

Проф. др Мирослав Бенишек

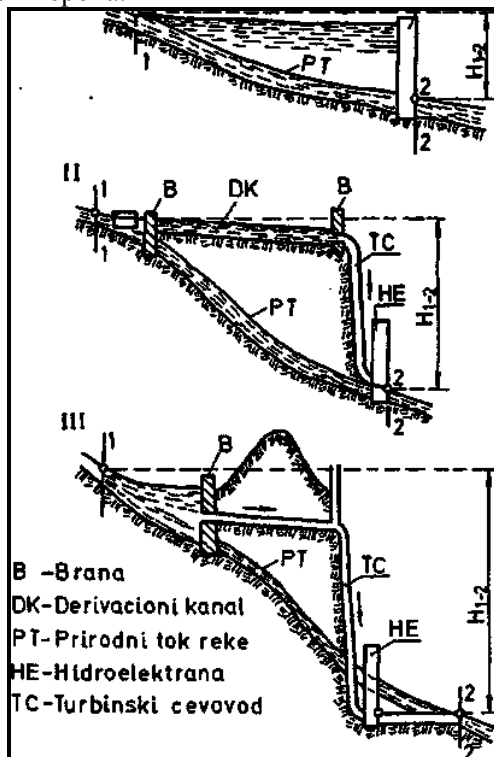
Катедра за хидрауличне машине и енергетске системе, каб. 48, mbenisek@mas.bg.ac.yu

ВРСТЕ ХИДРОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА И ХИДРАУЛИЧНИХ МАШИНА

Вода је неопходан елемент људског живљења и окружен њом човек током историје гради постројења како би воду искористио за своје потребе. Ова постројења, названа хидропостројењима - према старогрчком *idor* = вода, на различитим историјским нивоима техничко-технолошког развоја, попримала су различите конструкцијске облике. И поред ове различитости, сва хидропостројења имала су две битне намене: искористити хидроенергију за покретање машина с једне стране и довести воду на жељено место ради њеног коришћења с друге. Са данашње тачке гледишта хидроенергетска постројења су сложени технички објекти, који служе за претварање хидрауличке енергије у механичку, а затим обично у електричну енергију, и обратно, за претварање електричне и механичке у хидрауличну енергију. Хидроенергетска постројења представљају функционално јединство хидротехничких објеката, енергетске и механичке опреме. Сва хидроенергетска постројења се могу сврстати према намени у следеће основне групе:

1. Хидротурбинска постројења - хидроелектране (ХЕ),
2. Пумпна постројења (ПП),
3. Пумпно акумулационе хидроелектране (ПАХЕ),
4. Плимске хидроелектране (ПХЕ) и
5. Хидропостројења специјалне намене.

1. Хидротурбинска постројења - хидроелектране (ХЕ). У хидроелектранама потенцијална енергија воде претвара се у механичку, а потом у електричну енергију. Хидраулична енергија природног речног тока се концентрише изградњом бране преграде која иза себе ствара акумулацију воде извесне запремине, чији облик је одређен висином бране и конфигурацијом терена.



Слика 1: Принципске шеме изградње хидроелектрана.

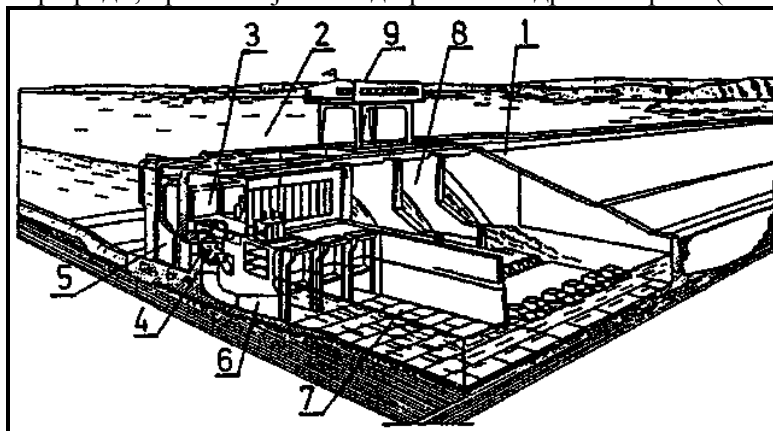
Постоје три основне принципске шеме (слика 1) изградње хидроелектране:

- **Прибранске и бранске хидроелектране** карактеришу се положајем машинске зграде, у самој брани или непосредно близу ње (шема I).

- **Деривационе хидроелектране** немају изграђену машинску зграду близу бране, већ се она гради далеко од ње. На овај начин добијају се велике геодезијске разлике горње и доње воде. Природан ток воде се скреће и доводи отвореним каналом (деривационим каналом или цевоводом, шема II) до места где се вода акумулира помоћу веће бране, а затим се од ње вода до машинске зграде доводи цевоводом под притиском.

- **Комбиновани тип хидроелектране** има својства претходне две шеме. Вода се акумулира изградњом бране, а затим се цевоводом под притиском одводи до машинске зграде (шема III).

На слици 2 примера ради, приказан је изглед бранске хидроелектране (шема I на слици 1).



Слика 2: Изглед бранске електране.

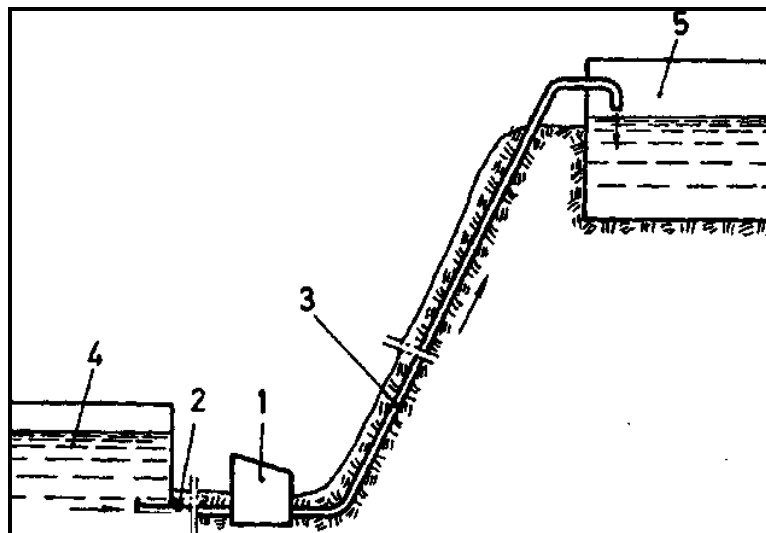
Иза **броне 1** налази се **акумулација 2**. У брани се налази **машинска зграда 3** са **турбинским агрегатом 4**. Вода из акумулације пролази кроз **уводне органе 5**, кроз турбину 4 где предаје енергију, а затим кроз **одводне органе 6** отиче у **доњу воду 7**. У случају великих вода вишак воде мора се пропуштати преко **прелива 8**. На круни бране налази се **дизалица 9**.

Све хидроелектране поседују машину у којој се врши размена енергије струјног тока воде са механичким системом. Ове машине се називају **турбинама**.

За несметано обављање основног задатка (трансформација хидроенергије у електричну енергију) хидроелектране су снабдеване и другом механичком и електричном опремом као што су: решетке за спречавање улаза већих предмета у турбину, доводни цевовод, опрема за евакуацију великих вода, риблије стазе, бродске преводнице (за пловне реке), уређаји за припрему и транспорт уља и мазива, дизалице, чистилице решетака, органи за затварање дотока воде, регулатор турбине и др.

Хидроелектране поседују и генераторе - електричне машине у којима се механичка енергија претвара у електричну. Турбина и генератор заједно чине **хидроагрегат**. Наше највеће хидроелектране су: ХЕ Ђердап I, ХЕ Ђердап II, ХЕ Бајина Башта, ХЕ Мратиње, ХЕ Перућица, ХЕ Зворник, Власинске ХЕ (Врла 1, 2, 3 и 4), ХЕ Пирот, ХЕ Потпећ, ХЕ Бистрица, ХЕ Кокин Брод, ХЕ Увац, ХЕ Газиводе, ХЕ Овчар Бања, ХЕ Међувршје, ХЕ Пива, РХЕ Бајина Башта и др.

2. Пумпна постројења (ПП). Хидроенергетска постројења која имају задатак да транспортују воду са нижег нивоа на виши ниво, са места нижег притиска на место вишег притиска, као и да воду транспортују на велике удаљености називају се **пумпним постројењима**. Свако пумпно постројење снабдевано је бар са једном машином пумпом која „обогаћује“ енергијом воду, тако да она може да савлада све отпоре на свом путу кроз ценовод, притиске и више коте. На слици 3 приказана је принципска шема једног пумпног постројења.



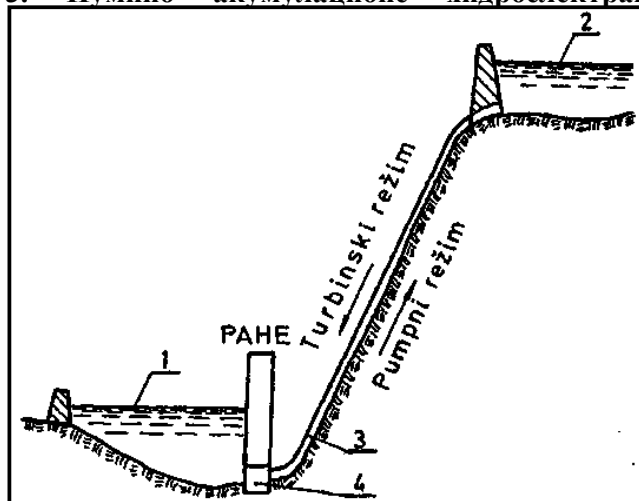
Слика 3: Принципка шема једног пумпног постројења.

У принципу пумпно постројење састоји се од **пумпне станице 1** у коју је уграђен један или више пумпних агрегата (**пумпе и погонски мотори са пратећом опремом**), **усисног ценовода 2**, **потисног ценовода 3**, **усисног резервоара 4** и **потисног резервоара 5**.

Пумпа се погони електромотором, дизел или СУС мотором и другим погонским машинама. Пумпа и погонска машина чине агрегат. Зависно од намене, пумпна постројења су снабдевена и помоћном опремом која треба да обезбеди несметан и дуготрајан рад.

Пумпна постројења имају широку примену у техничкој пракси. Користе се у системима **водоснабдевања**, у **пољопривреди** за **наводњавање** и **одводњавање** поља, у **канализационим системима**, у системима **одбране приобалних терена од поплаве**, **допремању воде у станове високих солитера**, у системима **подмазивања** итд.

3. Пумпно акумулационе хидроелектране (ПАХЕ). Пумпно акумулационе



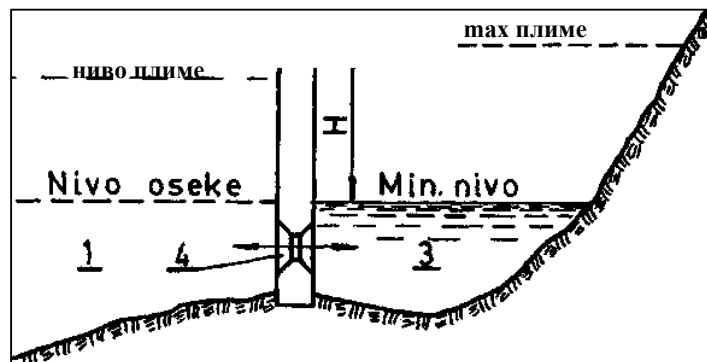
хидроелектране су хидропостројења која могу наизменично да раде као пумпна постројења и хидроелектране. Шематски приказ пумпно акумулационе хидроелектране дат је на слици.4.

Слика 4: Принципка шема пумпно акумулационе хидроелектране.

У случају када има вишка енергије у електричном систему (могућност производње је већа од потрошње), тада пумпно акумулациона хидроелектрана ради у пумпном погону, пребацујући воду **цевоводом 3** из **доње акумулације 1** у **горњу акумулацију 2**. С друге стране мањак електричне енергије у мрежи енергетског система надокнађује се радом ПАХЕ у турбинском погону користећи акумулирану воду у горњем језеру за производњу електричне енергије.

Основна улога пумпно акумулационе хидроелектране састоји се у уравнивању односа између производње и потрошње енергије једног енергетског система, који има већи број стабилних извора енергије, као што су термоелектране и велике хидроелектране. Термоелектране не могу да мењају производњу енергије, због оптерећења котлова, у кратком временском периоду, са друге стране велике електране не би смеле да смањују производњу енергије, јер би вишак воде морале да преливају, што представља ненадокнадив губитак у производњи енергије. Пумпно акумулационе хидроелектране акумулирају вишак енергије једног енергетског система у виду потенцијалне хидроенергије горње акумулације, а у случају недостатка враћају енергију у систем. Пумпно акумулационе хидроелектране представљају најбољи начин очувања вишка електричне енергије енергетског система. Пумпно акумулационе хидроелектране морају да поседују пумпни и турбински агрегат или агрегат који може наизменично да ради као пумпа или турбина. Наша највећа и за сада једина пумпно акумулациона хидроелектрана је РХЕ "Бајина Башта".

4. Плимске хидроелектране (ПХЕ). Плимске хидроелектране користе плимска колебања мора. Граде се на местима где су, услед плимских колебања, промене нивоа мора велика, у морским заливима и ушћима река. На слици 5 дат је шематски приказ плимске хидроелектране.



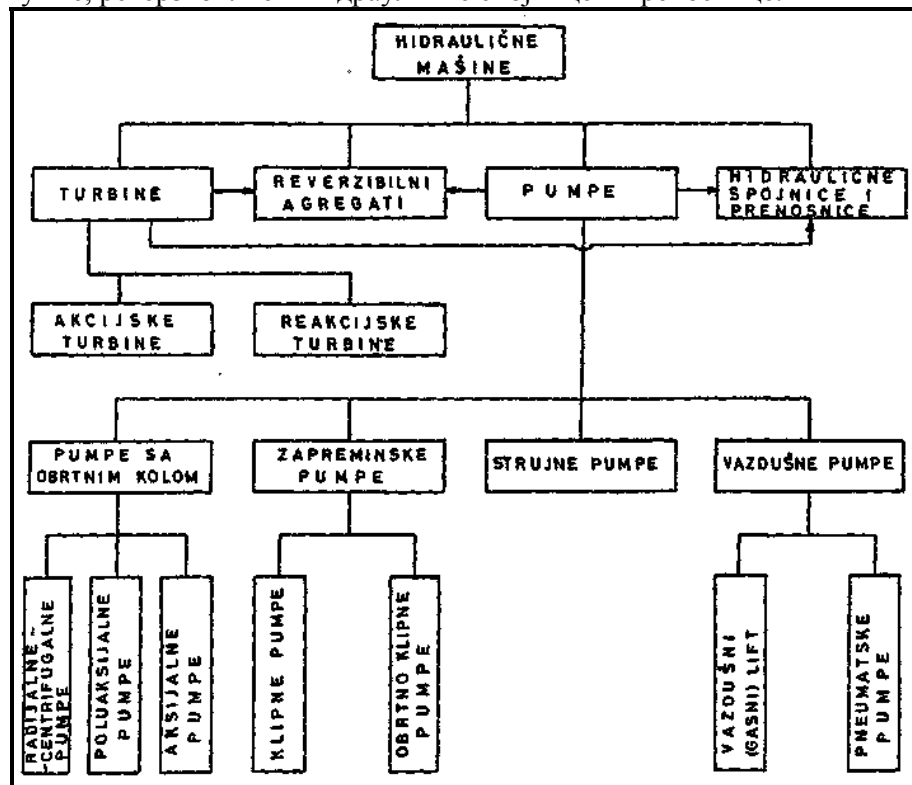
Слика 5: Принциуска шема плимске хидроелектране.

Залив 3 преграђује се на погодном месту **браном 2** у којој су уграђени агрегати плимске хидроелектране 4. За време плимског таласа вода из **мора 1** улази у залив 3. Након повлачења плимског таласа настаје разлика нивоа између нивоа воде у базену залива 3 и мора 1. Вода се пушта кроз турбине плимске хидроелектране у море и при томе хидраулична енергија се претвара у електричну енергију.

У неким случајевима погодно је у плимске хидроелектране уградити и реверзибилан агрегат, који може наизменично да ради као турбина и као пумпа. У таквим случајевима плимска хидроелектрана има сличне могућности као и пумпно акумулационе хидроелектране.

5. Хидропостројења специјалне намене. У техничкој пракси има хидроенергетских постројења која се не могу сврстати у претходне групе, већ спадају у групу хидропостројења специјалне намене. У ову групу би, на пример, могле доћи пнеуматска хидропостројења, ваздушни лифтови и др.

Сва хидропостројења поседују **енергетску машину** или више машина у којима се врши размена енергије између механичког система и течности. Ове машине се називају **хидрауличким машинама** и може се рећи да оне представљају **срце** сваког хидропостројења. Зависно од намене, хидрауличне машине могу се условно поделити на турбине, пумпе, реверзибилне и хидрауличне спојнице и преноснице.



Слика 6: Подела хидрауличних машина.

Турбине су хидрауличне машине у којима се врши пренос енергије, коју поседује вода, на механички систем. Уграђују се у хидроелектране, пумпно акумулационе хидроелектране и плимске хидроелектране.

Пумпе су хидрауличне машине у којима се врши предаја енергије механичког система течности која струји кроз пумпу. Уграђују се у пумпна постројења и пумпно акумулационе хидроелектране. Зависно од конструкције и принципа рада све пумпе се могу поделити у више група: пумпе са обртним лопатичним колом, запреминске пумпе, струјне пумпе и ваздушне пумпе.

- **Пумпе са обртним колом** се даље деле на радијалне (центрифугалне), полуаксијалне и аксијалне пумпе.
- **Запреминске пумпе** се деле на клипне и обртно клипне пумпе.
- **Струјне и пнеуматске пумпе** спадају у групу пумпи специјалних намена. Ове пумпе немају покретних делова.

Реверзибилни агрегати су машине које имају својства и пумпе и турбине, и могу радити и у пумпном и у турбинском режиму. Уграђују се у пумпно акумулацијске хидроелектране и плимске хидроелектране. **Хидрауличне спојнице и преноснице** су машине које имају пумпу и турбину у једном кућишту. Уграђују се у машинска постројења због еластичног преноса константног момента (спојнице) и промењивог момента (преноснице) од погонске ка гоњеној машини.

КЛАСИФИКАЦИЈА ТУРБИНА

Функционално важни делови сваке турбине су: делови који доводе воду до обртног кола, обртно коло, делови који одводе воду од обртног кола и помоћни делови (подмазивање, регулација идр.). Најважнији елемент турбине, у коме се врши претварање енергије воденог тока у механичку енергију је **обртно коло**.

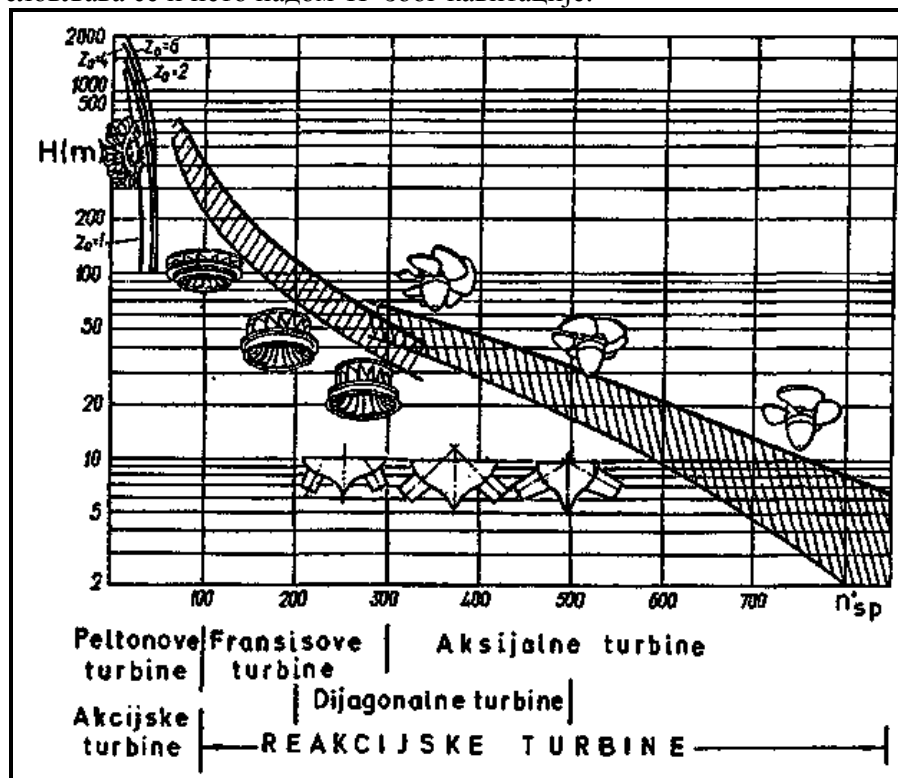
У зависности од начина претварања струјне енергије у механичку, турбине могу се поделити у две основне групе и то на **акцијске** и **реакцијске** турбине.

Акцијске турбине. Користе само кинетичку енергију млаза, која се ствара у доводном органу турбине - млазнику, док притисна енергија од улаза до излаза из кола остаје практично неизмењена. Овакве турбине називају се и **слободномлазним турбинама**.

Реакцијске турбине. У области обртног кола, у процесу размене рада, мењају се све три компоненте струјне енергије и то притисна, кинетичка и положајна. Код оваквих турбина притисна енергија на улазу кола већа је него на излазу из кола, због чега се називају и **притисним турбинама**.

Истраживања и развој у области хидрауличних турбина довели су до једне веома важне чињенице, да је немогуће са једним типом (геометријским обликом) турбине остварити квалитетну размену енергије за све протоке и падове, који се могу јавити на различитим водотоцима. Тако, током времена из целокупног скупа развијаних турбина издвојила су се четири основна типа која се одликују високим квалитетом размене енергије. На слици 7, према препорукама фирме VOITH, дате су шеме обртних кола Пелтонових, Франсисових, дијагоналних и аксијалних турбина. Облик кола и

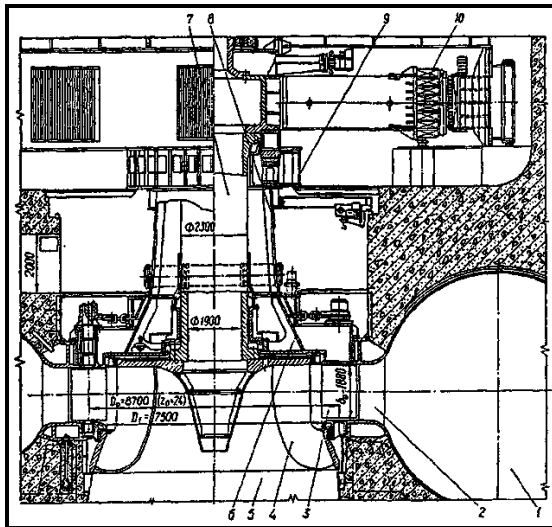
конструкција турбине зависе од специфичне брзине обртања $n'_{sp} = \frac{n\sqrt{P}}{H^{5/4}}$. Подручје примене условљава се и нето падом H због кавитације.



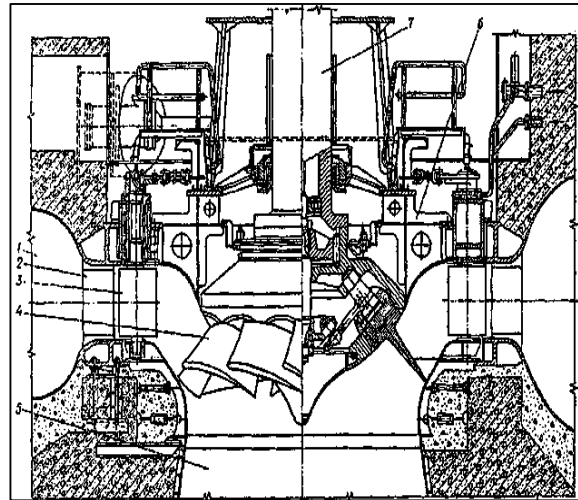
Слика 7: Облици кола и област примене савремених турбина у зависности од пада H и специфичне брзине обртања n'_{sp} .

Водне турбине спадају у групу машина са највишим степенима корисности, који достижу и вредности до 95%, па се зато могу поредити и са великим електричним моторима и генераторима.

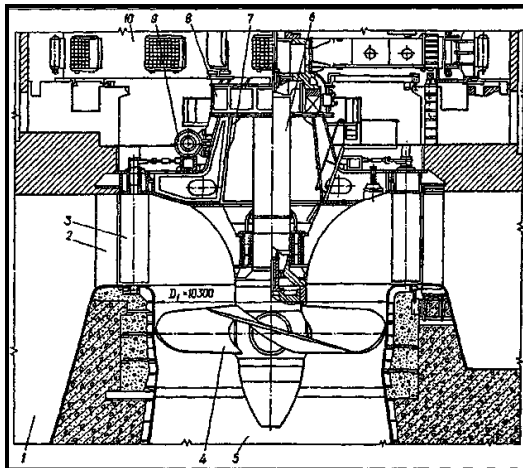
Реакцијске турбине. У групу реакцијских турбина спадају радијалне Франсисове (сл. 8), дијагоналне (сл. 9), аксијалне Капланове (сл. 10) и аксијалне цевне турбине (сл. 11).



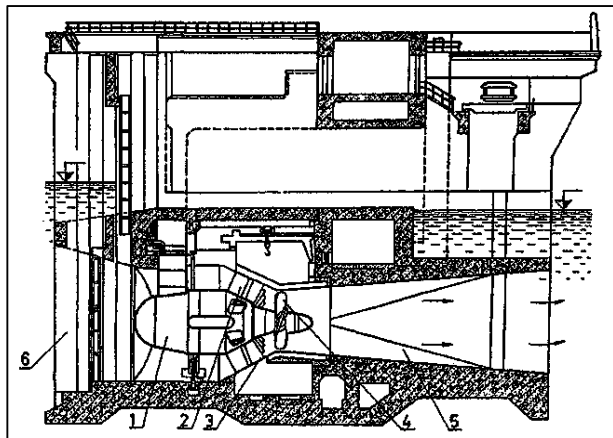
Слика 8: Савремена радијаксијална Франсисова турбина.



Слика 9: Савремена дијагонална турбина.



Слика 10: Савремена аксијална Капланова турбина.



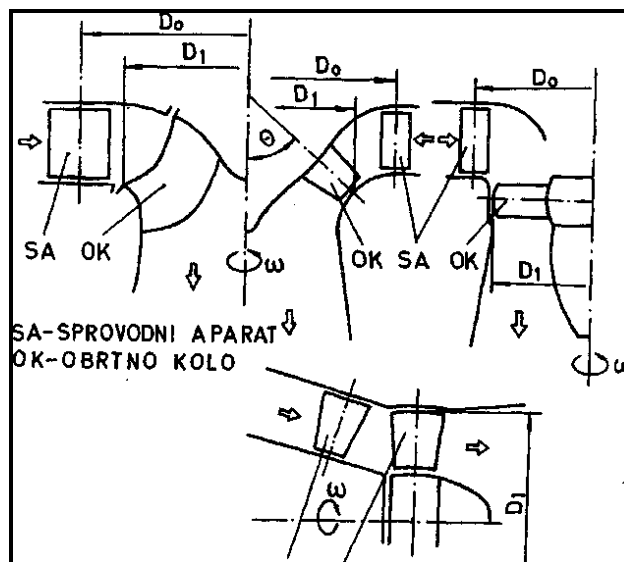
Слика 11: Савремена аксијална цевна турбина.

Проточни делови реакцијских турбина Франсисових, дијагоналних, Капланових и цевних састоје се од: **спирале 1, статорских лопатица 2, спроводног (усмерног) апарата 3, обртног кола 4 и сифона 5.** Вода из цевовода или уводних органа улази у спиралу 1, која равномерно распоређује воду по обиму статорских лопатица 2. Задатак статорских лопатица (као и спирале) је да створе потребну циркулацију воде пред улазом у спроводни апарат и да турбини дају потребну крутост. Оне прихватају оптерећења од скоро свих виталних делова турбине (генератор, вратило, обртно коло и др.) и преносе га на фундамент турбине. Статорске лопатице су непокретне и хидраулички обликоване како не би стварале велике струјне губитке. По изласку из статорских лопатица вода се доводи ка спроводном апарату 3. Спроводни апарат се састоји од венца хидраулички обликованих лопатица и усмерава воду у простор између спроводног апарата (СА) и обртног кола (ОК). Лопатице спроводног апарата су равномерно распоређене и могу се

закретати помоћу сервомотора. При повећању отвора спроводног апарата повећава се проток, а тиме и снага турбине. Након спроводног апарата вода улази у обртно коло 4 у коме се врши размена енергије тока воде и механичког система, а помоћу вратила 7 снага се предаје генератору. Из кола вода отиче у сифон 5, који има дифузорски облик тако да велику кинетичку енергију тока воде на излазу из обртног кола рекуперира у притисну енергију. Сифон обезбеђује мањи притисак иза кола (него у случају без њега), и боље искоришћење пада.

Специфичну конструкцију има цевна турбина приказана на слици 11. Вратило цевне турбине је хоризонтално. Уместо из спирале вода из уводних органа 6 опструјавајући капсулу 1 притиче статорским лопатицама 2 и спроводном апарату 3 а затим и обртном колу 4. По напуштању кола вода отиче у сифон 5.

Називи реакцијских турбина потичу од претежног правца струјања воде кроз коло. На сл. 12 дати су правци токова воде кроз спроводне апарате и обртна кола радијалне (Франсисове), дијагоналне, аксијалне Капланове и аксијалне цевне турбине.

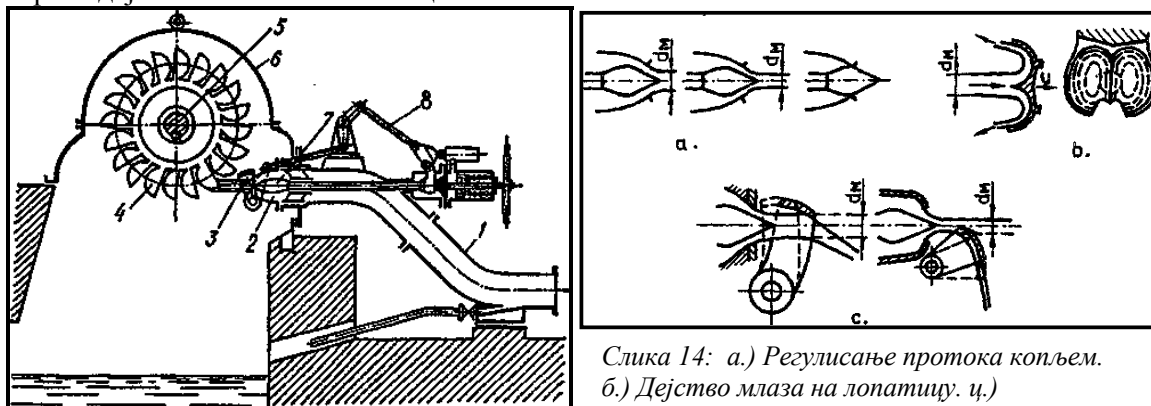


Слика 12: Правци тока воде у реакцијским турбинама.

Свака од реакцијских турбина има специфичне радне карактеристике које су зависне од геометријског облика турбине и могућности закретања лопатица обртног кола. Франсисове турбине имају непокретне лопатице обртног кола, а закретне лопатице спроводног апарата. Дијагоналне, Капланове и цевне турбине обично имају закретне лопатице обртног кола и закретне лопатице спроводног апарата, које зависно од погонског режима могу заузимати различите положаје. Када су у питању аксијалне турбине са незакретним лопатицама обртног кола онда се оне називају **пропелерним** турбинама. У случају да су лопатице обртног кола закретне, а лопатице спроводног апарата непокретне, онда се овакве турбине називају **Капелерним**.

Акцијске турбине. У групу акцијских турбина спадају **Пелтонове** турбине приказане на сл. 13. Основни делови Пелтонових турбина су: **доводни цевовод 1, млазник 2 са регулационим копљем 7, скретач (секач) млаза 3, радно коло 4, вратило 5 и оклоп турбине 6.** Вода се цевоводом 1 доводи до млазника 2. Положајем регулационог копља 7 у млазнику 2 регулише се проток воде (сл. 14). Копље се помера помоћу сервомеханизма при чему положај секача млаза прати кретање копља. При смањењу снаге секач одсеца део млаза до потребног пречника, а копље затим заузима потребан положај. Оштрица секача је увек тик уз обим млаза у стационарном раду. Млаз из млазника наструјава лопатице у којима се врши размена рада а снага се вратилом 5 преноси до генератора. Оклоп 6 спречава распрскавање воде по околном простору. У

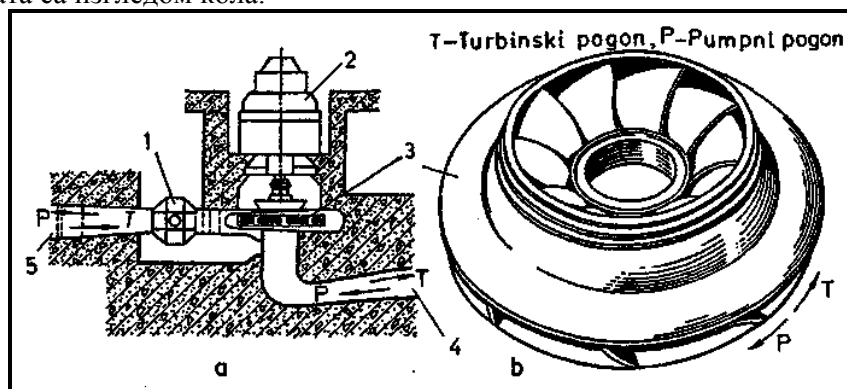
случају заустављања турбине скретач млаза 3, покретан полугама 8 пресеца млаз воде и скреће дејство млаза ван лопатица кола.



Слика 13: Савремена Пелтонова турбина.

Свака турбина зависно од облика (геометрије) има посебне специфичности струјног процеса и размене енергије које се одражавају на турбинске карактеристике. Карактеристике, опет с друге стране омогућују оптималан избор појединих типова турбина које ће се уграђивати у појединим хидроелектранама. Карактеристике представљају, једноставно речено функционалне зависности параметара турбине као што су: брзина обртања n , проток Q , пад H , снага P , степена корисности η итд.

Последњих деценија, због потреба уравнотежења потрошње енергетског система, изразито много се ради на усавршавању реверзибилног хидроагрегата. То су машине које према потреби раде као пумпе и као турбине, при чему се смер обртања мења у зависности од режима у коме машина ради. На слици 15 дата је шема реверзибилног хидроагрегата са изгледом кола.



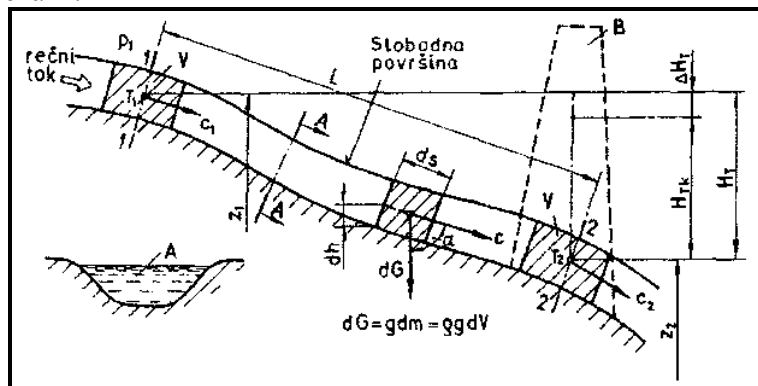
Слика 15: Принциписки изглед реверзибилног хидроагрегата.

У пумпном погону (P), вода усисана из доњег језера и **сифона 4** улази у **обртно коло 3** гоњено **мотором 2** и одлази кроз спиралу и потисни затварач у **цевовод 5** до горњег језера. У турбинском погону (T), вода из горњег језера цевоводом 5 кроз **затварач 1** долази до кола 3 (где се врши претварање хидрауличне енергије у механичку, а потом у генератору 2 у електричну енергију), а затим сифоном 4 одлази у доње језеро.

Избор типа кола зависи од параметара електране. При конструисању реверзибилног агрегата машина се пројектује као пумпа при чему се води рачуна да она треба да ради и као турбина.

ЕНЕРГИЈА РЕЧНОГ ТОКА

Рад који врши вода реке, при континуалном току у кориту, одређује се помоћу познатих закона механике. На Сл.16 приказан је ток реке у кориту променљивог попречног пресека А.



Слика 16: Одређивање енергије тока.

Маса течности $m = \rho \cdot V$ премешта се од пресека 1-1 до пресека 2-2, при чему тежиште T_1 прелази са коте z_1 на нижу коту z_2 тако да сила тежине G даје на путу L извесни рад тока. Елементарни рад dW_T ¹ при премештању масе $dm = \rho \cdot dV$, брзином \bar{c} за време dt , на путу ds , односно за висину $dh = ds \cos \alpha$ је

$$dW_T = d\bar{G}ds = dGds \cos \alpha = \rho \cdot g \cdot dV \cdot dh = \rho \cdot g \cdot A \cdot c \cdot dt \cdot dh \quad (1)$$

тако да је елементарна снага тока

$$dP_T = \frac{dW_T}{dt} = \rho \cdot g \cdot A \cdot c \cdot dh \quad (2)$$

Пошто се проток реке не мења $Q_T = A \cdot c$ (нестисљиво струјање), то је снага тока од пресека 1-1 до 2-2

$$P_T = \rho \cdot g \cdot Q_T \cdot \int_0^H dh = \rho \cdot g \cdot Q_T \cdot H_T \quad (3)$$

С друге стране, јединичне енергије тока у пресецима 1-1 и 2-2

$$e_{iT} = \frac{p_i}{\rho} + gz_i + \alpha_i \frac{c_i^2}{2} \quad i = 1, 2 \quad (4)$$

где су: p_i - притисци у тежиштима посматраних пресека, z_i - коте тежишта, c_i - средње брзине у пресецима, а α_i - Кориолисови коефицијенти у пресецима.

Како се може узети да је $p_1 \approx p_2$, $c_1 \approx c_2$ и $\alpha_1 \approx \alpha_2$, то је јединични струјни рад тока

$$Y_T = e_{1T} - e_{2T} = g(z_1 - z_2) = g \cdot H_T \quad (5)$$

При струјању реалне течности од места 1-1 до 2-2 јављају се хидраулични губици

¹ Индекс Т означава величине које се односе на речни ток.

Y_{gT} , који умањују јединични струјни рад тока. Корисни јединични струјни рад тока Y_{Tk} је

$$Y_{Tk} = Y_T - Y_{gT} \quad (6)$$

Корисна снага тока је

$$P_{Tk} = \rho g Q_T H_{Tk} = \rho Q_T Y_{Tk} \quad (7)$$

Хидраулички степен корисности тока је

$$\eta_T = \frac{P_{Tk}}{P_T} = \frac{Y_{Tk}}{Y_T} \quad (8)$$

Изградњом бране Б на водотоку (слика 19) и издизањем нивоа воде у пресеку 2-2, концентрише се јединични струјни рад тока Y_{Tk} на једном месту, где се могу уградити хидрауличне турбине, према најпогоднијим шемама уградње.

ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ ХИДРОТУРБИНА

Свако хидротурбинско постројење карактерише се основним параметрима. При пројектовању турбинског постројења неопходно је да се на, основу свих природних карактеристика водотока, економских и техничких могућности, дефинишу потребне величине на основу којих се одређује број и врста турбина. Код већ изграђених турбинских постројења, турбине раде са одређеним параметрима, од којих неки могу бити стални, док се већина њих мења зависно од радног режима. Основним параметрима хидрауличних турбина сматрају се следеће величине: проток, бруто пад, нето пад, снага, степен корисности, брзина обртања, кавитацијски коефицијент и др.

Проток турбине Q [m^3/s] представља ону количину воде која у једној секунди протекне кроз турбину. Проток кроз турбину треба разликовати од протока воде која протиче кроз коло турбине Q_K . Проток кола турбине Q_K је мањи од протока воде кроз турбину Q за вредност протока процуривања ΔQ кроз процепе између обртног кола и оклопа турбине.

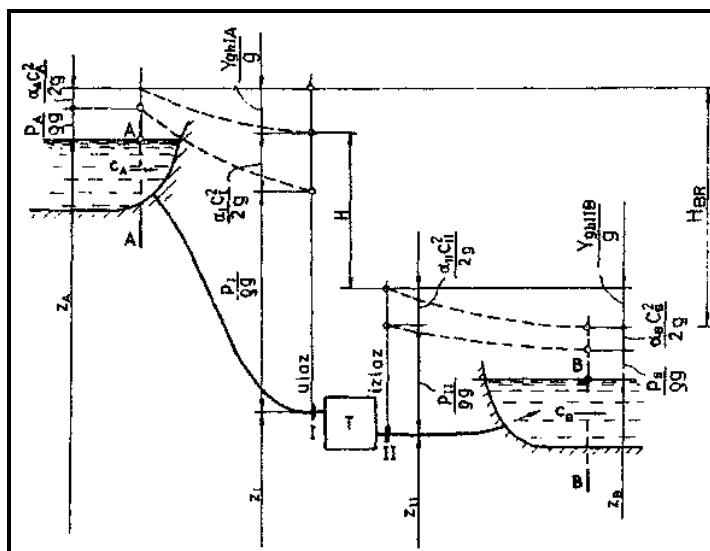
Бруто јединични струјни рад Y_{br} [J/kg] електране представља разлику укупних јединичних енергија горњег и доњег нивоа воде у акумулацији и доњој води (слика 17)

$$Y_{br} = gH_{br} = e_A - e_B = \frac{p_A - p_B}{\rho} + g(z_A - z_B) + \frac{\alpha_A c_A^2 - \alpha_B c_B^2}{2} \quad (9)$$

где су p_A и p_B - апсолутни притисци на површинама горњег и доњег нивоа воде и обично су једнаки барометарском притиску p_b , c_A и c_B - су средње брзине воде у датим пресецима, α_A и α_B - одговарајући Кориолисови коефицијенти, а z_A и z_B - коте горњег и доњег нивоа воде.

Величина H_{br} [m] назива се бруто падом $H_{br} = \frac{Y_{br}}{g}$.

За случај да је проток кроз турбину једнак нули, бруто пад једнак је разлици нивоа $H_{br} = z_A - z_B$.



Слика 17: Одређивање бруто пада електане и нето пада турбине.

Нето јединични струјни рад турбине Y_n [J/kg] представља разлику укупних јединичних струјних енергија на улазу и излазу турбине. Неопходно је **увек прецизно дефинисати улазни I-I и излазни II-II пресек турбине**. Нето јединични струјни рад турбине Y_n је

$$Y_n = gH_n = e_I - e_{II} = \frac{p_I - p_{II}}{\rho} + g(z_I - z_{II}) + \frac{\alpha_I c_I^2 - \alpha_{II} c_{II}^2}{2} \quad (9)$$

где су p_I и p_{II} - притисци у тежиштима пресека улаза I и излаза II турбине, c_I и c_{II} - су средње брзине воде у датим пресецима, које се одређују помоћу израза $c_I = \frac{Q}{A_I}$ и

$c_{II} = \frac{Q}{A_{II}}$ (A_I и A_{II} - површине проточних пресека I и II), а z_I и z_{II} - коте тежишта пресека, док су α_I и α_{II} - одговарајући Кориолисови коефицијенти:

$$\alpha_i = \frac{1}{A_i c_i^3} \int_{A_i} c^3 dA_i \quad i=1,2 \quad (10)$$

Нето пад H мањи је од бруто пада H_{br} за износ хидрауличних губитака насталих при струјању од горње воде до улаза у турбину, и од излаза из турбине до доње воде.

Снаге и степени корисности турбина. У процесу размене енергије у турбини, од улаза I до излаза II из турбине, јављају се губици енергије који умањују количину размењеног рада.

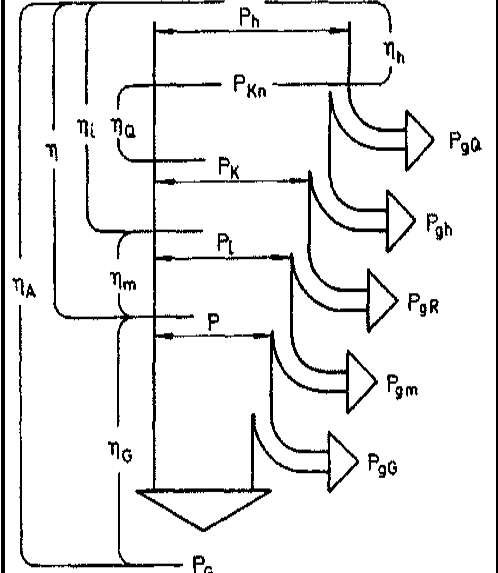
- **Хидраулична снага** P_h [W] је она количина рада у јединици времена коју би вода разменила у турбини када не би било губитака. Одређује се помоћу израза: $P_h = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H$
- **Снага кола сведена на проток кроз турбину** P_{hk} [W] је она количина енергије у јединици времена која би се разменила у обртном колу када би сав проток протицао кроз коло. Због процепа између обртног кола и кућишта турбине, вода из зоне вишег притиска, спирале и спроводног апарата, умиче ка зони нижег притиска, тј. сифону.

Количина воде у јединици времена која протекне кроз процепе назива се волуметријским губитком ΔQ . Проток кроз коло је $Q_K = Q - \Delta Q$

- **Снага кола** $P_K [W]$ је она количина рада коју вода протока Q_K размени у јединици времена у обртном колу и одређује се из израза $P_K = \rho \cdot Q_K \cdot g \cdot H_K$
- **Снага за савлађивање трења на спољашњим површинама кола** P_{gR} . Обртно коло се обрће у кућишту пуном воде. Спољашње стране дискова кола због дејства вискозних сила се коче водом и због тога је потребно за савлађивање ових сила довести колу допунску снагу P_{gR} . P_{gR} се одређује помоћу експерименталних формула.
- **Унутрашња снага турбине или снага на излазу вратила из турбине** $P_i (W)$. Добија се када се од снаге P_K одузму губици снаге P_{gR} .
- **Механички губитак снаге** $P_{gm} [W]$. Турбина поседује лежишта на која се ослања вратило турбине. Ради спречавања истицања воде из кућишта код неких турбина између вратила и кућишта се уграђују заптивачи. За савлађивање отпора у лежиштима и заптивачима троши се одређена снага P_{gm} . У ове губитке убрајају се губици у свим лежиштима и заптивачима који се налазе до спојнице турбине са генератором или мултипликатором.
- **Снага турбине** $P [W]$ је снага на спојници турбине и добија се из израза $P = P_i - P_{gm}$.
- **Снага генератора** $P_G [W]$ је она количина енергије у јединици времена која се преда на електричним прикључцима генератора. Турбина је спојницом спојена са генератором, у коме се механичка енергија претвара у електричну. Губици P_{gG} у генератору могу се сврстати у механичке (лежишта и клизне четкице), вентилационе и електричне (губици у бакру и гвожђу). Снага генератора и њена вредност је $P_G = P - P_{gG}$.

На сл. 18 приказан је биланс снаге турбине и агрегата.

Таблица Т.-1 Степени корисности турбина

	Назив	Образац
	Хидраулични степен корисности η_h	$\eta_h = P_{Kn} / P_h$
	Волуметријски степен корисности η_Q	$\eta_Q = P_K / P_{Kn}$
	Бездимензијски губитак снаге од трења на спољашњим површинама кола ζ_R	$\zeta_R = P_{gR} / P_K$
	Унутрашњи степен корисности η_i	$\eta_i = P_i / P_h$
	Механички степен корисности η_m	$\eta_m = P / P_i$
	Укупни степен корисности турбине η	$\eta = P / P_h$
	Степен корисности генератора η_G	$\eta_G = P_G / P$
	Степен корисности агрегата η_A	$\eta_A = P_G / P_h$

Слика 18: Биланс снаге турбине и агрегата.

Односима појединих снага дефинишу се степени корисности (видети таблицу Т.1) на основу којих је могуће оценити квалитет размене енергије у турбинском агрегату.

Брзина обртања кола турбине n (min^{-1}). У основне параметре турбина спада и брзина обртања кола турбине (min^{-1}).

Велике хидротурбине су спојене са синхроним генератором наизменичне струје тако да се турбина мора обртати константном синхроним брзином обртања како би фреквенција мреже f [Hz] имала сталну вредност. У Европи величина фреквенције је $f = 50\text{Hz}$, док је у Америци $f = 60\text{Hz}$. Пројектовање турбина врши се за синхрони број обртаја.