

Vízerő-hasznosítás jegyzet

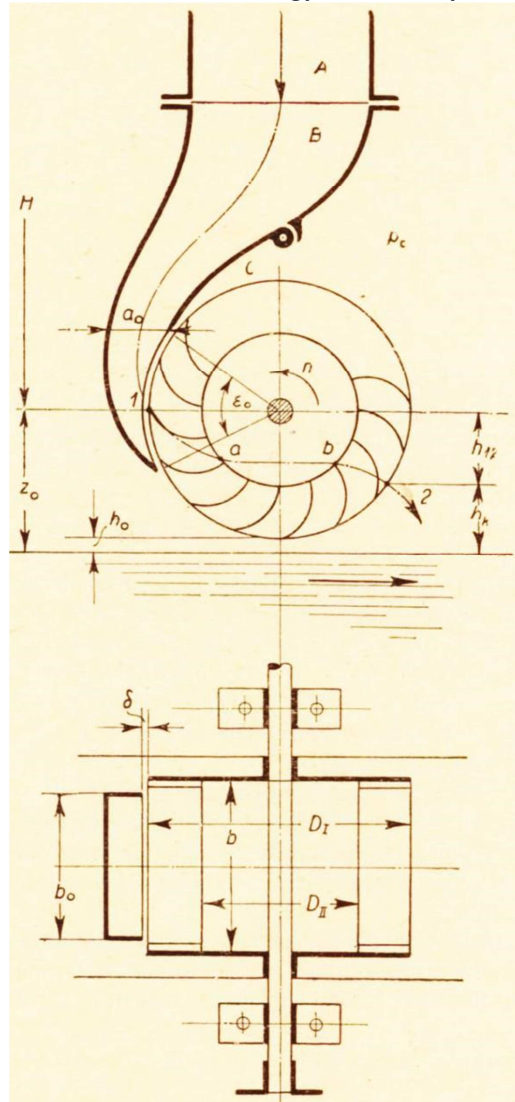
Készítette: Fúzy Olivér: Áramlástechnikai gépek c. könyve alapján: Bene József
BME Hidrodinamikai Rendszerek

1 Turbinatípusokról általában

1.1 Bánki-turbina

- Jellemző fordulatszám csak fix D/b viszony esetén lesz adott tartományban
- Kétszeres átömlés
- Rávezetés: hegyes szögben érkezen a víz a lapátra
- Ha a víz a lapátcsatornát éppen kitölti: határturbina (Bánki): akciós és reakciós egyszerre
- Max szélesség: $b=D$ szilárdsági okok miatt, különben több kerék egy tengelyen

Bánki turbina oldal és felülnézetben, egyszerű szabályozási lehetőséggel:



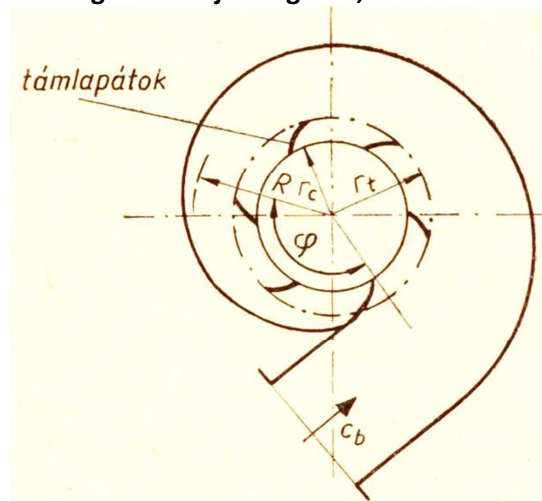
1.2 Pelton-turbina

- Sugárcső az esést teljes egészében mozgási energiává alakítja
- A kifolyó nyílás és a szabályozó lándzsa nagyon pontos megmunkálást igényel
- 2 lapát egyesítése = Pelton-kanál
- Kivágás célja: szabadsugárba kerüléskor az rögtön nagy felületen hasson!

1.3 Francis- és Dériaz turbinák

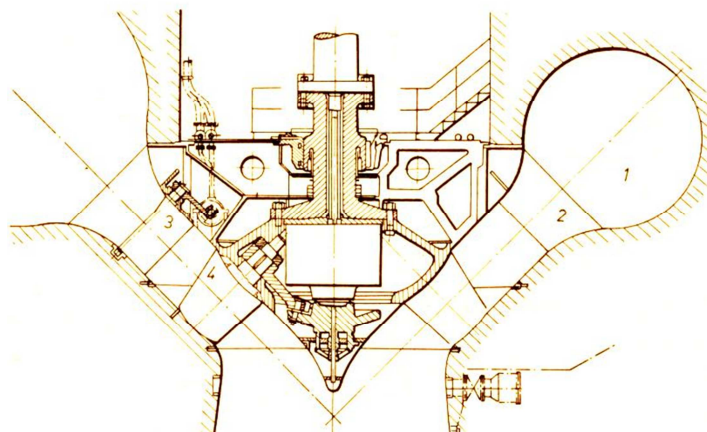
- Vezetőkerék feladata: belépő perdület nagyságát és irányát határozza meg
- Vezetőlapátsor állíthatósága miatt a mennyiség szabályozást is megoldja
- A jó szívócső geometria különösen nagy jellemző fordulatszámoknál fontos
- Típusok: nyílt akna / csigaházas: öntöttvas / beton
- Tervezés: dimenziótlan számokkal főméretek, sebességi háromszögek, lapátgeometria

A Francis-turbina csigaháza teljes csigaház, mint a radiális szivattyúknál:

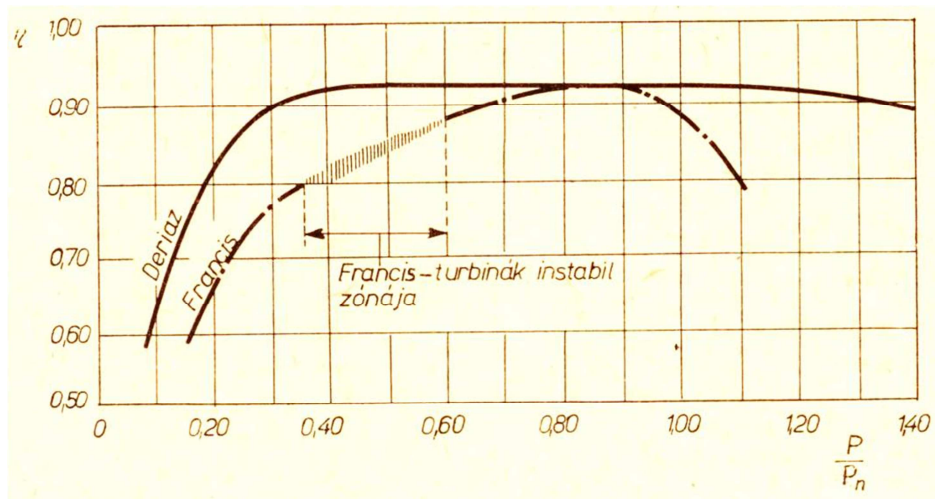


- A Dériaz turbina annyiban különbözik a Francis-től, hogy a jk. lapátszöge is állítható (vö. Kaplan-propeller)
- Főleg félaxiális gépeknél érdemes, mert ott nagyon hegyes a hatásfok görbe
- Lapátállítás célja: alkalmazkodni a változó terheléshez változó víznyeléssel
- Különben: lépcsőzetes gépindítás átfedéssel (gond: lépcsőzetesség, indítási idő)

A Dériaz-turbinán menet közben változtatható a járókerék lapátszöge is:



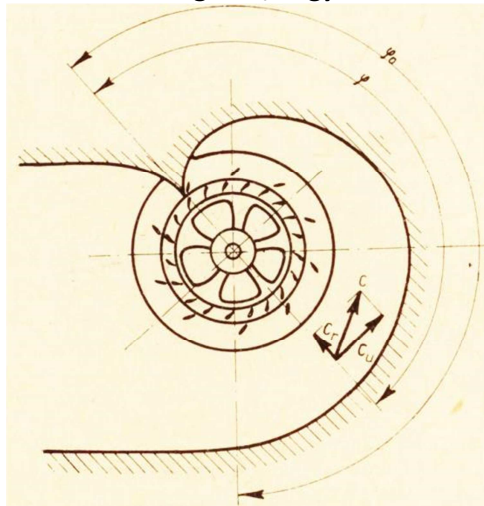
A Dériaz-turbina hatásfok-görbéje jóval kedvezőbb, laposabb:



1.4 Propeller és Kaplan-turbinák

- Azaz axiális gépek: kis esésre és nagy víznyelésre
- Szívócsónk: félcsigaház
- Vezetőkerék feladatai: 1. perdület előállítása, 2. mennyiségi szabályozás: a kettős szabályozás része, propeller turbináknál a szabályozás egyetlen eszköze

A Kaplan-turbina csigaháza csak ún. félcsigaház, nagy kivitelek esetén készülhet betonból is:

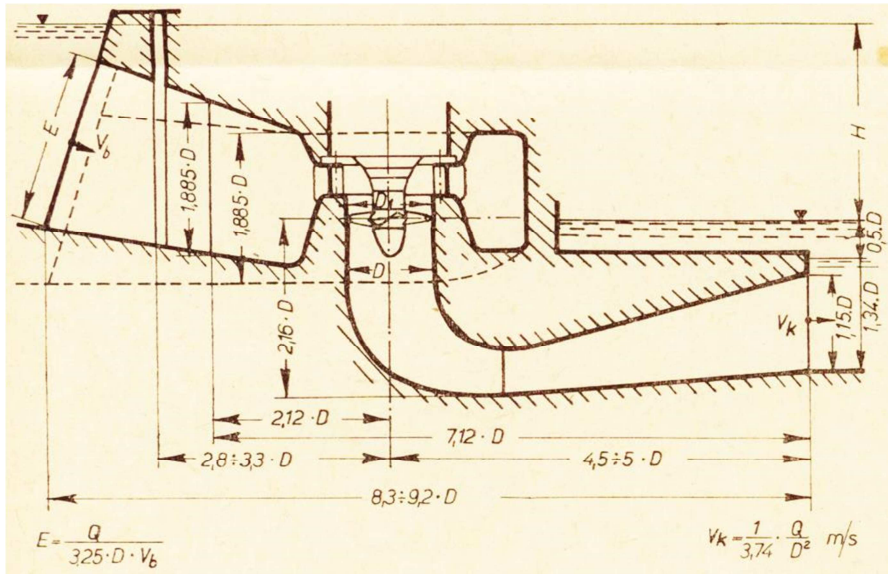


1.4.1 Klasszikus Kaplan- és csőturbínák összevetése

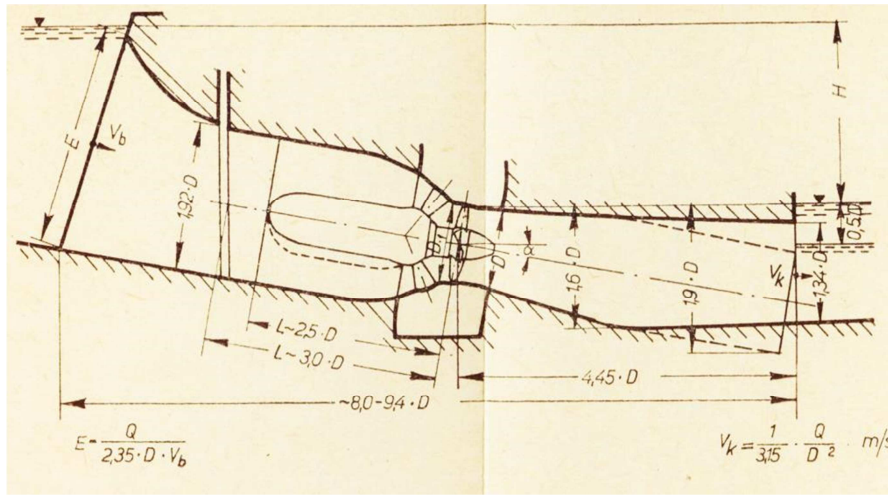
Csőturbina:

- Szívócső hatásfok jobb, de a hozzávezetésben meg több veszteség
- A hatásfok nagyobb vízmennyiségekre jobb de hegyesebb, mint a kl. K. esetén
- Nincs csigaház, nem kell előterelés
- Jellemző fordulatszám nagyobb
- Keresztirányú méret kisebb

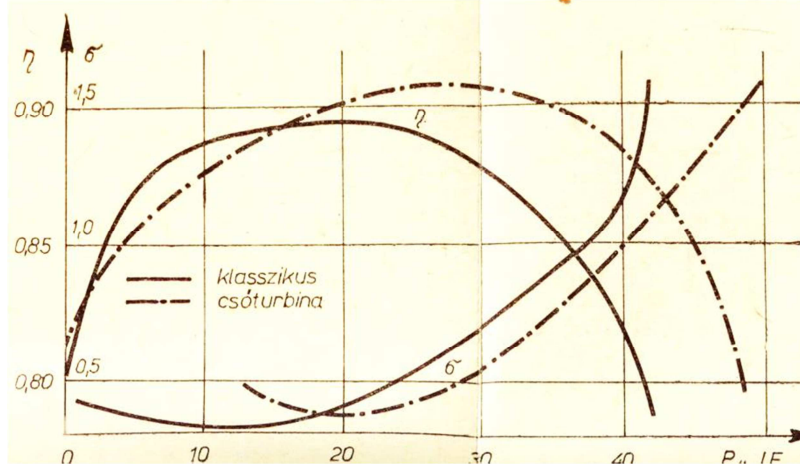
Klasszikus Kaplan-turbina:



Csőturbina:



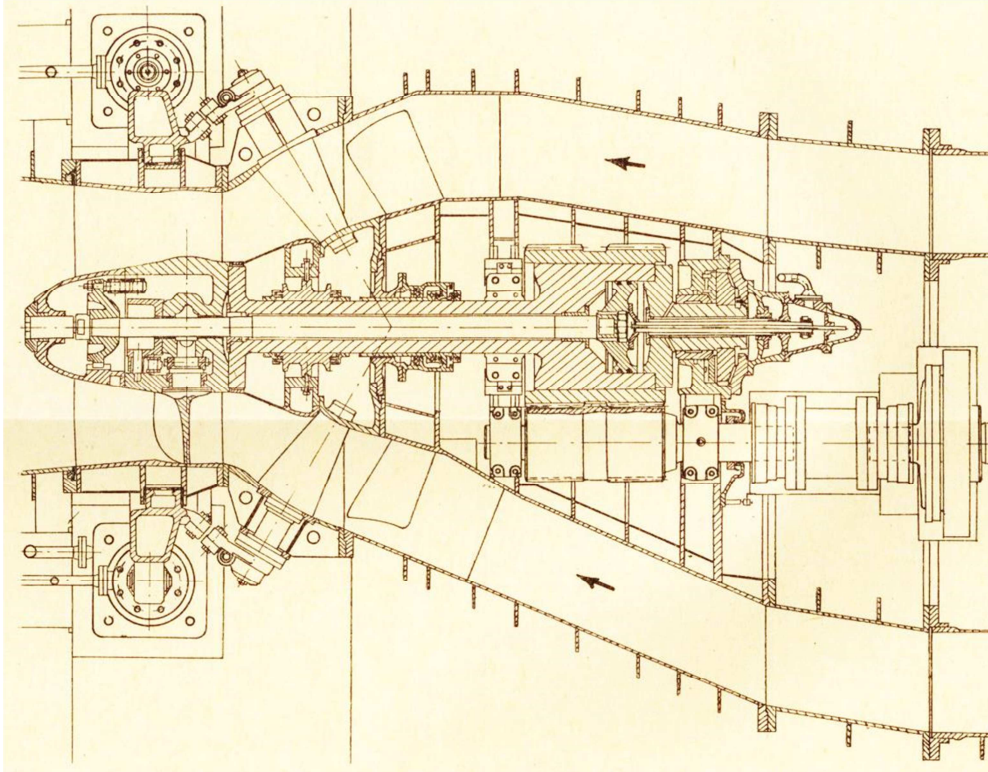
A klasszikus Kalpan-turbina és a csőturbina hatásfoka és kavitációs száma:



Csőturbina folytatás:

- A kavitáció a lapát mentén nem egyenletes
- A Thoma-féle kavitációs szám (kavitációs tartalék) nagyobb teljesítmények esetén kisebb, de a hatásfok jobb
- Kis hely van a generátornak az agyban: nagyobb fordulatszám kell: gyorsító áttétel kell
- Generátor mehet külön betonpillérbe is

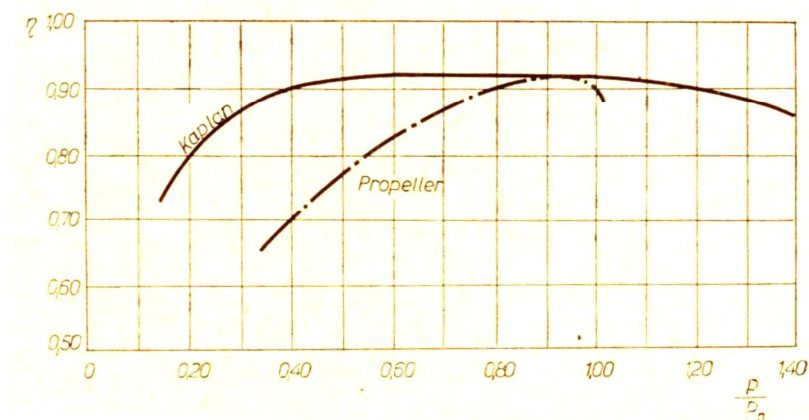
Csőturbina metszete, jól látszik az agyban elhelyezkedő generátor:



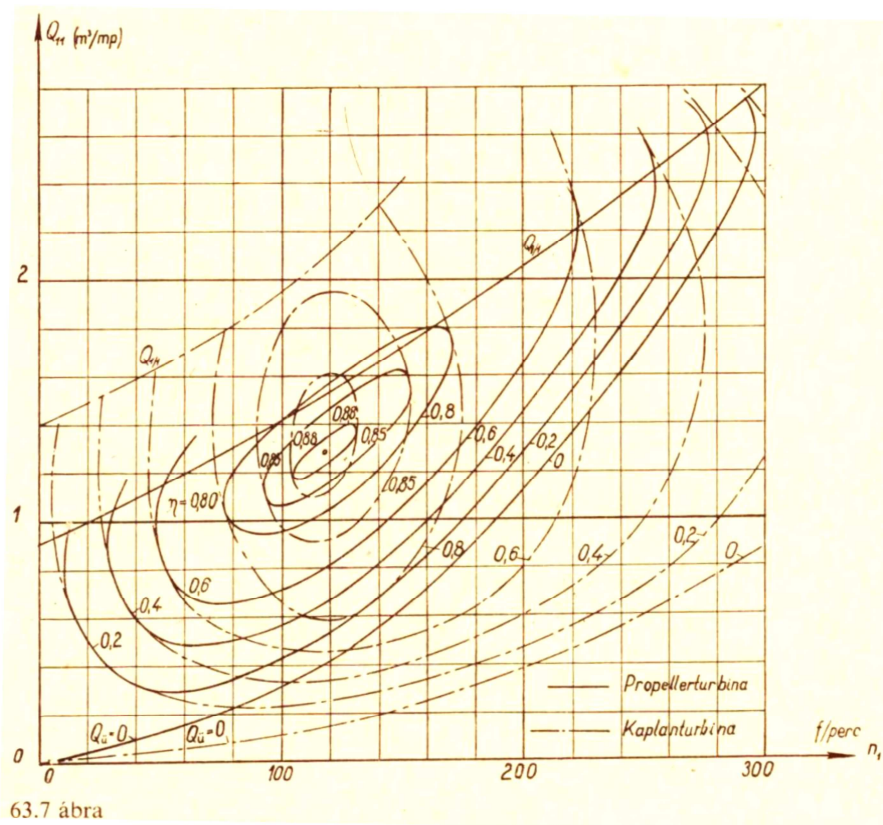
1.4.3 Propeller- és Kaplan-turbinák összevetése

- Merev lapátozás: csak szűk üzemi tartományban jó a hatásfok
- Valóság: Ritka, hogy H vagy Q ne változzon
- Megoldás: üzem közben is változtatható lapátszög: jó hatásfok széles üzemi tartományban: ez a Kaplan-turbina

A Kaplan-turbina hatásfok-görbéje jóval laposabb:



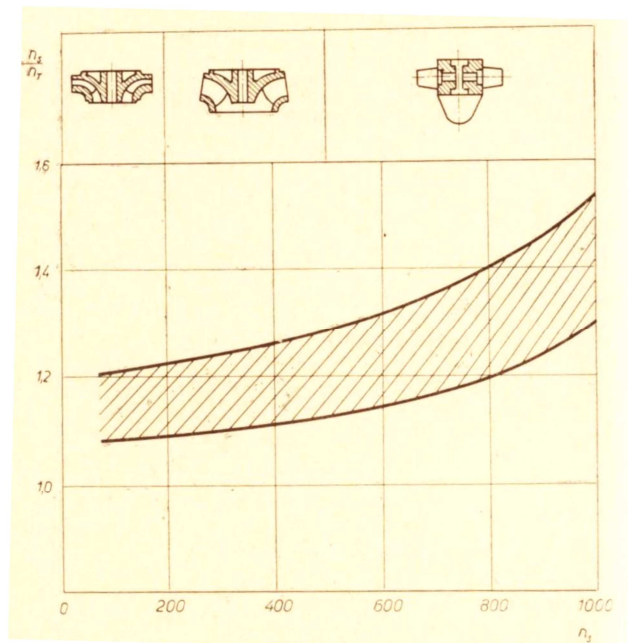
A Kaplan-turbina kagylódiagramja is kedvezőbb:



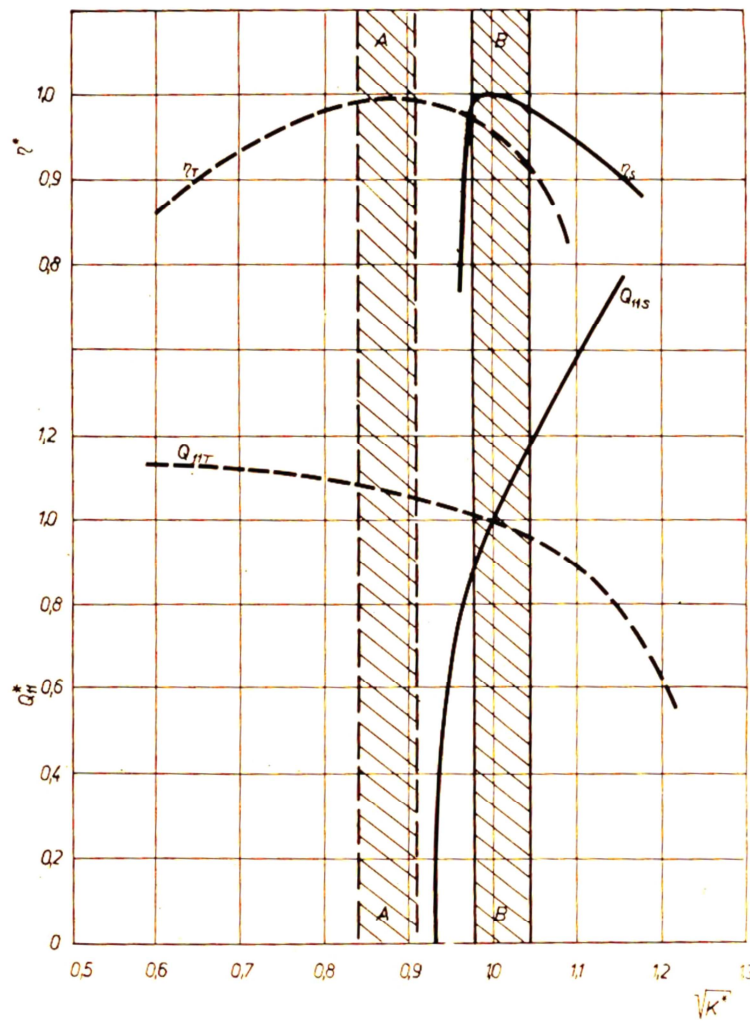
1.5 Reverzibilis gépek

- Szivattyús energiátároló rendszereknél fontos szerep
- PAT rendszerek: nem így vannak tervezve, rossz hatásfok, de olcsó
- Igény: gépek számának csökkentése tározós erőműveknél
- Tervezéskor: szivattyús üzem a nehezebb, a diffúzor jellegű lapátcsatornák miatt
- Nem azonos fordulatszámon érdemes üzemelni

Radiális, félaxiális és axiális reverzálható gépek fordulatszámarányai szivattyú és turbinaüzemben:

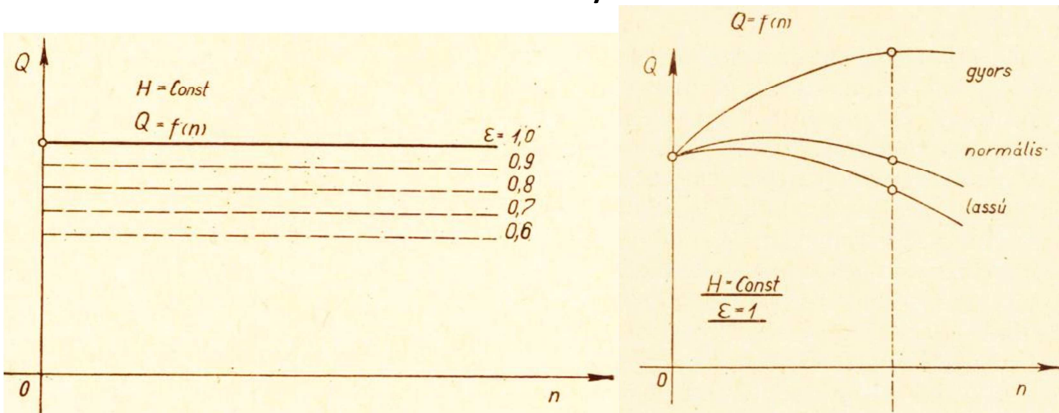


Reverzálható gépek hatások és víznyelés viszonyai szivattyú és turbina üzemben:



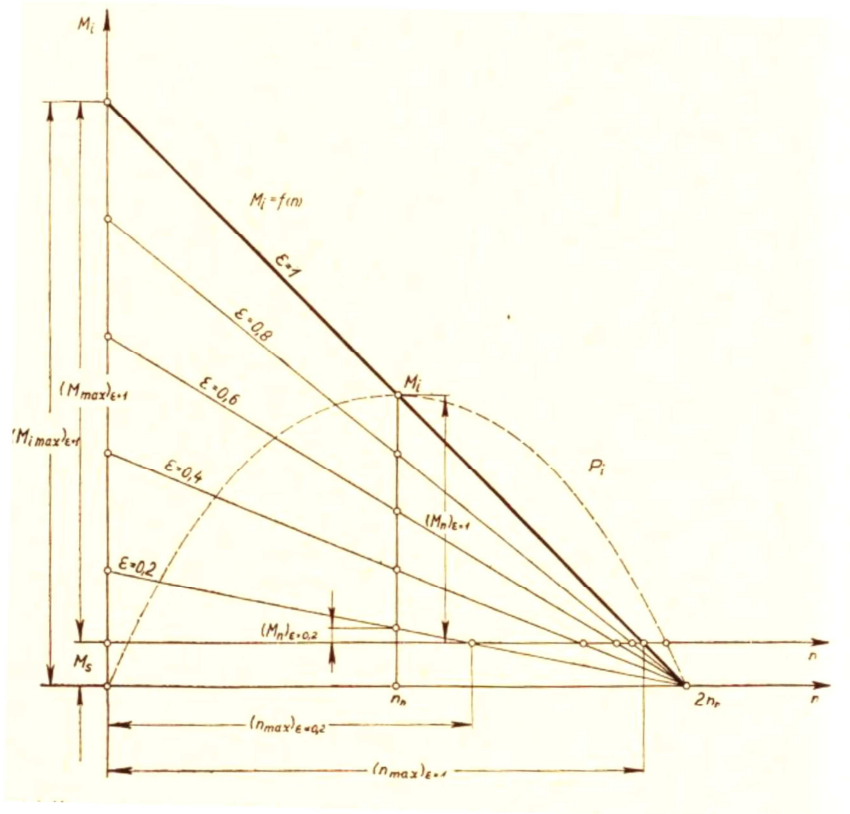
2 Turbinák jelleggörbéi

Bal: Akciós gépek víznyelés-fordulatszám függvényei adott esésre, különböző fajlagos nyitásra,
 Jobb: Különböző járású reakciós gépek víznyelés-fordulatszám függvényei adott esésre és fajlagos nyitásra:

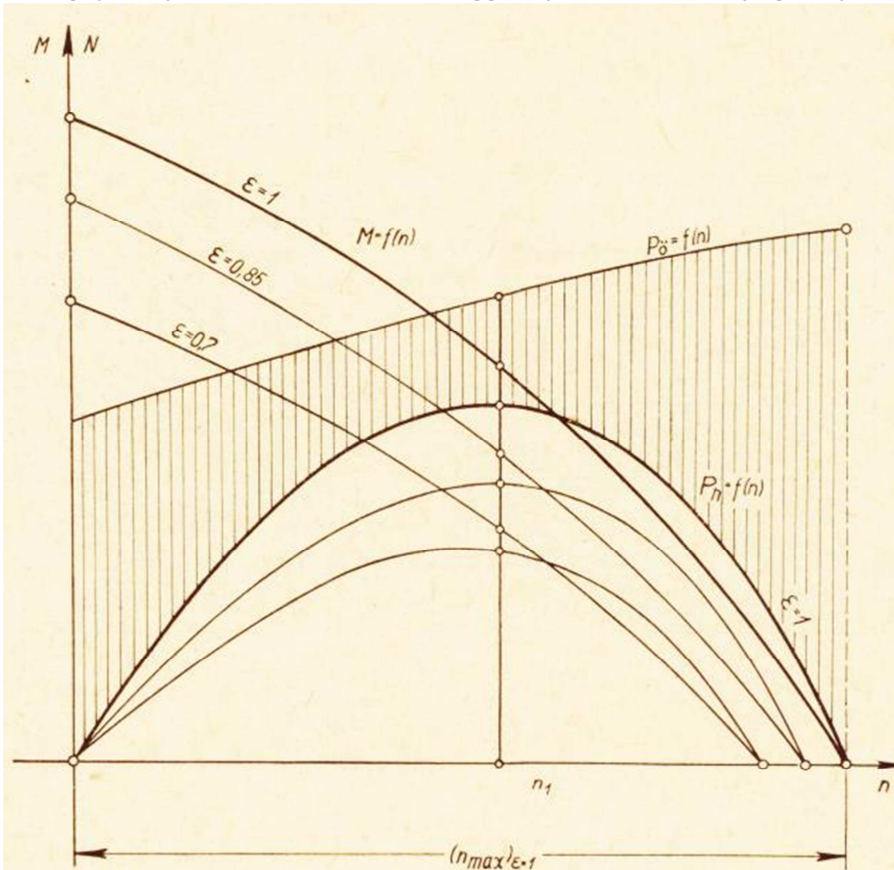


- Üresjárás: adott fordulatszám mellett már nem tud nyomatékot szolgáltatni

Akciós gépek nyomaték-fordulatszám függvényei különböző fajlagos nyításokra:

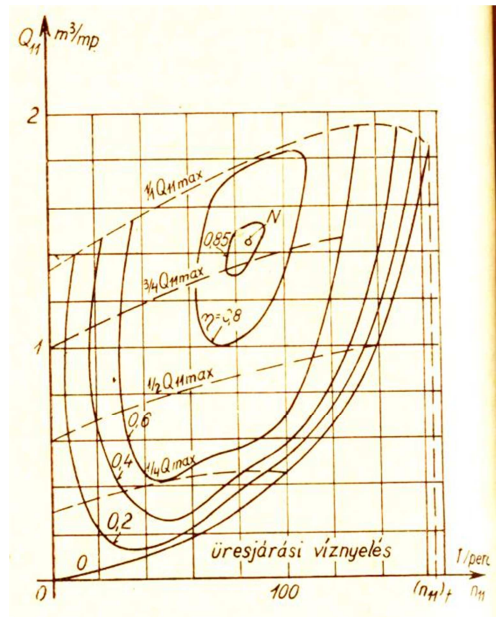
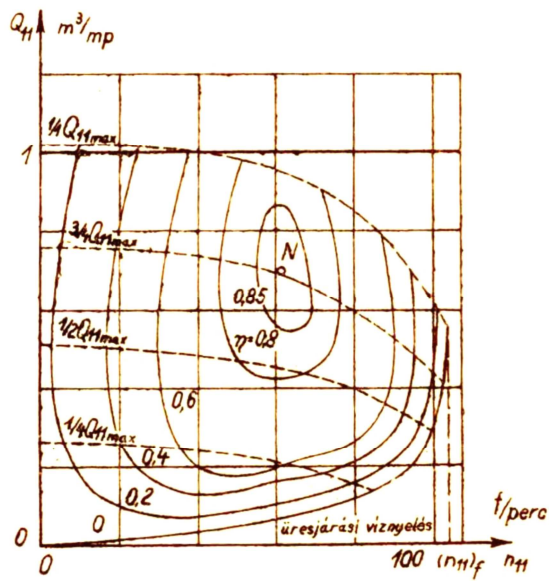


Reakciós gépek nyomaték-fordulatszám függvényei különböző fajlagos nyításokra:



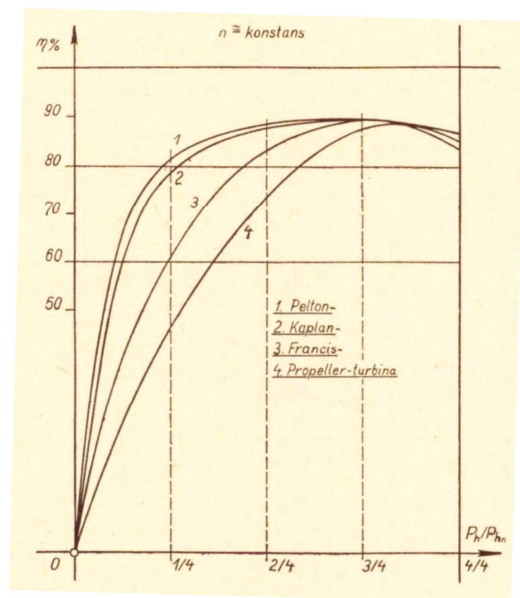
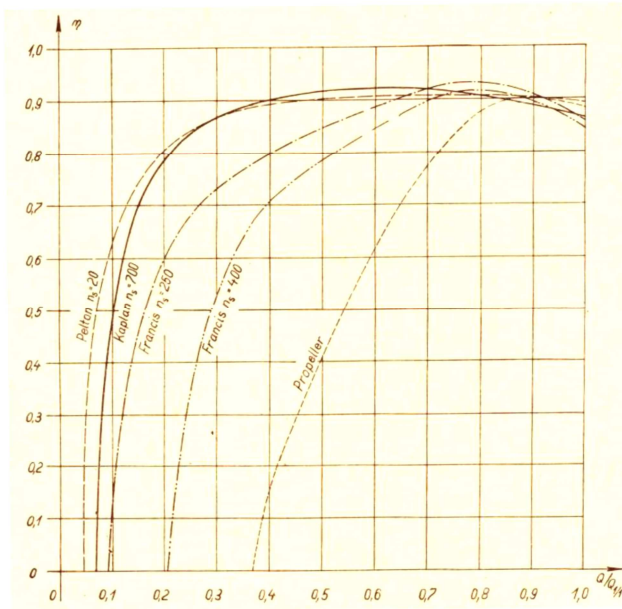
Fajlagos mennyiségekre rajzoljuk fel!

Normál típusú (bal) és gyors járású (jobb) gépek kagylódiagramjai:



- Fontos: melyik lapos, melyik hegyes
- Típus és jellemző fordulatszám hatása
- Víznyelés függvényében: ha a terhelés változik, a víznyeléssel megyünk utána: fontos ez az ábrázolási mód

Hatásfokok a fajlagos térfogatáram, ill. a fajlagos hasznos teljesítmény függvényében:



Hatásfok-összefüggések kisminta és valódi mérték között, rendre Pfeleiderer, Staufer, Ackeret, Canaon és Hutton szerint:

$$\frac{1-\eta}{1-\eta_m} \cong \left(\frac{Re_m}{Re}\right)^{1/10},$$

$$\frac{1-\eta}{1-\eta_m} \cong \left(\frac{Re_m}{Re}\right)^{1/4},$$

$$\frac{1-\eta}{1-\eta_m} \cong \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{Re_m}{Re}\right)^{0,2},$$

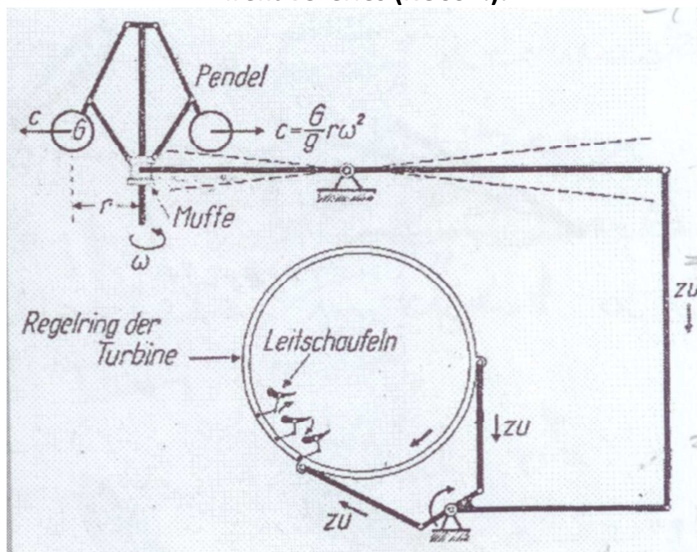
$$\frac{1-\eta}{1-\eta_m} \cong \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{Re_m}{Re}\right)^{0,25}$$

$$\frac{1-\eta}{1-\eta_m} \cong 0,3 + 0,7 \left(\frac{Re_m}{Re}\right)^{0,2}$$

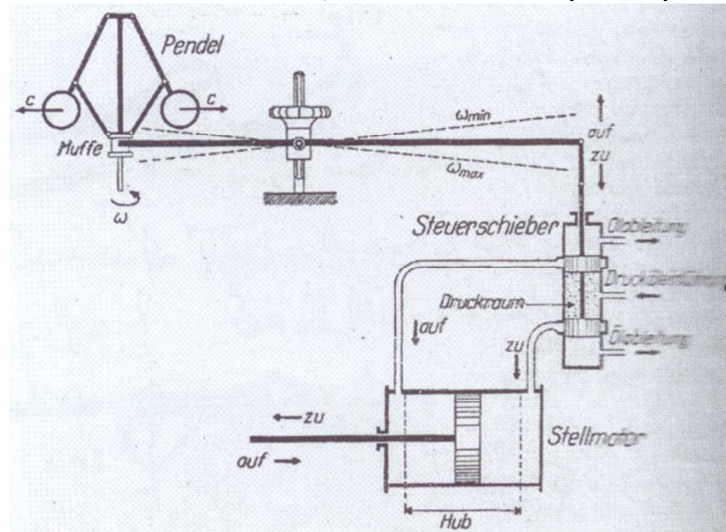
3 Turbinák szabályozása

- Aszinkron generátor, állandó fordulatszám igény
- Víznyelés változtatásával szabályozható
- Szabályozó részei:
 - érzékelő
 - rendelkező
 - jelképző (P, PI, PID)
 - erősítő
- Gépcsoport, tehetetlenségi erők miatt: egytárolós szakasz
- Szabályozó: fordulatszám-eltéréssel arányos jelleg: integráló viselkedés, lengésre, instabilitásra hajlamos
- Szabályozó szervomotorok (tolattyúk): olaj vagy víznyomással működnek

Direkt vezérlés (ROSSZ!):

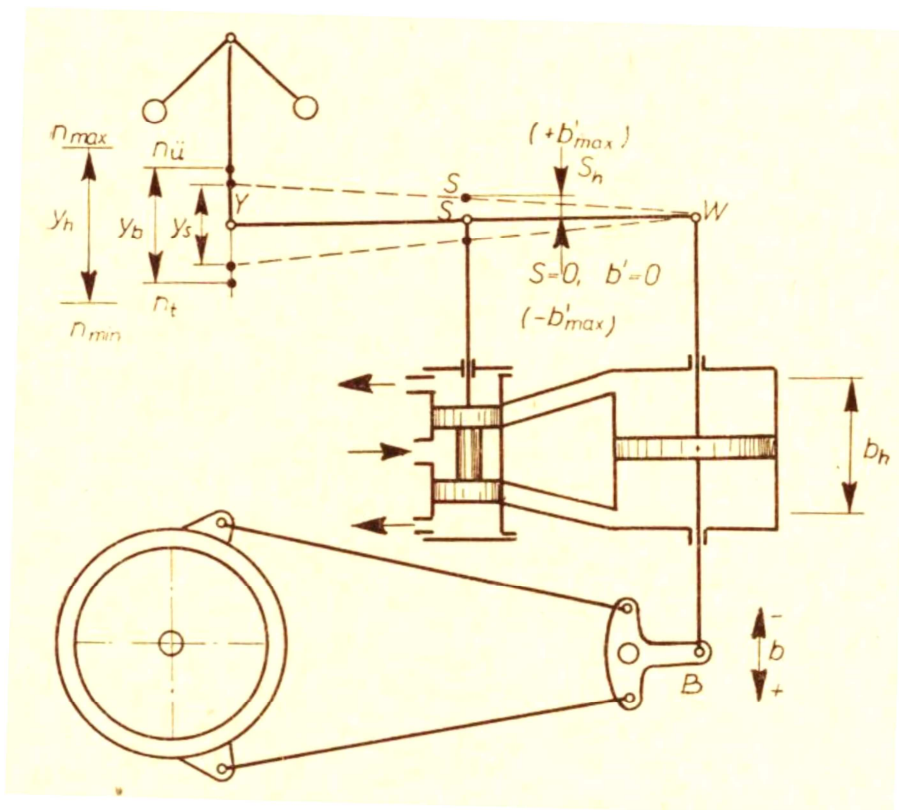


Lassú visszacsatolású, közvetett vezérlés (ROSSZ!):

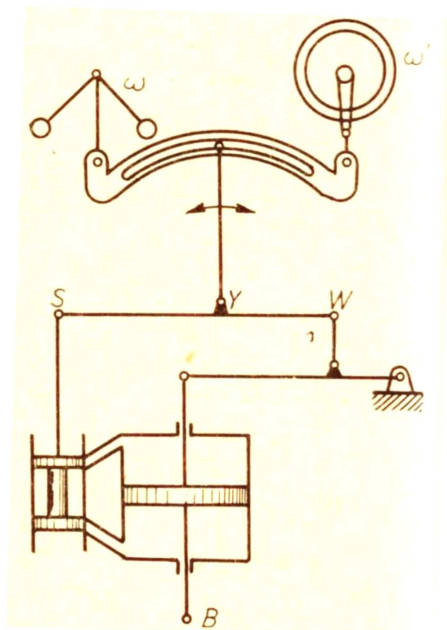


- Direkt vezérlés: nagy rúderők (mozgatás és tartás!)
- Lassú visszacsatolás: lengésekre hajlamos

Fordulatszám arányos szabályozás:



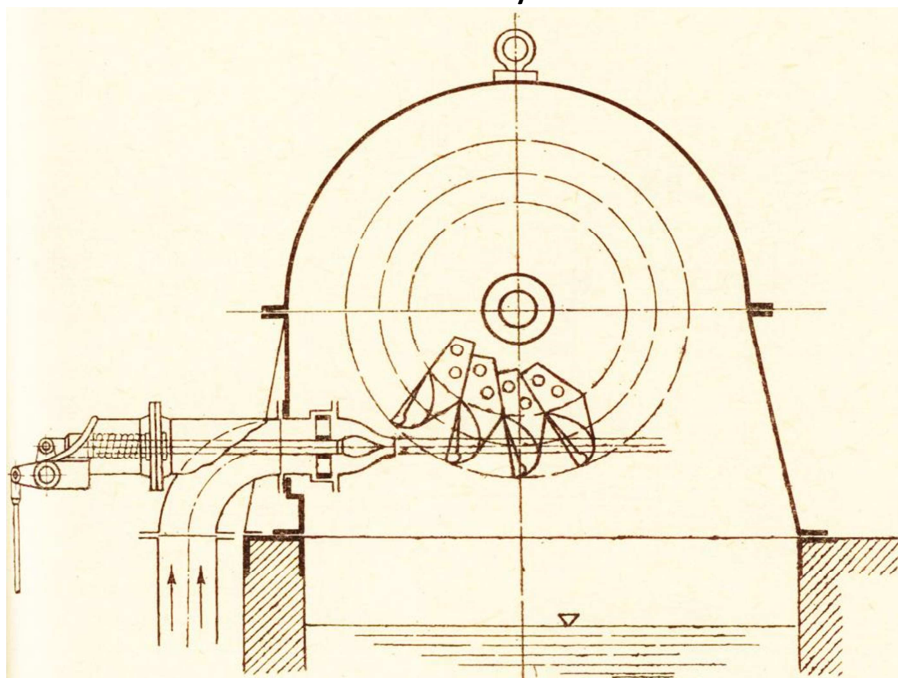
Fordulatszám és szöggyorsulás összegével arányos szabályozás:



- Ma: minden elektronikusan mérve: tachométer dinamó, nyúlásmérő bélyeg, stb.
- Szabályozás: PID, PLC, vagy még magasabb rendű

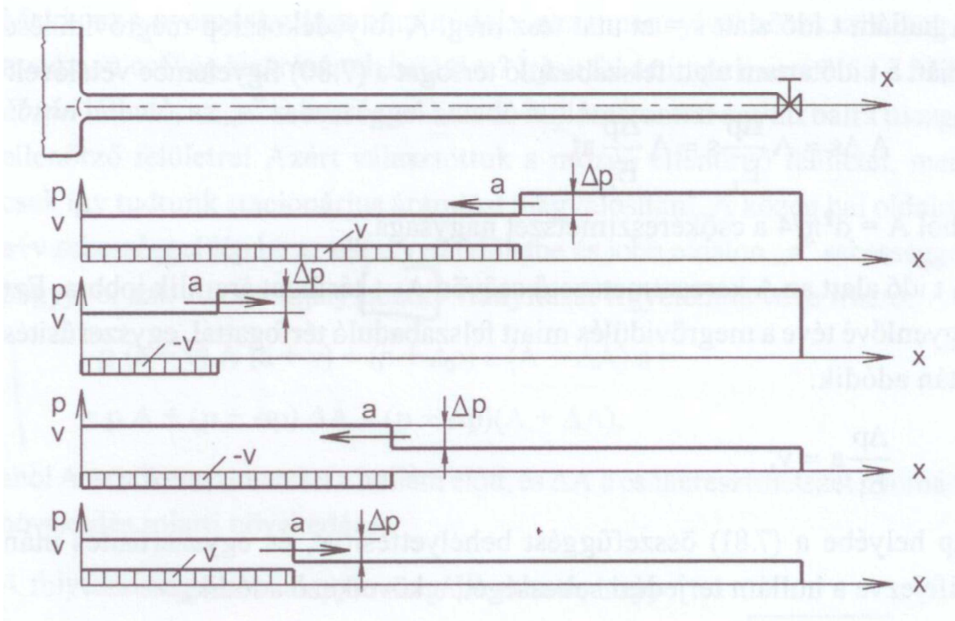
3.1 Pelton-turbina

Lándzsás szabályozás:

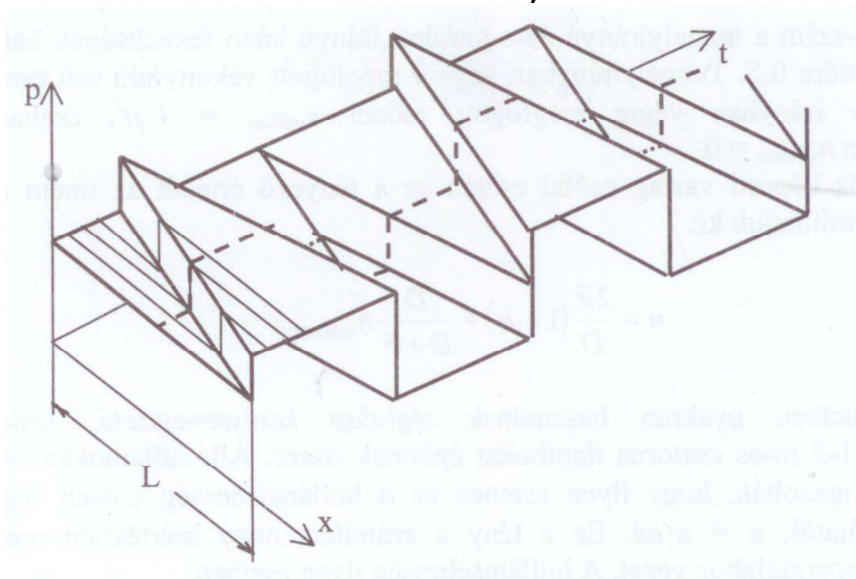


- Szabályozó tű (lándzsa mindig van)
- Nagy gépeknél: túl gyors zárás: vízlökés, nagy nyomások, Allievi elmélet
- Emiatt kettős szabályozás: sugárterelő zár el először, majd a tű lassan

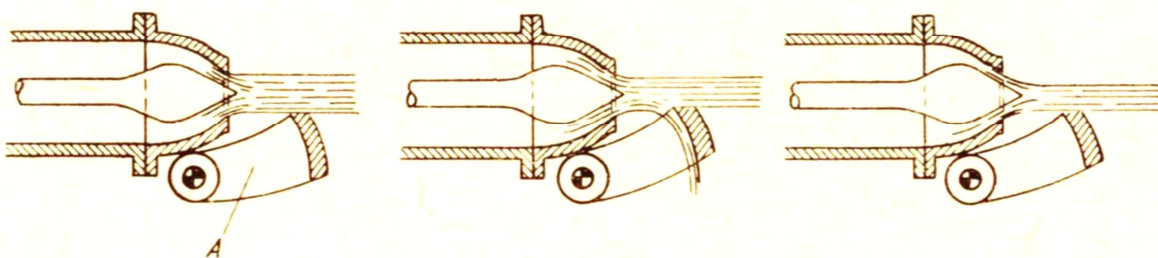
Nyomáshullámok terjedése csőben, 4 ciklusra osztva (forrás: Lajos Tamás: az áramlástan alapjai):



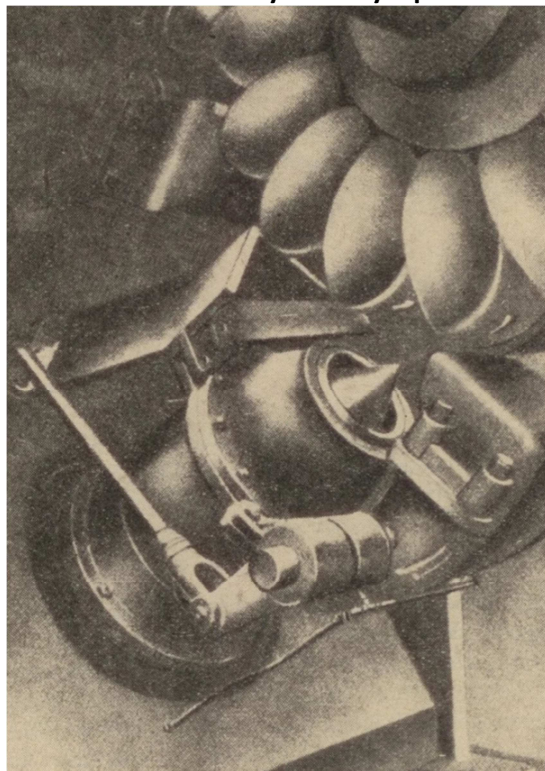
Nyomáshullámok terjedése térben és időben (forrás: Halász-Kristóf-Kullmann: Áramlás csőhálózatokban):



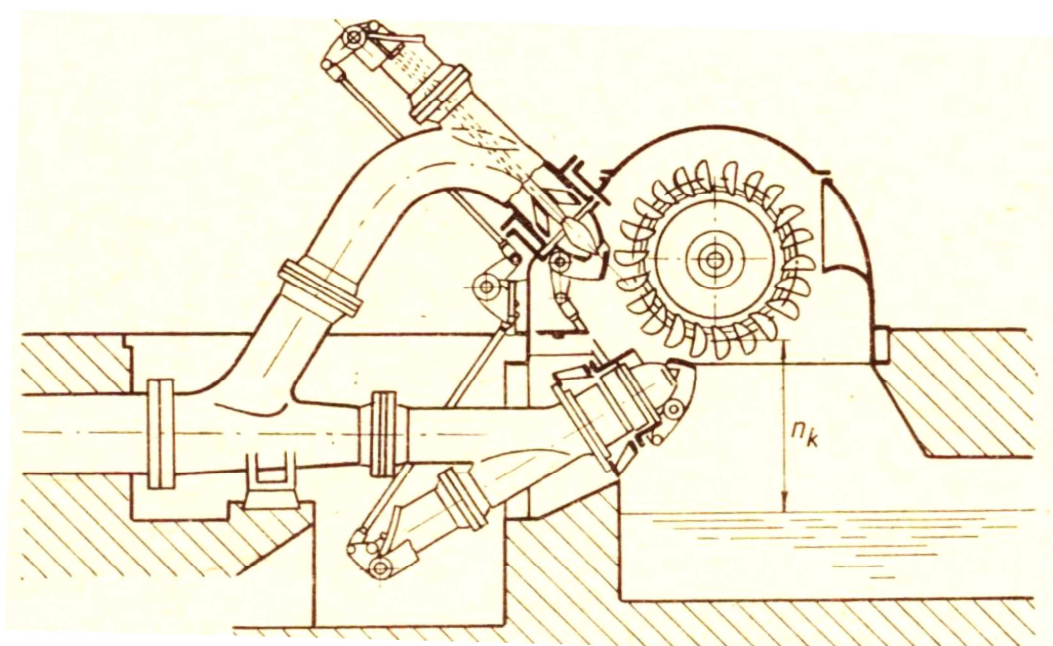
Lándzsát és sugárterelőt is használó kettős szabályozás:



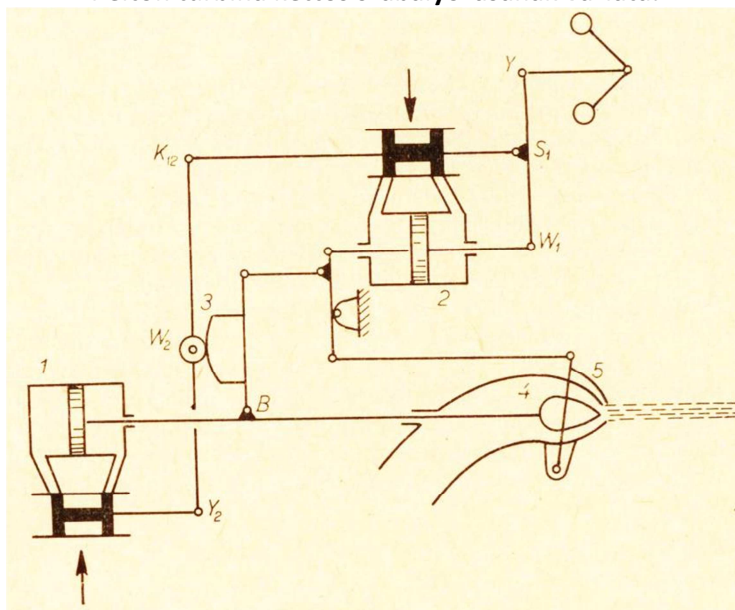
Kettős szabályozó fényképe:



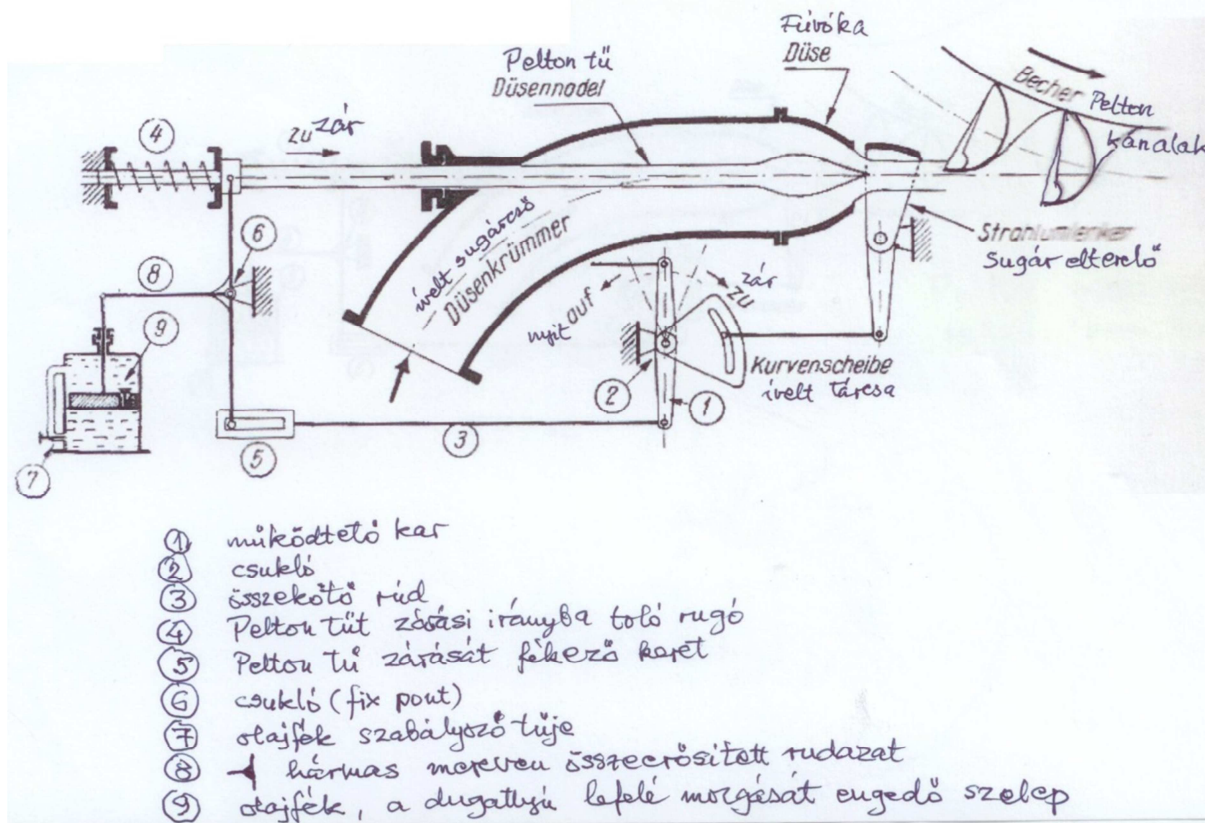
Kettős szabályozás mechanizmusa két sugárcsöves Pelton-turbinához:



Pelton turbina kettős szabályozásának vázlata:



Pelton-turbina kettős szabályozása, valóságos vázlat:

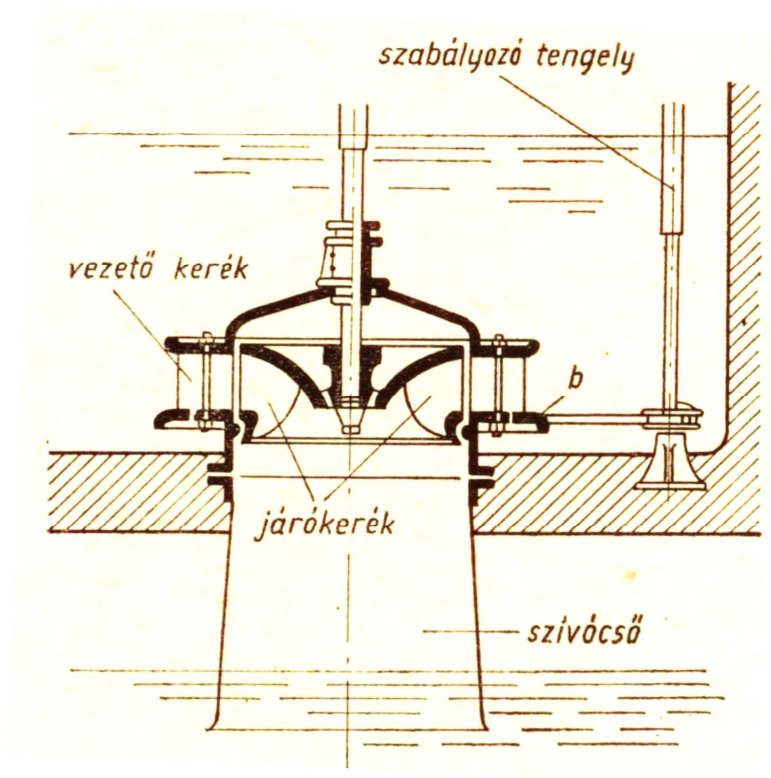


3.2 Francis-turbina

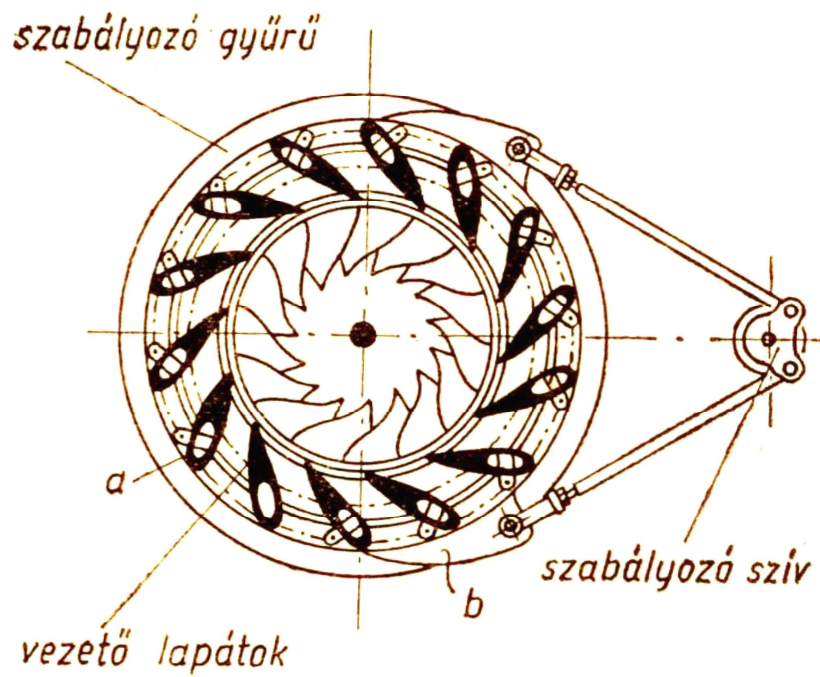
- Víznyelés szabályozása főként a vezető-kerékkel
- Legnagyobb víznyelés – szerkesztési víznyelés – teljesen zárt állapotok
- Kisgép: kézi szabályozás emberi erővel, legtöbbször egyenáramú dinamó
- Nagygép: automatikus, fordulatszám-tartó szabályozás váltakozó áramú generátor számára

- Belső szabályozás: nyitott víztérben
- Külső szabályozás: csigaházas kivitelnél, tömszelencés csapok, gyűrű a szabadban

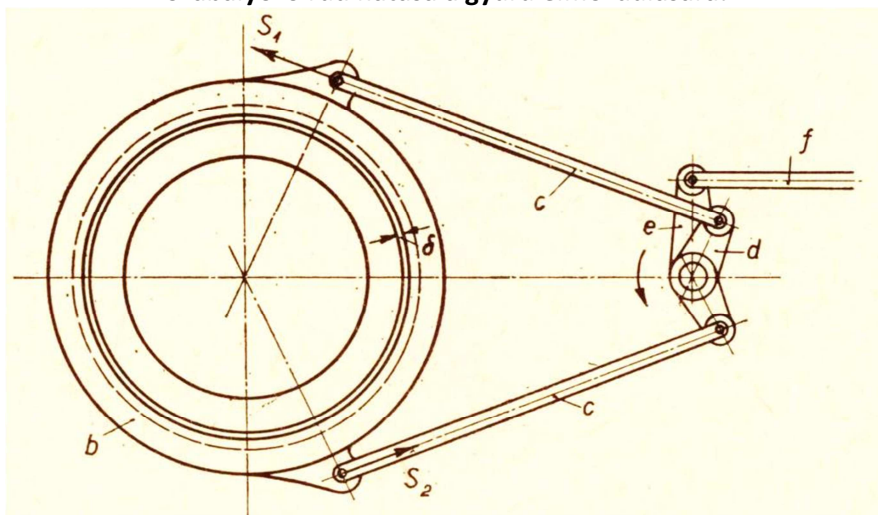
Nyitott Francis-turbina szabályozása:



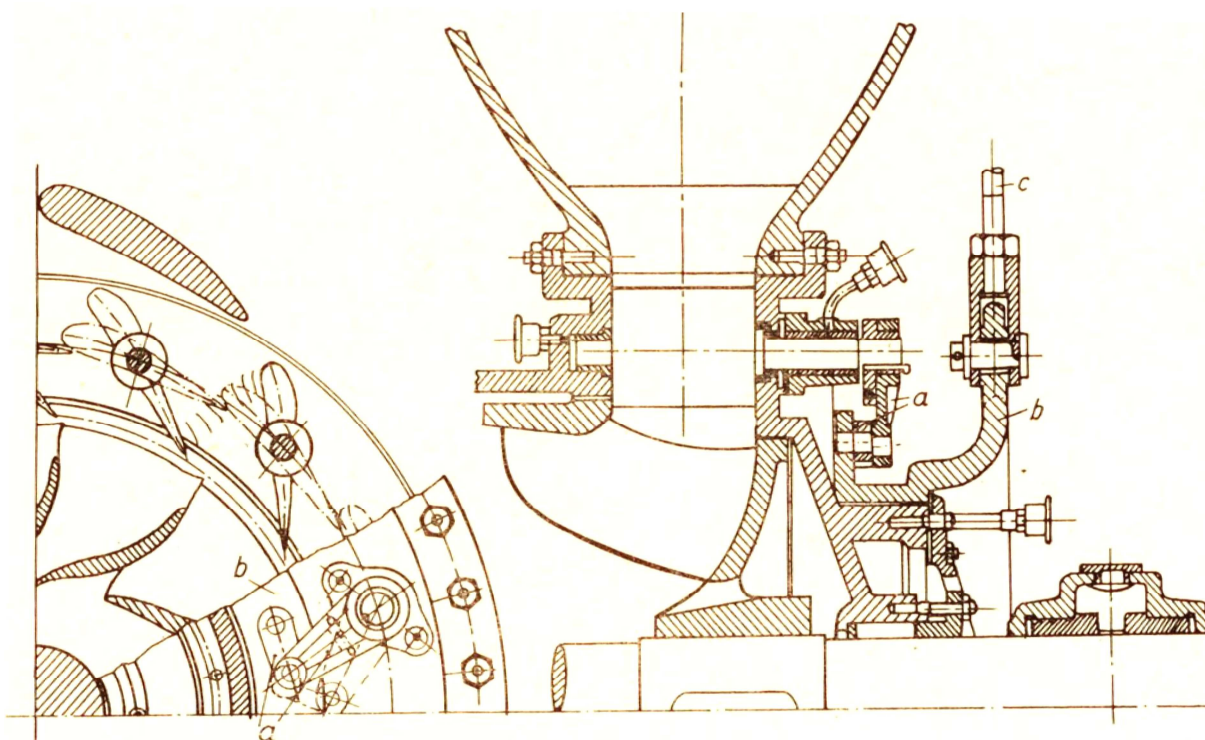
A lapátok forgatásának mechanizmusa, Fink gyűrű:



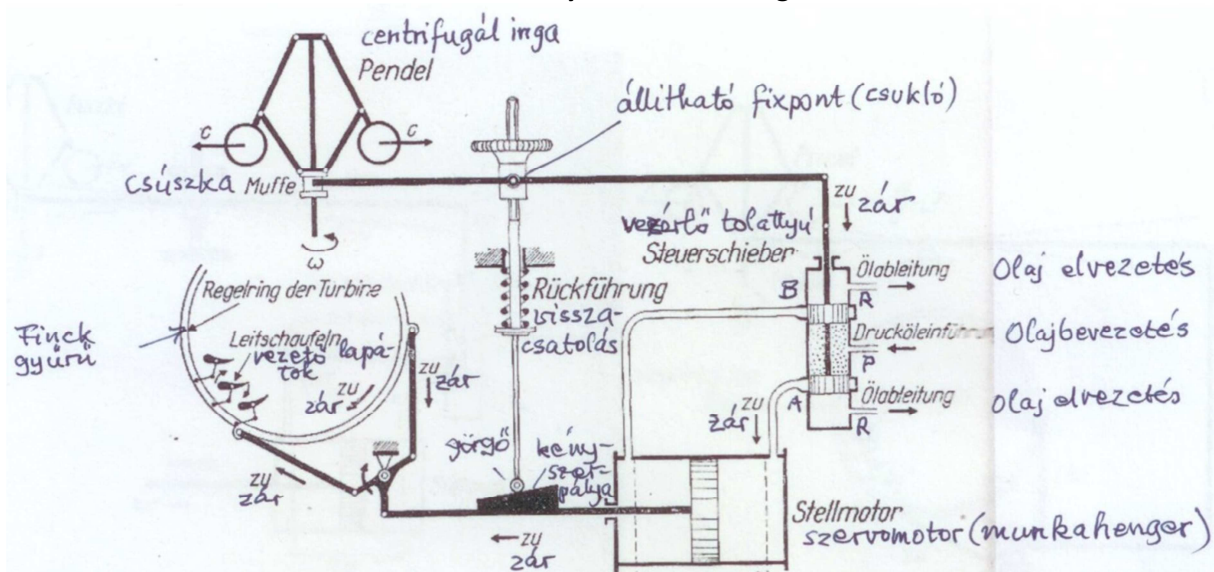
Szabályzó rúd hatása a gyűrű elmozdulására:



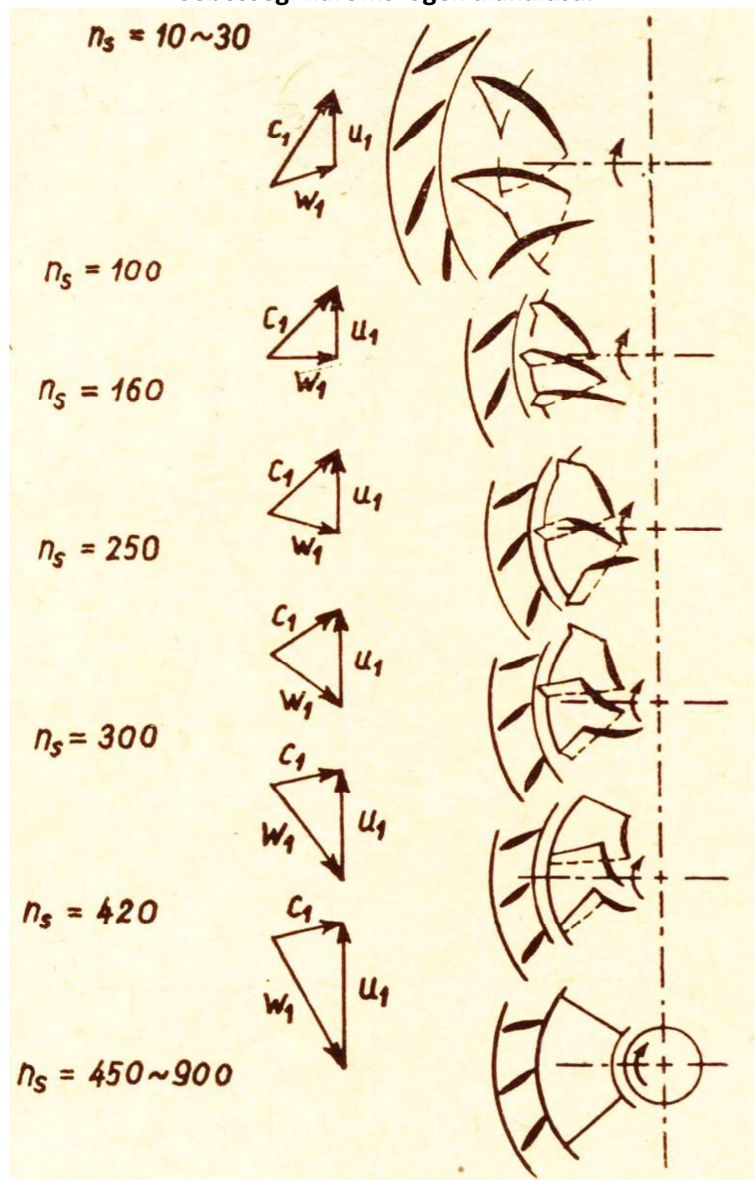
Francis turbina szabályozórendszerének gyakorlati kialakítása:



Francis-turbina szabályozásának valóságos vázlata:

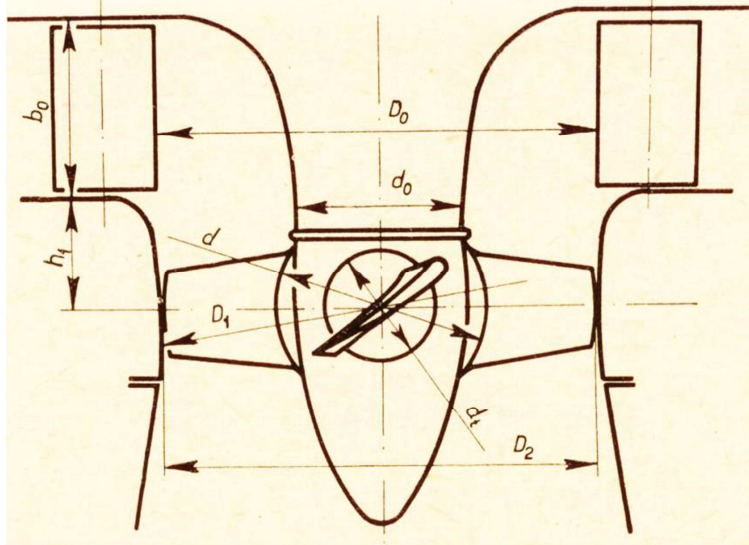


Sebességi háromszögek alakulása:

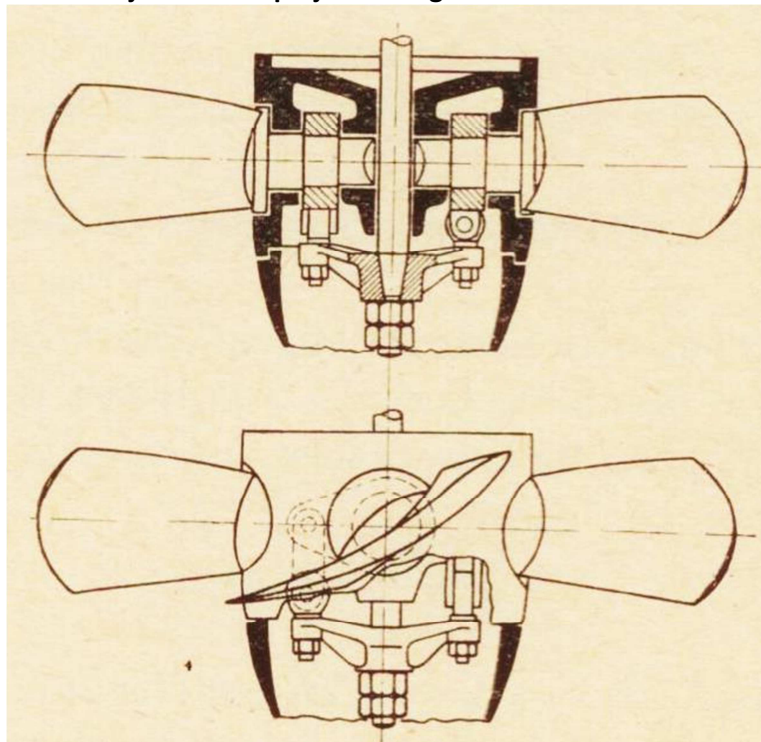


3.3 Kaplan-turbina

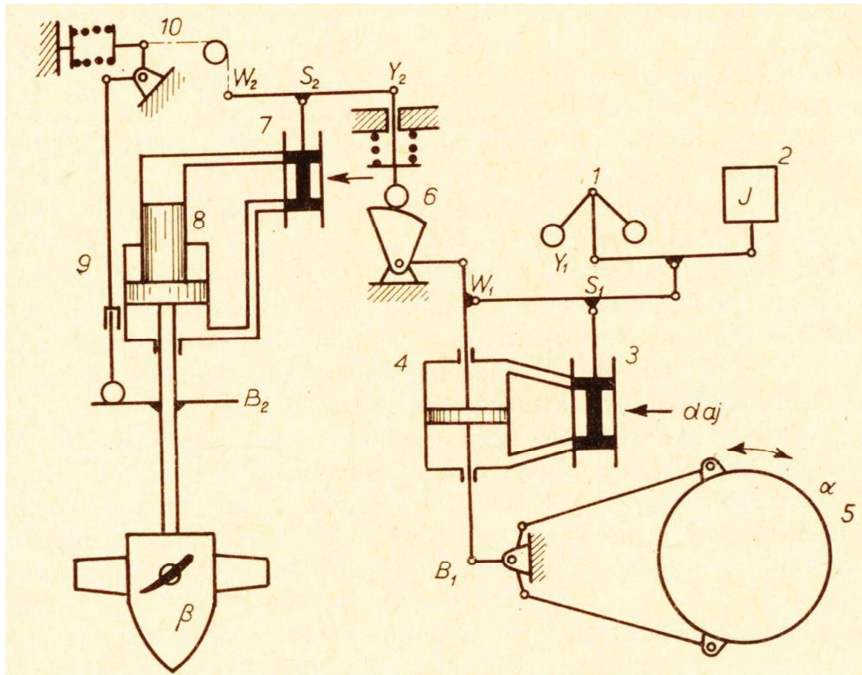
Kaplan-turbina kettős szabályozása:



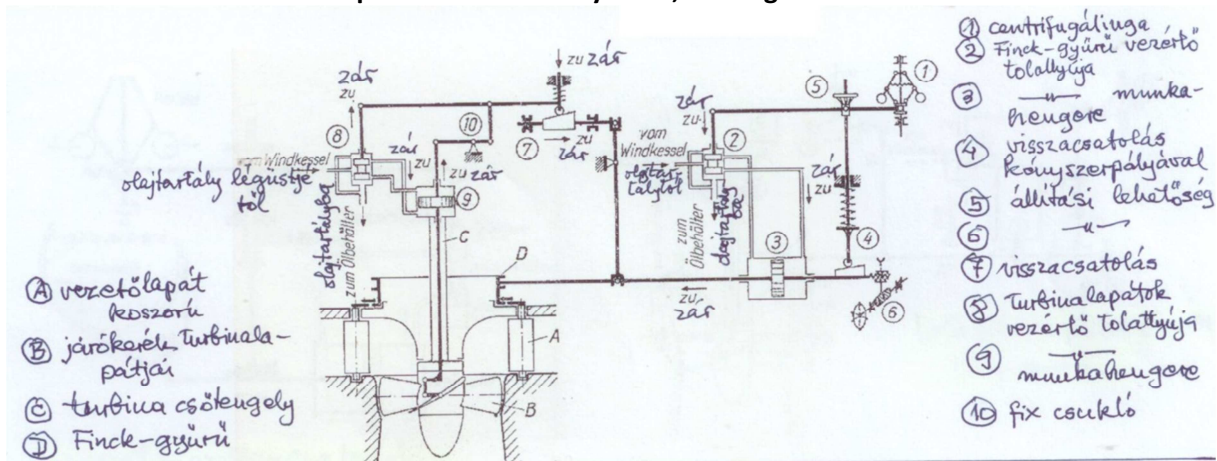
A járókerék lapátjainak forgatómechanizmusa:



Kaplan-turbina szabályozásának egyszerűsített vázlata:

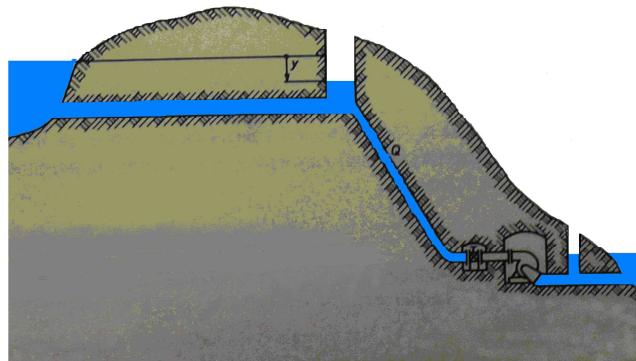


Kaplan-turbina szabályozása, valóság-hú vázlat:

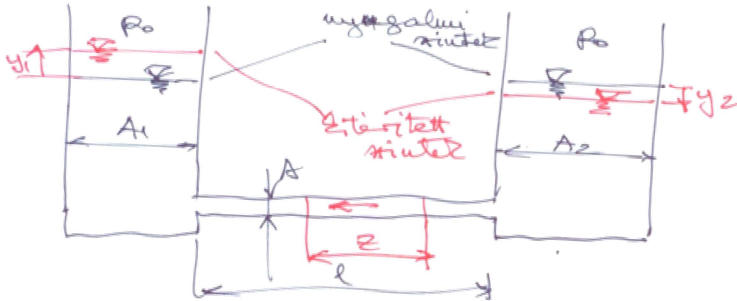


4 Kiegyenlítő medencék

Kiegyenlítő medencék elhelyezkedése az alvíz és felvíz oldalon:



- Két légmentes levegő rendszer
 ⇒ A légmentes nyitott tartályok
 ⇒ Az összecsatolt csőben a szintkülönbséget elhanyagoljuk.



= Pl. balra z-rel elmozdítottjuk a vízszintet,

$$A \cdot z = A_1 y_1 = A_2 y_2$$

$$\frac{dz}{dt^2}(): A \ddot{z} = A_1 \ddot{y}_1 = A_2 \ddot{y}_2$$

A nyomáskülönbség a l hosszúságú csőben

$$\Delta p = (\rho_1 + \rho_2) g z$$

az $\Delta p = \rho g a l = \rho g z \cdot l$ gyorsítónyomáskülönbséget jelent, a tartályokban a gyorsulás elhanyagolható

$$-\rho g z l = \rho g (A_1 + A_2) z$$

$$= \rho g \left(\frac{A}{A_1} + \frac{A}{A_2} \right) z$$

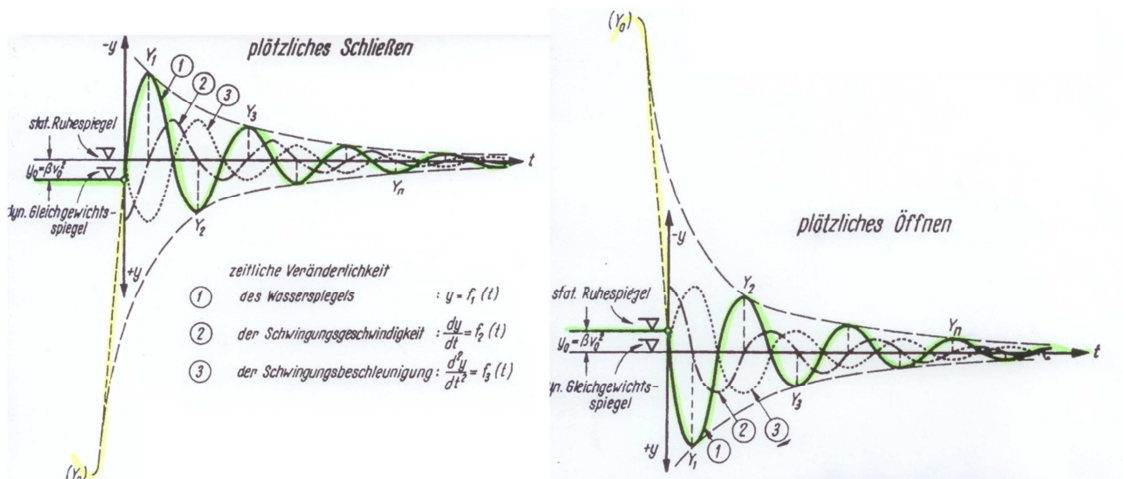
$$\ddot{z} + \underbrace{\frac{g}{l} \left(\frac{A}{A_1} + \frac{A}{A_2} \right)}_{\omega^2} z = 0$$

= Jó közelítéssel $A_1 \gg A_2$, így

$$\omega^2 \approx \frac{gA}{2A_2} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{gA}{2A_2}} = \frac{2\pi}{T}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2A_2}{gA}} \text{ a lengésidő.}$$

Hullámok terjedése hirtelen zárás (bal) és hirtelen nyitás (jobb) esetén:



Kiegyenlítő medencék különböző elrendezései:

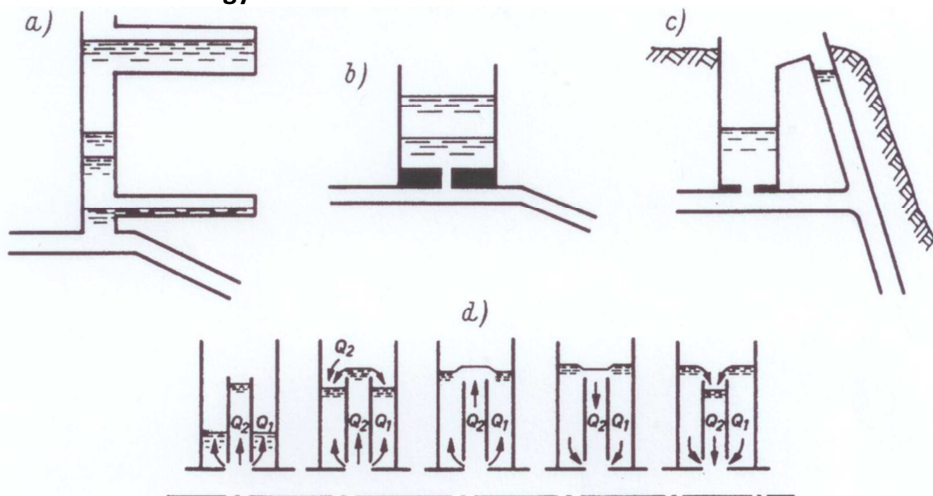


Bild 94. Bauformen des Wasserschlosses

- | | | | |
|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| a | Zweikammerwasserschloß | c | Differentialwasserschloß |
| b | gedrosseltes Wasserschloß | d | Differentialwasserschloß nach Johnson |