

## Podjela HE:

<b>Prema veličini pada</b>	Niskotlačne 25m	Srednjetačne 25-200m	Visokotlačne <200m
<b>Način korištenja vode</b>	Protočne	Akumulacijske	
<b>Vrsta akumulacije</b>	Dnevna	Sezonska	
<b>Smještaj strojnice</b>	Pribranske	Derivacijske	
<b>Ostale</b>	Pumpno-akumulacijske	Plima i oseka	Valovi

## Karakteristični dijelovi hidroelektrane su:

- **brana ili pregrada** - služe za skretanje vode s njezinoga prirodnog toka prema zahvatu HE, povišenje razine vode radi postizanja boljeg pada i ostvarivanja akumulacije
- **zahvat** - vodu zaustavljenju pregradom prima i upućuje prema elektrani, dva tipa, zahvat na površini i zahvat ispod površine
- **dovodni sustav** spaja zahvat s vodom komorom  
(tunel-gravitacijski – tlačni(elastične u pogonu) ili kanal)  
**Tlačni privod** – služi za vođenje vode iz vodne komore do turbine, najčešće se izrađuju od čelika, a za manje padove i od betona  
**Gravitacijski privod** ima slobodno vodno lice. Profil je uglavnom trapeznog oblika. Izvodi se u kanalima i rovovima čija se konstrukcija izvodi tako da se postignu najmanji hidraulički gubici  
**Vodna komora** nalazi se na kraju dovoda  
**Zaporni uređaj** – nalazi se na ulazu u tlačni cjevovod, sigurnosni zaporni uređaj automatski sprječava daljnji dotok vode u cjevovod ako pukne cijev
- **strojarnica,**
- **odvodni sustav**

**H<sub>b</sub> Brutto** pad jednak je razlici razine gornje i donje vode

**H<sub>n</sub> Netto** pad jednak je brutto padu umanjenom za sve hidrauličke gubitke u privodu, osim gubitaka u samim vodnim turbinama. Pri tome su gubici spiralnog dovoda i difuzora uključeni u gubitke turbine.

**H<sub>max</sub>** Najveći pad jednak je razlici najviše razine gornje vode i najniže razine donje vode. Ovaj pad se pojavljuje pri radu elektrane u praznom hodu (pri  $Q \approx 5\% Q_n$ ). Uz takve prilike hidraulički gubici dovoda su zanemarivi.

**H<sub>min</sub>** Najmanji pad jednak je netto padu koji se dobiva iz razlike najniže razine gornje vode i najviše razine donje vode, uz puni otvor svih hidrauličkih strojeva.

**H<sub>sr</sub> Prosječni** ili srednji pad je netto pad koji odgovara energetsom težištu akumulacije. To je pad koji daje isti iznos snage između maksimalnog i tog pada kao i između tog i minimalnog pada. Obično iznosi oko 2/3 ukupnog opsega pada (od *H<sub>min</sub>* do *H<sub>max</sub>*)

**H<sub>d</sub> Projektirani** pad je netto pad pri kojem se postiže najbolji koristan stupanj djelovanja uz nazivnu brzinu agregata. To je *H<sub>sr</sub>* koji mora biti tako odabran da *H<sub>max</sub>* i *H<sub>min</sub>* nisu ispod dozvoljenog opsega za hidrauličke strojeve. Ovaj pad definira temeljne dimenzije turbine

**H<sub>r</sub> Nazivni pad** je netto pad kod kojeg uz puni otvor privodnog aparata turbine, generatori daju nazivnu snagu.

**H<sub>kr</sub> Kritični pad** je netto pad kod kojeg uz puni otvor turbine daju dopuštenu veću snagu generatorima uz faktor snage jednak 1 (obično je to oko 115% nazivne snage generatora). Ovaj pad daje najveći protok kroz turbinu

**Vodna turbina** je pogonski stroj u kojem se potencijalna energija vode pretvara u kinetičku energiju, a zatim promjenom količine gibanja u radnom kolu, u mehaničku energiju vrtnje.

Vratilo turbinskog radnog kola spojeno je u pravilu sa sinkronim generatorom u kojem se mehanička energija vrtnje pretvara u električnu energiju.

S obzirom na način pretvorbe energije odnosno prema promjeni tlaka vode pri strujanju kroz radno kolo. vodne turbine dijele se na:

- pretlačne (reakcijske) turbine,
- turbine slobodnog mlaza (akcijske, impulsne turbine)

S obzirom na smjer toka vode pretlačne turbine mogu biti radijalne (Francis), aksijalne (propelna ili Kaplan) ili dijagonalne (Deriaz), dok su turbine slobodnog mlaza tangencijalne (Pelton).

**Spiralni dovod** je dio turbine koji vodu iz dovodnog sustava prije ulaska u radno kolo treba jednolično rasporediti po obodu turbine

**Pretprivodno kolo** je glavna noseća konstrukcija preko koje se prenose sva statička i dinamička opterećenja na betonsku konstrukciju strojarnice

**Privodno kolo (privodni aparat)** turbine je mehanizam koji pomoću zakretnih lopatica regulira protok vode kroz turbinu i usmjerava vodu na lopatice radnog kola pod najpovoljnijim kutom

**Difuzor** smanjenje izlazne brzine čime se smanjuju izlazni gubici energije, a time povećava ukupna korisnost

**Turbinski poklopac** služi za usmjeravanje vode i prenošenje aksijalnih sila nosećeg ležaja preko prstena privodnog i pretprivodnog kola na temelje

## PRETLAČNE TURBINE

### • Francisova turbina:

Primjenjuje se za srednje geodetske padove (od 40-60 m do 500-700 m), loša mogućnost regulacije!

U radno kolo, koje se sastoji od 12-17 čvrsto fiksiranih lopatica, voda ulazi radijalno, a izlazi aksijalno i odvodi se kroz difuzor u odvodni kanal turbine. Upotrebom difuzora smanjuju se izlazni gubici turbine koji su povezani s kinetičkom energijom vode. **Privodno kolo** jedini je regulacijski uređaj Francisove turbine. Lopatice privodnog kola su pokretne i njihovim zakretanjem mijenja se otvor statora i tako se regulira protok vode kroz turbine. Statorske lopatice se zakreću pomoću regulacijskog prstena smještenog na turbinskom poklopcu. Regulacijski prsten zakreće se pomoću servomotora kod kojeg se pomicanje stapa postiže dovodjenjem ulja pod tlakom na jednu ili drugu stranu stapa

### • propelna ili Kaplanova turbina:

Primjenjuje se za velike protoke i male geodetske padove (od 1-3 do 60-70 m). Odnos otvora lopatica privodnog i radnog kola kod turbina sa zakretnim lopicama rotora regulira se preko posebnog uređaja koji se naziva **kulisa**.

– Kaplanova turbina s vertikalnim vratilom

– cijevna turbina s horizontalnim vratilom

- Deriazova turbina

## TURBINE SLOBODNOG MLAZA

### • Peltonova turbina:

Akcijska turbina, koristi se za male i za velike snage. Primjenjuje se u uvjetima velikih padova (većih od 400-600 m) i relativno malih protoka. Voda se kroz sapnice pušta tangencijalno

**TE prema vrsti pogonskih strojeva:**

- Parne termoelektrane (kondenzacijske termoelektrane) – u kojima gorivo izgara u parnim kotlovima, a pogonski je stroj parna turbina
- Kogeneracijske termoelektrane (termoelektranetoplane), posebna izvedba parnih termoelektrana u kojima se dio pare iskorištava za industriju i grijanje naselja
- Plinske termoelektrane – u kojima je pogonski stroj plinska turbina
- Kombi termoelektrane - kombinirani plinsko-parni proces
- Dizelske termoelektrane – s dizelskim motorom kao pogonskim strojem
- Geotermičke termoelektrane – u kojima se para iz zemlje neposredno ili preko izmjenjivača topline upotrebljava za pogon turbine.
- Nuklearne elektrane – u kojima nuklearni reaktor preuzima ulogu kotla, a pogonski je stroj također parna turbina.

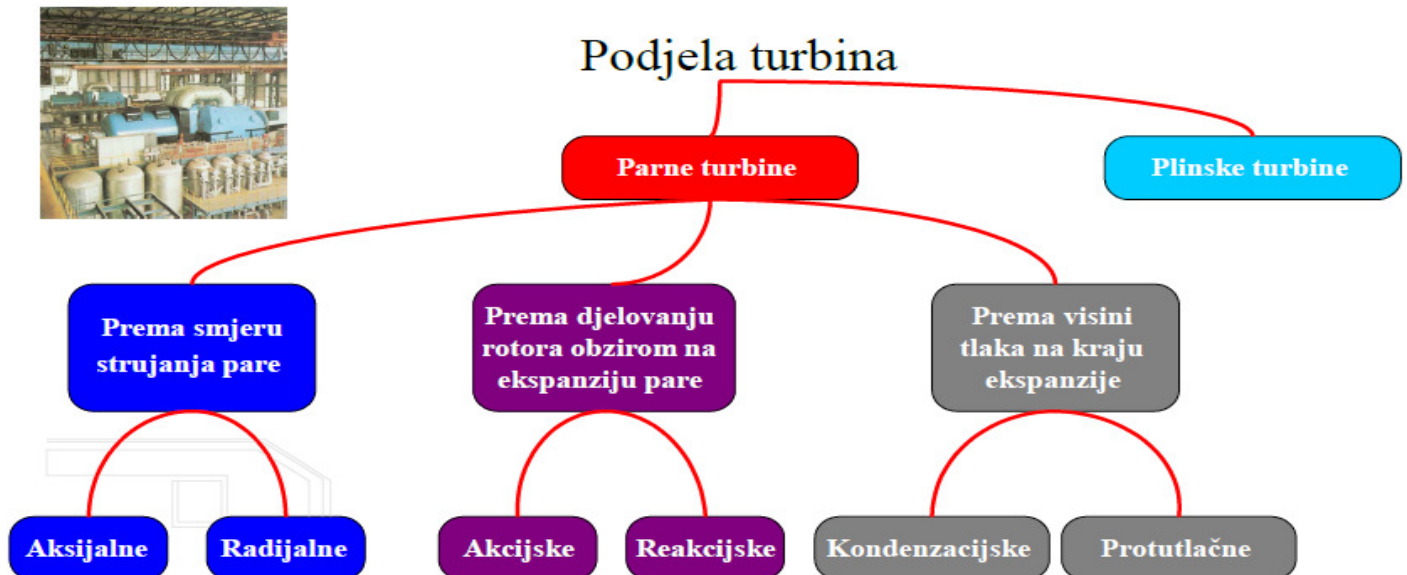
S obzirom na visinu tlaka na kraju ekspanzije, razlikuju se:

- **kondenzacijske i**
- **protutlačne turbine.**

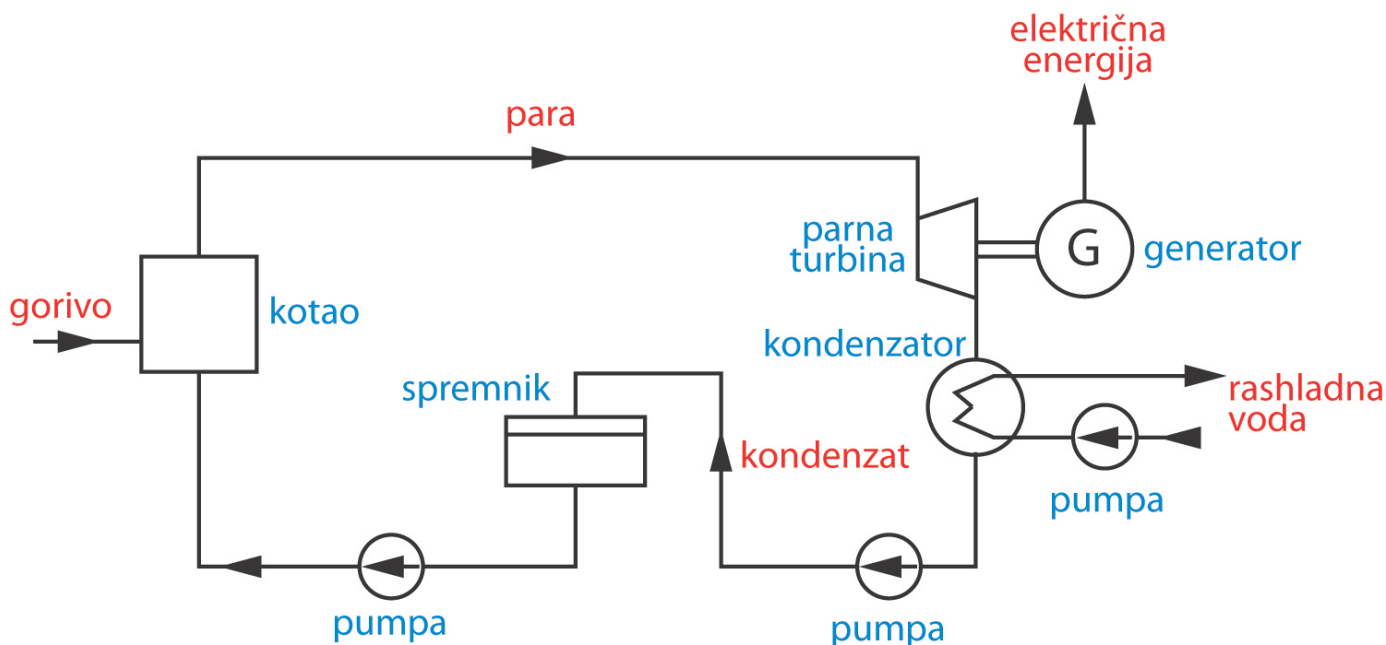
Prema raspoloživosti te manevarskim sposobnostima agregati se mogu podijeliti na:

- Bazne agregate (eng. base units),
- Agregate koji su obavezno u pogonu, ali mogu mijenjati opterećenje (eng. Must run units),
- Agregate koji se mogu uključivati i isključivati uz poštovanje svih tehničkih ograničenja (eng. cycling units),
- Vršne agregate (eng. peaking units).

TE uglavnom pokrivaju bazni dio dnevnog dijagrama opterećenja. Manje plinske elektrane mogu služiti i kao interventne elektrane u EES-u. Kad je udio termoelektrana u EES-u velik onda je nužno koristiti i dio termoelektrana za regulaciju što poskupljuje troškove proizvodnje.



Osnovna je proizvodna jedinica elektroprivrede **blok**, tj. samostalna skupina uređaja koji su istodobno u pogonu, a osiguravaju odvijanje potpunog tehnološkog procesa za pretvaranje energije goriva u električnu energiju. Blok se sastoji od jednog uređaja za proizvodnju pare, jedne turbine sa sustavom za kondenzaciju, jednog generatora, te pripadnog transformatora. Termoelektrana može imati samo jedan ili veći broj blokova, istog ili različitih tipova.



Karakteristični tipovi parnih kotlova su sljedeći:

- Kotao s plamenim cijevima
- Vodocijevni kotao
- Kotao s prirodnim strujanjem
- Kotao s prisilnim strujanjem
- Protočni kotlovi ( Sulzerovi i Bensonovi )

#### Rotor turbine:

Izvedba osovine rotora zavisi o tipu turbine. Reakcijske turbine imaju rotor u obliku masivnog bubnja, koji je često sastavljen zavarivanjem od više šupljih sekcija. Akcijska turbina naprotiv, ima rotor sastavljen od osovine i diskova, koji mogu biti istokareni u jednom komadu s osovinom, ili navučeni odnosno navareni na osovinu.

**Kritična brzina vrtnje** jedno je od najvažnijih obilježja svakog rotora. Kao i svaki drugi elastični sustav, rotor ima neku vlastitu frekvenciju, kojom titra nakon početnog impulsa. Ta frekvencija je to veća što je masa rotora manja, a njegova krutost veća, i obrnuto.

Kritična brzina vrtnje je ona brzina vrtnje pri kojoj je brzina vrtnje rotora jednaka broju vlastitih titraja rotora u istoj jedinici vremena.

Ako je rotor "krut", njegova kritična brzina vrtnje znatno je veća od normalne pogonske, te do pojave rezonancije ne dolazi. Takve rotore obično imaju reakcijske turbine. Razmjerno vitki rotori akcijskih turbinaredovito su "elastični", njihova kritična brzina je manja od radne. U normalnom radu to ne stvara poteškoće, ali pri pokretanju i zaustavljanju treba nastojati da se kroz područje kritične brzine prođe bez zadržavanja.

#### Stator turbine:

**Stator reakcijskih turbine** čine redovi statorskih lopatica, koje su učvršćene izravno u elemente kućišta turbine. One su učvršćene pomoću profilirane "noge", slično kao i rotorske, ali kako tu nema naprezanja izazvanih centrifugalnim silama, to je učvršćenje jednostavnije.

**Stator akcijskih turbine** izveden je tako da je red statorskih lopatica koje pripadaju jednom stupnju ugrađen u takozvanu dijafragmu. Dijafragma je prstenasta dvodijelna pregradna stijena, umetnuta između dvaju diskova rotora, kroz čiju sredinu prolazi osovina turbine. Vanjski obod dijafragme učvršćen je u kućištu turbine, i to tako da je donja polovina dijafragme učvršćena za donji, a gornja za gornji dio kućišta.

U kondenzacijskim turbinama sva para dolazi u kondenzator, dok u turbinama s oduzimanjem dio pare se oduzima iz turbine prije nego što je ekspandirala do tlaka kondenzatora, a preostali dio pare dolazi u kondenzator. Protutlačne turbine nemaju kondenzatora, jer se sva para pod tlakom većim od tlaka kondenzatora odvodi u parnu mrežu, koja preuzima ulogu kondenzatora.

Parne turbine podmazuju se mineralnim uljem, koje može biti **nelegirano** i **legirano**.

2 ekstemna pogonska režima:

- konstantan tlak pare
- prirodni klizni režim tlaka

U režimu promjenjivog (kliznog) tlaka, kotao je kritičan:

**Turbina:** Promjena opterećenje uzrokuje blage oscilacije temperature pare duž stupnjeva turbine.

**Kotao:** Promjene opterećenja su praćene sa značajnim tlakom pare i oscilacijama temperature usljed međusobne povezanosti tlaka i temperature u isparivačkoj zoni.

U režimu konstantnog tlaka turbina je kritična :

**Turbina:** Promjene opterećenja uzrokuju oscilacije temperature pare duž stupnjeva turbine ( $<2.5\% P_n/\text{min}$ ).

**Kotao:** Promjene opterećenja su praćene blagim oscilacijama(promjenama) temperature.

**Kogeneracija** (engl. Combined Heat and Power ili **CHP**) je postupak istovremene proizvodnje električne i korisne toplinske energije u jedinstvenom procesu. Kogeneracija koristi otpadnu toplinu koja nastaje uobičajenom proizvodnjom električne energije u termoenergetskim postrojenjima te se najčešće koristi za grijanje građevina ili čak cijelih naselja, a rijeđe u drugim proizvodnim procesima. Toplinska energija može se koristiti za proizvodnju pare, zagrijavanje vode ili zraka. Također se može koristiti u procesu trigeneracije, gdje se dio energije koristi i za hlađenje. Kogeneracija je termodinamički učinkovito korištenje goriva. Prilikom klasične proizvodnje električne energije, dio energije ispušta se u okoliš kao otpadna toplina, a u kogeneraciji ta toplinska energija postaje korisna. Dakle, osnovna prednost kogeneracije je povećana učinkovitost energenta u odnosu na konvencionalne elektrane koje služe samo za proizvodnju električne energije te industrijske sustave koji služe samo za proizvodnju pare ili vruće vode za tehničke procese.

**Kombinirane termoelektrane** su energetska postrojenja koja su sastavljena od plinsko-turbinskog i parno-turbinskog dijela. Glavni dijelovi su naravno plinska i parna turbina. Osnovna namjena ovakvih postrojenja je iskorištenje topline nastale na izlazu iz plinske turbine. Pošto ispušni plinovi koji izlaze iz plinske turbine imaju visoke temperature, oko  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  mogu se iskoristiti kao sredstvo koje će grijati vodu i proizvoditi vodenu paru za parnu turbinu. Time povećavamo iskoristivost samog procesa jer toplinu koju bi inače izgubili, je iskorištena za daljnju proizvodnju pare. Iskoristivost takvog postrojenja doseže i do 60%.

Reaktori se mogu podijeliti:

- prema tipu goriva
- korištenom hladiocu (rashladnom sredstvu)
- potrebi za usporavanje neutrona:
  - brzi reaktori
  - termički reaktori(tip moderatora)
- namjeni reaktora:

istraživački reaktori,  
proizvodnja električne energije i/ili topline,  
proizvodnja nuklearnog materijala  
proizvodnja vodika  
desalinizacija

Da se osigura lančana reakcija potrebno je:

- imati odgovarajuću količinu goriva(kritična masa)
- ograničiti apsorpciju neutrona
- ograničiti bijeg neutrona (kritične dimenzije reaktora i reflektor)

### **Moderator**

Koristi se u reaktorima s termičkim neutronima (ispod 0.625 eV) da se poveća vjerojatnost fisije.

**Obična voda** (H<sub>2</sub>O) – LWR, PWR i BWR, dobro usporava neutrone ali ih i absorbira, traži obogaćeno gorivo, kompaktna jezgra

**Teška voda** (D<sub>2</sub>O) – teškovodni HWR, manje efikasno usporavanje i mala apsorpcija neutrona, zastupljenost u prirodi: na 6700 atoma običnog vodika dođe jedan atom deuterija, reaktor većih dimenzija, može koristiti prirodni U

**Grafit** (C) – grafitom moderirani reaktori, manje efikasno usporavanje i mala apsorpcija neutrona, reaktor velikih dimenzija, , može koristiti prirodni U

**Berilij** (Be) – specijalne izvedbe reaktora

**Bez moderator** – razne izvedbe brzih reaktora

### **Rashladno sredstvo**

Odvesti toplinu iz jezgre reaktora i osigurati uvjete za realizaciju nekog kružnog procesa (Rankine, Brayton): obična voda, teška voda, plin (CO<sub>2</sub>, helij), tekući metali (natrij, olovo, olovo-bismut), rastopljene soli.

Homogena i heterogena konfiguracija reaktora:

- kriterij, postoji li jasna granica između moderatora/rashladnog sredstva i goriva.
- u heterogenoj konfiguraciji lakše je postići kritičnu masu (moguća je samoodrživa nuklearna reakcija)

### **PWR**

Komponente su organizirane u rashladne petlje

Petlju čine:

- parogeneratori
- tlačnik
- reaktorske pumpe
- cjevovodi

Reaktorska posuda je zajednička za više petlji

### **BWR**

Drugi tip reaktora po brojnosti,

Jedinične snage od 300 do 1600 MWe

Voda ispariva u reaktoru

Direktni ciklus, moguća kontaminacija turbine

Mješavina vode i pare u posudi, niža gustoća snage u odnosu na PWR

Velika posuda, sve su komponente unutra Regulacijske šipke ulaze u jezgru s donje strane

Recirkulacijske petlje omogućuju regulaciju snage i odgovarajuće hlađenje goriva  
Izvedbe kontejnmenta –manji nego PWR kontejnment, aktivna kondenzacija pare u bazenima  
Nije pogodan za nuklearnu propulziju zbog postojanja nivoa vode u jezgri, pa je razvijen isključivo za proizvodnju električne energije  
Ostale svojstva slična kao PWR

### **HWR CANDU**

Prirodni ili slabo obogaćeni uran  
Teška voda je moderator i hladilac  
Dva rashladna kruga kao i PWR  
Horizontalni rashladni kanali po tlakom  
Moderator se nalazi u posudi kroz koju prolaze tlačne cijevi (kalandrija)  
Veliki volumen reaktora  
Niski odgor (3 do 4 puta manji nego PWR i odgovarajuće više proizvedenog istrošenog goriva)  
Izmjena goriva bez zaustavljanja

### **Brzi oplodni reaktor**

Ne trebaju moderator  
Proizvode Pu-239 iz U-238 ili U-233 iz Th-232  
Uhvatom neutrona nastaje novi fisibilni materijal  
Moguća je veća proizvodnja nego potrošnja goriva  
Potrebna prerada goriva  
Zbog manjih udarnih presjeka, potreba za većim obogaćenjem goriva (15 do 20%)  
Velika gustoća snage  
Hlađenje tekućim metalom ili plinom  
U slučaju Na hlađenja obično 3 rashladna kruga

### **NE na mreži**

Tipično je NE bazna elektrana ali može raditi i u load follow režimu ako je udjel nuklearnih elektrana u instaliranoj snazi veći. Najveća brzina promjene snage u normalnom režimu je 5%Pn/min ili 10%Pn skokovito iznad 80%Pn. Najveća brzina snižavanja snage u normalnom pogonu je 5-10% Pn/min. Automatski režim rada iznad 15% Pn. Odbacivanje tereta bez tripa sa snage 85-90%Pn. Turbine runback mogućnost.

### **Glavni elementi kog. postrojenja**

Kogeneracijsko postrojenje se sastoji od 4 glavna elementa:  
– **glavni agregat** ili pokretački sustav (a prime mover)  
– **električni generator** (an electricity generator)  
– **sustav za regeneraciju topline** (a heat recovery system)  
– **upravljački i mjerni sustav** (a control system)  
Prema glavnom agregatu postoje kogeneracijska postrojenja  
– s parnom turbinom



- s plinskom turbinom
- postrojenje s kombiniranim ciklusom
- s motorom s unutarnjim izgaranjem (termomotorna kogeneracija)

Nove tehnologije

- gorivni članci (kem. energije vodika i kisika izravno u el. energiju)
- Stirlingov motor
- mikro turbine

### **Definicija vlastite potrošnje**

Skup svih uređaja koji osiguravaju normalni pogon elektrane naziva se vlastita potrošnja.

Opću potrošnju čine svi ostali uređaji koji nemaju izravan utjecaj na tehnološki proces u elektrani.

Očuvanje kontinuiteta u opskrbi vlastite potrošnje električnom energijom neophodno je za:

- siguran rad prilikom normalnih pogonskih uvjeta,
- u slučaju kratkotrajnih prijelaznih stanja,
- prilikom pokretanja i normalnog zaustavljanja,
- posebice je važno u slučaju zaustavljanja prilikom poremećaja i kvarova.

S rastućim jediničnim snagama blokova prisutan je i rast jediničnih snaga elektromotornih pogona vlastite potrošnje, a time i zahtjevi vezani za način napajanja.