



Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
www.grf.bg.ac.rs

Studijski program: **GRAĐEVINARSTVO – OSNOVNE AKADEMSKE STUDIJE**
Modul: **HIDROTEHNIKA I VODNO EKOLOŠKO INŽENJERSTVO**
Godina/Semestar: **4 godina / 8 semestar**

Naziv predmeta (šifra): **KORIŠĆENJE VODNIH SNAGA**
Nastavnici: **Tina Dašić i Nikola Rosić**
Demonstrator: **Jovana Vićanović**

Naslov predavanja: **Predavanje - 11**
Datum : **08.05.2023.**

Beograd, 2023.

Sva autorska prava autora prezentacije su zaštićena. Prezentacije se mogu koristiti samo za nastavu studenta Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu u školskoj 2022/2023 i ne mogu se koristiti za druge svrhe bez pismene saglasnosti autora materijala.

MAŠINSKE ZGRADE

DISPOZICIONA I KONSTRUKCIJSKA REŠENJA

Osnovni tipovi mašinskih zgrada

Izbor mesta mašinske zgrade

Osnovni dispozicioni sadržaji MZ

Visinski položaj MZ

Prateći uređaji i sistemi u MZ

Stabilnost MZ

Zgrade malih elektrana

Osnovni tipovi MZ

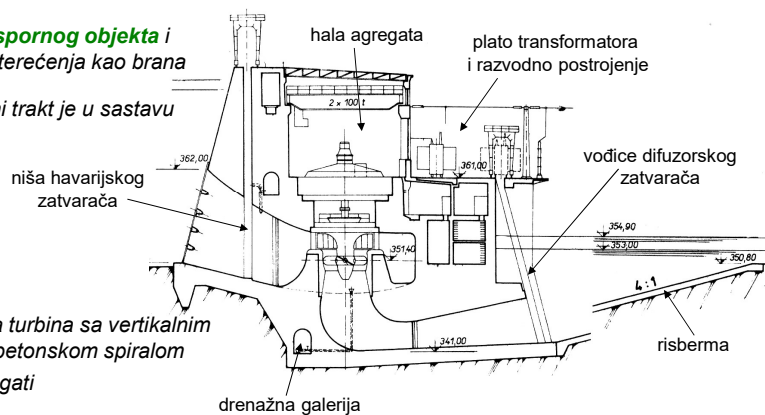
- **Mašinska zgrada je proizvodni deo HE**, u koji se smeštaju agregati sa svim pratećim sadržajima, uređaji za upravljanje proizvodnjom, radne prostorije,...
- **U zavisnosti od dispozicionog rešenja delimo ih na 4 osnovna tipa**
 - 1) **MZ rečnih HE**
 - 2) **MZ pribranskih HE**
 - 3) **nadzemne MZ derivacionih HE**
 - 4) **podzemne MZ derivacionih HE**

1) MZ rečnih HE

- **MZ je deo uspornog objekta i prima sva opterećenja kao brana**
- **Čitav protočni trakt je u sastavu MZ**

- Agregat:

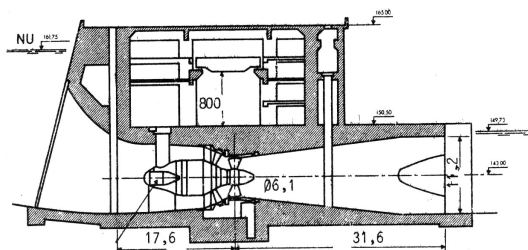
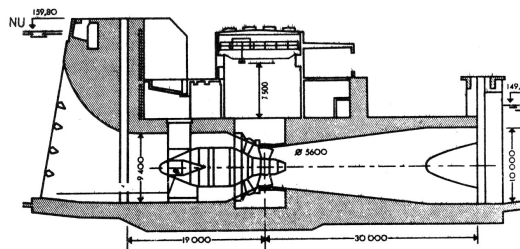
- Kaplanova turbina sa vertikalnim vratilom i betonskom spiralom
- Cevni agregati



- **MZ smestiti što uzvodnije – između nje i difuzorskog zatvarača smešta se plato za transformatore, razvodno postrojenje**
- **U cilju smanjenja MZ: transformatori na obalu, difuzorski zatvarač uzvodnije**
- **Moraju se rešiti svi problemi stabilnosti MZ na isplivavanje, preturanje,...**

➤ $H < 20$ m

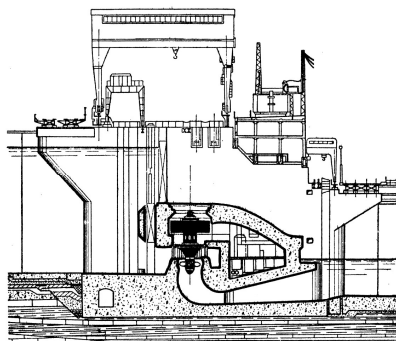
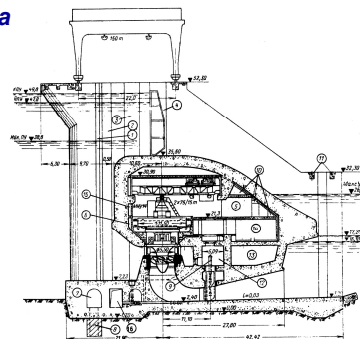
- HE sa **cevnim agregatima**
- **Stabilnost na preturanje** je obično problem
- Velika dužina protočnog trakta – MZ zauzima manji deo dužine bloka
- Smanjenje dužine bloka – havarijski zatvarač iza agregata + nema difuzorskog zatvarača



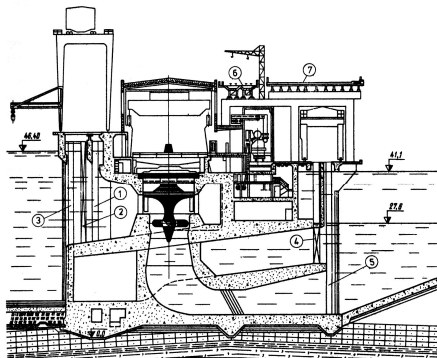
➤ Ako postoji problem evakuacije velikih voda

- Za padove $H = 25 \div 40$ m – **prelivna MZ**
Veliki agregati ograničavaju upotrebu ovog tipa za male padove

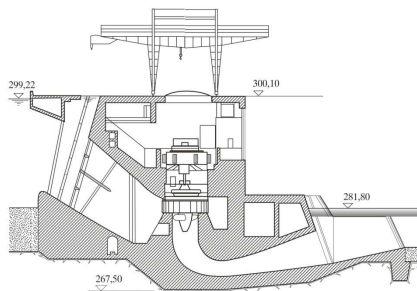
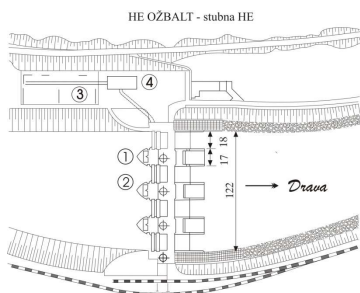
- **Preliv preko poklopca turbine**



- Propuštanje vode između blokova agregata

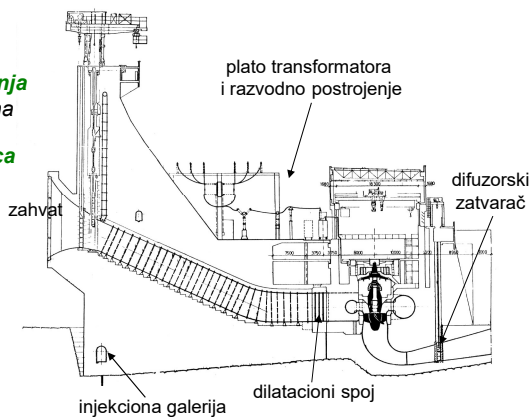


- Stubne HE



2) MZ pribranskih HE

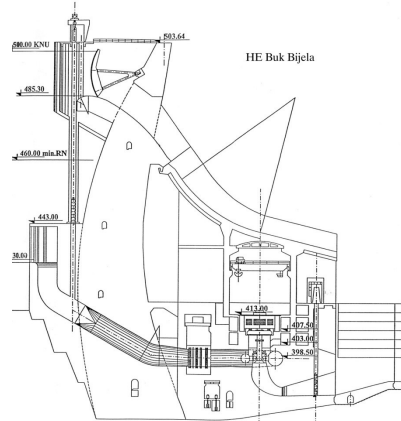
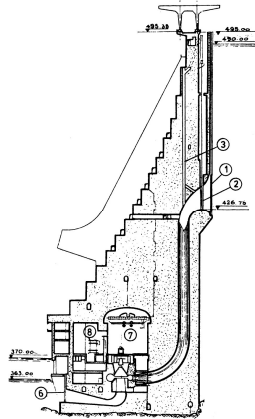
- MZ ne prima hidrostatička opterećenja
smešta se nizvodno kao zasebna celina
- Spoj brane i MZ – dilataciona spojnica
- Transformatori – između brane i MZ
- Predturbinski zatvarač – uglavnom nije potreban zbog kratkog dovoda
- Injekciona zavesa – smanjuje uzgon
- Spoj difuzora sa DV - risberma
- Između preliva i MZ – razdeoni zid
- U zavisnosti od pada koriste se: Kaplanove, Francisove i dijagonalne sa čeličnom spiralom



➤ Ako postoji problem sa evakuacijom velikih voda

- Ugrađivanje MZ u telo brane

- Prebacivanje preliva preko krova MZ



- Skraćivanje dužine postavljanjem agregata u dva reda

- Evakuacija velikih voda kroz MZ

3) Nadzemne MZ derivacionih HE

- Komandni prostor i MZ obično u okviru jedne zgrade

- Obično se koriste **Francisove ili Peltonove turbine**

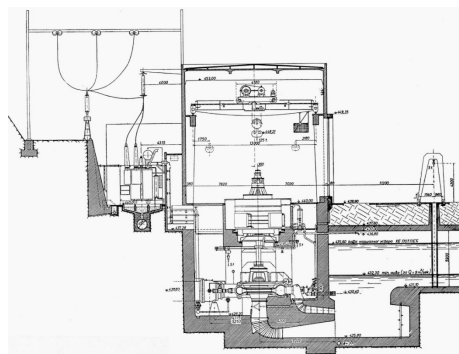
- **Transformatori** van zgrade

- Neophodan **predturbinski zatvarač**

- **Difuzorski zatvarač** na platou nizvodno od MZ

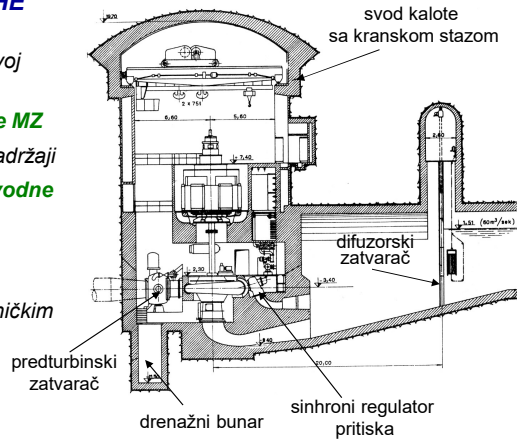
- Povoljniji uslovi za dispoziciono razvijanje delova MZ

- Lakši uslovi za visinsko lociranje



4) Podzemne MZ derivacionih HE

- Složeniji uslovi za dispozicioni razvoj od nadzemnih
- **Teži se max. smanjenju površine MZ**
- **Pod zemlju - samo neophodni sadržaji**
- **Složeniji uslovi za realizaciju dovodne i odvodne derivacije**
- Složeniji uslovi **dreniranja i klimatizacije HE**
- **Oblik hale prilagođava se geotehničkim uslovima**
- **Moguće je koristiti mašine veće brzohodnosti**

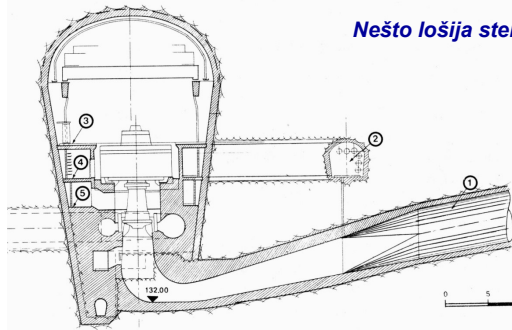


Prednosti:

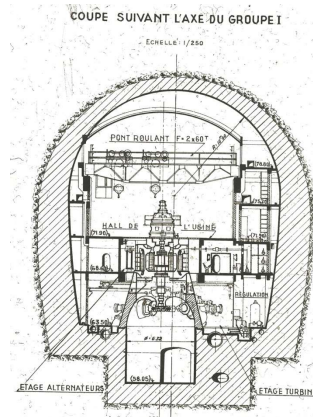
- Sigurnost postrojenja u nepovoljnim terenskim i klimatskim uslovima
- Mogu se izabrati pogodne geol. formacije za fundiranje
- Primena brzohodnijih mašina
- Mogućnost građenja nezavisno do klimatskih prilika

Mane:

- Teži uslovi rada pod zemljom
- Veća potrošnja energije za vlastite potrebe

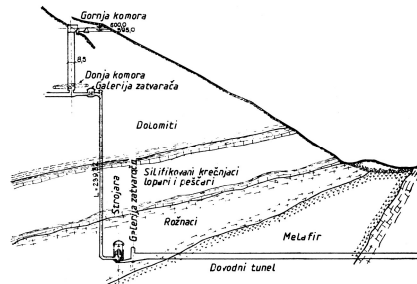


Veoma loša stenska masa



Izbor mesta MZ

- **Mesto MZ određuje se energetska – ekonomskom analizom više varijanti**
- **Na izbor utiču:**
 - Mogućnost realizacije najpovoljnijeg dovoda i odvoda sa svim sadržajima
 - Geološki i geotehnički uslovi na mestu MZ i u široj zoni (klizišta, osuline,...)
 - Uslovi bezbednosti postrojenja u izvanrednim okolnostima (zemljotres)
 - Mogućnost realizacije pristupnih saobraćajnica
- Često ekonomski kriterijumi nisu prioritet, nego bezbednost, pouzdanost pristupa i održavanja



Osnovni sadržaji MZ

- 1) **Proizvodni deo sa blokovima hidroagregata**
- 2) **Montažni prostor**
- 3) **Prostor za upravljanje i održavanje**
- 4) **Prostor sa transformatorima**

Ovi sadržaji nisu fizički u istoj prostoriji ali se između njih mora obezbediti sistem horizontalanog i vertikalnog transporta

1) Proizvodni deo MZ

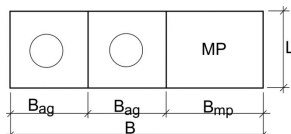
- Sastoji se od **blokova** pojedinih **agregata** spojenih u konstruktivnu i tehnološku celinu
- **Blok hidrogenatora** – deo MZ u koji se smešta turbina + generator + odvodni i dovodni elementi
- **Sekcija zgrade** – više blokova spojenih u monolitnu konstrukciju
Za velike širine bloka (≈ 20 m): blok = sekcija zgrade

- U prvim fazama projektovanja:

$$B_{ag} = k \cdot D_1$$

k – koeficijent koji zavisi od tipa agregata, vratila, spirale, fundiranja

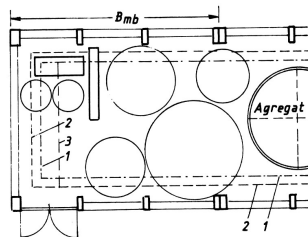
$k=2,9 - 4,4$ za Francisove turbine sa vertikalnim vratilom i čeličnom spiralom



- Za oko 2 m sa svake strane šire od najveće širine spirale (ili kratera generatora)
- Ako se voda evakuše između blokova širina je veća
- Dužina bloka zavisi od dispozicije postrojenja

2) Montažni deo MZ

- Nerazdvojni deo svake MZ
- Osnovna načela pri planiranju:
 - MP na onoj strani MZ gde je **pristupni put**
 - sa MP obezbediti **system horiz. i vert. transporta** za ugradnju svih delova
 - **površina MP** mora biti dovoljna za smeštaj svih sadržaja u fazi montaže i remonta
 - MP samo onaj deo koji je u domenu **dohvata kрана**
 - Obična je na nivou poda mašinske hale, ali ima i izuzetaka



- Za preliminarnu analizu:

$$B_{mp} = C \cdot B_{ag}$$

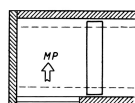
$C=1$ – postrojenja sa 2 agr.

$C=1,25$ – postr. sa 2 – 4 agr.

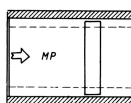
$C=1,5$ – postr. preko 4 agr.

$$\text{Ukupno: } B = n \cdot B_{ag} + B_{mp} = (n + C) B_{ag} = (n+C) k \cdot D_1$$

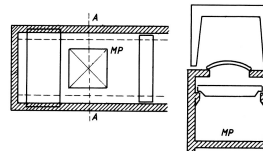
- Prilaz MP: 1) frontalni



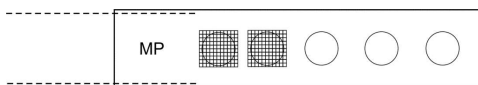
- 2) bočni



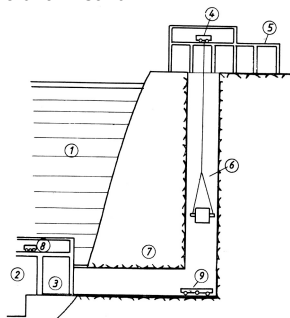
- 3) sa gornje strane



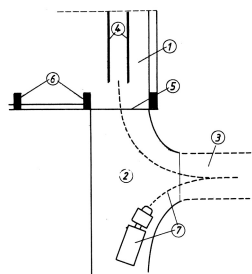
- Za HE sa većim brojem agregata, u fazi gradnje treba uvećati MP. To se može uraditi na više načina:
- dodati MP spolja (za manje osetljive delove)
- staviti rešetku preko poslednja dva šahta agregata



- U uskim dubokim dolinama gde je teško obezbediti silazak do MZ – vertikalni šaht

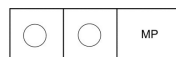


- Obezbediti manevar vučnog voza



- Ako su predturbinski zatvarači u posebnoj galeriji ili aneksu – potrebno obezbediti i njihovu ugradnju – ostavlja se otvor sa šahtom do galerije na nižem nivou

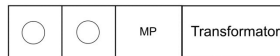
- Položaj MP: - na kraju hale (uz ulaz)



- u sredini hale



- između agregata i transformatora

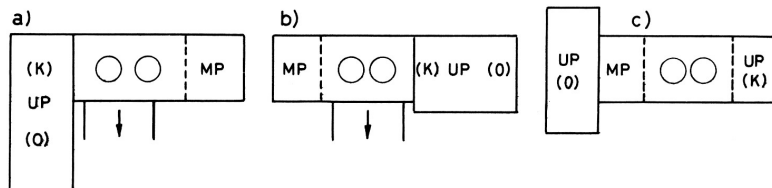


- sa oba kraja hale



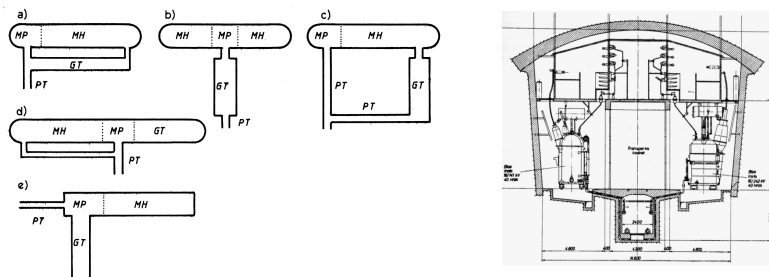
3) Prostorije za upravljanje i održavanje

- Tu spadaju: komandna soba, prostorije za smeštaj ljudstva, radionice, magacini,...
- **Komandna sala:** - vizuelno najbolji pogled na proizvodni deo
 - na nivou budilice ili obično sprat više
 - izuzetno u samoj hali – komandni pult
- Magacini i skladišta dublje – ne treba im prirodna svetlost
- Kancelarije – prema reci zbog prirodne svetlosti



4) Prostorije za transformatore

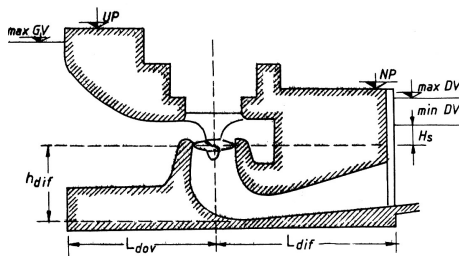
- Moraju biti blizu generatora jer je izlazni napon generatora mali (6 – 15 kV), a treba ga podignuti na 35 kV, 110 kV, 220 kV ili 380 kV.
- **Rečne HE:** prostor između MZ i difuzorskih zatvarača
- **Pribranske HE:** između brane i MZ
- Smeštaju se u **posebnim nišama ili na rastojanju** > 15 m
- Prostor za transformatore mora biti **vezan sa MP ili pristupnim putem** zbog dopremanja



- Ispod transformatora **sabirni kolektori** u koje se skuplja ulje ako dođe do proboja
- **Gabariti** se određuju iz nomograma u funkciji snage
- **Razvodna postrojenja** – obično nadzemno, mogu u široj okolini MZ. Zahtevaju veliku površinu

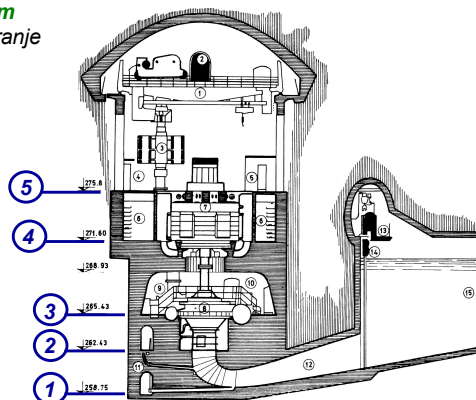
Visinski položaj MZ

- **Visinski položaj MZ određuje se na osnovu KOK, tj. H_s i merodavne KDV**
- **H_s se određuje za najnepovoljnije uslove: max. pad, najnepovoljniji σ**
- **KDV – najnepovoljnija:**
 - nizvodno vodotok – na osnovu min protoka jedne turbine
 - nizvodno akumulacija – min. nivo – fiksiranje nivoa
- **Razvoj dispozicije zavisi od tipa turbine i vratila**



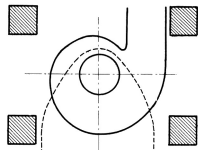
1) Reakcijska turbina + vertikalno vratilo

- (1) **Temeljna ploča sa drenažnom galerijom**
 - uslovljeno uslovima stabilnosti na preturanje
 - zavisi od geotehničkih uslova
- (2) **Difuzorska etaža**
 - galerije za prilaz ulazu u difuzor
 - drenažne pumpe
 - oslonac predturbinskog zatvarača
- (3) **Turbinska etaža**
 - spirala, turbina, predturbinski zatvarač
 - ulje pod pritiskom, uređaji za hlađenje
 - konstrukcija na koju se oslanja generatorski sto
 - visina ≥ 3 m
- (4) **Generatorska etaža**
 - generator + prateći sadržaji
 - visina zavisi od visine generatora
- (5) **Nivo budilice**
 - budilica, nosač rotora (za obešeni generator), komandni pultovi

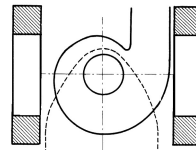


- **Generatorski sto:** - prenosi aksijalne i torzione sile pri zaustavljanju agregata

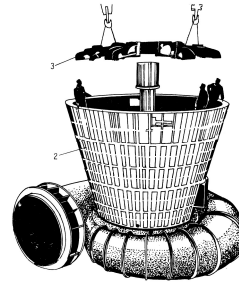
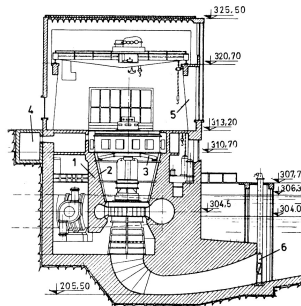
4 stuba



2 zida



stožasti plašt



2) Peltonova turbina + vertikalno vratilo

- Nema difuzora nego bazen i kanal sa slobodnim nivoom \Rightarrow pliće fundiranje, jednostavnija geometrija temeljne ploče, jednostavniji drenažni sistem
- **Visinski položaj** uslovljen KDV u bazenu – mora biti iznad kote vode u recipijentu
- Radno kolo – min. jedan prečnik turbine iznad KDV – da bi se izbeglo prigušivanje

(1) Temeljna ploča sa odvodnim kanalom

(2) Turbinska etaža

- dovod vode, mlaznice, uređaji za pokretanje

(3) Generatorska etaža

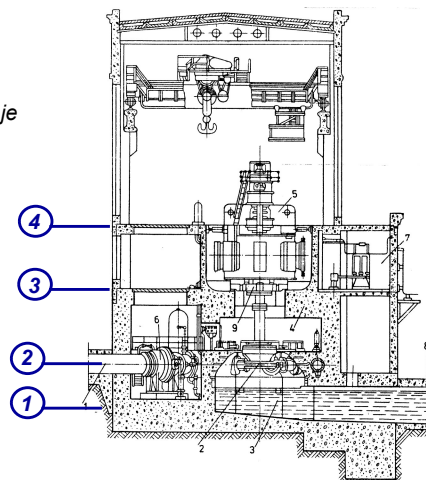
- generator + prateći sadržaji

(4) Nivo budilice

- budilica, nosač rotora, komandni pultovi

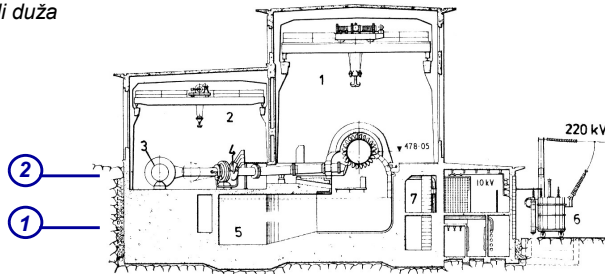
- **Broj obrtaja veliki** \Rightarrow izduženi generatori obešeni tip oslanjanja

- **Širina MZ veća** nego kod reakcijskih zbog smeštanja mlaznica



3) Peltonova turbina + horizontalno vratilo

- MZ niža ali duža



(1) Temeljna ploča sa odvodnim kanalom

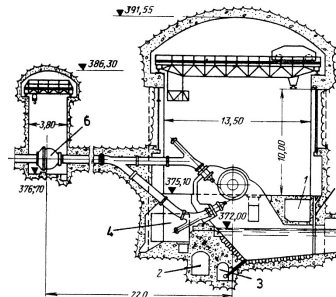
(2) Etaža agregata

- dovod vode, mlaznice, uređaji za pokretanje, generator

- **Oslanjanje:** - radijalni ležaj (noseći) – obično 2
- aksijalni (za horizontalne sile) - 1

• **Iz razloga bezbednosti – 2 hale:**

- glavna hala sa agregatima
- hala cevovoda i zatvarača



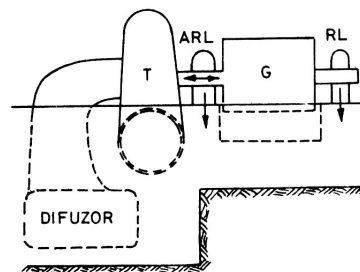
4) Francisova turbina + horizontalno vratilo

- **Manja postrojenja** do 10 MW, Q do 10 m³/s po turbini

- **Dva ležaja:** - 2 radijalna (RL)
- 1 aksijalni (AL)

• **Prednosti:**

- pliće fundiranje MZ
- povoljniji spoj sa DV
- kran niži – manja visina MZ
- jednostavnija konstrukcija MZ i oslanjanje
- jednostavniji drenažni sistem



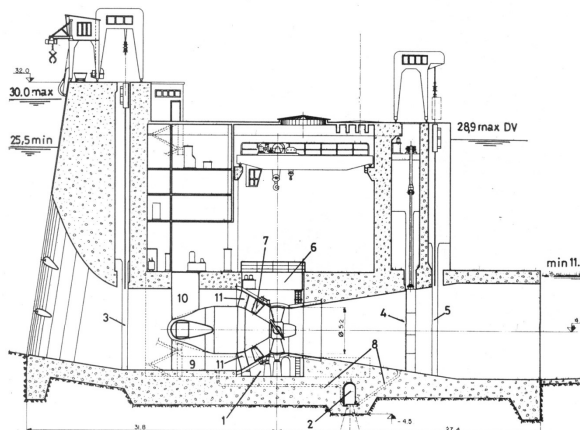
5) Cevni agregati

- Za padove 2 – 20 m

Kapsulni agregati

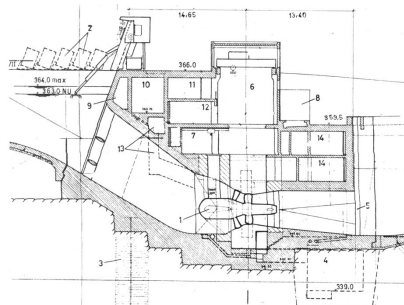
- **Najčešće rešenje:**
uzvodno kapsula,
nizvodno obrtno kolo

- Nivo temeljne ploče
- Nivo protočnog trakta
- Montažni plato i hala



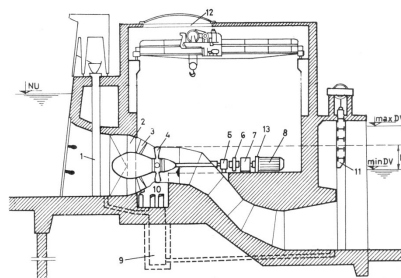
Straflo agregati

- Rotor generatora pričvršćen na spoljni obod turbinskih lopatica
- Stator – van protočnog trakta
- Moguće znatno sažimanje protočnog trakta
- $\Delta H = 3 - 20 \text{ m}$ $Q < 150 \text{ m}^3/\text{s}$



S-agregati agregati

- $\Delta H = 2 - 25 \text{ m}$ $Q < 80 \text{ m}^3/\text{s}$
- Protočni trakt savijen u obliku slova "S"
- Sažeta MZ, pliće fundiranje, jednostavniji drenažni sistem
- Multiplikator broja obrtaja omogućava smanjenje generatora
- Koso vratilo: - manji raspon MZ
- složeniji uslovi oslanjanja



Mašinske hale

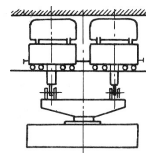
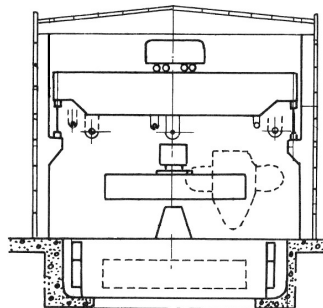
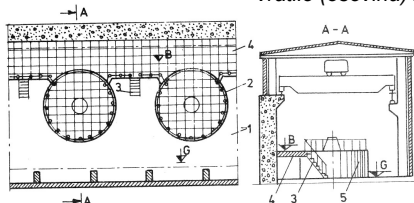
➤ Hala nadkrijuje proizvodne blokove i montažni prostor

➤ Koristi se nekoliko izvedbi hale:

- zatvorena hala
- delimično snižena hala
- potpuno snižena hala
- otvorena zgrada

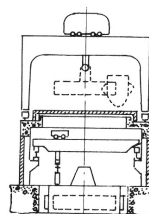
a) Zatvorena hala

- Unutar hale nalazi se **mosni kran**
- **Vezna greda** – za najteži deo (rotor) → voditi računa o **dohvatu kрана**
- **Šeme poda**: - ravan pod na nivou budilice
- ostrvska ili poluostrvska kompozicija
- **Mere za sniženje hale**: - odvaja se budilica
- vratilo (osovina) iz dva dela



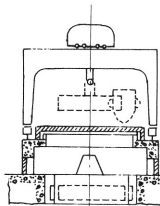
b) Delimično snižena hala

- MZ je niža – 2 kрана – složeniji uslovi montaže
- Montaža najtežih delova obavlja se spoljnim kranom kroz otvor iznad agregata



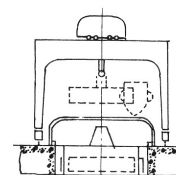
c) Potpuno snižena hala

- Nema unutrašnjeg mosnog kрана
- Sve operacije montaže i demontaže portalnim kranom



d) Otvorena hala

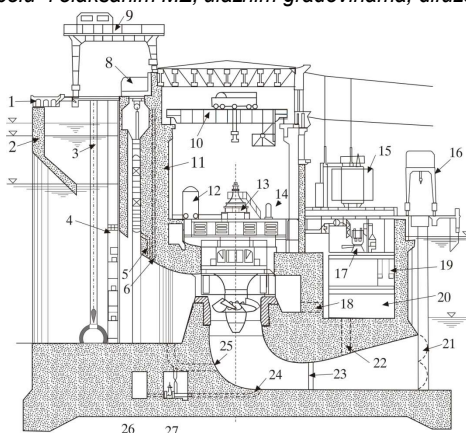
- Ne postoji hala – generatori se pokrivaju metalnim cilindrom
- Montaža i demontaža na otvorenom – koristi se samo u suvim predelima



Prateći uređaji i sistemi

1) Uređaji za podizanje i prenos

- **Mosni kran:** – 2 hvataljke (kuke) – brža+lakši teret, sporija+teži teret
 - nosivost na osnovu težine najtežeg dela (rotor, turbina, transformator)
 - za velike težine (> 300 - 400 t) ⇒ dva krana, spojna greda
- **Portalni kran:** – na polu- i olakšanim MZ, ulaznim građevinama, difuzorski zatvarači



2) Sistemi za odvodnjavanje

Svaka zgrada mora imati sistem za odvodnjavanje. Funkcije:

- odvođenje svih provirnih voda
- odvođenje vode iz protočnog trakta (pri pražnjenju – remontu)

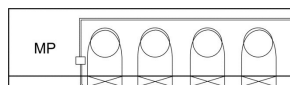
➤ Grupni sistem

- drenažni bunari pored svakog agregata (ili za 2 agr.)
- voda se odvodi iza difuzorskog zatvarača
- primena: male HE, HE sa tankom temeljnom pločom



➤ Centralizovani sistem

- drenažna galerija duž MZ (sa padom),
- pumpe na jednom mestu
- primena: kod velikih HE (↓ pumpi ⇒ ↑ pouzdanost) i HE na lošim materijalima



- Pumpe – značajan deo sistema, uključuju se automatski

$$Q_p = (V_{pt} / t) + L_z q_z$$

V_{pt} – zapremina protočnog trakta
 t – vreme pražnjenja (6 – 8 h)
 L_z – dužina zaptivke
 q_z – specifično proviranje duž zaptivke (≈ 1 l/sm)

- Duboke podzemne HE – 2 načina pokretanja: - elektromotori i mala turbina koja se napaja iz dovodnog cevovoda

3) Sistemi za snabdevanje rashladnom vodom

- Voda se koristi za hlađenje:
 - generatora (60 – 70 %)
 - ležajeva (10 – 20 %)
 - ulja u transformatorima (15%)
- Potrebna količina:
 $Q_{hl} = \Delta N_g q_n$; $q_n = 0,05 - 0,07$ l/s kW
Orijentaciono (ukupno): 1 l/s MW

➤ Zahvatanje vode iz dovoda (ili gornje vode)

- za $H \approx 10 - 40$ (50) m
- voda se zahvata iz dovodnog cevovoda (ili GV) → filtri → rashladni sistem
- sistem pouzdan – ne zavisi od pumpi (ipak predvideti i rezervne zahvate)

➤ Pumpanje iz donje vode

- za $H < 10$ m - nedovoljan pritisak u rashladnom sistemu
i $H > 40$ (50) m – nije racionalno zahvatati vodu pre prolaska kroz turbine
- pumpanje iz odvodnog kanala → filtri → rashladni sistem
- radi ↑ pouzdanosti na početku rashladnog sistema rezervoar rashladne vode (dim. da radi 20 – 30 min) – obično u zoni krova MZ (da ne treba ponovno pumpanje)

4) Obezbeđivanje vlastite potrošnje električne energije

- Pored toga što HE proizvodi el. energiju, ona je i troši:
 - HE troši < 1% proizvodnje
 - TE troši 2 – 3 % proizvodnje

➤ Neprikosnoveni potrošači

- pobuda generatora - kompresorski sistemi
- uljna regulacija - bezbedonosni uređaji
- sistem za hlađenje - upravljački uređaji u komandnoj sobi

➤ Potrošači koji mogu kraće ostati bez el. en.

- pumpe drenažnog sistema - motori za pokretanje zatvarača na evakuatorima
- osvetljenje hale - uređaji za punjenje akumulatora

➤ Potrošači koji mogu duže ostati bez el. en.

- kranovi - osvetljenje kruga, magacina, radionica
- uređaji za filtriranje ulja

- Najdelikatniji potrošači u slučaju nestanka el. en → napajanje iz akumulatora

- Velike HE → kućni agregat (smešta se ispod MP ili na kraju hale)
 - obično Peltonova turbina snage $N_{ka} = 0,3 - 0,4 \% N_{inst,HE}$
 - za važne HE može još jedan rezervni (može i dizel) kućni agregat

5) Uljni uređaji

- Dve vrste ulja: - turbinsko: uljna regulacija, servouređaji, podmazivanje ležajeva
- izolaciono: u transformatorima
- Posebne prostorije za nekorišćeno, upotrebjeno i prečišćeno ulje
- važno protivpožarno osiguranje prostorija

6) Sistem komprimovanog vazduha

- Za stavljanje pod pritisak ulja, kočenje generatora, sistem hlađenja

Stabilnost MZ

- Sve MZ ispituju se na: - klizanje
- preturanje
- isplivavanje

1) Stabilnost na klizanje

Proveriti za razne grupe opterećenja:

- normalna eksploatacija
- uslovi remonta i izgradnje: nema agregata + nepovoljno hidrostatičko opterećenje
- izuzetni slučajevi: zemljotres iz najnepovoljnijeg pravca, evakuacija velikih voda

$$K_K = \frac{R}{N}$$

R – sile koje se opiru klizanju
 N – sile koje pokreću na klizanje

$$K'_K = \frac{R}{N \cdot n}$$

n – koeficijent uslova opterećenja (obuhvata dužinu trajanja uticaja)
 $n = 1$ – normalna eksploatacija
 $n = 0,95$ – remont i građenje
 $n = 0,9$ – izuzetna opterećenja

$K_K \geq 1,25$ - za prethodne analize

$$N = P_u + E_u^a - P_n$$

$$R = (\Sigma G - U) \operatorname{tg} \varphi + F \cdot c + E_n^p$$

φ – ugao unutrašnjeg trenja
 F – površina temeljne spojnice
 c – koef. athezije (beton-stena) ili kohezije stene
 E_n^p – ako se dozvoljava izvesno pomeranje (samo u slučaju velikih voda + zemljotres)

Uzgon se ne može ukloniti, ali se može smanjiti:
 1 – injekcionom zavesom
 2 – drenažom
 3 – uzvodnim tepihom

Derivacione HE: ako je ankerni blok u sklopu MZ uzeti u obzir i sile vezane za njega, G_a i P_a

2) Stabilnost na preturanje

Značajno kod visokih MZ, npr. rečne za $H = 30 - 35$ m

Uzgon daje momenat na preturanje i mora se kompenzirati sa G (najbolje dodati uzvodno)

$$K_p = \frac{M_v}{M_p} \geq 1,25$$

3) Stabilnost na isplivavanje

Važno kod dubokih šahtnih HE.

Kritičan slučaj: MZ gotova, oprema nije unesena, a javi se max. uzgon.

$$K_l = \frac{\Sigma G}{U \cdot n}$$

4) Naprezanja u zoni temelja

Rezultat zadovoljavajući za $\sigma > 0$ – ne sme se javiti zatezanje

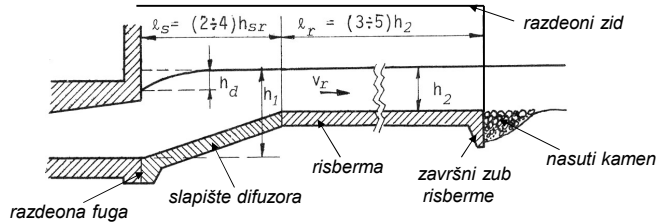
$$\sigma_{\max}^{\min} = \frac{\Sigma G}{F} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad \text{za pravougaonu temeljnu spojnicu}$$

$$\sigma_{\max}^{\min} = \frac{\Sigma G}{F} \pm \frac{M}{W} \quad \text{za stepenastu temeljnu spojnicu}$$

B – dužina bloka
 M – momenat svih sila u odnosu na neutralnu osu
 W – otporni momenat

Spoj MZ sa donjom vodom

- **Treba da obezbedi:**
 - stabilne hidrauličke režime i pogodan spoj sa koritom
 - spreči pojavu sekundarnih tečenja koja bi podizala uspor
 - da smanji nepoželjnu eroziju korita



Brzina vode na risbermi pri $Q_{inst,HE}$: $v = 2,5 - 3 \text{ m/s}$

Krupnoću frakcije izabrati tako da ne dođe do regresivne erozije
 Orijentaciono: $d > 0,01 v^3/h$, h – dubina vode

Zgrade malih HE

- **Male HE $N_{inst} < 10 \text{ MW}$**

< 500 kW – mikro HE	} uslovna podela
< 2 MW – mini HE	
< 10 MW – male HE	

- **Ključni postulat:**

NE PROJEKTOVATI MALU HE KAO KOPIJU VELIKE !

- radi bez posade
- automatska sinhronizacija na mrežu
- automatska regulacija tokom rada
- nema prostor za posadu
- mogu se koristiti postojeći objekti (napuštene vodenice, pilane, zatvaračnice)

- **Koriste se razne turbine**

- 1) **Bankijske turbine:** $H = 3 - 100 \text{ m}$, $Q = 0,01 - 1 \text{ m}^3/\text{s}$
 liče na vodenični točak, jednostavna, kkd manji za 10% od drugih tipova
 odvodni kanal sa slobodnom površinom
- 2) **Peltonove:** 1 i 2 mlaznice, $H = 30 - 600 \text{ m}$, $Q = 0,02 - 1 \text{ m}^3/\text{s}$, horizontalno vratilo
- 3) **Francisove:** $H = 10 - 100 \text{ m}$, $Q = 0,05 - 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$, horizontalno vratilo, kolenasti difuzor
- 4) **Cevne:** $H = 1 - 25 \text{ m}$, $Q = 0,4 - 10 \text{ m}^3/\text{s}$

- To su tipizirane turbine
Tip se određuje na osnovu H i Q , koristeći nomograme.
Jeftine su i rezervni delovi nisu problem.

- Male HE mogu se realizovati:
 - na ispuštima vode za vodoprivredni minimum i garantovani ekološki protok
 - na mestima vodovodnog sistema gde se ide na uništavanje pritiska prekidnim komorama
 - ulaz u PPV – pošto je snabdevanje vodom stanovništva prioritetni korisnik mora se napraviti bajpas sa zatvaračem

