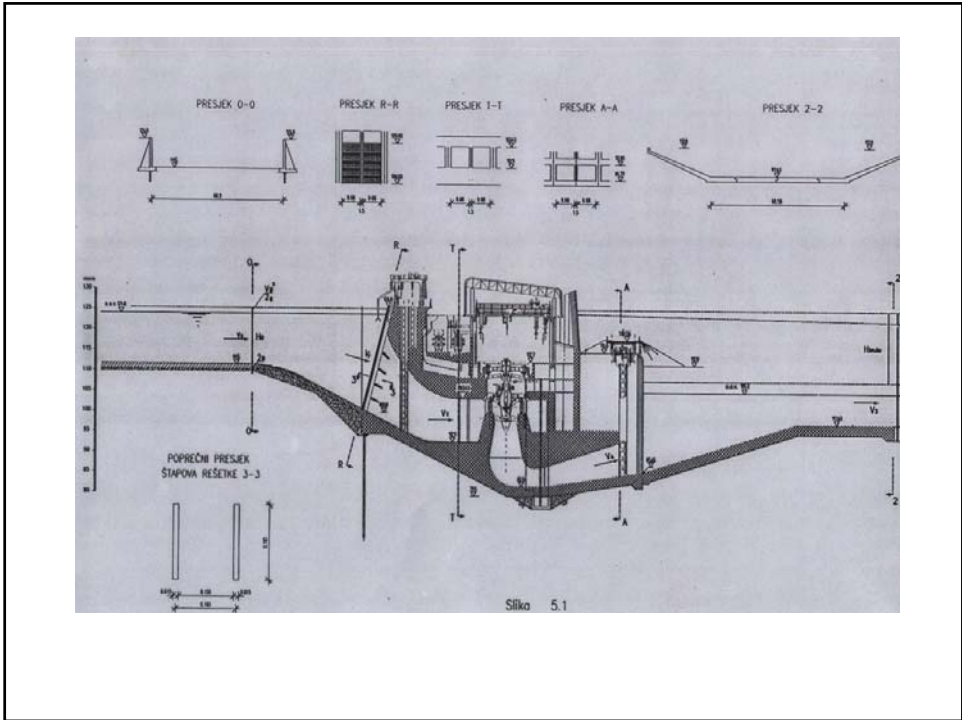
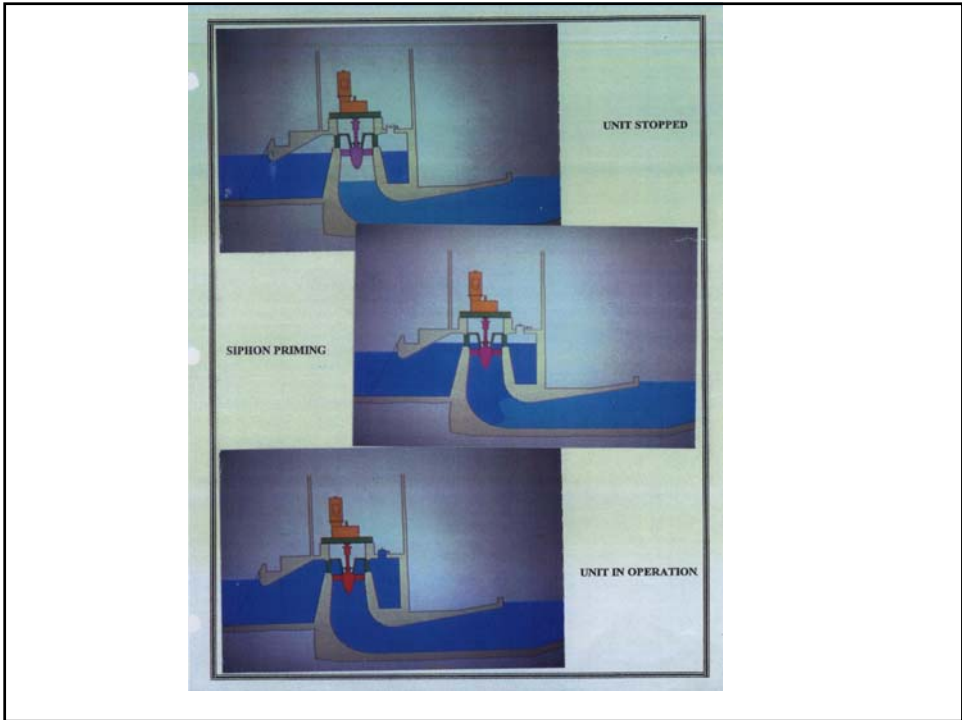
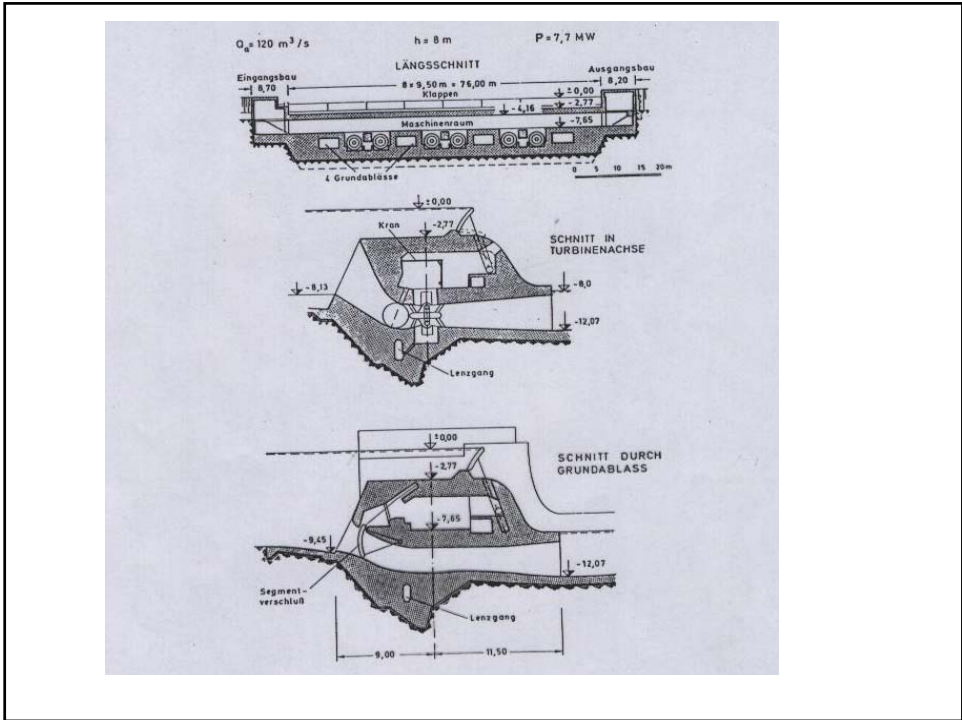


Fig. 8/35. Iron Gate project, Danube River, Rumania/Yugoslavia, commissioned 1972. $Q_p = 8700 \text{ m}^3/\text{sec}$, $H = 27.2 \text{ m}$, $N = 2050 \text{ MW}$. (After W. Roehle, Wasser- und Energiewirtschaft, März-April 1973)









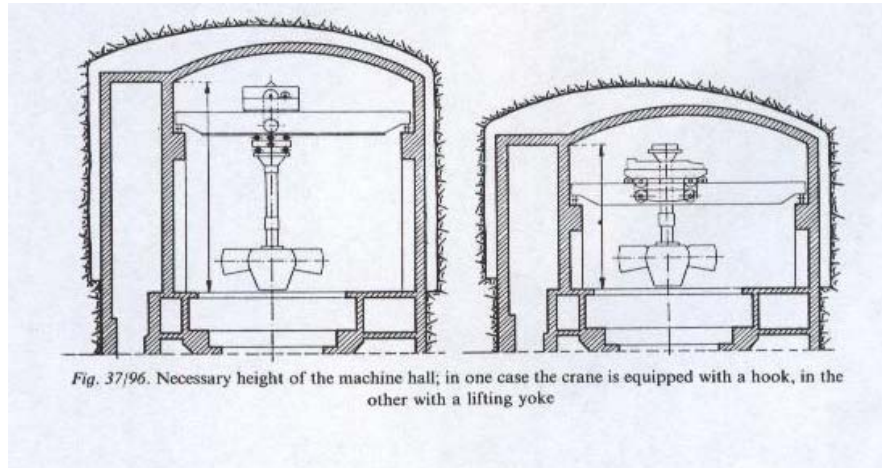
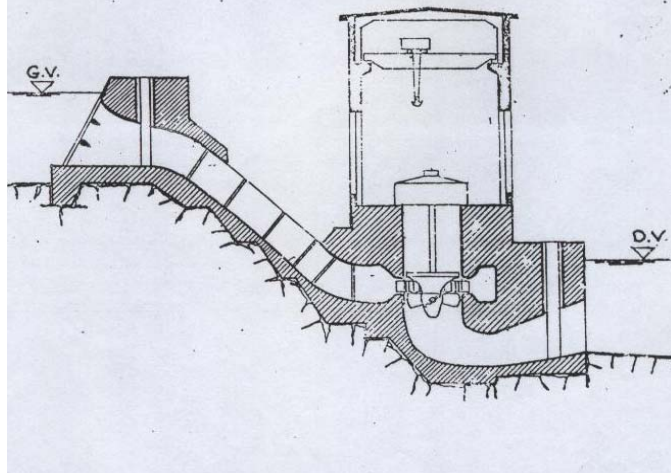


Fig. 37/96. Necessary height of the machine hall; in one case the crane is equipped with a hook, in the other with a lifting yoke

- Srednje i visoko tlačne hidroelektrane
 - Uzima se da su srednjetačne od 30 do 50 m pada, a
 - Visokotlačne preko 50 m.
- Budući da se po koncepciji rješenja bitno ne razlikuju mogu se promatrati kao jedna grupa. Mogu biti kod pribranskih i derivacijskih HE. Kako su najviše izvedene brane u svijetu oko 300 m, a u nas 80 m, odgovarajuće tome pribranske HE su do pada 300 m, a preko njega su isključivo derivacijske HE.
- Za njih je karakteristično da je zgrada strojarnice odvojena od brane a neposredan dovod vode je pod tlakom (tlačnom cijevi), te se zgrada strojarnice konstruktivno odvaja od brane ili je nezavisno postavljena na derivaciji i rješava se slobodno u odnosu na zahvaćene vode.
- Obzirom na padove u pravilu se koriste dijagonalne, Francis i Pelton turbine.
- U pravilu su to površinske konvencionalne strojarnice s turbinama vertikalno ili vodoravno položenih osi kod srednjetačnih HE, a kod visoko tlačnih mogu biti površinske, podzemne i u oknu (što je karakteristično za crpno akumulcijske HE).

SKICA HIDROELEKTRANE SREDNJEG TLAKA



UNDERGROUND POWER STATIONS

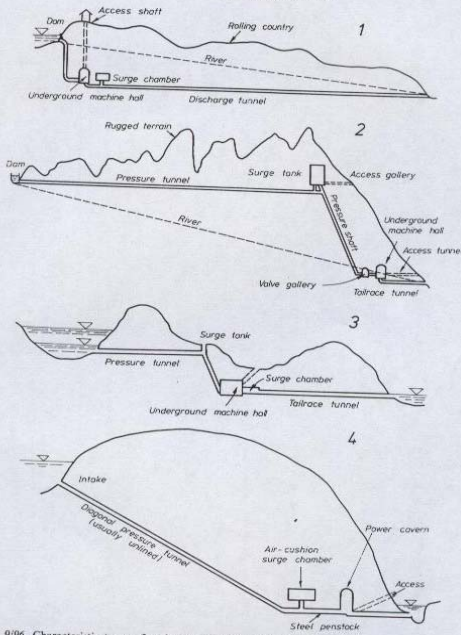
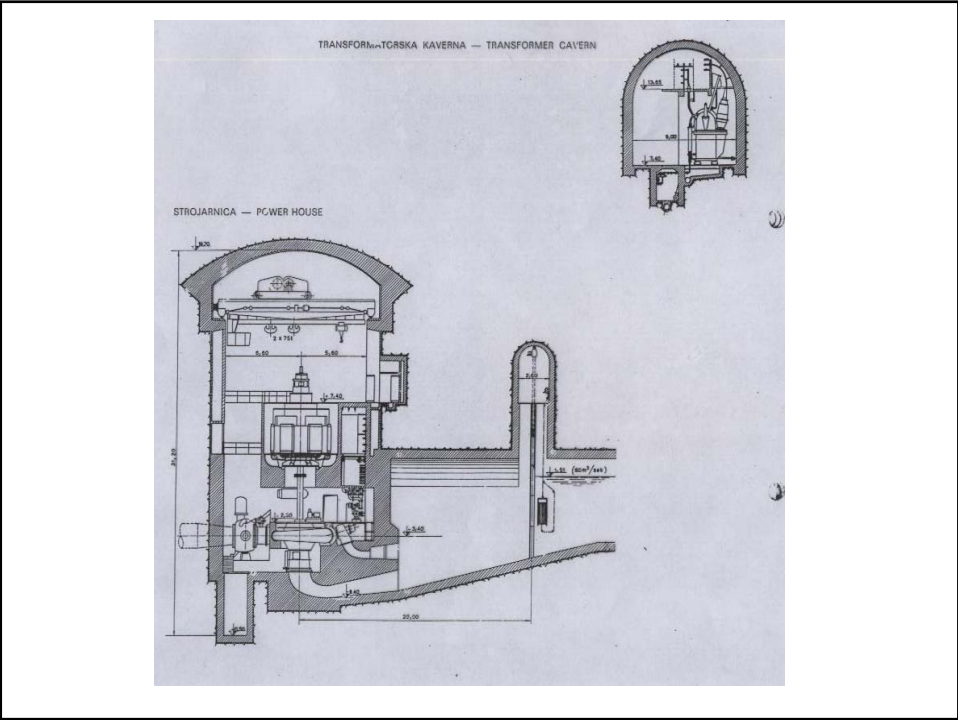
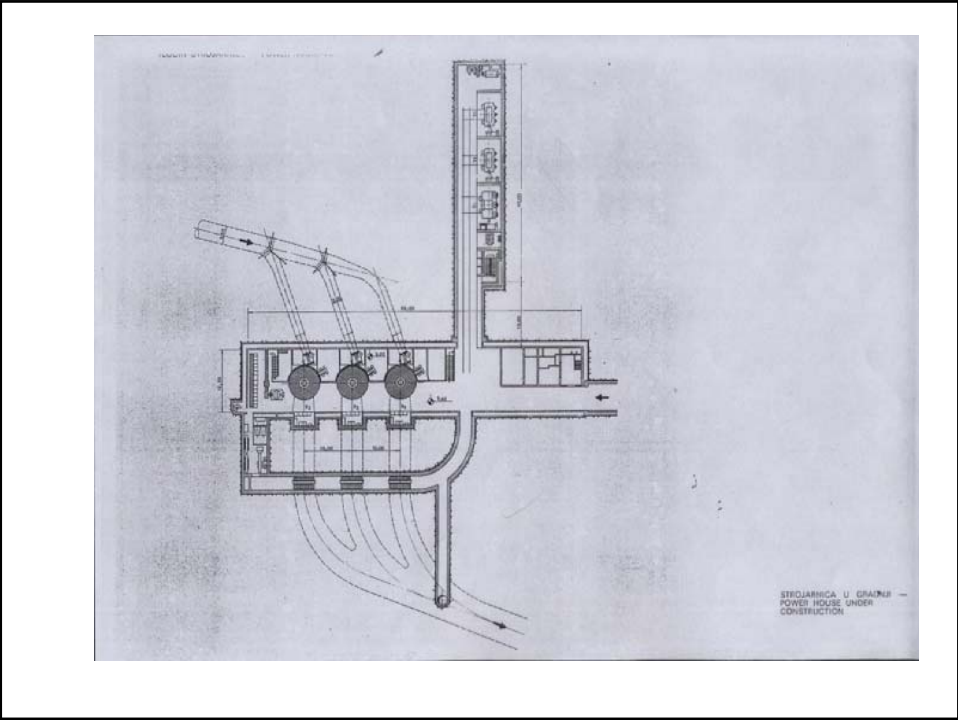
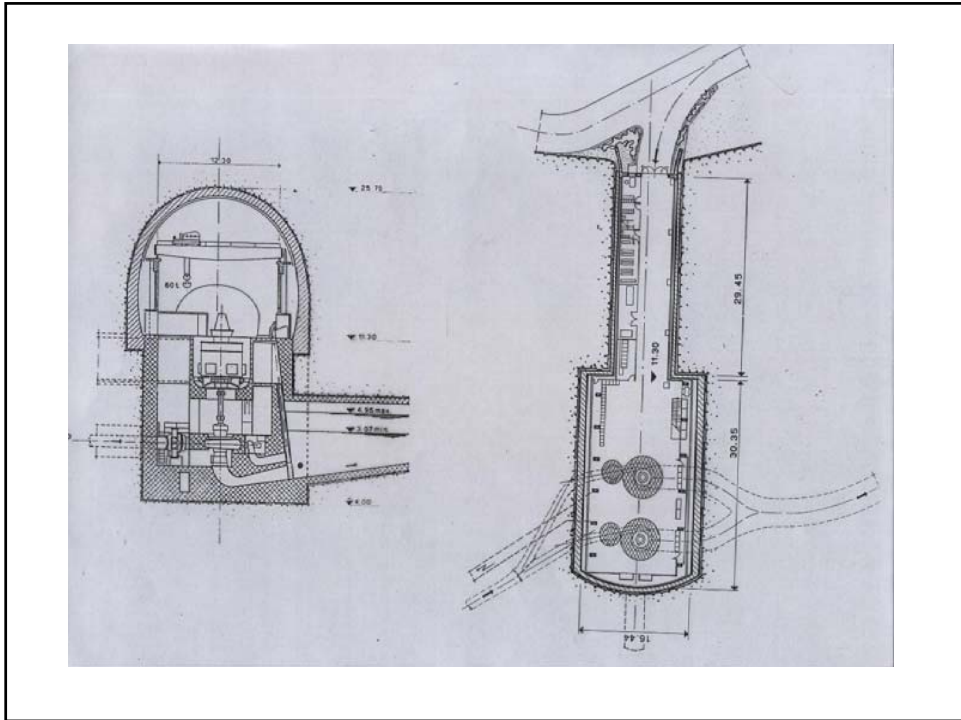


Fig. 9/96. Characteristic types of underground developments. Downwards: 1 — upstream station arrangement (so-called Swedish type), 2 — downstream station arrangement (so-called Swiss type), 3 — intermediate location of the station (Italian arrangement), 4 — diagonal tunnel alignment with air-cushion surge tank (Norwegian solution)





Crpno akumulacijske HE (reverzibilne)

