

Sreten Škuletić

Zoran Sekulić

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

udžbenik za drugi razred srednje stručne škole
Obrazovni program Elektrotehničar energetike



Zavod za udžbenike i nastavna sredstva
PODGORICA, 2019.

dr Sreten Škuletić • mr Zoran Sekulić

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

udžbenik za drugi razred srednje stručne škole

Izdavač: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva – Podgorica

Za izdavača: Pavle Goranović, direktor

Glavni urednik: Radule Novović

Odgovorni urednik: Lazo Leković

Urednica izdanja: Ana Lj. Bojović

Recenzenti: dr Jadranka Radović

dr Saša Mujović

mr Nataša Gazivoda

Melanija Čalasan

Rada Živković

Tehnička urednica: Dajana Vukčević

Lektura: Sanja Marjanović

Korektura: Biljana Čulafić

Grafička obrada: Branko Gazdić

CIP – Каталогизација у публикацији
Национална библиотека Црне Горе, Цетиње

ISBN 978-86-303-2200-6
COBISS.CG-ID 37411600

Nacionalni savjet za obrazovanje, Rješenjem broj 023-1842/2018-6 od 18. 12. 2018. godine, odobrio je ovaj udžbenik za upotrebu u srednjim stručnim školama.

Copyright © Zavod za udžbenike i nastavna sredstva – Podgorica, 2019.

Riječ autora

Udžbenik *Proizvodnja električne energije* napisan je prema Nastavnom planu i programu za predmet Proizvodnja električne energije za drugi razred srednje stručne škole, za novi obrazovni program Elektrotehničar energetike.

Zbog velike složenosti i razuđenosti Programa koji sadrži šest neophodnih ishoda za koje se osposobljavaš, trudili smo se da predviđena materija bude prezentovana na način koji odgovara tvom uzrastu.

Sadržaj udžbenika podijeljen je u šest poglavlja:

Osnovne karakteristike elektroenergetskih sistema – govori o energiji i njenim oblicima, kao i strukturi i osnovnim karakteristikama elektroenergetskih sistema.

Konvencionalne elektrane – daje podjelu konvencionalnih elektrana i ukazuje na sličnosti i razlike između karakteristika hidroelektrana i termoelektrana.

Karakteristike nekonvencionalne elektrane – govori o podjeli nekonvencionalnih elektrana i njihovim karakteristikama.

Ugradnja, održavanje i remont elektroenergetske opreme i uređaja u elektranama – ukazuje na značaj ugradnje, održavanja i remonta elektroenergetske opreme i uređaja u elektranama.

Uticaji proizvodnje električne energije na okolinu – govori o različitim izvorima energije i njihovom uticaju na životnu sredinu.

Elektroenergetski sistem Crne Gore – ukazuje na karakteristike malih i velikih elektrana u Crnoj Gori, kao i o bilansu proizvodnje i potrošnje električne energije.

Na kraju izloženog materijala dat je spisak osnovne literature, kao i veći broj korisnih sajtova na kojima možeš naći više informacija o problemima vezanim za energiju, elektroenergetiku i elektroenergetske sisteme.

Naravno da je proizvodnja električne energije veoma složena i obimna oblast za čije izučavanje ti nije dovoljan samo ovaj udžbenik, ali se nadamo da će ti ovladavanje teorijskim saznanjima stečenim pomoću njega omogućiti da ih uspješno primijeniš u praksi.

Autori

SADRŽAJ

Riječ autora	3	2.2. Hidroelektrane	46
Uputstvo za korišćenje udžbenika	6	2.2.1. Princip rada hidroelektrana	46
1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE	7	2.2.2. Vrste hidroelektrana	49
1.1. Energija	8	2.2.2.1. Akumulacione hidroelektrane	51
1.1.1. Energija i njen značaj	8	2.2.2.2. Protočne hidroelektrane	51
1.1.2. Oblici energije	11	2.2.2.3. Reverzibilne hidroelektrane	52
1.1.2.1. Primarni oblici energije	13	2.2.3. Glavni dijelovi hidroelektrana	53
1.1.2.2. Transformisani oblici energije	17	2.2.3.1. Brana	54
1.1.2.3. Korisni oblici energije	18	2.2.3.2. Zahvat	59
1.1.3. Električna energija	19	2.2.3.3. Dovod vode	60
1.2. Struktura i osnovne karakteristike	22	2.2.3.4. Vodostan	61
1.2.1. Osnovne osobnosti elektroenergetike	22	2.2.3.5. Cjevovod pod pritiskom	62
1.2.2. Struktura elektroenergetskog sistema	23	2.2.3.6. Mašinska zgrada	62
1.2.2.1. Podsystem proizvodnje	25	2.2.3.7. Vodna turbina	63
1.2.2.2. Podsystem prenosa	25	2.2.3.8. Generator	69
1.2.2.3. Podsystem distribucije	25	2.2.3.9. Odvodni organi	72
1.2.2.4. Podsystem potrošnje	26	2.2.3.10. Hidromašinska oprema	73
1.2.3. Standardni naponi i naponski nivoi	27	2.2.3.11. Visokonaponsko razvodno	78
1.2.3.1. u elektroenergetskom sistemu	27	postrojenje	78
1.2.4. Funkcija i osnovne karakteristike	28	2.2.4. Osnovne karakteristike hidroelektrana	78
1.2.4.1. elektroenergetskih objekata	28	2.2.4.1. Hidrološke karakteristike	79
1.2.4.1.1. Elektrane	28	hidroelektrana	79
1.2.4.1.1.1. Vrste izvora električne energije	28	2.2.4.2. Karakteristike akumulacije i pada	80
1.2.4.1.1.2. Osnovne karakteristike elektrana	32	2.2.4.3. Energetske karakteristike	82
1.2.4.2. Visokonaponska razvodna postrojenja	33	hidroelektrana	82
1.2.4.3. Elektroenergetski vodovi	36	2.2.4.4. Ekonomske karakteristike	83
1.2.4.4. Centri upravljanja	37	hidroelektrana	83
Rezime	40	2.2.5. Prednosti i nedostaci korišćenja	84
2. KONVENCIONALNE ELEKTRANE	41	hidropotencijala za proizvodnju	84
2.1. Vrste konvencionalnih elektrana	42	električne energije	84
2.1.1. Velike hidroelektrane	42	2.3. Termoelektrane	85
2.1.2. Termoelektrane na fosilna goriva	43	2.3.1. Podjela i princip rada termoelektrana	85
2.1.3. Nuklearne termoelektrane (fisija)	44	2.3.1.1. Termoelektrane na fosilna goriva	92
		2.3.1.1.1. Parne termoelektrane	93
		2.3.1.1.2. Gasne termoelektrane	100
		2.3.1.1.3. Dizel termoelektrane	102
		2.3.1.2. Nuklearne termoelektrane	104
		2.3.2. Glavni dijelovi termoelektrana	110
		2.3.2.1. Kotlovsko postrojenje	110
		2.3.2.2. Agregat	118
		2.3.2.3. Kondenzatorsko postrojenje	126
		2.3.2.4. Pomoćni uređaji i postrojenja	130
		2.3.2.5. Visokonaponsko razvodno	131
		postrojenje	131

2.3.3. Prednosti i nedostaci korišćenja konvencionalnih termoelektrana za proizvodnju električne energije	..... 132
Rezime	..... 135

3. KARAKTERISTIKE NEKONVENCIONALNIH ELEKTRANA 137

3.1. Vrste nekonvencionalnih izvora električne energije	..... 138
3.2. Nekonvencionalne hidroelektrane	..... 139
3.2.1. Male hidroelektrane	..... 139
3.2.2. Elektrane na plimu i oseku	..... 142
3.2.3. Elektrane na morske talase	..... 143
3.3. Nekonvencionalne termoelektrane	..... 145
3.3.1. Sunčeve (solarne) elektrane	..... 145
3.3.2. Geotermalne elektrane	..... 150
3.3.3. Elektrane koje koriste toplotnu energiju mora i okeana	..... 152
3.3.4. Elektrane na biomasu i otpad	..... 154
3.3.5. Magnetohidrodinamički generatori	..... 158
3.3.6. Nuklearne elektrane (fuzija)	..... 159
3.4. Fotonaponske solarne elektrane	..... 161
3.5. Vjetroelektrane	..... 164
3.6. Tendencije budućeg korišćenja nekonvencionalnih izvora energije	..... 169
Rezime	..... 173

4. UGRADNJA, ODRŽAVANJE I REMONT ELEKTROENERGETSKE OPREME I UREĐAJA U ELEKTRANAMA 175

4.1. Osnovni elektroenergetski uređaji u elektranama	..... 176
4.2. Montiranje i demontiranje elektroenergetske opreme i uređaja u elektranama	..... 176
4.3. Funkcionalno ispitivanje elektroenergetske opreme u elektranama	..... 181
4.4. Ispitni protokoli funkcionalnih i završnih ispitivanja elektroenergetske opreme	..... 183
4.5. Vrste i procedure pregleda, nadzora i održavanje elektroenergetske opreme i uređaja u elektranama	..... 185
4.6. Pravila zaštite i primjena zaštitnih mjera i sredstava zaštite na radu u elektranama	..... 188
Rezime	..... 193

5. UTICAJI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA OKOLINU 195

5.1. Uticaji hidroelektrana na okolinu	..... 199
5.2. Uticaji termoelektrana na fosilna goriva na okolinu	..... 201
5.3. Nuklearne elektrane kao izvori zagađenja okoline	..... 204
Rezime	..... 208

6. ELEKTROENERGETSKI SISTEM CRNE GORE 209

6.1. Osnovne karakteristike i objekti elektroenergetskog sistema Crne Gore	..... 210
6.2. Karakteristike velikih hidroelektrana u elektroenergetskom sistemu Crne Gore	..... 215
6.2.1. Hidroelektrana Perućica	..... 215
6.2.2. Hidroelektrana Piva	..... 219
6.3. Karakteristike malih hidroelektrana u elektroenergetskom sistemu Crne Gore	..... 223
6.4. Karakteristike termoelektrane u elektroenergetskom sistemu Crne Gore	..... 225
6.4.1. Termoelektrana Pljevlja I	..... 225
6.5. Karakteristike i tendencije bilansa proizvodnje i potrošnje električne energije u elektroenergetskom sistemu Crne Gore	..... 228
Rezime	..... 230
Rječnik pojmova i izraza	..... 231
Literatura	..... 234

UPUTSTVO ZA KORIŠĆENJE UDŽBENIKA



Dodatni sadržaj – pomažu razumijevanju osnovnog teksta, njegova su dopuna i nijesu obavezni za izučavanje

Osnovni tekst nastavne teme – obavezni sadržaj koji treba da usvojiš

D

Definicija – definisanje novog pojma



Pitanja – pitanja da provjeriš koliko si razumio/razumjela sadržaj lekcije

R

Rezime nastavne teme – osnovni sadržaji koje trebaš da usvojiš

1.1

ENERGIJA

1.1.1. Energija i njen značaj

D

Energetika je nauka koja se bavi izučavanjem energije, njenih izvora i svega što je s time u vezi.

Kao privredna djelatnost, energetika se bavi proučavanjem i iskorišćavanjem različitih izvora energije, njenom proizvodnjom, transportom, pretvaranjem i raspodjelom, kao i njenim korišćenjem, praktično u svim oblastima ljudske djelatnosti. To je u svakoj zemlji strateška i infrastrukturna privredna grana, sa dominantnim uticajem na sve ekonomske tokove i razvoj ostalih privrednih grana (industrija, saobraćaj, turizam, poljoprivreda itd.).

Energija (uobičajena oznaka za energiju je E ili W) je karakteristika sistema kojom se opisuje njegova sposobnost da vrši neki rad.

Za tijelo se kaže da **vrši rad** (uobičajena oznaka A ili W – work) kada se ono kreće po putu (s) pod uticajem sile (F) koja djeluje u smjeru puta.

Da bi se rad mogao izvršiti, treba tijelu dovesti upravo toliku količinu energije koliko bi iznio izvršeni rad, ili bi u tijelu morala postojati upravo tolika količina akumulirane energije.

Kako je energija definisana kao karakteristika sistema (tijela) da vrši rad, to taj izvršeni rad predstavlja mjeru promjene energije. Kada tijelo pređe iz jednog energetskog stanja (početno E_1) u drugo energetsko stanje (konačno E_2), vrši se rad jednak promjeni energije.

Vršenje rada (energija) može se manifestovati na mnogo načina: kao promjena položaja, kao promjena brzine, kao promjena temperature itd.

Z

Riječ **energija** je nastala od grčke riječi **energos** što znači **aktivnost**.

!

Važno svojstvo energije je da ne može niti nastati niti nestati, ne može se uništiti niti iz bilo čega dobiti. Ona može samo prelaziti iz jednog oblika u drugi ili s jednog tijela na drugo. To znači da je količina energije u zatvorenom sistemu uvijek konstantna (Zakon o održanju energije iz XIX vijeka).

Prema važećem Međunarodnom sistemu mjernih jedinica (SI) mjerna jedinica za energiju je džul (J), u čast engleskog fizičara Džejsms Preskot Džulu.

Kako je snabdijevanje potrošača potrebnom energijom preduslov privrednog razvoja čitavog društva i standarda stanovništva, to je i energetika veoma važan faktor razvoja svakog društva. Savremeni privredni razvoj neke zemlje u potpunosti zavisi od raspoloživih izvora energije kao i od njihove iskorišćenosti i primjene u proizvodnji i potrošnji. Zbog toga je osiguranje energije, kao osnovnog preduslova razvoja društva, postalo sve složenije, teže i kompleksnije.

Uprkos velikom i brzom porastu potrošnje energije ne zapaža se, posmatrajći svijet u cjelini, stagnacija u iskorišćavanju energije. Očigledno je da se sa značaj-

?

- 1.1.
1. Objasni značaj energije za razvoj društva.
 2. Navedi načine manifestovanja energije.
 3. Opiši različite oblike energije.
 4. Navedi razlike između konvencionalnih i nekonvencionalnih izvora energije.
 5. Nabroj osnovne osobenosti i karakteristike električne energije.

R

REZIME

- Energetika je nauka koja se bavi izučavanjem energije i njenih izvora.
- Za tijelo se kaže da vrši rad ako se kreće po putu pod uticajem sile koja djeluje u smjeru puta.
- Energija (vršenje rada) se može manifestovati na više načina: kao promjena položaja, kao promjena brzine, kao promjena temperature itd.
- Važno svojstvo energije je da ne može niti nastati niti nestati. Ne može se uništiti niti iz bilo čega dobiti. Može samo prelaziti iz jednog oblika u drugi ili s jednog tijela na drugo.
- Energija se pojavljuje u različitim oblicima:
 - akumulirana ili sakupljena energija u nekom prostoru ili u tijelu, i
 - prelazna energija koja se pojavljuje u slučaju kad akumulirana energija prelazi iz jednog u drugi oblik ili kad akumulirana energija prelazi s jednog na drugo tijelo.
- Različiti oblici energije mogu se klasifikovati i prema tome kako su nastali, u: primarne, transformisane i korisne oblike.
- Primarni oblici energije su nosioci energije u obliku u kakvom se pojavljuju u prirodi ili se u njoj nalaze. Najčešće se primarni oblici energije ne mogu upotrijebiti u prirodnom obliku za dobijanje korisne energije. Većina primarnih oblika energije pretvara se u pogodniji – transformisani oblik i služi za dobijanje korisnog oblika energije.
- Primarni oblici energije mogu se podijeliti prema učestanosti njihove primjene, na:
 - konvencionalne i
 - nekonvencionalne.
- Konvencionalna energija dobija se tehnički i tehnološki poznatim i riješenim postupcima, koji su dostupni na tržištu i koji su u ekonomskom smislu prihvatljivi/konkurentni.
- Nekonvencionalna energija dobija se tehnički i tehnološki još nedovoljno razvijenim postupcima ili trenutno ekonomski neisplativim i nekonkurentnim rješenjima.

Z

Na današnjem stepenu korišćenja pojedinih izvora energije proizvodnja električne energije u svijetu se pokriva sa oko 67% (oko 2/3) korišćenjem fosilnih goriva, dok se ostatak od oko 33% (oko 1/3) pokriva iz svih ostalih izvora energije (hidroenergija oko 17%, nuklearna goriva oko 13% i ostali obnovljivi izvori oko 3%).

8

39



Manje poznate riječi – objašnjenje manje poznatih riječi radi boljeg razumijevanja teksta

Z

Zanimljivost – ono što je interesantno i u vezi je s osnovnim tekstom

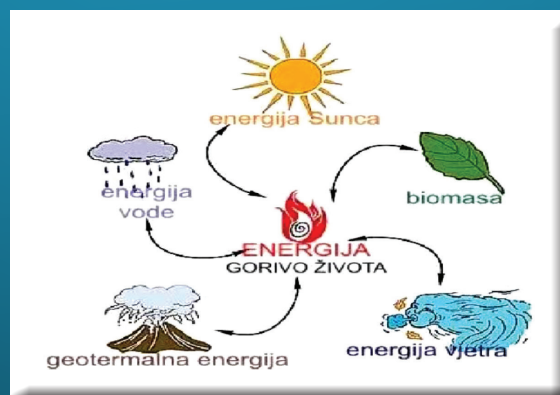


Veoma važno – obavezni i važni dio sadržaja koji je potreban za razumijevanje teksta

1.

Osnovne karakteristike elektroenergetskih sistema

- Energija, njeni oblici i značaj
- Osnovne osobenosti elektroenergetike i specifičnosti i karakteristike električne energije
- Elektroenergetski sistem, njegova struktura i osnovne karakteristike
- Standardni naponi i naponski nivoi u elektroenergetskom sistemu
- Funkcija i osnovne karakteristike elektroenergetskih objekata
- Osnovne karakteristike elektrana
- Podjela, vrste i osnovne karakteristike izvora električne energije



1.1

ENERGIJA

1.1.1. Energija i njen značaj

D

Energetika je nauka koja se bavi izučavanjem energije, njenih izvora i svega što je s time u vezi.



Kao jedinica mjere za energiju, naročito kod naplate utrošene električne energije, koristi se i jedinica vat-čas (Wh). Zbog, po pravilu, velikog iznosa na koji se odnose računi za utrošenu električnu energiju, uobičajeno se koriste višestruko veće mjerne jedinice od Wh , kao što su kWh (kilovat-čas), MWh (megavat-čas) i GWh (gigavat-čas).

Kao privredna djelatnost, energetika se bavi proučavanjem i iskorišćavanjem različitih izvora energije, njenom proizvodnjom, transportom, pretvaranjem i raspodjelom, kao i njenim korišćenjem, praktično u svim oblastima ljudske djelatnosti. To je u svakoj zemlji strateška i infrastrukturna privredna grana, sa dominantnim uticajem na sve ekonomske tokove i razvoj ostalih privrednih grana (industrija, saobraćaj, turizam, poljoprivreda itd.).

Energija (uobičajena oznaka za energiju je E ili W) je karakteristika sistema kojom se opisuje njegova sposobnost da vrši neki rad.

Za tijelo se kaže da **vrši rad** (uobičajena oznaka A ili W – work) kada se ono kreće po putu (s) pod uticajem sile (F) koja djeluje u smjeru puta.

Da bi se rad mogao izvršiti, treba tijelu dovesti upravo toliku količinu energije koliko bi iznosio izvršeni rad, ili bi u tijelu morala postojati upravo tolika količina akumulisane energije.

Kako je energija definisana kao karakteristika sistema (tijela) da vrši rad, to taj izvršeni rad predstavlja mjeru promjene energije. Kada tijelo pređe iz jednog energetskeg stanja (početno E_1) u drugo energetskeg stanje (konačno E_2), vrši se rad jednak promjeni energije.

Vršenje rada (energija) može se manifestovati na mnogo načina: kao promjena položaja, kao promjena brzine, kao promjena temperature itd.

Z

Riječ energija je nastala od grčke riječi *energos* što znači aktivnost.



Važno svojstvo energije je da ne može niti nastati niti nestati, ne može se uništiti niti iz bilo čega dobiti. Ona može samo prelaziti iz jednog oblika u drugi ili s jednog tijela na drugo. To znači da je količina energije u zatvorenom sistemu uvijek konstantna (Zakon o održanju energije iz XIX vijeka).

Prema važećem Međunarodnom sistemu mjernih jedinica (SI), mjerna jedinica za energiju je džul (J), u čast engleskom fizičaru Džejms Preskot Džulu.

Kako je snabdijevanje potrošača potrebnom energijom preduslov privrednog razvoja čitavog društva i standarda stanovništva, to je i energetika veoma važan faktor razvoja svakog društva. Savremeni privredni razvoj neke zemlje u potpunosti zavisi od raspoloživih izvora energije kao i od njihove iskorišćenosti i primjene u proizvodnji i potrošnji. Zbog toga je osiguranje energije, kao osnovnog preduslova razvoja društva, postalo sve složenije, teže i kompleksnije.

Uprkos velikom i brzom porastu potrošnje energije ne zapaža se, posmatrajući svijet u cjelini, stagnacija u iskorišćavanju energije. Očigledno je da se sa značaj-

nim porastom potrošnje energije mora računati i u budućnosti. Realno je predviđanje da će u najrazvijenijim zemljama s velikom potrošnjom energije po stanovniku, u neposrednoj budućnosti potrošnja energije praktično stagnirati ili da će se ostvarivati vrlo mali porast. Međutim, takođe su realna i očekivanja da će do značajnog povećanja potrošnje doći u zemljama u razvoju, čiji je privredni razvoj, broj stanovnika i njihov godišnji porast znatno veći nego kod visokorazvijenih zemalja.

Sve veći zahtjevi za energijom, kako zbog povećanja broja stanovnika, tako i zbog tehničko-tehnološkog razvoja i povećanja kvaliteta i standarda života, sve ozbiljniji uticaj proizvodnje i potrošnje energije na životnu sredinu, kao i značajne ekonomske posljedice promjena koje su se desile i koje se dešavaju na svjetskom tržištu energije doprinijeli su da danas energetika dobije veoma važan međunarodni značaj.



U svom istorijskom razvoju energetika je u početku imala **lokalni**, pa zatim **regionalni** i **državni**, da bi danas postigla izuzetan **međunarodni (globalni)** značaj.

Problem kontinuiranog snabdijevanja energijom izbio je u prvi plan nakon Drugog svjetskog rata, ali je potenciran nakon tzv. energetske krize (1973) kad je počelo značajnije povećanje cijene nafte. Promjene na svjetskom tržištu energije uslovile su i promjenu odnosa prema energetskim problemima, tako da se čovječanstvo počelo sa znatno većom pažnjom odnositi prema energiji. I do tada je postojala veoma bliska veza između energetike i ekonomije, pri čemu se ekološkim problemima praktično nije poklanjala značajnija pažnja. Podaci o nagomilavanju CO₂ u atmosferi, nastanak „kiselih kiša“, efekat „staklene bašte“, „ozonske rupe“ i drugi globalni poremećaji doprinijeli su promjeni shvatanja i razmišljanja, tako da su danas **energija**, **ekonomija** i **ekologija** trodimenzionalni, jedinstveni problem razvoja čitavog čovječanstva.



Poslije tzv. „energetskih kriza“ polovinom i krajem sedamdesetih godina XX vijeka, u svim zemljama svijeta došlo je do preispitivanja energetske politike i definisanja nove energetske strategije, u osnovi sažete akronimom/skraćeno **3E**:

- **Efikasnost,**
- **Ekonomičnost,**
- **Ekologija.**

Zbog izraženih energetske probleme, praktično u svim zemljama svijeta, čovječanstvo je u kontinuiranoj potrazi za izvorima energije kojima bi bilo u mogućnosti da na optimalan način pokrije svoje energetske potrebe.

Trenutno svijet podmiruje svoje energetske potrebe uglavnom neobnovljivim izvorima energije, većinom fosilnim gorivima (ugljem, naftom i prirodnim gasom) i nuklearnim gorivom. I pored njihove količinske ograničenosti i brze potrošnje i nestajanja, kao i značajnih nedostataka i problema (naročito ekoloških) u njihovom korišćenju, stručnjaci prognoziraju da će se ovakav trend nastaviti i u bliskoj budućnosti.



Za ilustraciju značaja energije za dalji tehnički razvoj svijeta može poslužiti podatak da je u posljednjih tridesetak godina XX vijeka iskorišćeno više energije nego u toku cijelog istorijskog razdoblja prije toga. Takođe i podatak da je u toku dvadesetog vijeka ukupna godišnja potrošnja svih oblika primarne energije u svijetu porasla više nego deset puta.



Neravnomjerni i neblagovremeni razvoj energetike postaje limitirajući faktor razvoja privrednih djelatnosti, jer nedostatak potrebne energije dovodi do velikih poremećaja u proizvodnji, kao i do znatnih gubitaka. Istraživanja su pokazala da postoji dobra korelaciona zavisnost između potrošnje energije po stanovniku u nekoj zemlji, društvenog proizvoda i nacionalnog dohotka društva.

Stalnim razvojem nauke i tehnike, kao i napretkom savremenijih i efikasnijih tehnologija, veoma brzo će biti omogućeno iskorišćenje novih oblika energije i otvaranje novih mogućnosti za njihovu masovniju upotrebu.

Od izbora vrste i strukture oblika energije zavisi potrebna visina investicija i cijena energije. Izbor optimalne strukture je veoma kompleksan problem, jer njegovo rješenje ne zavisi samo od energetske izvora zemlje, već i od mogućnosti i potreba uvoza pojedinih oblika energije. Iz navedenoga proizilazi da u određenim slučajevima može doći do značajne zavisnosti zemlje potrošača od zemlje izvoznika energije, što može izazvati mnogobrojne životne i političke probleme. Sve države treba da teže da se na vrijeme osiguraju najnužnijim oblicima energije, kako ne bi nedostatak neophodno potrebnih količina energije poremetio osnovnu egzistenciju, nezavisnost i život države u cjelini.

Zbog ključne pozicije energije kao, moglo bi se reći, univerzalnog izvora, i zbog ubrzanog razvoja nedovoljno razvijenih područja, prognoze stručnjaka su da će potrebe energije po stanovniku još dugo godina rasti, vjerovatno i nakon što bi se, iz bilo kojih razloga, stabilizovao broj stanovnika na našoj planeti.

Potrebe za energijom jedne zemlje mogu se u principu zadovoljiti na dva osnovna načina:

1. stalnim **povećanjem nivoa proizvodnje** energije (ukoliko postoje sopstveni izvori) i
2. povećanjem **efikasnosti korišćenja, racionalnim korišćenjem i štednjom** energije.

I pored toga što će u budućnosti biti neophodno korišćenje novih izvora, **štednja** i racionalno korišćenje energije ostaju važni i osnovni načini za prevazilaženje energetske probleme.

Smatra se da ušteda i racionalnije i efikasnije korišćenje energije u svim sferama društvenog i ekonomskog života može da bude najjeftinija i najproduktivnija energetska alternativa s praktično neograničenim mogućnostima. Pored tog ušteda energije može, čak i značajno, da doprinese stimulisanju inovacija, povećanju zaposlenosti, ekonomskom rastu i sl.

Energy Information Administration (EIA) iz Vašingtona (SAD) prati i u svojim publikacijama *International Energy Outlook* (IEO) objavljuje različite energetske projekcije za pojedine zemlje, regione i za svijet u cjelini. Ove projekcije i prognoze mogu veoma korisno poslužiti u pravljenju projekcija budućih potreba i blagovremenom obezbjeđivanju potrebnih količina energije.

Prema IEO 2017, ukupna svjetska energetska potrošnja će u periodu između 2015. i 2040. godine rasti po stopi od 28% (Slika 1.1).

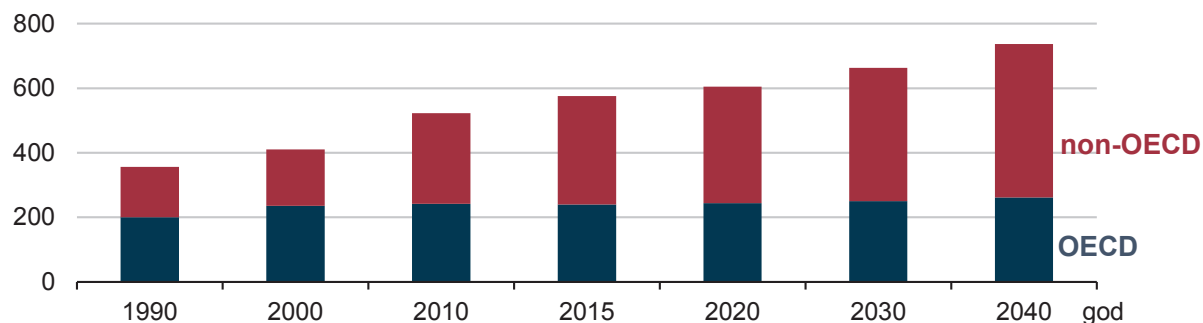


Prema nekim studijama 5/6 energije koja se koristi u transportu, 2/3 goriva koje se koriste u proizvodnji električne energije i skoro 1/3 preostale energije, odnosno u prosjeku 50% energije koja se koristi u SAD, gubi se kroz neiskorišćenu toplotu.



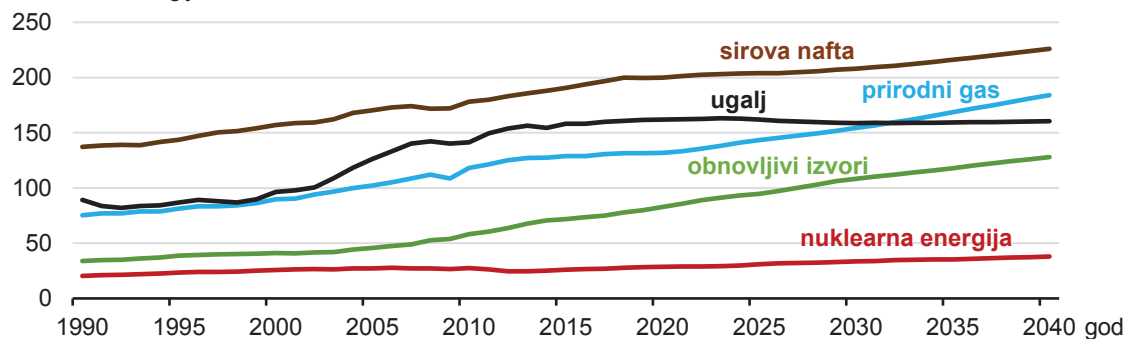
(OECD – razvijene zemlje, non-OECD zemlje u razvoju; BtU – British thermal unit, tradicionalna jedinica toplote približno jednaka 1.060 kJ)

Svjetska energetska potrošnja
W kvadrilion BtU (10^{15})



Prema prognozama istog izvora, u ovom periodu, svjetska energetska potrošnja će rasti u slučaju svih posmatranih energetskih izvora, osim kod uglja (Slika 1.2).

Svjetska energetska potrošnja
po izvorima energije W kvadrilion BtU



Slika 1.2. Projekcija svjetske energetske potrošnje po izvorima energije do 2040.

1.1.2. Oblici energije

Energija se pojavljuje u različitim oblicima koji se mogu svrstati u dvije osnovne grupe:

- **akumulisana** ili **sakupljena** energiju u nekom prostoru ili u tijelu i
- **prelazna** energiju koja se pojavljuje u slučaju kad akumulisana energija prelazi iz jednog u drugi oblik ili kad akumulisana energija prelazi sa jednog na drugo tijelo.

Akumulisana energija se može u određenom obliku održati po volji dugo, dok je za prelazni oblik energije karakteristična kratkotrajnost pojave. Akumulisani oblici energije su:

- **potencijalna,**
- **kinetička** i
- **unutrašnja energija.**

D

Potencijalna energija ili energija položaja, definiše se kao rad koji se obavi protiv određene sile promjenom pozicije posmatranog tijela u odnosu na neku referentnu poziciju.

Za podizanje tijela mase m (kg) sa visine h_1 (m) na visinu h_2 (m), potrebno je obaviti rad W_p (J):

$$W_p = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1), \quad (1.1.)$$

gdje je g ubrzanje zemljine teže ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Podizanjem mase m obavljani rad nije izgubljen, jer se on iz podignute mase može ponovo dobiti, ako se dopusti da se tijelo djelovanjem zemljine teže opet spusti na nivo h_1 . Taj je rad nagomilan u podignutom tijelu kao potencijalna energija ili energija položaja.

Z

Prefiksi prema Međunarodnom sistemu jedinica (SI)

	Evropa	SAD i GB
10^1	deset	deset
10^2	sto	sto
10^3	hiljada	hiljada
10^6	milijon	milijon
10^9	milijarda	bilion
10^{12}	bilion	trilion
10^{15}	bilijarda	kvadrilion
10^{18}	trilion	kvintilion
10^{21}	trilijarda	seksilion
10^{24}	kvadrilion	septilion

D

Kinetička energija ili energija kretanja je energija potrebna da se neko tijelo ubrza na neku brzinu, odnosno energija tijela kod određene brzine u odnosu na neko referentno tijelo.

Za ubrzanje nekog tijela mase m od brzine v_1 na brzinu v_2 , mora se uložiti rad. Taj rad, akumulisan u masi tijela koje se kreće, zove se kinetička energija, i ona se izražava jednačinom:

$$W_k = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2). \quad (1.2.)$$

Ovaj rad se može opet vratiti iz mase u kretanju ako se tijelo uspori na početnu brzinu v_1 . Može se smatrati da je taj rad nagomilan u tijelu u obliku kinetičke energije.

Unutrašnja energija. Potencijalna i kinetička energija mogu se nagomilati ne samo u tijelima kao cjelini već i u najmanjim elementarnim česticama tijela.

Unutrašnja energija na nivou molekula mijenja se dovođenjem ili odvođenjem toplote, jer se na taj način povećavaju, odnosno smanjuju brzine kretanja molekula, pa se takva energija naziva **unutrašnja kalorična energija**. Unutrašnja energija na nivou atoma je **hemijska energija**, jer se mijenja promjenom hemijskog spoja (npr. sagorijevanjem). Unutrašnja energija na nivou jezgara zove se **nuklearna energija**. Treba razlikovati nuklearnu energiju spajanja jezgara (energija fuzije) od nuklearne energije razbijanja jezgara (energija fisije).

Prelazni oblici energije su:

- mehanički rad ili mehanička energija,
- električna energija i
- toplota.

Mehanički rad ili mehanička energija pojavljuje se kao potencijalna i kinetička energija. Potencijalnu energiju posjeduju tijela koja se nalaze u stanju mirovanja (npr. energija vode u akumulacionom jezeru). Kinetičku energiju posjeduju tijela u stanju kretanja (npr. prilikom pretvaranja kinetičke energije vode udarom u lopatice vratila turbine). Mehanička energija je prelazna energija koja se ne može nagomilati, nego se iskorišćava istovremeno sa njenom pojavom.



Električna energija je oblik prelazne energije u polju Kulonove sile u kojem se čestice istog naelektrisanja međusobno odbijaju, a čestice suprotnog naelektrisanja međusobno privlače, pri čemu se stvara razlika potencijala. Dobija se transformacijom iz mehaničke, toplotne, hemijske, svjetlosne, nuklearne i sl. Relativno jednostavno se može pretvoriti u ostale korisne oblike energije. Zbog mnogobrojnih prednosti i povoljnosti električna energija je trenutno najvažniji i najkorišćeniji oblik energije koju koristi čovječanstvo.

Toplota je energija koja nastaje pretvaranjem iz hemijske energije goriva. Sagorijevanjem goriva oslobađa se energija Sunčevog zračenja koja je akumulirana procesom asimilacije. Ugljenik i vodonik iz goriva sagorijevaju vezujući se sa mo-

lekulima kiseonika, stvarajući ugljen dioksid i vodenu paru, pri čemu se oslobađa znatna toplotna energija sagorijevanja. Takođe, toplota nastaje i direktnim Sunčevim zračenjem, a može se dobiti i pretvaranjem iz električne i nuklearne energije. I geotermalna energija je toplotna energija, a i oceani i mora posjeduju ogromne količine toplotne energije nastale usljed Sunčevog zračenja.

Toplotna energija prelazi s jednog objekta na drugi zbog razlike u temperaturi. Toplotna se prenosi na tri osnovna načina: provođenjem (kondukcijom), strujanjem (konvekcijom) i zračenjem. To je prelazna energija, koja prelazi npr. od gasova sagorijevanja na radno tijelo (u parnim kotlovima), od gasova sagorijevanja na vazduh u prostorijama (grijanje prostorija sagorijevanjem goriva u sobnoj peći), od radnog tijela na rashladnu vodu (u kondenzatoru parne turbine) itd. Toplotna energija se može direktno koristiti za grijanje ili posredno za dobijanje ostalih oblika energije (npr. električne energije).

Različiti oblici energije mogu se, osim prema već pomenutoj podjeli, klasifikovati i prema tome kako su nastali (Slika 1.3):

- **primarne** oblike,
- **transformisane** oblike,
- **korisne** oblike energije.

1.1.2.1. Primarni oblici energije

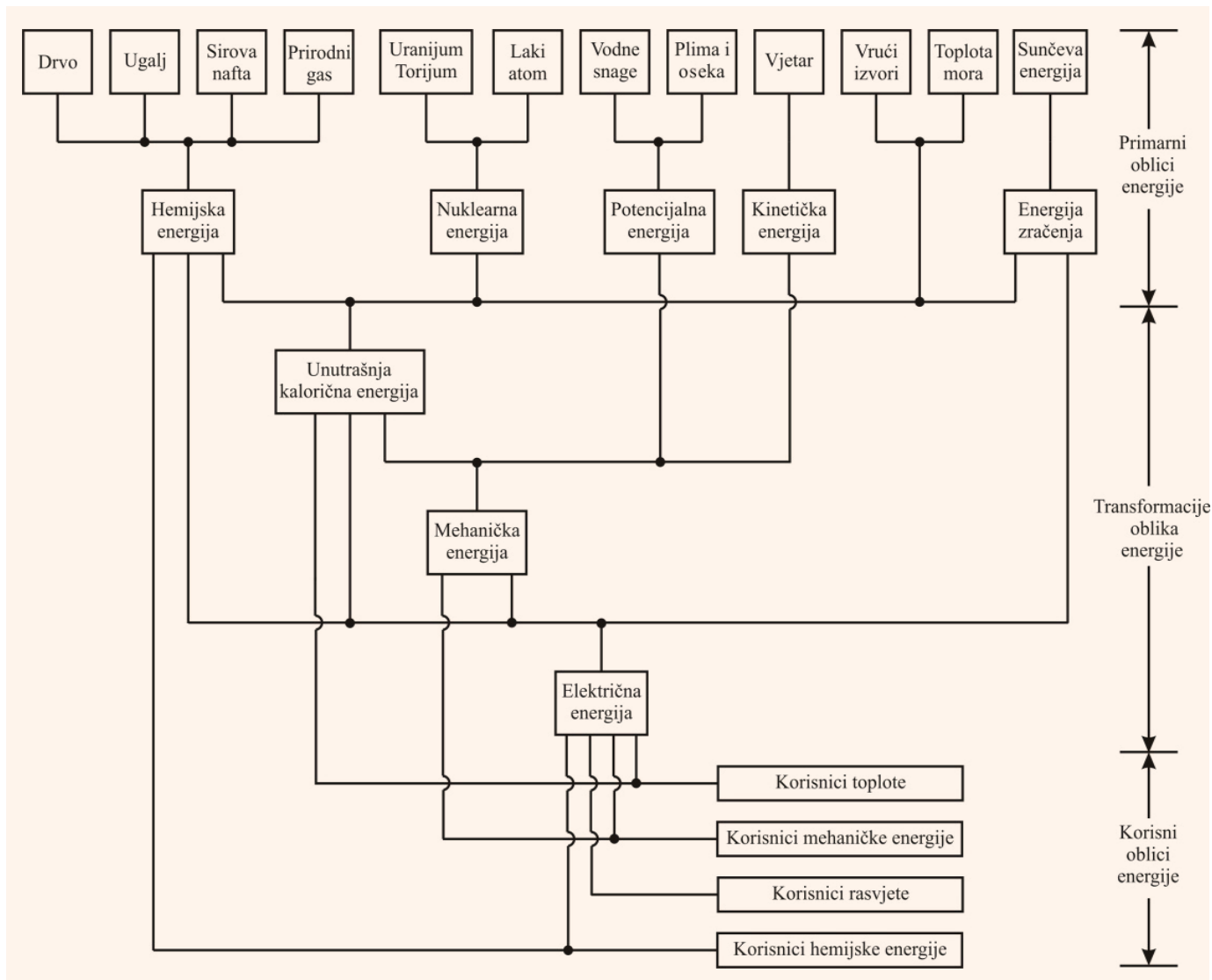


Primarni oblici energije su nosioci energije u obliku u kakvom se pojavljuju u prirodi ili se u njoj nalaze.

Najčešće se primarni oblici energije ne mogu upotrijebiti u prirodnom obliku za dobijanje korisne energije. Većina primarnih oblika energije se pretvara u pogodniji – transformisani oblik i služi za dobijanje korisnog oblika energije.

Primarni oblici energije mogu se podijeliti:

- prema **učestanosti** njihove primjene, na:
 - konvencionalne (klasične, tradicionalne, industrijske) i
 - nekonvencionalne (alternativne, nove, eko).
- prema **fizičkim svojstvima** nosilaca energije, na nosioce:
 - hemijske energije: drvo, ugalj, sirova nafta, zemni gas, uljni škriljci, biomasa;
 - nuklearne energije: fisija i fuzija;
 - potencijalne energije: vodne snage, plima i oseka;
 - kinetičke energije: vjetar, energija morskih talasa;
 - toplotne energije: geotermička, toplotna energija mora;
 - energija zračenja: Sunčevo isijavanje.
- prema njihovoj **obnovljivosti**, na:
 - primarne oblike energije koji se prirodno obnavljaju i
 - primarne oblike energije koji se ne obnavljaju.



Slika 1.3. Primarni, transformisani i korisni oblici energije

Konvencionalni oblici energije su oblici koji se danas najčešće i obično primjenjuju:

- drvo (ogrijevno drvo),
- ugalj,
- sirova nafta,
- prirodni gas (zemni plin),
- uljni škriljci i bitumenozni pijesak,
- vodne snage (potencijalna energija vodotoka),
- geotermalna energija (toplota koja se pojavljuje na površini u obliku vrućih izvora),
- nuklearna energija (fisija).

U literaturi se može naći i podjela konvencionalnih oblika energije na: unutrašnju energiju (nafta, ugalj, gas), potencijalnu energiju (vodne snage) i nuklearnu energiju (fisija). Takođe se drvo, ugalj, sirova nafta, prirodni gas i uljni škriljci obično zovu gorivom, a pod fosilnim gorivima podrazumijevaju se: ugalj, sirova nafta, prirodni gas (plin) i uljni škriljci.

D

Konvencionalna energija dobija se tehnički i tehnološki poznatim i riješenim postupcima, koji su dostupni na tržištu i koji su u ekonomskom smislu prihvatljivi/konkurentni.

U **nekonvencionalne oblike energije** ubrajaju se:

- vjetar (eolska, kinetička energija),
- plima i oseka (potencijalna energija),
- energija morskih talasa (kinetička energija),
- geotermalna energija (toplotna energija u unutrašnjosti Zemlje, koja se ne pojavljuje na površini),
- neposredno korišćenje Sunčevog zračenja (solarna energija),
- unutrašnja toplotna energija mora (razlika temperature na površini i u većoj dubini),
- energija biomase i otpada,
- toplota okoline dobijena primjenom toplotnih pumpi,
- nuklearna energija (fuzija lakih atoma) i dr.

Postoji i podjela ovih oblika energije na: unutrašnju energiju (biogas, biomasa, naftni škriljci), potencijalnu energiju (plima i oseka, talasi), kinetičku energiju (vjetar), toplotnu energiju (stijene u Zemljinoj kori, toplota mora, vrući izvori), nuklearnu energiju (fuzija lakih atoma) i energiju zračenja (Sunce).

D

Nekonvencionalna energija dobija se tehnički i tehnološki još nedovoljno razvijenim postupcima ili trenutno ekonomski neisplativim i nekonkurentnim rješenjima.

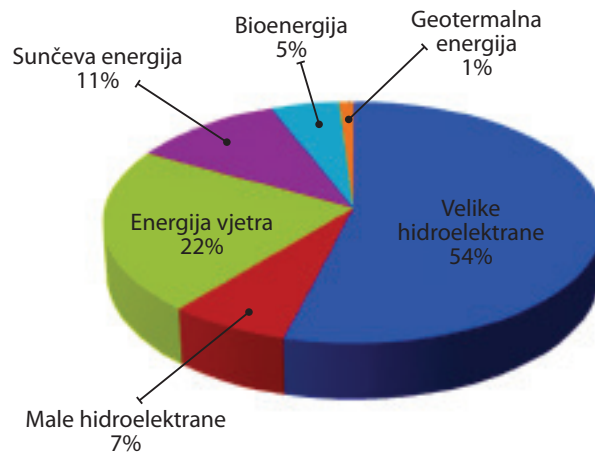
Većini konvencionalnih i nekonvencionalnih izvora osnova je u energetske aktivnosti Sunca.

Biljni i životinjski otpad tradicionalno upotrebljavani u nerazvijenim područjima svijeta se ubrajaju u konvencionalne izvore, dok se njihova savremena primjena u razvijenom svijetu ubraja u nekonvencionalne izvore (biomasa i otpad).

!

U primarne oblike energije koji se **prirodno obnavljaju** (neiscrpljivi izvori energije) ubrajaju se: zračenje Sunca koje se može neposredno iskoristiti, vodne snage, energija vjetra, geotermalna energija, energija plime i oseke, energija talasa, gorive ćelije, vodonik, energija biljnog porijekla (biomasa) kao i toplota mora. Obnovljivi oblici energije se stalno obnavljaju pa zato predstavljaju neiscrpljive izvore energije.

Učešće pojedinih izvora električne energije u ukupnim instalisanim svjetskim kapacitetima obnovljivih oblika energije dato je na Slici 1.4.



Slika 1.4. Učešće pojedinih obnovljivih izvora električne energije u ukupnom instalisanom kapacitetu



U grupu oblika energije koji se ne obnavljaju (iscrpljivi oblici energije) spadaju: fosilna (ugalj, nafta i prirodni gas) i nuklearna goriva, unutrašnja toplota Zemlje koja se pojavljuje i koja se ne pojavljuje na površini i laki atomi koji su potrebni za fuziju.

Zovu se neobnovljivi jer se sa eksploatacijom smanjuju njihove rezerve.

Između primarnih oblika energije koji se obnavljaju i onih koji se ne obnavljaju postoje razlike u pogledu:

- **konstantnosti:** Potencijalne mogućnosti oblika energije koji se obnavljaju mijenjaju se sa vremenom, što znači da je njihova snaga funkcija vremena. Te promjene mogu biti: vrlo brze (npr. snaga vjetra – brzina se može znatno promijeniti i tokom nekoliko minuta); brze (npr. snaga plime i oseke – maksimalna i minimalna kota postižu se najčešće u toku 12 sati); spore (snaga vode – najčešće se može smatrati da se količina vode u vodotoku ne mijenja tokom dana) i vrlo spore (snaga toplote mora – temperature se mijenjaju sa godišnjim dobima).
- **mogućnosti uskladištenja:** Većinu oblika energije koji se obnavljaju nije moguće u značajnijem obimu akumulirati ili uskladištiti (energiju vjetra, plime i oseke, Sunčevu energiju i sl.), pa je takve oblike energije potrebno iskoristiti u času kad se pojavljuju.
- **mogućnosti transporta:** Primarni oblici energije koji se ne obnavljaju mogu se transportovati i upotrijebiti prema potrebama a da ne dođe do gubitaka, tj. sa njima se može, po potrebi, ostvariti i konstantnost snage. Uskladištenje onih oblika energije, koji se u svom primarnom obliku mogu transportovati (drvo, fosilna i nuklearna goriva), moguće je bez većih poteškoća. Nije dan od primarnih oblika energije koji se obnavljaju, međutim, nije moguće transportovati u prirodnom obliku.

Primarni oblici energije koji se danas koriste za podmirenje energetske potreba, uglavnom su neobnovljivi izvori koji se u prirodi nalaze u ograničenim količinama. Zbog toga njihove poznate rezerve kao i brzina njihove potrošnje upućuju na krajnje oprezan i racionalan pristup njihovom korišćenju, kako bi se u doglednoj budućnosti mogle osigurati neophodne količine energije.

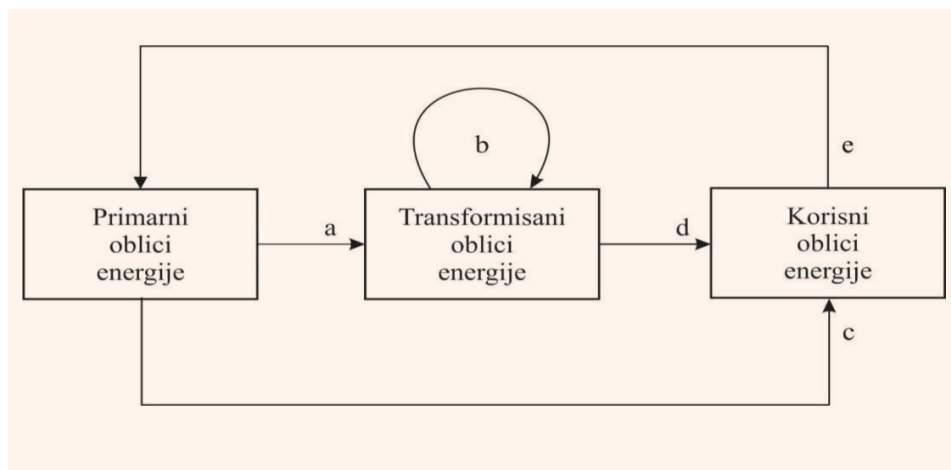
1.1.2.2. Transformisani oblici energije



Da bi se iz primarnih oblika dobili tehnički iskoristivi oblici energije, oni se najčešće moraju podvrgnuti određenim energetskim transformacijama.

Za svaki oblik primarne energije postoji odgovarajuća transformacija, koja prvenstveno zavisi od nosioca energije kojeg sadrži taj oblik. Različite kombinacije energetskih transformacija prikazane su na Slici 1.5.

Vrlo se rijetko primarni oblici energije mogu neposredno koristiti bez transformacije kao korisni oblici energije, a često se događa da se već transformisani oblik energije mora dodatno transformisati (dva ili više puta) da bi se dobio korisni oblik energije.



Slika 1.5. Različite kombinacije energetskih transformacija

Kako je očigledno da se mogu pojaviti različite kombinacije transformacija, to je uvijek potrebno slijediti tok oblika energije od njegove pojave do njegove potrošnje.

Kroz različite energetske transformacije, jednu ili više u nizu, iz primarnih oblika energije dobijaju se transformisani oblici energije: toplotna, mehanička i električna energija, koji su pogodniji za dalje pretvaranje, za transport ili prenos na veća ili manja rastojanja ili za korišćenje. Treba voditi računa i o specifičnostima pojedinih energetskih oblika, npr. da mehaničku energiju nije moguće transportovati već se može koristiti samo na licu mjesta, da je toplotna energija pogodna samo za prenos na manje udaljenosti, kao i da se električna energija može prenositi i na velike udaljenosti i sl.

1.1.2.3. Korisni oblici energije



Korisni oblici energije su oblici koji služe za neposredno obavljanje korisnog rada i pogodni su za korišćenje krajnjim korisnicima.

To je energija koju krajnji korisnici koriste u, za njih, pogodnom obliku. Potrošačima je potrebna energija u jednom od sljedećih korisnih oblika:

- **toplotna** energija,
- **mehanička** energija,
- **hemijska** energija i
- energija za **rasvjetu**.

Toplotna energija je najstariji oblik korisne energije koju je čovjek koristio. Ona se danas uglavnom dobija:

- direktno iz primarne energije,
- transformacijom primarnih oblika energije i
- transformacijom električne energije.

Toplota (para ili vrela voda) se može dobiti direktno iz Sunčeve energije ili iz toplih izvora na površini Zemlje. Ova energija se danas koristi u industriji, poljoprivredi i turizmu, kao i u domaćinstvima koja imaju centralna grijanja i centralizovanu pripremu tople vode i sl.

Određenim transformacijama primarnih oblika energije danas se dobija glavni dio toplotne energije (na primjer sagorijevanjem iz hemijske energije goriva). Potrebna toplotna energija može se dobiti i pomoću električne energije, koja se u otpornim i indukcionim pećima pretvara u toplotnu energiju.

Mehanička energija se u manjem obimu dobija direktno iz ljudskog i životinjskog rada. Za obavljanje korisnog mehaničkog rada većeg obima, mehanička energija se uglavnom obezbjeđuje raznim transformacijama iz sljedećih energetskih oblika:

- električne energije,
- toplotne energije i
- potencijalne i kinetičke energije.

Pošto se mehanička energija ne može prenositi na daljinu (obično ne veću od nekoliko metara od izvora), najveći dio mehaničke energije dobija se iz električne, koja se prenosi do motora i drugih uređaja, koji zatim električnu energiju pretvaraju u mehaničku.

Potencijalna i kinetička energija koristile su se od davnina za dobijanje mehaničke energije, i to pomoću vodeničnog točka (potencijalna) i pomoću vjetrenjača (kinetička energija vjetra). Danas se uglavnom kinetička energija vjetra transformiše u mehaničku, ali ne da bi se koristila kao takva, već da bi se dalje transformisala u druge oblike energije, prije svega električnu. Slično se i potencijalna energija vode transformiše u mehaničku energiju, ali se ona kao takva rijetko koristi, već se daljim transformacijama iz nje dobija najčešće električna energija.

Hemijska energija se javlja u više oblika, kao primarna (u drvetu, biomasi, fosilnim gorivima i sl.) i kao sekundarna (pri određenim transformacijama, hemijskim postupcima i reakcijama). Za dobijanje potrebne hemijske energije danas se uglavnom upotrebljavaju koks i električna energija, ili obje vrste zajedno. Umjesto kokska može se upotrebljavati prirodni gas, razni destilati nafte, katrana i sl. Pored hemijske energije u redukcijskim pećima (visoke peći i lučne peći) kao propratni oblik energije javlja se i toplotna energija.

Svjetlost se može dobiti na razne načine: direktno od primarne energije (Sunce), transformacijom primarne energije u svjetlost (npr. transformacijom hemijske energije drveta i fosilnih goriva i njihovim sagorijevanjem) i sl. Kao energija za rasvjetu danas se isključivo upotrebljava električna energija. U krajevima gdje nema električne energije upotrebljava se petrolej, a za gradsku rasvjetu (danas više zbog atrakcije) upotrebljava se i gas. Veliki naponi se danas čine u pravcu što većeg, boljeg i energetski efikasnijeg iskorišćavanja različitih savremenih uređaja (svjetiljki, sijalica) za pretvaranje električne energije u svjetlost.

Kada se govori o energetskim transformacijama, neophodno je istaći i veoma pažljivo voditi računa o važnoj činjenici da su sve energetske transformacije praečne **energetskim gubicima** usljed nepovratnosti navedenih procesa.

1.1.3. Električna energija

Naglim razvojem industrije, mehanizacijom i automatizacijom procesa u svim ostalim privrednim granama, kao i povećanjem životnog standarda i broja stanovnika, potrebe za energijom uopšte, a time i za električnom energijom, stalno rastu. Moderan razvoj tehnologija doveo je i društveni i privredni razvoj u veliku zavisnost od električne energije. Kako se za proizvodnju električne energije i opštem razvoju mogu koristiti različiti izvori energije, razvoj energetske osnove društva se javlja kao posebno važno specifično područje razvoja.



Kao najplemenitiji i najkvalitetniji oblik energije koji može zadovoljiti veliki dio energetskih potreba čovječanstva, sve više se nameće **električna energija**.

Mnogobrojne su prednosti električne energije u odnosu na ostale energente. Prije svega to je mogućnost njene proizvodnje korišćenjem različitih izvora energije, od uglja, nafte i gasa, preko hidro i nuklearne energije, do solarne, geotermalne i drugih obnovljivih izvora energije. Prednosti se ogledaju i u raznovrsnosti korišćenja i ekskluzivnosti za pogon različitih uređaja; ekološkoj čistoći korišćenja; razvoju automatizacije, mehanizacije i kompjuterizacije; mogućnosti transporta na velike udaljenosti i međusobne povezanosti elektroenergetskih sistema koji omogućavaju sigurnost i pouzdanost snabdijevanja i sl. Zbog toga je stopa rasta proizvodnje električne energije uvijek bila veća od stope rasta ostalih energetskih izvora.

Električna energija pripada transformisanim (ponegdje nazvanim sekundarnim) oblicima energije i posjeduje mogućnost veoma lake transformacije. Ona se može, pomoću raznih uređaja ili postrojenja, relativno lako transformisati u željeni oblik korisne energije: toplotni, mehanički, hemijski i svjetlosni. Takođe se u transformatoru lako transformiše u isti oblik (električnu energiju) ali drugih parametara (napona i struje).



Kako se električna energija proizvodi da bi zadovoljila određene ljudske potrebe, to se ona po ekonomskim kriterijumima svrstava u kategoriju robe. Međutim, zbog mnogobrojnih specifičnosti koje nijesu karakteristične za tipičnu kategoriju robe, ona se tretira kao specifičan tip robe.

Z

Prema najnovijim prognozama rast potreba za električnom energijom u zemljama u razvoju će biti više od dvostruko veći nego u razvijenim zemljama. Međutim, pored izuzetnog značaja električne energije za razvoj društva, veoma zabrinjavajući je podatak da danas oko 1,1 milijarda ili 14% ukupne populacije na Zemlji nema čak ni mogućnost da koristi električnu energiju, a mnogo više od toga ima značajan problem s napajanjem zbog njenog veoma lošeg kvaliteta.

Z

Na današnjem stepenu korišćenja pojedinih izvora energije, proizvodnja električne energije u svijetu se pokriva sa oko 67% (oko 2/3) korišćenjem fosilnih goriva, dok se ostatak od oko 33% (oko 1/3) pokriva iz svih ostalih izvora energije (hidroenergija oko 17%, nuklearna goriva oko 13% i ostali obnovljivi izvori oko 3%).

Z

Naučnici predviđaju da će rast potreba za električnom energijom u zemljama u razvoju (non OECD) u periodu između 2015. i 2040. godine biti u prosjeku 1,9% godišnje, što u poređenju sa rastom u razvijenim zemljama (OECD) od 1,0% godišnje, znači skoro duplo brži porast u posmatranom periodu (Slika 1.7).

Takođe su predviđanja da će obnovljivi izvori energije i prirodni gas doprinijeti značajnom porastu proizvodnje električne energije. Prognoza njihovog zajedničkog učinka u ukupnom porastu proizvodnje električne energije ide do 57% u 2040. godini (Slike 1.8. i 1.9).

Među osnovnim specifičnostima električne energije ističu se sljedeće:

- direktna zavisnost proizvodnje i potrošnje električne energije,
- jednovremenost procesa njene proizvodnje i potrošnje, kao potrebe da kapaciteti EES moraju biti dovoljni da zadovolje ukupnu potražnju za električnom energijom,
- potreba zajedničkog rada i povezivanje elektrana u složene EES, čime se obezbjeđuje kontinuirano i pouzdano snabdijevanje potrošača električnom energijom,
- proizvodnja i prenos električne energije se u okviru EES, u principu, vrši za nepoznatog potrošača,
- razvoj raspodjele električne energije zavisi u velikoj mjeri od načina i prostornog razmještaja njene potrošnje,
- koristi i troškovi razvoja elektroprivrede imaju dugoročan karakter i protežu se tokom cijelog, po pravilu, dugog perioda investicije,
- supstitucija električne energije drugim energetske oblicima je u velikom broju njenih upotreba nemoguća ili je neekonomična.

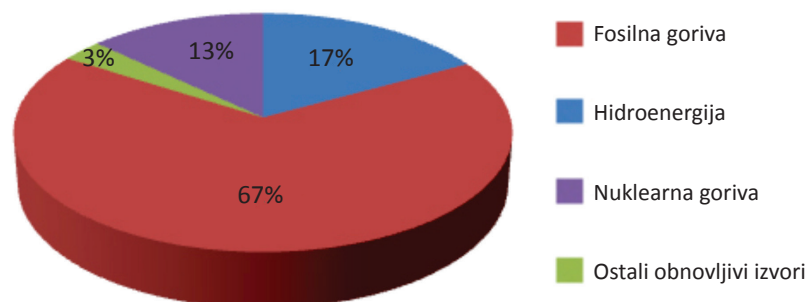
Kao i na povećanje potrošnje ostalih energetske oblika, i na povećanje potrošnje električne energije utiče više različitih činilaca, od kojih su najznačajniji:

- povećanje (priraštaj) **broja stanovnika**, jer svaki stanovnik traži svoj dio energije,
- povećanje **životnog standarda**, za šta je potrebno korišćenje dodatne energije,
- puštanje u rad **novih objekata** i povećanje porasta primjene električne energije u drugim djelatnostima,
- porast potreba stanovništva za energijom uopšte.

Da bi se zadovoljile veoma brzo rastuće potrebe za električnom energijom, neophodno je stalno praćenje promjena i ponašanja navedenih činilaca i blagovremeno planiranje i izgradnja novih izvora energije. Za to je potrebno imati i redovno ažurirati neophodnu bazu podataka o ponašanju sistema u što je moguće dužem nizu godina u prošlosti.

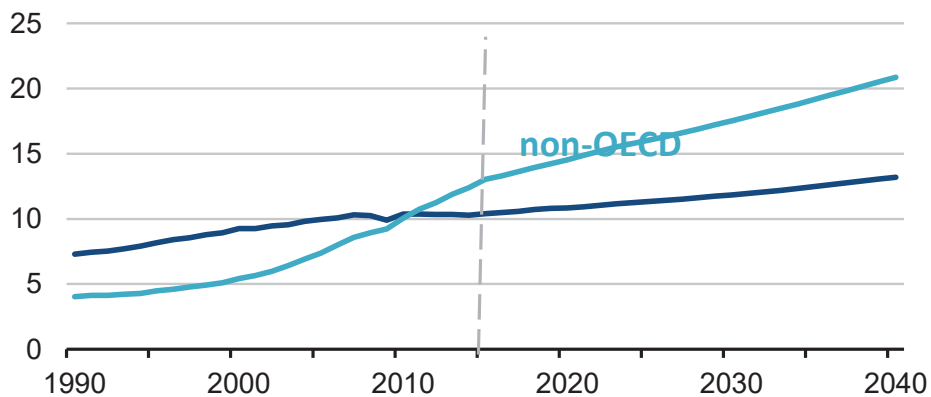
Načini prikazivanja ovih podataka su različiti, ali od svih se traži da budu što je moguće potpuniji, tačniji i za što je moguće duži period. Podaci iz prošlosti, koji se koriste kao osnova za dalje analize i prognoze potreba, najčešće se prikazuju u obliku različitih tabela ili grafički.

Za zadovoljenje potreba za električnom energijom koriste se različiti izvori energije (Slika 1.6).

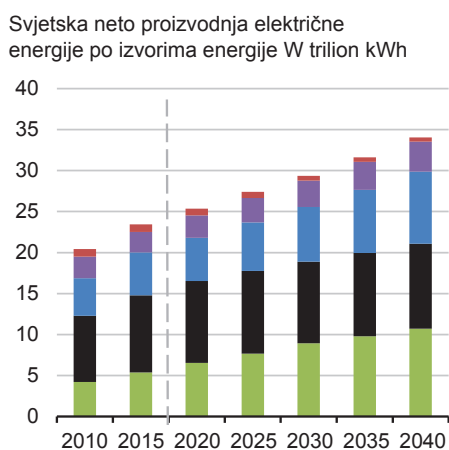


Slika 1.6. Udio pojedinih izvora energije u proizvodnji električne energije

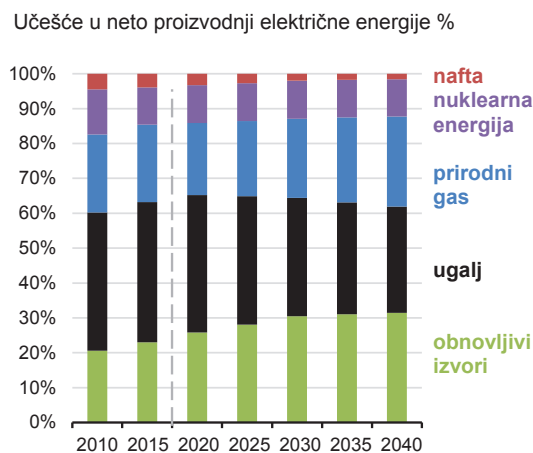
Mnogobrojne prednosti električne energije i njene specifične karakteristike uslovile su da potrošnja električne energije u svijetu raste po veoma visokoj stopi. Zbog uslovljenosti potrošnje s proizvodnjom, da bi se izbjegli mogući gubici, proizvodnja električne energije mora rasti takođe po istoj stopi.



Slika 1.7. Prognoza porasta neto proizvodnje električne energije u OECD i non-OECD



Slika 1.8. Svjetska neto proizvodnja električne energije po izvorima energije



Slika 1.9. Učešće pojedinih izvora energije u neto proizvodnji električne energije



Obnovljivi izvori energije (uključujući i hidroenergiju), u posmatranom periodu (do 2040), biće najbrže rastući energetska izvor za proizvodnju električne energije, sa porastom u prosjeku od 2,8% godišnje, jer će u mnogim zemljama tehnološka poboljšanja, podrška države i podsticajne mjere podržati i pomoći njihovo značajnije korišćenje. U 2040. obnovljivi izvori energije će obezbjeđivati isto učešće u svjetskoj proizvodnji električne energije kao i uglj (od oko 31%). Prirodni gas će u periodu do 2040. rasti po srednjoj stopi od 2,1% godišnje, dok će proizvodnja iz nuklearnih izvora rasti po stopi od 1,5% godišnje. Proizvodnja električne energije iz uglja će opasti sa 40% u 2015. na 31% u 2040.

1.2.1. Osnovne osobnosti elektroenergetike

D

Elektroenergetika je disciplina u okviru nauke o elektricitetu (elektrike) u kojoj se izučavaju transformacije energije u električnu energiju, njene unutrašnje transformacije, prenos i distribucija, kao i njene transformacije u upotrebne oblike koje čovjek koristi.

Ona predstavlja sektor energetike odgovoran za proizvodnju, prenos, distribuciju i isporuku električne energije potrošačima, u okviru posebne privredne oblasti koja se naziva elektroprivreda. Njen osnovni cilj je da obuhvati sve aktivnosti gazdovanja električnom energijom, kako bi se obezbijedila zahtijevana isporuka potrošačima, uz neophodne nivoe sigurnosti i pouzdanosti, zadovoljavajući kvalitet i najmanje troškove.

D

Specijalni tehničko-ekonomski sistem za realizaciju elektroenergetike, odnosno sistem u okviru koga se izvode sve elektroenergetske transformacije i električna energija prenosi, distribuira i troši, naziva se **elektroenergetski sistem (EES)**.

Jedna od definicija EES-a koja se može naći u stručnoj literaturi je da je to složeni skup uređaja i opreme, međusobno povezanih i uzajamno zavisnih, kojima se proizvedena električna energija (elektrane E), nakon određenih transformacija (visokonaponska razvodna postrojenja VNRP), prenosi (prenosne mreže PM) i distribuira (distributivne mreže DM) do potrošača (P).

!

Osnovni zadaci koji se postavljaju pred elektroenergetskim sistemima su da potrošačima obezbijede **dovoljno snabdijevanje**, tj. potrebnu snagu i dovoljnu količinu električne energije, i da snabdijevanje potrošača bude **sigurno, kvalitetno i ekonomično**, a sve to uz **racionalnu upotrebu** električne energije.

Osnovne osobnosti koje izdvajaju elektroenergetiku od ostalih grana energetike su:

1. Proizvodnja električne energije, njen prenos, raspodjela, distribucija i transformacija u druge vidove energije praktično se vrše u istom trenutku. Zbog nemogućnosti da se električna energija akumulira u potrebnoj količini i uskladištiti za kasnije korišćenje, ona se, da bi se izbjegli gubici, mora proizvoditi samo onda kada to zahtijevaju potrošači. Upravo ova osobnost električne energije pretvara elektroenergetski sistem, čiji pojedini djelovi (podsystemi, elementi i sl.) mogu biti međusobno udaljeni stotinama kilometara i više, u funkcionalno jedinstveni složeni sistem.



Još 1915. godine, Nikola Tesla je izjavio: „Ko god želi da dobije pravu sliku o veličini našeg doba mora proučiti istoriju razvoja elektrike. Tu će on naći priču daleko čudesniju od bilo koje iz 1001 noći“.

2. Proizvodnju i potrošnju električne energije naizmjenične struje neminovno prati i proizvodnja i potrošnja reaktivne energije.
3. Postoji stalna i velika neravnomjernost potrošnje električne energije i snage tokom više godina, godine, sezona, mjeseci, dana pa i sata.

Pored navedenih osnovnih specifičnosti, elektroenergetiku karakterišu i sljedeće osobenosti:

- velika brzina odvijanja prelaznih procesa u EES-u,
- proračuni koji se vrše u okviru EES su veoma kompleksni i praktično ih je nemoguće sprovesti bez pomoći savremenih računara,
- elektroenergetika je tijesno povezana sa ostalim granama privrede, što čini veoma složenim izradu i primjenu njenih planova razvoja i dr.

U tehničkom smislu, elektroenergetski sistem je složen dinamički sistem koji se sastoji od skupa elektrana, prenosnih i distributivnih vodova, transformatorskih i razvodnih postrojenja i potrošača međusobno povezanih tako da djeluju kao jedinstvena funkcionalna cjelina. Osnovna funkcija tog sistema je, shodno ciljevima elektroprivrede kao sektora energetike, da obezbijedi pouzdano, sigurno i ekonomično snabdijevanje potrošača električnom energijom propisanog kvaliteta.

Tehnološki proces u EES-u počinje osiguranjem dovoljnih količina primarnih oblika energije, nastavlja se proizvodnjom električne energije i završava prenosom i raspodjelom električne energije do konačnih potrošača, gdje se ona troši.

EES-i su najveći, najuticajniji, najneophodniji i najrasprostranjeniji od svih tehničkih sistema, što ih, po pravilu, čini i najskupljim tehničkim sistemom. Oni se mogu među sobom veoma razlikovati po veličini, geografskoj rasprostranjenosti, unutrašnjoj organizaciji, strukturi proizvodnih kapaciteta, konfiguraciji i dužinama prenosnih i distributivnih mreža, broju naponskih nivoa, načinu eksploatacije i upravljanja, tipu vlasništva, načinu finansijskog poslovanja i sl.



Današnji EES su isključivo trofazni sistemi naizmjenične struje učestanosti 50 Hz (60 Hz u Americi).

1.2.2. Struktura elektroenergetskog sistema

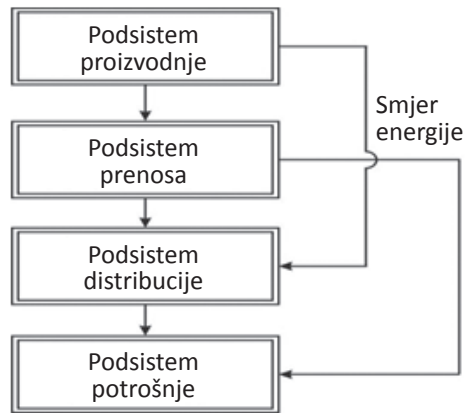
Kao složeni (ili veliki) dinamički sistem, elektroenergetski sistem se može razdvojiti na četiri funkcionalno nezavisna, ali međusobno spregnuta podsistema (Slika 1.10), gdje je povezanost tih podsistema određena smjerom toka električne energije.

Ti funkcionalno odvojeni podsistemi su:

- podsystem **proizvodnje**,
- podsystem **prenosa**,
- podsystem **distribucije**,
- podsystem **potrošnje**.

Svaki od ova četiri podsistema, sam za sebe, takođe predstavlja veliki dinamički sistem, čije su funkcije uže i više specijalizovane od funkcija elektroenergetskog sistema, posmatranog kao jedinstvene celine.

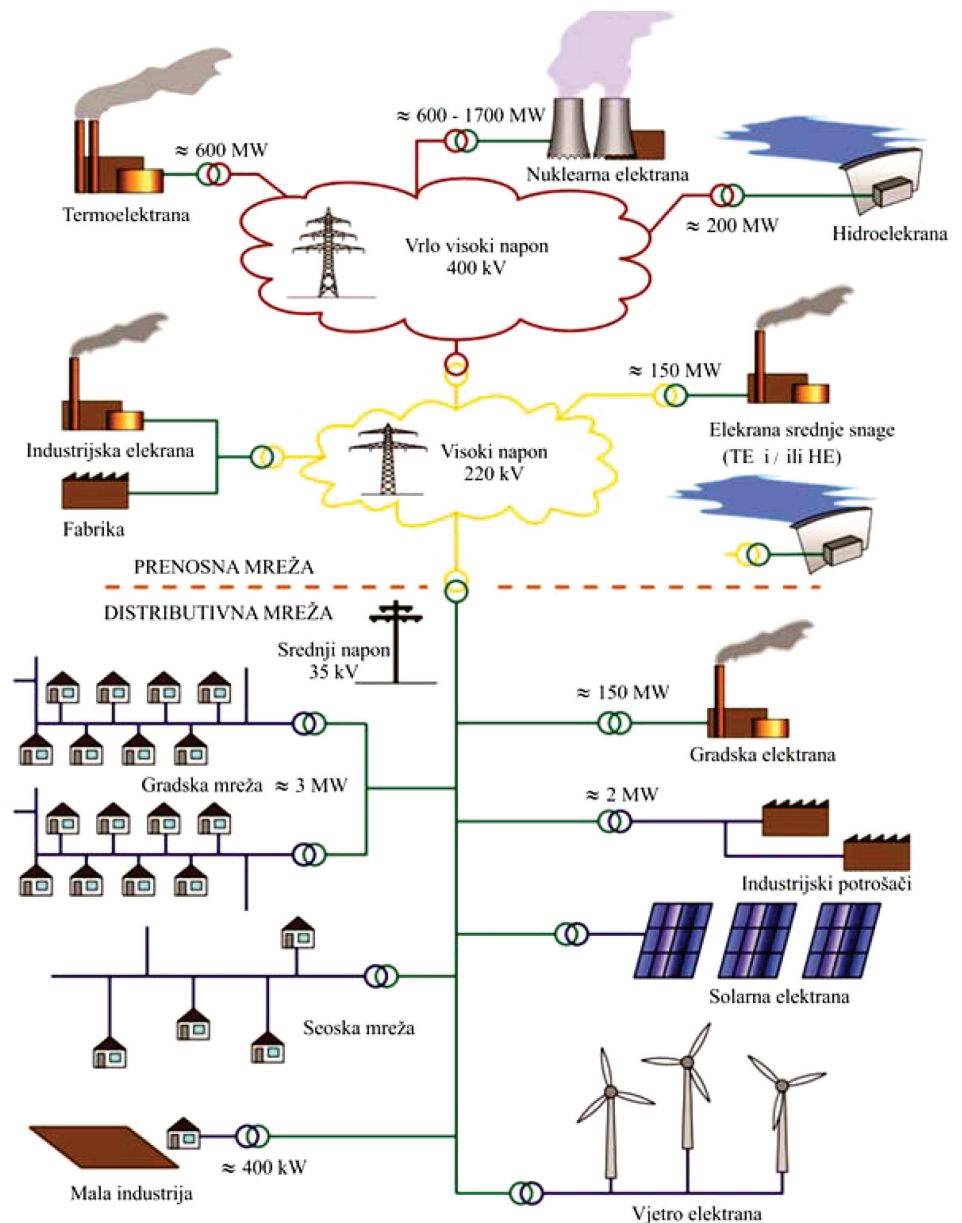
Radi različitih razmatranja i analiza ovi složeni sistemi se prikazuju različitim šemama. U zavisnosti od toga što se želi prikazati korišćenom šemom i s koliko detalja se želi prikazati razmatrani EES, postoje različite vrste šema spoja. Na šemama se prikazuje koliko ima generatora, transformatora i odvoda, način njihovog



međusobnog spoja, predviđeni aparati u svakom odvodu i način njihovog spajanja, predviđena mjerenja, zaštita, signalizacija i upravljanje i sl.

Kao osnovna šema se koristi **jednopolna šema** spoja, na kojoj se jednopolno prikazuju samo glavni strujni krugovi. Jednostavni šematski prikaz jedne od mogućih varijanti jednopolnog prikazivanja savremenog EES-a dat je na Slici 1.11.

Slika 1.10. Funkcionalna dekompozicija elektroenergetskog sistema na pod sisteme



Slika 1.11. Šema savremenog elektroenergetskog sistema

1.2.2.1. Podsystem proizvodnje

Podsystem proizvodnje (elektrane ili električne centrale) prvi je u lancu podsystema u okviru EES-a u kome se vrši transformacija različitih oblika energije u električnu energiju. Elektrane su elektroenergetski objekti u kojima se proizvodi električna energija. Njihov osnovni zadatak je da u svakom trenutku zadovolje potrebe potrošača za električnom energijom i da obezbijede neophodan nivo rezerve za slučaj ispada pojedinih kapaciteta ili za slučaj nepredviđenih zahtjeva od strane potrošača. U savremenim EES najviše su zastupljene termoelektrane i hidroelektrane, a u posljednje vrijeme ima i određeni broj tzv. nekonvencionalnih elektrana. Osnovnu elektroenergetsku opremu u elektranama čine: sinhroni generator s pobudom, u kome se mehanička energija, dobijena transformacijom raznih oblika energije transformiše u električnu energiju, transformator, prekidači i drugi komutacioni uređaji, sabirnice, kablovi, odvodnici prenapona, pomoćna oprema i uređaji.

Zbog tehničkih ograničenja i ekonomičnosti nominalni naponi generatora u elektranama su relativno niski (najčešće između 15 kV i 25 kV). Da bi se smanjili gubici i padovi napona, elektrane se na prenosnu mrežu priključuju preko energetskih transformatora – podizača napona, koji su sa svom potrebnom opremom i uređajima smješteni u njenim visokonaponskim razvodnim postrojenjima, i koji transformišu napon generatora u željeni prenosni napon (i više od 1500 kV).

1.2.2.2. Podsystem prenosa

Električna energija se, radi optimizacije rada EES-a i ekonomičnosti, najvećim dijelom koristi daleko od mjesta gdje se proizvodi. Podsystem prenosa ima zadatak da električnu energiju proizvedenu u elektranama i transformisanu u njenom VNRP na visoki napon prenese do distributivnih podsystema. Prenosne mreže čine elektroenergetski vodovi visokog napona (visokonaponski vazdušni vodovi i visokonaponski podzemni vodovi - kablovi), elektroenergetska razvodna postrojenja i pomoćna oprema i uređaji. Pretežno se danas u sistemu prenosa koriste nadzemni elektroenergetski vodovi. Tokovi snaga u vodovima prenosne mreže su u principu promjenljivi.

U svijetu postoje dva tipa prenosnih električnih mreža: **mreže naizmjenične i mreže jednosmjerne struje**.

Kao optimalan način proizvodnje i potrošnje električne energije aktuelnim tehnologijama savremeni EES su uglavnom trofazni sistemi sa naizmjeničnim naponom.

Kod prenosa jednosmjernom strujom, koji je ekonomičniji za prenos na veća rastojanja, eliminišu se određene slabosti u vezi sa problemima stabilnosti, koje se ispoljavaju pri prenosu velikih snaga na velika rastojanja naizmjeničnom strujom.

Osnovna elektroenergetska oprema podsystema prenosa je: vazdušni i kablovski vodovi, transformatori, komutacioni uređaji (prekidači, rastavljači, rastavni prekidači, zemljospojnici), odvodnici prenapona i sl.

Prenosnom mrežom se energija prenosi do transformatorskih stanica smještenih u blizini industrije i domaćinstava, u kojima se transformiše sa visokih (prenosnih) napona na niže (distributivne) napone. Krajnje tačke prenosne mreže predstavljaju napojne tačke, odnosno **izvore napajanja** elektrodistributivnog sistema.

1.2.2.3. Podsystem distribucije

U podsystemu distribucije (elektrodistributivne mreže) se električna energija dovedena do prenosno-distributivnih transformatorskih postrojenja i transfor-



*Svi djelovi EES-a, osim prenosa, mogu biti **privatizovani** i **regulisani** su u manjoj mjeri (deregulacija ili tačnije reregulacija), pošto izvjestan stepen regulacije ostaje radi očuvanja funkcionisanja EES-a, prije svega stabilnost rada. Radi razvoja konkurencije i suzbijanja antikonkurentskog ponašanja i zloupotrebe monopolskog položaja na tržištu, organizovano je tržište električne energije, koje ima za cilj:*

- stvaranje, održavanje i razvoj konkurentskih odnosa između učesnika na tržištu,
- povezivanje s regionalnim, odnosno budućim jedinstvenim evropskim energetskim tržištem, radi stvaranja uslova za sigurno, stabilno i kvalitetno snabdijevanje električnom energijom, po najpovoljnijim cijenama, uz stalnu zaštitu i poboljšanje stanja životne sredine,
- stvaranje povoljnih uslova za intenziviranje investicija u gradnju novih izvora električne energije i elektroenergetski sektor u cjelini.

misana na distributivne napone, distribuirana do tzv. potrošačkih čvorova. Ovaj podsistem se sastoji od elektrodistributivnih vazdušnih i kablovskih vodova, niza transformatorskih stanica sa transformatorima za sniženje napona, komutacionih uređaja na visokonaponskoj i niskonaponskoj strani i pomoćnih uređaja i opreme.

Prenosno distributivna transformatorska postrojenja za distributivnu mrežu predstavljaju tzv. distributivne izvore napajanja. Distributivne mreže mogu biti izgrađene od vazdušnih i/ili kablovskih vodova. U ruralnim predjelima preovladavaju vazdušni vodovi, dok u urbanim sredinama skoro isključivo se u posljednje vrijeme koriste kablovski vodovi.

Do pojave distribuirane proizvodnje (male hidroelektrane i elektrane koje koriste obnovljive izvore energije koje se priključuju direktno na distributivnu mrežu) tokovi snaga (energije) u distributivnim vodovima su bili nepromjenljivi, isključivo od prenosne mreže ka potrošačima. Uvođenjem distribuiranih izvora tokovi snaga i u distributivnim mrežama su postali promjenljivi.

1.2.2.4. Podsistem potrošnje

Podsistem potrošnje je složena cjelina koju čini veliki broj raznorodnih prijemnika priključenih na potrošačku mrežu – potrošački čvorovi. To je mreža kojom se električna energija dovodi od distributivno-potrošačkih razvodnih postrojenja, u kojima se preko transformatora spuštača napona napon spušta na napon korisnika, do potrošača koji dovedenu električnu energiju transformišu u neki od korisnih oblika energije.

Ovaj podsistem čine individualni potrošači: domaćinstva, zanatske radnje, administrativne prostorije, trgovinske radnje, industrijski pogoni, manje fabrike i sl. Nakon što se električna energija prenese do krajnjeg potrošača, ona mora proći kroz jedinstveno mjesto za kontrolu njene potrošnje – brojilo, koje je smješteno u priključnom ormariću, i na osnovu čijeg očitavanja se formira račun za utrošenu električnu energiju.

Osim kroz brojilo električna energija prolazi i kroz uređaje za zaštitu korisnika od kvarova u instalacijama ili u nekom od potrošačkih uređaja, koji su takođe smješteni u priključnom ormariću. Potrošačke mreže treba da osiguraju visok stepen zaštite, jer su u direktnom „kontakta“ s korisnicima.

Individualni potrošači su relativno male tehničko-tehnološke cjeline. Često se teritorijalno grupišu u veće tehničko-tehnološke cjeline – potrošačka područja, kao što su: stambena naselja, kvartovi grada, industrijske zone, mješovite stambeno-industrijske zone i sl.

Potrošači električne energije se, razdvajanjem srodnih potrošača, grupišu u kategorije potrošnje: domaćinstva (cjelokupna potrošnja električne energije u individualnim stambenim objektima, stanovima, zgradama i poljoprivrednim domaćinstvima); industrija, zanatstvo, trgovina (cjelokupna komercijalna potrošnja); poljoprivreda (potrošnja poljoprivrednih preduzeća i sl.); komunalna potrošnja (potrošnja javnog osvjjetljenja, vodovoda, kanalizacije i sl.); saobraćaj (potrošnja električnih lokomotiva u javnom željezničkom saobraćaju) i ostala potrošnja.

Zahtjevi podsistema potrošnje (konzuma) su promjenljivi, kako u toku dana, tako i u toku nedjelje, mjeseca i godine. Stoga je EES dužan da praktično trenutno prati promjene potrošačkog podsistema i reaguje na njegove zahtjeve. Za svakog od potrošača se od EES-a zahtijeva pouzdano, sigurno i ekonomično napajanje. Svi kapaciteti u EES moraju se dimenzionisati prema maksimalnom opterećenju konzuma, koje u principu traje relativno kratko.

1.2.3. Standardni naponi i naponski nivoi u elektroenergetskom sistemu



U elektroenergetskom sistemu Crne Gore propisan je sljedeći niz nazivnih/naznačenih napona: 0,4 kV; 10 kV; 20 kV; 35 kV; 110 kV; 220 kV i 400 kV.

U svijetu postoje i druge vrijednosti standardnih napona, a maksimalne vrijednosti se kreću i do 500 kV, 750 kV i 1500 kV.

Standardni naponi električnih mreža su:

- fazni napon trofazne mreže – napon jedne faze generatora, odnosno napon između faznih provodnika i tačke nultog potencijala,
- linijski (međufazni) napon trofazne mreže – napon između faznih provodnika,
- nazivni (naznačeni, nominalni) napon mreže – napon kojim je mreža označena i na koji se odnose njene radne karakteristike (efektivna vrijednost međufaznog napona),
- najviši napon mreže – najviša vrijednost napona, koja se u normalnim pogonskim uslovima pojavljuje u bilo kom trenutku ili na bilo kom mjestu mreže,
- najniži napon mreže – najniža vrijednost napona, koja se u normalnim pogonskim uslovima pojavljuje u bilo kom trenutku ili na bilo kom mjestu mreže,
- najviši napon opreme – najviši napon za koji je oprema predviđena s obzirom na izolaciju, kao i neke druge karakteristike voda.

Prema veličini napona, napajanja električne mreže mogu se podijeliti na:

- mreže niskog napona NN (do 1 kV),
- mreže srednjeg napona SN (od 1 kV do 35 kV),
- mreže visokog napona VN (od 110 kV do 220 ili 400 kV) i
- mreže vrlo visokog napona VVN (preko 400 kV).

Prema Pravilima Crnogorskog elektroprenosnog sistema (CGES), dijelu EES-a koji se bavi prenosom električne energije (prenosni sistem) pripadaju visokonaponski vodovi nazivnog napona 400 kV i 220 kV, odgovarajuće transformatorske stanice između njih, kao i drugi energetske objekti, telekomunikacioni sistemi, informacioni sistem i druga infrastruktura neophodna za funkcionisanje prenosnog sistema, kao i djelovi objekata i mreža 110 kV koji su u vlasništvu, odnosno na kojima pravo korišćenja imaju korisnici prenosnog sistema.

Prema Pravilima Crnogorskog elektrodistributivnog sistema (CEDIS), dio EES-a koji se bavi distribucijom električne energije čine postrojenja 35 kV, transformatori 35/X kV i vodovi 35 kV, kao i postrojenja, transformatori i vodovi nižeg naponskog nivoa, do mjesta priključka korisnika sistema, kao i objekti, telekomunikaciona i informaciona oprema i druga infrastruktura neophodna za funkcionisanje distributivnog sistema. Distributivni sistem obuhvata cjelokupnu distributivnu mrežu na kojoj pravo korišćenja ima Operator Distributivnog Sistema, kao i elemente elektroenergetskih objekata ili mreže visokog i srednjeg napona, koji su u vlasništvu, odnosno na kojima pravo korišćenja imaju korisnici distributivnog sistema, a preko kojih se fizički vrši distribucija električne energije u uobičajenom uklopnom stanju.

1.2.4. Funkcija i osnovne karakteristike elektroenergetskih objekata

1.2.4.1. Elektrane

D

Elektrane ili električni izvori su postrojenja u kojima se neki od korisnih oblika energije (mehanička, toplotna, hemijska, svjetlosna i dr.) pretvara u veću količinu električne energije.

Njihov osnovni zadatak je da proizvedu potrebne količine električne energije u trenutku kada je potrošač traži. Prvi električni izvor napravio je poznati naučnik Aleksandar Volta (1800).

!

Osnovna uloga elektrana je da u svakom trenutku zadovolje potrošnju EES-a.

Pod potrošnjom se podrazumijevaju neto potrebe svih potrošača, kao i gubici u razvodnim postrojenjima, prenosnim i distributivnim mrežama.

Elektrana takođe treba da obezbijedi i: regulacionu rezervu (za pokrivanje iznenadnih promjena opterećenja); havarijsku rotirajuću rezervu (za pokrivanje ispada generatora najveće snage); remontnu rezervu (za pokrivanje generatora u remontu) i hladnu rezervu (za pokrivanje ostalih dužih neplaniranih ispada generatora).

Elektroenergetski dio elektrana se sastoji od generatora s pobudom, transformatora, razvodnog postrojenja i električnih kola.

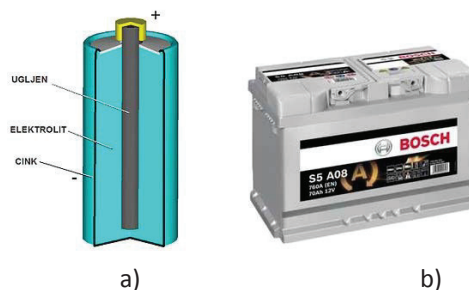
1.2.4.1.1. Vrste izvora električne energije

!

Izvori električne energije su uređaji u kojima se neki od oblika energije transformiše u električnu energiju.

Postoje različiti tipovi izvora električne energije, od kojih su najkorišćeniji:

- **baterije i akumulatori** (Slika 1.12), u kojima se hemijska energija pretvara u električnu energiju;



Slika 1.12. Električne baterije (a) i akumulatori (b)

- **hidroelektrane** (Slika 1.13), u kojima se potencijalna energija vode, poslije određenih transformacija, pretvara u električnu energiju;



Slika 1.13. Hidroelektrana

- **termoelektrane** (Slika 1.14) koje koriste fosilna goriva, i gdje se njihova hemijska energija pretvara u toplotnu, a zatim toplotna u električnu energiju;

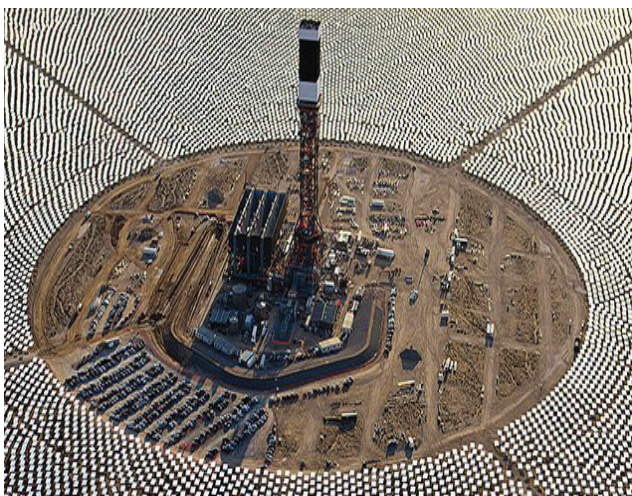


Slika 1.14. Termoelektrana



Slika 1.15. Nuklearna elektrana

- **nuklearne** (termo) elektrane (Slika 1.15) u kojima se nuklearna energija pretvara u toplotnu a ova u električnu energiju;
- **solarne termalne i solarne fotonaponske (PV) elektrane** (Slika 1.16) u kojima se Sunčeva energija pretvara u električnu energiju;



a)



b)

Slika 1.16. Solarna termalna elektrana (a) i solarna PV elektrana (b)

- **elektrane na vjetar** (Slika 1.17) u kojima se mehanička energija vjetra pretvara u električnu energiju.



Slika 1.17. Elektrana na vjetar

U zavisnosti od stepena tehničko-tehnološkog razvoja i, u određenim vremenskim periodima tehnički i ekonomski povoljnijih i opravdanijsih načina za korišćenje transformacija različitih oblika energije u električnu energiju, koristile su se i različite vrste izvora električne energije. Stoga u stručnoj literaturi iz ove oblasti postoje i različite podjele i vrste korišćenih izvora električne energije. U savremenoj literaturi uglavnom se svi izvori električne energije svrstavaju u dvije osnovne vrste:

- **hidroelektrane** i
- **termoelektrane.**

D

Hidroelektrane su postrojenja koja potencijalnu energiju vode transformišu prvo u kinetičku energiju, zatim kinetičku energiju u energiju pritiska/mehaničku energiju i konačno mehaničku energiju pretvaraju u električnu energiju.

Hidroenergija (energija vode) kao i većina obnovljivih energetske izvora je posljedica dejstva energije Sunčevog zračenja. Proizvodnja u hidroelektranama je najrasprostranjeniji način proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije. Prirodni hidroenergetski izvori su, zbog njihovih mnogobrojnih prednosti i povoljnosti, u razvijenijim zemljama uglavnom već iskorišćeni u granicama ekonomičnosti. Trenutno je učešće hidroenergije u zadovoljenju svjetskih energetske potreba oko jedna šestina potreba, dok je učešće hidroenergije u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora preko 90%.

Hidroelektrane se mogu podijeliti na različite načine, u zavisnosti od parametara koji se smatraju dominantnim, kao na primjer: prema raspoloživom (efektivnom) padu; prema kapacitetu (izlaznoj snazi); prema tipu korišćenih turbina; prema lokaciji, tipu brane, akumulacije i sl.

Najšeeše se sreće podjela na dvije osnovne vrste: protočne i akumulacione hidroelektrane, dok su pumpno-akumulacione hidroelektrane posebna i specifična vrsta izvora koji koriste hidropotencijal za dobijanje električne energije.



Prva hidroelektrana na svijetu koja je koristila Teslin sistem trofazne naizmjenične struje izgrađena je 1895. god. na Nijagarinim vodopadima (SAD). Iste godine je puštena u pogon i prva hidroelektrana u Evropi (HE Jaruga na rijeci Krki) koja je koristila isti sistem i princip rada.



Slika 1.18. Hidroelektrana Three Gorges (Kina)

D

Termoelektrane su postrojenja koja za proizvodnju električne energije koriste toplotu dobijenu transformacijom iz različitih energetske izvora.

Pri tome se za dobijanje toplotne energije mogu koristiti neobnovljivi izvori energije (npr. fosilna goriva: ugalj, nafta, prirodni gas...; nuklearna goriva i sl.), ili obnovljivi energetske izvori (Sunčevo zračenje, geotermalna energija, toplota mora i sl.).

Postoje različite podjele termoelektrana, prije svega u zavisnosti od toga koja se njihova karakteristika smatra dominantnom. Tako postoje podjele u odnosu na radni fluid koji koriste; u odnosu na radnu mašinu; u odnosu na pogonsko gorivo; u odnosu na način hlađenja; u odnosu na to što proizvode i sl. Izgled termoelektrane na fosilna goriva dat je na Slici 1.19.



Slika 1.19. Termoelektrana na fosilna goriva

Kao generator u elektranama se koristi sinhroni generator, u kome se mehanička energija dobijena od turbine pretvara u električnu energiju. Dobijena električna energija se odvodi do transformatora, gdje se podiže napon i energija se isporučuje u elektroenergetsku mrežu. Osim glavnih električnih kola, koja vode od generatora, preko transformatora, do mreže, postoje i kola sopstvene potrošnje, koja služe za napajanje pomoćnih električnih uređaja elektrane kao i pomoćna električna kola, koja služe za napajanje upravljanja i regulacije, uređaja za zaštitu i signalizaciju i sl.



Hidroelektrana Three Gorges u Kini (Slika 1.18) je trenutno najveća hidroelektrana na svijetu. Ima 34 generatora s ukupnim instalisanim kapacitetom od 22.400 MW i moguću godišnju proizvodnju električne energije oko 87 TWh. Elektrana se nalazi na rijeci Yangtze. Koštala je oko 37 milijardi US \$. Rađena je ukupno 16 godina (početak izgradnje 1993. a završetak 2009). Visina brane je 181 m, ukupna dužina 2.335 m, a sa teritorije njene akumulacije bilo je potrebno iseliti oko 1,3 miliona stanovnika.



Parna turbina je patentirana 1791. god., dok je modernu parnu turbinu osmislio Englez Charles Algernon Parsons 1884. Učesće termoelektrana u podmirenju svjetskih potreba za električnom energijom je danas više od 80%.

U posljednje vrijeme, zahvaljujući intenzivnim istraživanjima, dolazi do razvoja novih ili tzv. alternativnih načina proizvodnje električne energije, a pojavljuju se i nove vrste energetske izvora iz kojih se može dobiti električna energija (vjetroelektrane, solarne elektrane, elektrane na plimu i oseku, geotermalne elektrane, nuklearna fuzija, biogorivo, vodonik, gorive ćelije i sl.).

1.2.4.1.2. Osnovne karakteristike elektrana

Osnovne zajedničke karakteristike svih izvora (elektrana) koji se koriste u raznim elektroenergetskim analizama su:

- **Instalisana** (aktivna ili prividna) **snaga** (P_i), koja je određena kao aritmetički zbir nazivnih (naznačenih, nominalnih) snaga s natpisnih pločica generatora (MVA), odnosno kao aritmetički zbir snaga turbina mjenjenih na stezaljkama generatora (MW). Instalirana snaga je istovremeno i nazivna (naznačena) snaga elektrane.
- **Maksimalna snaga** elektrane (P_{max}) je najveća snaga koju elektrana kao cjelina može da proizvede, uz pretpostavku da su svi dijelovi elektrane sposobni za pogon. Za hidroelektranu se pri tome pretpostavlja da su protok i pad optimalni, a za termoelektranu da raspolaže dovoljnom količinom goriva zadovoljavajućeg kvaliteta i dovoljnom količinom vode zadovoljavajuće temperature i čistoće za proizvodnju pare i hlađenje kondenzatora. Pri određivanju maksimalne snage ne postavlja se zahtjev za postizanje optimalnog stepena djelovanja, ali se uzimaju u obzir uticaji svih dijelova postrojenja: dimenzije dovoda, cjevovoda, odvoda i sl. kod hidroelektrana, kapacitet dopreme uglja, kapacitet kotlova, kapacitet odvoda pepela, dovoda vode i sl. kod termoelektrana. Razlikuju se maksimalna snaga na priključnicama generatora (maksimalna bruto-snaga) i maksimalna snaga na pragu (izlazu prema EES) elektrane (maksimalna neto-snaga).
- **Raspoloživa snaga** (P_{ras}) je najveća snaga koju elektrana može proizvesti u datom trenutku, uvažavajući stvarno stanje u elektrani (kvarovi, remont, opravke, pregledi i sl.), i uz pretpostavku da nema ograničenja zbog proizvodnje reaktivne snage. Pri određivanju raspoložive snage kod hidroelektrana treba uzeti u obzir raspoloživi dotok i pad, a kod termoelektrana kvalitet uglja, količinu i temperaturu vode.
- **Snaga sopstvene potrošnje** (P_{sp}) je snaga neophodna za pogon pomoćnih uređaja agregata ili elektrane (pumpe, ventilatori, mlinovi itd.).
- **Angažovana snaga** elektrane definiše se kao razlika između raspoložive snage elektrane i kapaciteta koji se drži u rezervi u elektrani.

Moguća proizvodnja elektrana takođe predstavlja njihovu važnu karakteristiku. Ona:

- kod **termoelektrana** predstavlja količinu energije koja bi se mogla proizvesti u toku godine pri normalnim uslovima računajući s remontima i mogućim kvarovima,
- kod **hidroelektrana** predstavlja maksimalnu moguću proizvodnju uz uslov proizvodnje energije po najpovoljnijim uslovima (maksimalni pad i maksimalni protok, bez obzira na potrebe potrošača).

Postoje i ostale važne karakteristike, kao, na primjer, **sačinilac rezerve**, koji predstavlja odnos između instalirane snage i maksimalnog opterećenja ($r = P_i / P_{max}$), i on obično iznosi 1,25 do 1,30. Ova karakteristika ukazuje da se u elektranama instaliraju mašine veće snage od maksimalnog opterećenja da bi se mogla pratiti iznenadna opterećenja izazvana kvarovima, opravkama i naglim porastom opterećenja.

Neophodno je voditi računa i da, obično u vrijeme vršnih opterećenja, maksimalna snaga istovremeno uključenih potrošača iznosi 20 do 30% od njihovih instaliranih snaga, odnosno, da je instalirana snaga potrošača priključenih na mrežu znatno veća od instalirane snage elektrana, jer potrošači nijesu istovremeno u pogonu, a nijesu ni jednovremeno s vršnim opterećenjima u pogonu.

Pored navedenih opštih karakteristika, koje važe za sve tipove i vrste izvora električne energije, postoje i određene karakteristike koje se odnose samo na pojedine vrste izvora.

Tako su, na primjer, kod akumulacionih hidroelektrana važne karakteristike:

- vrijeme trajanja pražnjenja i vrijeme potrebno za punjenje akumulacionog bazena,
- zapremina akumulacionog bazena,
- relativna vrijednost korisne zapremine,
- energetska vrijednost akumulacionog bazena,
- koeficijent stanja akumulacije,
- biološki minimalni protok i sl.

Kod termoelektrana su važne i sljedeće karakteristike:

- specifična potrošnja goriva,
- tehnički minimum termoelektrane,
- raspoloživost agregata termoelektrane,
- vrijeme potrebno za stavljanje u pogon i zaustavljanje,
- mogući opseg i brzina promjene opterećenja i sl.

U posljednje vrijeme se kod neobnovljivih izvora (naročito kod fosilnih goriva i nuklearnih izvora) posebna pažnja poklanja karakteristikama i pokazateljima koji definišu njihov negativan uticaj na okolinu, kao i na zagađivanja životne sredine.



Uloga i režim rada elektrane u EES zavise od sposobnosti elektrane da se prilagodi brzim promjenama opterećenja i od mogućnosti ispunjenja zahtjeva da se potrebna energija proizvede uz što niže troškove.

S obzirom na ulogu u EES, sve elektrane se mogu podijeliti na:

- **temeljne ili bazne**, koje su svojim pogonskim svojstvima prilagođene konstantnom opterećenju i
- **vršne ili varijabilne**, koje, s obzirom na pogonska svojstva, mogu elastično pratiti promjene opterećenja, i brzo, bez velikih troškova, ulaziti u pogon i izlaziti iz pogona.

Energetske i tehničke karakteristike elektrana određuju ulogu i način njihovog korišćenja i popunjavanja površine dnevnog dijagrama opterećenja (krive trajanja) potrošača.

1.2.4.2. Visokonaponska razvodna postrojenja

Osnovna uloga elektroenergetskih visokonaponskih razvodnih postrojenja (VNRP) (Slika 1.20) zajedno s elektranama, prenosnim i distributivnim mrežama je da u svakom trenutku osiguraju dovoljnu količinu kvalitetne električne energije od izvora do potrošača.



Slika 1.20. Dio visokonaponskog razvodnog postrojenja

Dopremanje proizvedene energije od izvora (elektrane) do potrošača može se izvesti na više načina.

Jedan od njih je da se svaki potrošač priključi direktno na svoj izvor. Ovaj način je, iako tehnički izvodljiv, uglavnom ekonomski neprihvatljiv.

Drugi način je da se između potrošača i izvora izgradi električna mreža na koju se priključuju svi izvori i svi potrošači i na koju se može izvršiti priključak izvora i potrošača na bilo kom mjestu. On je ekonomski i tehnički prihvatljiviji i obezbjeđuje veću pouzdanost, jer omogućava priključivanje izvora električne energije koji najčešće nijesu locirani u blizini potrošačkih centara, dok se sigurnost snabdjevanja mnogostruko povećava. Ako dođe do ispada nekog izvora, njegovu ulogu može preuzeti drugi, tako da potrošač to ne osjeti. Kvar na nekom prenosnom elementu mreže (vodu, razvodnom postrojenju i sl.) dovodi do ispada elementa iz pogona. Prenos energije se u tom slučaju obavlja pomoću drugih paralelnih elemenata sistema.

Kada je riječ o elektroenergetskim mrežama, kao i kod svih drugih mreža, u topološkom smislu one se sastoje iz **čvorova** i grana (vodovi i/ili transformatori).

Čvorne tačke moraju biti tako koncipirane da se u svakom trenutku na njih može priključiti potrošač i/ili izvor direktno ili indirektno preko nekog prenosnog sistema na tehnički i ekonomski zadovoljavajući način.

S obzirom da se u EES najčešće radi o velikim snagama, odnosno velikim strujama i visokim naponima, potrebno je čvorne tačke ovih mreža posebno izvesti. Zbog toga svaka čvorna tačka ima razvodno postrojenje koje može biti sa transformacijom napona, ili bez njega.

Osnovna uloga ovih postrojenja je da osiguraju spajanje postojećih vodova istog naponskog nivoa koji dolaze u čvor s mogućnošću priključka novih, kao i da po potrebi povezuje mreže različitih naponskih nivoa preko transformatora, i da omoguće priključak izvora i potrošača na mrežu.

Razvodna postrojenja se, s obzirom na namjenu, mogu podijeliti na:

- **razdjelna** i
- **transformatorska** postrojenja.

Razdjelno postrojenje (stanica) je čvorište vodova istog napona, a namjena mu je da osigura raspodjelu energije na priključene vodove. U razdjelnim postrojenjima pojedini vodovi se, uz pomoć određene opreme i uređaja, mogu staviti u pogon ili izvesti iz pogona.

Transformatorsko postrojenje ima, osim navedenog, još i transformaciju napona, što omogućuje povezivanje mreža različitih naponskih nivoa. Transformacija napona se može obaviti između dva naponska nivoa (dvonamotni transformatori) ili između tri naponska nivoa (tronamotni transformatori).

Prema prostornom smještaju, postrojenja mogu biti za unutrašnju i spoljašnju montažu. Postrojenja unutrašnje izvedbe mogu biti smještena u posebne zgrade namijenjene toj svrsi ili u posebnom dijelu zgrade čija je namjena opšta (stambene zgrade, turistički objekti i dr.). To su obično postrojenja za srednji napon (do 35 kV). Postrojenja visokog napona (110 kV i više) rade se na otvorenom.

Razvodna postrojenja se mogu, s obzirom na izvedbu, podijeliti i na:

- razvodna postrojenja **otvorenog tipa** (slobodni prostor) i
- razvodna postrojenja **zatvorenog ili oklopljenog tipa**.

U opštem slučaju razvodna postrojenja bilo kojeg tipa grade se s jednim ili sa dva sistema sabirnica. Sistem s dvostrukim sabirnicama pogonski je sigurniji i omogućava veću pogonsku slobodu manipulisanja (razna prespajanja), ali je i skuplji.

Razvodna postrojenja sadrže različite aparate i uređaje, kao što su:

- aparati za uključenje (uklapanje) i isključenje (isklapanje) – prekidači (sklopke) i rastavljači,
- uređaji za zaštitu transformatora i vodova,
- uređaji za mjerenje, koji služe za kontrolu pogona ili za obračun energije,
- uređaji za upravljanje uklopnim aparatima i za signalizaciju stanja pojedinih aparata i sl.

Upravljanje ovakvim postrojenjima može se izvesti pomoću sopstvene posade (osoblja) ili pomoću nekog daljinskog centra (u ovom slučaju nije potrebna ljudska posada).

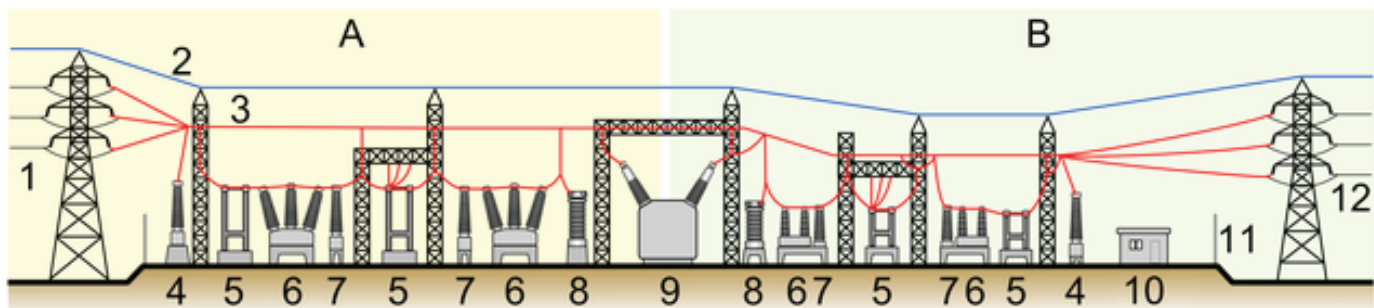
Glavni elementi jednog razvodnog postrojenja su:

- sabirnice,
- izolatori,
- rastavljači,
- prekidači (sklopke),
- energetski transformator (ako se radi o trafostanici),
- osigurači,
- odvodnici prenapona i uređaji za zaštitu i
- pomoćni uređaji.

Pomoćnim uređajima u razvodnom postrojenju smatraju se:

- mjerni uređaji,
- komandni uređaji,
- upravljački uređaji,
- signalni uređaji,
- kompresorska postrojenja, ako u postrojenju postoji oprema koja radi pod pritiskom i sl.

Izgled visokonaponskog razvodnog postrojenja prikazan je na Slici 1.21.



Slika 1.21. Izgled visokonaponskog razvodnog postrojenja sa osnovnim elementima
 A: primarna strana B: sekundarna strana 1. visokonaponski vod primarne strane,
 2. zaštitni vod, 3. vazdušni vod, 4. naponski transformator, 5. rastavljač, 6. prekidač,
 7. strujni transformator, 8. odvodnik prenapona, 9. energetska transformator,
 10. kontrolna zgrada, 11. zaštitna ograda, 12. visokonaponski vod sekundarne strane

1.2.4.3. Elektroenergetski vodovi

Elektroenergetski vod ili električni vod se sastoji od:

- **provodnika** električne struje,
- **izolacije** i
- odgovarajuće **konstrukcije**,

i namjenjen je za prenos, raspodjelu i distribuciju električne energije između dvije tačke sistema, odnosno mreže.

Elektroenergetski vodovi se dijele na:

- **nadzemne elektroenergetske vodove** (vod ili dalekovod) i
- **kablovske vodove** (najčešće samo kabl).

Nadzemni elektroenergetski vod (Slika 1.22) je skup svih dijelova koji služe za nadzemno vođenje provodnika koji prenose i razvode električnu energiju, kojim su obuhvaćeni: provodnici, zaštitna užad, zemljovodi, uzemljivači, izolatori, nosači, konzole, stubovi, temelji i pomoćna oprema.



a)



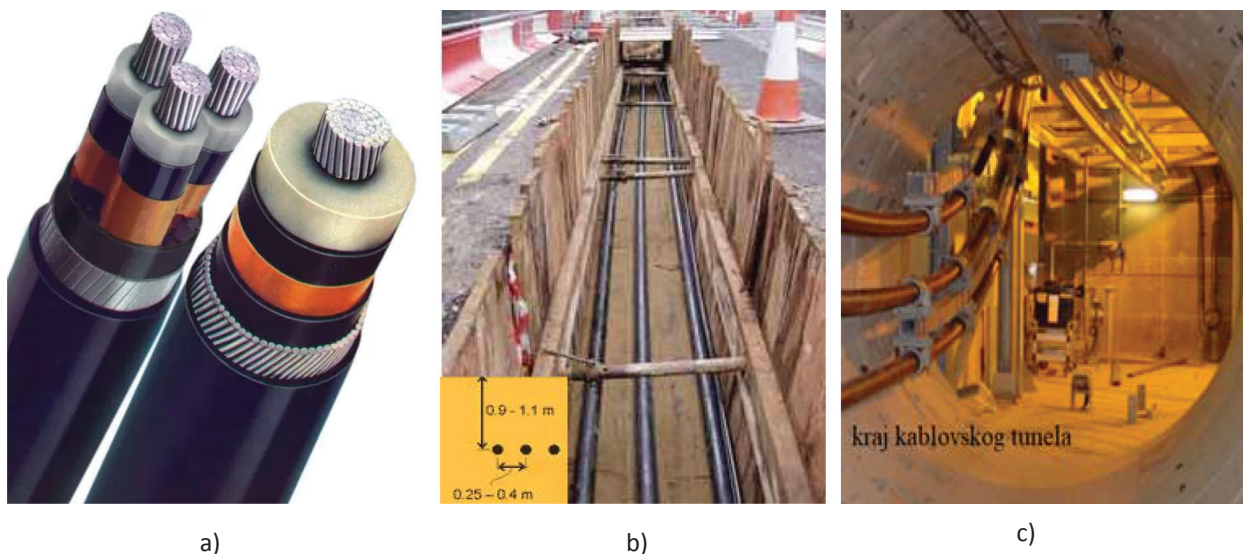
b)

Slika 1.22. Dio visokonaponskog vazdušnog elektroenergetskog voda: a) dvosistemski vod, b) tri jednosistemska voda

Kablovski vod (Slika 1.23) ili kraće kabl, je elektroenergetski vod sa izolovanim provodnicima, položenim u zemlju direktno ili u kablovskim kanalima, cijevima, portalima i sl. Kablovski vodovi se često nazivaju i podzemni elektroenergetski vodovi.

Nazivni napon elektroenergetskog voda je napon prema kome je vod dimenzionisan, građen i nazvan. Kod nas se, u skladu s našim standardima, elektroenergetski vodovi grade za nazivne napone: 400 kV, 220 kV, 110 kV, 35 kV, 20 kV, 10 kV i 0,4 kV.

Nadzemni elektroenergetski vodovi uglavnom se primjenjuju u prenosnim mrežama i to su vodovi veoma visokog i visokog napona, u našim uslovima vodovi 400 kV, 220 kV i 110 kV. Obično se kod nas napajanje manjih gradova vrši preko napojnih nadzemnih elektroenergetskih vodova 35 kV. Istovremeno se za napajanje, raspodjelu i distribuciju električne energije na seoskim područjima koriste i nadzemni elektroenergetski vodovi 35 kV, 10 kV i 0,4 kV.



Slika 1.23. Visokonaponski kabl: a) konstrukcija, b) kablovski rov, c) kablovski tunel

Kablovski vodovi i mreže upotrebljavaju se na mjestima gde je nemoguća ili nepodesna izgradnja nadzemnih elektroenergetskih vodova. To su, u prvom redu, gradski elektrodistributivni sistemi (EDS) i industrijske mreže i instalacije. Elektroenergetski vodovi za napajanje ostrva električnom energijom mogu se izgraditi samo pomoću podmorskog kabela. Na nivou srednjeg i niskog napona u gradskim EDS upotrebljavaju se isključivo kablovski vodovi, konkretno u našim uslovima to su kablovi 10 kV ili 20 kV i niskonaponski kablovi 0,4 kV. Primjena visokonaponskih kablova karakteristična je prvenstveno za gradske konzume i za manje udaljenosti, gdje je jako izražen problem slobodnog prostora i gdje je zbog velike koncentracije potrošača sa visokim naponom potrebno doći što bliže centru. Osnovni nedostatak kablovskih vodova je visoka cijena kao i teško pronalaženje i otklanjanje kvara.

1.2.4.4. Centri upravljanja

Za svaki EES postoji glavni centar upravljanja odakle se prate tokovi snaga i potrošnja u pojedinim djelovima sistema i upravlja se proizvodnjom i tokovima električne energije.

Glavni zadatak dispečera u centrima upravljanja je da osiguraju stabilnost sistema i pouzdanost isporuke potrošačima.

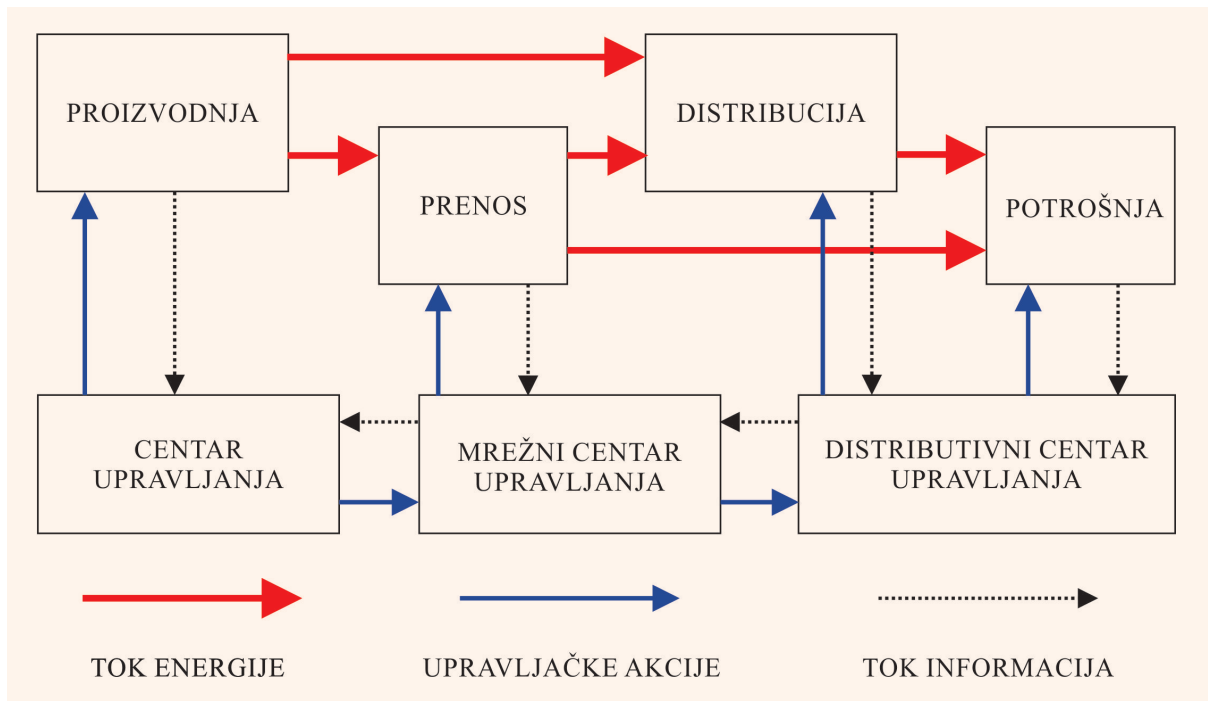
Za normalan rad EES-a, ovi centari imaju izuzetnu važnost. Prije svega zbog još uvijek velikih problema pri uskladištenju značajnijih količina električne energije za potrebe energetike, kao i činjenice da proizvodnja u svakom trenutku mora odgovoriti potrošnji. Takođe i zbog stalne prisutnosti u sistemu naglih promjena potrošnje ili proizvodnje i mogućnosti pojave prenapona u sistemu, kao i drugih kvarova koji mogu dovesti do narušavanja ravnoteže i nestabilnosti sistema.

Pored glavnog centra upravljanja postoje i mrežni centri upravljanja u kojima se upravlja prenosnom mrežom, dok se u distributivnim centrima upravljanja upravlja distributivnom mrežom i eventualno potrošnjom električne energije. Obično se centri upravljanja nazivaju i **dispečerski centri**.

Radi sagledavanja osnovne uloge i značaja centara upravljanja u EES-u, na Slici 1.24. prikazani su osnovni djelovi EES-a sa tokom energije između njih. Takođe su ucrtani i centar upravljanja, mrežni centar upravljanja i distributivni centar upravljanja, sa ucrtanim smjerom upravljačkih akcija i tokom informacija.

Za lokalno i daljinsko upravljanje i nadzor u području elektroenergetike naročito u posljednje vrijeme puno se radi na razvoju, primjeni i unapređenju raznih programskih paketa. U toj oblasti veoma veliku primjenu imaju SCADA programski paketi.

Ovi paketi se već uspješno primjenjuju za nadzor i upravljanje u raznovrsnim centrima upravljanja, elektranama, trafostanicama i drugim energetske postrojenjima.



Slika 1.24. Tok energije, smjer upravljačkih akcija i tok informacija u EES-u



1.1.

1. Objasni značaj energije za razvoj društva.
2. Navedi načine manifestovanja energije.
3. Opiši različite oblike energije.
4. Navedi razlike između konvencionalnih i nekonvencionalnih izvora energije.
5. Nabroj osnovne osobenosti i karakteristike električne energije.



1.2.

1. Objasni osnovne osobenosti elektroenergetike.
2. Opiši strukturu elektroenergetskih sistema.
3. Navedi standardne napone i naponske nivoe u elektroenergetskim sistemima.
4. Nabroj i objasni osnovne karakteristike elektroenergetskih objekata.
5. Napravi pregled osnovnih karakteristika elektrana.
6. Navedi razlike između različitih vrsta izvora električne energije.



REZIME

- Energetika je nauka koja se bavi izučavanjem energije i njenih izvora.
- Za tijelo se kaže da vrši rad ako se kreće po putu pod uticajem sile koja djeluje u smjeru puta.
- Energija (vršenje rada) se može manifestovati na više načina: kao promjena položaja, kao promjena brzine, kao promjena temperature itd.
- Važno svojstvo energije je da ne može niti nastati niti nestati. Ne može se uništiti niti iz bilo čega dobiti. Može samo prelaziti iz jednog oblika u drugi ili s jednog tijela na drugo.
- Energija se pojavljuje u različitim oblicima:
 - akumulisana ili sakupljena energija u nekom prostoru ili u tijelu, i
 - prelazna energija koja se pojavljuje u slučaju kad akumulisana energija prelazi iz jednog u drugi oblik ili kad akumulisana energija prelazi s jednog na drugo tijelo.
- Različiti oblici energije mogu se klasifikovati i prema tome kako su nastali u: primarne, transformisane i korisne oblike.
- Primarni oblici energije su nosioci energije u obliku u kakvom se pojavljuju u prirodi ili se u njoj nalaze. Najčešće se primarni oblici energije ne mogu upotrijebiti u prirodnom obliku za dobijanje korisne energije. Većina primarnih oblika energije pretvara se u pogodniji – transformisani oblik i služi za dobijanje korisnog oblika energije.
- Primarni oblici energije mogu se podijeliti prema učestanosti njihove primjene, na:
 - konvencionalne i
 - nekonvencionalne.
- Konvencionalna energija dobija se tehnički i tehnološki poznatim i riješenim postupcima, koji su dostupni na tržištu i koji su u ekonomskom smislu prihvatljivi/konkurentni.
- Nekonvencionalna energija dobija se tehnički i tehnološki još nedovoljno razvijenim postupcima ili trenutno ekonomski neisplativim i nekonkurentnim rješenjima.
- Elektroenergetika je disciplina u okviru nauke o elektricitetu u kojoj se izučavaju transformacije energije u električnu energiju, njene unutrašnje transformacije, prenos i distribucija, kao i njene transformacije u upotrebne oblike koje čovjek koristi.
- Sistem u okviru koga se izvode sve elektroenergetske transformacije i električna energija proizvodi, prenosi, distribuira i troši, naziva se elektroenergetski sistem.
- Osnovni zadaci elektroenergetskih sistema su da potrošačima obezbijede potrebnu snagu i dovoljnu količinu električne energije, i da snabdijevanje potrošača bude sigurno, kvalitetno i ekonomično, a sve to uz racionalnu upotrebu električne energije.
- Kao složeni dinamički sistem, elektroenergetski sistem se može razdvojiti na četiri funkcionalno nezavisna, ali međusobno spregnuta podsistema: podsistem proizvodnje, podsistem prenosa, podsistem distribucije i podsistem potrošnje.
- Elektrane ili električni izvori su postrojenja u kojima se neki od korisnih oblika energije pretvara u veću količinu električne energije.
- U savremenoj literaturi uglavnom se svi izvori električne energije svrstavaju u dvije osnovne vrste: hidroelektrane i termoelektrane.
- Hidroelektrane su postrojenja koja potencijalnu energiju vode transformišu prvo u kinetičku energiju, zatim kinetičku energiju u energiju pritiska/mehaničku energiju i konačno mehaničku energiju pretvaraju u električnu energiju.
- Termoelektrane su postrojenja koja za proizvodnju električne energije koriste toplotu dobijenu transformacijom iz različitih energetske izvora.

2.

Konvencionalne elektrane

- Vrste konvencionalnih elektrana
- Hidroelektrane
- Termoelektrane



2.1

VRSTE KONVENCIONALNIH ELEKTRANA

Tehničke mogućnosti za proizvodnju električne energije i ekonomska opravdanost njihovog korišćenja u današnjim uslovima dijele sve izvore električne energije (elektrane) na:

- **konvencionalne** i
- **nekonvencionalne**.

D

Konvencionalnim (ponegdje se koriste i nazivi: klasični, tradicionalni, industrijski) izvorima električne energije smatraju se oni izvori čiji je tehničko-tehnološki način dobijanja električne energije dobro poznat i koji se danas najčešće i obično koristi, uz uslov da je dobijanje električne energije na ovaj način ekonomično.

U ove izvore danas se ubrajaju:

- **velike hidroelektrane**,
- **termoelektrane na fosilna goriva** i
- **nuklearne termoelektrane** koje koriste **fisione** procese.

2.1.1. Velike hidroelektrane

D

Hidroelektrane su postrojenja u kojima se potencijalna energija vode (obnovljivi izvor energije – transformisana energija Sunčevog zračenja) najprije pretvara u kinetičku energiju strujanja vode, zatim u mehaničku energiju obrtanja vratila vodne turbine i na kraju u električnu energiju u električnom generatoru.

U širem smislu, hidroelektrane čine i sve građevine, objekti i postrojenja koji služe za prikupljanje, dovođenje i odvođenje vode, kao i za pretvaranje, transformaciju i razvod električne energije i za smještaj i upravljanje cijelim sistemom (Slika 2.1).

Veličina izgradnje hidroelektrane određuje se prema instalisanom protoku Q_i (m^3/sec), i ona odgovara instalisanoj snazi i maksimalnom protoku koji hidroelektrana može koristiti u normalnom pogonu, uzevši pri tome u obzir sve djelove elektrane kroz koje prolazi voda. Dio koji propušta najmanju količinu vode definiše Q_i , tj. veličinu izgradnje hidroelektrane.

!

Hidroelektrane se u energetsom pogledu karakterišu **mogućom proizvodnjom**, koja se obično izražava kao srednja godišnja proizvodnja [GWh] dobijena kao aritmetička sredina mogućih godišnjih proizvodnji u promatranom dužem nizu godina za koji se raspolaže podacima o ostvarenim dotocima. To je maksimalna proizvodnja koja bi se mogla ostvariti korišćenjem najveće količine raspoložive vode pod najpovoljnijim uslovima, uzimajući u obzir veličinu izgradnje svake od hidroelektrana.



Slika 2.1. Akumulaciona hidroelektrana

Pri računanju moguće proizvodnje potrebno je raditi sa neto-protocima (bez vode za navodnjavanje, ostale potrebe i sl.), kao i uvažiti postojanje bilo sopstvene bilo jedne ili više uzvodnih akumulacija. Takođe se pretpostavlja da su svi djelovi postrojenja sposobni za pogon i da ne postoje ograničenja u preuzimanju energije ili bilo koja druga ograničenja.

Izgradnja same hidroelektrane zavisi od niza uslova: u prvom redu od konfiguracije i geološkog sastava terena, mogućnosti postizanja i koncentracije pada, iskorišćenja cijelog vodotoka rijeke, pogonskih zahtjeva, zahtjeva vodoprivrede, rječnog brodarstva, poljoprivrede itd. Zbog toga svaka hidroelektrana predstavlja posebno i specifično rješenje i za svaku hidroelektranu treba sprovoditi poseban postupak i potrebne analize.

Hidroelektrane će biti detaljnije opisane u narednim poglavljima.

2.1.2. Termoelektrane na fosilna goriva



Termoelektrane na fosilna goriva (neobnovljivi izvori energije nastali kao posljedica Sunčevog zračenja: uglj, tečna goriva i prirodni gas) jesu postrojenja za proizvodnju električne energije u kojima se toplota dobijena iz hemijske energije goriva koristi za dobijanje vodene pare, koja se posredstvom odgovarajućih pogonskih mašina pretvara u mehaničku energiju, a ova se zatim u sinhronom generatoru pretvara u električnu energiju (Slika 2.2).



Slika 2.2. Termoelektrana na uglj

U zavisnosti od toga što se smatra kao dominantan parametar, termoelektrane se mogu podijeliti prema radnom fluidu koji koriste, prema pogonskoj mašini, prema agregatnom stanju goriva, prema načinu hlađenja, prema tome što proizvode i sl.

Pored osnovnih karakteristika koje važe za sve vrste elektrana (poglavlje 1.2.4.1.2), kod termoelektrana su važne i sljedeće specifične karakteristike:

- **specifična potrošnja**, koja se određuje kao odnos dovedene snage i dobijene snage; ona je jednaka recipročnoj vrijednosti stepena djelovanja,
- **tehnički minimum**, koji predstavlja minimalnu snagu pri kojoj termoelektrana može raditi a da se u ložištu održi stabilno sagorijevanje; tehnički minimum zavisi od goriva kao i konstrukcije i načina izvođenja kotla,
- **raspoloživost agregata termoelektrane**, koja se određuje na osnovu poznatih podataka iz prošlosti o raspoloživosti agregata u elektrani, kao i podataka o uticaju ostalih agregata u EES na posmatrani agregat.

Dobro poznavanje energetske i tehničke karakteristike svake termoelektrane omogućava korektno određivanje njihove uloge i načina njihovog korišćenja u popunjavanju površine ispod zadatog dijagrama opterećenja (krive trajanja opterećenja). Pri tome se mora voditi računa i o ostalim eksploatacionim karakteristikama, kao što su: vrijeme potrebno za stavljanje u pogon i izlazak iz pogona (zaustavljanje), brzina i mogući opseg promjene opterećenja i sl.

Termoelektrane će biti detaljnije opisane u narednim poglavljima.

2.1.3. Nuklearne termoelektrane (fisija)



Nuklearne termoelektrane (Slika 2.3) su postrojenja u kojima se toplotna energija, koja se oslobađa u nuklearnim reaktorima prilikom raspadanja (fisije) atoma nuklearnog goriva, koristi za proizvodnju pare, koja pokreće parnu turbinu spojenu na električni generator u kome se proizvodi električna energija.



Slika 2.3. Nuklearna elektrana

Nuklearna elektrana je vrsta termoelektrane u kojoj se izvor energije – toplota dobija fisijom nuklearnog goriva u nuklearnom reaktoru. U nuklearnoj elektrani atomi nuklearnog goriva (najčešće urana U_{-235}) dijele se u lakše elemente u procesu koji se zove nuklearna fisija. Kao rezultat tog procesa dobija se ogromna količina oslobođene energije u obliku toplote. Nuklearna fisija (razdvajanje, dijeljenje) predstavlja nuklearnu reakciju koja nastaje kada se jezgro atoma nekog hemijskog elementa (nuklearno gorivo: uran i plutonijum) cijepa na dva fisijska produkta (fisioni fragmenti) sličnih masa, uz emisiju jednog ili više neutrona i oslobađanje velike količine energije. Kako se pri fisiji oslobađaju i neutroni, to je moguće, pri određenim uslovima, postići kontinuiranost procesa cijepanja atoma preko lančane reakcije fisije koja, ako se odvija u strogo kontrolisanim uslovima, omogućava praktično korišćenje nuklearne energije.



Da bi lančana reakcija bila kontrolisana, neophodno je koristiti određeno sredstvo za usporenje brzih neutrona, tzv. moderator nuklearne reakcije.

Moderator koji se nalazi unutar reaktora sakuplja toplotnu energiju oslobođenu u procesu nuklearne fisije i prenosi je do izmjenjivača toplote u kome se najčešće nalazi obična voda, koja se pretvara u vodenu paru. Kao i kod većine termoelektrana, proizvedena para se odvodi u parnu turbinu gdje pokreće osovinu turbine na čijem se kraju nalazi generator u kome se proizvodi električna energija.

Termički proces u nuklearnoj termoelektrani je u principu isti kao kod parne kondenzacione termoelektrane (na ugalj). Novi element u elektrani je nuklearni reaktor, koji zamjenjuje parni kotao, i u kome se, na kontrolisani način, odvija proces raspadanja čestica i kontinuirano oslobađanje ogromne fisijske energije.

Nuklearne termoelektrane će biti detaljnije opisane u narednim poglavljima.

2.2.1. Princip rada hidroelektrana

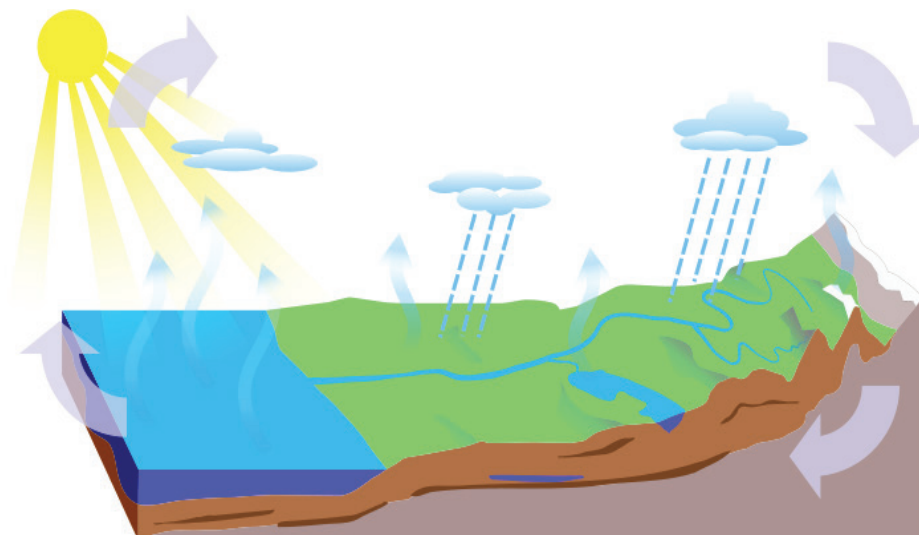
Kako je kod hidroelektrana (HE) radno tijelo **voda**, to je za razumijevanje načina i mogućnosti korišćenja vode kao radnog tijela neophodno poznavanje njenih osnovnih svojstava i karakteristika, kao i osnovnih pojmova iz hidrodinamike.

Već je račeno da je energija vode (hidroenergetski potencijal) u stvari transformisana energija Sunčevog zračenja i ona pripada obnovljivim energetske izvori- ma jer se ciklično, u određenim periodima, obnavlja.

Veličine stanja vode, koja se koristi za proizvodnju električne energije, se ne mijenjaju ili se vrlo malo mijenjaju, pa se u raznim energetske analizama s velikim stepenom tačnosti može pretpostaviti da su, kako ove veličine, tako i one koje od njih zavise, konstantne. Ova pretpostavka, koja je veoma bliska stvarnosti, znatno olakšava i ubrzava dalje proračune i analize.

Z

Kruženje vode u prirodi (tzv. hidrološki ciklus) predstavlja proces kada, pod uticajem Sunčeve toplote, dolazi do zagrijavanja i isparavanja vode sa velikih vodenih površina (rijeka, jezera, mora, okeana), kao i sa zemlje i biljaka, pri čemu vodena para pod dejstvom uzlaznih vazdušnih strujanja odlazi u gornje slojeve atmosfere gdje se, zbog niskih temperatura, kondenzuje u kapljice vode. Grupisanjem ovih kapljica formiraju se oblaci. Iz oblaka se, kao atmosferske padavine (kiša, snijeg i sl.) voda ponovo vraća na zemlju (u okeane, mora, jezera, rijeke ili ponire u zemlju), odakle se nastavlja njeno kružno kretanje (Slika 2.4).

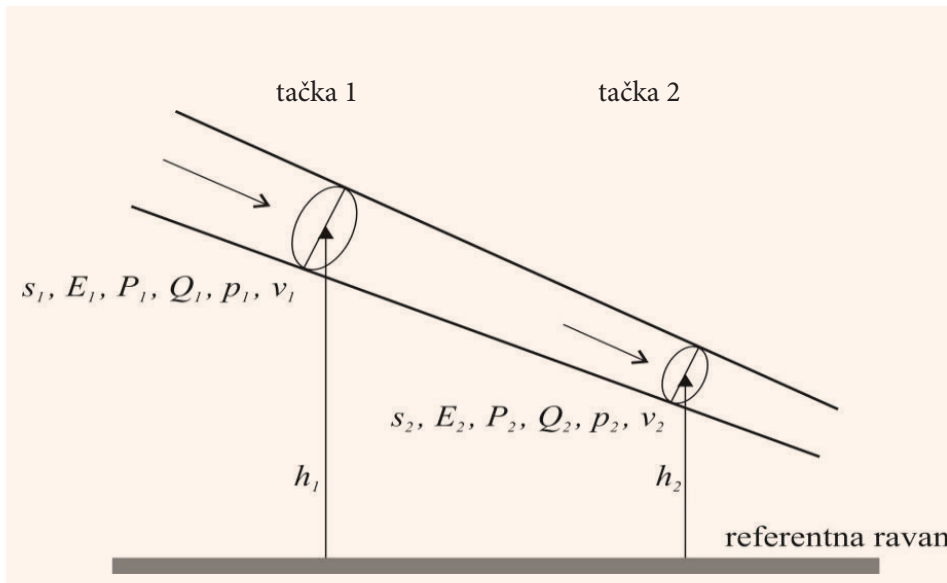


Slika 2.4. Kruženje vode u prirodi

Za energetske analize vode neophodno je poznavati dvije osnovne jednačine koje opisuju njene karakteristike i određena stanja: **Bernulijevu jednačinu** i **Jednačinu kontinuiteta**.

Da bi se odredila hidraulička energija vode koja protiče kroz neku cijev (profil), posmatra se tok vode kroz cijev (Slika 2.5), gdje su karakteristične veličine koje odgovaraju određenom mjestu (tačke 1 i 2) na posmatranoj cijevi obilježene sa:

- s površina poprečnog presjeka cijevi/profila u m^2 ,
- E energija koju sadrži neka količina vode u poprečnom presjeku u Wh,
- P snaga vodenog toka u W,
- Q protok vode u m^3/s ,
- p nadpritisak u odnosu na atmosferski pritisak u Pa,
- $v = Q/s$ srednja brzina proticanja vode kroz poprečni presjek cijevi u m/s,
- h visina težišta poprečnog presjeka u odnosu na referentnu ravan u m.



Slika 2.5. Vodeni tok u posmatranoj cijevi

Bernulijeva jednačina data izrazom (2.1) pokazuje da je pad/napor vode H u (m) jednak zbiru tri visine: brzinske visine, geometrijske visine i piezometrijske brzine, tj.:

$$H = \frac{e}{g} = \frac{\alpha v^2}{2g} + h + \frac{p}{\gamma}, \quad (2.1)$$

gdje je:

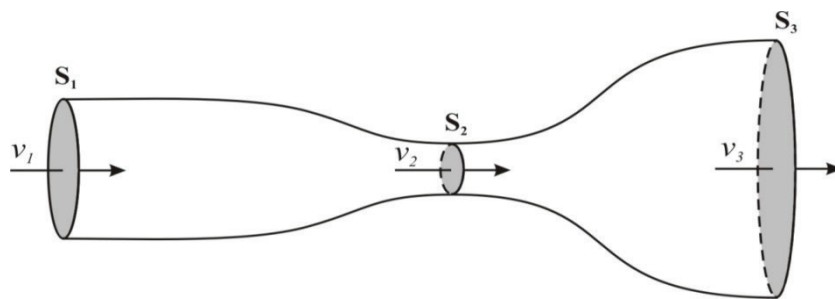
- e energija vodenog toka, koja predstavlja zbir tri energije: jedinične kinetičke energije, jedinične potencijalne energije i jedinične potisne energije Wh ,
- g ubrzanje zemljine teže (m/s^2),
- α Koriolisov koeficijent koji uzima u obzir činjenicu da brzina vode nije ista u svim tačkama poprečnog presjeka s ($\alpha < 1$),
- v srednja brzina proticanja vode (m/s),
- γ specifična težina vode (N/m^3).

Za dalja razmatranja važna je i tzv. **Jednačina kontinuiteta** kojom se definiše da pri kontinualnom strujanju tečnosti kroz kanal ili cijev (Slika 2.6), kroz svaki njegov presjek S (S_1, S_2, S_3, \dots), protiče ista količina tečnosti G u sekundi, tj. važi:

$$G = \frac{S_1 v_1}{v_1} = \frac{S_2 v_2}{v_2} = \frac{S_3 v_3}{v_3} = \text{const.} \quad (2.2)$$

Pošto se pretpostavlja da je zapremina vode v constantna, tj. $v_1 = v_2 = v_3 = v$, iz jednačine (2.2) dobija se da je proizvod poprečnog presjeka i brzine proticanja vode u raznim presjecima konstantan:

$$G v = S_1 v_1 = S_2 v_2 = S_3 v_3 = \text{const.} \quad (2.3)$$



Slika 2.6. Različiti presjeci cijevi ili kanala kroz koje protiče voda

Količina vode koja u okviru kružnog ciklusa vodotokom teče prema ušću zavisi, u prvom redu, od količine padavina. Međutim, ovdje treba imati u vidu da dio padavina isparava a dio potone u zemlju i ne pojavljuje se u vodotocima.

Odnos između količine vode koja otiče vodotokom i količine vode koja pada u obliku padavine naziva se **faktor oticanja**. Ovaj faktor se mijenja u veoma širokim granicama u zavisnosti od:

- geološkog sastava terena,
- nagiba zemljišta,
- vegetacije,
- atmosferskih prilika,
- veličine isparavanja,
- vremenskog rasporeda padavine i sl.

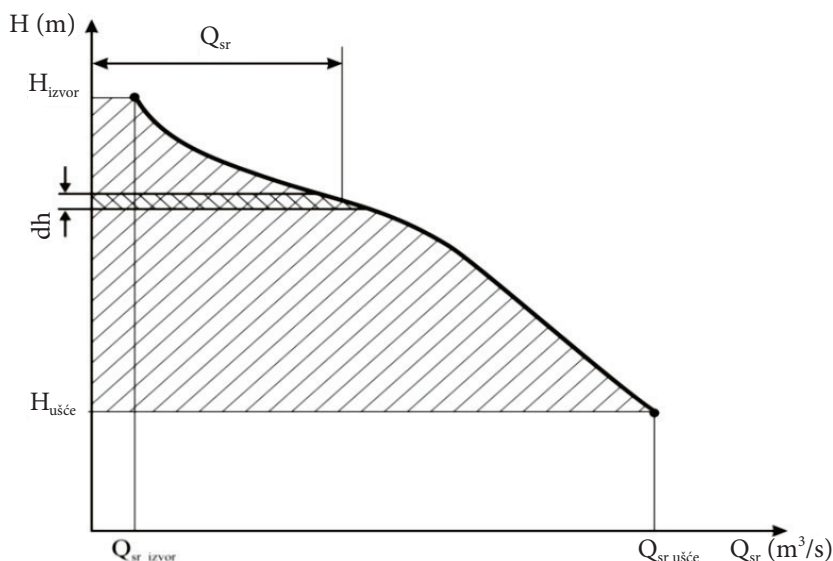
Energija koju posjeduje neki vodotok zavisi ne samo od količine vode koja teče vodotokom, već i od raspoložive visinske razlike.

Ukupna količina vode koja protiče vodotokom u toku godine (V u m^3), može se predstaviti **srednjim godišnjim protokom** Q_{sr} u (m^3/s), koji je dat izrazom:

$$Q_{sr} = \frac{V}{31,54 \cdot 10^6}, \quad (2.4)$$

gdje je $31,54 \cdot 10^6$ broj sekundi u godini.

Za posmatrani vodotok, svakoj koti H odgovara određeni srednji protok, pa to omogućava prikazivanje prilika na vodotoku pomoću tzv. **Q-H dijagrama** (Slika 2.7).



Slika 2.7. Q-H dijagram vodotoka



U nekim područjima (npr. sliv rijeke Morače) vodotokom otiče i više od 70% ukupnih padavina, dok u nekim područjima (obično u ravničarskim predjelima, npr. sliv rijeke Morave, Save,...) on može biti i manji od 30%.

Pomoću Q–H dijagrama je moguće prikazati cijele vodotoke s pritokama, pri čemu se svaka pritoka prikazuje svojim Q–H dijagramom u posebnom koordinatnom sistemu. Ovaj sistem je prema osnovnom koordinatnom sistemu pomjeren tako da ordinata osnovnog sistema prolazi kroz tačku koja odgovara izvoru pritoke. Na mjestu ušća pritoke u glavni vodotok postoji skok u Q–H dijagramu za glavni vodotok, i to za količinu vode koju donosi pritoka.

Radi lakšeg i jednostavnijeg crtanja ovakvog Q–H dijagrama (koji u realnim uslovima, u zavisnosti od mnogih parametara, može biti veoma složen i komplikovan) uvedene su određene pretpostavke, pa se ovaj pojednostavljeni dijagram obično naziva „teorijski Q–H dijagram“.

Raspoloživa energija nekog vodotoka se često naziva bruto energija, dok se iskoristiva energija zove tehnički iskoristivom energijom. U literaturi se umjesto ovih energija često govori o potencijalu, i to:

- **bruto hidroenergetskom potencijalu** koji predstavlja onu snagu i energiju koja bi se teorijski mogla dobiti iskorišćenjem sve raspoložive vode i svih raspoloživih padova,
- **tehnički iskoristivom hidroenergetskom potencijalu** koji bi se mogao dobiti podizanjem svih postrojenja na posmatranom vodotoku čiju izgradnju omogućavaju terenske prilike i tehničke mogućnosti i
- **ekonomski iskoristivom hidroenergetskom potencijalu**, tj. potencijalu koji bi se u posmatranom trenutku mogao dobiti iz postrojenja čije bi investicije i proizvodni troškovi obezbjeđivali proizvodnju električne energije pod prihvatljivim i ekonomski konkurentnim uslovima.

Postoje znatne razlike između bruto, tehnički i ekonomski iskoristive energije. Odnos između ovih energija varira u dosta širokim granicama, što zavisi od velikog broja faktora, kao i od razvoja tehničkih mogućnosti i ekonomičnosti postrojenja, koji se mijenjaju s vremenom usljed razvoja tehnike i tehnologije i promjene potrošnje električne energije.

2.2.2. Vrste hidroelektrana

U literaturi se mogu naći različite klasifikacije hidroelektrana, u zavisnosti od parametara koji se pri konkretnim analizama smatraju dominantnim, kao na primjer:

- prema načinu korišćenja vode,
- prema smještaju samih postrojenja,
- prema efektivnom (raspoloživom) padu vode,
- prema veličini akumulacionog bazena,
- prema kapacitetu – instalisanoj snazi,
- prema tipu korišćenih turbina,
- prema udaljenosti mašinske zgrade od brane,
- prema smještaju mašinske zgrade,
- prema ulozi u EES-u...



Prema načinu korišćenja vode hidroelektrane se dijele na:

- **akumulacione hidroelektrane**, koje imaju akumulaciju (rezervoar) u kojoj se voda akumulira za vrijeme kišnih razdoblja (ili u periodu smanjene potrošnje) da bi se koristila kada je to neophodno;
- **protočne hidroelektrane**, koriste vodu u skladu s njenim prirodnim dotokom;
- **reverzibilne hidroelektrane** (imaju dvije akumulacije, gornju i donju), koje za vrijeme postojanja viškova električne energije (ili u periodu niže tarife) pumpaju vodu iz donje u gornju akumulaciju, da bi je koristili za proizvodnju električne energije u periodima vršnih opterećenja (više tarife).

Prema smještaju samih postrojenja hidroelektrane se dijele na:

- klasične hidroelektrane (na vodotocima: rijeke, potoci, kanali i sl.)
- hidroelektrane na plimu i oseku, koriste potencijalnu razliku nivoa plime i oseke;
- hidroelektrane na morske talase, koriste kinetičku energiju talasa.

Prema padu vode (efektivni – raspoloživi pad), hidroelektrane se dijele na:

- niskopritisne, sa (malim) padom do 25 m,
- srednjepritisne, sa (srednjim) padom između 25 i 200 m i
- visokopritisne hidroelektrane, sa (velikim) padom većim od 200 m.

Prema veličini akumulacionog bazena, hidroelektrane mogu biti:

- s dnevnom akumulacijom (akumulacija se puni po noći a prazni po danu);
- sa sezonskom akumulacijom (akumulacija se puni tokom kišnog a prazni tokom sušnog dijela godine) i
- s godišnjom akumulacijom (akumulacija se puni tokom kišnih a prazni tokom sušnih godina).

Prema kapacitetu – instalisanjoj snazi, hidroelektrane se dijele na:

- velike hidroelektrane (obično snage od 10 MW do više GW),
- male hidroelektrane (prema kriterijumima većine evropskih zemalja do 10 MW),
- mikro hidroelektrane (uglavnom snage do 100 kW) i
- piko hidroelektrane (uglavnom snage ispod 5 kW).

Prema tipu korišćenih turbina, hidroelektrane se dijele na:

- akcione, u kojima su ugrađene akcione vodne turbine (npr. Pelton) koje koriste samo kinetičku energiju toka vode i kod kojih je cio raspoloživi pad pretvoren u ulaznu brzinu,
- reakcione, u kojima su ugrađene reakcione vodne turbine (Fransisova, Kaplanova, propelerna, cijevna i sl.) u kojima se koristi raspoloživa pritisna i kinetička energiju rječnog toka i kod kojih nije cio raspoloživi pad iskorišćen za stvaranje ulazne brzine vode u turbinu.

Prema udaljenosti mašinske zgrade od brane, hidroelektrane se dijele na:

- pribranske (mašinska zgrada je smještena uz branu, unutar brane ili je dio brane) i
- derivacione (mašinska zgrada je udaljena od brane).

Prema smještaju mašinske zgrade dijele se na:

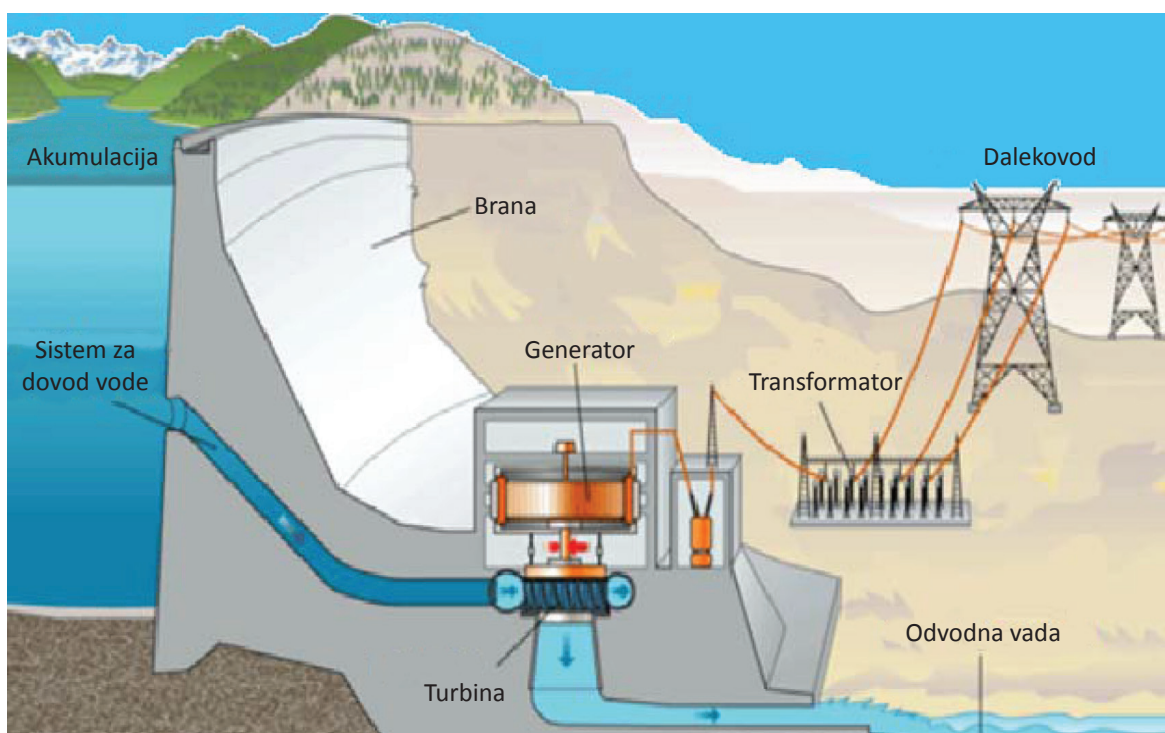
- hidroelektrane s mašinskom zgradom na otvorenom prostoru i
- hidroelektrane pod zemljom, s ukopanom mašinskom zgradom.

Prema ulozi u EES-u, hidroelektrane se dijele na:

- **bazne hidroelektrane**, pogonska svojstva elektrane omogućavaju popunjavanja baznog (konstantnog) dijela dijagrama opterećenja i
- **vršne hidroelektrane**, pogonskim svojstvima elektrane su prilagođene popunjavanju vršnog (varijabilnog) dijela dijagrama opterećenja.

2.2.2.1. Akumulacione hidroelektrane

Akumulacione hidroelektrane (Slika 2.8) grade se na vodotocima gdje je, uz ekonomski podnošljive troškove, pregrađivanjem rijeke i zaustavljanjem toka (brana) moguće stvoriti akumulaciono jezero uzvodno od brane. Voda u akumulaciji predstavlja rezervoar energije i posjeduje potencijalnu energiju koja je rezultat visinske razlike gornje kote jezera i tačke montaže generatora. Ova energija se transformiše u kinetičku energiju vode koja se pri udaru u lopatice turbine transformiše u energiju pritiska čijim se djelovanjem na lopatice turbine dobija mehanička energija koja pokreće turbine. Kod ovih vrsta elektrana obično postoje velike godišnje varijacije u količini dotoka vode i u nivou vode u akumulacionom jezeru.



Slika 2.8. Akumulaciona hidroelektrana

2.2.2.2. Protočne hidroelektrane

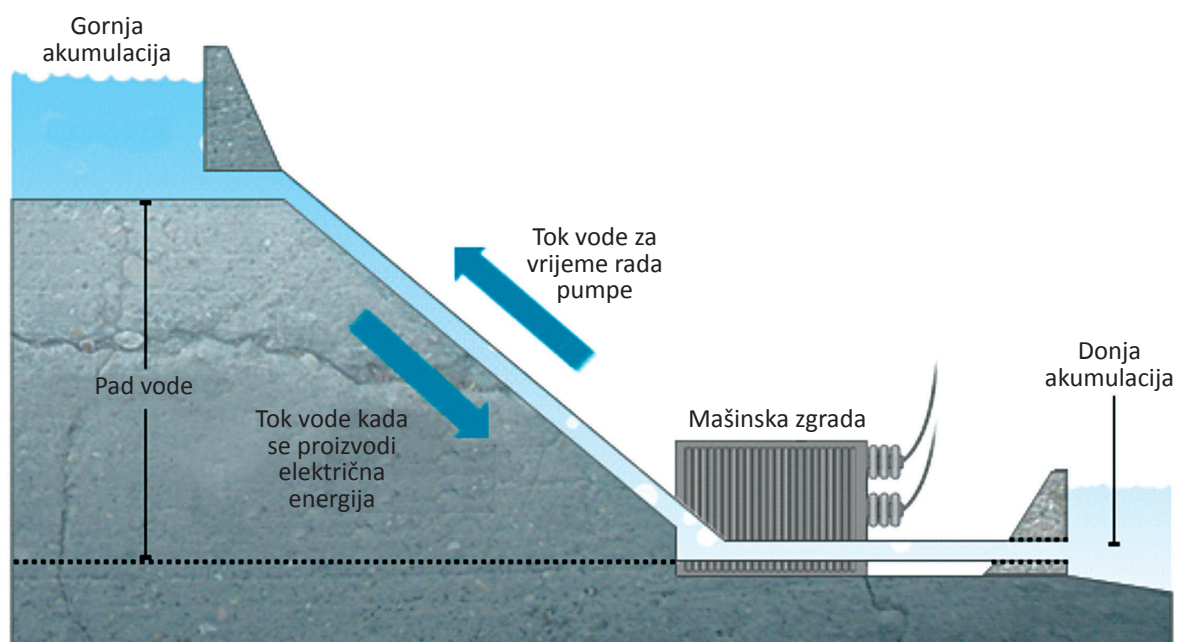
Protočne hidroelektrane su elektrane kod kojih, iz bilo kojih razloga, ne postoji mogućnost stvaranja akumulacionog bazena, nego se sva voda koja normalno dotiče vodotokom mora u trenutku dotoka iskoristiti propuštanjem kroz turbinu ili prelići neiskorišćena preko brane (Slika 2.9). One imaju malu visinsku razliku ispred i iza mjesta zahvatanja vode, pa ne koriste potencijalnu energiju razlike nivoa već samo kinetičku energiju koju posjeduje vodeni tok. Snaga ovih elektrana zavisi od trenutnog protoka vode jer one mogu proizvoditi energiju samo u skladu s režimom prirodnih dotoka vode, tj. samo u skladu s prirodnim uslovima i proticajima.



Slika 2.9. Izgled protočne hidroelektrane (Chief Joseph Dam - SAD)

2.2.2.3. Reverzibilne hidroelektrane

Reverzibilna (pumpno-akumulaciona) hidroelektrana je po konstrukciji slična akumulacionoj hidroelektrani (Slika 2.10). Ova hidroelektrana ima dva akumulaciona bazena – gornji i donji. U turbinskom režimu voda iz gornjeg akumulacionog bazena se vodi na lopatice turbine (turbinski režim rada) i postrojenje radi kao akumulaciona hidroelektrana – proizvodi električnu energiju. U pumpnom režimu rada reverzibilnim turbinama se voda iz donjeg akumulacionog bazena pumpa nazad u gornji bazen i tada postrojenje radi kao potrošač. Energetski/bilansno su neefikasne jer je potrošnja energije u pumpnom režimu veća od proizvodnje u turbinskom režimu. Međutim, pogodnost im je što se voda može pumpati u gornji bazen u periodu niskih opterećenja (jeftinije energije) a proizvoditi električnu energiju u periodu vršnih opterećenja (skuplja energija). Njihova osnovna primjena je pokrivanje vršnih opterećenja i bolje iskorišćenje raspoloživih elektrana.



Slika 2.10. Princip rada pumpno-akumulacione hidroelektrane

2.2.3. Glavni dijelovi hidroelektrana i njihova funkcija

Prilikom izgradnje hidroelektrane neophodno je voditi računa o tome da način izvođenja radova na hidroelektrani zavisi od velikog broja parametara, kao što su:

- hidrološki,
- meteorološki,
- topografski i
- geološki uslovi koji vladaju na nekom vodotoku,

kao i od pogonskih zahtjeva koji se traže od postrojenja, odnosno od optimalnog hidroenergetskog iskorišćenja cijelog vodotoka i od postojećeg dijagrama opterećenja.

Radi što racionalnijeg korišćenja raspoloživih vodnih snaga, prije izgradnje postrojenja treba izraditi osnovni projekat iskorišćenja čitavog vodotoka, kojim se rješava način njegovog korišćenja od izvora do ušća. Pri tome ne treba imati u vidu samo energetske korišćenje vode, nego i zahtjeve poljoprivrede (navodnjavanje, odvodnjavanje i sl.), snabdijevanje vodom (za piće, napajanje stoke i sl.), zahtjeve za sprečavanje bujica, održavanje **života** riba (riblje staze) i očuvanje prirodnih ljepota, osiguravanje i povećanje mogućnosti plovidbe, postojeće i buduće saobraćajnice, turizam, sport, rekreaciju i dr. Usklađivanje svih tih zahtjeva i postizanje optimalnog rješenja je zadatak osnovnog projekta za iskorišćenje vodotoka, tzv. **vodoprivredne osnove vodotoka**, na kojoj se, uzimajući u obzir sve zahtjeve, predviđaju mjesta za izgradnju pojedinih hidroelektrana i navode njihove osnovne karakteristike.

Izbor tipa hidroelektrane zavisi, dakle, od niza nabrojanih faktora koji utiču na racionalnu i ekonomičnu izgradnju postrojenja, pa je nemoguće navesti stroga pravila za izbor tipa postrojenja. Zadovoljenje svih neophodnih uslova traži za svaki konkretni slučaj specifično i najpovoljnije rješenje.

Za pravilan izbor hidroelektrane, određivanje njenih realnih investicija, vremena izgradnje, ekonomike i sl. neophodno je poznavati sve njene djelove i njihove funkcije. Pri tome se u sastav hidroelektrane računaju i svi objekti i djelovi koji služe za sakupljanje, dovođenje i odvođenje vode, za pretvaranje mehaničke u električnu energiju, za transformaciju i razvod električne energije i sl.

I pored postojanja različitih pristupa ovom pitanju, u stručnoj literaturi se najčešće analiziraju sljedeći **glavni (osnovni) dijelovi hidroelektrana**:

- brana,
- zahvat,
- dovod vode (dovodni organi),
- vodostan ili vodna komora,
- cjevovod (cijevi) pod pritiskom,
- mašinska zgrada,
- vodna turbina,
- generator,
- odvodni organi,
- hidromehanička oprema i
- razvodno postrojenje.

Kod određenih hidroelektrana neki od pomenutih djelova mogu potpuno izostati, a u pojedinim slučajevima može se isti dio pojaviti i više puta.



*Niz hidroelektrana uz ostala postrojenja na vodotoku (za navodnjavanje i odvodnjavanje, za plovidbu i dr.) naziva se **hidro-energetski sistem**.*

2.2.3.1. Brana

Brane (pregrade, vodojaže) su građevine koje imaju višestruku namjenu:

- da skrenu vodu sa njenog prirodnog toka prema zahvatu hidroelektrane,
- da podignu nivo vode radi postizanja što većeg pada i
- da ostvare akumuliranje vode za njeno kasnije korišćenje.

Prema prihvaćenim kriterijumima brane se dijele na:

- **visoke** i
- **niske**.

U **visoke brane** spadaju sve brane čija visina od temelja do krune iznosi više od 15 m, kao i brane više od 10 m koje imaju dužinu po kruni veću od 500 m, brane koje imaju jezgro veće zapremine od 100.000 m³, ili ako preko brane treba propuštati količinu vode veću od 2.000 m³/s. Visoke brane uglavnom se koriste za potrebe elektroprivrede.

Sve druge brane smatraju se **niskim**. Niska brana, kojom se bitno ne mijenja nivo vode, naziva se i pragom. Niske brane se koriste za potrebe elektroprivrede, ali i za ostale potrebe, npr. poljoprivrede, stvaranja rezervoara vode, turizma i sl.

S obzirom na materijal od koga se grade, brane mogu biti:

- **masivne** (zidane od kamena, betona, betonskih blokova, armirane...) ili
- **nasute** (od zemlje, pijeska, šljunka i kamena...).

Kod masivnih brana postoji uzvodni dio (izdignut iznad korita), tzv. **tijelo brane**, koje se suprotstavlja pritisku vode, i nizvodni dio, najčešće u obliku ploče položene po koritu, koji se zove slapište.

Izbor vrste brane zavisi uglavnom od: geološkog sastava terena, materijala raspoloživog za njenu gradnju i ekonomičnosti izgradnje.

Na svaku branu djeluju spoljašnje i unutrašnje sile. U **spoljašnje sile** se ubrajaju: pritisak vode na uzvodnoj strani, pritisak vode na spojnici između temelja i tla, pritisak leda (ako se javlja led), pritisak zemlje i pritisak nataloženog nanosa. **Unutrašnje sile** su: sopstvena težina, sile koje nastaju usljed promjene temperature betona, sile usljed skupljanja betona...

Za potrebe elektroenergetike najčešće se koriste visoke brane, masivne ili nasute. Masivne brane se danas skoro isključivo grade od betona. Kod betonskih brana vodonepropustljivost se postiže izborom tipa/marke betona.

Masivne betonske brane se dijele na:

- gravitacione,
- lučne,
- lučno-gravitacione,
- olakšane i
- njihove kombinacije.

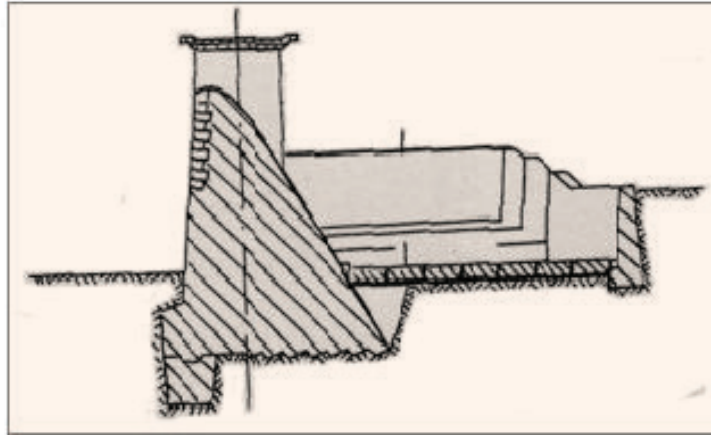
Gravitacione brane se sopstvenom težinom suprotstavljaju opterećenju od vode i drugih sila (Slika 2.11). Njih treba dimenzionisati tako da postoji ravnoteža između pritiska vode i stvarne težine brane.

Za stabilnost ovih brana treba da budu ispunjeni sljedeći uslovi:

- sigurnost protiv prevrtanja,
- sigurnost protiv klizanja i
- dokaz da u brani i u kontaktu sa tlom nijesu prekoračena dopuštena opterećenja.



a)



b)

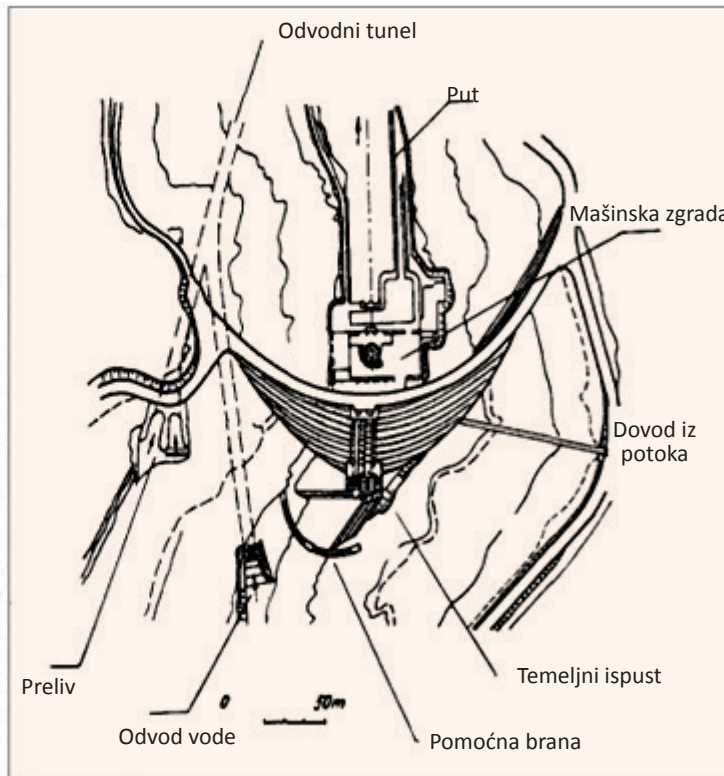
Slika 2.11. Gravitaciona brana: a) primjer iz prakse, b) skica presjeka

Lučne brane su nastale u želji da se uštedi na troškovima i vremenu gradnje (Slika 2.12). To su konstrukcije preko kojih se opterećenje raspodjeljuje na temelje i na bokove, tj. one stabilnost obezbjeđuju oblikom i konstrukcijom, djelovanjem na temelje i na čvrste bokove brane.

Zbog smanjenih dimenzija imaju mnogo veća naprezanja, pa je za njih od velikog značaja i pitanje čvrstoće betona. Izgradnja ovih brana je najpogodnija u dolinama sa tzv. „V“ profilom. Najčešće se rade od betona, armiranog betona i kamena.



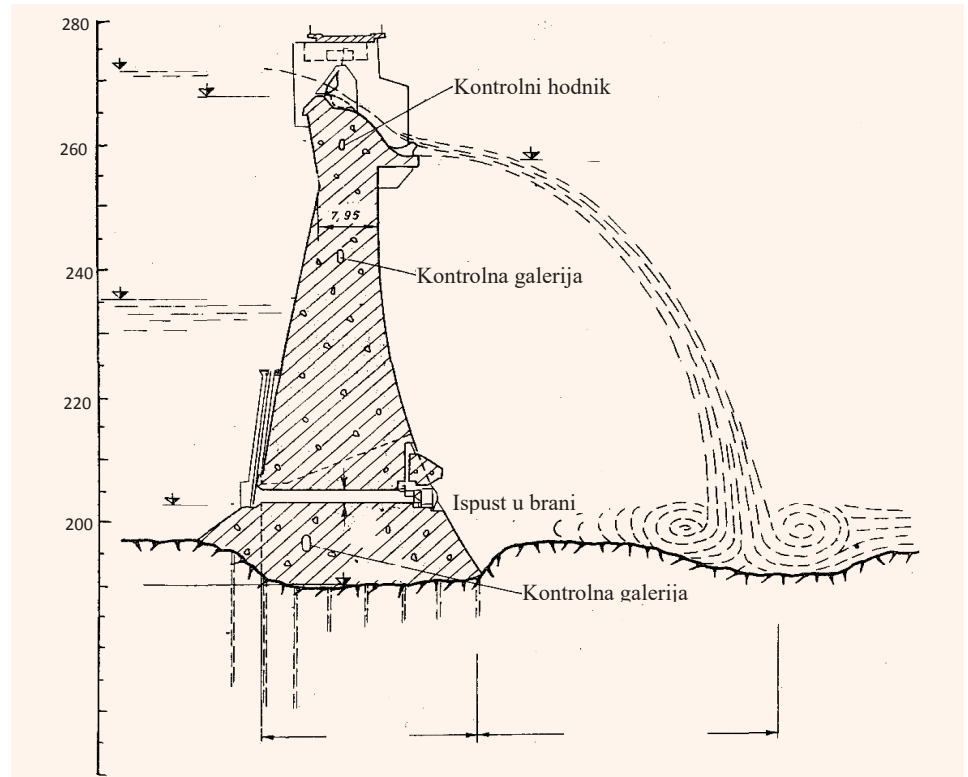
a)



b)

Slika 2.12. Primjer lučne brane: a) pogled odozgo, b) skica presjeka brane

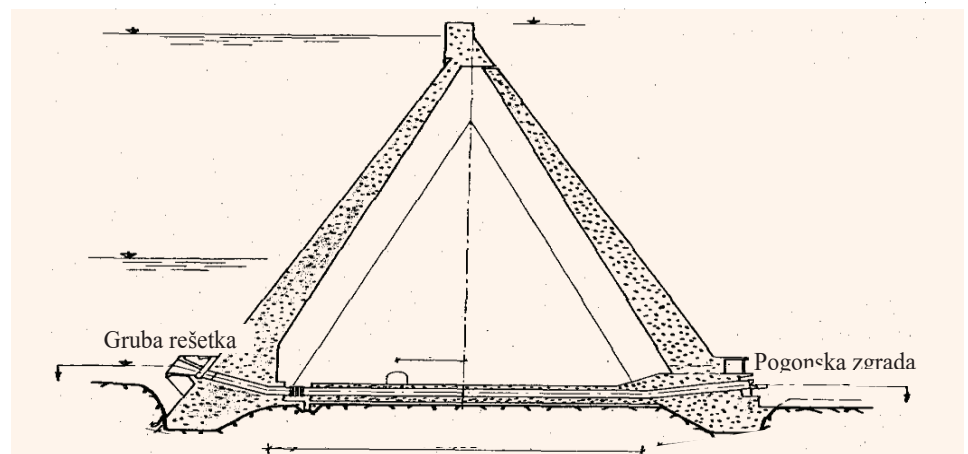
U grupu **lučno-gravitacionih brana** spadaju brane koje imaju elemente i gravitacionih i lučnih brana (Slika 2.13). Zbog njihove relativno velike debljine dio opterećenja se prenosi na temelje u dnu brane a ostali dio, zbog lučnog oblika, na bokove. One djelimično težinom a djelimično oblikom i konstrukcijom obezbjeđuju stabilnost. To su uglavnom brane sa odnosom debljine osnove u tjemenu brane prema visini $d/h > 0,35-0,65$.



Slika 2.13. Skica lučno-gravitacione brane

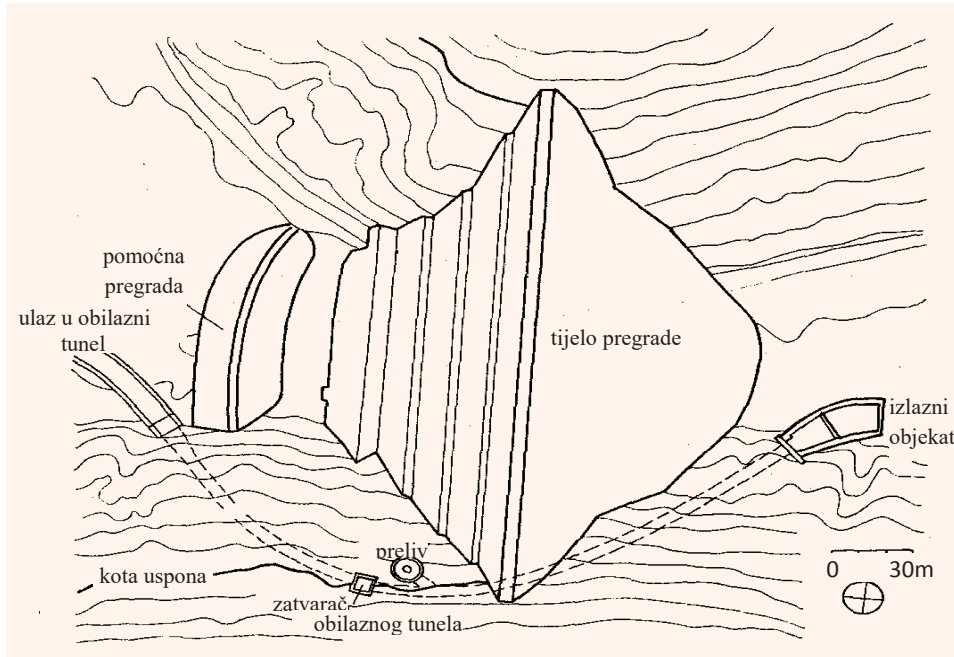
Težnja za uštedama i ekonomičnijom gradnjom dovela je, u slučajevima širokih profila gdje ne dolaze u obzir lučne brane, do razvoja različitih tipova tzv. **olakšanih brana** (Slika 2.14).

Na taj način se postiže bolje iskorišćenje materijala uz skraćenje vremena gradnje. Pogodnom konstrukcijom vrši se ušteda u materijalu, a oblikom i izvođenjem se obezbjeđuje stabilnost. Neophodno je voditi računa da se olakšavanjem brane ne izazove ugrožavanje njene stabilnosti.



Slika 2.14. Skica olakšane brane

Nasute brane se prave od zemlje, šljunka, pijeska, kamena i sl. Izbor materijala se vrši u zavisnosti od raspoloživog materijala i daljine potrebne za njegov transport (Slika 2.15).



a)



b)

Slika 2.15. Nasuta brana: a) skica, b) slika

Vodonepropustljivost nasutih brana postiže se ugradnjom glinenog jezgra u sredini brane, ili pomoću vodonepropustljivog ekrana postavljenog sa uzvodne strane brane. Ekran se obično izrađuje od bitumena armiranog čeličnim žicama.

Kod nasutih brana ne smije se dozvoliti preliv vode preko krune brane. Organi za odvod vode ugrađuju se na pogodna mjesta, najčešće van brane.

Izgradnjom brane omogućava se dovod vode do turbina u elektrani, ali se ne sprečava oticanje vode koja se ne koristi u elektrani. Djelimično ili potpuno pražnjenje akumulacionih jezera potrebno je zbog nadolaženja velikih voda, u trenutku kada je jezero puno ili zbog redovnih popravki pojedinih uređaja ili građevina.

Moraju se predvidjeti uređaji koji će omogućiti odvođenje suvišne vode bez šteta za područja koja se nalaze uzvodno i nizvodno od brane. Osim toga, treba voditi računa o mogućnosti propuštanja prevoza drveta i prolaza riba (riblje staze), a na plovnim rijekama i o propuštanju brodova (brodske prevodnice).

Izbor načina odvođenja suvišnih voda zavisi od dužine brane, od tipa brane, od prilika uzvodno i nizvodno od brane i sl.

Za odvođenje suvišnih voda i radi regulisanja vodostaja pri nailasku velikih voda služe:

- **prelivi** (preko cijele brane ili preko dijela brane) i
- **ispusti i protočna polja** u tijelu brane,

u kojima su smještene pokretne **zapornice**, koje se otvaraju kada voda dostigne određenu visinu. Zapornica služi za regulaciju protoka vode na prelivu brane.

Preliv brane se sastoji od protočnih polja u tijelu brane, na kojima se smještaju pokretne ustave ili zapornice. **Ustava** je svaki vodeni kanal u kojem se reguliše visina vode, a to se obično izvodi sa zapornicama. Visina ustava, širina i broj protočnih polja zavise od topografskih i hidroloških uslova; one mogu da obuhvate cijelu dužinu brane ili samo jedan dio.

Prelivi i ispusti visokih brana mogu biti na samoj brani ili izvan nje. Preko masivnih brana je prelijevanje moguće ako nijesu veoma visoke ili ako se mašinska zgrada ne nalazi pri dnu brane.

Prelivi omogućuju i propuštanje leda, plivajućih predmeta, laganog nanosa i drugog. Osim za propuštanje vode, ispusti služe i za propuštanje mulja, pa mogu biti donji (bunarski preliv) i srednji.

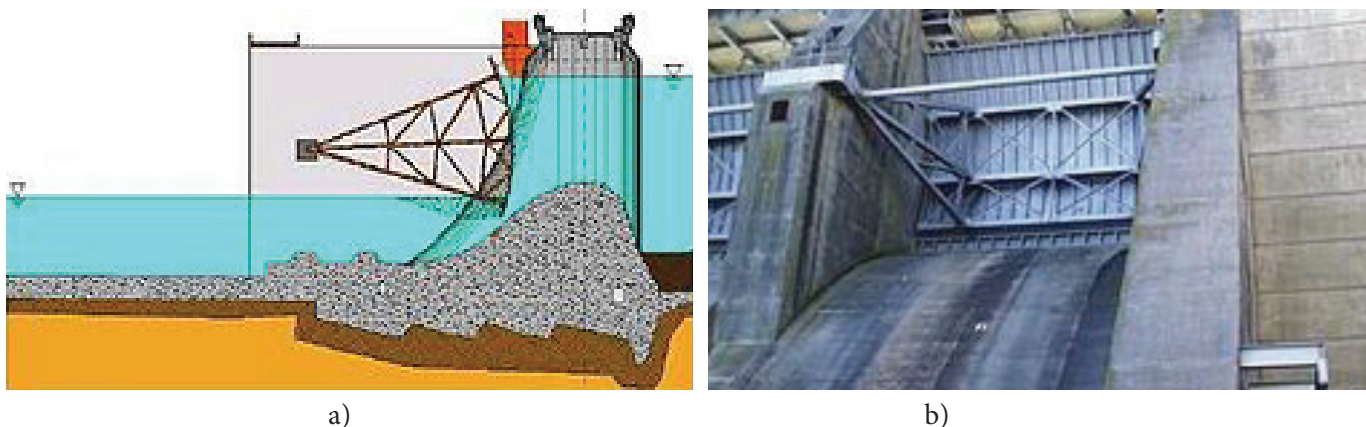
Kapaciteti preliva i ispusta su vrlo važni za pravilan rad brane. Kapacitet uređaja za odvođenje vode (prelivni organi, ispusti i odvod vode kroz turbinu) treba da bude toliki da spriječi poplave posmatranog područja, tj. da se obezbijedi sigurno odvođenje i najvećih voda koje bi se mogle pojaviti.

Primjeri preliva izvedenih preko nekoliko različitih masivnih brana dati su na Slici 2.16.



Slika 2.16. Različiti oblici preliva preko masivnih brana

Na Slici 2.17. prikazana je skica segmentne zapornice (a) i izgled (b) ugrađene segmentne zapornice sa uzvodne strane.



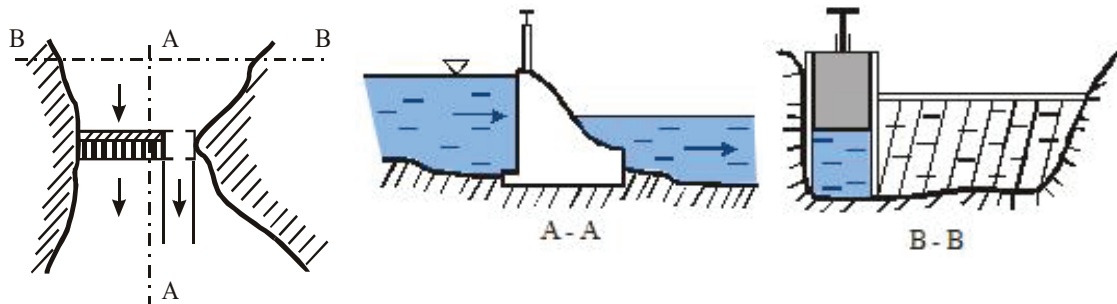
Slika 2.17. Segmentna zapornica: a) skica, b) izgled sa uzvodne strane

2.2.3.2. Zahvat

Zahvat ima zadatak da vodu iz vodotoka ili zaustavljenu od brane primi i uputi u dovodne organe elektrane. Razlikuju se u principu dva osnovna tipa zahvata:

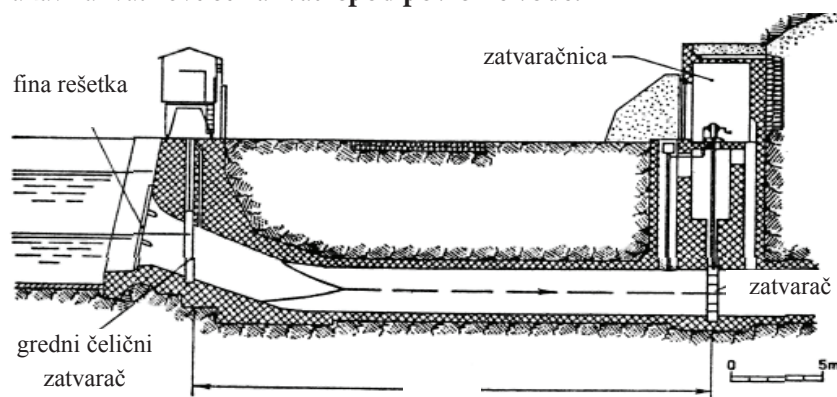
- zahvat na površini
- zahvat ispod površine vode.

Zahvat na površini (Slika 2.18) izvodi se u slučaju kada je brana niska, pa je nivo vode iza brane praktično konstantan. Prolaz vode kroz zahvat reguliše se zatvaračima i zapornicama.



Slika 2.18. Zahvat na površini

Kad se, usljed akumulisanja vode u kišnom periodu radi njenog korišćenja u sušnom periodu, nivo vode tokom godine znatnije mijenja, zahvat treba postaviti ispod nivoa vode, i to na najnižiu kotu do koje će se spuštati nivo vode (Slika 2.19). Takav zahvat zove se **zahvat ispod površine vode**.



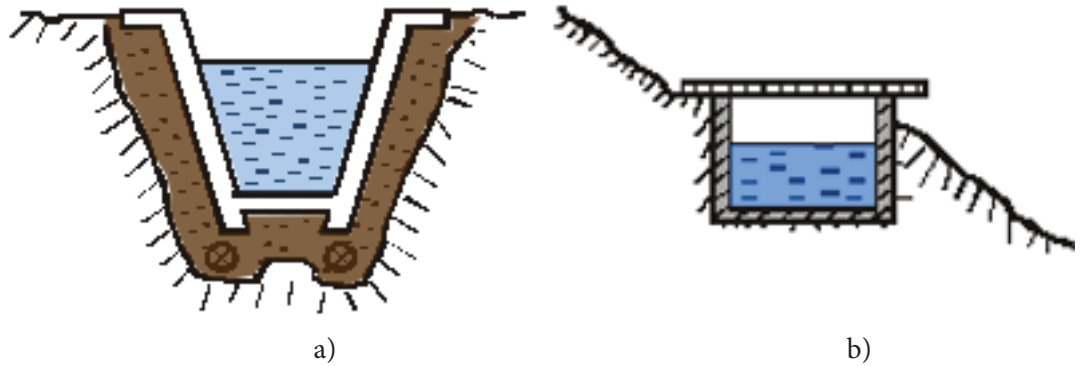
Slika 2.19. Zahvat ispod površine vode

2.2.3.3. Dovod vode

Dovod vode (dovodni organ) spaja zahvat sa vodostanom ili vodnom komorom. Zavisno od topografije terena kojim se vodi dovod, raspoloživog materijala i od pogonskih zahtjeva koji se postavljaju pred hidroelektranu, dovod može biti izrađen kao:

- kanal,
- tunel ili kao
- njihova kombinacija.

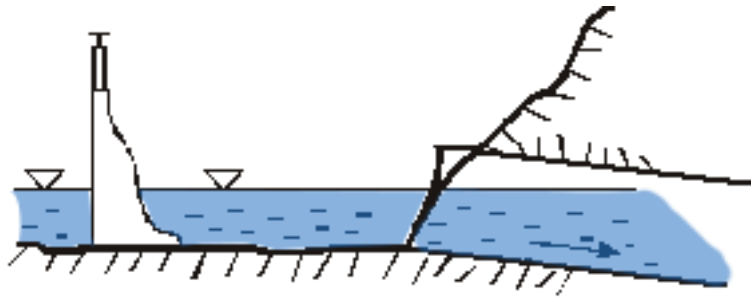
Kanal može biti otvoreni (Slika 2.20a) ili zatvoreni (Slika 2.20b).



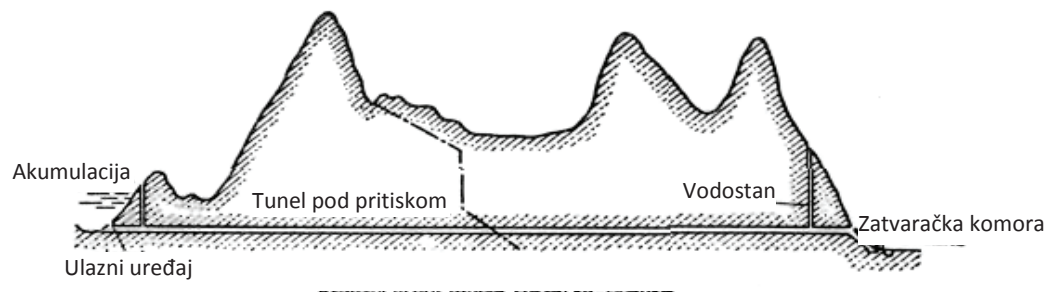
Slika 2.20. Dovod vode: a) otvoreni kanal, b) zatvoreni kanal

Tunel se može izvesti kao:

- gravitacioni tunel (Slika 2.21) ili
- dovod pod pritiskom (Slika 2.22).



Slika 2.21. Gravitacioni tunel za dovod vode

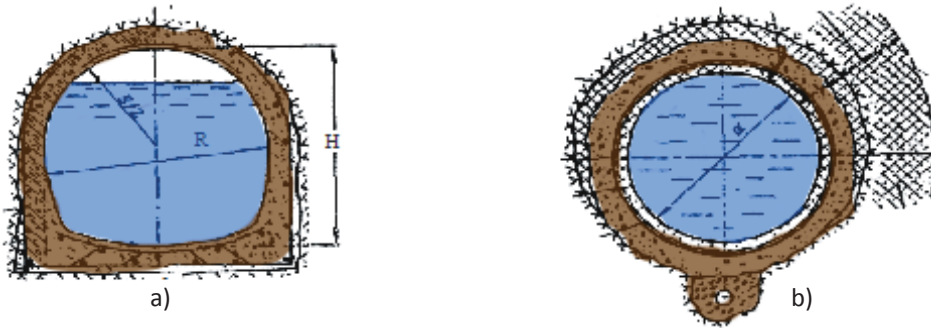


Slika 2.22. Dovod vode tunelom pod pritiskom

U **gravitacionom tunelu** voda teče slobodno i ne ispunjava cio tunel, pa je za promjenu dotoka vode potrebno mijenjati otvor u zatvaračnici na zahvatu (Slika 2.23a).

U slučaju dovoda **tunelom pod pritiskom** voda ispunjava cijeli profil tunela (Slika 2.23b) i uvijek treba da je kota vode ispred ulaza u tunel viša od najviše kote vode u tunelu. Za promjenu količine vode koja se dovodi elektrani nije potrebno nikakvo djelovanje na zahvatu.

Protok vode kroz tunel reguliše se zatvaračnicom na ulaznoj građevini.



Slika 2.23. Presjek dovodnog tunela: a) gravitacioni, b) tunel pod pritiskom

Hidroelektrane koje imaju dovod vode pod pritiskom znatno su elastičnije u pogonu nego kad imaju gravitacioni dovod, jer mogu bez velikih manipulacija slijediti brze promjene opterećenja i brzo ulaziti u pogon i izlaziti iz pogona.

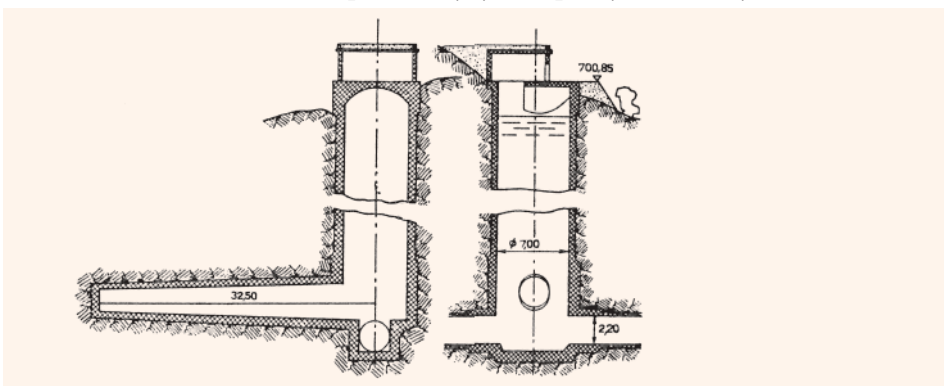
2.2.3.4. Vodostan

Vodostan ili vodna komora je proširenje/komora koje se nalazi na kraju dovoda a prije cijevi pod pritiskom. Zadatak vodostana zavisi od vrste dovoda.

Kad je dovod gravitacioni, potreban je vodostan dovoljne zapremine da bi mogao poslužiti kao **rezervoar vode** koji će obezbijediti dovoljnu količinu vode turbinama u slučaju naglih promjena opterećenja. Dimenzije mu moraju biti takve da obezbijede dovoljno vode da u cijevi pod pritiskom zajedno s vodom ne smije ući i vazduh.

Ako hidroelektrana ima dovod pod pritiskom, proširenje na kraju tog dovoda mora se izvesti kao vodna komora takvih dimenzija da, nakon promjene opterećenja, pritisak u dovodu ne poraste iznad dozvoljene granice (da ne dođe do udara u cijevima ili tunelu pod pritiskom), odnosno da nivo vode ne padne ispod najviše kote ulaza u cjevovod pod pritiskom. U tom slučaju vodostan služi kao **ventil**.

Dimenzionisanje vodne komore ima velik uticaj na pravilno funkcionisanje hidroelektrane. Na Slici 2.24. prikazan je jedan primjer izvođenja vodne komore.

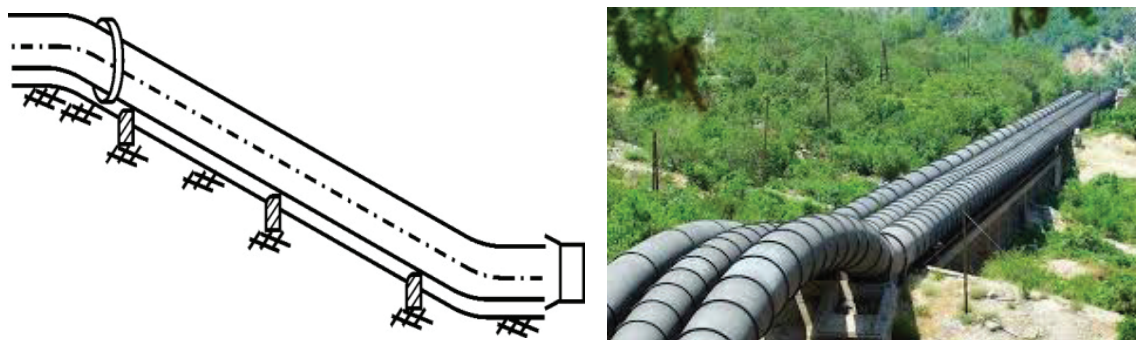


Slika 2.24. Uzdužni presjeci jednog tipa vodostana

2.2.3.5. Cjevovod pod pritiskom

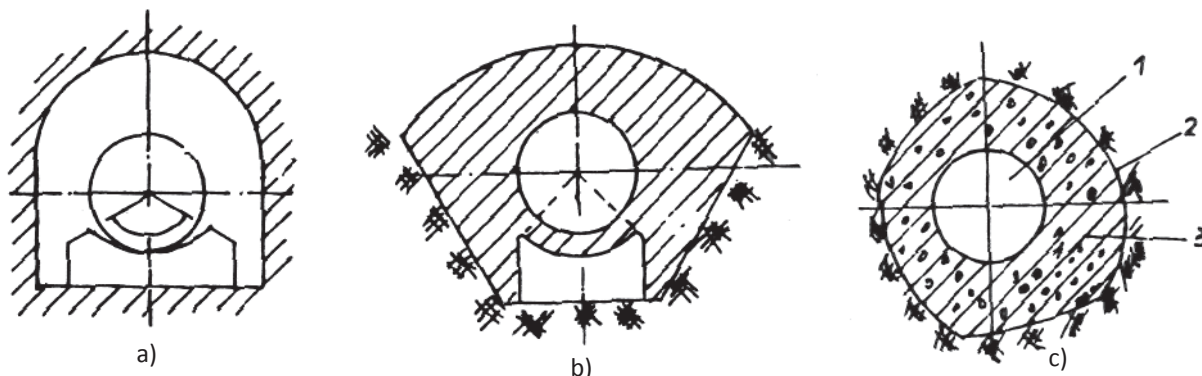
Cijevi pod pritiskom služe za vođenje vode iz vodostana ili vodne komore do turbina. Po pravilu su izrađene od čelika i specijalnih legura, a za manje padove mogu biti i od betona ili armiranog betona.

Prema svom smještaju cijevi pod pritiskom mogu biti položene **po površini terena** (Slika 2.25) ili smještene **u tunelu** (Slika 2.26).



Slika 2.25. Skica i slika cjevovoda pod pritiskom položenog po površini terena

Cjevovod u tunelu može biti ili slobodno položen, kada tunel služi samo kao prostor za smještaj cjevovoda (Slika 2.26a) ili se oslanjati na stijene tunela, tako da naprezanja preuzima samo cjevovod ili da ih preuzima djelimično i okolna stijena (Slika 2.26b).



Slika 2.26. Cijevi pod pritiskom postavljene u tunelu: a) cijev, b) stijena, c) ispunjena

Da bi se povećala otpornost na pritiske koji se mogu javiti pri velikim padovima, preko cijevi pod pritiskom se namotavaju čelična užad ili se preko cijevi navlače čelični prstenovi (Slika 2.25).

Na ulazu u cjevovod uvijek postoji zatvaračnica (zaporni organ), čiji tip i izvođenje zavise od pritiska koji vlada na početku cjevovoda. Obično se u zatvaračnici nalaze dva zatvarača. Glavni, koji je veoma važan sigurnosni zaporni organ i koji ima zadatak da automatski spriječi dalje doticanje vode u cjevovod ako iz bilo kojih razloga to zatreba. Ispred sigurnosnog zapornog organa postavlja se pomoćni zaporni organ – pomoćni zatvarač, koji omogućava pregled i popravke na glavnom sigurnosnom organu bez pražnjenja dovodnog tunela ili dovodnog kanala.

2.2.3.6. Mašinska zgrada

Mašinska zgrada služi za smještaj turbina, generatora, upravljačkog pulta i drugih pomoćnih uređaja i opreme za pogon, montažu, remonte i popravke, kao i za smještaj osoblja (Slika 2.27).



Slika 2.27. Unutrašnjost mašinske zgrade hidroelektrane

Tip mašinske zgrade uglavnom diktiraju topografski i ekonomski razlozi. S obzirom na smještaj mašinske zgrade, postoje mašinske zgrade:

- na otvorenom i
- ukopane (pod zemljom).

2.2.3.7. Vodna turbina



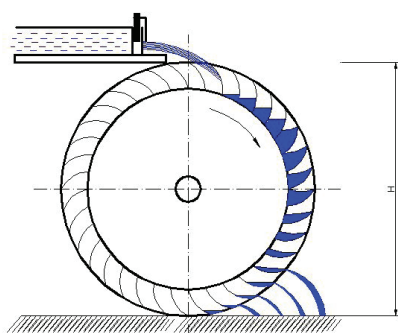
Vodna ili hidraulična turbina je hidraulična mašina koja transformiše dovedenu strujnu energiju vode u mehanički rad.

Dalja transformacija mehaničkog rada u električnu energiju vrši se u generatoru električne energije, zbog čega se u jednu cjelinu pomoću vratila spajaju turbina i generator. Turbina i generator, kao jedna cjelina, zovu se **turbo-agregat** ili kraće samo **agregat**.

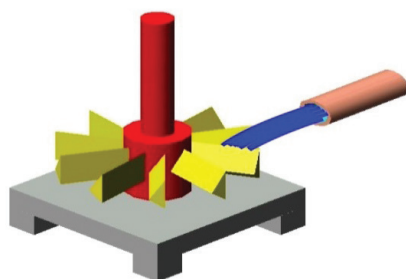
U hidroenergetici se za dobijanje električne energije, odnosno za pretvaranje strujne energije vode u mehanički rad, koriste različiti tipovi vodnih turbina. Svaki tip turbine ima svoje karakteristike i specifičnosti i svoju oblast primjene, s obzirom na raspoloživi jedinični pad.

Hidraulične turbine su bile prve mašine koje je čovjek konstruisao. U početku su bile izvedene:

- u obliku **vodeničnog točka** (Slika 2.28a), kod koga voda svojom težinom obrće kolo (koristi se potencijalna energija vode),
- u obliku (**vodeničnog**) **kola** (Slika 2.28b), gdje se koristi energija mlaza vode, odnosno kinetička energija vode.



a) točak



b) kolo

Slika 2.28. Početni oblici hidrauličnih turbina: a) vodenični točak, b) kolo



Prve turbine su bile jednostavne konstrukcije i s malim koeficijentom iskorišćenja. Kako su brzo uočene dobre osobine i mogućnosti ovih turbina, intenzivnim istraživačkim radom došlo se do turbina čiji koeficijent iskorišćenja danas premašuje 95%.

Hidraulične turbine bilo kojeg tipa sastoje se od tri glavna (osnovna) elementa (ili funkcionalne cjeline):

- djelova za **dovod vode** obrtnom kolu ili protočni tzv. **provodni dio**, koji upućuje vodu u željenom pravcu i u dovoljnoj količini na radno kolo,
- **obrotnog (radnog) kola (rotora)** u kome se kinetička energija vode pretvara u pritisak, tj. mehaničku energiju i
- djelova za odvođenje vode iz obrtnog kola u vodotok – **odvodni organi**.

Pošto u konkretnim uslovima postoje veoma različiti raspoloživi padovi kao i različiti protoci vode, u principu nije moguće jednim oblikom obrtnog kola turbine postići visoki stepen iskorišćenja pri različitim padovima i različitim protocima. Zbog toga proizvođači ove opreme izrađuju različite oblike radnih kola. Na Slici 2.29. dati su neki od mogućih oblika obrtnog kola hidrauličnih turbina.



a)



b)



c)

Slika 2.29. Oblici radnih kola hidrauličnih turbina: a) Fransisova, b) Kaplanova, c) Peltonova

Vodne turbine se, u zavisnosti od toga kako se koristi raspoloživi pad (H), mogu principijelno podijeliti u dvije osnovne grupe:

- **reakcione vodne turbine**, u kojima se koristi raspoloživa pritisna i kinetička energija rječnog toka i kod kojih nije cio raspoloživi pad iskorišćen za stvaranje ulazne brzine vode u turbinu (v_1), tj. $v_1 < \sqrt{2gh}$. U ovu grupu spadaju:
 - Fransisove,
 - Kaplanove i propelerne,
 - dijagonalne,
 - cijevne turbine i sl.
- **akcione vodne turbine**, koje koriste samo kinetičku energiju toka vode, i kod kojih je cio raspoloživi pad pretvoren u ulaznu brzinu, tj. $v_1 = \sqrt{2gh}$. U ovu grupu spada Peltonova turbina.

U zavisnosti od načina na koji voda iz protočnog dijela dolazi na radno kolo, odnosno mjesta udara vodenog mlaza u obod rotora, turbine se dijele na:

- **nepotpune**, kod kojih voda dolazi samo na jedan dio (na pojedine tačke) radnog kola,
- **potpune**, kod kojih voda jednovremeno dolazi na čitavo radno kolo (čitav obod rotora).

Izbor tipa turbine zavisi od pada i od protoka. Veličina turbine između ostalog zavisi i od:

- uslova koje diktiraju potrošači električne energije (dnevnog dijagrama),
- transportnih mogućnosti,
- karakteristika raspoloživog materijala za izradu turbine.

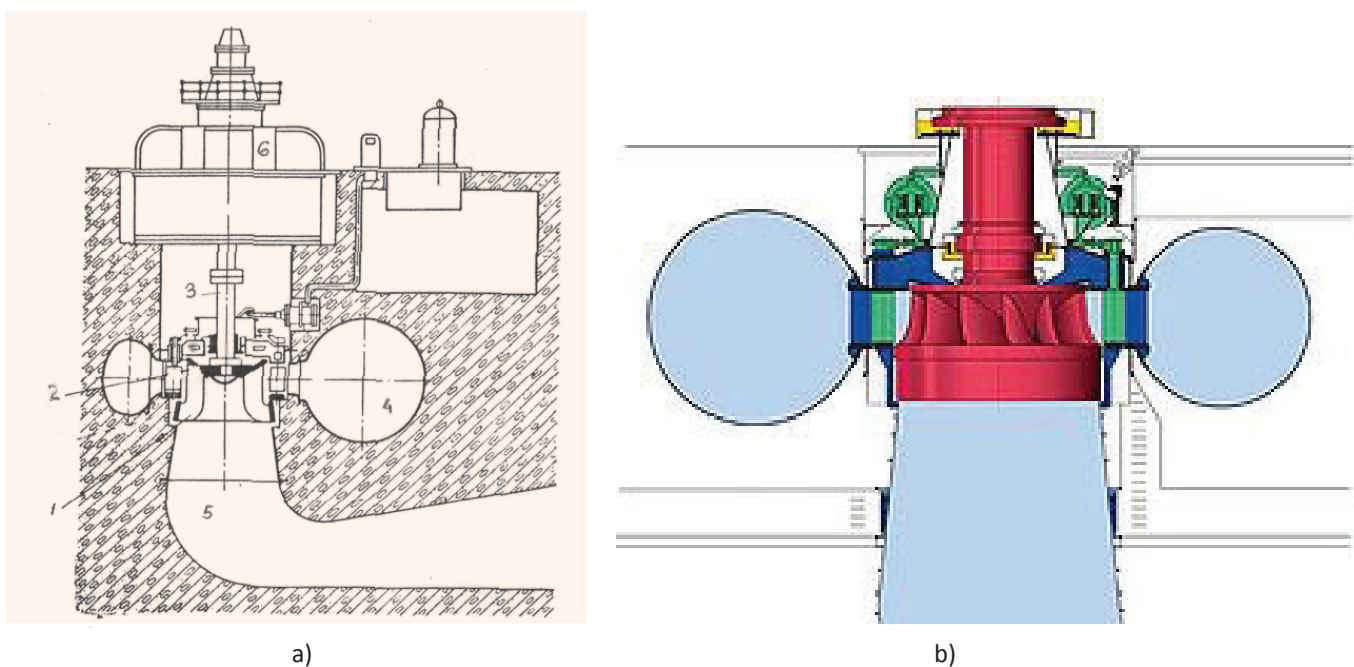
Pri izboru tipa turbine za neku hidroelektranu neophodno je sprovesti detaljnu tehno-ekonomsku analizu, uz uvažavanje specifičnosti posmatranog vodotoka.

Fransisove turbine su potpune, reakcione turbine koje se koriste za padove od 50 do 700 metara i za srednji protok. Ove turbine imaju veliki stepen iskoristljivosti kapaciteta od preko 90%, pa su našle veoma široku primjenu.

Principijelne šeme Fransisove turbine date su na Slici 2.30. Šeme su dosta uprošćene, jer su prikazani samo osnovni djelovi. Voda dolazi u turbinu posredstvom cjevovoda i spirale (4), koja sa statorskim lopaticama čini jednu cjelinu, jer su izvedeni zavarivanjem. Voda zatim prolazi kroz lopatice provodnog aparata – kola (2), koje upućuje vodu na lopatice radnog kola (Slika 2.30b). Nakon prolaska kroz radno kolo voda se posredstvom sifona – difuzora (5) odvodi u kanal donje vode. Osovina (3) na kojoj se nalazi generator (6).

Spirala (4) kod potpunih turbina ima višestruki zadatak: da dobro poveže reakcionu turbinu s dovodom vode, da smanji hidraulične gubitke strujne energije u sprovodnom aparatu i da osigura ravnomjeran dotok vode po čitavom obodu sprovodnog aparata, dovodeći vodu jednovremeno na svaku tačku oboda radnog kola (postoji samo kod potpunih turbina).

Stator turbine se sastoji od niza profilisanih lopatica koje su postavljene između gornjeg i donjeg prstena. One služe da prihvate svu vodu i opterećenje i prenesu ga na postolje (fundament) turbine. Broj statorskih lopatica (rebara) obično je jednak polovini od broja lopatica sprovodnog aparata. Ove lopatice su nepomične i usmjeravaju vodu ka sprovodnom aparatu turbine. Moraju biti dobro oblikovane u aerodinamičkom pogledu, da bi se smanjili gubici strujne energije.



Slika 2.30. Principijelne šeme osnovnih djelova Fransisove turbine

Sprovodni aparat ima zadatak da stvori neophodnu ulaznu cirkulaciju pred ulazom u radno kolo i da reguliše protok vode kroz radno kolo.

Lopaticice sprovednog aparata su pokretne. Regulacija protoka se ostvaruje putem jednovremenog zakretanja svih sprovednih lopaticica (koje se mogu okretati oko osovinica paralelnih s glavnom osovinom), koje su povezane na prsten statora. Veličina otvaranja sprovednog aparata određena je rastojanjem između dvije susjedne lopaticice. U zatvorenom položaju sprovednog aparata susjedne lopaticice naliježu jedna na drugu. Zakretanje lopaticica se vrši pomoću regulacionog mehanizma, koji osigurava jednovremeno zakretanje svih lopaticica.

Iz sprovednog aparata voda dolazi na radno kolo koje se sastoji iz gornjeg i donjeg vijenca između kojih su postavljene lopaticice (15, 17 ili 19). Radno kolo, koje predstavlja kompaktnu cjelinu, izliveno je od čelika ili specijalnih legura. Sa povećanjem jediničnog rada, oblik radnog kola se mijenja.

Sifon/difuzor se nalazi na izlazu iz radnog kola. Uloga sifona je da sakuplja vodu koja izlazi iz radnog kola i odvodi je u kanal donje vode. Osnovni zadaci sifona su:

- da što bolje hidraulički i ekonomski odvede vodu iz radnog kola u kanal donje vode,
- da pretvori neiskorišćenu kinetičku energiju vode koja je napustila radno kolo u pritisak,
- postavljanje radnog kola na određenu visinu iznad nivoa donje vode bez gubitaka raspoloživog pada,
- korišćenje usisne visine H_s , koja se definiše kao geometrijska visina između najniže tačke sprovednog aparata i donjeg nivoa vode.

Konstrukcija sifona mora biti veoma pažljivo izvedena, da bi se u njemu iskoristio raspoloživi neiskorišćeni pad. U njemu se vrši rekuperacija kinetičke energije vode u energiju pritiska. Da bi se to postiglo, sifon ima difuzorski oblik, tj. širi se, čime se postiže smanjenje brzine strujanja vode, odnosno smanjenje pritiska na izlasku iz radnog kola turbine.

Svi tipovi reakcionih turbina obavezno imaju sifon koji znatno utiče na energetske karakteristike turbina. Kod akcionih turbina nema sifona jer on kod njih nije potreban.

Fransisova turbina i strujanje vode kroz nju u zatvorenom položaju provodnih lopaticica (a) i u slučaju kada su lopaticice provodnog kola otvorene (b) prikazana je na Slici 2.27.



Slika 2.31. Fransisova turbina u zatvorenom (a) i otvorenom (b) položaju

U zavisnosti od uslova rada, ove turbine mogu biti izvedene sa:

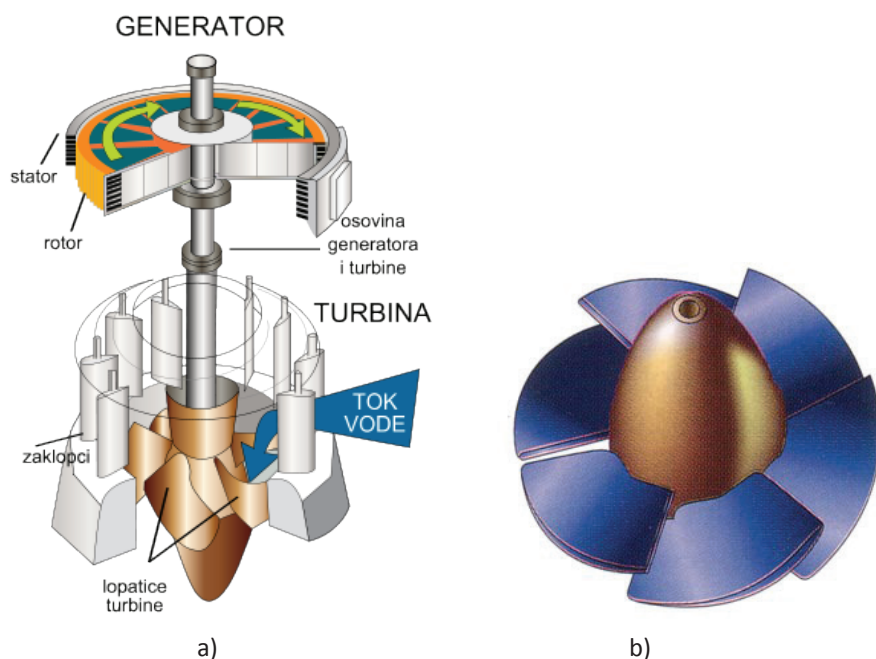
- vertikalnim ili
- horizontalnim vratilom.

Kaplanove turbine su potpune, reakcione turbine i koriste se za padove od 20 do 70 metara i za veliki protok (Slika 2.32). Kako voda ulazi i izlazi iz radnog kola osno (aksijalno), one se ponekad zovu i osne ili aksijalne turbine.

Konstrukcija ovih turbina je nešto složenija u odnosu na Fransisove, jer imaju uređaj za zakretanje lopatica radnog kola. Zakretanje lopatica radnog kola se vrši pomoću specijalnog mehanizma ugrađenog u glavčinu radnog kola. Na ovaj način se, mijenjanjem ugla lopatica radnog kola, radno kolo prilagođava zahtjevima radnog režima, čime se povećava stepen iskorišćenja ovih turbina. Prilagođavanjem ugla lopatica raspoloživoj količini vode koja protiče kroz turbinu postiže se povoljniji stepen djelovanja. Radno kolo ima 2 do 8 lopatica, pri čemu je manji broj za manje padove.

Kod ovih turbina postoji dvojno regulisanje lopatica, odnosno jednovremeno se zakreću lopatice radnog kola i lopatice sprovodnog aparata. Ovo omogućava da ove turbine imaju bolji stepen iskorišćenja pri radu sa manjim jediničnim radovima i većim protocima.

Sve što važi za Fransisovu turbinu važi i za Kaplanovu. Razlika je samo u radnom kolu.



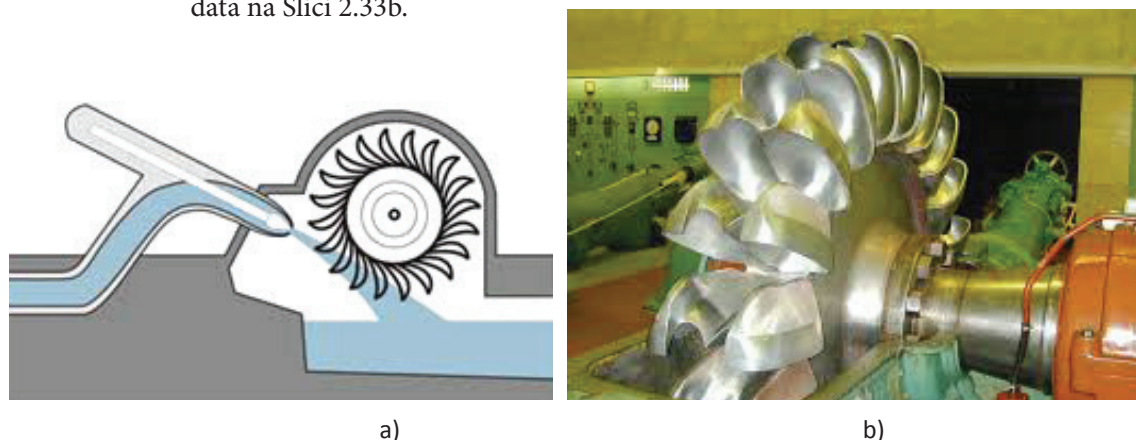
Slika 2.32. Kaplanova turbina: a) presjek turbine, b) oblik obrtnog kola

Dijagonalne turbine su potpune, reakcione turbine koje se koriste za padove od 40 do 200 metara i za srednji protok. Voda kroz ove turbine protiče dijagonalno, po čemu su i dobile ime. Pored lopatica sprovodnog aparata, kod ove turbine reguliše se i nagib lopatica obrtnog kola, tako da je kod nje moguća dvojna regulacija.

Cijevne turbine su potpune, reakcione turbine, koriste se za padove od 1 do 20 metara i za veliki protok. Ove turbine imaju veliku sposobnost propuštanja vode, tako da i pri malim padovima mogu razviti velike snage. Vratilo turbine je horizontalno.

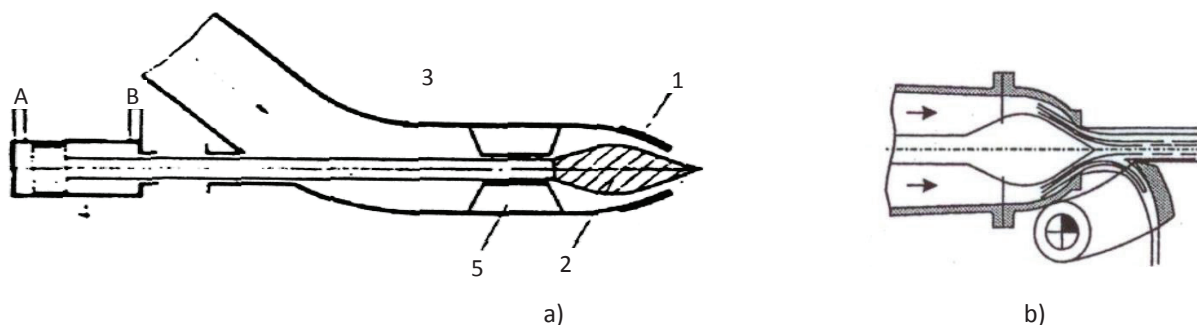
Vodne turbine s horizontalnim vratilom smanjuju troškove izgradnje hidroelektrane, jer kod njih nema potrebe za izdizanjem agregata iznad nivoa donje vode i ugradnje vertikalnih difuzora. Ovaj način izgradnje smanjuje građevinske radove i poboljšava energetske karakteristike turbine i agregata. Cijevne turbine se regulišu na dva načina: preko sprovodnog aparata i zakretanjem lopatica obrtnog kola.

Peltonove turbine su nepotpune, akcione turbine, koje se koriste za padove od 400 do 2.000 metara i za mali protok. Uprošćena principijelna šema Peltonove turbine s jednim mlaznikom data je na Slici 2.33a, dok je slika obrtnog kola turbine data na Slici 2.33b.



Slika 2.33. Peltonova turbina sa jednim mlaznikom (a) i obrtno kolo turbine (b)

Voda se iz akumulacije dovodi cjevovodom do mlaznika (Slika 2.34a), koji ima zadatak da obezbijedi željeni pravac i oblik mlaza. U mlazniku se nalazi pokretno koplje (igla) koje služi za regulaciju protoka vode. Vodeni mlaz iz mlaznika udara u lopatice obrtnog kola, čiji se broj kreće od 12 do 40.



Slika 2.34. Djelovi Peltonove turbine: a) mlaznik (1), igla (2), koplje (3), uređaj za pokretanje koplja (4), nosač koplja (5); b) skretač mlaza

Lopatice su od specijalnih veoma čvrstih legura, a izvedene su u obliku dva poluelipsoida sastavljena po oštroj ivici, tako da po sredini imaju oštricu (nož) koja dijeli mlaz na dva jednaka dijela, koji klize duž lopatice mijenjajući smjer za oko 180°. Pri tome se mijenja brzina mlaza, jer se dio energije mlaza predaje lopatici odnosno obrtnom kolu.

Da bi se, u slučaju potrebe, turbina mogla vrlo brzo zaustaviti, koristi se skretač mlaza (Slika 2.34b) pomoću koga se može vrlo brzo obustaviti dotok vode na lopatice (mlaz se skreće sa lopatica u odvodnu vadu), a zatim se pomoću koplja postepeno zatvara protok vode kroz mlaznik. Na ovaj način se izbjegavaju veliki dinamički pritisci koji bi nastali u slučaju naglog prekidanja protoka vode kroz cjevovod.

Peltonove turbine se izvide s horizontalnom ili vertikalnom osovinom, što zavisi od smještajnih uslova i uslova rada. Mogu imati 1, 2 ili 4 mlaznika i 1 ili 2 obrtna kola.

Za brzo zaustavljanje velikih Peltonovih turbina, često se ugrađuje tzv. kontra mlaznik, kojim se, u periodu zaustavljanja rasterećene turbine, voda na lopatice usmjerava suprotno od smjera okretanja turbine.

2.2.3.8. Generator

D

Sinhroni generatori ili alternatori su obrtne električne mašine koje mehaničku energiju dovedenu na njihovo vratilo transformišu u električnu energiju.

!

U elektranama se najčešće upotrebljavaju trofazni sinhroni generatori za frekvenciju 50 Hz (u Evropi) ili 60 Hz (u SAD i Kanadi).

Osnovni naznačeni (nazivni) podaci generatora neophodni za njegove analize su:

- naznačeni (nazivni) napon U_n ,
- naznačena (nazivna) snaga P_n ,
- naznačeni (nazivni) faktor snage $\cos \varphi_n$, i
- broj okretaja rotora n .

Pored ovih podataka, u nekim slučajevima potrebno je postaviti i posebne zahtjeve, kao što su: veličina sinhronne reaktanse, opseg regulacije napona, obrtni moment, broj faza, sprega namotaja statora i dr. što zavisi od zahtjeva koje mreža postavlja generatoru.

Naznačeni (nazivni) napon. Koliki će se naznačeni napon generatora odabrati zavisi od šeme elektrane i od napona mreže na kojoj će generator raditi (ako nije predviđena transformacija između generatora i mreže).

Kad u elektrani postoje generatorske sabirnice na koje je priključena mreža, naznačeni napon generatora određen je naponom mreže. Naznačeni napon generatora u bloku sa transformatorom ne zavisi od napona mreže, pa se taj napon može odabrati na osnovu kriterijuma ekonomičnosti, uzimajući u obzir generator, transformator bloka, transformator za sopstvenu potrošnju (ako takav postoji) i aparate generatorskog napona.

Naznačena (nazivna) snaga generatora daje se kao prividna snaga (kVA ili MVA). Ona je određena maksimalnom aktivnom snagom koju može dati generator i zavisna je od maksimalne snage pogonske mašine i od naznačenog faktora snage.

Odnos između maksimalne aktivne snage (P_n) i jednovremene maksimalne prividne snage (S) definisan je **naznačenim (nazivnim) faktorom snage**, koji je određen relacijom:

$$\cos \varphi_n = \frac{P_n}{S} = \frac{P_n}{\sqrt{P_n^2 + Q_n^2}}, \quad (2.5)$$

gdje je Q_n maksimalna reaktivna snaga koju generator može proizvesti uz snagu P_n .

Naznačeni (nazivni) faktor snage predstavlja karakterističnu veličinu generatora, koja predstavlja mjeru za sposobnost generatora da proizvodi reaktivnu snagu.

Z

Danas su sinhroni generatori gotovo jedini izvori električne energije u EES. Instalirana snaga svih ostalih vrsta izvora električne energije je skoro zanemarljiva u odnosu na ukupnu snagu svih instaliranih sinhronih generatora.

Naznačena (nazivna) snaga sinhronih generatora kreće se od nekoliko stotina (kW) do nekoliko hiljada (MW). S obzirom na to da su EES pretežno trofazni sistemi, u njima se koriste isključivo trofazni sinhroni generatori.

Z

Standardni naznačeni naponi generatora su: 0,4; 0,525; 3,15; 6,3; 10,5; 15,75... kV. Ovi naponi generatora su za 5% viši od naznačenih napona mreže, kako bi se kompenzirao pad napona u vodovima.

Broj okretaja generatora n (naznačena brzina obrtanja) određuje se prema broju okretaja pogonske mašine s tim da odabrani broj okretaja mora da se podudara sa jednim od sinhronih brojeva okretaja određenim frekvencijom mreže f (Hz) i brojem pari polova generatora p :

$$n = 60 \cdot \frac{f}{p} \quad (2.6)$$

Sinhroni generatori mehaničku energiju dobijaju od pogonskih uređaja (to su uglavnom parne i hidroturbine).

Različite konstrukcije sinhronih generatora potiču od potrebe da se generatori prilagode pogonskim uređajima, odnosno da se izbjegne korišćenje mehaničkih reduktora.

Konstruktivno se sinhroni generatori sastoje iz dva osnovna dijela:

- nepokretnog dijela – **statora** u čijim žljebovima se nalazi trofazni namotaj i
- obrtnog kola – **rotora**, sa elektromagnetima do čijih namotaja se dovodi jednosmjerna struja pomoću kontaktnih prstenova na osovini rotora i dirki koje naliježu na njih.



U praksi se koriste dva osnovna tipa sinhronih generatora a to su:

- sinhroni generator sa rotorom sa istaknutim polovima ili hidrogenerator i
- sinhroni generator sa valjkastim rotorom ili turbogenerator.

Statori obje vrste sinhronih generatora u principu su isti. Sastoje se od gvozdernih cilindara formiranih od prstenastih limova koji su s unutrašnje strane ožljebljeni da bi se mogao smjestiti trofazni statorski namotaj. Formiranje statorskog magnetnog kola sinhronog generatora u vidu „paketa“ limova koji su međusobno izolovani obezbjeđuje smanjenje gubitaka u gvožđu statora.

Pošto ekonomičnost parnih turbina raste sa porastom brzine obrtanja, turbogeneratori, koje pogone parne turbine, grade se kao dvopolne sinhronne mašine sa sinhronom brzinom obrtanja od $n = 3000$ (ob/min) pri frekvenciji od $f = 50$ Hz, odnosno sa brojem pari polova $p = 1$.

Za razliku od parnih, hidroturbine ekonomično rade pri znatno manjim brzinama obrtanja. Ekonomične brzine obrtanja hidroturbina, u zavisnosti od tipa turbine, kreću se od nekoliko desetina obrtaja u minutu do nekoliko stotina obrtaja u minutu. Zbog toga se hidrogeneratori izrađuju kao višepolne mašine sa onolikim brojem pari polova sa kojim se postiže mehanička sinhrona brzina obrtanja bliska ekonomičnoj brzini izabrane hidroturbine. Veza između broja pari polova p , mehaničke sinhronne brzine obrtanja rotora n – (ob/min) i frekvencije statorskih struja f – (Hz) data je sa:

$$p = 60 \cdot \frac{f}{n} \quad (2.7)$$

Postupak ugrađivanja rotora hidrogeneratora prikazan je na Slici 2.35.

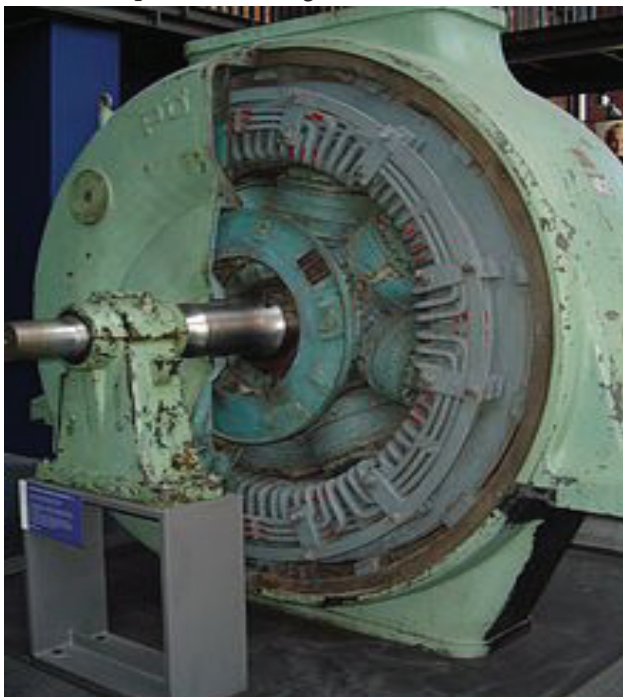


Slika 2.35. Ugrađivanje rotora hidrogeneratora

Da bi se mogao smjestiti veliki broj polova po obimu, rotori hidrogeneratora imaju relativno velike prečnike (i preko 15 m) i relativno malu dužinu u odnosu na prečnik. Ovakva konstrukcija moguća je zbog relativno male brzine obrtanja rotora hidrogeneratora, jer sa porastom broja pari polova raste prečnik, ali brzina obrtanja opada te se smanjuju centrifugalne sile.

Spoljašnji izgled kompletnog naizmjeničnog sinhronog električnog hidrogeneratora sa četiri para polova na rotoru dat je na Slici 2.36.

Sinhroni generator se može povezati na jaku električnu mrežu, ako se ispunе zahtjevi u pogledu brzine obrtanja generatora i jačine pobudne struje tako da napon generatora odgovara naponu mreže. Pobudni namotaj sinhronе mašine napaja se iz posebnog izvora jednosmjerne struje (koji može biti: generator jednosmjerne struje ili statički pretvarač energetske elektronike).



Slika 2.36. Naizmjenični sinhroni električni hidrogenerator sa četiri para polova na rotoru

Postupak kojim se sinhroni generator dovodi u radno stanje da se može priključiti na EES bez negativnih posljedica naziva se **postupak sinhronizacije**. Da bi bilo moguće izvršiti sinhronizaciju, potrebno je da se ispune sljedeći uslovi:

1. Prije prve sinhronizacije potrebno je utvrditi redosljed faza. Faze na generatoru se moraju slagati sa fazama na mreži. Ovaj uslov se obično izvodi samo na početku, pri prvom povezivanju generatora. Kada se jednom ovaj uslov ispuni, više ga nije potrebno izvoditi.

2. Frekvencija generatora mora biti jednaka frekvenciji mreže. U simetričnom trofaznom sistemu frekvencija se može utvrditi mjerenjem frekvencije i na strani mreže i na strani generatora.

3. Naponi generatora moraju biti jednaki naponima na mreži.

4. Naponi generatora i mreže moraju biti u fazi.

Zbog električnih, mehaničkih i toplotnih naprezanja kojima je izložena izolacija sinhronog generatora, u pogonu mogu da nastupe različiti kvarovi.

Osim kvarova, u pogonu se javljaju i **pogonska stanja** opasna za normalan rad generatora, koja mogu da dovedu do kvara ukoliko se ne bi spriječio takav rad generatora.

Kako generator predstavlja veliku vrijednost i s obzirom na nabavnu cijenu i s obzirom na štete koje nastaju u slučaju nemogućnosti proizvodnje električne energije, to je neophodno predvidjeti zaštitu koja će:

- ili spriječiti da dođe do oštećenja generatora,
- ili ograničiti oštećenje zbog već nastalog kvara.

Zaštitni uređaji generatora mogu se podijeliti na:

- uređaje koji djeluju kad je već nastao kvar u šticećenom generatoru i
- uređaje koji treba da zaštite generator od djelovanja kvarova nastalih izvan njega.

Prilikom donošenja odluke o izboru vrste zaštite i o obimu zaštite poželjno je poznavati vjerovatnoću nastanka kvarova na generatoru.

2.2.3.9. Odvodni organi

Odvod vode kod hidroelektrana (Slika 2.37) se izvodi kao:

- **tunel** ili
- **kanal**.

Zadatak mu je da vodu nakon iskorišćenja u turbinama vrati u korito vodotoka ili da je, kao dovodni organ, dovede do zahvata sljedeće hidroelektrane.



Slika 2.37. Odvod vode kod hidroelektrana

2.2.3.10. Hidromašinska oprema

Hidromašinska oprema je kompleks opreme koja je ukomponovana u sistem hidroenergetskog postrojenja i hidrotehničkih objekata, sa osnovnim zadatkom da upravlja i reguliše tehnički proces i zaštiti postrojenje od havarija i oštećenja.

Osnovni zadaci hidromašinske opreme su:

- da u skladu sa potrebama pogona elektrane u normalnom pogonu, obezbijedi i reguliše odgovarajući dotok vode,
- da u slučaju kvara na pojedinim dovodnim organima elektrane, izvrši zatvaranje i obustavu protoka vode u najkraćem dozvoljenom vremenu, i
- da spriječi ulaz stranih tijela u dovodne organe elektrane, da ne bi došlo do njihovog začepljenja ili oštećenja.

S obzirom na zadatak i namjenu u okviru hidroenergetskog postrojenja, hidromašinska oprema ima različit oblik. Izrađuje se od čelika, gvožđa i drugih materijala i ugrađuje se najčešće u hidrotehničke konstrukcije koje se grade od betona ili čelika, kao i u kombinaciji ova dva materijala.

Hidromašinska oprema se može, prema osnovnom zadatku i namjeni, podijeliti na sljedeće elemente:

1. **Rešetke** koje treba da spriječe ulaz raznih čvrstih predmeta u protočni dio turbine (otpadnog materijala, lišća, leda u toku zime i sl.).
2. **Zatvarače** – regulacioni mašinski elementi, koji služe za otvaranje i zatvaranje cjevovoda kao i za regulisanje protoka (količinska regulacija), odnosno određivanje snage kojom će turbina raditi.
3. **Uređaje za manipulisanje** sa hidromašinskom opremom i pomoćne uređaje, kao što su razni kranovi, dizalice i sl., kojima se manipuliše sa hidromašinskom opremom u toku rada, ili se manipuliše pojedinim sastavnim elementima prilikom remonta. U pomoćne uređaje ulaze svi uređaji koji imaju zadatak da obezbijede dobar i efikasan rad hidromašinske opreme. U ove uređaje spada i uređaj za čišćenje rešetke od otpadnog materijala koji se nakupio ispred rešetke, razne kuke, nosači i kliješta koja omogućavaju razna spajanja i sl.

Projektovanje i montaža hidromašinske opreme (HMO) i pomoćnih uređaja je od velikog značaja za uspješan rad hidroelektrane. Izbor hidromašinske opreme za dati hidroenergetski objekat vrši se u zavisnosti od vrste hidroelektrane i njene veličine, kao i uslova pod kojim će ta oprema raditi, odnosno od uslova eksploatacije.

Raspored HMO u jednom hidroenergetskom postrojenju je jedinstven/principijelan i važi samo za to hidroenergetsko postrojenje. Kako univerzalna šema hidroenergetskog postrojenja ne postoji (postoji samo principijelna šema), to i izbor hidromašinske opreme zavisi od konkretne situacije, tj. razlikuje se od postrojenja do postrojenja, jer je svako rješenje za sebe unikatno i jedinstveno.

Rešetke. Dobar i uspješan rad agregata i postrojenja, u cjelini, zavisi od čistoće vode koja prolazi kroz turbinu. Rešetka se koristi za odstranjivanje čvrstih plivajućih predmeta, leda i drugih otpadnih materijala koji bi mogli da dovedu do začepljenja protočnih presjeka i na taj način izazovu prestanak rada turbine ili dovedu do većih havarija i drugih oštećenja.

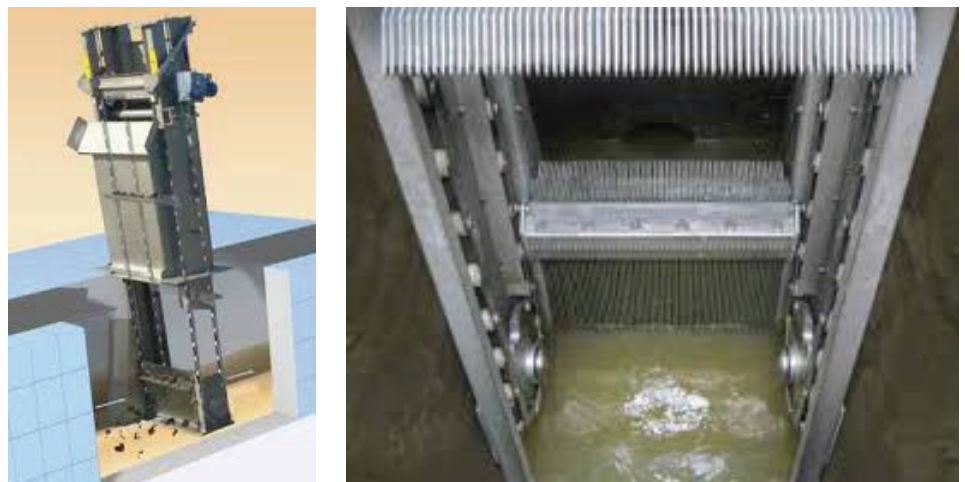
Rešetka se postavlja na početku hidroenergetskog sistema, tj. u vodozahvatu i ispred same turbine, ako je riječ o otvorenom derivacionom kanalu, jer i u njemu može doći do pojave nečistoća (lišće, granje i dr.).

Jedan od načina čišćenja otpada sa rešetke na zahvatu akumulacionog bazena prikazan je na Slici 2.38.



Slika 2.38. Čišćenje rešetke od nanosa na vodozahvatu akumulacije

U zavisnosti od toga gdje se rešetka postavlja i prema načinu zahvatanja vode iz vodozahvata, rešetka može biti površinska ili potopljena (dubinska). Jedno od mogućih konstruktivnih rješenja sa vertikalnom rešetkom dato je na Slici 2.39.



Slika 2.39. Vertikalna rešetka na vodozahvatu akumulacije

Rešetka se obično sastoji od vertikalnih štapova koji se postavljaju na određenom međusobnom rastojanju, u zavisnosti od kvaliteta rešetke, odnosno da li je rešetka:

- fina, koja se postavlja kao prvi element na dovodnim organima, ili
- gruba, koja se postavlja na ispuštima i protočnim organima većeg profila.

Rešetka je uvijek u pogonu (u vodi), osim kada se vrši godišnji remont, kada turbinski agregati ne rade. Tada se umjesto rešetke u isti otvor spušta remontni zatvarač i time zatvara dotok vode do turbine tako da potreban remont može neometano da se obavi.

Zatvarači. Uređaji za zatvaranje ili otvaranje hidrotehničkih objekata i postrojenja i regulisanje protoka vode, uglavnom se principijelno dijele u dvije osnovne grupe i to:

- **Ustave**, koje služe za zatvaranje, otvaranje i regulaciju u otvorenim kanalima i akumulacijama.
- **Zatvarači**, koji služe za zatvaranje, otvaranje i regulisanje protoka u cjevovima.

Izbor zatvarača za otvaranje i zatvaranje cjevovoda pod pritiskom, predstavlja vrlo složen i odgovoran tehnički zadatak u projektovanju hidromašinskog postrojenja. Nesmetan rad i vijek trajanja čitavog postrojenja zavisi od izbora odgovarajuće hidromašinske opreme.

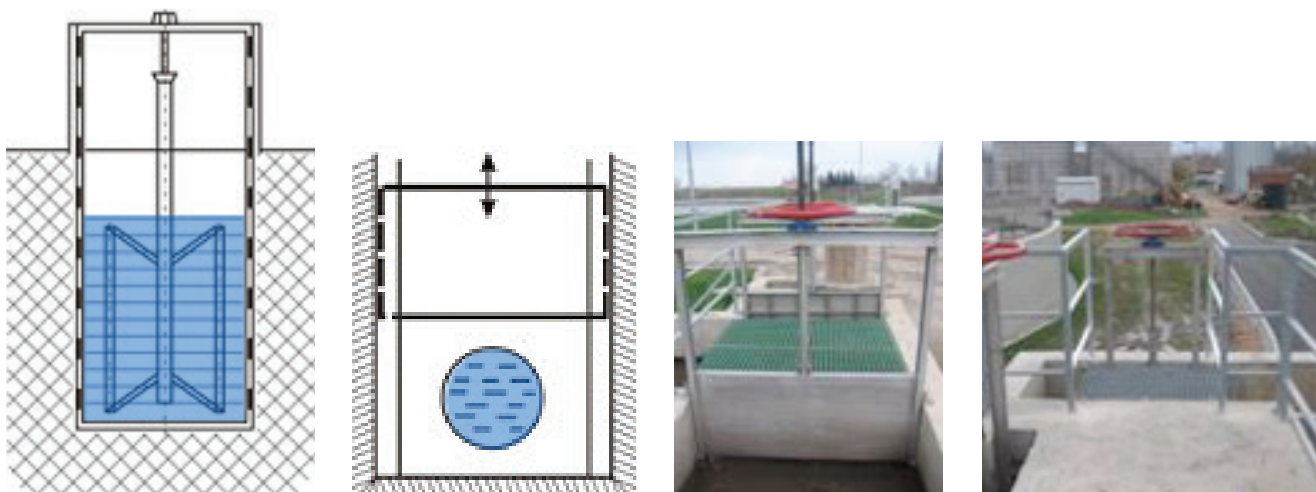
Zatvarači za cjevovode pod pritiskom u hidroenergetskim postrojenjima, odnosno hidroelektranama, dijele se na:

- tablaste zatvarače (pljosnate zasune),
- leptiraste zatvarače,
- kuglaste (loptaste) zatvarače i
- iglaste (Džonsonove) zatvarače.

Tablasti zatvarači (pljosnati zasuni) nalaze široku primjenu u svim oblastima energetike, tj. tamo gdje se transportuje fluid, bez obzira da li je tečnost, para ili gas (Slika 2.40).

Kod hidroenergetskih postrojenja, našli su primjenu kod hidroelektrana koje rade sa malim parametrima, tj. za hidroelektrane male snage, odnosno malog protoka i jediničnog rada.

Karakteristična osobina ovog zapornog organa je da se zaporno tijelo u kućištu zatvarača kreće samo translatorno, pa se kod njih pritisci odražavaju u vidu velikog trenja u vodicama. Jednostavne su konstrukcije, relativno jeftini i dobro zatvaraju protok vode.

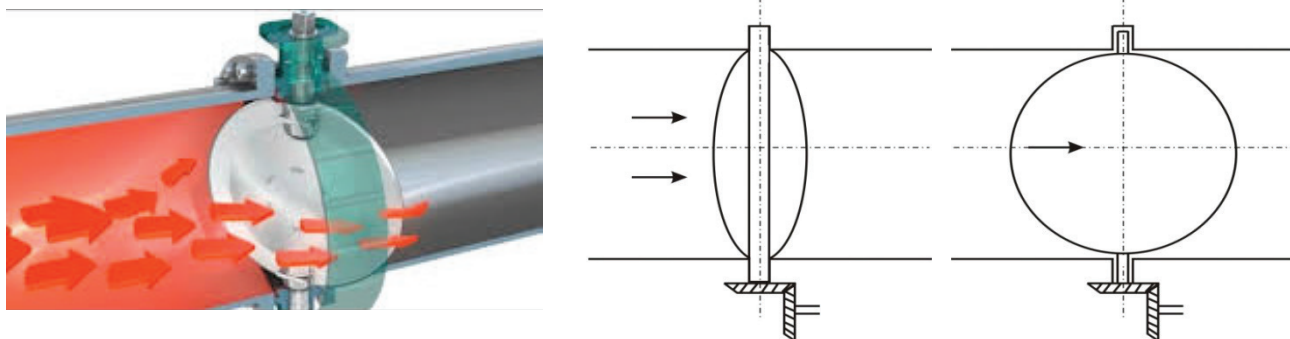


Slika 2.40. Principijelne skice i slike tablastog zatvarača

Osnovna namjena **leptirastih zatvarača** je zatvaranje i otvaranje cjevovoda pod pritiskom, ali su primjenu našli i kao regulacioni organi za regulisanje protoka. U posebnim slučajevima, leptirasti zatvarači nalaze primjenu i kao zaštitna i sigurnosna armatura za cjevovode pod pritiskom u slučaju havarije (povratna klapna u pumpnim postrojenjima). To su zaporni organi predviđeni za zatvaranje, odnosno otvaranje poprečnog presjeka cjevovoda.

Relativno su jednostavne konstrukcije, jeftini i sa njima se lako rukuje. Mana im je što ne mogu dobro da zatvaraju, odnosno, zbog potrebe za manipulacijom mora postojati određen razmak između leptira (zaporne ploče) i cijevi, kroz koji pri velikim pritiscima curi voda.

Vrlo jednostavna skica leptirastog zatvarača, u otvorenom i zatvorenom položaju data je na Slici 2.41.



Slika 2.41. Izgled i skica leptirastog zatvarača

U zatvorenom položaju zaporne ploče, strujanje radnog fluida je prekinuto i dionice cjevovoda su razdvojene.

U otvorenom položaju zaporne ploče, osigurano je nesmetano strujanje radnog fluida uz relativno male gubitke strujne energije.

U međupoložajima zaporne ploče, smanjuje/ili povećava se protok fluida kroz zatvarač, odnosno, vrši se količinsko regulisanje protoka.

Područje primjene leptirastih zatvarača su: energetska postrojenja (hidro i termoelektrane, pumpna postrojenja...), vodosnadbijevanje, industrija, procesna tehnika i dr.

Kuglasti (loptasti) zatvarač za cjevovode pod pritiskom našao je najširu primjenu kod vodnih turbina u hidroelektranama kao predturbinski zatvarač, jer veoma dobro zatvara protok vode.

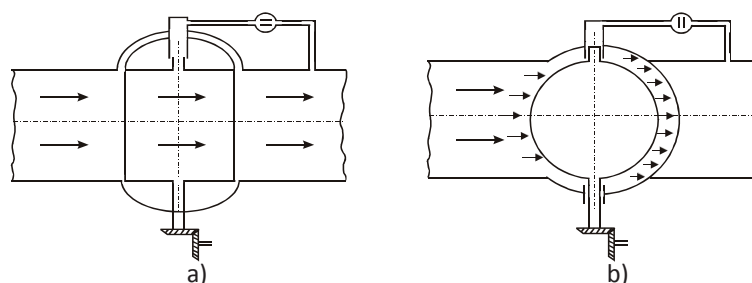
Osnovna prednost kuglastih zatvarača je u tome što u potpuno otvorenom položaju on predstavlja produžetak cjevovoda, pa su hidraulični gubici u njima praktično jednaki nuli, a tok vode ne trpi nikakve promjene.

Od tablastih zatvarača razlikuje se po pomjeranju zapornog tijela. Kod tablastih pomjera se translatorno, dok se kod kuglastih zatvarača zaporni organ pomjera kružno i to samo za 90°.

Kuglasti zatvarač se, po pravilu, ne primjenjuje za regulisanje protoka, jer u međupoložajima zapornog dijela dolazi do nepoželjnog toka vode. Zbog ovoga se kuglasti zatvarač koristi samo za krajnje položaje otvoreno - zatvoreno, i to za brzo otvaranje i zatvaranje.

Iza kuglastog zatvarača uvijek se ugrađuje vazdušni ventil za odstranjivanje vazduha iz spirale kada se ona puni vodom i za odvod atmosferskog vazduha pri pražnjenju spirale.

Vrlo jednostavna skica kuglastog zatvarača, u položajima: a) otvoren i b) zatvoren data je na Slici 2.42.

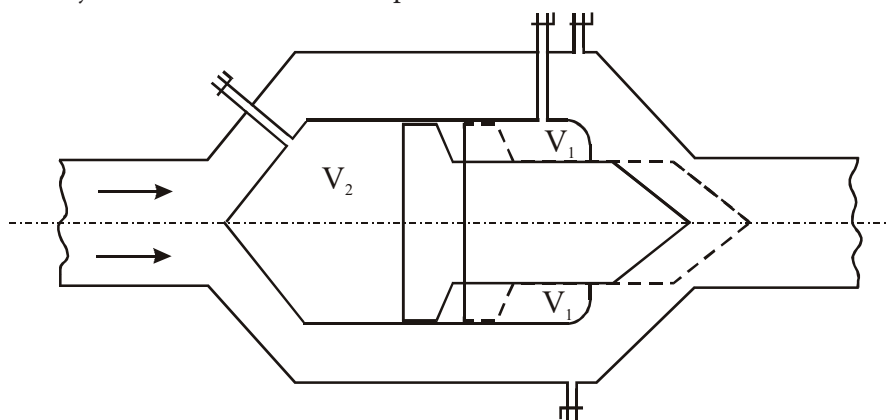


Slika 2.42. Principijelna skica kuglastog zatvarača

Kuglasti zatvarač sastoji se od kućišta – tijela zatvarača, koje predstavlja dvije polukugle koje su spojene zavrtnjima u jednu cjelinu. Tijelo zatvarača obično je izrađeno od livenog čelika, a za velike jedinične radove i od livenog legiranog čelika, i obično je vrlo masivno.

Zaporni organ je izrađen u obliku cilindrične cijevi i isti se može zakretati pomoću dva rukavca, koji su postavljeni u odgovarajuće ležajeve koji se nalaze u kućištu zatvarača. Na zapornom organu, na odvodnoj strani, ugrađen je elastični segmentni zaptivač.

Iglasti (Džonsonov) zatvarač (Slika 2.43) je prvo našao široku primjenu u SAD, ali njegova primjena je sve veća u Evropi i ostatku svijeta, i to najčešće kao regulacioni zatvarač, a rjeđe se koristi kao zaporni organ. U pogledu konstrukcije dosta se razlikuje u odnosu na sve ostale tipove zatvarača.



Slika 2.43. Principijelna skica iglastog zatvarača

Zbog svojih dobrih osobina primjenjuje se naročito kod cjevovoda koji rade pod visokim pritiscima, najčešće kao predturbinski zatvarač.

Zbog složenosti svoje konstrukcije dosta je skup. Nedostaci su mu njegovi gabariti i velika masa. Mase leptirastog, kuglastog i iglastog zatvarača istih dimenzija stoje u razmjeri 1 : 2 : 3.

Iglasti zatvarači imaju odlične hidraulične karakteristike: njegov zaporni organ dobro se opstrujava tokom vode, nema velikih problema sa zaptivanjem, njima se lako upravlja i može se lako omogućiti bilo koji položaj (a time i protok vode).

Sastoji se od dva cilindrična dijela, koji su postavljeni tako da mogu kliziti jedan u odnosu na drugi. Ova dva dijela zatvarača obrazuju dvije šupljine, V_1 i V_2 , koje su preko ventila povezane ili sa dotokom vode ili sa okolinom. Kada se u komoru V_2 pusti da proдре voda pod pritiskom, a komora V_1 se poveže sa atmosferom, unutrašnji dio zatvarača se pod pritiskom vode pomjera, i vrši zatvaranje cijevi. Obrnuto, kada se šupljina V_2 veže sa atmosferom, a šupljina V_1 sa vodom pod pritiskom, pod dejstvom vode iz V_1 vrši se pomjeranje unutrašnjeg dijela u suprotnom smjeru, čime se otvara veći dotok vode.

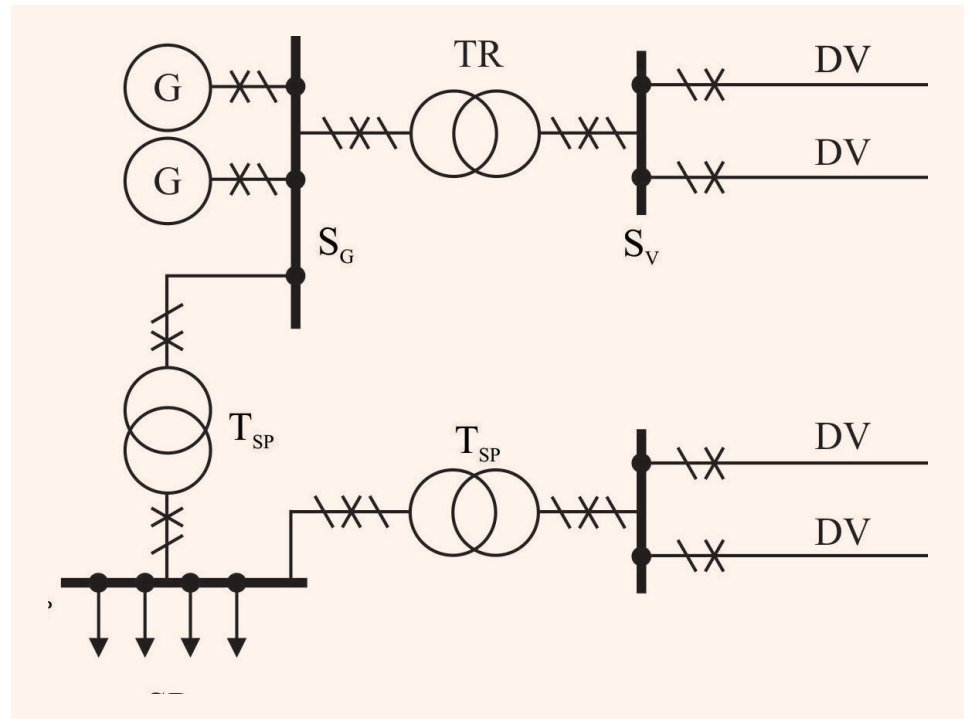
Kućište zatvarača je, u stvari, nastavak cjevovoda pod pritiskom, ali sa nešto većim spoljašnjim prečnikom. U kućištu se nalazi pokretno cilindrično tijelo, koje se završava zapornim organom i koje se kreće po vodičama. Na zapornom tijelu postavljen je pokretni zaptivač, dok je na kućištu zatvarača postavljen nepokretni zaptivač. Nalijeganjem jednog zaptivača na drugi ostvaruje se hermetički spoj i prekida tok tečnosti.

Ovi zatvarači nalaze široku primjenu kao regulacioni zatvarači kod cjevovoda, gde se mijenja protok u toku rada. Zaporno tijelo u tom slučaju zauzima različite položaje.

2.2.3.11. Visokonaponsko razvodno postrojenje

Visokonaponska razvodna postrojenja postoje i u hidroelektranama, kao sastavni dio elektrana, u kojima im je osnovni zadatak da raspodjeljuju energiju proizvedenu u generatorima na vodove koji povezuju elektranu sa mrežom.

Veoma jednostavna jednopolna šema jednog tipa visokonaponskog razvodnog postrojenja u elektrani (sa sabirnicama na generatorskom naponu) data je na Slici 2.44.



G – generator, S_G – sabirnice na generatorskom naponu, TR – transformator, S_V – sabirnice visokog napona, DV – dalekovod, T_{sp} – transformatori za sopstvenu potrošnju, S_{sp} – sabirnice za sopstvenu potrošnju, SP – sopstvena potrošnja, \ – rastavljač, x – prekidač.

Slika 2.44. Primjer jednopolne šeme razvodnog postrojenja u elektrani

Razvodno postrojenje elektrane u većini slučajeva je smješteno u samoj mašinskoj zgradi ili neposredno uz nju. Samo u izuzetnim slučajevima visokonaponsko razvodno postrojenje se nalazi daleko od mašinske zgrade.

Osnovni podaci i karakteristike visokonaponskih razvodnih postrojenja, koji se odnose i na visokonaponska razvodna postrojenja u hidroelektranama su dati u okviru poglavlja 1.4.2.

2.2.4. Osnovne karakteristike hidroelektrana

Osnovne karakteristike hidroelektrana se mogu podijeliti u četiri grupe:

- **hidrološke** karakteristike vodotoka;
- karakteristike **akumulacije i pada**,
- **energetske** karakteristike hidroelektrane i
- **ekonomske** karakteristike hidroelektrane.

2.2.4.1. Hidrološke karakteristike hidroelektrana

Hidrološke karakteristike hidroelektrana su:

- **veličina,**
- **raspored i**
- **trajanje protoka.**

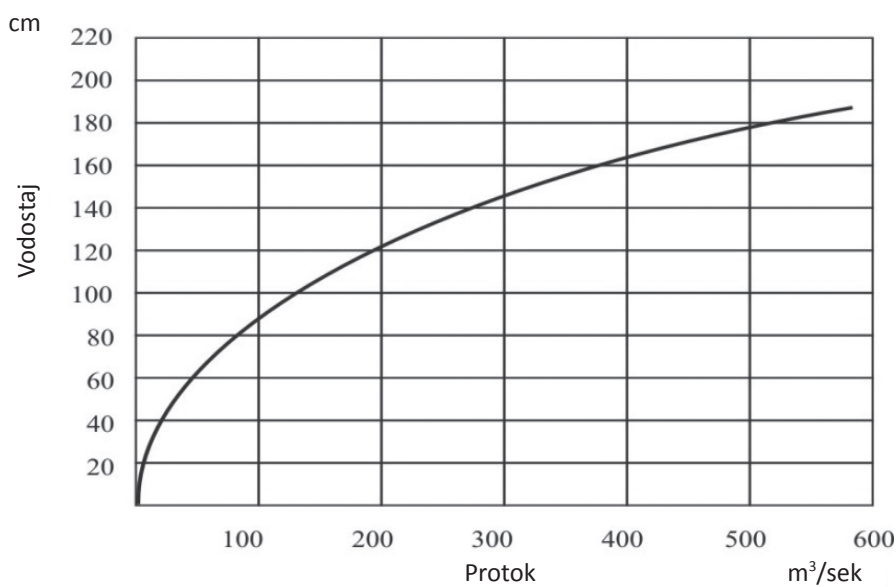
Mogućnost proizvodnje električne energije u hidroelektrani zavisi od količine vode koju donosi vodotok, pa je poznavanje te količine i po veličini i po vremenskom rasporedu, od velike važnosti i za projektovanje i za pogon hidroelektrane. Pri energetskim analizama nekog vodotoka treba pažljivo voditi računa i o svim drugim korisnicima vode.

Količina vode u vodotoku i vremenski raspored tih voda zavise od niza uticaja, kao što su:

- padavine,
- sastav i topografija zemljišta,
- temperatura vazduha,
- biljni pokrivač i dr.

Zbog postojanja brojnih važnih uticaja kao osnova za utvrđivanje količine vode mogu poslužiti samo svakodnevna mjerenja količina vode, koja se vrše pomoću **vodokaza**, na kojima se očitava visina nivoa vode tzv. **vodostaj**.

Pomoću vodostaja (u cm) može se iz **konsumpcione krive** očitati protok vode (u m^3/s). Konsumpciona kriva (Slika 2.45) konstruiše se na osnovu posebnih mjerenja, a zavisna je od oblika korita na mjestu ugradnje vodokaza.

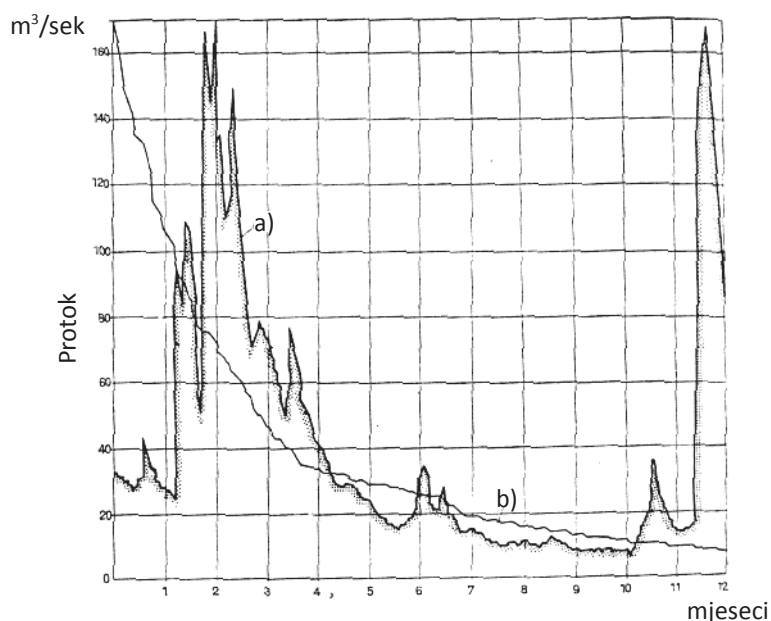


Slika 2.45. Primjer konsumpcione krive vodotoka

Na osnovu određenih (srednjih) dnevnih protoka ($Q m^3/s$) može se nacrtati godišnji dijagram protoka (Slika 2.46. kriva a) u kojemu su hronološki poređani protoci. Pomoću podataka o dnevnim protocima mogu se odrediti srednji desetodnevni protoci (dekadni protoci), srednji mjesečni protoci i, konačno, srednji godišnji protok. Svi ti srednji protoci određeni su kao aritmetičke sredine dnevnih protoka u posmatranom periodu.

Ako se nacrtaju dijagram u kojem su dnevni protoci uneseni redom po veličini od najvećeg do najmanjeg, dobija se tzv. kriva trajanja protoka (Slika 2.46. kriva b).

Integraljenjem godišnjeg dijagrama protoka ili krive trajanja protoka (što daje isti rezultat) dobija se zapremina vode (V) koja je protekla kroz posmatrani profil u posmatranoj godini. Pri tome kao apscisu treba uzeti protekli broj sekunda.



Slika 2.46. Godišnji dijagram protoka vodotoka: a) kriva protoka, b) kriva trajanja protoka

Srednji **godišnji protok** može se tada izračunati prema ranije navedenoj formuli (2.4):

$$Q_{sr} = \frac{V}{31,54 \cdot 10^6} \quad (2.8)$$

Posmatranje protoka u samo jednoj godini može dovesti do pogrešnih zaključaka o količinama i rasporedu voda u posmatranom vodotoku, pa je, radi dobijanja što tačnijih i pouzdanijih rezultata, potrebno posmatranje protegnuti na što je moguće duži vremenski period.

Osim krivih trajanja protoka, u kojima su uneseni podaci iz cijele godine, mogu se nacrtati krive trajanja protoka za pojedina razdoblja u godini (zimu ili ljeto ili sušni i kišni period i sl.) ili krive trajanja za pojedine mjesece. Ako se želi nacrtati kriva trajanja npr. za mjesec januar, moraju se uvažiti podaci za sve januare u posmatranom razdoblju.

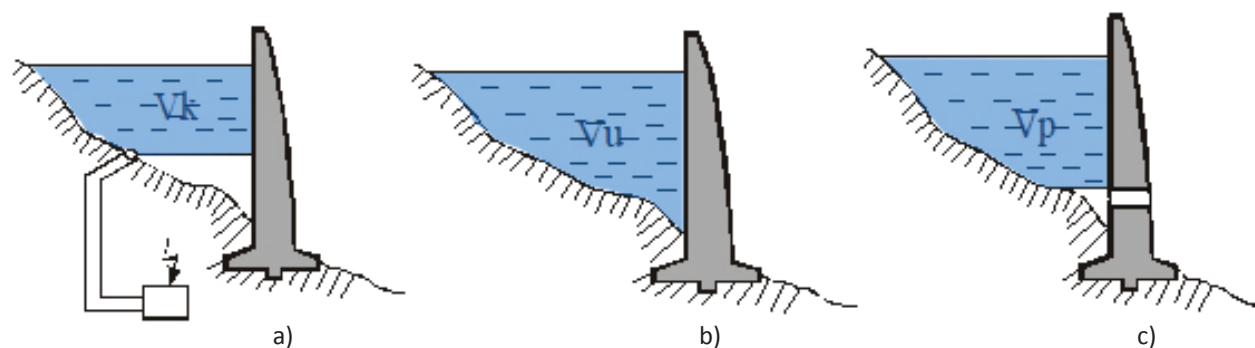
2.2.4.2. Karakteristike akumulacije i pada

Karakteristike akumulacije i pada su:

- **zapremina akumulacijskog bazena,**
- njena **energetska vrijednost** i
- **pad.**

Kada se govori o zapremini akumulacionog bazena, razlikuje se:

- **ukupna** ili geometrijska zapremina akumulacionog bazena V_u ,
- korisna zapremina akumulacionog bazena V_k i
- zapremina **pražnjenja** V_{pr}



Slika 2.47. Zapremine akumulacionog bazena: a) ukupna; b) korisna i c) zapremina pražnjenja

Ukupna ili geometrijska zapremina (Slika 2.47a) akumulacionog bazena je ukupna zapremina vode koja se može smjestiti između tla na dnu i najviše kote vode u akumulacijskom bazenu.

Korisna zapremina (Slika 2.47b) akumulacijskog bazena je zapremina vode koja se može smjestiti između najviše i najniže kote u normalnom pogonu i samo ona ima uticaja na regulisanje protoka.

Zapremina pražnjenja (Slika 2.47c) je maksimalna količina vode koja se može, za slučaj pražnjenja radi pregleda, popravke, radova na zahvatu i sl. ispustiti iz akumulacije svim uređajima za pražnjenje.

Akumulacioni bazen karakteriše se i **energetskom vrijednošću akumulacije**, koja predstavlja količinu električne energije koja bi se proizvela u sopstvenoj hidroelektrani i u svim nizvodnim hidroelektranama kad bi se ispraznila korisna zapremina bez dotoka vode u bazen i bez gubitka vode.

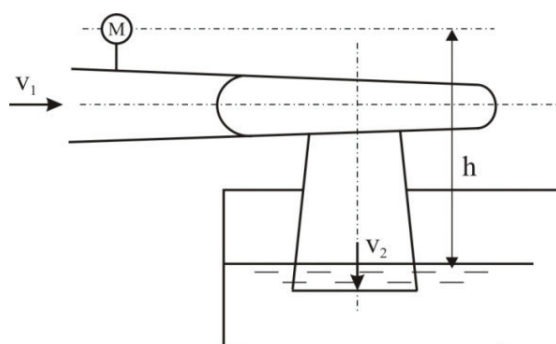
Karakteristika akumulacionog bazena je i **koeficijent stanja**, tj. odnos energetske vrijednosti akumulacije u posmatranom trenutku i energetske vrijednosti korisne akumulacije.

U hidroelektrani se razlikuju:

- **prirodni pad** ili bruto pad H_b i
- **korisni pad** ili neto pad H_n .

Prirodnim ili bruto-padom H_b naziva se razlika između nivoa vode na zahvatu (gornje vode) i nivoa vode nakon povratka u korito ili na kraju odvoda (donje vode). To je, dakle, pad koji pružaju prirodni uslovi.

Zbog gubitaka u zahvatu, dovodu vode, cjevovodu pod pritiskom i odvodu vode, na ulazu u turbinu na raspolaganju je pritisak koji je, mjereno u metrima stuba vode (m s.v.), manji od prirodnog pada. Pritisak na ulazu u turbinu može se izmjeriti manometrom (M na Slici 2.48).



Slika 2.48. Mjerenje pritiska na ulazu u turbinu

Kako manometar M pokazuje samo statički pritisak (h_m u m s. v.), treba još uvažiti i brzinske razlike na ulazu (v_1) i na izlazu (v_2) turbine. Osim toga treba uračunati i položaj manometra (h) iznad nivoa vode na izlazu iz turbine. Poznajući sve te veličine, može se odrediti pritisak koji vlada na ulazu u turbinu preko izraza:

$$H_n = h_m + h + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.9)$$

Pritiskom (visinom) H_n određen je **neto pad u hidroelektrani**.

Izraz (2.9) vrijedi za reakcione turbine (Fransisovu, Kaplanovu, propelernu turbinu...). Za akcione turbine (Pelton), h je položaj manometra iznad srednjeg nivoa mlaznika, a za brzinu na izlazu uzima se $v_2 = 0$.

Ni bruto pad ni neto pad nijesu konstantni. Na bruto pad (H_b) utiču promjene nivoa donje i gornje vode, a na neto pad (H_n) osim promjena nivoa još i promjena vrijednosti gubitaka.

2.2.4.3. Energetske karakteristike hidroelektrana



U osnovne energetske karakteristike hidroelektrana ubrajaju se:

- **snaga** hidroelektrane i
- **moгуća proizvodnja** hidroelektrane.

Pored ovih, osnovnih energetskih karakteristika, postoji još energetskih karakteristika (koje su nabrojane i objašnjene u prethodnom tekstu), koje se najčešće smatraju dodatnim ili ostalim, kao što su: stepeni djelovanja, energetska vrijednost akumulacije i sl.

Snaga generatora mjerena na pragu hidroelektrane P u kW može se odrediti iz relacije:

$$P = \gamma \cdot g \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot Q \cdot (H_b - \Delta H) \cdot (1 - P_{spt}) \cdot 10^{-3} = 9,81 \cdot \eta \cdot Q \cdot H_n, \quad (2.10)$$

gdje je:

Q – protok vode kroz turbinu (m^3/s),

$H_n = (H_b - \Delta H)$ – neto pad (m),

H_b – bruto pad (m),

$\eta = \eta_t \cdot \eta_g$ – ukupni stepen korisnog dejstva hidroagregata i stepeni turbina η_t , odnosno generatora η_g ,

P_{spt} – sopstvena potrošnja hidroelektrane (kW),

$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ – specifična masa vode.

Za određivanje snaga kad nijesu poznati stepeni djelovanja može se upotrijebiti približna formula, koja malo odstupa od stvarnog stanja, a znatno olakšava i ubrzava proračune:

$$P \approx k \cdot Q \cdot H_n, \quad (2.11)$$

gdje je P u (kW), Q u (m^3/s), a H_n u (m).



Stepeni djelovanja i turbina i generatora zavise od opterećenja i od broja agregata koji se nalaze u pogonu. Stepen djelovanja pri optimalnom opterećenju u modernim hidroelektranama iznosi i preko 90%. Prosječni stepen djelovanja korišćenja potencijalne energije vode je niži i iznosi za veća postrojenja ~80%, a za manja postrojenja ~75%.

Vrijednost veličine k zavisi od snage agregata u hidroelektrani i od jedinica u kojima su izraženi P , Q i H_n . Za veće hidroelektrane sa agregatima snage $P > 10$ MW, veoma često se koristi aproksimativni izraz:

$$P \approx 8 \cdot Q \cdot H_n \quad (2.12)$$

Koeficijent „8“ iz izraza (2.12) uzima u obzir i stepen iskorišćenja toka vode i postojeće gubitke snage.

Snaga vodotoka može se izračunati i iz poznatog $Q - H$ dijagram vodotoka (Slika 2.7). Srednja snaga vodotoka (P_{sr}) i godišnja energija posmatranog vodotoka su proporcionalne šrafiranoj površini na dijagramu između kota izvora i ušća.

Mogućom dnevnom ili godišnjom proizvodnjom hidroelektrane naziva se ona količina energije koju bi hidroelektrana mogla proizvesti s obzirom na protoke, pad, stepen djelovanja i veličinu izgradnje.

Hidroelektrana se karakteriše mogućom srednjom godišnjom proizvodnjom (GWh), koja je određena kao aritmetička sredina mogućih godišnjih proizvodnja u posmatranom, što dužem, nizu godina. Pri određivanju raspoloživog dotoka vode treba uzeti u obzir postojanje bilo sopstvene akumulacije bilo akumulacija u uzvodnim hidroelektranama. Takođe, treba uzeti u obzir količinu vode za potrebe stanovništva, plovidbu, poljoprivredu i slično. Uz sve ovo pretpostavlja se da su svi dijelovi postrojenja sposobni za pogon, da ne postoje ograničenja u mogućnosti preuzimanja energije, da ne postoje ograničenja proizvodnje zbog uticaja mreže (rezerva, proizvodnja reaktivne snage, regulacija frekvencije...) i sl.

Kao prva aproksimacija, kao što je već rečeno, može se odrediti moguća proizvodnja uz pretpostavku konstantnog stepena djelovanja – pomoću veličine k i konstantnog neto-pada.

Tada je srednja snaga hidroelektrane P_{sr} (kW):

$$P_{sr} = k \cdot Q_{sr} \cdot H_n \quad (2.13)$$

a moguća godišnja proizvodnja W (kWh):

$$W = 8760 \cdot P_{sr} = 8760 \cdot k \cdot Q_{sr} \cdot H_n \quad (2.14)$$

Ako je potrebno preciznije odrediti moguću proizvodnju, što se u nekim slučajevima i traži, mogu se upotrijebiti tačnije postojeće metode, vodeći računa da su one mnogo složenije i zahtjevnije i da za primjenu traže bolje tehničke uslove i više vremena.

2.2.4.4. Ekonomske karakteristike hidroelektrana

Među ekonomske pokazatelje značajne za hidroelektrane ubrajaju se uglavnom:

- **troškovi izgradnje** i
- proizvodna **cijena** električne energije.

Pod troškovima izgradnje hidroelektrane podrazumijevaju se troškovi investicija za sve objekte od zahvata do odvoda, uključujući i odštete za eventualno poplavljeno zemljište i kuće, za premještanje puteva i sl.

Proizvodna cijena električne energije u hidroelektrani je proporcionalna specifičnim investicijama (odnos troškova izgradnje i moguće godišnje proizvodnje).

Veoma važno je voditi računa o činjenici da hidroelektrana praktično nema troškova koji su zavisni od količine proizvedene energije (troškovi goriva), već su svi troškovi stalni, bez obzira na količinu energije koju elektrana proizvodi. Ovo naročito ima značaja i uticaja kada se računa cijena proizvodnje električne energije svedena na predviđeni životni vijek hidroelektrane, kao i kod odlučivanja o izboru najpodesnijeg/ih izvora za proizvodnju električne energije.

2.2.5. Prednosti i nedostaci korišćenja hidropotencijala za proizvodnju električne energije

Ukoliko za zadovoljenje neophodnih potreba za električnom energijom na raspolaganju postoji više različitih izvora energije, da bi se izvršio optimalan izbor između raspoloživih izvora, neophodno je dobro poznavanje svih njihovih specifičnosti, i prednosti i nedostatka.

Kao i kod svih energetske izvora i pri korišćenju hidropotencijala za proizvodnju električne energije postoje određene prednosti i nedostaci.

Osnovne **prednosti** koje favorizuju korišćenje hidropotencijala su:

Veoma bitna prednost korišćenja hidropotencijala (kao obnovljivog izvora energije) smanjena je ili u potpunosti eliminisana emisija gasova staklene bašte. Ako se posmatra samo proces proizvodnje električne energije, može se reći da je emisija gasova staklene bašte u potpunosti eliminisana (nema sagorijevanja goriva). Međutim, važno je istaći da se ovo ne može reći i za cijelu hidroelektranu, kao sistem koji se sastoji od brane, turbine i električnog generatora, akumulacije i sl., koji ipak imaju određene uticaje na životnu sredinu.

Značajna prednost korišćenja hidroelektrana je i u tome što one za pokretanje turbine, odnosno električnog generatora, ne koriste procese sagorijevanja goriva. Na ovaj način je proizvodnja električne energije u hidroelektranama nezavisna od postojanja, ponude i cijene pojedinih vrsta goriva na tržištu.

Hidroelektrane takođe imaju veliku pogonsku pouzdanost i predviđen duži životni vijek nego elektrane na fosilna goriva.

Bitno je istaći i da zbog razvoja tehnike i tehnologije i velikog stepena automatizacije, današnje, moderne hidroelektrane zahtijevaju vrlo mali broj pogonskog i administrativnog osoblja.

Iako su početne investicije, uglavnom zbog investicija u izgradnju objekata hidroelektrana na, po pravilu, nepristupačnim i za izvođenje radova nepovoljnim lokacijama, znatno veće, zbog nepostojanja troškova goriva i dužeg životnog vijeka, cijena proizvodnje električne energije u periodu njenog korišćenja je znatno manja od cijene proizvodnje iz ostalih klasičnih elektrana (na fosilna i nuklearna goriva). Takođe je i period povraćaja investicije u izgradnju hidroelektrane kraći.

Činjenica je takođe da akumulaciona jezera hidroelektrana mogu, osim svoje primarne funkcije za proizvodnju električne energije, imati i određene dodatne pozitivne efekte, kao što su: veoma značajna ulogu u poljoprivrednim aktivnostima (navodnjavanju i sl.), snabdijevanje stanovništva pitkom vodom, prevencija poplava i regulacija toka rijeka, razvoj turizma i sportova na vodi i sl.

Kod navođenja **nedostataka**, pored narušavanja estetskih vrijednosti prostora i negativnih vizuelnih efekata, oni su najčešće uslovljeni postojanjem velikih akumulacija i izgradnjom visokih brana, koje prije svega utiču na lokalne hidrološke prilike i mikroklimu, kao i na uništavanje ekosistema i gubitak zemlje. Takođe i seizmički rizik i geotehnički problemi i opasnost od urušavanja visokih brana, i pored svih sigurnosnih mjera koje se preduzimaju vezano za kvalitet gradnje, konstrukciju i njeno održavanje, izaziva veliki strah od katastrofalnih posljedica za



Mnogobrojna istraživanja na ovu temu pokazuju da su za teritoriju Evrope hidroelektrane, među svim izvorima energije, najmanji proizvođači gasova staklene bašte. Nakon njih slijede redom vjetroelektrane, nuklearne elektrane, energija dobijena fotonaponskim ćelijama i sl.

ljude i čitav ekosistem nizvodno od brane. Ovakve katastrofe su, nažalost, zabilježene u dosadašnjem periodu.

Osim ovoga, zbog izgradnje velikih akumulacionih bazena može doći do plavljenja zemljišta i nanošenja raznog taložnog materijala koji rijeka svojim tokom nosi u obliku pijeska, mulja, nečistoća i sl. Ova pojava vremenom dovodi do smanjivanja dubine vodenog bazena usljed čega akumulacija gubi svoju ulogu. To znatno utiče na životni vijek hidroelektrane, jer može usloviti da nakon određenog vremenskog perioda korišćenje hidroelektrane postane neekonomično.

U nedostatke se ubraja i činjenica da prilikom izgradnje velikih akumulacija, zbog potapanja i uništavanja svega što se našlo ispod površine samog jezera, može doći do uništavanja istorijskih, kulturnih i prirodnih dobara. Ukoliko postoji opasnost od ovoga, neophodno je prije punjenja akumulacionog bazena izmjestiti ove objekte. Isto se odnosi i na naselja i ostale važne objekte i sredstva.

Evidentno je da pri izgradnji ovih objekata dolazi i do značajnije migracije i raseljavanja stanovništva, a i do neophodnosti promjene njihovih osnovnih zanimanja.

Velika zavisnost od klimatskih (hidroloških) uslova koji vladaju na posmatranom vodotoku, takođe predstavlja značajan nedostatak za korišćenje hidroenergetskog potencijala.

U područjima sa višom temperaturom vazduha, prilikom truljenja i raspadanja biljnih ostataka zarobljenih pod vodom, u anaerobnim uslovima, dolazi do stvaranja gasova staklene bašte, prije svega ugljen-dioksida i metana, o čemu je takođe potrebno voditi računa. Naročito može biti problematično stvaranje metana, koji, odlazeći u atmosferu, značajno doprinosi stvaranju efekata staklene bašte.

2.3

TERMoeLEKTRANE

2.3.1. Podjela i princip rada termoelektrana

D

Termoelektrane (TE) su postrojenja u kojima se energija toplote, dobijena na razne načine, poslije određenih energetskih transformacija, pretvara u električnu energiju.

U klasičnim (konvencionalnim, industrijskim) termoelektranama (na fosilna goriva) vrši se višestruka konverzija energija:

- prvo se hemijska energija goriva, sagorijevanjem, pretvara u toplotnu energiju; taj proces odvija se sa visokim stepenom iskorišćenja;
- drugi korak je pretvaranje toplotne energije u mehaničku; ovaj proces odvija se sa niskim stepenom iskorišćenja;
- sljedeći korak je pretvaranje mehaničke energije u električnu, koja se odvija sa visokim stepenom iskorišćenja.

Konverzija hemijske energije u toplotnu vrši se u **ložištima**, konverzija toplotne energije u mehaničku vrši se u sistemu **parni kotao – turbina**, a konverzija mehaničke energije u električnu vrši se u **sinhronoj mašini**.

Ovaj princip važi za najčešće korišćene konvencionalne termoelektrane koje za proizvodnju električne energije koriste proces sagorijevanja goriva, odnosno transformaciju hemijske energije goriva u mehaničku energiju (posredstvom odgovarajućih pogonskih mašina), a zatim se mehanička energija u sinhronom generatoru pretvara u električnu energiju.

Međutim, termoelektrane su takođe i sva druga postrojenja (nuklearne elektrane, geotermalne elektrane, solarne termalne elektrane, elektrane koje koriste toplotu mora i okeana i sl.) koja toplotu dobijenu na bilo koji drugi način, pretvaraju u električnu energiju.

Sve termoelektrane mogu se podijeliti na više načina:

- prema učestanosti korišćenja,
- prema vrsti pogonskih mašina,
- prema upotrijebljenom gorivu,
- prema načinu korišćenja pare,
- prema načinu hlađenja kondenzatora i sl.

Prema **učestanosti korišćenja** termoelektrane se dijele na konvencionalne i nekonvencionalne.



U konvencionalne (klasične, industrijske) termoelektrane, koje se danas najčešće koriste, ubrajaju se termoelektrane koje koriste fosilna goriva i nuklearna goriva (fisija), a u **nekonvencionalne (nove, alternativne)**: geotermalne, solarne termalne, elektrane koje koriste toplotu mora i okeana, elektrane koje koriste nuklearnu fuziju i sl.

Prema vrsti upotrijebljenih **pogonskih mašina** koje pokreću sinhroni generator razlikuju se:

- parne termoelektrane, u kojima je pogonska mašina parna turbina a radni fluid je vodena para,
- termoelektrane sa gasnim turbinama, u kojima je pogonska mašina gasna turbina a radni fluid je vreli gas,
- dizel termoelektrane, u kojima dizel motor služi kao pogonska mašina a radni fluid se dobija iz tečnog goriva (nafte).

U **parnim termoelektranama** kao goriva mogu se koristiti:

- čvrsta,
- tečna,
- gasovita i
- nuklearna goriva.

U **gasnim termoelektranama** koriste se:

- tečna i
- gasovita goriva.

U **dizel termoelektranama** dolazi u obzir samo tečno gorivo.

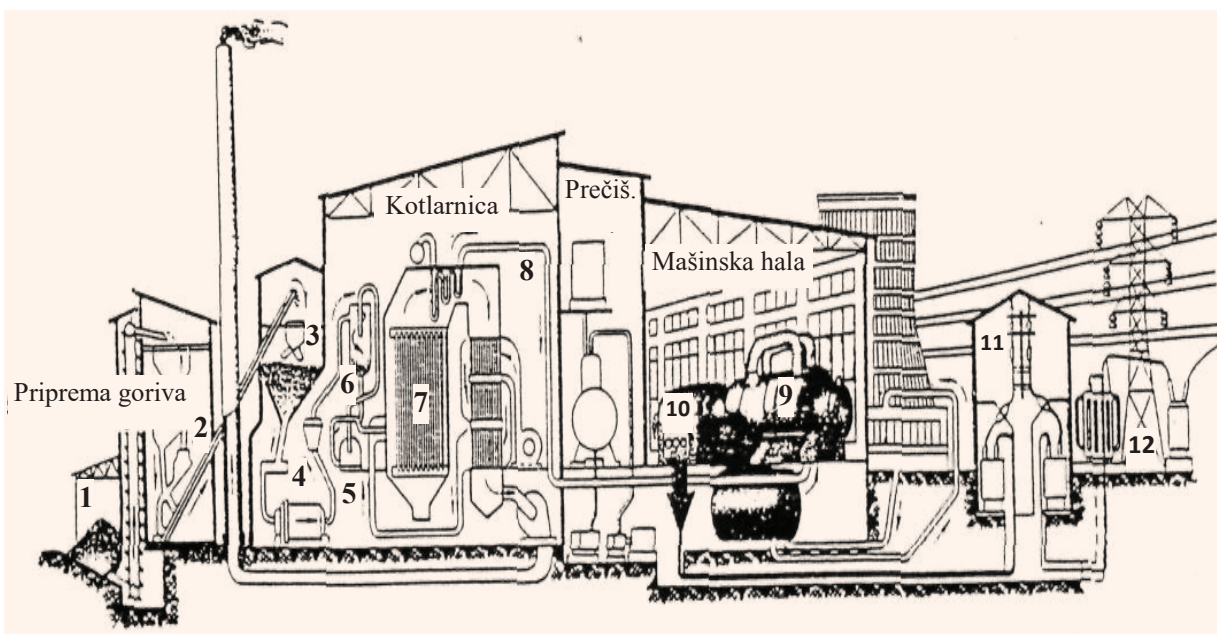
Termoelektrane u kojima se kao pogonska mašina upotrebljavaju parne turbine mogu se podijeliti na:

- **kondenzacione** termoelektrane i
- **kombinovane** ili termoelektrane sa protivpritiskom.

Kondenzacione termoelektrane proizvode samo električnu energiju, dok se u **kombinovanim** ili termoelektranama sa protivpritiskom pored električne energije proizvodi i para (a posredno i vrela voda) koja se upotrebljava za tehnološke procese i grijanje. Postrojenja za kombinovanu proizvodnju električne energije, pare i vrela vode često se nazivaju **toplanama** ili termoelektrane-toplane. Postoje javne i industrijske toplane. I sa gasnim turbinama može se ostvariti kombinovana proizvodnja električne energije i pare.

Svi glavni dijelovi parne termoelektrane: bunker uglja; kotlovi; turboagregati, priprema vode (zagrijači, isparivači, otplinjači, rezervoari pojne vode i sl.) i pumpe za napajanje; razvodno postrojenje sopstvene potrošnje; toplotna i električna komanda i sl. uglavnom su smješteni u glavnoj pogonskoj zgradi. Njihov raspored u zgradi termoelektrane zavisi od tipa kotla, daljine turboagregata, kvaliteta uglja, od zahtjeva u pogledu mogućeg proširenja i sl.

Osnovna šema klasične (parne) termoelektrane na uglj prikazana je na Slici 2.49.



Slika 2.49. Šematski prikaz parne termoelektrane

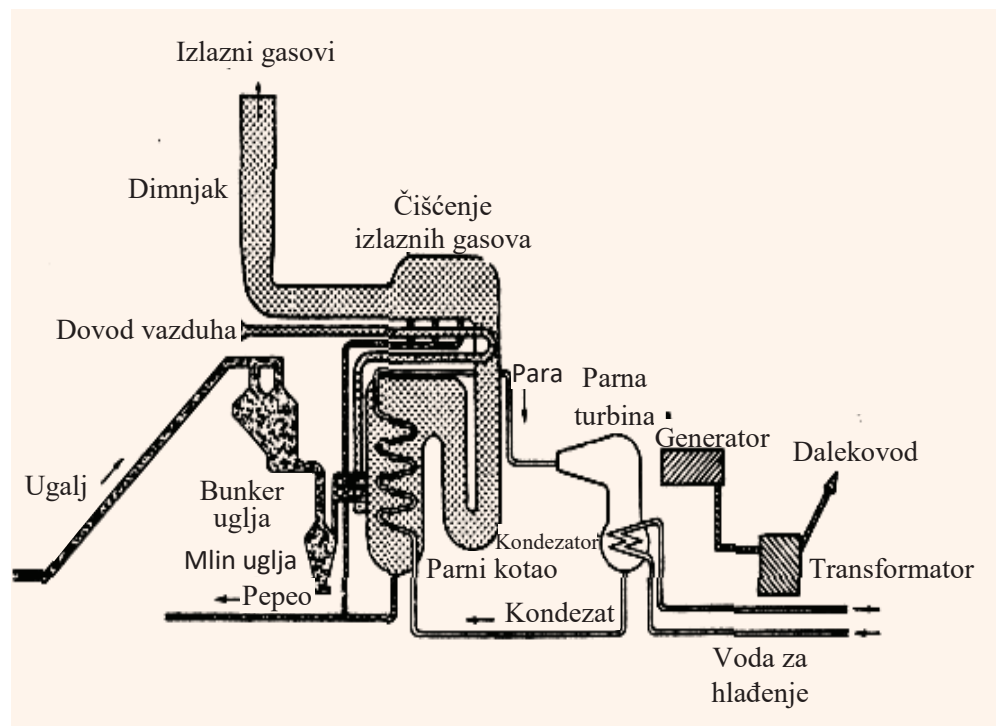
Ugalj iz skladišta (1) doprema se transporterom u drobilicu (2), odakle se usitnjeni ugalj ubacuje u bunker za ugalj (3). Iz bunkera se usitnjeni ugalj cijevima dovodi do mlina za mljevenje uglja (4). Zatim se ugalj isušuje vrelim vazduhom i pretvara u ugljenu prašinu. Mlinski ventilatori (5) uvlače ugljenu prašinu u bunker (6), odakle se kroz specijalne duvaljke uduvava u ložište parnog kotla (7). Para stvorena u parnom kotlu se parovodom (8) dovodi do parne turbine (9), gdje se ona širi/ekspandira, predajući svoju energiju lopaticama turbine. Na taj način se toplotna energija pare pretvara u mehanički rad na osovini turbine, koji okreće sinhroni generator (10), proizvodeći električnu energiju. Proizvedena električna energija se preko elektroenergetskog postrojenja (11) i visokonaponskog transformatora (12) predaje prenosnoj mreži.

S obzirom na način hlađenja razlikuju se:

- termoelektrane sa **protočnim hlađenjem** (ukoliko postoji dovoljna količina vode) i
- termoelektrane sa **povratnim hlađenjem** (ako je raspoloživa voda nedovoljna).

Ako je predviđeno povratno hlađenje, uz glavnu pogonsku zgradu smješteni su i **tornjevi za hlađenje** – hladnjaci, čiji broj varira u zavisnosti od tipa i snage termoelektrane.

Funkcionalna povezanost pojedinih osnovnih djelova i procesa TE prikazana je na Slici 2.50.



Slika 2.50. Šema strujanja medija u parnoj termoelektrani

Za razumijevanje procesa konverzije toplotne energije u mehaničku, potrebno je poznavanje osnovnih pojmova iz **termodinamike** i ponašanje idealnih gasova u raznim termodinamičkim procesima.

Z

U termoelektranama je potrebno posebnu pažnju obratiti na konverziju toplotne energije u mehaničku, jer se ona vrši sa najmanjim stepenom iskorišćenja.



Kao medijum za prenos toplotne energije, odnosno **radno tijelo**, u termoelektranama koristi se **vodena para**, čije se karakteristike u toku termodinamičkog procesa mijenjaju. Zbog toga je neophodno dobro poznavanje njenih svojstava, osobina i osnovnih karakteristika.

Promjenljive koje se najčešće srijeću kod proučavanja raznih termodinamičkih procesa su:

- T – apsolutna temperatura ($^{\circ}\text{K}$),
- Q – količina toplote (J),
- p – pritisak ($\text{bar} = 10 \text{ N/cm}^2 = 0,1 \text{ MPa}$ ili $\text{Pa} = \text{N/cm}^2$),
- v – zapremina (m^3),
- u – unutrašnja energija (J),
- i ili h – entalpija ili sadržaj toplote (dimenziono je energija u J),
- s – entropija/pretvarenje (količnik energije i temperature u $\text{J}/^{\circ}\text{K}$).

Za razumijevanje termodinamičkog procesa neophodno je poznavati I i II zakon termodinamike:

D

I zakon termodinamike (još iz 1847. god.) je zakon održanja energije primijenjen na termodinamički sistem. Prema njemu, količina toplote koja se preda sistemu ide jednim dijelom na povećanje njegove unutrašnje energije, a drugim dijelom na rad koji taj sistem vrši na okolna tijela.

D

II zakon termodinamike ukazuje da se izvjesni procesi mogu i bez našeg učešća odigravati u jednom smjeru, ali se nikada sami od sebe ne mogu odigravati u suprotnom smjeru. U slučaju termičkih procesa to znači da II zakon termodinamike određuje smjer toplotnih procesa, tj. toplota nikada ne prelazi spontano sa tijela koje ima nižu temperaturu na tijelo koje ima višu temperaturu (Clausius).

Za transformaciju unutrašnje termičke u mehaničku energiju potreban je kružni proces. On se ostvaruje u toplotnim mašinama (klipne mašine i turbomašine) pomoću radnog tijela koje uz snižavanje temperature ekspandira sa višeg na niži pritisak. Obavljeni rad radnog tijela prenosi se na pokretne djelove uređaja sa kojima je ono u neposrednom dodiru.

Za razliku od klipnih mašina koje rade periodično, naprezanje pokretnih djelova turbomašina je jednoliko. Radno tijelo prolazi kroz mlaznice i okreće rotor na kome se nalaze lopatice. Rotor se jednoliko okreće i nema djelova koji su podvrgnuti promjeni smjera kretanja, što je i glavna prednost turbomašina nad klipnim mašinama. Za oba tipa mašina je moguće kao radno tijelo koristiti i gasove i pare.

Iz analize termodinamičkih procesa idealnih gasova (osobine vodene pare ne odstupaju znatno u odnosu na idealne gasove) može se zaključiti da je transformacija toplotne energije u mehaničku energiju moguća pri **izobarskom, izotermičkom i adijabatskom procesu**.

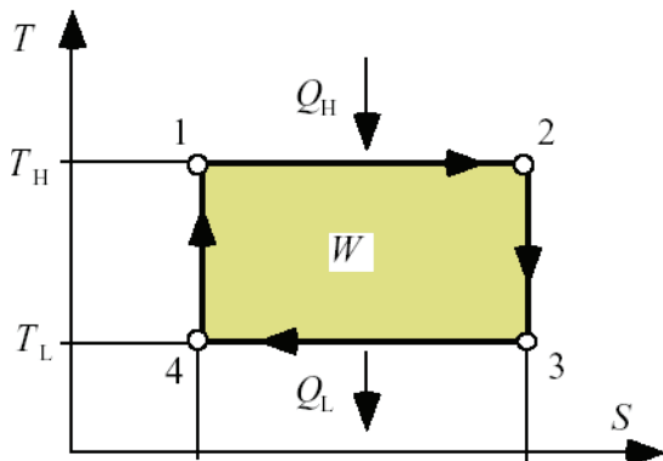
Termodinamički procesi najčešće se prikazuju pomoću sljedećih dijagrama stanja:

- T-s ili **toplotni dijagram**, u kome je toplota prikazana površinom (Slika 2.51),
- p-v ili **radni dijagram**, u kome je rad prikazan površinom (Slika 2.52),
- i-s ili **Molijerov dijagram**, u kome su rad i toplota prestavljeni krivima (Slika 2.53).

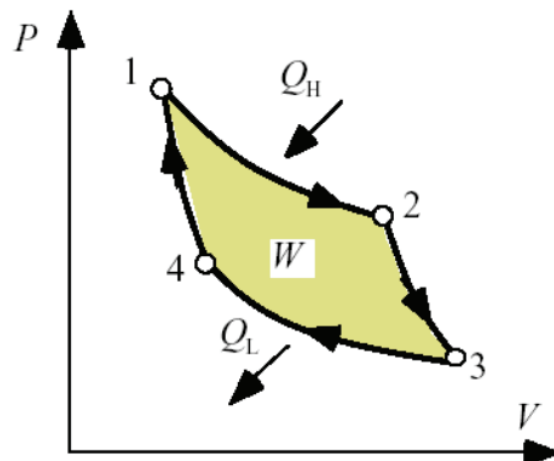
Termodinamički procesi (na Slikama 2.51. i 2.52) imaju 4 faze i svaka se odvija u odvojenom dijelu postrojenja. Dovođenje toplote, uz istovremeno isparavanje bi se odvijalo između stanja 1 i 2 (u parnom kotlu), pa je dovedena toplota proporcionalna površini 1-2-s1-s2. Para proizvedena u kotlu ekspandira adijabatski u parnoj mašini od stanja 2 do stanja 3. Za vrijeme ekspanzije dio pare se kondenzuje, pošto se adijabate sve više udaljavaju od granične krive, pa u kondenzator dolazi smješa pare i tečnosti. Na kraju ekspanzije, vlažna para ima temperaturu T_L , koja je i najniža temperatura u procesu. U kondenzatoru se preostala para kondenzuje, zbog toga što se toplota odvodi rashladnom vodom koja struji kroz kondenzator.

Z

Termodinamički proces koji se odvija pri konstantnom pritisku zove se izobarski proces. Termodinamički proces koji se odvija pri konstantnoj temperaturi zove se izotermički proces, dok se adijabatski termodinamički proces odvija bez razmjene toplotne energije.



Slika 2.51. T - s dijagram

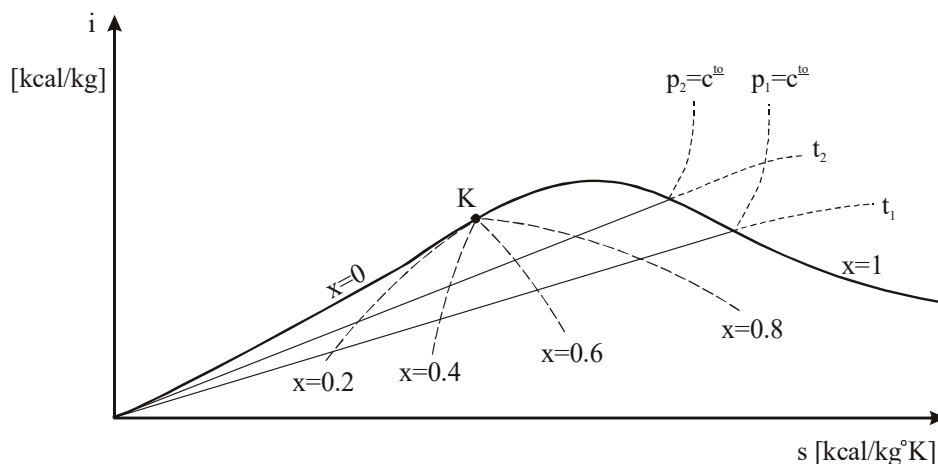


Slika 2.52. p - v dijagram

Odvedena toplota je proporcionalna površini 3-4-s1-s2. Da bi se adijabatskom kompresijom mogla dobiti vrela voda stanja 1, morala bi se iz kondenzatora isisati smješa tečnosti i pare koja odgovara stanju 1. Prilikom kompresije se, međutim, zagrijeva samo para, a tečnost će, zbog loših uslova pri razmjeni toplote, ostati pretežno hladna. Zato se na kraju kompresije neće dobiti vrela voda stanja 1, već neka smješa pregrijane pare i hladne vode, neće dakle nastati stanje koje odgovara pretpostavljenom kružnom procesu. To praktično znači da je nemoguće ostvariti Karnoov proces sa mokrom parom. Zato se u praksi kompresor zamjenjuje napojnom pumpom, a to znači da se sva para koja izlazi iz parne mašine mora kondenzovati u kondenzatoru i da na izlazu mora biti postignuto stanje na izobari $p_L = \text{const.}$, a to je istovremeno i izoterma T_L .

Da bi se pojednostavili i olakšali termodinamički proračuni sa vodenom parom, pored p - v (radnog) i T - s (toplotnog) dijagrama, u kojima su rad, odnosno količina toplote, predstavljeni površinama, konstruisan je i - s (Molijerov) dijagram, čiji je veoma jednostavni prikaz dat na Slici 2.53. U ovom dijagramu su rad i toplota predstavljeni krivima. Vrijednosti za promjenu stanja ovih veličina mogu se pročitati iz ovog dijagrama, ukoliko su poznata samo početna i krajnja stanja.

Dijagrami stanja vodene pare koji pokazuju kako se u zavisnosti od termodinamičkih uslova mijenja agregatno stanje vode određuju se eksperimentalno.

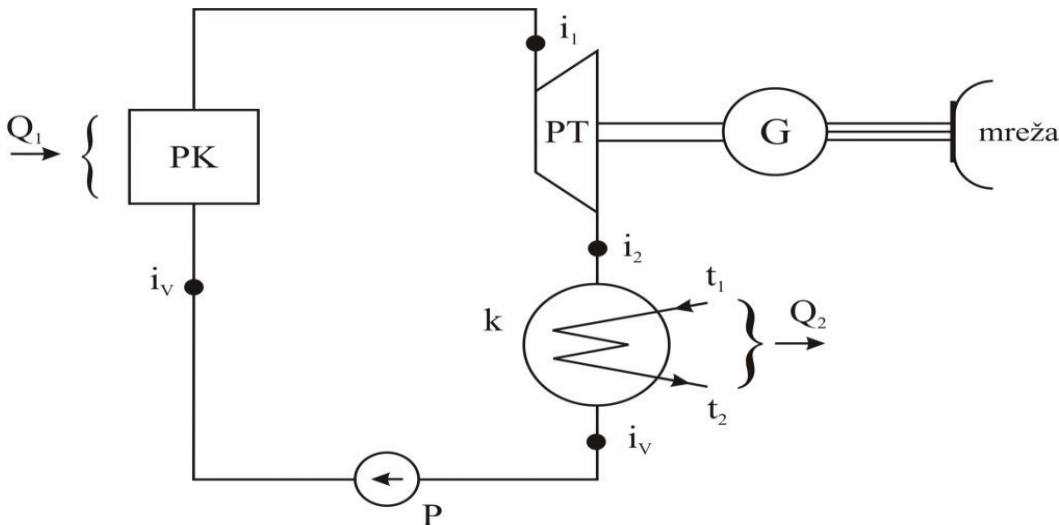


Slika 2.53. Opšti oblik Molijerovog i - s dijagrama

Z

Ekperimenti su pokazali da se za vodenu paru i - s dijagram nalazi u granicama: - sadržaj toplote: 400–850 (kcal/kg) i - entropija: 1,3–2,1 (kcal/kg oK), pa se u stručnoj literaturi uglavnom nalaze već gotovi dijagrami ovih promjena u navedenim granicama, čime se znatno olakšavaju i ubrzavaju dalje analize.

Kružni proces kod termoelektrane sa vrijednostima iz i – s dijagrama dat je na Slici 2.54. gdje je: PK – parni kotao, PT – parna turbina, G – generator, k – kondenzatorsko postrojenje, P – pumpa.



Slika 2.54. Kružni proces kod termoelektrana

Za kružni dijagram (Slika 2.54), može se napisati izraz za termički stepen iskorišćenja procesa (η_{ter}) kao odnos između dobijenog i uloženog:

$$\eta_{\text{ter}} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_v} \quad (2.15)$$

Pored navedenih osnovnih pojmova i veličina koji se javljaju u toku termodinamičkih procesa vezanih za dobijanje i korišćenje vodene pare kao radnog tijela, u termoelektranama je neophodno voditi računa i o još nekim procesima, pojavama i materijama, koji se ne srijeću kod hidroelektrana, kao što su:

- **Goriva** su materije koje zapaljene, jedineći se sa kiseonikom, brzo sagorijevaju, oslobađajući veće količine toplote. Za parne kotlove upotrebljavaju se prirodna, oplemenjena ili vještačka goriva, koja pri normalnoj temperaturi mogu biti u čvrstom, tečnom ili gasovitom stanju.

Prirodna goriva dobijaju se neposredno iz prirodnih nalazišta (različite vrste uglja, lignit, sirova nafta, zemni gas itd.). Vještačka goriva su bilo primarni proizvod, bilo nusproizvod određenih tehnoloških procesa (koks, sintetička tečna goriva, generatorski gas itd.).

Da bi se izvršile analize karakteristika različitih vrsta goriva (hemijaska ili tehnička), neophodno je sprovesti definisanu proceduru uzimanja **srednje probe** (uzorka) goriva, na kojoj će se izvršiti neophodne analize. Ova procedura je striktno predviđena propisima, i definisana je posebno za čvrsta, tečna i gasovita goriva.

- **Vazduh** potreban za sagorijevanje goriva. Da bi gorivo moglo sagorjeti na ložištu, potrebno je da svaka njegova čestica dođe u dodir sa kiseonikom iz vazduha, tj. da vazduh opkoli svaku česticu goriva. Za određivanje potrebne količine vazduha za neko gorivo, prvo treba odrediti potrebne količine vazduha za sagorijevanje sastavnih djelova goriva. Tako dobijene vrijednosti pomnože se sa procentualnim učešćem tih sastojaka u gorivu. Njihov zbir daje minimalnu količinu vazduha potrebnu za sagorijevanje L_{min} .

Z

Veliki dio kotlova u TE koristi vodu tvrdoće „0“, tj. destilovanu vodu.

– **Voda** za napajanje parnih kotlova. Da bi kotlovi mogli sigurno i ekonomično da rade, zavisno od njihove konstrukcije, treba im dovesti dovoljnu količinu vode odgovarajućeg kvaliteta. Prirodna voda se, po pravilu, nikad ne upotrebljava direktno u parnim kotlovima jer sadrži mehaničke nečistoće, otopljene soli, gasove i sl. Napojna voda, koja se dovodi u kotao, i kotlovska voda, koja se već nalazi u kotlu, moraju imati tačno zadate parametre. Svojstva napojne vode i vode u kotlu zavise od vrste kotla i od zahtijevanih parametara pare.

Voda sa većim procentom kalcijuma ili magnezijuma zove se **tvrda voda**, i ona nije povoljna za korišćenje u parnim kotlovima, jer talog iz nje (kamenac) ometa prenos toplote. Voda sa malim procentom ovih sastojaka naziva se **meka voda**. Tvrdoća vode određuje se stepenom tvrdoće, koji se definiše odgovarajućim propisima. Zavisno od uslova koje treba da ispuni voda za napajanje kotlova, postoji više načina za njeno prečišćavanje i odstranjivanje nečistoća iz nje.

2.3.1.1. Termoelektrane na fosilna goriva

D

Termoelektrane na fosilna goriva su postrojenja u kojima se hemijska energija fosilnih goriva transformiše u procesu sagorijevanja u ložištu u toplotnu energiju, koja se posredstvom odgovarajućih pogonskih mašina transformiše prvo u mehaničku energiju, a zatim se mehanička energija u sinhronom generatoru pretvara u električnu energiju.

S obzirom na već navedenu podjelu termoelektrana na:

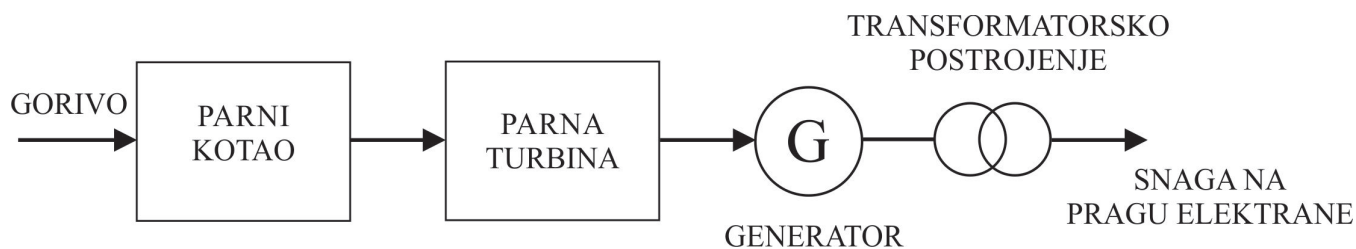
- a) **parne** termoelektrane (radni fluid – vodena para; pogonska mašina – parna turbina; gorivo: čvrsto (kameni ugalj, mrki ugalj, lignit i sl.), tečno (mazut, nafta i sl.), gasovito (prirodni gas, gas iz visokih peći, gas iz koksnih peći i sl.) i nuklearno (fisiona goriva),
- b) **gasne** termoelektrane (radni fluid – vreli gas; pogonska mašina – gasna turbina; gorivo: gasovito i tečno) i
- c) **dizel** termoelektrane (radni fluid – dizel gorivo; pogonska mašina – dizel motor; gorivo: tečno),

očigledno je da se u termoelektrane, koje koriste fosilna goriva, ubrajaju sva tri navedena tipa termoelektrana. Stoga će sva tri navedena tipa biti detaljnije razmatrana u narednom tekstu.

2.3.1.1.1. Parne termoelektrane

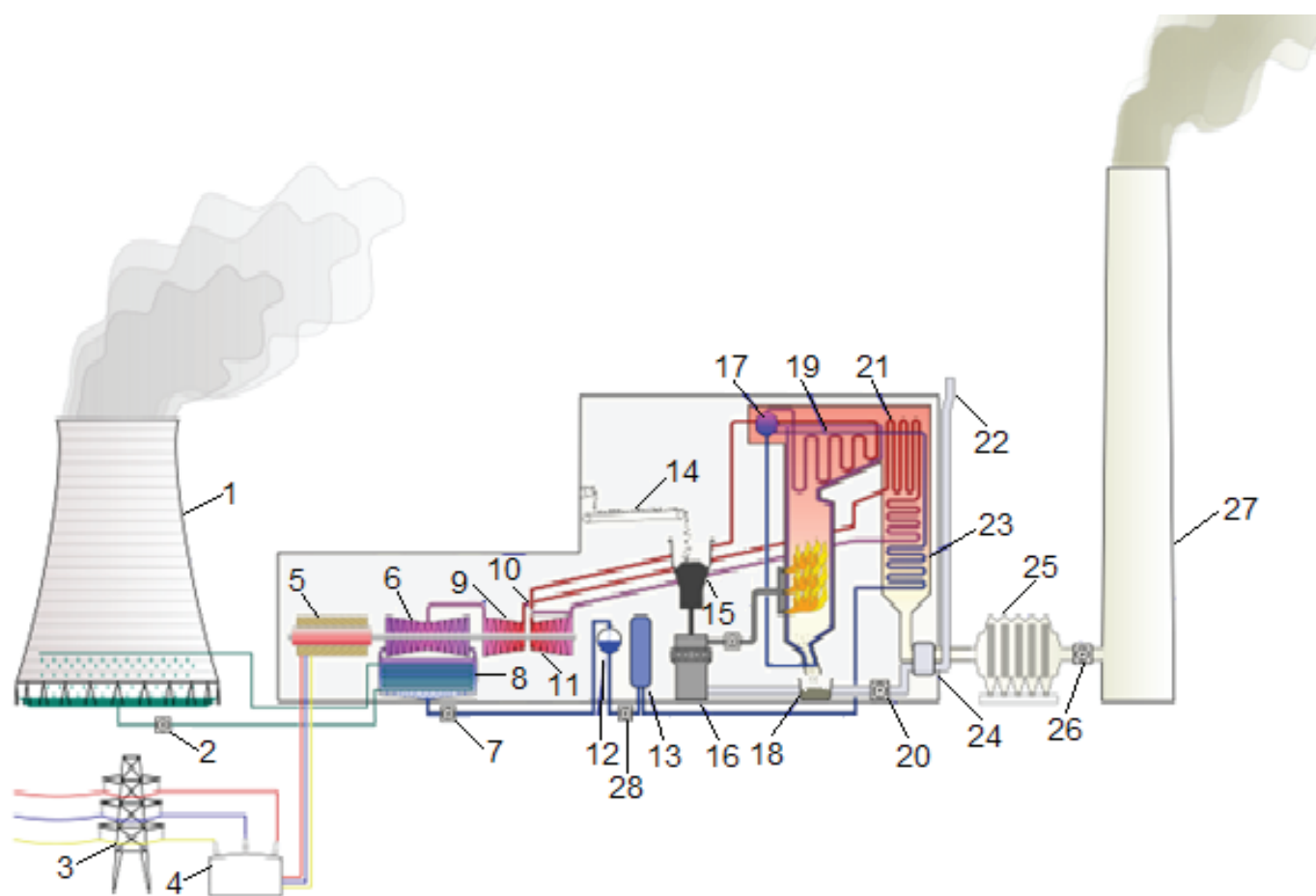
U parnoj termoelektrani odvija se veoma složen tehnološki proces. Navedena goriva sagorijevaju u parnom kotlu, zagrijavajući vodu koja se dovodi u kotao. Voda se nakon isparavanja i pregrijavanja pretvara u paru visokog pritiska i odgovarajuće temperature, koja se odvodi u parnu turbinu, gdje se njena toplotna energija pretvara u kinetičku a ova u mehaničku, koja pokreće generator koji je pretvara u električnu energiju.

Osnovna proizvodna jedinica u savremenim termoelektranama je blok. Svaki blok predstavlja nezavisnu cjelinu. Blok se sastoji od postrojenja za proizvodnju pare, kondenzacijske turbine, električnog generatora i transformatorskog postrojenja (Slika 2.55).



Slika 2.55. Blok parne termoelektrane

Osnovni djelovi parne termoelektrane, koja kao gorivo koristi mljeveni uglj, sa svim pomoćnim uređajima dati su na Slici 2.56.



Slika 2.56. Skica parne termoelektrane

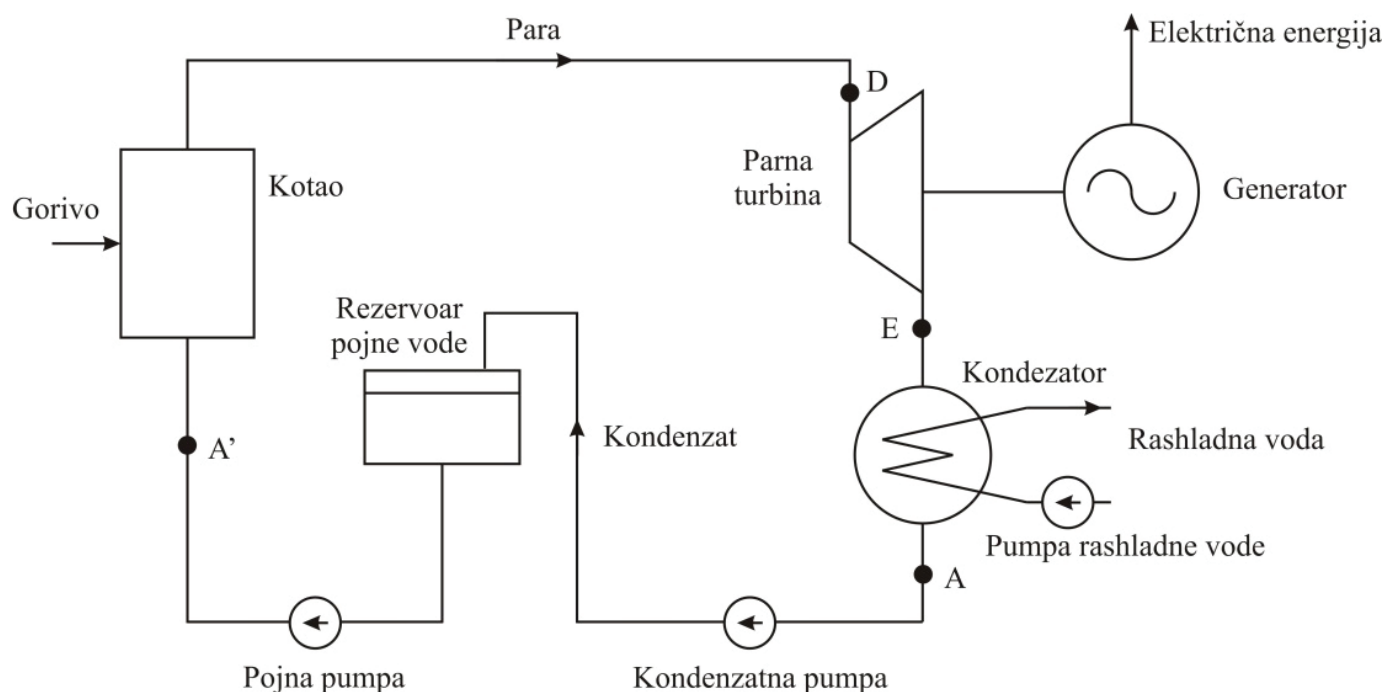
Oznake na Slici 2.56 su: 1. rashladni toranj, 2. pumpa rashladne vode, 3. EES, 4. energetski transformator, 5. električni generator, 6. parna turbina niskog pritiska, 7. pumpa kondenzata, 8. kondenzatorsko postrojenje, 9. parna turbina srednjeg pritiska, 10. regulator parne turbine, 11. parna turbina visokog pritiska, 12. isparivač gasova, 13. zagrijač napojne vode, 14. dovod uglja (pokretna traka), 15. bunker za uglj, 16. mlin za uglj, 17. parni cilindar/bubanj, 18. odstranjivač šljake, 19. pregrijač pare, 20. ventilator vazduha, 21. međupregrijač pare, 22. usis vazduha za sagorijevanje, 23. zagrijač vode, 24. pregrijač vazduha, 25. odvjač čestica (prečištač gasova – filter), 26. ventilator dimnih gasova, 27. dimnjak.

Detaljnije se tehnološki proces u parnoj termoelektrani može predstaviti ili prikazom i objašnjenjem **kružnog procesa vode** ili pomoću **Molijerovog i - s dijagrama**.

U parnoj termoelektrani ista voda kao radno tijelo (uz zanemarenje gubitaka), prolazi kroz različita stanja:

- u parnom kotlu (PK) radno tijelo se:
 - **zagrijava,**
 - **ključa,**
 - **isparava i**
 - **pregrijava,**
- u parnoj turbini (PT) se vrši njegova **ekspanzija,**
- u kondenzatorskom postrojenju (K) radno tijelo se **kondenzuje** nakon ekspanzije u turbini,
- na kraju se radno tijelo putem pumpi (P) **vraća u kotao,** gdje će ponovo ispariti.

Voda (para) na svom putu kroz parnu elektranu i njene dijelove prolazi kroz zatvoreni kružni ciklus (Slika 2.57), jer se, nakon prolaska kroz razna stanja, ponovo vraća u početno stanje.



Slika 2.57. Šematski prikaz kružnog procesa u parnoj termoelektrani

U parnoj elektrani pregrijava para dobijena u parnom kotlu se posebnim uređajima mlaznicama (pretvaraju energiju pare u brzinu i upućuju je u željenom pravcu) ubrzava i dovodi u parnu turbinu gdje ekspandira do kondenzatorskog pritiska predajući svoju energiju lopaticama turbine, odnosno transformišući se u mehaničku energiju na vratilu rotora turbine.

Lopaticice radnog kola su izvedene tako da na najbolji način kinetičku energiju ekspandirane pare pretvore u pritisak, odnosno mehanički rad. Savremene parne turbine imaju nekoliko vijenaca lopatica na radnom kolu, čime je omogućeno da para vrši ekspanziju u nekoliko stepeni a samim tim i povećanje stepena iskorišćenja. Sniženje parametara pare na izlasku iz turbine vrši se u kondenzatorskom po-

strojenju, gdje se za te potrebe dovodi rashladna voda (bilo iz rashladnih tornjeva ili iz vodotoka, jer su njene karakteristike skoro iste).

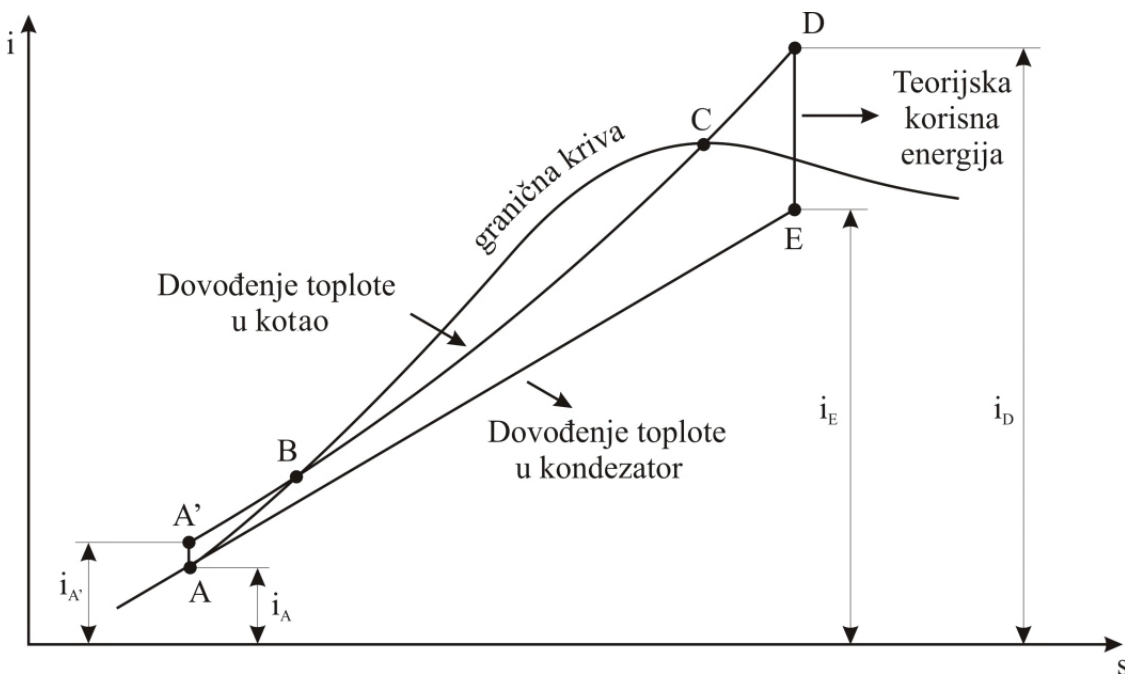
Radno tijelo se u kondenzatoru, zbog strujanja rashladne vode kroz njega, pretvara u vodu, koja se putem pumpi i preko rezervoara vraća u parni kotao, gdje ponovo isparava, zatvarajući tako kružni proces.

Tehnološki proces u parnoj termoelektrani može se prikazati i preko $i - s$ dijagrama (Slika 2.58), u kojem se na ordinatu nanosi entalpija i , a na apscisu entropija s .

Tačka A' na Slici 2.58 odgovara stanju vode na izlazu iz napojne/pojne pumpe, i sa tim stanjem voda ulazi u kotao, u kojem se **ugrijava/zagrijava** ($A'B$), **isparava** (BC) i **pregrijava** (CD).

U turbini para **ekspandira** uz pretpostavku adiabatske ekspanzije – do pritiska kondenzatora (tačka E), u kojem se para **kondenzuje** i sa stanjem koje odgovara tački A izlazi iz kondenzatora. Promjena stanja od A na A' je posljedica povećanja pritiska vode napojnim pumpama.

Odnos između teorijske korisne i dovedene energije naziva se **termički stepen djelovanja**.



Slika 2.58. Prikaz procesa bez gubitaka u parnoj termoelektrani

Uvođenjem određenih zanemarenja, koja ne utiču bitno na tačnost dobijenih rezultata a znatno olakšavaju proračune, dobija se izraz za termički stepen djelovanja (identičan izrazu 2.15):

$$\eta_{ter} = \frac{i_D - i_E}{i_D - i_A}, \quad (2.16)$$

pri čemu se pretpostavlja da se tačke A' i A na Slici 2.58. poklapaju.

Prilikom crtanja dijagrama na Slici 2.58 zanemareni su svi postojeći gubici, koji se u praksi ne mogu zanemariti (gubici u parnom vodu od kotla do turbine, gubici u regulacionom ventilu turbine, gubici u turbini, gubici radi pothlađivanja kondenzata, gubici pare kroz zaptivke, gubici toplote radi odvođenja i isijavanja,

mehanički gubici u turbini i sl.). Zbog toga se ovaj dijagram naziva **teorijski dijagram**, i on se, po pravilu, razlikuje od stvarnog dijagrama, koji se može dobiti samo odgovarajućim eksperimentima i mjerenjima.

U parnim turbinama se prilikom pretvaranja toplotne energije u mehanički rad javljaju različiti **gubici** u pojedinim njihovim djelovima. Zavisno od mjesta gdje se javljaju, ovi gubici mogu biti:

- **unutrašnji:**
 - gubici u mlazniku,
 - gubici u lopaticama,
 - gubici na izlazu iz turbine,
 - gubici trenja,
 - gubici ventilacije i vrtloženja... i
- **spoljašnji:**
 - mehanički,
 - gubici toplote koja se okolini predaje preko oklopa turbine...

Usljed ovih gubitaka teorijski toplotni pad se smanjuje i samo dio mu se pretvara u efektivni rad na vratilu turbine. U parnim turbinama se, u zavisnosti od gubitaka i mjesta njihovog pojavljivanja, srijeću sljedeći stepeni iskorišćenja:

- **termički:** $\eta_{ter} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_v}$ dat izrazom (2.15),

ili sa Slike 2.55: $\eta_{ter} = \frac{i_D - i_E}{i_D - i_A}$ (2.17)

gdje je:

- i_1 (i_D) entalpija (sadržaj pare) na ulazu u parnu turbinu,
- i_2 (i_E) entalpija (sadržaj pare) na izlazu iz parne turbine,
- i_v (i_A) entalpija (sadržaj pare) u vodi.

- **unutrašnji:** η_u ,
 - **mehanički:** η_m ,
 - **efektivni:** $\eta_{ef} = \eta_u \cdot \eta_m$ (2.18)

Ako se sa η_k označi stepen iskorišćenja kotla, koji je jednak:

$$\eta_k = \frac{i_1 - i_v}{B \cdot H_d}, \quad (2.19)$$

gdje je B količina goriva (kg/kg pare), tada se **ukupni ekonomski stepen iskorišćenja** postrojenja η_e na osovini turbine može predstaviti izrazom:

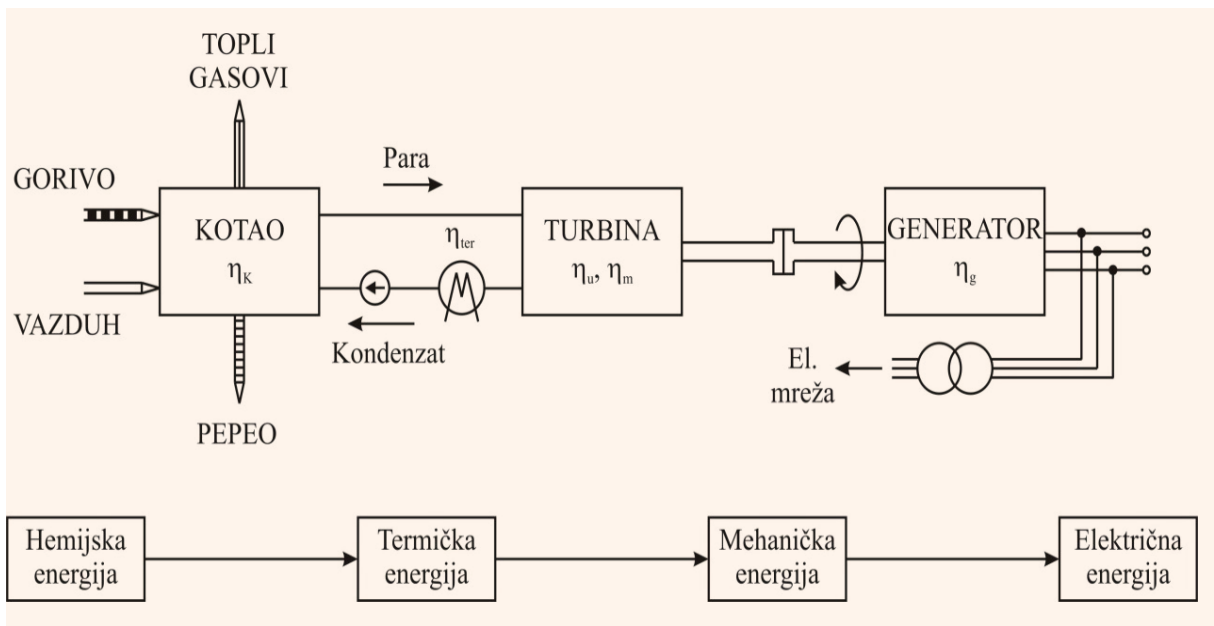
$$\eta_e = \eta_k \cdot \eta_{ter} \cdot \eta_{ef} = \eta_k \cdot \eta_{ter} \cdot \eta_u \cdot \eta_m, \quad (2.20)$$

pri čemu se pretpostavlja da ne dolazi do pothlađivanja kondenzata. Stepen iskorišćenja η_e često se naziva efektivni stepen iskorišćenja.

Uvažavajući još i stepen iskorišćenja generatora η_g dolazi se do **stepena iskorišćenja parne termoelektrane** na priključnicama generatora:

$$\eta_{el} = \eta_e \cdot \eta_g = \eta_k \cdot \eta_{ter} \cdot \eta_u \cdot \eta_m \cdot \eta_g. \quad (2.21)$$

Šematski prikaz rada termoelektrane sa njenim osnovnim djelovima i njihovim stepenima iskorišćenja, kao i proces prelaska energije iz hemijske energije goriva, preko termičke i mehaničke energije do električne energije, dati su na Slici 2.59.



Slika 2.59. Šematski prikaz rada termoelektrane i njenih stepena iskorišćenja

Na stepen djelovanja parne termoelektrane η_{el} odlučujući uticaj ima termički stepen djelovanja, koji je i najmanji, pa je razumljivo stalno nastojanje i istraživanja u cilju da se termički stepen djelovanja što je moguće više poboljša.

Mogućnost poboljšanja termičkog stepena djelovanja može se najbolje uočiti kroz razmatranje uticaja pojedinih važnijih parametara na termički stepen djelovanja, prije svega razmatranjem:

- uticaja povećanja pritiska pare,
- uticaja povećanja temperature svježe pare i
- uticaja zagrijavanja kondenzata.

Parne termoelektrane se, zbog boljeg iskorišćenja energije (poboljšanje stepena iskorišćenja), često grade kao kombinovane **termoelektrane-toplane** (TE-TO), često nazvane energane. Paralelna proizvodnja električne i toplotne energije naziva se **kogeneracija**.

U toku eksploatacije termoelektrane, mogu se izdvojiti sljedeća četiri karakteristična radna režima:

- režim **startovanja**, odnosno puštanja u rad,
- režim **normalnog opterećenja (rada)**,
- obustava rada, odnosno **zaustavljanje** i
- rad u **rezervi**.

Isporučiocu turbina obično daju veoma precizna uputstva kojih se treba striktno pridržavati, da bi se obezbijedilo njihovo optimalno korišćenje i izbjegle moguće štete i kvarovi.

Režim startovanja je veoma složen i sastoji se od nekoliko faza. Prva faza je priprema startovanja. Ona se sastoji od provjere svih sistema koji su bitni za rad kotla, turbine i generatora. Potrebno je prije svega izvršiti provjeru rada pumpi za podmazivanje i dovod ulja pod pritiskom, a tek onda postepeno startovati turbinu, uz njeno postepeno zagrijavanje.

Startovanje (potpala) kotla se vrši sa visokokaloričnim gorivom – mazutom. Prelaz na ugljenu prašinu ili drugo gorivo, obavlja se kada kotao razvije oko 30% od nominalne snage. Turbina se pri startovanju postepeno pregrijava i postepeno joj se povećava brzina i snaga.

Termoelektrana može da startuje iz:

- **hladnog,**
- **neohladenog** i
- **toplog stanja.**

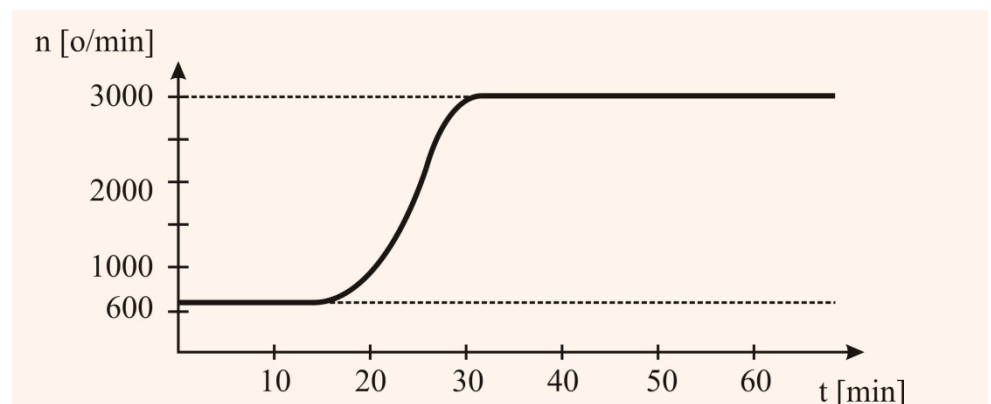
Pod **hladnim stanjem** podrazumijeva se slučaj kada najtopliji dio kotla ili turbine ne prelazi temperaturu od 150 °C.

Neohladenostanje je kada svi djelovi kotla i turbine imaju temperaturu ≥ 150 °C.

Toplo stanje je po parametrima bliskim nominalnom radnom režimu. Temperatura u kotlu je približna radnoj temperaturi pare.

Puštanje termoelektrane u rad vrši se po startnim šemama koje definiše proizvođač opreme. Startovanje bloka iz hladnog stanja obično traje oko 8 časova (a nekad i više). Ako je kotao podgrijan, start hladne turbine je znatno kraći i traje oko 40 minuta.

Pri startu turbina se opterećuje i termički i mehanički. Da se ta naprezanja ne bi dešavala istovremeno, turbina se pregrijava pri nižem broju obrtaja, kao što je prikazano na Slici 2.60.



Slika 2.60. Dijagram startovanja turbine

Nakon starta nastupa režim **normalnog opterećenja**. U ovom režimu najvažnije je postići dobre tehno-ekonomske pokazatelje i snagu bloka prilagoditi tom zahtjevu.

Obustava rada bloka, koja se vrši u rasterećenom stanju, može biti:

- **planska** i
- **neplanska.**

U zavisnosti od vremena koje stoji na raspolaganju za operaciju zaustavljanja bloka, obustava može biti:

- **normalna** (u toku normalnog rada) ili
- **prinudna** (u toku havarijskih režima, koja se, po pravilu, obavlja brzo).

Međutim, bez obzira na način vršenja obustave, hlađenje svih elemenata termodinamičkog ciklusa mora biti postepeno i ravnomjerno. Pri hlađenju turbina se mora obrtati smanjenom brzinom, a često se, radi njenog bržeg hlađenja, u turbinu ubacuje suvi hladni vazduh.

Što se tiče rada u **rezervi**, termoelektrana može biti u:

- **hladnoj** i
- **toploj** rezervi.

Blok ulazi u hladnu rezervu obustavom rada i potpunim hlađenjem. Za ponovni start mora se proći cijela procedura starta hladnog bloka.

Kada su u toploj rezervi, kotlovi se lože mazutom pri snazi 20–30% od nominalne snage. Turbine se u toploj rezervi održavaju radom u praznom hodu ili ih obrću sinhroni generatori koji rade kao sinhroni motori u praznom hodu.

U toku rada termoelektrane javlja se potreba za promjenom snage agregata, odnosno turbine. Snaga koju proizvodi turboagregat treba uvijek da se poklapa sa potrošnjom. U skladu sa tim, u sklopu turbine nalaze se uređaji koji omogućavaju promjenu njene snage prema potrebi.

Zadatak regulacije parnoturbinskog agregata je:

- da u skladu sa promjenama opterećenja reguliše snagu i
- održava konstantnim broj okretaja turbine, što je uslovljeno neophodnošću održavanja konstantne učestanosti napona koji se daje mreži.

Promjenu snage, odnosno regulaciju parne turbine, moguće je ostvariti:

- prigušivanjem pare, odnosno promjenom toplotnog pada $h_t = i_1 - i_2$,
- mlazničkim (količinskim) regulisanjem, odnosno promjenom protoka pare G i
- regulisanjem pritiska pare u kotlu, ili
- kombinacijom navedenih načina regulacije.

Poznato je da je kvalitet električne energije određen:

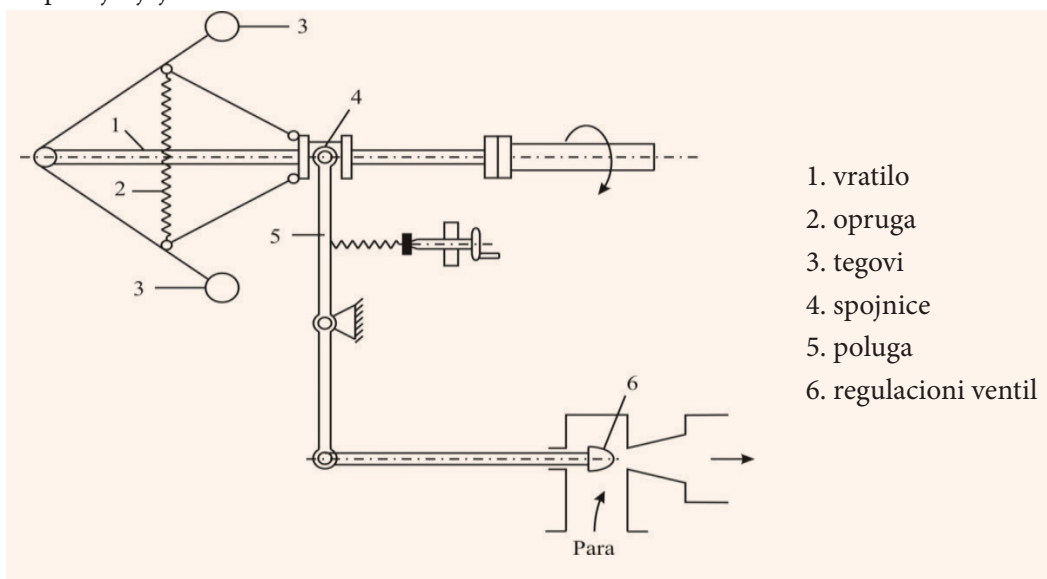
- **naponom** i
- **frekvencijom** naizmjenične struje,

i on je utoliko veći što se sa većom tačnošću ti parametri drže konstantnima.

Napon se kod elektrana reguliše uglavnom pobudom električnog generatora.

Za održavanje konstantne frekvencije, odnosno konstantne brzine obrtanja turbine, turbinsko postrojenje je opremljeno regulatorskim uređajem koji prema spoljašnjem opterećenju generatora usklađuje zakretni moment na turbinskom vratilu uz zadatu brzinu obrtanja.

Održavanje broja okretaja u određenim granicama glavna je funkcija uređaja za automatsku regulaciju kondenzacione turbine. Najjednostavniji uređaj za regulaciju brzine obrtanja je **centrifugalni regulator** (Slika 2.61), koji se i dalje uspješno primjenjuje.



Slika 2.61. Centrifugalni regulator brzine obrtanja turboagregata

2.3.1.1.2. Gasne termoelektrane

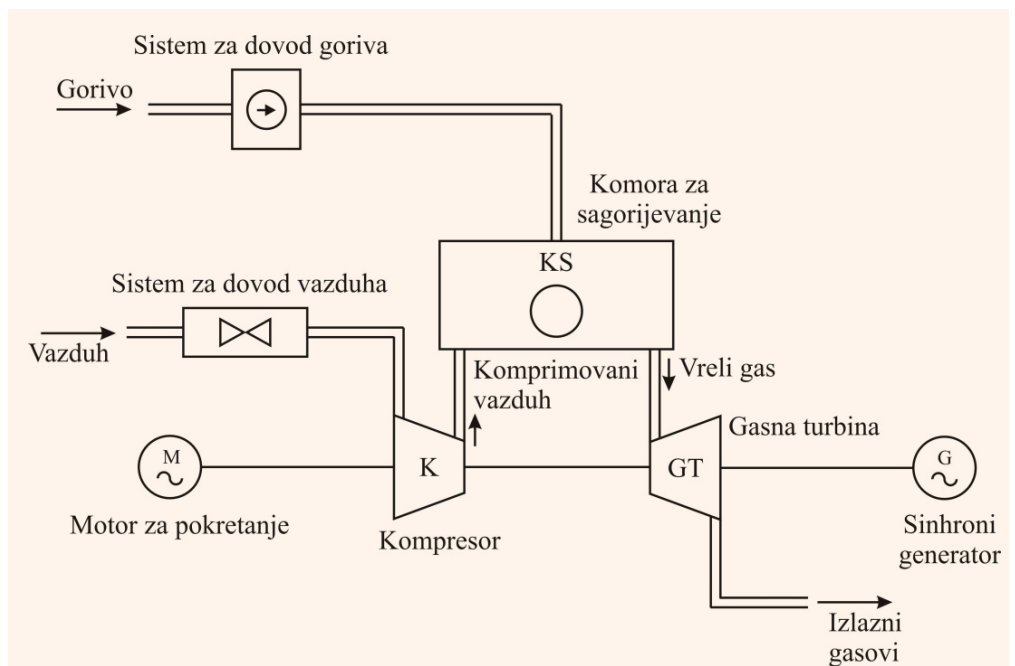
U gasnim termoelektranama (Slika 2.62) pogonske mašine generatora su gasne turbine. Danas se gasne turbine grade kao turbine sa otvorenim procesom, jer se do sada nijesu uspjele napraviti gasne turbine sa zatvorenim procesom koje bi imale potrebnu pogonsku sigurnost.



Slika 2.62. Gasna termoelektrana

Osnovni dijelovi termoelektrana sa gasnim turbinama koje rade sa otvorenim procesom (Slika 2.63) su:

- sistem za dovoz vazduha sa kompresorom,
- sistem za dovoz goriva,
- komora za sagorijevanje,
- gasna turbina,
- motor za pokretanje i
- sinhroni generator.



Slika 2.63. Šema gasne termoelektrane

Osnovni princip rada sastoji se u usisavanju vazduha iz atmosfere i njegovom dovođenju pod visoki pritisak u kompresoru. Zatim se vazduh pod pritiskom dovedu u komoru za sagorijevanje, u koju se dovodi i gorivo u tečnom ili gasovitom stanju. Sagorijevanje se odvija uz konstantan pritisak, a izlazni vreli gasovi struje kroz turbinu i u njoj ekspandiraju do atmosferskog pritiska. U praksi ima više načina izvođenja termoelektrana s gasnim turbinama, sve sa svrhom da se popravi njihov stepen djelovanja.

Kao gorivo za gasne turbine koriste se: derivati nafte, prirodni gas, jamski gas, gasovi iz rafinerija nafte i sl.

Postrojenje sa gasnom turbinom može se staviti u pogon samo pomoćnim izvorom energije. U tu svrhu najčešće služi asinhroni motor za pokretanje (Slika 2.63).

Stepen djelovanja gasne turbine zavisi od načina njenog izvođenja (zagrijavanje vazduha, višestepena kompresija, višestepena ekspanzija i sl.). Sa komplikovanom njene konstrukcije raste i stepen djelovanja, ali rastu i potrebne investicije.

Postrojenja sa gasnim turbinama sa višestrukom kompresijom i višestrukom ekspanzijom imaju stepen djelovanja i specifične investicije uporedive sa stepenom djelovanja i specifičnim investicijama modernih parnih termoelektrana.

Nasuprot tome najjednostavnija postrojenja sa gasnim turbinama rade sa znatno nižim stepenom djelovanja (obično 17–20%), a specifične investicije iznose samo polovinu od specifičnih investicija za postrojenja sa visokim stepenom djelovanja.

Upoređujući postrojenja sa parnim turbinama i postrojenja sa gasnim turbinama, može se zaključiti da oba tipa imaju određene prednosti i nedostatke, o kojima treba voditi računa prilikom izbora izvora koji će u konkretnim uslovima najbolje zadovoljiti potrebe.

Osnovne razlike između parnih i gasnih termoelektrana su:

- Parne termoelektrane imaju veći stepen djelovanja (parne ~40%, gasne 25~30%).
- Troškovi izgradnje parnih elektrana su veći (~2:1) i izgradnja traje duže.
- Troškovi goriva po jedinici proizvedene električne energije su manji za parne termoelektrane, pogotovo ako se radi o termoelektranama na ugalj (~1:2).
- Gasne termoelektrane imaju manje troškove pokretanja i zaustavljanja.
- Gasne termoelektrane brže ulaze u pogon i fleksibilnije su u radu (promjenne snage).
- Gasne termoelektrane su ekološki povoljnije i prihvatljivije.

Prilikom izbora tipa termoelektrane treba imati u vidu i sljedeće:

Priprema vode za napajanje kotlova u postrojenjima sa parnim turbinama zahtijeva više različitih uređaja, koji su potpuno nepotrebni u postrojenjima sa gasnim turbinama ili su zamijenjeni znatno jeftinijim.

Za pogon postrojenja sa višestrukom kompresijom potrebna je određena količina vode za hlađenje vazduha, ali je potrebna količina vode znatno manja (otprilike u odnosu 5 : 1) od količine vode potrebne za hlađenje kondenzatora parne turbine iste snage. Razlog ovalike razlike treba tražiti u činjenici da gasna turbina znatan dio toplote koja se ne može iskoristiti predaje neposredno okolini, dok se u postrojenju sa parnom turbinom najveći dio neiskorištene toplote predaje okolini posredstvom vode za hlađenje kondenzatora.

Postrojenje sa gasnom turbinom smješta se u jednu prostoriju, što olakšava nadzor nad postrojenjem i zahtijeva manju površinu potrebnu za izgradnju postrojenja.

Međutim, uz navedene prednosti gasna turbina u poređenju sa parnom turbinom ima i nedostatke, o kojima takođe treba voditi računa, i koji su do sada onemogućili veću upotrebu gasnih turbina za proizvodnju električne energije.



Vrijeme potrebno za stavljanje u pogon iz hladnog stanja postrojenja sa parnom turbinom iznosi i nekoliko sati (može ići i do 10 sati), a za postrojenje sa gasnom turbinom otvorenog sistema to vrijeme nije duže od 20–30 min.

Glavni nedostatak gasnih turbina je nemogućnost upotrebe uglja kao goriva (čak je i upotreba teških ulja kao goriva ograničena na temperature koje nijesu znatno više od 600 °C).

U pepelu teških ulja ima soli, koje ulaze u turbine u tečnom stanju, tamo se talože i izazivaju koroziju lopatica turbine. Vanadijum-pentoksid je glavni predstavnik izazivača korozije.

Kao nedostatak može se navesti i nemogućnost (prema današnjem stanju razvoja) izgradnje jedinica većih od 15 MW (na jednom vratilu), odnosno od ~ 40 MW (na dva vratila), što predstavlja nekoliko puta manje jedinice od onih koje se mogu postići parnim turbinama.

Navedeni nedostaci gasnih turbina imaju svoje puno značenje kad se radi o izgradnji elektrana koje treba da proizvode baznu (temeljnu) energiju. Međutim, kad treba izgraditi rezervne elektrane ili vršne elektrane za manje područje, dolaze više do izražaja prednosti gasnih turbina nego njihovi nedostaci.

Zbog malog trajanja iskorišćenja rezervne ili vršne elektrane, troškovi za gorivo nemaju presudni uticaj, pa se može upotrijebiti postrojenje sa gasnom turbinom jednostavne izrade koja radi sa relativno niskom maksimalnom temperaturom.

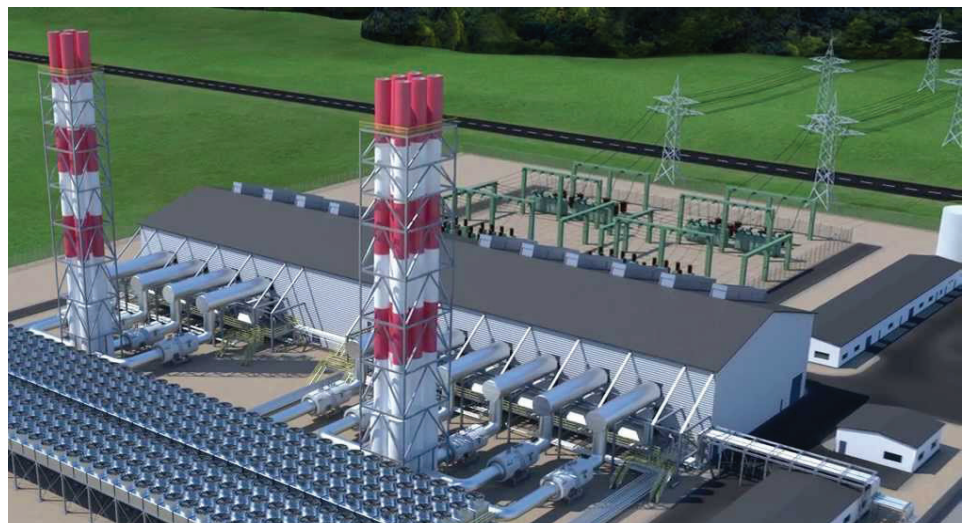
Postrojenje jednostavne izrade (bez zagrijavanja komprimovanog vazduha, sa jednostrukom kompresijom i ekspanzijom) traži niske investicije, omogućava vrlo brzo stavljanje u pogon i lako održavanje postrojenja, a praktično ne traži vodu za hlađenje (osim za hlađenje ulja za regulaciju i za podmazivanje).

Takođe je postrojenje sa gasnom turbinom vrlo pogodno za energetske korišćenje otpadnih gasova u industriji (gasova visokih peći, gasova iz rafinerija nafte i hemijskih industrija).

Gasna turbina može se upotrijebiti i za kombinovanu proizvodnju električne energije i toplote, bilo u obliku tople vode bilo u obliku pare.

2.3.1.1.3. Dizel termoelektrane

Dizel termoelektrane (Slika 2.64) su po svom izvođenju najjednostavnije, ali su danas i najmanje u upotrebi. One se razlikuju od parnih ili gasnih po pogonskoj mašini, koja je u ovom slučaju dizel motor, odnosno mašina koja pripada grupi motora sa unutrašnjim sagorijevanjem.



Slika 2.64. Dizel termoelektrana

Glavni dijelovi dizel elektrane su:

- **dizel motor** i
- **električni generator**.

Dizel elektrane su postrojenja koja se najčešće koriste kao rezervne elektrane u EES, kao rezervni izvori energije u urbanim sredinama (bolnice, robne kuće i sl.), i kao stalni izvori energije na brodovima, naftnim platformama, ostrvskim područjima, svjetionicima i sl.

Najvažniji dio opreme dizel termoelektrane je **dizel motor**. Puštanje u rad dizel motora osigurava se komprimovanim vazduhom i dotokom goriva iz dnevnog rezervoara za naftu. **Izmjenjivačima toplote** osigurava se hlađenje motora. Voda iz izmjenjivača toplote vodi se u **rashladni toranj** gdje se hladi i vraća u **proces**. Rad elektrane zasniva se na pretvaranju mehaničkog rada kojeg stvara dizel motor u električnu energiju.

Dizel motor je motor sa unutrašnjim sagorijevanjem koji pripada grupi termičkih motora sa unutrašnjim sagorijevanjem, čija se komora za sagorijevanje, nasuprot termičkim motorima sa spoljnim sagorijevanjem (npr. parne mašine), nalazi u unutrašnjosti motora.

Same komore za sagorijevanje mogu imati vrlo različite oblike. U trenutku reakcije koja se odvija u komori za sagorijevanje, sagorijevanjem goriva oslobađa se energija koja se pretvara u mehanički rad, koji se može koristiti za različite namjene. Za pogon ovih mašina koristi se tečno gorivo (ugljovodonici).

Sagorijevanje u ovim termičkim mašinama odvija se u obliku vrlo brze (ali ne i eksplozivne) reakcije goriva sa kiseonikom. Sa izuzetkom raketnih motora i određenih podvodnih pogonskih uređaja, za sagorijevanje se uvijek upotrebljava kiseonik iz okoline.

Kod ove vrste sagorijevanja gorivo mora da se nalazi u obliku pare ili gasa. Osim toga, odnos smješe goriva i vazduha mora da se održava u vrlo definisanim granicama. Gorivo mora biti u stanju da lako i brzo isparava, što prvenstveno zavisi od temperature okoline i od prirode goriva. Sagorijevanje se utoliko bolje odvija ukoliko se gorivo više rasprši u fine kapljice.

Prilikom sagorijevanja hemijska energija goriva se više ili manje potpuno pretvara u toplotnu energiju, što zavisi od kvaliteta sagorijevanja. Kad izlazni gasovi pokazuju veliki sadržaj ugljenmonoksida, metana, kiseonika i vodonika, sagorijevanje se odvija nepotpuno. Pretvaranje toplotne energije u energiju kretanja nastaje kad se gasovi sagorijevanja šire.

Za pretvaranje u rad toplotne energije koja nastaje pri sagorijevanju primjenjuju se razne mehaničke konstrukcije. One se uglavnom zasnivaju na tome da se energija koja nastaje u prostoru za sagorijevanje pretvori u rotacionu energiju jednog vratila. Izuzetak čine mlazni i raketni motori, koji nastajuću energiju pritiska direktno iskorišćavaju.

Motore sa unutrašnjim sagorijevanjem dijele se u dvije grupe:

- **klipne motore** i
- **turbinske motore**.

Razvoj na ovom području je donio i **motor sa rotacionim klipom** (npr. Vankeleov motor), koji isto tako spada u ovu grupu, kao i razne kombinacije turbinskih i klipnih motora.

Svim motorima sa unutrašnjim sagorijevanjem je potreban pokretač, pošto ne mogu sami po sebi da se pokrenu. Sa izuzetkom velikih brodskih motora i vrlo malih motora (npr. vanbrodski motori) koji se puštaju u rad ili komprimovanim vazduhom ili ručno, uglavnom se koriste elektropokretači, koji se napajaju iz aku-

mulatora. Obično elektropokretač klipnog motora djeluje na zamajac, a kod gasnih turbinskih motora na vratilo kompresora.

Akumulator ne služi samo za pokretanje motora. Kod motora sa električnim paljenjem, on, između ostalog, daje i potrebnu struju za paljenje; kod dizel-motora strujom se napajaju svjećice potrebne za pokretanje hladnog motora.

Osnovne prednosti dizel termoelektrana su: veoma jednostavna konstrukcija, lako i jednostavno instaliranje, zauzima relativno malo prostora, ograničena potrebna količina vode za hlađenje, do reda 150 MW kapaciteta dizel elektrane su mnogo efikasnije od parnih elektrana, brz start i spajanje na opterećenje, lak odziv na varijacije opterećenja, mali potrebni rezervoar za gorivo, nema problema sa pepelom, zahtijeva relativno malo nadgledanje i sl.

Ove termoelektrane imaju i određene nedostatke, kao što su: visoki troškovi održavanja, troškovi goriva i operativni troškovi, veći proizvodni troškovi električne energije od drugih tipova termoelektrana, kraći životni vijek, značajan nivo buke, ne može se izgraditi za veće snage i sl.

Z

Prva nuklearna termoelektrana koja je uključena u električnu mrežu stavljena je u pogon 1954. godine u SSSR. Snaga joj je bila 5 MW, gorivo 5–6% obogaćeni uran, moderator grafit, a rashladni medij voda.

U Velikoj Britaniji je prva nuklearna termoelektrana stavljena u pogon 1956. (Calder Hall, gorivo prirodni uran, moderator grafit, rashladni medij ugljen-dioksid). Iste godine je puštena u pogon i prva nuklearna termoelektrana u Francuskoj (Marcoule G-1). Prva nuklearna termoelektrana u SAD stavljena je u pogon krajem 1957. (Shippingport, 60 MW, gorivo visokoobogaćeni uran, rashladni medij voda pod pritiskom).

Danas je, i pored značajnih smetnji, problema i otpora, u pogonu i u izgradnji više stotina nuklearnih termoelektrana u mnogim zemljama. Krajem 2013. godine u svijetu je u komercijalnom pogonu u elektranama bilo 436 nuklearnih reaktora, i još 67 u izgradnji.

2.3.1.2. Nuklearne termoelektrane

D

Nuklearna termoelektrana je postrojenje u kojem se toplotna energija, koja se oslobađa u nuklearnim reaktorima prilikom raspada atoma „nuklearnih goriva“, poslije određenih transformacija, koristi za proizvodnju električne energije.

Na taj način dobijena toplotna energija upotrebljava se, pri današnjem stanju razvoja tehnike, samo za stvaranje vodene pare kojom se pokreću turboagregati (Slika 2.65).



Slika 2.65. Nuklearna termoelektrana sa rashladnim tornjevima

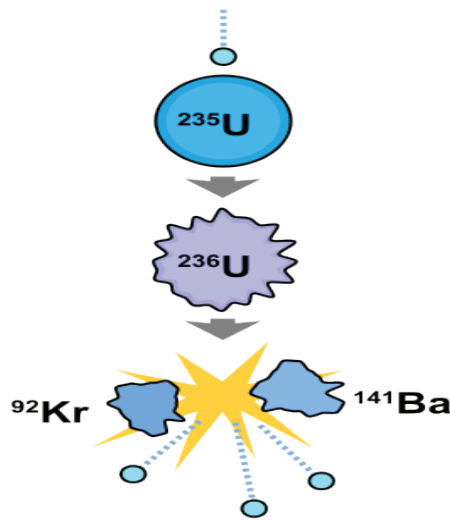
D

Nuklearna fisija (razdvajanje, dijeljenje) je nuklearna reakcija koja nastaje kada se jezgro teških atoma nekog hemijskog elementa (uglavnom se koriste uran i plutonijum) cijepa na više fisionih produkata (fisioni fragmenti) sličnih masa, uz emisiju jednog ili više neutrona i oslobađanje velike količine energije.

Kako se pri fisiji oslobađaju i neutroni to je moguće, pri određenim uslovima, postići kontinualnost procesa cijepanja atoma. Ovaj proces, koji se odvija u strogo kontrolisanim uslovima, naziva se lančana reakcija fisije i on omogućava praktično korišćenje nuklearne energije. Ukoliko se izvodi bez kontrole, ovaj proces predstavlja atomsku bombu. Atomska bomba je rezultat namjerno izazvane prevelike koncentracije slobodnih neutrona, koji se tada sudaraju sa fisijски osjetljivim atomima ostvarujući nekontrolisanu eksploziju energije.

Najlakše dolazi do fisije teških jezgara sa neparnim brojem nukleona (izotopi urana U-233 i U-235, plutonijuma Pu-239 i Pu-241).

Jedna od mogućih reakcija nuklearne fisije data je na Slici 2.66. Atom uranijuma U-235 hvata spori neutron i raspada se na dva nova atoma – fisijски produkti: Ba-141 (barijum-141) i Kr-92 (kripton-92). Pri tome se oslobađaju 3 nova neutrona i ogromna količina vezane energije (oko 200 MeV).



Slika 2.66. Jedna od mogućih reakcija nuklearne fisije

U nuklearnoj termoelektrani termički proces je u principu isti kao kod parne kondenzacione termoelektrane na ugalj. Kao što je već navedeno, u kondenzacionoj parnoj termoelektrani na ugalj dio elektrane u kome se koristi hemijska energija goriva za dobijanje toplote je parni kotao. U nuklearnoj elektrani umjesto parnog kotla postoji nuklearni reaktor, koji zamjenjuje parni kotao i u kome se odvija proces raspadanja čestica i kontinuirano oslobađanje fisijске energije na kontrolisani način.

Da bi lančana reakcija bila kontrolisana, neophodno je usporiti brze neutrone. Ovo se postiže pomoću **moderatora** (usporivača). Najčešće se kao moderator koristi teška voda, laka voda ili grafit. Pošto je radno tijelo na koje se predaje toplota u reaktoru izloženo radioaktivnom zračenju, potrebno je konstrukcijom ovih elektrana spriječiti izlaganje radnog osoblja i ostalih djelova postrojenja ovom opasnom zračenju. U tu svrhu obično u nuklearnim termoelektranama postoje dva cirkulaciona toplotna kruga: primarni – reaktorski krug koji prolazi kroz reaktor i sekundarni – turbinski krug, kojim se u izmjenjivaču toplote preuzima toplota od radnog tijela iz primarnog kruga, i koji ne sadrži radioaktivne čestice.

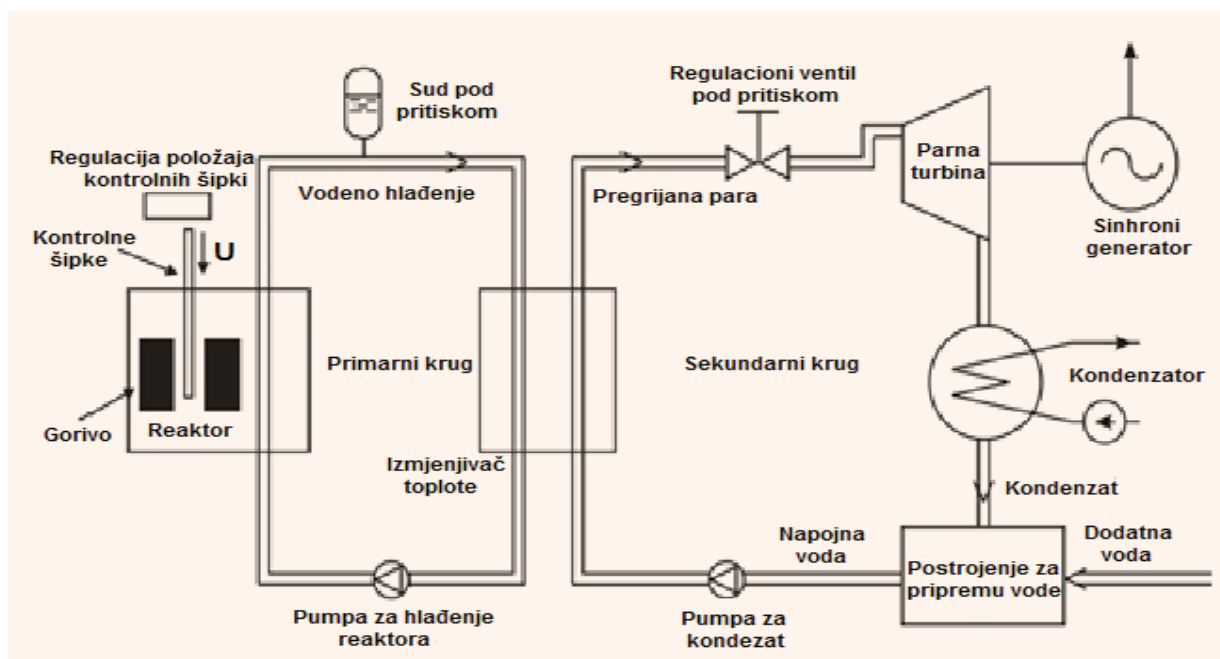
Osnovni djelovi nuklearnih elektrana su: zaštitna zgrada, nuklearni reaktor, generator pare, pumpe, posuda za održavanje konstantnog pritiska i ostali sistemi klasične termoelektrane.

Jedna od mogućih šema za proizvodnju električne energije u nuklearnoj termoelektrani (nuklearna elektrana sa lakovodnim reaktorom) data je na slici 2.67.

Z

Energija oslobođena fisijom javlja se u obliku kinetičke energije fisionih fragmenata (manifestuje se u obliku toplote) i energije alfa, beta i gama zračenja. Iz jednog kilograma U-235 može se dobiti oko 23.000 MWh energije. Dobijena toplotna energija se na različite načine odvodi iz reaktora, pri čemu mehanizam odvođenja toplote zavisi od vrste nuklearnog reaktora.

Toplota koja se stvara raspadanjem jezgra fisionog materijala u reaktoru (izgaranje nuklearnih goriva) predaje se u primarnom cirkulacionom krugu radnom fluidu (obična voda, teška voda, tečni natrijum, ugljen dioksid, helijum i dr.). Radno tijelo struji kroz primarni (reaktorski krug) krug i u izmjenjivaču toplote predaje toplotu vodi odnosno pari iz sekundarnog kruga, a zatim se ponovo vraća u reaktor (Slika 2.67). Postojanje primarnog kruga je neophodno s obzirom na to da je radno tijelo na koje se predaje toplota u reaktoru izloženo radioaktivnom zračenju. Izmjenjivač toplote (ponekad nazvan parogenerator) odvaja primarni od sekundarnog kruga.



Slika 2.67. Šematski prikaz nuklearne elektrane sa lakovodnim reaktorom

Da bi se spriječilo izlaganje ovom veoma opasnom zračenju ostalih dijelova postrojenja i radnog osoblja, u nuklearnim termoelektranama postoje pored primarnog – reaktorskog i sekundarni – turbinski krug, kojim se u izmjenjivaču toplote preuzima toplota od radnog tijela iz primarnog kruga, i koji ne sadrži radioaktivne čestice. Sekundarni – turbinski krug u nuklearnoj elektrani je potpuno identičan krugu u klasičnoj termoelektrani.

Osim rješenja sa izmjenjivačem toplote moguće je korišćenje toplote iz reaktora u jednom krugu. U tom slučaju para ili gas iz reaktora ide neposredno u turbinu (parnu ili gasnu), a reaktor potpuno zamjenjuje kotao. Za slučaj rješenja bez izmjenjivača potrebno je cijelo postrojenje oklopiti radi neophodne zaštite od radioaktivnosti.

Kako su ostali osnovni dijelovi nuklearne termoelektrane i njihove osnovne funkcije već opisani kod klasičnih termoelektrana, to će ovdje biti detaljnije opisan samo nuklearni rektor.

Nuklearni reaktor je uređaj u kojem se fisioni materijal izložen bombardovanju neutronima raspada, a pri tom raspadu oslobađaju se novi neutroni, koji su po broju i po brzini dovoljni da dalje održavaju reakciju raspadanja.

Do raspada jezgra fisionog materijala dolazi u slučaju prodora neutrona u jezgro. Međutim, treba imati na umu da niti će svaki neutron prodrijeti u jezgro, niti će svako jezgro biti pogođeno neutronom. Ako u jedinici zapremine fisionog materijala ima N jezgara ($\text{jezgra}/\text{cm}^3$) eksperimentalno se može utvrditi da će N_1

jezgara biti pogođeno neutronom koji brzinom v proleti kroz tu zapreminu. Odnos između N_1 i N predstavlja vjerovatnoću pogootka (cm^2):

$$\sigma = \frac{N_1}{N} \quad (2.22)$$

Taj odnos se naziva ukupni **udarni presjek**, jer ima dimenziju presjeka. Jedinica za udarni presjek je barn, koja je jednaka 10^{-24} cm^2 .

Sudar neutrona sa jezgrom ne mora da dovede do raspada jezgra, jer će u nekim slučajevima doći samo do elastičnog ili neelastičnog sudara ili samo do pobuđivanja uz emisiju fotona. Dakle, samo jedan dio sudara ima za posljedicu raspad jezgra, pa je i vjerovatnoća takvog sudara manja od vjerovatnoće pogootka prikazanog izrazom (2.22).

Na isti način kao što je definisan ukupni udarni presjek, mogu se definisati i udarni presjeci za ostale pojave (elastičnog i neelastičnog sudara, izotopne reakcije sa emisijom fotona i sl.). Udarni presjek zavisi od vrste jezgra i od brzine, odnosno energije neutrona.

Dio oslobođenih neutrona će „pobjeći“ iz reaktora, drugi dio će biti apsorbovan a da ne prouzrokuje raspad fisisonog materijala, dok će samo dio oslobođenih neutrona proizvesti novo raspadanje sa oslobađanjem neutrona.

Tek ako je odnos između broja neutrona koji su oslobođeni raspadanjem jezgra i broja neutrona u prethodnoj generaciji jednak ili veći od 1, biće moguće održavati lančano raspadanje. Taj odnos se naziva **faktor multiplikacije**. Kad je faktor multiplikacije manji od 1, broj oslobođenih neutrona sve će se više smanjivati, pa će raspadanje jezgara nakon nekog vremena potpuno prestati, odnosno ovaj proces će se ugasiti.

Kontrolisana lančana reakcija nuklearne fisije odvija se u nuklearnom reaktoru (Slika 2.68) koji se, po pravilu, sastoji od sljedećih osnovnih dijelova:

- tijela reaktora,
- reflektor sa moderatorom,
- sistem za hlađenje,
- sistem za regulaciju i
- biološka zaštita (štit).

Tijelo reaktora predstavlja aktivni dio reaktora u kojem se odvija lančana reakcija, tj. u kojem „izgara“ nuklearno gorivo. Ovaj dio reaktora sadrži u većoj ili manjoj koncentraciji neki fisioni materijal. Ako se proces diobe odvija posredstvom brzih neutrona, tijelo će biti uglavnom od čistog nuklearnog goriva. Tada se govori o reaktoru sa brzim neutronima ili brzom reaktoru. Brzi reaktor se može realizovati od čistog U-235. U tom slučaju nema negativnog uticaja U-238.

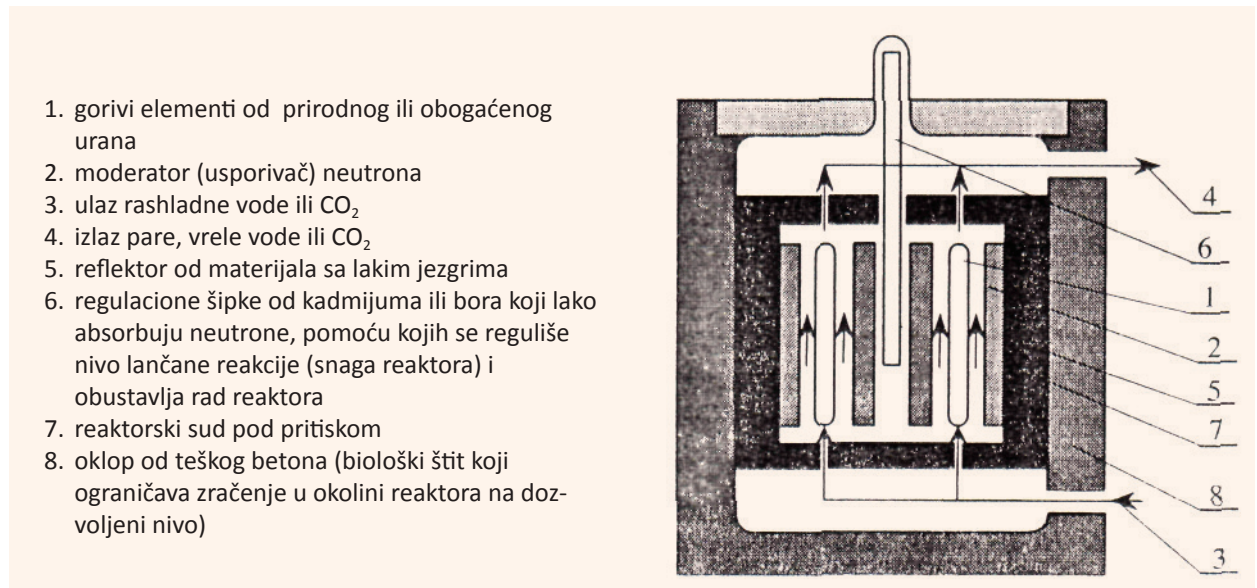
Međutim, ukoliko se lančana reakcija odvija posredstvom sporih termičkih neutrona (spori ili termički reaktor), gorivo je pomiješano sa nekim moderatorom (usporivačem). Spori reaktori mogu se ostvariti kao homogeni ili kao heterogeni reaktori (Slika 2.68).

U homogenim reaktorima fisioni materijal je ili otopljen (npr. uranove soli u vodi) ili pomiješan sa moderatorom (mješavina urana i usitnjenog grafita). U heterogenim reaktorima fisioni materijal je uložen u obliku štapova ili ploča u moderator.

Kao fisioni materijal u praktičnoj primjeni koriste se: U-238, U-235 kao prirodni i U-233 i Pu-239 kao vještački proizvedeni fisioni materijali.

Navedena nuklearna goriva (osim U-238) zovu se i **čista nuklearna goriva**, jer se mogu sama upotrijebiti kao gorivo u reaktoru. Nasuprot čistim nuklearnim go-

rivima, ne može se samo sa U-238 osigurati lančana reakcija, dok je to moguće postići sa prirodnim uranom, u kojem se pored U-238 (99,3%) nalazi i U-235 (0,7%).



Slika 2.68. Šema heterogenog nuklearnog reaktora sa termičkim neutronima



Snaga nuklearnog reaktora se obično daje u MW, dakle u električnim jedinicama, iako se radi o toplotnom izvoru energije.

Zbog toga što prirodni uran ima mali faktor multiplikacije, potrebno je stvoriti naročito povoljne uslove za održavanje lančane reakcije, pa se umjesto prirodnog urana upotrebljava tzv. **obogaćeni uran**. Pod obogaćenim uranom podrazumijeva se prirodni uran u kojem je na vještački način povećan procenat U-235. Obogaćenjem prirodnog urana povećava se faktor multiplikacije.

Tako se npr. kaže da reaktor ima snagu od 10 MW termičkih, kako ne bi bilo sumnje da se radi o snazi na izlazu iz reaktora, a ne na priključnicama generatora, kojega pokreće taj reaktor.

Da bi lančana reakcija bila kontrolisana, neophodno je usporiti brze neutrone. Materijali, koji se mogu upotrebiti kao moderatori (usporivači) i reflektori u nuklearnim reaktorima, dosta su rijetki. Oni moraju imati sljedeća svojstva:

- malu atomsku težinu,
- mali udarni presjek apsorpcije i
- mogućnost dobijanja dovoljnih količina uz potrebnu čistoću i uz razumnu cijenu.

Kao moderatori obično se koriste:

- obična voda,
- teška voda,
- berilijum,
- grafit i
- berilijev oksid.

Danas se najčešće upotrebljavaju: grafit, teška voda i obična voda.

Koncentracija teške vode može se postići: elektrolizom, frakcionom destilacijom i zamjenom vodonika deuterijem ($H_2O + D_2 = D_2O + H_2$) korišćenjem katalizatora. Prilikom upotrebe teške vode treba voditi računa da ne dođe do kontakta između teške i obične vode, koju bi teška voda apsorbirala i na taj način bi se smanjila čistoća teške vode.

Glavna prednost teške vode nad običnom vodom je znatno manji efikasni presjek apsorpcije (preko 700 puta manji), što omogućava održavanje lančane reakcije u reaktoru sa prirodnim uranom i sa teškom vodom kao moderatorom. Lančana

reakcija sa običnom vodom kao moderatorom moguća je samo u slučaju upotrebe obogaćenog prirodnog urana.

Za odvođenje toplote iz tijela reaktora kao rashladni medij mogu se upotrijebiti:

- obična voda,
- neki gasovi (CO_2 , He,...),
- rastopljeni metali (Na, K,...) i
- neki organski spojevi.

Rashladni medij struji kroz tijelo reaktora, preuzima toplotu i dovodi je bilo neposredno u turbinu (ako je rashladni medij voda koja izlazi iz reaktora u obliku pare) ili u izmjenjivač toplote u kojem voda isparava.

Odvođenje toplote običnom vodom ima znatnih prednosti (mogućnost i iskustvo pripreme vode, visoki koeficijent prelaza toplote i sl.), ali i nedostataka. Ako se kao rashladni medij upotrebljava voda, ne može se upotrijebiti kao fisioni materijal prirodni uran, a za postizanje visokih temperatura potrebno je raditi pod visokim pritiscima. U čitavom postupku posebnu pažnju treba posvetiti pripremi vode jer nečistoće u vodi mogu postati znatno radioaktivne.

Ugljen-dioksid je podesan za odvođenje toplote iz reaktora zbog svojih povoljnih nuklearnih karakteristika, relativno velikog koeficijenta prelaza toplote i zbog svoje hemijske stabilnosti. Ugljen-dioksid ne postaje radioaktivan prilikom prolaza kroz reaktor, što pojednostavljuje izvođenje. Osim toga, ugljen-dioksid ne izaziva koroziju.

Mogućnost rada sa visokim temperaturama uz male pritiske, kao i visoki koeficijent prelaza toplote, doveli su do upotrebe rastopljenih lakih metala kao medija za odvođenje toplote iz reaktora. Kao medij može se upotrijebiti natrijum ili legura natrijuma i kalijuma.



Lančana reakcija u reaktoru može se održati samo ako je faktor multiplikacija jednak ili veći od jedan, dok je za stabilan pogon potrebno održavati faktor multiplikacije $k = 1$.

Održavanje faktora multiplikacije na određenoj visini znači održavanje određenog toka neutrona. Za tu svrhu upotrebljavaju se štapovi od kadmijuma (ili bora) koji imaju vrlo veliki **udarni presjek apsorpcije** – sposobnost apsorpcije neutrona. Uvlačenjem ovih štapova – štapovi za regulaciju (Slika 2.69) smanjuje se tok neutrona (usporava se reakcija i reguliše proces), dok se njihovim izvlačenjem tok neutrona povećava (ubrzava se reakcija).



Slika 2.69. Unutrašnjost nuklearnog reaktora (štapovi za regulaciju)

Raspadom radioaktivnih elemenata u reaktoru (nuklearna fisija) nastaju radioaktivne čestice čijim zračenjem dolazi do određenih bioloških djelovanja i efekata. Zraci koje emituju izvori jonizirajućih zračenja (reaktor, rashladni medij, radioaktivni otpaci i sl.) izazivaju oštećenja pojedinih organa ljudi koji su im izloženi, ili njihovog organizma u cjelini. Intenzitet oštećenja je srazmjeran energiji koju zračenje jonizacionim procesima predaje organizmu, tzv. **apsorbovanoj dozi zračenja**. Apsorbovana doza zračenja je zavisna od intenziteta zračenja kojem je organizam izložen i vremena za koje mu je izložen.

Radi biološke zaštite osoba koje rade u nuklearnoj elektrani ili se nalaze u njejoj blizini, neophodno je preduzeti mjere kako bi intenzitet zračenja kojem bi one mogle biti izložene bio bezopasan. Treba takođe vršiti i kontrolu postojanja nuklearnog zračenja u prostorima gdje se ljudi kreću i kontrolu apsorbovane doze koju oni primaju.

Zaštita osoblja u elektrani i u okolini može se podijeliti u tri dijela:

- zaštitu oko reaktora,
- zaštitu svih dijelova postrojenja koja su radioaktivna ili to mogu postati, i
- zaštita okoline od radioaktivnih otpadaka.

Zaštita oko reaktora izvodi se najčešće betonskim zidom (debljine i nekoliko metara) sa dodacima bora, željeza i sl. Ova zaštita naziva se i **biološki štit**.

Djelovi postrojenja koji su radioaktivni ili to mogu postati postavljaju se u čelične posude, dok se zaštita od radioaktivnih otpadaka vrši već prema vrsti tih otpadaka.

Produkti raspadanja i ostaci goriva smještaju se u posebne betonske posude u kojima se prevoze bilo u postrojenja za ponovnu obradu, bilo za deponovanje u more ili u zemlju u nenaseljenim područjima. Otpaci, koji su slabije radioaktivni, odlažu se za izvjesno vrijeme u betonske rezervoare, a nakon toga se ispuštaju u rijeku ili more.

2.3.2. Glavni djelovi termoelektrana

U glavne djelove klasičnih termoelektrana ubrajaju se:

- kotlovsko postrojenje,
- agregat (turbina i generator),
- kondenzatorsko postrojenje,
- pomoćni uređaji i postrojenja,
- visokonaponsko razvodno postrojenje.

2.3.2.1. Kotlovsko postrojenje



Kotlovsko postrojenje služi da se u njemu što ekonomičnije i efikasnije izvrši sagorijevanje goriva i da dobijenu toplotu preda radnom tijelu.

Hemijska energija goriva, koja se u kotlovskom postrojenju pretvara u toplotnu energiju produkata sagorijevanja, predaje se u parnom kotlu vodi, stvarajući **radno tijelo – vodenu paru**.

Transformacija hemijske energije goriva u električnu energiju kod termoelektrana vrši se posredstvom radnog tijela – vodene pare, preko zatvorenog kružnog procesa (predstavljen na Slici 2.57. i objašnjen u poglavlju 2.3.1.1.1. Parne termoelektrane).

Ukratko, u parnoj termoelektrani voda se zagrijava, ključa, isparava i pregrijava u parnom kotlu. Pregrijava para se posebnim uređajima – mlaznicama, koje pretvaraju energiju pare u brzinu i upućuju je u željenom pravcu, ubrzava i dovodi u parnu turbinu. U parnoj turbini para ekspanrira do kondenzatorskog pritiska predajući svoju energiju lopaticama turbine. Usljed toga lopatice se okreću okrećući i osovinu turbine, odnosno transformišući se u mehaničku energiju na vratilu rotora turbine. Kako se na istom vratilu nalazi generator, to se njegovim okretanjem okreće i rotor generatora, čime se na njegovim priključcima dobija električna energija.

U opštem slučaju parni kotao (generator pare) predstavlja jedan element kružnog procesa u energetsom, industrijskom ili toplotnom postrojenju, u kojem se toplota oslobođena sagorijevanjem goriva predaje vodi, pretvarajući je u radno tijelo – vodenu paru.

Problemi i zadaci parnih kotlova u sklopu energetskih, industrijskih ili toplotnih postrojenja su mnogobrojni i složeni. Zbog toga su se razvili, a i dalje se razvijaju, brojni tipovi različitih parnih kotlova, različitog oblika, različitog kapaciteta i različitih karakteristika i namjene.

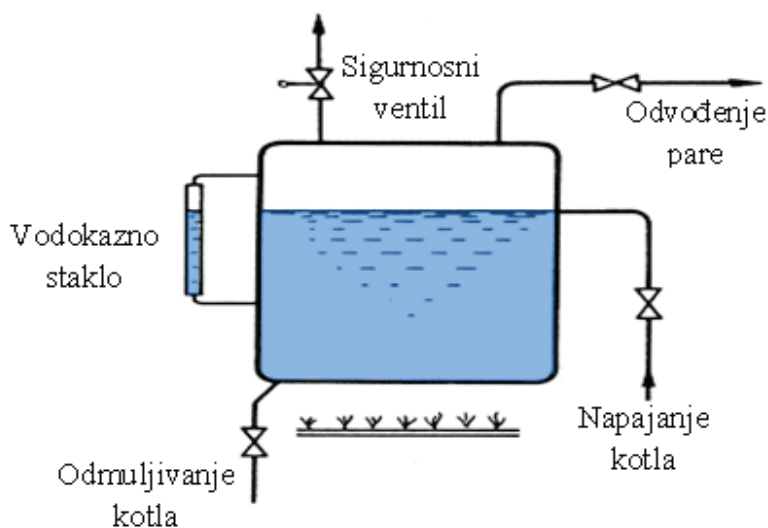
Osnovni zadaci parnih kotlova su:

- da što ekonomičnije i efikasnije izvrši sagorijevanje dovedenog goriva i
- da toplotu dobijenu sagorijevanjem goriva preda radnom tijelu.

Toplota prenijeta na radno tijelo može biti iskorišćena za: grijanje prostora; industrijske procese i procese u poljoprivredi; u termoelektrani za dobijanje mehaničkog rada i električne energije i sl.

Zbog različite namjene i korišćenog goriva kotlovi se različito konstruišu. U literaturi postoji više podjela, koje se razlikuju po parametru koji je uzet kao kriterijum izbora. Najčešća podjela kotlova je: prema načinu montaže; prema pritisku pare; prema vrsti pare; prema konstrukciji; prema sadržaju pare i sl.

Principijelna, vrlo uprošćena, šema parnog kotla prikazana je na Slici 2.70. Para proizvedena u kotlu odvodi se do potrošača, npr. u parnu turbinu, preko odvodnog ventila. Dovodni uređaj na turbini pruža otpor strujanju pare i tako se podese da kroz njega struji potrebna količina pare koja je primjerena snazi što je razvija parna turbina. Pritisak pare održaće se na konstantnoj vrijednosti samo ako je proizvodnja pare u kotlu upravo jednaka količini pare koja iz njega izlazi.



Slika 2.70. Principijelna šema parnog kotla

Pri povećanoj potrošnji pare pritisak će u kotlu postati manji. Da bi pritisak ponovno porastao, treba povećati isparivanje u kotlu, a to je moguće samo ako se poveća dovođenje toplote, odnosno dovod goriva.

Isparivanjem i odvođenjem pare smanjuje se količina vode u kotlu, pa se mora povremeno ili konstantno kotao napajati novom vodom. Napajanje se reguliše tako da se nivo vode u kotlu održava u određenim granicama. Nivo vode u kotlu nadzire se pomoću tzv. **vodokaznog stakla** koje djeluje na principu spojenih sudova. Cijev za napajanje dovodi vodu u kotao ili u nivou ili iznad nivoa vode, da bi se spriječilo njeno oticanje iz kotla ako zakaže sistem za napajanje. Ako bi, naime, kotao ostao bez vode, oštetile bi se njegove stranice i dno zbog porasta temperature, jer ih više ne hladi voda. Sa istom svrhom u dovod za napajanje kotla ugrađuje se povratni ventil koji sprečava isticanje vode iz kotla.

Osim toga, potrebna su još dva sigurnosna uređaja. Jedan sigurnosni ventil služi za ispuštanje pare iz kotla u okolinu ako pritisak premaši dopuštenu granicu. Taj ventil mora biti tako dimenzioniran da može propustiti i maksimalnu količinu pare što je može proizvesti kotao.

Na dnu kotla postavlja se i ventil za odmuljivanje, jer voda u kotao donosi nečistoće, najčešće soli otopljene u vodi, koje se skupljaju na dnu, jer ih para ne nosi sa sobom. Taj ventil se povremeno otvara da se ispusti sakupljeni mulj kako bi gustina vode u kotlu ostala u dopuštenim granicama.

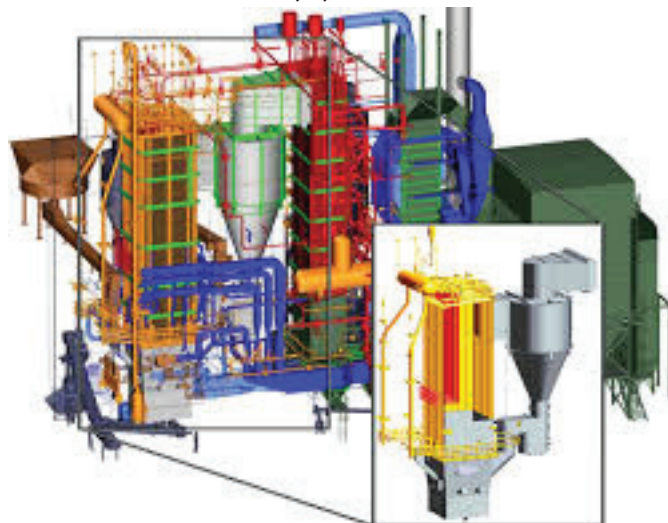
Osnovna razlika u izvođenju parnih kotlova sastoji se u načinu prolaska gasova sagorijevanja kroz kotao, tj. da li gasovi prolaze kroz cijevi okružene vodom ili oko cijevi u kojima je voda.

Prema tome, postoje sljedeće osnovne konstrukcije parnih kotlova:

- **plamenocijevni kotlovi**, gdje gasovi sagorijevanja struje kroz cijevi oko kojih je voda,
- **vodocijevni kotlovi**, gdje gasovi sagorijevanja struje oko cijevi u kojima je voda i
- **kombinovani kotlovi**, gdje gasovi sagorijevanja prolaze dijelom kroz plamene cijevi, a dijelom oko cijevi ispunjenih vodom.

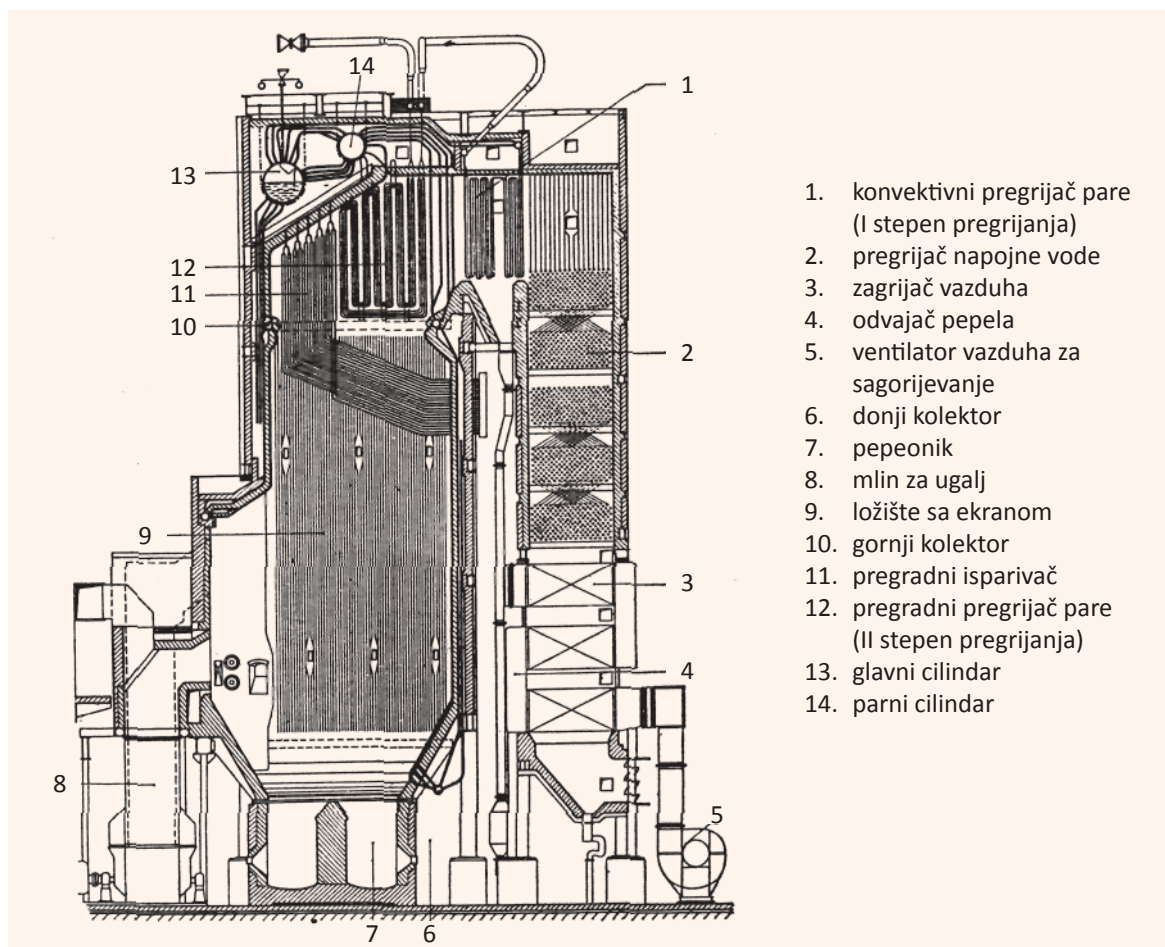
Parni kotlovi koji se danas upotrebljavaju u termoelektranama su veoma komplikovane konstrukcije. Najčešće se koriste vodocijevni kotlovi sa cijevima smještenim oko ložišta.

Radi sticanja grube slike o komplikovanosti izvođenja kotlovskih postrojenja, izgled jedne od ovih složenih instalacija je dat na Slici 2.71.



Slika 2.71. Izgled parnog kotla

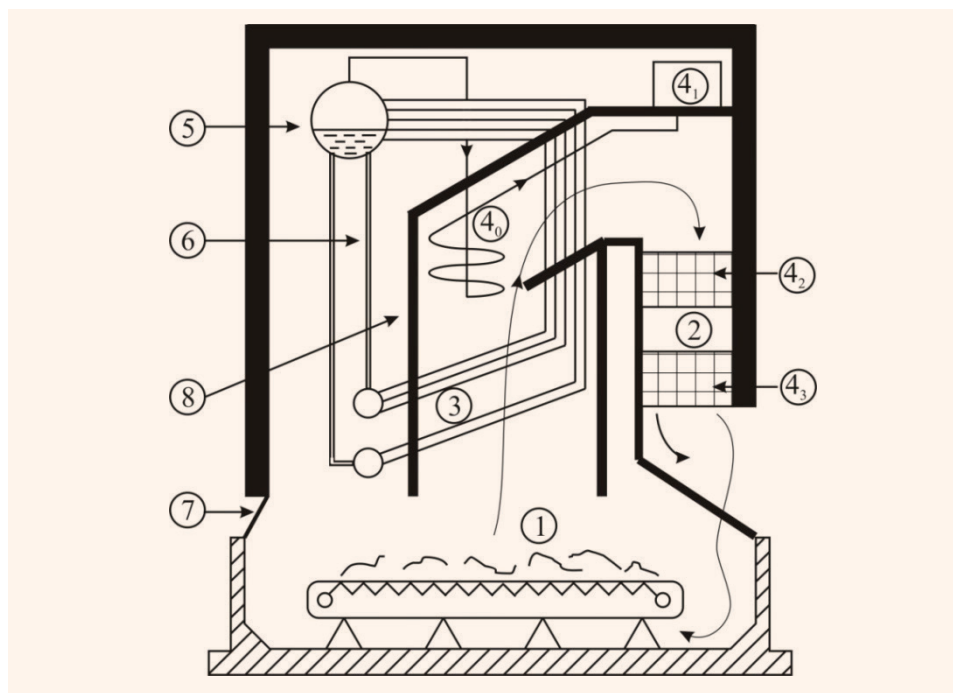
Osnovni elementi relativno proste konstrukcije parnog kotla dati su na Slici 2.72. Konstrukcija kotlova u termoelektrani prilagođena je određenom kvalitetu goriva. Normalno je da to bude uglj iz rudnika u neposrednoj blizini elektrane (ako se radi o uglju male kalorične moći) ili otpadne vrste uglja iz udaljenih rudnika (ako se radi o uglju veće kalorične moći). I u jednom i u drugom slučaju količine uglja su ograničene bilo zbog nedovoljnih rezervi uglja bilo zbog ograničene mogućnosti transporta.



Slika 2.72. Parni kotao na zračenje, sa sagorijevanjem ugljene prašine

Osnovni djelovi parnog kotla većih snaga, koji se koristi u savremenim termoelektranama, dati su na preglednoj i veoma uprošćenoj šemi parnog kotla sa vodogrejnim cijevima (Slika 2.73), gdje je:

- 1. **ložište**, koje predstavlja prostor za sagorijevanje goriva sa potrebnom opremom za pretvaranje hemijske energije goriva u unutrašnju energiju dimnih gasova;
- 2. **vatreni i dimni kanali**, usmjeravaju produkte sagorijevanja radi što efikasnije predaje toplote zagrijevnim površinama, odnosno radnom tijelu;
- 3. **glavne zagrijevne površine**, na kojima se vrši glavna predaja unutrašnje energije dimnih gasova na vodu i vodenu paru kao radno tijelo;
- 4. **pomoćne zagrijevne površine** (pregrijač pare – 4_o i spremište pregrijane pare 4₁, zagrijač vode – 4₂ i zagrijač vazduha – 4₃), za dodatno iskorišćenje energije dimnih gasova;
- **oprema i armatura kotlova** (mjerni i regulacioni instrumenti i uređaji, kao što su: 5 – rezervoar za vodu, 6 – cijevi za vodu, 7 – otvor za ubacivanje uglja, 8 – ozid kotla i sl.), potrebni za rad parnog kotla kao pogonske cjeline.



Slika 2.73. Uprošćena šema parnog kotla

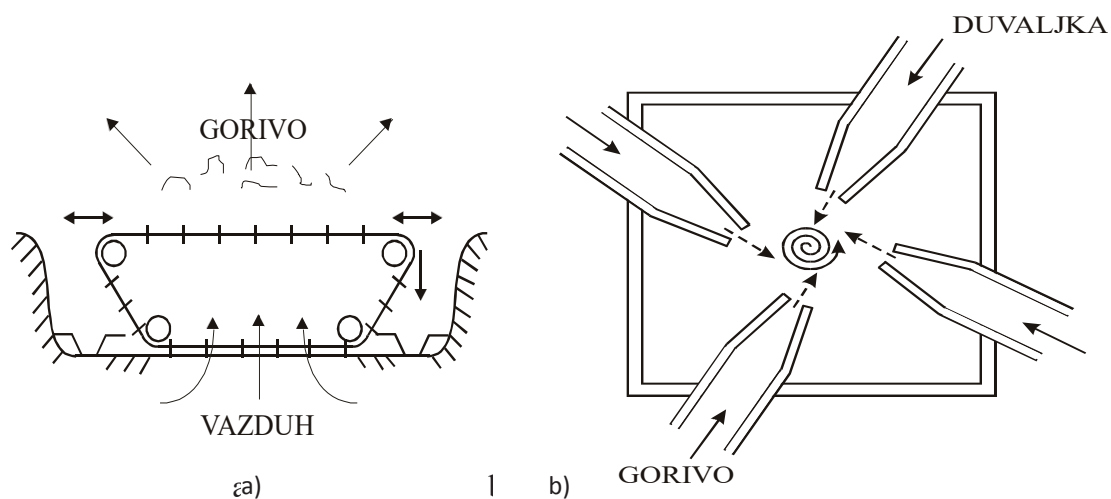
Osnovni zadaci ložišta (pozicija 1 na Slici 2.73) su:

- da se u njemu što efikasnije i ekonomičnije izvrši sagorijevanje goriva,
- da omogući odgovarajući dotok vazduha i njegovo miješanje sa gorivom,
- da obezbijedi potrebnu promaju za prolazak vazduha i produkata sagorijevanja do izlaska iz parnog kotla,
- da omogući lako i brzo odstranjivanje pepela i šljake sa što manjim gubicima toplote.

U zavisnosti od vrste korišćenog goriva, odnosno od karakteristika goriva koje na njima sagorijeva, postoje različiti oblici ložišta za: čvrsta, tečna i gasovita goriva.

U ložištu parnog kotla čvrsto gorivo može sagorijevati na dva načina:

- u sloju (ili komadima) na rešetki (Slika 2.74a) ili
- raspršeno (duvaljkama) u prostoru (ugljena prašina) (Slika 2.74b).



Slika 2.74. Primjeri ložišta za čvrsta goriva: a) u komadima, b) sa ugljenom prašinom

Rešetka se obično sastoji od niza šipki ili ploča, postavljenih horizontalno, koso ili stepenasto i međusobno povezanih, koje su ili nepomične, ili se preko odgovarajućih uređaja mogu pomjerati naprijed ili nazad, čime je omogućeno pomjeranje i odgovarajući raspored goriva, kao i odstranjivanje pepela i šljake.

Najčešće se koristi lančana rešetka, koja radi kao transportna traka (Slika 2.74a), koja se može koristiti za sva čvrsta goriva. Na početku rešetke ubacuje se ugalj iz posebnog lijevka, pri čemu se debljina uglja može regulisati. Ubacivanje čvrstog goriva u ložište može biti ili ručno (za manje kotlove) ili automatizovano. Pomjeranjem rešetke ugalj se kreće zajedno sa njom kroz komoru za sagorijevanje. Nakon sagorijevanja goriva, na rešetki ostaju pepeo i šljaka, koji pomjeranjem trake padaju sa rešetke u odvod pepela.

Sa donje strane se u ložište uduvava vazduh potreban za sagorijevanje, koji je najčešće prethodno zagrijan, a kroz ložište propada pepeo u pepeonik, ili se zajedno sa šljakom stresa u posebne kanale iz kojih se dalje odvodi iz TE.

Ukoliko se ugalj melje i pretvara u ugljenu prašinu, tada se koriste tzv. ložišta sa ubacivanjem (uduvavanjem), kod kojih se ugljena prašina u ložište ubacuje duvaljkama (Slika 2.74b). U ložištu se ugljena prašina miješa sa vazduhom (zagrijanim i do 300 °C, najčešće u zagrijaču vazduha) i ubrizgava u komoru za sagorijevanje. Duvaljke su raspoređene tako da pored ubacivanja goriva približno u centar komore omogućavaju i njegovo vrtložno kretanje, čime se gorivo raspršuje i obezbjeđuje bolji dodir sa kiseonikom i efikasnije sagorijevanje.

Smješa sitno samljevene ugljene prašine i zagrijanog vazduha ubrizgava se u komoru za sagorijevanje gdje se zapali i sagorijeva oslobađajući toplotu. Ugljena prašina se mora zadržati u ložištu sve dok ne izgori njena osnovna masa.

Mljevenjem uglja i njegovim pretvaranjem u ugljenu prašinu povećava mu se površina i do nekoliko stotina puta, čime se znatno skraćuje vrijeme sagorijevanja a time povećava efikasnost ložišta.

Ložišta za tečna goriva mogu biti konstruisana za laka i teška ulja, za otpadna i vrlo teška ulja (mazut, C-ulje) i za različite vrste lužina. Kao tečno gorivo parnih kotlova velikog kapaciteta danas se isključivo koristi teško ili vrlo teško lož ulje (mazut). Iz glavnog rezervoara pumpa se dnevna potrebna količina lož ulja u dnevni rezervoar sposoban da primi goriva za 12–24 sata pogona. Pošto su lož ulja pri temperaturi okoline veoma gusta, prije loženja ih treba zagrijavati. To se obično radi u dnevnom rezervoaru gdje se ulje grije zasićenom vodenom parom na temperaturi od ~50 °C.

Dnevni rezervoar je obično postavljen dovoljno visoko da lož ulje može gravitaciono proticati kroz filtre i doticati u pumpe. Nakon što se u pumpama povisi pritisak, lož ulje se zagrijava do temperature ~150 °C, da bi se u plamenicima moglo fino raspršiti, ali i da bi isparili lako isparljivi sastojci. Preko dovoda za stavljanje u pogon ulje se prije paljenja plamenika vraća u dnevni rezervoar. Tako se, prije stavljanja u pogon, gorivo pumpa kroz zagrijač da bi dostiglo temperaturu i viskoznost potrebnu za raspršivanje.

Za dobro i pravilno sagorijevanje potrebno je dobro raspršiti ulje i zatim ga pretvoriti u gasovito stanje – uljne kapljice. Kad se ulje rasprši i ispari, ono se zapali i izgori, oslobađajući potrebnu toplotu.

Kao gasovita goriva uglavnom služe prirodni (zemni) gas ili vještački gorivi gasovi (gradski gas, kokсни gas, gas iz visokih peći itd.). Za kotlove velikog kapaciteta dolazi u obzir samo prirodni gas. U topionicama željeza dobijaju se velike količine gasa iz visokih peći, dovoljne i za kotao velikog kapaciteta. Međutim, količina ovog gasa je vrlo promjenljiva, pa se nikada ne gradi kotao samo na ovaj gas, nego se loženje gasom kombinuje sa loženjem ugljenom prašinom ili lož uljem.

U poređenju sa čvrstim i tečnim gorivima miješanje vazduha sa gorivim gasom mnogo je povoljnije i brže. To je omogućilo razvoj različitih gasnih plamenika koji se mogu razvrstati u tri osnovne grupe:

- plamenici s potpunim miješanjem vazduha i gasovitog goriva prije isticanja u ložište,
- vrtložni plamenici gdje turbulentno strujanje i miješanje nastaje u ložištu, i
- plamenici s uporednim strujanjem vazduha i gasovitog goriva gdje iza plamenika strujanje vazduha i gasa postaje koso, pa se oni miješaju.

Vatreni kanali (pozicija 2 na Slici 2.73) služe da usmjere kretanje vrelih gasova sa ložišta na glavne zagrijevne površine, da bi se izvršila što je moguće efikasnija predaja njihove toplote zagrjevnim površinama, odnosno radnom tijelu.

U nastavku vatrenih kanala nalaze se **dimni kanali**, koji provode djelimično ohlađene produkte sagorijevanja preko dodatnih zagrjevnih površina i dimljaka do atmosfere (Slika 2.73).

Zagrijevne površine kotla su djelovi kotla u kojima se voda zagrijava, ključa i isparava, a proizvedena vodena para pregrijava se na zahtijevanu temperaturu. U ove površine spadaju sve zagrijevne površine izmjenjivača toplote (zagrijači, predisparivači i isparivači vode, pregrijači pare), spojni cjevovodi, komore i cilindar (bubanj) parnog kotla (ako postoji).

U parnim kotlovima postoje:

- **glavne zagrijevne površine** – površine isparivanja, i
- **pomoćne zagrijevne površine**, u koje se ubrajaju:
 - pregrijač pare,
 - zagrijač vode i
 - zagrijač vazduha.

Glavne zagrijevne površine (pozicija 3 na Slici 2.73) ili površine isparivanja – nalaze se u području najviših temperatura gasova sagorijevanja. To su površine koje se nalaze u neposrednoj blizini ložišta i na njima se vrši glavna (najveća) predaja toplote sa produkata sagorijevanja na radno tijelo. One su osnovni dio parnog kotla. Ta površina je s jedne strane u dodiru sa dimnim gasovima, a s druge strane s vodom i mješavinom vode i vodene pare.

Ranije je glavnu zagrijevnu površinu predstavljao cilindar parnog kotla (Slika 2.70), preko koga je toplota sa ložišta predavana vodi. U novijim konstrukcijama kotlova (Slika 2.72) cilindar postoji, ali uglavnom služi za smještaj vode i prihvatanje dijela prerađene pare, dok su glavne zagrijevne površine izvedene u vidu različitih, mnogo efikasnijih, isparivača (najčešće cijevi). Isparivači su cijevi povezane s vodnim komorama i bubnjem (cilindrom) tako da se odvija normalni protok vode i pare.

Pomoćne zagrijevne površine (pozicija 4 na Slici 2.73): pregrijač pare, zagrijač vode i zagrijač vazduha, služe:

- da se poveća koeficijent iskorišćenja parnog kotla i
- da se što je moguće više iskoristi toplota koju nose dimni gasovi (ide i do 600 °C).

Toplotu dimnih gasova treba iskoristiti što je moguće više, i sniziti im temperaturu do one koja obezbjeđuje dobru promaju i efikasan izlazak gasova kroz dimljak (najčešće ~ 180 °C).

Pregrijač pare (Slika 2.73) je smješten neposredno uz glavne površine isparavanja, pa se na njemu para pregrijava gasovima sagorijevanja (čija temperatura može biti i do 600 °C), koji su već dio toplote predali vodi preko glavnih zagrjevnih površina. Pregrijač pare je, u stvari, sklop ogrjevnih površina izmjenjivača toplote

u kojem se pregrijava zasićena vodena para do određene temperature pregrijavanja. U pregrijaču se, osim toga, suši para koja na ulazu u pregrijač sadrži određeni procenat vodenih čestica (1–5%). Ogrjevne površine pregrijača pare izrađuju se u obliku snopova čeličnih bešavnih cijevi, prema potrebi i od legiranog čelika, smještenih u ložištu ili u vodovima dimnih gasova.

Već djelimično ohlađeni gasovi prolaze preko ogrjevnih površina **zagrijača vode** (Slika 2.73) u kojem se voda zagrijava prije ulaska u prostor isparavanja. Zagrijač (predisparivač vode), je sklop ogrjevnih površina izmjenjivača toplote (niz cijevi kroz koje prolazi voda) u kojemu se voda zagrijava ili djelimično predisparuje. Ogrjevne površine zagrijača vode izrađene su od savijenih rebrastih livenih cijevi ili od čeličnih bešavnih cijevi.

Konačno, gasovi sagorijevanja prolaze kroz **zagrijač vazduha** (Slika 2.73) u kojemu se prije ulaska u ložište zagrijava vazduh potreban za sagorijevanje goriva. Ogrjevne površine zagrijača vazduha mogu biti u obliku limenih pločastih zagrijača, cijevnih zagrijača, livenih rebrastih cijevi ili posebne izrade. U ove cijevi pumpana se ubacuje svjež vazduh, koji se nakon zagrijavanja, pod pritiskom uduvava u ložište, gdje se miješa sa gorivom i omogućava njegovo efikasnije sagorijevanje.

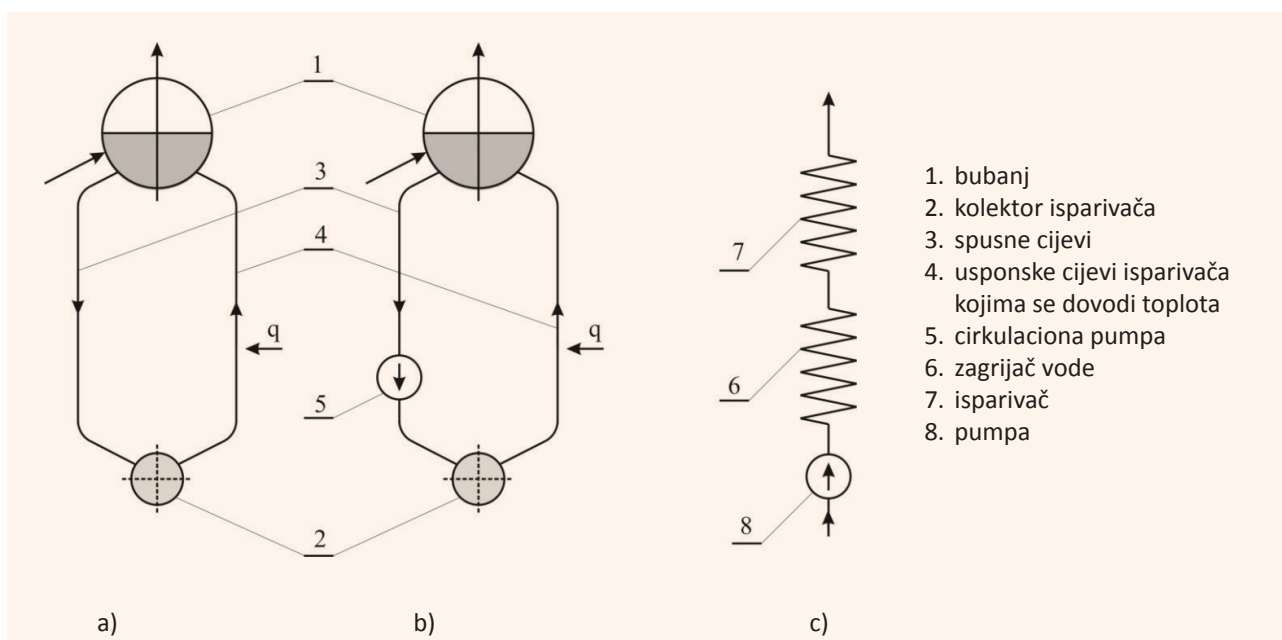
Pomoćne uređaje, opremu i armaturu kotla predstavljaju uređaji i oprema kojima se vrši:

- mjerenje odgovarajućih veličina stanja svih fluida u kotlu (voda, para, vazduh, gasovi sagorijevanja, i sl.) kao i
- regulacija i upravljanje njihovim dotokom i protokom.

Dio pomoćnih uređaja smješten je u parnom kotlu, kao npr. gruba i fina armatura, dok se uređaji koji služe za dovod vode, goriva i vazduha, uređaji za odvod dimnih gasova, pepela i šljake, kao i uređaji za regulaciju i automatizaciju pogona, po pravilu, nalaze izvan kotla.

Prema načinu strujanja vode i pare kroz isparivač (generator pare), kotlovi se dijele na:

- kotlove sa prirodnom cirkulacijom (Slika 2.75a),
- kotlove sa prinudnom cirkulacijom (Slika 2.75b) i
- protočne kotlove (Slika 2.75c).



Slika 2.75. Šematski prikaz strujanja vode i pare kroz isparivač kotla

U termoenergetskim postrojenjima prelazak toplote može biti:

- **koristan**, kada se toplota dobijena sagorijevanjem goriva predaje radnom tijelu,
- **štetan**, kada se npr. u cjevovodima od kotla do turbine, usput gubi toplota i sl.

Zagrijana tijela sama od sebe međusobno razmjenjuju toplotu, pri čemu toplota prelazi sa tijela više temperature na tijelo niže temperature. Intenzitet prelaska toplote je veći ako je razlika temperatura ovih tijela veća.



U parnom kotlu se energija proizvedena sagorijevanjem goriva u ložištu prenosi na ogrijevne površine (izmjenjivače toplote) na tri načina:

- **provođenjem**,
- **konvekcijom** i
- **zračenjem**.

2.3.2.2. Agregat



Turbine su uređaji u kojima se toplotna energija radnog fluida pretvara u mehaničku energiju.

U toplotnim turbinama moguće je dobiti mehaničku energiju jedino pri adijabatskom procesu ekspanzije vodene pare ili nekog drugog fluida.

Kod motora sa unutrašnjim sagorijevanjem moguće je mehaničku energiju dobiti i pri nekim drugim termodinamičkim procesima.



Agregat u tehnici predstavlja sklop više mašina ili uređaja povezanih u jednu cjelinu, obično u cilju pretvaranja jednog oblika energije u drugi ili obavljanja nekog rada.

Agregat u termoelektranama predstavlja spregu dvije mašine od kojih jedna pokreće drugu, u ovom slučaju toplotna (parna) mašina (turbina) pokreće generator električne struje.

Toplotna turbina je mašina u kojoj se u nizu statorskih i rotorskih lopatica kinetička energija strujanja radnog fluida (pare, gasa i sl.), nastala transformacijom dijela njegove toplotne energije, pretvara u mehanički rad u obliku okretanja rotora.

Pretvaranje toplotne u kinetičku energiju obezbjeđuje se intenzivnim strujanjem, a praćeno je naglim padom pritiska i temperature, kao i odgovarajućim povećanjem zapremine radnog fluida. Uz strujanje fluida, u turbinama se mijenja i njegovo toplotno stanje, pa se pojave u toplotnoj turbini zasnivaju na ranije objašnjenim načelima mehanike fluida i termodinamike.

Toplotne turbine služe kao pogonske mašine, u prvom redu za pogon električnih generatora u termoelektranama i nuklearnim elektranama, kao i kod automobila, brodova, aviona i sl. Naziv turbina nastao je prema latinskom nazivu **turbo** - **virtlog**.

Pretvaranje toplotne energije u mehanički rad u toplotnoj turbini bitno je različito od pretvaranja u toplotno parnoj (klipnoj) mašini. U toplotnoj turbini dolazi do posrednog pretvaranja i prenosa energije na rotirajuće elemente. Prvo se unutrašnja energija radnog fluida pretvara u kinetičku energiju toka fluida, a tek potom se ta kinetička energija prenosi na radno kolo.

Toplotna energija (koja se karakteriše haotičnim kretanjem molekula) u parnoj mašini direktno se prenosi na klip udaranjem molekula radnog fluida o klip brzinom većom od brzine kojom se molekuli od njega odbijaju.

Bitna je razlika i u dobijanju i načinu prenosa mehaničke energije. Turbina mehaničku energiju predaje okretanjem rotora, što je pogodno za dalju primjenu, a u klipnoj mašini pravolinijsko kretanje mora se posebnim mehanizmom pretvarati u rotaciju.

Rad turbine je miran, jer nema periodičkog prekidanja toka fluida niti pravolinijskog kretanja masa, koje je teško potpuno uravnotežiti. Mirniji rad omogućava i postizanje velike brzine strujanja, a time i velike protoke radnog fluida, pa se mogu graditi pouzdane jedinice velike snage. Radni fluid ne dolazi u dodir s uljem za podmazivanje, što dopušta primjenu visokih temperatura radnog fluida, a time i bolju termodinamičku korisnost.

Vodena para kao radno tijelo u toplotnoj turbini u sebi sadrži:

- potencijalnu energiju E_p ,
- kinetičku energiju E_k i
- sadržaj toplote – entalpiju i .

Pošto su E_p i E_k u komori parne turbine znatno manji od entalpije, to se uglavnom u parnim turbinama računa sa entalpijom pare, i njenim pretvaranjem u mehaničku energiju.

Entalpija pare u parnim turbinama obično se zadaje pritiskom i temperaturom na ulasku – tačka 1 (p_1 i t_1) i izlasku – tačka 2 (p_2 i t_2) iz turbine.

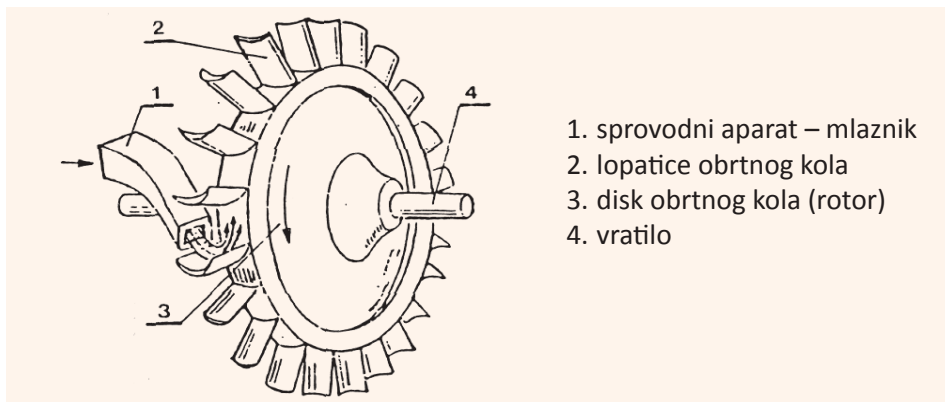
Kako se u parnoj turbini prevodi entalpija iz stanja 1 (i_1) u stanje 2 (i_2), to će pri adijabatskoj promjeni stanja izvršeni rad biti jednak:

$$h_t = i_1 - i_2 \quad (2.23)$$

Pošto od razlike sadržaja toplote i_1 i i_2 zavisi ostvarena veličina rada, odnosno količina pretvorene energije u kinetičku energiju, to se razlika data izrazom (2.23) zove **toplotni pad**.

Toplotne turbine, prije svega parne turbine, su osnovni pogonski motori sinhronih generatora u velikim termoelektranama, u kojima se unutrašnja energija radnog tijela – pare, transformiše u mehaničku energiju.

Veoma jednostavna skica parne turbine data je na Slici 2.76.



Slika 2.76. Jednostavna skica parne turbine

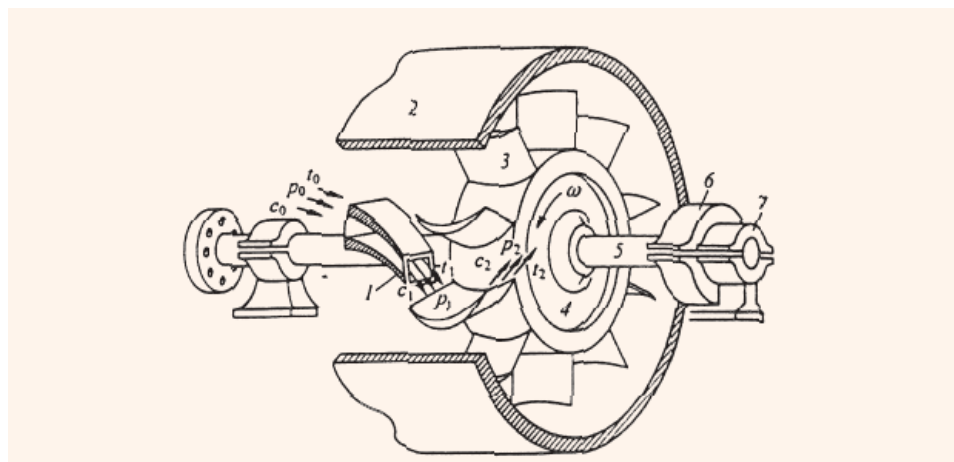
Vodena para, koja sadrži određene količine energija E_p i E_k i sadržaj toplote, se iz parnog kotla dovodi do komore turbine. Iz komore se para vodi odgovarajućim uređajima – mlaznicama (1), ka lopaticama (2), koje se nalaze po obodu rotora (3) turbine. U sprovednom aparatu unutrašnja toplotna i potencijalna energija pare prevodi se u kinetičku energiju strujanja pare. Para udara u lopatice obrtnog kola, prolazeći kroz njih savija se i, predajući mu odgovarajuću količinu kinetičke energije (pretvara se u mehanički rad), obrće ga. Sprovedni aparat može biti sastavljen od jednog ili više mlaznika, ili od niza usmjeračkih nepokretnih lopatica.

Kombinacija: sprovedni aparat - obrtno kolo naziva se **stepen** (stupanj) parne turbine. Turbine obično imaju više stepeni, koji su redno vezani i čija su obrtna kola na zajedničkom vratilu (višestepene turbine).

Može se reći da su dva osnovna dijela svake turbine (Slika 2.77):

- **stator**, sa nepokretnim statorskim lopaticama smještenim u kućištu (1 i 2) i
- **radno kolo** s rotorskim lopaticama (3) razmještenim po obodu diska (4).

Statorske (1) i rotorske (3) lopatice čine kanale (mlaznike) kroz koje struji radni fluid i u kojima se dešavaju termodinamičke promjene i pretvaranje energije. Jedno ili više radnih kola pričvršćeno je na vratilo (5), kojim se okretni moment preko spojnog mehanizma prenosi na radnu mašinu. Vratilo sa radnim kolom, ili sa više radnih kola, naziva se turbinski rotor.



Slika 2.77. Skica jednostepene turbine

Da radni fluid ne bi izlazio u okolinu, radni prostor turbine zatvoren je kućištem turbine (2), koje istovremeno štiti rotor od oštećenja. Rotor leži na potpornim nosivim ležajevima (7) koji preuzimaju radijalne sile, dok aksijalnu silu preuzima ležaj (6). Ovi ležajevi, osim toga, služe i za aksijalno i radijalno vođenje rotora, tj. za osiguranje aksijalnog i radijalnog zazora pri okretanju. Na mjestima gdje rotor prolazi kroz kućište ugrađuju se bezdodirne brtve (dihtunzi) da bi se spriječio izlazak radnog fluida u okolinu.

Radni fluid može biti bilo koji fluid. U postojećim toplotnim turbinama to su skoro uvijek vodena para ili vazduh (odnosno gasovi sagorijevanja), koji su lako dostupni iz okoline.

Pretvaranje toplotne energije u kinetičku energiju uređenog toka fluida ostvaruje se adijabatskom ekspanzijom, pri čemu pritisak fluida opada, a brzina strujanja raste. Za takav proces su potrebni strujni kanali kojima se presjeci mijenjaju na odgovarajući način – **mlaznik**. Takve nepokretne kanale oblikuju statorske lopatice pričvršćene u kućištu. Kanali kroz koje struji radni fluid djeluju kao mlaznici i čine sprovedni (mlaznički) aparat turbine.

Toplotne turbine mogu se podijeliti na različite načine, npr. prema: vrsti radnog fluida; pritisku i temperaturi pare; broju ekspanzija radnog fluida; načinu na koji se ostvaruje sila u rotorskim lopaticama; smjeru strujanja radnog fluida; broju kućišta; broju vratila; prema namjeni; prema sprezanju i sl.

Prema **vrsti radnog fluida** toplotne turbine dijele se na:

- **parne** i
- **gasne**,

iako su procesi koji se zbivaju u turbini u osnovi jednaki bilo da se radi o strujanju pare ili o strujanju gasa. Takva je klasifikacija, međutim, opravdana kad se turbina posmatra u sklopu cijelog postrojenja, jer se radi o dva različita termodinamička ciklusa.

Parne turbine se prema **pritisku na izlazu**, tj. prema korišćenju pare mogu podijeliti na:

- **kondenzacione turbine** i
- **turbine sa protivpritiskom** (kombinovane),

pri čemu i jedne i druge mogu biti sa oduzimanjem (jednim ili više) pare i sa siromašnom (otpadnom) parom.

Kondenzaciona parna turbina (Slika 2.78) je parna turbina (PT) u kojoj se koristi toplotni pad ($h_t = i_1 - i_2$), i u kojoj se para koja izlazi iz turbine (i_2) odvodi u kondenzatorsko postrojenje (K) gdje se kondenzuje zbog hlađenja rashladnim fluidom (do sadržaja toplote i_v), a toplota kondenzacije ($Q_o = i_2 - i_v$) predaje se okolini.

Pritisak pare koja se kondenzuje niži je od atmosferskog, što omogućava temperatura rashladne vode u kondenzatoru, a time se iskorišćava u najvećoj mogućoj mjeri radna sposobnost pare. Kondenzat se odvodi u generator pare kao napojna voda (sa sadržajem toplote i_v). Ekspanzijom pare do pritiska znatno nižeg od atmosferskog i do temperature koja je vrlo malo viša od temperature rashladne vode nastoji se dobiti maksimalni rad. Ove turbine najviše se koriste kod termoelektrana.

Parna turbina sa protivpritiskom – kombinovana (Slika 2.79), primjenjuje se tamo gdje je osim mehaničkog rada (za dobijanje električne energije) potrebna i toplota za industrijske ili komunalne potrebe. Para ekspandira samo do određenog pritiska ($p_2 > 1$ at), odnosno temperature, a zatim se iz turbine odvodi potrošačima pare ili toplote (sa sadržajem toplote i_2). Pritisak pare na izlazu iz turbine bitno je viši od atmosferskoga ($p_2 > 1$ at), pa se stoga ta turbina naziva turbinom sa protivpritiskom ili protivpritiskom turbinom. Tako se istovremeno dobija i mehanički rad i potrebna toplota.

Parne turbine sa regulisanim oduzimanjem pare i sa siromašnom parom su kombinacija prethodna dva tipa turbina, tj. one mogu biti ili kondenzacione ili sa protivpritiskom.

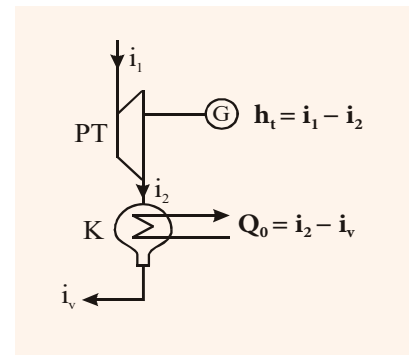
Prema **pritisku pare** na ulazu u turbinu, parne turbine mogu se podijeliti na:

- niskopritisne (do 10 bara),
- srednjepritisne (do 88 bara),
- visokopritisne (do 224 bara) i
- turbine sa vrlo visokim pritiskom (više od 224 bara).

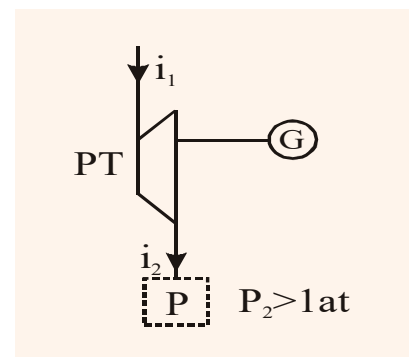
Ovakva podjela zasniva se na vrsti korišćenih konstrukcionih materijala, kao i na termofizičkim svojstvima vode i vodene pare.

Prema **temperaturi pare** na ulazu u turbinu razlikuju se:

- turbine za srednje temperature (do 485 °C),
- turbine za visoke temperature (do 565 °C) i
- turbine za najviše temperature (više od 565 °C).



Slika 2.78. Šema kondenzacione parne turbine



Slika 2.79. Šema parne turbine sa protivpritiskom

I ova podjela je u direktnoj vezi sa konstruktivnim materijalima koji se primjenjuju za pojedine temperature, pri čemu je temperatura do 535 °C granična za primjenu feritnih čelika.

Gasne turbine mogu biti:

- sa zatvorenim i
- sa otvorenim ciklusom.

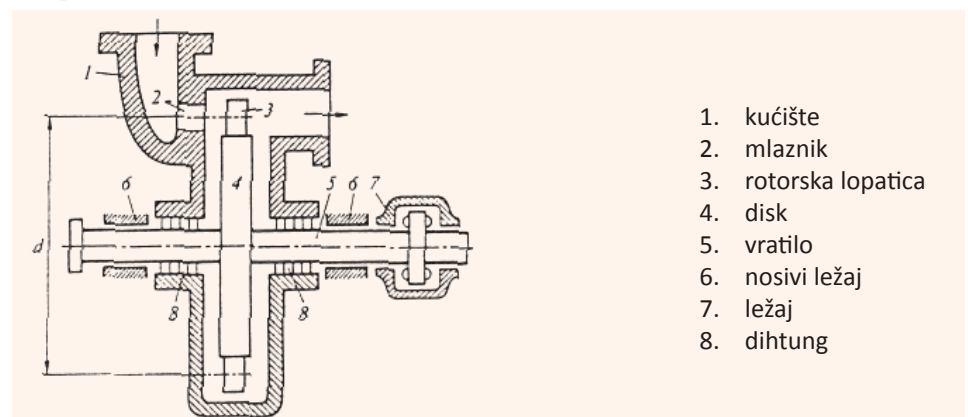
U gasno turbinskom postrojenju sa **zatvorenim ciklusom** izmjena toplote između proizvoda sagorijevanja i radnog fluida, koji je obično čisti vazduh, obavlja se u površinskom izmjenjivaču toplote. Proizvodi sagorijevanja se ne miješaju sa radnim fluidom i on se nakon izlaska iz turbine hladi u hladnjaku vodom ili spo-ljašnjim vazduhom.

Gasna turbina s **otvorenim ciklusom** nalazi, međutim, sve širu primjenu. Radni fluid su gasovi sagorijevanja, odnosno vazduh, koji se neprekidno uzima iz atmosfere i sabija u turbokompresoru i služi za sagorijevanje goriva ubrizganog u komoru za sagorijevanje.

Prema **broju ekspanzija** radnog fluida toplotne turbine mogu biti:

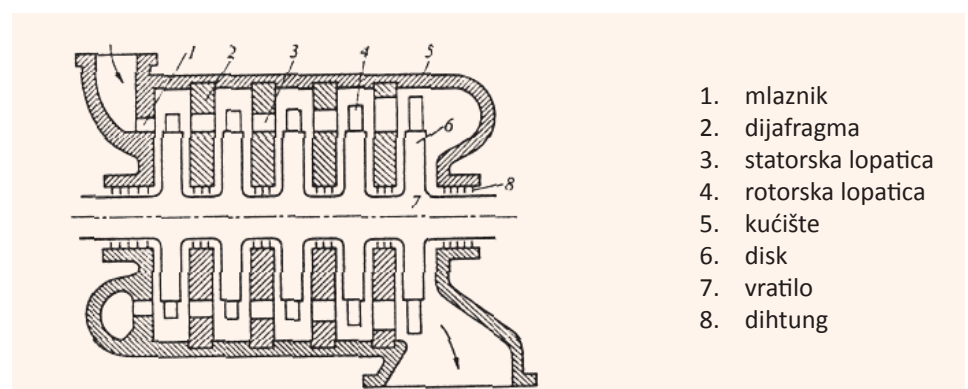
- jednostepene ili
- višestepene.

U **jednostepenoj turbini** (Slika 2.80) nalazi se samo jedan red (vijenac) statorskih i jedan vijenac rotorskih lopatica, pa radni fluid ekspandira odmah na konačan pritisak.



Slika 2.80. Skica jednostepene akcione parne turbine

U **višestepenoj turbini** (Slika 2.81) nalazi se više vijenaca statorskih i rotorskih lopatica. Prolaskom kroz pojedini vijenac statorskih i rotorskih lopatica, od radnog fluida oduzme se dio energije. Taj proces se ponavlja u svakom stepenu, pa fluid ekspandira postupno do konačnog pritiska u više stepeni.



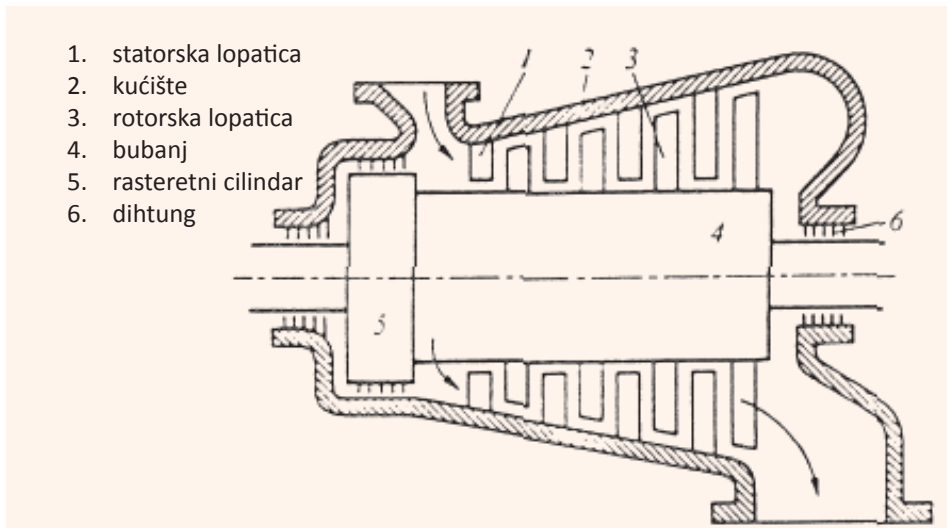
Slika 2.81. Skica višestepene akcione parne turbine

Prema **mjestu** gdje se ostvaruje ekspanzija u stepenu turbine, odnosno prema **načinu rada**, turbine se dijele na:

- akcione,
- reakcione i
- kombinovane.

U **akcionoj turbini** radni fluid ekspanzira samo u statorskoj rešetki. Kod njih para iz nepokretnog sprovednog aparata ulazi među lopatice pokretnog kola velikom brzinom. Prilikom proticanja između lopatica pokretnog kola pritisak pare ostaje konstantan, dok se njena brzina smanjuje, a njena energija predaje se lopaticama pokretnog kola (primjer jednostepena turbina, Slika 2.77). Način prenosa impulsa je akcioni, pa odatle i naziv ovih turbina. Sile koje djeluju na rotorske lopatice posljedica su zaokreta toka fluida, tj. promjene smjera njegovog relativnog strujanja. Na Slici 2.77. data je skica turbine u kojoj se sva raspoloživa promjena toplotne energije, izražena preko entalpije, iskorišćava u jednom stepenu. Za visoke pritiske i visoke temperature radnog fluida upotrebljava se akciona turbina sa više stepeni (Slika 2.78).

U **reakcionoj turbini** statorske i rotorske lopatice su tako konstruktivno izvedene da radni fluid ekspanzira i u statorskoj i u rotorskoj rešetki, najčešće uz podjednak toplotni pad u obje rešetke. Zbog toplotnog pada u rotorskoj rešetki radni fluid se i u njoj ubrzava i pojavljuje se dodatna reakciona sila, što izaziva dodatne reakcione sile na rotor. Zbog toga se ova turbina naziva reakcionom turbinom. Ona se izrađuje uvijek sa više stepeni. Takav tip turbine često se prema svom pronalazaču naziva Parsonsova turbina (Slika 2.82).



Slika 2.82. Reakciona Parsonsova turbina

Prema **smjeru strujanja** radnog fluida turbine se dijele na:

- aksijalne ili
- radijalne.

U **aksijalnoj turbini** radni fluid struji približno paralelno sa osom rotacije turbine, tj. on prolazi spiralno kroz vijence pokretnih i nepokretnih lopatica oko osovine turbine, s jednog kraja na drugi (primjer reakcione turbine, Slika 2.82).

U **radijalnoj turbini** radni fluid struji normalno na osu rotacije, odnosno kod njih radni fluid prolazi radijalno između aksijalno postavljenih lopatica.

Prema **broju kućišta** toplotne turbine se mogu podijeliti na:

- jednokućišne i
- višekućišne.

Prema **pritisku** u kućištu toplotne turbine se dijela na:

- turbine s visokopritisnim,
- turbine sa srednjepritisnim i
- turbine sa niskopritisnim kućištem.

Prema **broju vratila** turbine se dijele na:

- turbine s jednim vratilom i
- turbine sa više vratila.

Prema **namjeni** toplotne turbine se dijele na:

- **male**, koje se uglavnom koriste za pomoćne pogone (jednostavne, jeftine, mali stepen iskorišćenja η ...),
- **visokokvalitetne**, koje su obično velikih snaga i koje se koriste za proizvodnju velikih količina energije (veliko η) i
- specijalne konstrukcije (podešavaju se prema namjeni i uslovima smještaja).

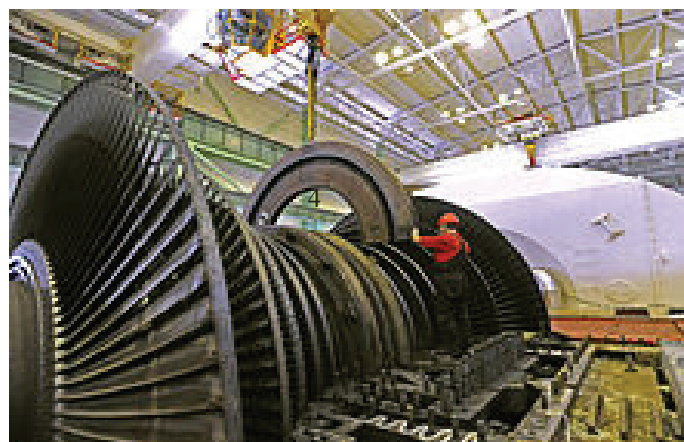
Prema **sprezanju** turbine se dijele na:

- direktno spregnute i
- spregnute preko sklopova zupčanika.

Na Slikama 2.83, 2.84. i 2.85. su prikazane fotografije različitih rotora parnih turbina.



Slika 2.83. Rotor moderne parne turbine



Slika 2.84. Parna turbina niskog pritiska ugrađena u nuklearnoj elektrani



Slika 2.85. Dvostrujni rotor parne turbine

Pošto se kod termoelektrana kao osnovni dio uglavnom posmatra **agregat**, odnosno zajednički sklop **toplotne turbine i generatora**, neophodno je upoznati i osnovne karakteristike, podjele, princip rada i karakteristike generatora koji se koriste u termoelektranama.

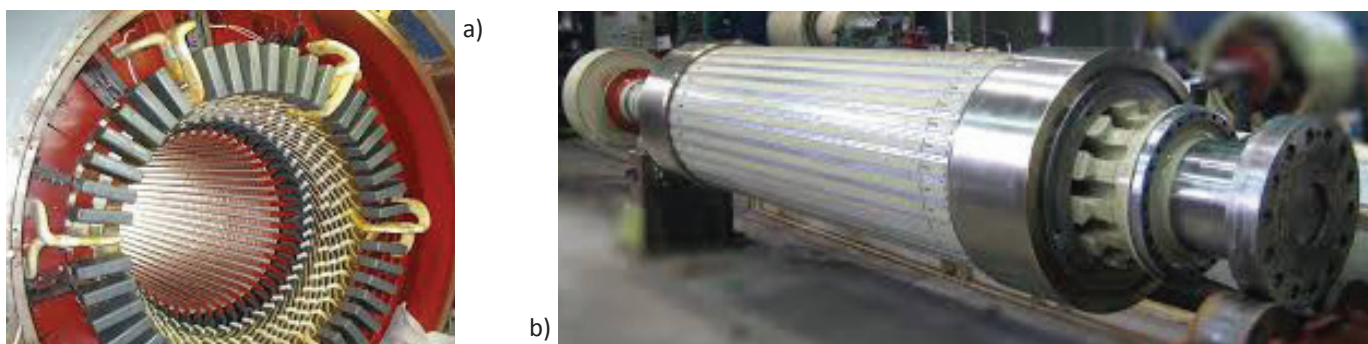
U poglavlju 2.2.3.8. date su osnovne zajedničke karakteristike i osobenosti različitih vrsta generatora koji se koriste u elektranama za proizvodnju električne energije, uz detaljniji opis generatora koji se koriste u hidroelektranama (sinhroni generator sa rotorom sa istaknutim polovima ili hidrogenerator). Ovdje će biti date samo specifičnosti po kojima se razlikuju generatori koji se koriste u termoelektranama (turbogeneratori) od generatora koji se koriste u hidroelektranama (hidrogeneratora).

Različite konstrukcije i osobine sinhronih generatora su uslovljene potrebama da se generatori što je moguće bolje prilagode pogonskim uređajima koji ih pokreću. Sinhroni generatori koji se koriste u termoelektranama mehaničku energiju za svoj pogon dobijaju od pogonskih uređaja – toplotnih turbina, pa oni moraju biti njima prilagođeni.

Ekonomičnost parnih turbina raste sa porastom njihove brzine obrtanja. Stoga se turbogeneratori, koje ove turbine okreću, izrađuju kao mašine sa najvećim mogućim sinhronim brzinama obrtanja. To znači da se turbogeneratori izvide kao dvopolne sinhronne mašine sa sinhronom brzinom obrtanja od 3000 obrtaja u minuti pri učestanosti od 50 Hz, odnosno kao mašine sa brojem pari polova $p = 1$.

Kako se rotori turbogeneratora okreću velikim brzinama usljed kojih se mogu javiti i velike centrifugalne sile, to se oni, radi smanjenja negativnih uticaja velikih centrifugalnih sila, izrađuju sa relativno malim prečnikom (obično do 1,25 m), dok im dužina može biti i do 6,5 m.

Izgled standardnih oblika statora (a) i rotora (b) turbogeneratora prikazan je na Slici 2.86.



Slika 2.86. Djelovi turbogeneratora: a) stator, b) rotor

Slika 2.87. prikazuje jednu fazu u montiranju rotora u stator turbogeneratora.



Slika 2.87. Proces kompletiranja turbogeneratora

Na Slici 2.88. je prikazana unutrašnjost mašinske zgrade parne termoelektrane sa kompletnom izvedenom instalacijom turbogeneratora i parne turbine.



Slika 2.88. Mašinska zgrada parne termoelektrane

2.3.2.3. Kondenzatorsko postrojenje

Kao što je već objašnjeno, ukupni ili ekonomski stepen iskorišćenja postrojenja za pretvaranje toplotne energije u mehanički rad η_e zavisi od koeficijenata iskorišćenja postrojenja i uređaja koji učestvuju u pretvaranju i od termičkog stepena iskorišćenja postrojenja:

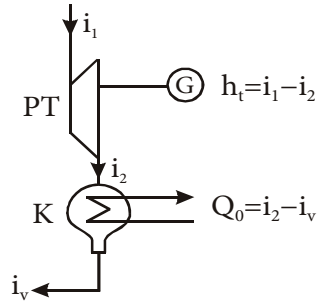
$$\eta_e = \eta_k \cdot \eta_{ter} \cdot \eta_{ef} = \eta_k \cdot \eta_{ter} \cdot \eta_u \cdot \eta_m. \quad (2.24)$$

Na osnovu podataka o svim koeficijentima iskorišćenja koji učestvuju u ovom procesu, poznato je da na ukupni stepen djelovanja parne termoelektrane odlučujući uticaj ima termički stepen djelovanja (η_{ter}), koji je i najmanji, pa je razumljivo da se stalno preduzimaju aktivnosti da se termički stepen djelovanja poboljša.

Termički stepen djelovanja može se izraziti preko:

$$\eta_{\text{ter}} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_v}, \quad (2.25)$$

gdje oznake date u izrazu (2.25) predstavljaju veličine sadržaja toplote ($i_{1/2/v}$) prikazane na skici dijela tehnološkog procesa kod termoelektrana (Slika 2.89).

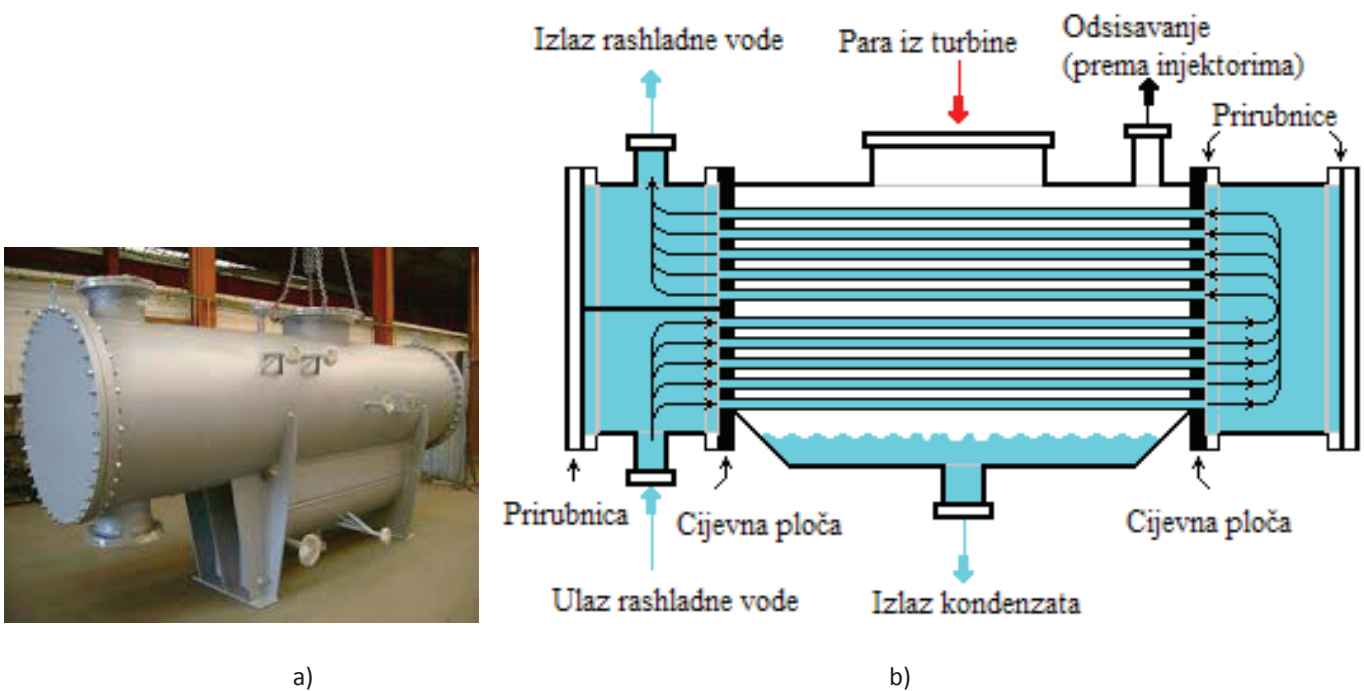


Slika 2.89. Skica dijela tehnološkog procesa kod termoelektrane

Jedna od mogućnosti poboljšanja termičkog stepena djelovanja je snižavanjem izlaznog pritiska iz turbine (p_2), čime se istovremeno vrši i snižavanje sadržaja pare na izlasku iz turbine (i_2), odnosno povećanje toplotnog pada ($h_t = i_1 - i_2$), a time i povećanje η_{ter} .

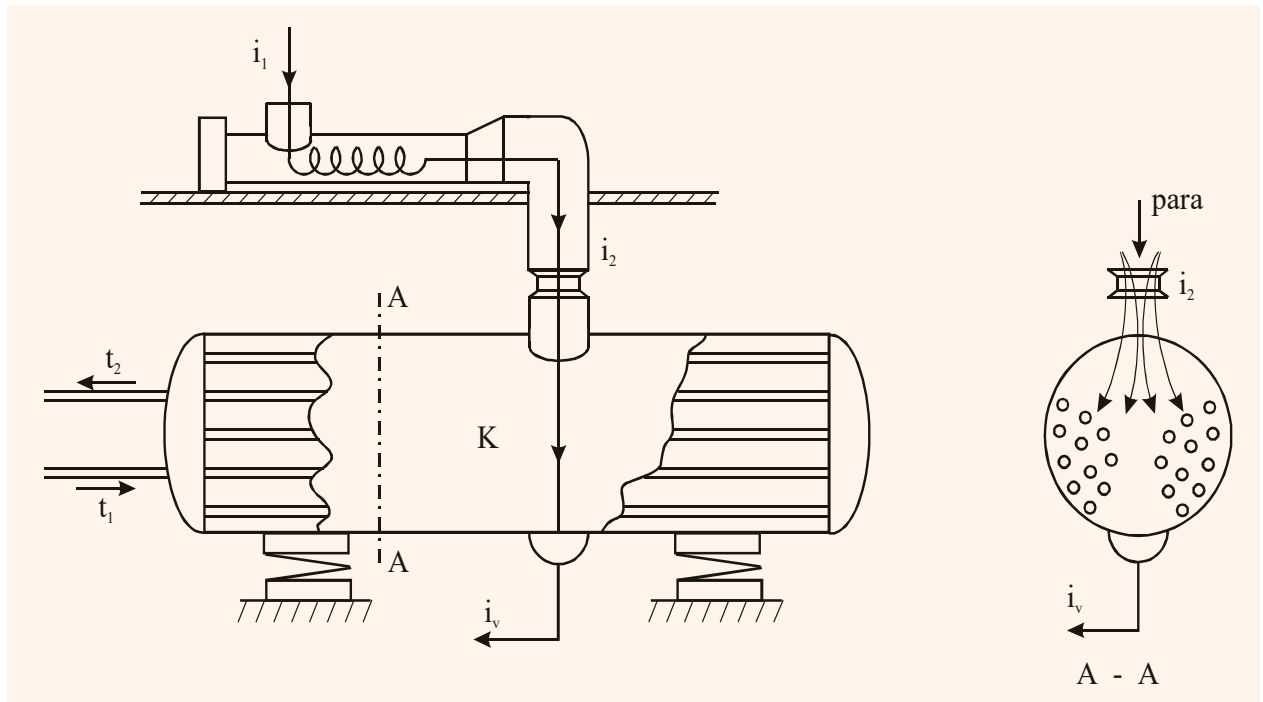
Uobičajeni pritisci u kondenzatoru su između 3–10 kPa.

Sniženje izlaznog pritiska pare iz parne turbine može se postići pomoću uređaja koji se zove kondenzatorsko postrojenje. Izgled i šematski prikaz kondenzatorskog postrojenja dati su na Slici 2.90.



Slika 2.90. Izgled (a) i skica (b) kondenzatorskog postrojenja parne turbine

Uprošćena šema toka pare kroz turbinu i kondenzatorsko postrojenje data je na Slici 2.91.



Slika 2.91. Uprošćena šema toka pare kroz turbinu i kondenzatorsko postrojenje

Snižavanjem p_2 , odnosno i_2 , smanjuje se i potrošnja pare (G) za istu proizvodnju snage i energije, što takođe dovodi do poboljšanja karakteristika ovog procesa.

Kod površinskih kondenzatora, koji se u praksi najviše koriste, para i rashladna voda se ne miješaju.

Voda koja se koristi u termodinamičkom ciklusu kod termoelektrana mora biti potpuno čista. Načini pripreme i prečišćavanja vode koji se danas koriste su veoma raznovrsni. Neophodno je imati na umu da je za normalan rad termoelektrane potrebna veoma velika količina vode. Oko 93% od ukupne vode potrebno je za hlađenje pare u kondenzatoru, a oko 7% za ostale potrebe.

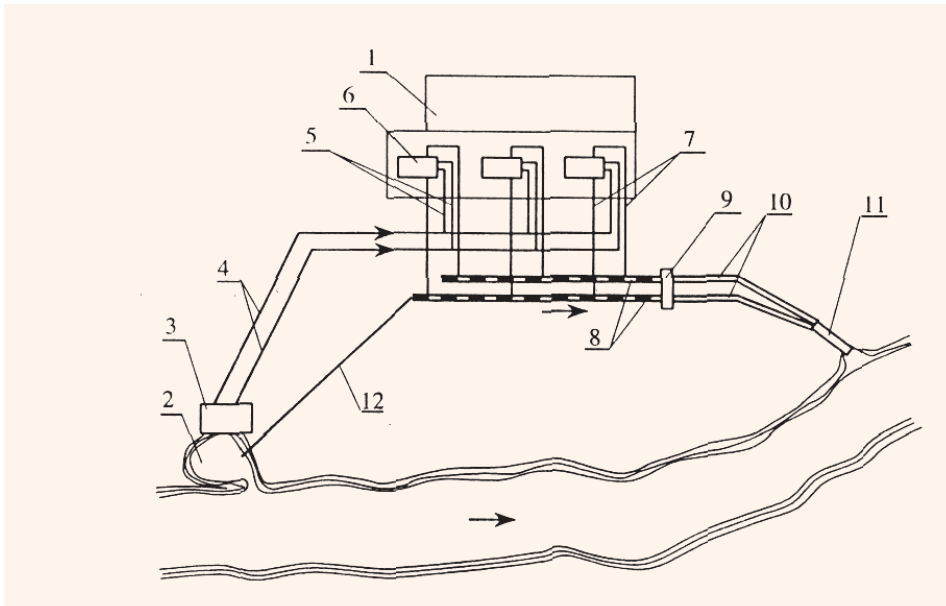
Količina potrebne vode za proces u kondenzatoru može se odrediti iz jednadžine razmjene toplote u kondenzatoru. Ako se u kondenzatoru oduzima od pare količina toplote $i_2 - i_v$, ta količina toplote mora biti jednaka količini toplote koju će preuzeti u kondenzatoru rashladna voda mase m , pri čemu se njena temperatura povećava sa početne t_1 na krajnju t_2 (Slika 2.91), tj. iz: $i_2 - i_v = m(t_2 - t_1)$, dobija se da je masa potrebne vode jednaka:

$$m = \frac{i_2 - i_v}{t_2 - t_1} \quad (2.26)$$

U zavisnosti od prirodnih uslova za obezbjeđenje potrebne vode, mogu se koristiti:

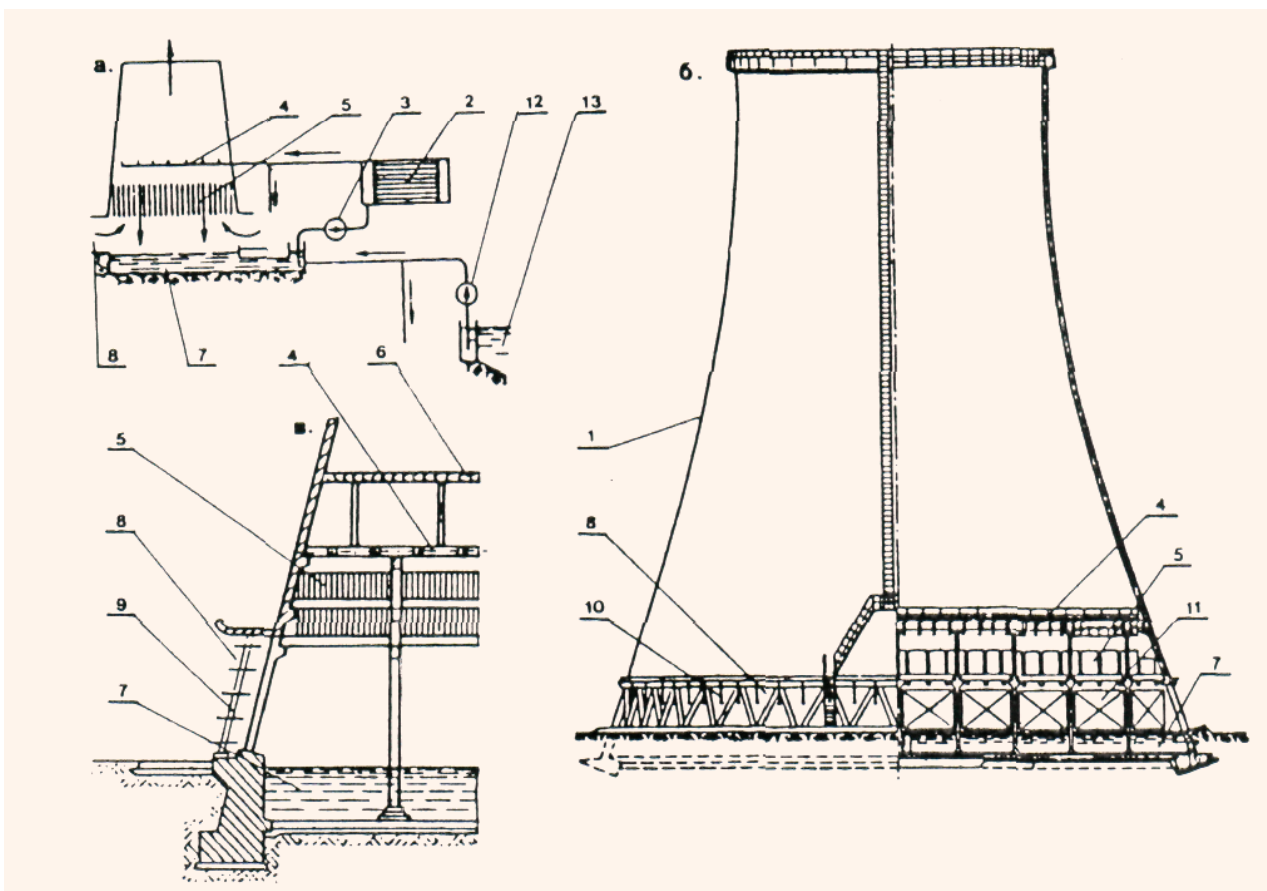
- **otvoreni sistemi** vodosnabdijevanja (Slika 2.92),
- **zatvoreni sistemi** vodosnabdijevanja (Slika 2.93).

Otvoreni sistemi se primjenjuju kada je termoelektrana izgrađena u blizini većih vodenih površina, dok se zatvoreni sistemi primjenjuju kada u blizini termoelektrane nema rijeke ili akumulacije sa dovoljnom količinom vode.



Slika 2.92. Šema otvorenog sistema vodosnabdijevanja termoelektrane

Oznake na Slici 2.92. su: 1 – zgrada elektrane, 2 – vještačka akumulacija za pumpnu stanicu, 3 – pumpna stanica, 4 – glavni dovod vode, 5 – cijevi za dovod vode u kondenzator, 6 – kondenzator, 7 – cijevi za odvod vode iz kondenzatora, 8 – pokriveni odvodni kanali, 9 – ustava za regulaciju vode u pokrivenim kanalima, 10 – otkriveni odvodni kanali, 11 – uređaj za ispuštanje vode u rijeku, 12 – cjevovod tople vode za zimsko održavanje temperature vode u akumulaciji na temperaturu + 5°.



Slika 2.93. Šema zatvorenog sistema vodosnabdijevanja termoelektrane sa tornjem (kulom) sa prirodnom promajom

Oznake na Slici 2.93. su: 1 – rashladni toranj, 2 – kondenzator u TE, 3 – cirkulaciona pumpa, 4 – cjevovod sa mlaznicama za raspršivanje vode po obimu tornja, 5 – rashladne ploče, 6 – sakupljač kapljica koje se nalaze u vazduhu, 7 – bazen u koji se sakuplja ohlađena voda, 8 – otvori za ulazak svježeg-hladnog vazduha, 9 – usmjerivči vazduha, 10 – mlaznice za toplu vodu kojima se zimi održava temperatura vode u bazenu na oko 10 °C, 11 – zatvarači otvora (okana), 12 – pumpa za dodatnu vodu, 13 – akumulacija.

Ovi sistemi imaju hladnjak za vodu koja zagrijana izlazi iz kondenzatora. Za te svrhe najčešće se koriste rashladne kule ili tornjevi visine i do 100 m. Gubitak vode pri hlađenju (oko 1,5%) obično se nadoknađuje iz akumulacije. Pošto se vazduh zagrijan toplom vodom kreće uvis, promaja u tornju je prirodna.

2.3.2.4. Pomoćni uređaji i postrojenja



U **pomoćna postrojenja termoelektrane** spadaju sva postrojenja, mjerni i regulacioni uređaji i instrumenti koji su neophodni za normalan rad termoelektrane kao pogonske cjeline.

To se prije svega odnosi na sljedeća postrojenja i uređaje:

Rezervoari (spremišta) za vodu, koji mogu biti za napojnu i za rashladnu vodu.

Uređaji za napajanje parnog kotla koji se sastoje od napojnih pumpi, napojnih cjevovoda, sigurnosne i pogonske armature i vješanja cjevovoda. Napajanje se reguliše u sklopu cjelokupne regulacije parnog kotla. Sigurno snabdijevanje kotla napojnom vodom najbitniji je uslov sigurnosti pogona. Zato su mnoge zemlje usvojile vrlo stroge propise o gradnji i veličini napojnih pumpi.

U postrojenju postoje pumpe za rashladnu vodu, pumpe kondenzata i pojne pumpe (kao na Slici 2.54). U kotlu obično, zbog sigurnosti njegovog rada, postoje dvije pumpe za pojnu vodu, dovoljnog kapaciteta da svaka pojedinačno zadovolji potrebe. Zbog potrebe da se zadovolje visoki standardi u pouzdanosti, sve pumpe moraju imati različite nezavisne izvore napajanja.

Postrojenje za pripremu napojne vode služi za termičku i hemijsku pripremu vode. U termičkoj pripremi vode pregrijava se napojna voda u pregrijačima (visokopritisni i niskopritisni predgrijači vode) i odstranjuju se iz vode štetni gasovi (O₂ i CO₂). U hemijskoj pripremi vode odstranjuju se štetne materije kao što su soli, anorganske i organske kiseline, mehanička nečistoća itd. Uslovi koje napojna voda mora zadovoljavati određeni su temperaturom pregrijavanja, radnim pritiskom, toplotnim opterećenjem ogrjevnih površina, vrstom parnog kotla itd. Proizvođač parnog kotla propisuje čistoću i kvalitet napojne vode.

Postrojenje za transport i pripremu goriva se sastoji od niza transportnih uređaja, već prema vrsti goriva (čvrsto, tečno ili gasovito gorivo), prema zahtjevima za sigurnost pogona (potrebne rezerve goriva) i prema konkretnim smještajnim uslovima parnog kotla, njegovih pomoćnih uređaja i čitavog termo-energetskog postrojenja. Uređaji za transport i pripremu goriva u termoenergetskim postrojenjima, pogotovo kad se loži čvrstim gorivom, su, po pravilu, složena i velika postrojenja.

Uređaji za čišćenje dimnih gasova (filtri) rade: na osnovi mehaničkog odvajanja čestica pepela i balastnih materija, tj. djelovanjem centrifugalne sile na čestice pepela u dimnim gasovima; kao elektrofiltri na osnovu djelovanja elektrostatičkog elektriciteta ili na neki drugi zadovoljavajući način. Ovi uređaji mogu se razvrstati

u četiri grupe: mehanički suvi filtri, mehanički vlažni filtri, elektrosuvi filtri i elektrovlažni filtri.

Uređaji za odvod šljake i pepela odstranjuju iz ložišta parnog kotla šljaku, pepeo i ostale balastne materije. Ovi uređaji mogu biti mehanički, hidraulički ili pneumatski.

Armatura parnog kotla se dijeli na grubu i finu. Gruba armatura obuhvata pomoćne uređaje ložišta, kontrolna vrata, razne zatvarače, otvore za nadgledanje itd. Fina armatura obuhvata djelove bitne za sigurnost pogona i rada kotla, kao što su: vodokazni uređaji, vodokazna stakla, probni pipci, manometri i termometri, sigurnosni, zaporni i povratni (napojni) ventili, glavni parni ventil, ozračni ventili, ventili za puštanje u pogon, ventili za pražnjenje, kao i senzori instrumenata i uređaja za regulaciju i automatiku.

Ozid i izolacija parnog kotla i parovoda. Zbog visokih radnih temperatura ložišta, vatreni i dimni kanali su zidani na poseban način i od posebnog materijala. Zadatak ozida je da zaštiti pojedine djelove kotla od visokih temperatura, i da spriječi odvođenje toplote na mjestima gdje to nije predviđeno. Ozid i izolacija parnog kotla i parovoda sprečavaju i prodor spoljašnjeg vazduha u ložište i kanale kotla i provode pare, a time osiguravaju i minimalne toplotne gubitke.

Instrumenti i oprema za regulaciju i automatiku parnog kotla. Za ispravan rad i pogon parnog kotla ugrađuje se oprema i uređaji koji treba: da usklade dovedenu energiju goriva sa potrebnom toplotnom energijom koju proizvodi parni kotao; da usklade odnose goriva i vazduha kako bi sagorijevanje u ložištu bilo najpovoljnije; da održavaju u svim pogonskim uslovima konstantan pritisak u ložištu (podpritisak ili predpritisak); da održavaju konstantnu temperaturu pregrijanja pare; da održavaju napajanje kotla vodom i sl.

Broj i veličina pomoćnih postrojenja zavisi od veličine i tipa termoelektrane, od vrste goriva, od lokacije termoelektrane i sl.

2.3.2.5. Visokonaponsko razvodno postrojenje

Visokonaponska razvodna postrojenja postoje i u termoelektranama, i imaju istu funkciju kao kod hidroelektrana: da transformišu i raspodjeljuju energiju proizvedenu u generatorima na vodove koji povezuju elektranu sa mrežom.

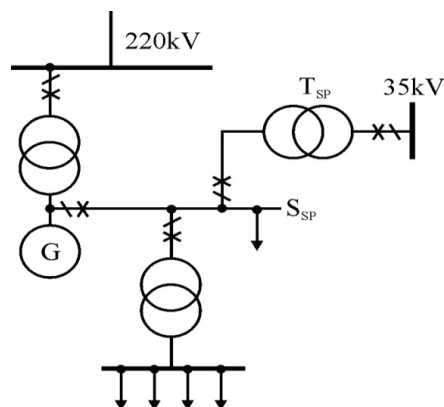
Ako se radi o termoelektrani manje snage, iz koje se energija može razvesti vodovima napona 35 kV, razvodno (rasklopno) postrojenje može se smjestiti u glavnu pogonsku zgradu. Ako je za prenos potreban napon 110 kV ili viši, visokonaponsko razvodno postrojenje se izvodi na otvorenom, obično neposredno uz glavnu pogonsku zgradu.

Kako je tehnološki postupak kod termoelektrana znatno složeniji nego kod hidroelektrana (smatra se jednim od najsloženijih tehnoloških postupaka) a i zbog učešća u njemu većeg broja medija (voda, vodena para, vazduh, gorivo, produkti sagorijevanja...), kod termoelektrana postoji znatno veći broj potrošača električne energije, nego kod hidroelektrana. Uobičajeno se svi ovi uređaji zovu jednim imenom: **uređaji sopstvene potrošnje**. Najčešće su to asinhroni i sinhroni motori, koji se koriste za pokretanje velikog broja kompresora, ventilatora, pumpi, mlinoва za ugajl, transportnih traka i sl. Zbog toga su i ova postrojenja kod termoelektrana znatno složenija i komplikovanija nego kod hidroelektrana.

Osnovni podaci i karakteristike razvodnih postrojenja, koji se odnose i na razvodna postrojenja u termoelektranama, dati su u okviru poglavlja 1.2.4.2. Visokonaponska razvodna postrojenja.

Veoma jednostavna jednopolna šema jednog tipa visokonaponskog razvodnog postrojenja u termoelektrani data je na Slici 2.94.

- G - generator
- T_{sp} - transformator za sopstvenu potrošnju
- S_{sp} - sabirnice sopstvene potrošnje
- x - prekidač
- \ - rastavljač



Slika 2.94. Primjer jednopolne šeme razvodnog postrojenja u termoelektrani

Prema šemi datoj na Slici 2.94 sopstvena potrošnja obezbjeđuje se direktno sa generatora i preko transformatora sopstvene potrošnje sa sabirnica srednjeg (distributivnog) napona. U ovom slučaju se prilikom pokretanja agregata, sopstvena potrošnja napaja iz mreže srednjeg napona preko transformatora sopstvene potrošnje (T_{sp}).

Moguće su i šeme gdje se sopstvena potrošnja obezbjeđuje direktno sa generatora i preko transformatora sopstvene potrošnje sa sabirnica distributivnog napona, šeme kojom se obezbjeđuje napajanje sopstvene potrošnje direktno sa generatora i sl.

2.3.3. Prednosti i nedostaci korišćenja konvencionalnih termoelektrana za proizvodnju električne energije

Kao i kod korišćenja konvencionalnih hidroelektrana za dobijanje električne energije, tako i kod izbora i korišćenja konvencionalnih termoelektrana postoje određene prednosti i nedostaci, o kojima je neophodno voditi računa i koji preporučuju ili ograničavaju njihovu upotrebu.

Osnovne **povoljnosti** za korišćenje konvencionalnih termoelektrana za proizvodnju električne energija kod:

- **termoelektrana na uglj** su: dobro poznata, relativno jednostavna i pouzdana tehnologija dobijanja, prerade i korišćenja uglja; zbog relativno niske i stabilne cijene uglja na svjetskom tržištu, relativno jeftina proizvedena električna energija; ogromne zalihe uglja, koje će, zavisno od intenziteta proizvodnje električne energije, odnosno od potreba za električnom energijom i procenta njihovog rasta u budućnosti, biti dovoljne za sljedećih 300 do 900 godina; relativno jednostavan i siguran transport i skladištenje;
- **termoelektrana na gas**: dobro poznata i pouzdana tehnologija dobijanja, prerade i korišćenja prirodnog gasa; nova istraživanja i nove tehnologije su povećale procjene dužine korišćenja postojećih ograničenih zaliha; prirodni gas je najčistije fosilno gorivo (relativno čisto sagorijevanje, mala emisija gasova koji proizvode efekat staklene bašte i sl.); specifične investicije gasnih termoelektrana su relativno niske (naročito pri upoređenju sa termoelektranama na uglj); brže ulaze u pogon i fleksibilnije su u radu; relativno mala količina vode potrebna za hlađenje; relativno mala površina potrebna za izgradnju postrojenja; troškovi održavanja su znatno niži od troškova održavanja termoelektrana na uglj; relativno jednostavno i jeftino skladištenje; pogodne za energetske korišćenje otpadnih gasova u industriji;

- **dizel termoelektrana:** odnos zaliha i potrošnje relativno stabilan – nije bitno promijenjen posljednjih decenija; napredak tehnologija omogućava produženje prognoziranog roka zadovoljenja rastućih potreba; postojanje velikih zaliha u naftnim škriljcima i bitumenoznom pijesku (treba raditi na usavršavanju ekonomičnih metoda iskorišćenja);
- **nuklearnih termoelektrana:** stabilan i pouzdan izvor električne energije; relativno velike energetske rezerve a time i veliki razvojni potencijal; niski troškovi goriva i konkurentna cijena proizvodnje električne energije ostalim konvencionalnim izvorima; pri proizvodnji električne energije nema emisije gasova staklene bašte pa su, u normalnim uslovima rada, mali štetni efekti na životnu sredinu; postoje mogućnosti i drugih primjena proizvedene energije (za desalinizaciju, za kogeneraciju, za proizvodnju vodonika i sl.); srednja dužina rada nuklearnih elektrana je oko 40 godina; veliki faktor opterećenja (može biti i iznad 80% maksimalne snage);

Pored dva osnovna **negativna uticaja** termoelektrana koje koriste fosilna goriva na životnu sredinu (uticaji usljed sagorijevanja fosilnih goriva i toplotni uticaji na vode u rijekama ili jezerima), kao ostali osnovni nedostaci koji nastaju pri korišćenju različitih tipova konvencionalnih termoelektrana za proizvodnju električne energije, mogu se izdvojiti:

- **termoelektrane na uglj:** velike količine uglja potrebne za pogon termoelektrane; veoma štetni uticaji produkata sagorijevanja: stvaranje ugljen monoksida i ugljen-dioksida, emisija azot-dioksida nastala pri sagorijevanju uglja je dominantna komponenta u stvaranju efekta staklene bašte; emisija azotnih i sumpornih oksida nastalih sagorijevanjem uglja u termoelektranama izazivaju pojave kiselih kiša opasnih po biljni i životinjski svijet; ekološki uticaji kod iskopavanja i korišćenja uglja – iskopavanjem rude i sagorijevanjem uglja stvaraju se velike količine otpada koji može biti višestruko štetan i opasan i za ljude i za okolinu; nesreće u rudnicima uglja;
- **termoelektrane na gas:** prirodni gas je veoma neravnomjerno raspoređen u svijetu; zalihe gasa su relativno male i ako se nastavi sa ovakvom brzinom eksploatacije veoma brzo će se pojaviti njegov manjak; prirodni gas je dosta skup; nemogućnost (prema današnjem stanju razvoja) izgradnje jedinica većih snaga; povećana opasnost od eksplozije i požara; relativno visoki troškovi prenoša; negativan uticaj na okolinu zbog isticanja metana, ugljen-dioksida i azot-dioksida iz bušotina gasa; zbog velike zavisnosti cijene goriva od geopolitičkih uslova, cijena električne energije dobijene iz gasne termoelektrane znatno varira i može postati veoma visoka;
- **dizel termoelektrane:** značajan uticaj na okolnu sredinu (iako manji od uglja); visok nivo buke; opasnost za okolinu u slučaju izlivanja; zalihe nafte su relativno male i koncentrisane su u malom broju zemalja; zbog veoma velikog i raznolikog konzuma, veoma brzo se troše;
- **nuklearne termoelektrane:** složen i zahtjevan tehničko-tehnološki proces trenutno dostupan malom broju visokorazvijenih i bogatih zemalja; velika potencijalna opasnost od mogućeg radioaktivnog zračenja i mogućnosti eksplozije; postojanje radioaktivnog otpada i problemi sa njegovim transportom, skladištenjem i čuvanjem; nakon prestanka rada nuklearne elektrane ostaje velika količina opasnog radioaktivnog materijala sa velikim vremenom poluraspada; visoki kapitalni troškovi; veliki porast troškova uslovljen zahtjevima sigurnosti i zaštite okoline; zbog opasnosti i stalnog straha od mogućih nuklearnih nesreća i deponovanja radioaktivnog otpada postoji veoma negativan stav u velikom dijelu javnosti oko izgradnje i korišćenja nuklearnih termoelektrana; potencijalna mogućnost razvoja nuklearnog oružja.



2.1.

1. Nabroj vrste konvencionalnih elektrana.
2. Napravi pregled karakteristika i specifičnosti konvencionalnih elektrana.
3. Kritički procijeni razne tipove konvencionalnih elektrana.

2.2.

1. Objasni princip rada konvencionalnih hidroelektrana.
2. Navedi vrste konvencionalnih hidroelektrana.
3. Napravi pregled glavnih dijelova konvencionalnih hidroelektrana.
4. Objasni princip rada hidrauličnih turbina.
5. Navedi podjelu i osnovne zadatke hidromehaničke opreme.
6. Objasni sastavne dijelove i princip rada hidroagregata.
7. Analiziraj osnovne karakteristike hidroelektrana.
8. Objasni proračun snage i moguće proizvodnje hidroelektrane.

2.3.

1. Objasni princip rada konvencionalnih termoelektrana.
2. Navedi vrste konvencionalnih termoelektrana.
3. Napravi pregled glavnih dijelova konvencionalnih termoelektrana.
4. Navedi i objasni princip rada osnovnih dijelova parnog kotla.
5. Objasni sastavne dijelove i princip rada parnih turbina.
6. Analiziraj osnovne karakteristike termoelektrana.
7. Uporedi konvencionalne hidroelektrane i termoelektrane.



REZIME

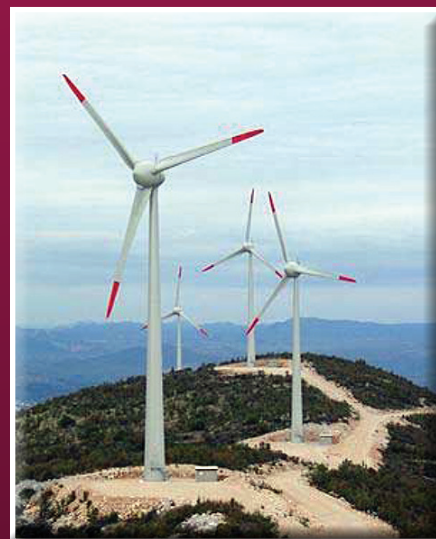
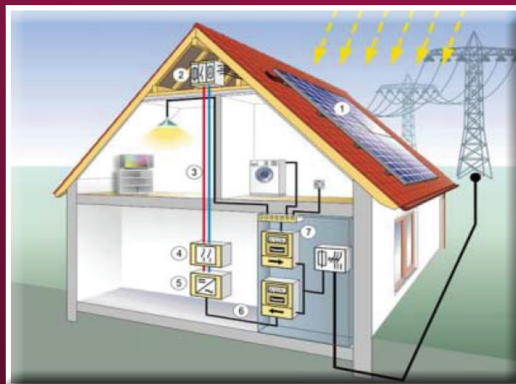
- Konvencionalni (klasični, tradicionalni, industrijski) izvori električne energije su izvori čiji je tehničko-tehnološki način dobijanja električne energije dobro poznat i koji se danas najčešće i obično koriste, uz uslov da je dobijanje električne energije na ovaj način ekonomično.
- U konvencionalne izvore energije danas se ubrajaju:
 - velike hidroelektrane,
 - termoelektrane na fosilna goriva i
 - nuklearne termoelektrane koje koriste fisione procese.
- Velike hidroelektrane su postrojenja u kojima se potencijalna energija vode najprije pretvara u kinetičku energiju strujanja vode, zatim u mehaničku energiju obrtanja vratila vodne turbine i na kraju u električnu energiju u električnom generatoru.
- Termoelektrane na fosilna goriva su postrojenja u kojima se toplota dobijena u kotlu iz hemijske energije goriva koristi za dobijanje vodene pare, koja se posredstvom odgovarajućih pogonskih mašina pretvara u mehaničku energiju, a ova se zatim u sinhronom generatoru pretvara u električnu energiju.
- Nuklearne termoelektrane su postrojenja u kojima se toplotna energija, koja se oslobađa u nuklearnim reaktorima prilikom raspadanja (fisije) atoma nuklearnog goriva, koristi za proizvodnju pare, koja pokreće parnu turbinu spojenju na električni generator u kome se proizvodi električna energija.
- Kod hidroelektrana (HE) radno tijelo je voda. Energija vode (hidroenergetski potencijal) je transformisana energija Sunčevog zračenja i ona pripada obnovljivim energetske izvorima jer se ciklično, u određenim periodima, obnavlja.
- Prema načinu korišćenja vode, hidroelektrane se dijele na:
 - akumulacione hidroelektrane, koje imaju akumulaciju (rezervoar) u kome se voda akumulira za vrijeme kišnih razdoblja (ili u periodu smanjene potrošnje) da bi se koristila kada je to neophodno;
 - protočne hidroelektrane, koje koriste vodu u skladu sa njenim prirodnim dotokom;
 - reverzibilne hidroelektrane (imaju dvije akumulacije, gornju i donju), koje za vrijeme postojanja viškova električne energije (ili u periodu niže tarife) pumpaju vodu iz donje u gornju akumulaciju, da bi je koristili za proizvodnju električne energije u periodima vršnih opterećenja (više tarife).
- Niz hidroelektrana uz ostala postrojenja na vodotoku (za navodnjavanje i odvodnjavanje, za plovidbu i dr.) naziva se hidroenergetskim sistemom.
- Glavni (osnovni) djelovi hidroelektrana su: brana, zahvat, dovod vode (dovodni organi), vodostan ili vodna komora, cjevovod (cijevi) pod pritiskom, mašinska zgrada, vodna turbina, generator, odvodni organi, hidromehanička oprema i visokonaponsko razvodno postrojenje.
- Hidromašinska oprema (rešetke, zatvarači i pomoćna oprema i uređaji) je kompleks opreme koja je ukomponovana u sistem hidroenergetskog postrojenja i hidrotehničkih objekata, sa osnovnim zadatkom da upravlja i reguliše tehnički proces i zaštititi postrojenje od havarija i oštećenja.
- Visokonaponska razvodna postrojenja u hidroelektranama su sastavni dio elektrana, sa osnovnim zadatkom da raspodjeljuju energiju proizvedenu u generatorima na vodove koji povezuju elektranu sa električnom mrežom.
- Osnovne karakteristike hidroelektrana se mogu podijeliti u četiri grupe:

- hidrološke karakteristike vodotoka,
 - karakteristike akumulacije i pada,
 - energetske karakteristike hidroelektrane i
 - ekonomske karakteristike hidroelektrane.
- Termoelektrane (TE) su postrojenja u kojima se energija toplote, dobijena na razne načine, poslije određenih energetskih transformacija, pretvara u električnu energiju.
 - U klasičnim (konvencionalnim, industrijskim) termoelektranama (na fosilna goriva: uglj, nafta, gas) vrši se višestruka konverzija energija, polazeći od procesa sagorijevanja goriva, odnosno transformacije hemijske energije goriva u mehaničku energiju (posredstvom odgovarajućih pogonskih mašina), a zatim se mehanička energija u sinhronom generatoru pretvara u električnu energiju.
 - Hemijska energija sadržana u fosilnim gorivima je posljedica zračenja Sunca. Kako se ova energija u procesu sagorijevanja nepovratno transformiše u druge energetske oblike, ova goriva pripadaju neobnovljivim energetskim izvorima.
 - Termoelektrane su takođe i sva druga postrojenja (nuklearne elektrane, geotermalne elektrane, solarne termalne elektrane, elektrane koje koriste toplotu mora i okeana i sl.) koja toplotu dobijenu na bilo koji drugi način, pretvaraju u električnu energiju.
 - Najčešća podjela termoelektrana je na:
 - parne termoelektrane, u kojima je pogonska mašina parna turbina, radni fluid vodena para, goriva: čvrsta, tečna, gasovita i nuklearna;
 - termoelektrane sa gasnim turbinama, u kojima je pogonska mašina gasna turbina, radni fluid vreli gas, goriva: tečna i gasovita;
 - dizel termoelektrane, u kojima dizel motor služi kao pogonska mašina a radni fluid se dobija iz tečnog goriva (nafte).
 - Kao medijum za prenos toplotne energije, odnosno radno tijelo, u termoelektranama se koristi vodena para, čije se karakteristike u toku termodinamičkog procesa mijenjaju. Zbog toga je neophodno dobro poznavanje njenih svojstava, osobina i osnovnih karakteristika.
 - U glavne djelove klasičnih termoelektrana ubrajaju se: kotlovska postrojenje, agregat (turbina i generator), kondenzatorsko postrojenje, pomoćni uređaji i postrojenja i visokonaponsko razvodno postrojenje.
 - Kotlovska postrojenje služi da se u njemu što ekonomičnije i efikasnije izvrši sagorijevanje goriva i da dobijenu toplotu preda radnom tijelu. Hemijska energija goriva, koja se u kotlovskom postrojenju pretvara u toplotnu energiju produkata sagorijevanja, predaje se u parnom kotlu vodi, stvarajući radno tijelo – vodenu paru.
 - Agregat u tehnici predstavlja sklop više mašina ili uređaja povezanih u jednu cjelinu, obično u cilju pretvaranja jednog oblika energije u drugi ili obavljanja nekog rada. Agregat u TE predstavlja spregu dvije mašine od kojih jedna pokreće drugu, u ovom slučaju toplotna (parna) mašina (turbina) pokreće generator električne struje.
 - Kondenzatorsko postrojenje služi za sniženje izlaznog pritiska pare iz parne turbine, odnosno povećanje toplotnog pada a time i povećanje termičkog stepena iskorišćenja postrojenja.
 - U pomoćna postrojenja TE spadaju sva postrojenja, mjerni i regulacioni uređaji i instrumenti koji su neophodni za normalan rad termoelektrane kao pogonske cjeline.
 - Visokonaponska razvodna postrojenja u termoelektranama imaju istu funkciju kao kod hidroelektrana: da transformišu i raspodjeljuju energiju proizvedenu u generatorima na vodove koji povezuju elektranu sa mrežom.

3.

Karakteristike nekonvencionalnih elektrana

- Vrste nekonvencionalnih izvora električne energije
- Nekonvencionalne hidroelektrane
- Nekonvencionalne termoelektrane
- Fotonaponske solarne elektrane
- Vjetroelektrane
- Tendencije budućeg korišćenja nekonvencionalnih izvora energije



D

Pod nekonvencionalnim (novim, alternativnim, neindustrijskim...) izvorima energije podrazumijevaju se izvori za koje se zna da sadrže određene nosioce energije, ali je njihova transformacija u korisne oblike energije (na sadašnjem stepenu razvoja tehnike i tehnologije) ekonomski još nekonkurentna proizvodnji tih oblika energije iz konvencionalnih izvora ili čak još nije dovoljno poznata mogućnost i način njihovog korišćenja i transformacije.

U nekonvencionalne izvore energije, na današnjem stepenu razvoja, ubrajaju se:

- solarna energija (neposredno korišćenje Sunčevog zračenja),
- energija vjetra (kinetička energija),
- geotermalna energija (u unutrašnjosti Zemlje, koja se ne pojavljuje na površini),
- energija plime i oseke (potencijalna energija),
- energija morskih talasa (kinetička energija),
- unutrašnja toplotna energija mora i okeana (razlika temperature površine i dubine),
- bioenergija – biomasa (hemijska energija),
- nuklearna energija (fuzija),
- Magnetno-hidrodinamički generatori (MHDG),
- gorive ćelije,
- energija vodonika i sl.

!

Neophodno je napomenuti da je podjela na konvencionalne i nekonvencionalne izvore energije promjenljiva kategorija. Određeni energetske izvor, kada zadovolji postavljene kriterijume u pogledu tehničkih mogućnosti za proizvodnju električne energije i ekonomske opravdanosti njihovog korišćenja za proizvodnju električne energije, može se prebaciti iz kategorije nekonvencionalnih u kategoriju konvencionalnih izvora.

Takođe, ako se u međuvremenu pronade neki novi izvor energije, on će u početnom stadijumu razvoja i primjene pripadati prvo kategoriji nekonvencionalnih izvora energije, sa mogućnošću da u budućnosti pređe u kategoriju konvencionalnih izvora.

Kao i kod konvencionalnih, i nekonvencionalni izvori električne energije mogu se podijeliti na:

- nekonvencionalne hidroelektrane i
- nekonvencionalne termoelektrane.

U nekonvencionalne hidroelektrane ubrajaju se:

- male hidroelektrane,
- elektrane na plimu i oseku,
- elektrane na morske talase i sl.

U nekonvencionalne termoelektrane ubrajaju se:

- solarne termalne elektrane,
- geotermalne elektrane,
- elektrane koje koriste unutrašnju toplotnu energiju mora i okeana,
- bioelektrane (elektrane koje koriste bioenergiju),
- elektrane na čvrsti komunalni otpad,
- MHDG,
- nuklearne termoelektrane (fuzija) i dr.

Fotonaponske solarne elektrane, u kojima se na račun fotonaponskog efekta izazvanog zračenjem Sunca dobija električna energija, takođe se ubrajaju u nekonvencionalne izvore električne energije.

U nekonvencionalne izvore električne energije ubrajaju se i vjetroelektrane, koje takođe koriste obnovljivi izvor energije – energiju vjetra. Energija vjetra, koji nastaje usljed postojanja razlika u temperaturi i pritisku u različitim tačkama, je takođe posljedica dejstva Sunca. U vjetroelektranama kinetička energija vjetra u vjetroturbini prvo se pretvara u mehaničku energiju a ova zatim u generatoru u električnu energiju.

Z

Važna karakteristika nekonvencionalnih elektrana je što one za proizvodnju električne energije koriste obnovljive izvore energije, koji, kao što je već rečeno, imaju brojne prednosti nad neobnovljivim izvorima.

3.2

NEKONVENCIONALNE HIDROELEKTRANE

3.2.1. Male hidroelektrane

D

Male hidroelektrane su postrojenja u kojima se potencijalna energija vode (transformisana energija Sunčevog zračenja) najprije pretvara u kinetičku energiju njenog strujanja (u statoru turbine), a potom u mehaničku energiju (u rotoru turbine) obrtanja vratila turbine i, konačno, u električnu energiju u generatoru.

Pojam male hidroelektrane može se promatrati sa različitih tačaka gledišta i uglavnom je različit od zemlje do zemlje, zavisno od njenog standarda, hidroloških, meteoroloških, topografskih i morfoloških karakteristika lokacije, kao i od stepena tehnološkog razvoja i ekonomskog stanja zemlje.

Male hidroelektrane (MHE) su hidroenergetski sistemi manjih snaga, uglavnom izgrađeni na manjim vodotocima, odnosno na manjim rijekama, potocima, raznim kanalima pa čak i sistemima za navodnjavanje. U njima se energija tzv. malih vodotoka pretvara u korisnu energiju, čime se obezbjeđuje jeftina, čista i pouzdana proizvodnja električne energije. MHE su pretežno protočne elektrane, pa stoga i ne zahtijevaju značajne zemljane i građevinske radove i investicije koje su vezane za izgradnju velikih brana i akumulacija.

Postoje različiti načini podjele malih hidroelektrana prema: snazi, padu (pritisaku), načinu iskorišćavanja vode, smještaju turbine, načinu rada i sl.

Osnovna razlika između velikih i malih hidroelektrana je u instalisanoj snazi, pri čemu je granična snaga koja dijeli hidroelektrane na ove dvije grupe hidroelektrana različita od zemlje do zemlje.

Z

Još ne postoji međunarodni konsenzus vezan za definiciju male hidroelektrane. U literaturi postoje različite podjele i definicije malih hidroelektrana. Jedna od podjela, koja zavisi od regiona ili zemlje, bi bila: u dijelu EU i nekim zemaljama to su hidroelektrane instalisane snage do 10 MW, u Njemačkoj i UK do 5 MW, u Italiji do 3 MW, u Švedskoj 1,5 MW, u Francuskoj 8 MW, u Kanadi granica se kreće između 20 i 25 MW, u SAD, to najčešće znači do 30 MW, u Latinskoj Americi do 30 MW, u Kini do 25 MW, u Indiji do 15 MW i sl.

Z

Bez obzira na velika odstupanja u pojedinim zemljama sa stanovišta gornje granice instalisane snage MHE (od 1,5 do 30 MW), u posljednje vrijeme najčešće se kao standard prihvata vrijednost ukupnog instalisanog kapaciteta do 10 MW. Ovaj standard je predložen od Evropske asocijacije za male hidroelektrane (ESHA) i podržan od Evropske komisije (EC), i kao takav uglavnom prihvaćen u zemljama EU i u još nekim drugim zemljama.

MHE su jedan od najekološkijih načina proizvodnje električne energije danas raspoloživ.

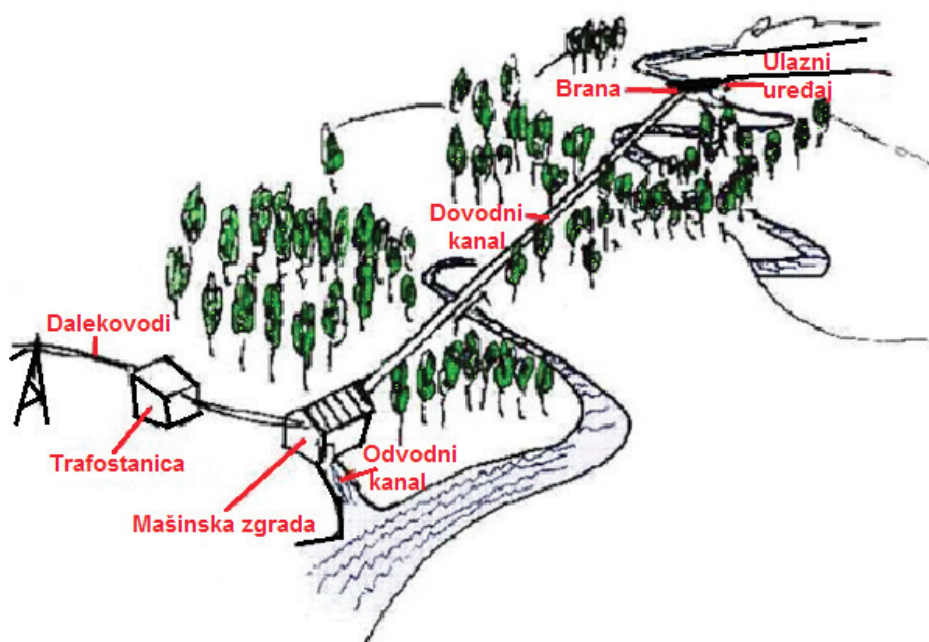
Kako u velikom broju zemalja postoji značajan neiskorišćen potencijal za izgradnju MHE, to one sve više okupiraju pažnju i istraživača i proizvođača i potencijalnih investitora. Prema dosadašnjim istraživanjima ovaj veliki neiskorišćeni potencijal ukazuje da mala hidroenergetska postrojenja mogu biti veoma značajan faktor u podmiranju dijela budućih energetske potreba. Njegovo značajnije korišćenje će umnogome zavisiti od primjene već dokazanih i razvijenih tehnologija, ali i od daljeg razvoja i optimizacije postojećih i novih tehnologija.

MHE nije jednostavno samo smanjena verzija velike hidroelektrane. Za njenu izgradnju je potrebna specifična oprema i uređaji, prije svega u smislu jednostavnosti, visine investicija i troškova rada i održavanja, načina rada, maksimuma pouzdanosti i sigurnosti, kao i lakog korišćenja i održavanja od strane nespecijalista. Principijelna šema MHE je data na Slici 3.1.

Kao prednosti MHE u odnosu na velike hidroelektrane mogu se navesti i: smanjeni troškovi distribucije električne energije; nema troškova prenosa; smanjen negativni uticaj na okolinu i ekosistem; manje investicije; vrlo mali broj negativnih karakteristika i osobina; jeftinije održavanje; velika mogućnost automatizacije; uglavnom rade bez posade i sl.

Za MHE uglavnom se koriste dva tipa turbina:

- **impulsne** (Peltonove) turbine, veoma pogodne za velike padove i manje protoke i
- **reakcione** (Fransisove i Kaplanove), koje su pogodne za srednje ili male padove i srednje do velikih protoke.

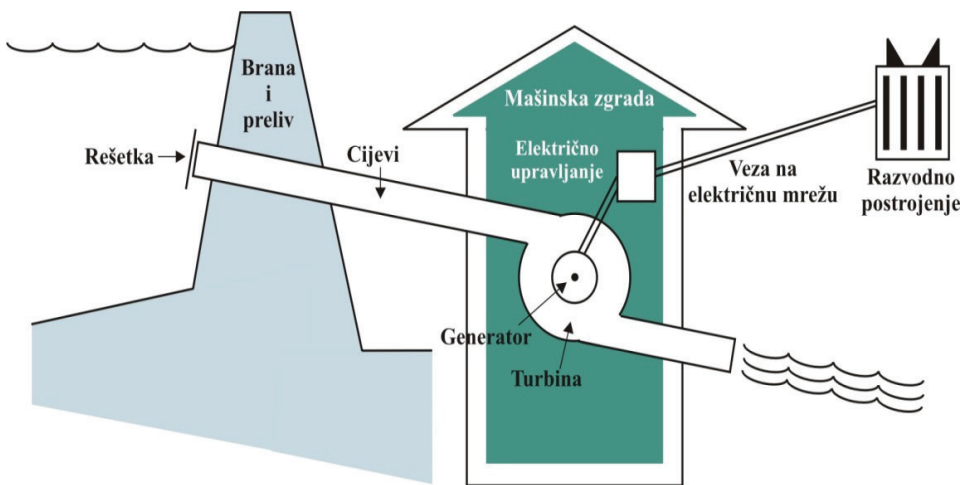


Slika 3.1. Šema izgradnje MHE

Z

Male hidroelektrane se ponekad dalje dijele na mini, instalisane snage najčešće do 500 kW i mikro, instalisane snage manje od 100 kW (do 50 kW). Može se sresti i naziv piko, gdje se instalisana snaga kreće do nekoliko stotina vati (W).

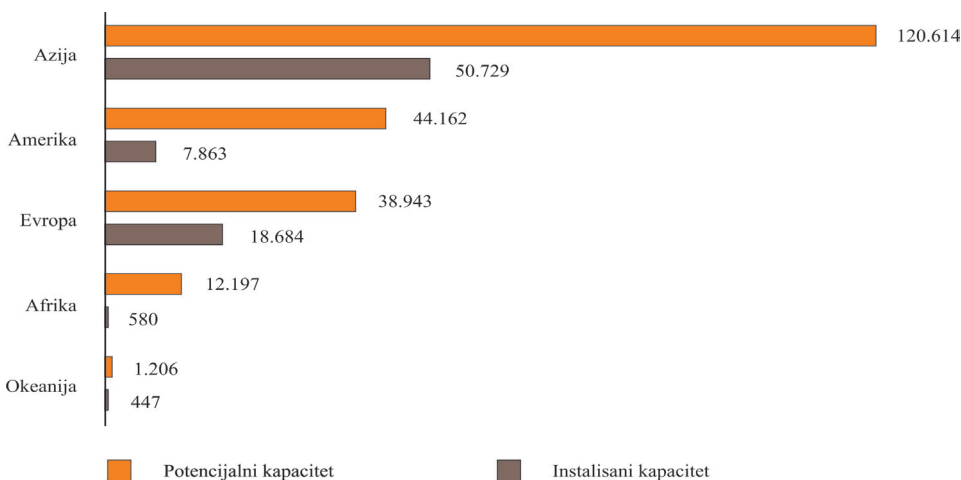
Jedna od mogućih šema MHE sa osnovnom pripadajućom opremom data je na Slici 3.2, dok je na Slici 3.3 dat izgled jedne male hidroelektrane u pogonu.



Slika 3.2. Jedna od mogućih šema MHE sa osnovnom pripadajućom opremom



Slika 3.3. Mala hidroelektrana u pogonu



Slika 3.4. Kapacitet malih hidroelektrana po kontinentima

Z

Ukupni novi instalisani kapaciteti MHE u svijetu u 2016. godini su iznosili 78 GW. Ukupni procijenjeni potencijal MHE u 2016. godini je iznosio 217 GW. Prema ovim procjenama procenat iskorišćenosti potencijalnog kapaciteta iznosio je 36%. Očigledno je da postoje velike potencijalne mogućnosti ovih kapaciteta u budućnosti.

Z

Kapaciteti MHE čine približno 1,9 % ukupnog svjetskog energetskeg kapaciteta, 7% ukupnog svjetskog kapaciteta obnovljivih izvora i 6,5 % ukupnog hidroenergetskog potencijala.

Među pojedinačnim zemljama Kina je lider u oblasti MHE sa 51% od ukupnog svjetskog instalisanog kapaciteta i, otprilike, sa 29% ukupnog svjetskog MHE potencijala. Kada su u pitanju kontinenti, Azija ima najveću snagu ukupnih instalisanih MHE kapaciteta, dok Okeanija ima najmanju snagu ukupnih instalisanih MHE kapaciteta (Slika 3.4). Evropa ima najveći procenat ukupnih instalisanih kapaciteta, koji iznosi oko 48% od potencijalnog svjetskog kapaciteta.

Z

Plima i oseka (morske mijene) nastaju pod dejstvom Sunca i Mjeseca na vode u morima i okeanima. Morske mijene su periodično dizanje (plima) i spuštanje (oseka) morske i okeanske površine i premještanje vodenih masa prouzrokovano gravitacionom silom kojom Mjesec i Sunce djeluju na vodene mase i zemljinom rotacijom.

Z

Energija plime i oseke ima potencijal za stvarnje električne energije u određenim djelovima svijeta, odnosno tamo gdje su morske mijene izrazito naglašene. Razlika u visini plime i oseke mijenja se u zavisnosti od lokacije. Na primjer, amplitude plime i oseke u Jadranskom moru su od 0,3 (jug) do 1,1 metar (sjever), a na Atlantskom, Tihom i Indijskom okeanu prosječno od 6 do 8 metara. Najveći su rasponi mijena: u Kanadi (Fundy Bay) 19,6 metara, u Engleskoj (Severn) 17,8 metara, u Francuskoj (Granville u Donjoj Normandiji) 16,1 metara. Smatra se da je za ekonomičnu proizvodnju potrebna minimalna visina od 7 metara. Procjenjuje se da na svijetu postoji oko 40 mjesta pogodnih za izgradnju elektrana na plimu i oseku.

3.2.2. Elektrane na plimu i oseku



Elektrane koje koriste energiju plime i oseke (obnovljivi izvor energije) za pogon turbina, predstavljaju posebnu vrstu hidroelektrana.

Zbog toga što promjene oseke i plime izazivaju kretanje fluida, to jest vodene mase, a to je kretanje potencijalna kinetička energija, moguće je izvršiti pretvaranje te energije u električnu energiju uz pomoć posebnih elektrana na plimu i oseku. Takvi tipovi elektrana nijesu česti jer njihova izrada, održavanje i postizanje isplativosti traži značajna novčana sredstva, pa su trenutno samo visokorazvijene i bogate zemlje razvile nekoliko takvih elektrana, premda dosta zemalja ima prirodni potencijal za njihovo korišćenje.

Uzimajući u obzir da je energija koja može da se dobije na ovaj način proporcionalna površini bazena koji se dobija izgradnjom brane i kvadratu amplitude plime, za njihovu izgradnju potrebno je odabrati pogodan zaliv, ili ušće rijeke na obali na kojoj se javljaju velike amplitude plime i oseke, na kome postoji mogućnost izgradnje brane i gdje je dovoljno veliki akumulacioni bazen.

Tehnologija koja se koristi za konverziju je slična tehnologiji koja se koristi u konvencionalnim hidroelektranama.

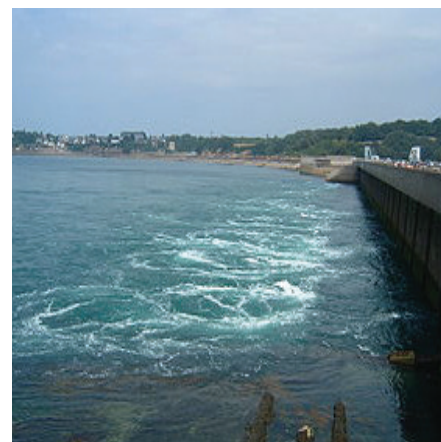
Prva postrojenja ove vrste bila su u obliku vodenica na morske mijene (Slika 3.5a).

U sljedećoj fazi su se razvile elektrane sa branama izgrađenim na pogodnim mjestima u primorskim oblastima (Slika 3.5b). Brana sprečava ulaz vode u bazen/akumulaciju sve do trenutka nastajanja dovoljne visinske razlike između nivoa otvorenog mora i one u bazenu. Nakon toga, dopušta se da voda iz mora (ili iz bazena ako su ugrađene turbine za dva smjera) kroz turbine struji u bazen.

Kako je izrada brana skupa, idealna mjesta su što zatvorenije uvale, fjordovi ili ušća rijeka, čime se štedi na dužni pregrada. Na pogodnim mjestima u brani ugrađuju se turbine koje se puštaju u pogon kada se postigne povoljna razlika hidrostatskog potencijala. Električna energija može se proizvoditi kada voda teče u jednom smjeru ili kada voda teče u oba smjera, tj. kada voda teče u bazen i iz bazena. Elektrane koje koriste oba smjera vode su skuplje, ali imaju veći stepen efikasnosti.



a)



b)

Slika 3.5. Vodenica na morske mijene (a) i brana za korišćenje energije plime i oseke (b)

Najjednostavniji način korišćenja energije plime i oseke postiže se sistemom jednog bazena sa turbinama koje rade samo u jednom smjeru. U tom slučaju bazen se puni za vrijeme plime kroz zapornice, a prazni za vrijeme oseke kroz turbine. Razlika nivoa između bazena i morske površine energetski se može koristiti samo za vrijeme oseke.

Radi produženja trajanja pogona i boljeg iskorišćenja energije plime i oseke, moguće je izgraditi postrojenje koje se koristi i za vrijeme plime i za vrijeme oseke. Ovo se može postići sa jednim bazenom i sa turbinama koje mogu koristiti strujanje vode u oba smjera. Ovaj način korišćenja energije plime i oseke je mnogo povoljniji, efikasniji i ekonomičniji, ali je investicija u uređaje i opremu znatno veća.

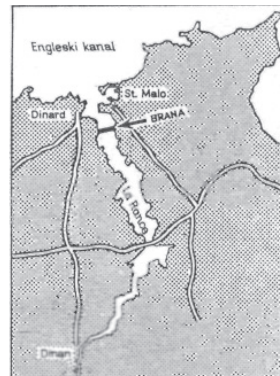
Pri korišćenju energije plime i oseke nije moguće postići proizvodnju električne energije sa konstantnom snagom i bez prekida pogona, što ukazuje da za zadovoljenje potreba potrošača pored ovih elektrana treba imati i dopunske izvore energije.

Prema procjenama ovaj način proizvodnje električne energije ne može pokriti svjetske potrebe, ali može dati veliki doprinos u pokrivanju dijela potreba obnovljivim izvorima.

Povoljnost ovih elektrana je čista i obnovljiva energija. Glavni nedostaci elektrana ovog tipa su veliki troškovi izgradnje, malo pogodnih lokacija za izgradnju, velik uticaj na okolinu i sl. Veliki kapitalni troškovi ovakvih elektrana sa dugim vremenom izgradnje (do 10 godina) čine korišćenje energija plime i oseke trenutno komercijalno neatraktivnim.



a) izgled



b) skica lokacije

Slika 3.6. Elektran na plimu i oseku La Rance (Francuska)

3.2.3. Elektrane na morske talase

Elektrane na morske talase su elektrane koje koriste energiju talasa (obnovljivi izvor energije) za proizvodnju električne energije. Osnovni uzrok nastanka ove energije je djelovanje vjetrova (posljedica dejstva Sunca) na površinu mora i okeana. Pošto se snaga talasa razlikuje od dnevnih mijena plime i oseke i stalnih cirkularnih okeanskih struja, za njeno korišćenje mora se odabrati povoljna lokacija na kojoj su talasi dovoljno česti i dovoljne snage.

Gibanjem vjetrova preko površine mora dolazi do pojave talasa. Visina talasa je određena brzinom vjetrova, trajanjem duvanja vjetrova, dometom (udaljenost preko koje vjetar pobuđuje talase), dubinom i topografijom morskog dna i sl. Generalno, veći talasi su jači, ali snaga talasa je takođe određena i njegovom brzinom,

Z

Veoma pogodni uslovi za izgradnju elektrana na plimu i oseku su u kanalu Lamanš, gdje je izgrađeno i 1966. god. pušteno u pogon prvo ovakvo postrojenje na ušću rijeke La Rance (Bretanja, Francuska) sa sljedećim karakteristikama (Slika 3.6):

- maksimalna amplituda plime 11,1 m,
- 24 vodne turbine, stepen iskorišćenja oko 40%,
- instalisana snaga 240 MW,
- srednje godišnje proizvodnje oko 600 GWh/god.,
- turbine su sa dva smjera strujanja vode,
- pad od 11 do 5,5 m, plimna brana dužine 750 m i
- protok od 100–270 m³ /s.

Z

Energija talasa naglo opada sa njegovom dubinom, tako da u dubini od 50 m iznosi svega 2% od energije neposredno ispod površine. Snaga talasa procjenjuje se na 2 x 10⁹ kW, čemu odgovara snaga od 10 kW na 1m linije talasa. Ta snaga varira u zavisnosti od položaja na Zemlji, od 3 kW/m na Mediteranu do 90 kW/m na Sjevernom Atlantiku. Energija talasa varira tokom vremena (više i većih talasa ima u zimskom periodu) i ima slučajni karakter. Procjenjuje se da talasi generišu ukupno oko 2.700 GW snage, od kojih samo oko 500 GW može biti iskorišćeno uz pomoć današnjih tehnologija.

Z

Ukupna energija talasa koji udaraju u svjetsku obalu je procijenjena na 2-3 miliona MW što je ogroman neiskorišćen potencijal.

Energetski najbogatiji talasi su koncentrisani na zapadnim obalama na području od 40 do 60 stepeni geografske širine na sjevernoj i južnoj hemisferi.

Energija talasa na tom području varira između 30 i 70 kW/m sa najvišom energijom od 100 kW/m u Atlantiku.

talasnom dužinom i gustinom vode. Talasi su najjači na površini okeana, a snaga talasa se prenosi, kako horizontalno, tako i vertikalno.

Visina talasa je najviša za vrijeme zime, što se poklapa sa vremenom najviše potrošnje električne energije. Kinetička energija talasa može se početi efikasno transformisati u električnu energiju kada je visina talasa veća od 1 m. Važni energetski parametri o kojima treba voditi računa pored parametra snage po dužnom metru, su i: amplituda, frekvencija i oblik talasa. Bitno je istaći i da su talasi vrlo predvidivi. Smatra se da talasi prouzrokovani vjetrom mogu biti predviđeni pet dana unaprijed.

Zbog prirodnog potencijala talasa, visokog tehnološkog stepena razvoja, velikih energetskih zahtjeva i ekološke svijesti, najdalje u razvoju komercijalnih elektrana na talase su otišle visoko industrijalizovane primorske zemlje: Velika Britanija, Japan, Skandinavske zemlje i Australija.

Uređaji za pretvaranje energije talasa u električnu energiju treba da zadovolje nekoliko kriterijuma. Prije svega uređaj mora uhvatiti dobar dio energije u nepravilnim talasima u širokom spektru morskih stanja, vodeći računa da postoje velike promjene snage u talasima. Uređaj mora uspješno pretvoriti gibanje talasa u elektricitet, vodeći računa o različitim brzinama, snazi, različitom smjeru talasa i sl. Uređaj, takođe, mora biti visoko otporan na oštećenja od oluja, koroziju usljed slane vode i sl.

Ukupna cijena ovako dobijene električne energije je još uvijek dosta visoka. Očigledno je da će snaga talasa biti komparativna tek kada se ukupna cijena generisanja energije talasa značajno smanji. I ekološki zahtjevi mogu biti značajni i skupi.

Transformacija energije talasa trenutno nije široko primijenjena komercijalna tehnologija, iako su postojali pokušaji njenog korišćenja još od 1890. Od tada pa do danas, interes i istraživanja u ovoj oblasti su zavisili od stanja u energetskom sektoru i intenziteta energetskih kriza.

Ako se kao kriterijum koristi metod prihvatanja talasa, danas su u osnovi poznata tri načina korišćenja energije talasa: preko plutača, preko pokretnog klipa i preko njihalica (ljuljajući uređaj) ili lopatica.

U fazi istraživanja i ispitivanja su još crijevna i McCabova pumpa na talase, čuškaš i morska zmija (tzv. Pelamis). Na Slici 3.7. je prikazan plutajući dio elektrane na talase tipa Pelamis.

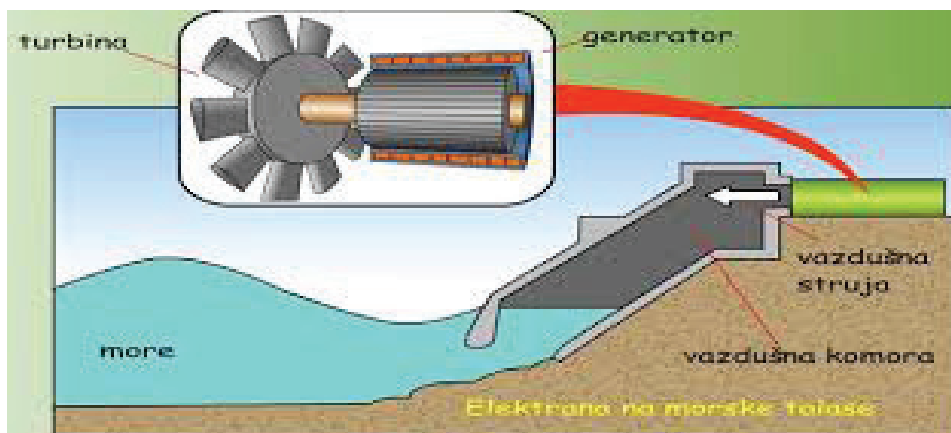
Ako se kao kriterijum koristi lokacija, ove elektrane mogu se podijeliti na:

- elektrane na talase **na otvorenom moru** i
- elektrane na talase **na morskoj obali** ili u neposrednoj blizini obale (Slika 3.8).



Slika 3.7. Plutajući dio elektrane na talase Pelamis

Prednosti izgradnje elektrana u neposrednoj blizini obale u odnosu na plutajuće sisteme su sljedeće: lakša izgradnja jer se koriste klasični građevinski uređaji i oprema; lakše održavanje postrojenja jer nisu potrebni ronionci i brodovi; lakša i brža kontrola i zamjena pokvarenih dijelova; mogu služiti i kao lukobran i sl.



Slika 3.8. Elektrana na talase na morskoj obali

Osnovna tehnička ograničenja ovih konstrukcije su: izbor pogodne lokacije, što dublje more i što veći talasi; mali koeficijent iskorišćenja turbine zbog stohastičke prirode talasa, a samim tim i protoka; nizak stepen iskorišćenja (npr. dvosmjerne Wellsove turbine oko 50–60%) i sl.

Objektivni nedostaci plutajućih objekata su njihova otpornost i pouzdanost usljed korozivne i mehanički nepredvidive okoline.

Prednosti gradnje elektrana na otvorenom moru su: bolja iskorištenost talasnog potencijala – veća raspoloživa površina za polja elektrana, a sa tim ujedno i veća ukupna snaga za određenu lokaciju; mogućnost napajanja off-shore objekata; mogućnost napajanja raznih vrsta senzora (autonomni energetske sistemi) i sl.

Važno je napomenuti da nijedan od navedenih načina za korišćenje energije talasa ne može danas konkurisati klasičnim izvorima električne energije.

3.3

NEKONVENCIONALNE TERMoeLEKTRANE

3.3.1. Sunčeve (solarne) elektrane

Da bi se zadovoljile potrebe veoma brzog tehničko-tehnološkog razvoja, čovječanstvu je potrebna sve veća količina energije u svim upotrebnim oblicima.

Zbog praktično neiscrpane količine energije Sunčevog zračenja, koje predstavlja osnovni izvor života na Zemlji, i velikog broja prednosti u odnosu na sve ostale korišćene i perspektivne energetske izvore, danas se, sa izuzetnom pažnjom, vrše istraživanja u cilju razvoja efikasnih tehnologija korišćenja energije Sunčevog zračenja za zadovoljavanje čovjekovih, svakim danom sve izraženijih i većih, energetskih potreba.

Naročito se ulažu veliki naponi da se mnogobrojne tehnologije korišćenja Sunčeve energije, do sada uglavnom razvijane u laboratorijskim uslovima, što prije

Z

Sunčeva energija je zračenje svjetlosti i toplote sa Sunca koju ljudi koriste od davnina upotrebom raznih tehnologija koje se neprekidno razvijaju i usavršavaju. Direktno Sunčevo zračenje zajedno sa sekundarnim sunčevim izvorima kao što su: energija vjetra i energija talasa, hidroenergija, biomasa i sl. čini većinu raspoložive obnovljive energije na Zemlji.

Z

Oko polovine dolaznog zračenja Sunca dolazi do Zemlje. Zemlja kontinuirano prima oko 174 PW dolazećeg Sunčevog zračenja (insolacije) u gornjoj atmosferi. Kad dođe do atmosfere, oko 6% insolacije se reflektuje, a oko 16% se apsorbira. Prosječni atmosferski uslovi (oblaci, prašina, čestice zagađenja i sl.) nadalje umanjuju Sunčevo zračenje za 20% refleksijom i 3% apsorpcijom. Ovi atmosferski uslovi ne samo da umanjuju količinu energije koja dopire do zemljine površine, nego i raspršuju otprilike 20% dolazne svjetlosti i filtriraju neke djelove spektra. Nakon prolaska kroz atmosferu, otprilike pola insolacije je u vidljivom dijelu elektromagnetskog spektra, a druga polovina je u infracrvenom dijelu spektra (samo mali dio je ultraljubičasto zračenje).

komercijalizuju i učine uporedivim sa postojećim energetske izvorima, kako bi se sve veći dio energetske potreba na Zemlji pokrivaio Sunčevom energijom neposredno ili njenim prirodno transformisanim oblicima. Ovo bi omogućilo supstituciju deficitarnih i ekološki nepoželjnih fosilnih goriva, ili zamjenu i supstituciju električne energije gdje je god to moguće i opravdano, obezbjeđujući njenu racionalniju potrošnju.

Neposredno korišćenje Sunčeve energije umnogome zavisi od Sunčeve radijacije na horizontalnu površinu na mjestu njenog korišćenja. Ovaj parametar je veoma promjenljiv u zavisnosti od mjesta na zemljinoj površini. Količina Sunčeve energije koju Zemlja prima sa Sunčevim zracima zove se **insolacija**.



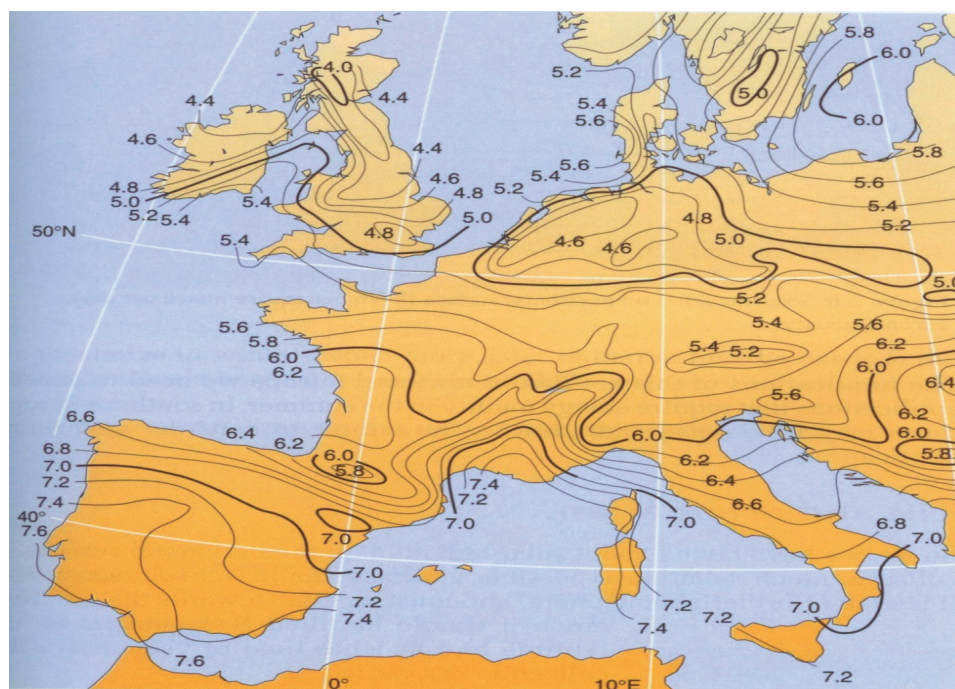
Područje Crne Gore sa 6,8 do 7,0 kWh/m², dnevno, pripada područjima sa značajnom solarnom radijacijom.

U zavisnosti od načina na koji se prikuplja, transformiše i raspodjeljuje Sunčeva energija, tehnologije za njeno korišćenje obično se dijele na: **pasivne** ili **aktivne**.

Pasivne sunčeve tehnike uključuju odabir materijala sa povoljnim termičkim osobinama, oblikovanje prostora u kojima vazduh prirodno kruži, orijentaciju zgrada prema Suncu, odgovarajuće izolovanje zgrada i sl.

Aktivne sunčeve tehnike uključuju izlaganje posebnih uređaja Sunčevom zračenju, primjenu solarnih kolektora i koncentratora, fotonaponskih modula i panela, pumpi, ventilatora i sl. kako bi se Sunčeva energija pretvorila u upotrebljive oblike.

Aktivne sunčeve tehnologije povećavaju dotok energije i smatraju se tehnologijama proizvodnje, dok pasivne tehnologije smanjuju potrebu za drugim izvorima i uglavnom se smatraju tehnologijama potrošnje.



Slika 3.9. Solarna radijacija na horizontalnu površinu (kWh/m², dnevno) u Evropi u julu

Direktno pretvaranje Sunčeve energije u druge oblike (naročito u električnu energiju) vrši se relativno lako i jednostavno, znatno lakše nego pretvaranje bilo kog drugog oblika energije.

Treba istaći i da je Sunce praktično neiscrpan izvor energije, da korišćenje ove energije ni hemijski, ni radioaktivno, ni toplotno ne utiče na okolni prostor, da je proces proizvodnje električne energije ovim postupkom veoma tih, da pri njegovoj primjeni nema potencijalnih opasnosti i da je ova energija raspoloživa na velikom broju lokacija na Zemlji.

I pored postojanja velikog broja različitih načina korišćenja Sunčevog zračenja, najčešće se, u zavisnosti od tehnološkog postupka pretvaranja, svi postojeći načini mogu podijeliti u dvije osnovne velike grupe:

a) Direktno pretvaranje energije Sunčevog zračenja u toplotnu energiju.

Zbog pretvaranja Sunčeve energije u toplotnu energiju, koja se kasnije koristi za dobijanje električne energije (osnovni princip rada termoelektrana), ova postrojenja se svrstavaju u termoelektrane.

b) Direktno (neposredno) pretvaranje energije Sunčevog zračenja u električnu energiju korišćenjem fotonaponskog efekta, odnosno solarnih fotonaponskih (PV) ćelija.

Direktno pretvaranje energije Sunčevog zračenja u toplotnu energiju može biti: nisko, srednje i visoko temperaturno pretvaranje. Ovako dobijena toplota može se koristiti za:

- dobijanje procesne toplote i pare za zadovoljavanje različitih toplotnih potreba u termotehnici, industriji (posebno procesnoj), poljoprivredi i sl.,
- zagrijavanje sanitarne tople vode,
- sušenje i kuvanje,
- grijanje, hlađenje ili klimatizaciju prostora,
- desalinizaciju i dezinfekciju i sl.

Ova toplotna energija može se koristiti putem termodinamičkog ciklusa za proizvodnju mehaničke energije, koja može biti korišćena na različite načine, a pod određenim uslovima i za proizvodnju električne energije.

Proces se zasniva na koncentrisanju dolazećih Sunčevih zraka (jer je za isparavanje potrebna visoka temperatura), a zatim kumulacijom njihove toplote, koja može povećati temperaturu radnog fluida do nivoa da se proizvede para a od nje u generatoru dobije električna energija.

Danas solarni termalni market u Svijetu i Evropi raste sa veoma visokom stopom, sa težnjom da se ona, zbog mnogobrojnih prednosti koje nude tehnologije za korišćenje Sunčeve energije, još više uveća.

Solarna termalna konverzija za dobijanje električne energije ima veliku prednost u mogućnostima korišćenja konvencionalnih tehnologija i materijala koji se koriste u postojećim termoelektranama. Razlika je samo u načinu dobijanja pare koja se koristi za pogon parnih turbina, jer u ovom slučaju nema potrebe za parnim kotlom.

U okviru ove osnovne grupe postoji veliki broj više ili manje razvijenih i korišćenih postupaka.

Osnovni princip rada solarne termalne konverzije korišćenjem kolektora dat je na Slici 3.10. Sunčeva energija se u kolektorima predaje vodi zagrijavajući je do određene temperature.

Z

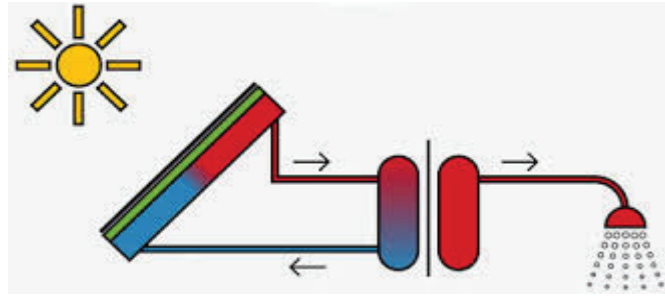
Količina Sunčeve energije koja dolazi do zemljine površine je dvostruko veća od ukupne energije koju će čovječanstvo ikada dobiti iz svih neobnovljivih izvora: uglja, nafte, prirodnog gasa i iskopanog urana zajedno.

Z

Sunčeva radijacija na horizontalnu površinu (u kWh/m², dnevno) u ljetnjim mjesecima na području Evrope data je na Slici 3.9. Očigledne su značajne razlike, koje se kreću od 4,5 do 5,0 kWh/m², dnevno na sjeveru Evrope (Irska, UK, Danska i sjeverna Njemačka), od 6,0 do 7,5 kWh/m², dnevno, na jugu Evrope (Španija, Italija i Grčka).

Z

Prvi solarni zagrijači vode se pominju u XIX vijeku, kada je za te svrhe korišćeno metalno bure izloženo direktnom zračenju Sunca i obojeno crnom bojom da bi apsorbavalo maksimalnu moguću energiju Sunčevog zračenja. Prvi komercijalni solarni zagrijač vode je patentiran 1891. godine u Baltimoru, od strane C. Kempa, a prvo zagrijavanje kuće energijom akumulisanom solarnim zagrijačima vode smještenim na krovu kuće zabilježeno je 1896. godine u Kaliforniji.



Slika 3.10. Princip solarne termalne konverzije

Topla voda se u isparivaču koristi za dobijanje pare koja se kasnije koristi za različite namjene (za potrebe domaćinstava, turizma, poljoprivrede, industrije, energetike i sl.).

Izgled različitih tipova solarnih termalnih elektrana koje koriste direktno pretvaranje energije Sunčevog zračenja u toplotnu energiju, dat je na Slikama 3.11 i 3.12. Energija Sunčevog zračenja sakuplja se pomoću pokretnih ogledala (heliostata) u parni generator na prijemnom tornju, gdje se predaje vodi, koja se pretvara u paru potrebnu za pokretanje turbine.



Slika 3.11. Solarna termalna elektrana sa ravnim ogledalima



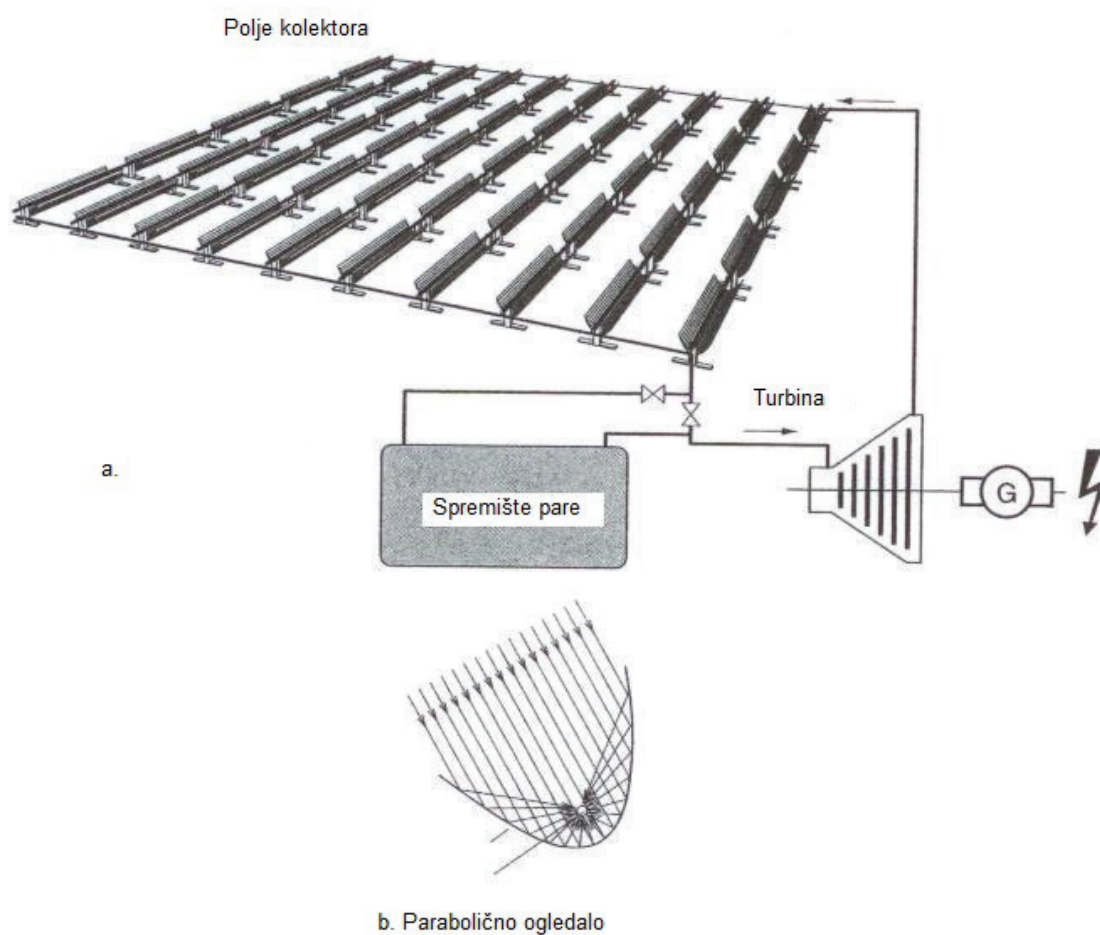
Slika 3.12. Solarna termalna elektrana sa ravnim ogledalima

Prikupljanje Sunčeve energije može biti pomoću ravnih (Slika 3.12) ili paraboličnih ogledala (Slika 3.13) u kojima se energija Sunčevog zračenja koncentriše u fokusima paraboličnih ogledala, kroz koje prolazi voda.



Slika 3.13. Parabolično ogledalo za sakupljanje solarne energije

Usljed fokusirane energije Sunčevog zračenja (pomoću paraboličnih ogledala u njihovu žižu, gdje se nalazi spremište vode) voda se pretvara u paru i odlazi u spremište pare, odakle se vodi u parnu turbinu radi proizvodnje električne energije. Princip rada ovog tipa solarne termalne elektrane sa njenim osnovnim sastavnim djelovima dat je na Slici 3.14.



Slika 3.14. Šema solarne termalne elektrane (a) sa paraboličnim ogledalima (b)

Z

Istorijat korišćenja geotermalne energije je veoma star. Još su antički narodi geotermalne izvore koristili za kupanje i grijanje, kao i u medicinske svrhe. Iako se geotermalna energija na ovaj način koristila vjekovima, prva upotreba geotermalne energije u industriji dogodila se u 18. vijeku, a prvi pokušaj proizvodnje električne energije iz geotermalne energije zabilježen je tek u 20. vijeku.

Z

Temperatura zemljine unutrašnjosti raste sa dubinom. Na dubini od 80 do 100 km temperatura stijena iznosi između 600 i 1.200 °C. Toplota neprestano struji od izvora u zemljinoj unutrašnjosti prema površini. Temperatura zemljine površine najviše zavisi od zračenja Sunca. Uticaj tog zračenja opaža se u gornjim djelovima kore do dubine oko 30 metara. Na toj dubini temperatura je stalna. Porast temperature sa dubinom Zemlje naziva se geotermalni gradijent.

Z

Od vrste geotermalnog ležišta zavisi izbor tehnologije za proizvodnju električne energije, pri čemu je temperatura geotermalnog fluida osnovna odrednica. Temperatura ležišta može biti: od 50 do 150 °C – nisko temperaturna ležišta; od 100 do 220 °C – srednje temperaturna ležišta i > 220 °C – visoko temperaturna ležišta.

3.3.2. Geotermalne elektrane

D

Geotermalna elektrana je tip termoelektrane kod koje se para ne proizvodi sagorijevanjem fosilnih ili drugih goriva, već se crpi direktno iz unutrašnjosti Zemlje.

Dalji postupak sa parom je isti kao kod konvencionalne termoelektrane: para se dovodi do parne turbine koja pokreće rotor električnog generatora. Nakon turbine para odlazi u kondenzatorsko postrojenje gdje se kondenzuje, da bi se tako dobijena voda vratila nazad u geotermalni izvor ili okolinu.

Geotermalna energija predstavlja toplotnu energiju akumulisanu u fluidima i stijenskim masama zemljine kore. Ova energija potiče od toplotne energije akumulisane u unutrašnjosti zemlje procesima koji su vladali za vrijeme stvaranja Zemlje, kao i procesima koji su se odvijali, a i danas se odvijaju, u unutrašnjosti Zemlje.

Osnovna izvorišta geotermalne energije su:

- pirotermička energija (nastala akumulacijom toplote u stijenskim masama) i
- hidrogeotermička energija (nastala akumulacijom toplote u termalnim i termomineralnim vodama).

Za pogon ovih turbina koristi se para. Para (vlažna ili suva) može biti dobijena direktno iz ležišta, a može se takođe vještački proizvoditi u vrućim suvim stijena, takozvanim naprednim geotermalnim sistemima.

Geotermalna energija predstavlja praktično neiscrpn energijski izvor. Uzimajući u obzir rastuće probleme u snabdijevanju potrebnom količinom energije i sve veće energetske potrebe, i ovom izvoru energije u posljednje vrijeme poklanja se znatno veća pažnja.

U današnjim uslovima i sa raspoloživim tehničkim mogućnostima, eksploatacija geotermalne energije najčešće se realizuje jednom od sljedeće tri metode:

- Eksploatacija toplih ležišnih voda, gdje se pored namjenskih hidrotermalnih bušotina vezanih za specijalne režime, uslove rada i opremu, mogu koristiti i postojeće istražne bušotine, kao i eksploatisane bušotine, iz kojih se više ne vade nafta i gas.
- Korišćenje toplote stijenskih masa, pri čemu se ubrizgava hladna voda u dublje slojeve viših temperatura, a zatim se ovako zagrijana voda vadi na površinu.
- Kombinovana metoda dobijena kombinacijom prethodne dvije metode.

Na Slici 3.15 je prikazana jedna od izvedenih geotermalnih elektrana u toku rada.



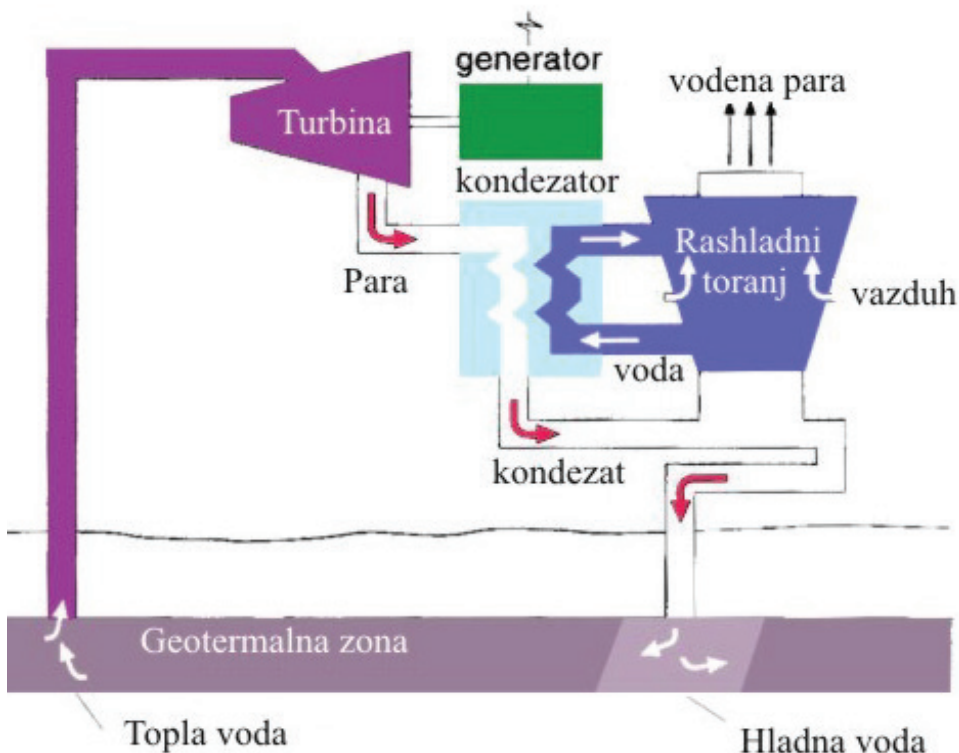
Slika 3.15. Geotermalna elektrana u pogonu

Princip rada geotermalne elektrane sa njenim osnovnim elementima prikazan je na Slici 3.16.

Voda (vodena para) se iz geotermalne zone (visoke okolne temperature) kao radno tijelo dovodi u parnu turbinu, gdje ekspandira, predajući energiju lopaticama turbine koje pokreću osovину na čijem je kraju generator u kome se proizvodi električna energija. Izrađena para vodi se u kondenzator u kome joj se oduzima dio preostale toplote i ona se pretvara u kondenzat – mješavinu vode i vodene pare. Dobijeni kondenzat, nakon prolaska kroz rashladni toranj gdje mu se vrši dalje smanjenje temperature, pretvara se u hladnu vodu, koja se vraća nazad u geotermalnu zonu.

I pored velike količine raspoložive energije (praktično neistrošiv izvor energije), relativno niskih proizvodnih troškova, zanemarive štetne emisije u okolinu i prednosti njenog korišćenja, geotermalna energija još nema univerzalni značaj, jer je njena primjena vezana za mali broj lokaliteta njenog izvorišta i brojne tehničke probleme.

Imajući u vidu visoke troškove izrade dubokih bušotina, potrebu izgradnje dugih cjevovoda i gubitke toplote u procesu transporta na veća rastojanja, za ekonomično, racionalno i isplativo korišćenje raspoloživih termalnih voda, koje u principu imaju mali sadržaj toplotne energije, potrebni su izrazito povoljni geotermalni uslovi.



Slika 3.16. Princip rada geotermalne elektrane

Geotermalni fluid često sadrži velike količine gasova i razne hemijske rastvore koji mogu biti i vrlo otrovni. Zbog toga se mogu pojaviti problemi korozije, erozije i taloženja hemijskih spojeva što dovodi do propadanja cjevovoda i turbine, pa čak i do skraćivanja radnog vijeka i smanjenja efikasnosti postrojenja. Ti problemi se izbjegavaju kombinacijom upotrebe materijala otpornih na koroziju, kontrolom temperature fluida, prečišćavanjem pare, upotrebom sredstava za sprečavanje korozije i sl., koji znatno povećavaju cijenu dobijene energije.

Kao osnovne specifičnosti geotermalnih elektrana mogu se navesti:

- Nema sagorijevanja fosilnih goriva, što smanjuje troškove i minimizira zagađenje okoline.
- Niska temperatura i pritisak pare ima za posljedicu nisku termodinamičku iskoristivost postrojenja (obično ~15%), u poređenju sa termoelektranama na fosilna goriva (35–38%).
- Dugotrajni i složeni postupak puštanja u pogon čini geotermalne elektrane pogodnijima za pokrivanje baznog opterećenja nego za pokrivanje vršnog opterećenja.
- Geotermalne elektrane smještaju se što bliže proizvodnoj bušotini kako bi se izbjegli toplotni transportni gubici.
- Geotermalna elektrana snage 100 MW troši oko 80 tona/sat pare. Taj značajan protok obično se postiže sa više proizvodnih bušotina koje crpi isto ležište.
- Para u principu ima priličnu količinu minerala, koji izazivaju eroziju i koroziju elemenata turbine. To zahtijeva kontinuirano i značajno održavanje i dodatne investicije.
- Početni troškovi geotermalne elektrane su viši budući da je, osim elektrane, potrebno izgraditi i bušotinu, što predstavlja zapravo najveći trošak. Međutim, s vremenom se troškovi smanjuju jer je raspoloživost resursa stabilna i predvidiva. Takođe, geotermalna elektrana nije zavisna od tržišnih kretanja cijena energenata i sl.

3.3.3. Elektrane koje koriste toplotnu energiju mora i okeana

U Svijetu je iskorišćavanje ovog tipa energije poznato kao OTEC postupak (Ocean Thermal Energy Conversion), tj. pretvaranje okeanske toplotne energije. OTEC sistemi koriste prirodni termalni gradijent okeana i sve dok razlika temperatura između tople površine vode i hladnije vode na dubini iznosi 20 °C, OTEC sistemi mogu proizvoditi značajnu količinu energije.

Princip rada ovih elektrana je veoma jednostavan. Topla voda sa površine se dovodi u prostor sa velikim vakuumom gdje isparava, ili se njena energija predaje lako isparljivom radnom tijelu. Radno tijelo – para, odvodi se u parnu turbinu gdje ekspanzira, tj. energija mu se koristi za pokretanje turbine, na čijem je vratilu generator koji proizvodi električnu energiju.

Kondenzator turbine hladi se hladnom vodom dovedenom iz dubine. Na ovaj način koristi se razlika temperature vode na površini i na određenoj dubini.

Prema Američkom odjeljenju za energiju (DoE), postoje tri osnovna tipa termoelektrana po OTEC postupku:

- elektrane zatvorenog ciklusa,
- elektrane otvorenog ciklusa i
- mješovite (hibridne) elektrane.

U elektranama **zatvorenog ciklusa** cirkuliše fluid sa niskom tačkom ključanja (npr. amonijak) kroz zatvoreni sistem. Tečnost se zagrijava sa toplom morskom vodom dok se ne dovede do stanja isparavanja. Para se zatim usmjerava kroz turbinu gdje joj predaje energiju, nakon čega se kondenzovanjem uz pomoć hladne morske vode vraća u tečno stanje.

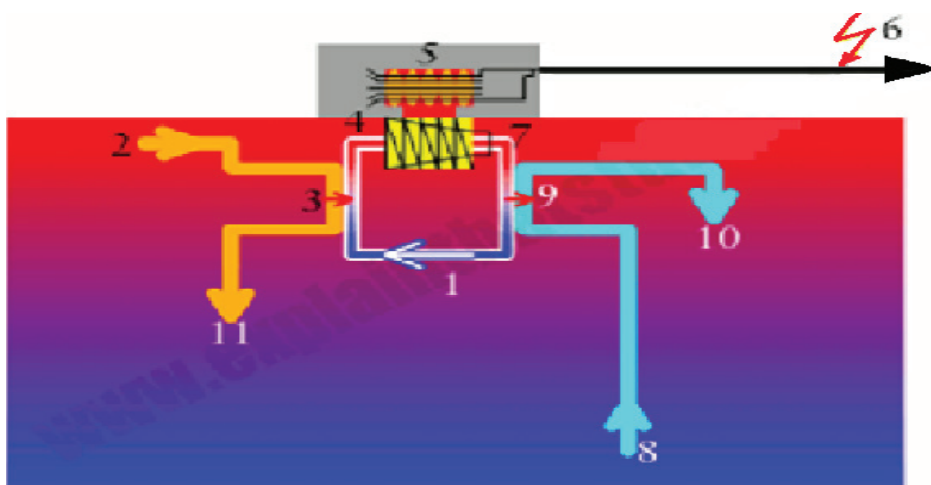
Otvoreni OTEC ciklus koristi principe po kojima voda ključa na malim temperaturama u vakuumu. U ovom sistemu topla površina morske vode (koja se kreće oko 25 °C) upumpava se u vakuum komore. Nizak pritisak komora (oko 1.400 paskala) izaziva ključanje morske vode i djelimično isparavanje na tako malim temperaturama. Dobijena para pokreće turbine koje pogone električni generator.



Okeani i mora pokrivaju zemljinu površinu više od 70%, što ih čini najvećim svjetskim solarnim kolektorom ali istovremeno i sistemom za uskladištavanje energije. Voda u morima i okeanima, zavisno od dubine, ima različitu temperaturu, gustinu i sadržaj toplote u jedinici zapremine. Oko Ekvatora ove razlike, za nekoliko stotina metara razlike između površine i dubine, mogu iznositi i do 25 °C. Svakog dana više od 60 miliona kvadratnih kilometara tropskih mora upija značajnu količinu solarne radijacije što predstavlja ogroman energetske potencijal.

Mješovite OTEC elektrane su kombinacija elektrana sa otvorenim i zatvorenim ciklusom.

Na slici 3.17 data je skica elektrane koja koristi unutrašnju toplotnu energiju mora – razliku temperature na površini i većoj dubini. Elektrana se nalazi na slobodno plivajućoj platformi, čime je znatno povećana efikasnost i rad ovih elektrana, a izbjegavaju se neka od postojećih ograničenja.



Slika 3.17. Skica termoelektrane po OTEC postupku

Princip rada OTEC termoelektrane zatvorenog kruga (Slika 3.17) je sljedeći:

1. Amonijak (ili neki drugi pogodni niskoključajući fluid za transport toplote) se kreće u kružnom ciklusu u središtu sistema.
2. Topla voda ulazi u potpuno odvojene cijevi blizu površine okeana i usmjerava se prema centralnom dijelu koji sadrži amonijak.
3. Topla voda i amonijak dovode se u izmjenjivač toplote, gdje topli fluid predaje dio svoje toplotne energije amonijaku, koji se usljed toga zagrijava i isparava.
4. Ispareni amonijak struji kroz turbinu predajući joj svoju energiju i okrećući je.
5. Turbina okreće generator transformišući svoju mehaničku energiju u električnu energiju.
6. Proizvedena električna energija prenosi se na obalu pomoću kabela.
7. Nakon što je napustio turbinu, amonijak koji je predao veliku količinu energije treba potpuno ohladiti da bi se mogao ponovo upotrijebiti. Ako se amonijak ne bi ohladio na ovaj način, ne bi mogao u narednom ciklusu da prima veću količinu toplote.
8. Da bi se amonijak hladio, pomoću cijevi hladna voda se upumpava iz dubine okeana.
9. Hladna voda i amonijak dovode se u drugi izmjenjivač toplote, u kome se amonijak hladi do njegove početne temperature, pri čemu je on spreman da ponovo prođe kroz isti ciklus.
10. Hladna voda dovedena iz dubine okeana, djelimično zagrijana oduzimanjem toplote od amonijaka, vraća se ponovo u okean (ona može biti korišćena za hlađenje ili klimatizaciju).
11. Topla voda sa površine okeana, djelimično rashlađena u izmjenjivaču, vraća se nazad u okean.

Prvi čovjek koji je izložio koncept zatvorenog ciklusa OTEC sistema je bio Francuski naučnik Jacques-Arsène d'Arsonval, 1881. godine. Od tada pa do danas mnoge zemlje (Japan, SAD, UK, Holandija, Indija, Francuska...) su uložile značajna sredstva u izučavanje mogućnosti i izradu prototipova i proizvodnih postrojenja.

Z

U tropima ove elektrane mogu raditi 24 časa dnevno svih 365 dana u godini.

U zavisnosti od lokacije koja snabdijeva toplom i hladnom vodom, OTEC elektrane mogu da se postave na:

- kopno ili u blizini obale,
- platformu koja je pričvršćena za grebene i
- mogu biti plutajuće.

Smatra se da su OTEC elektrane tehnički i ekonomski danas ostvarljive i da one mogu biti ne samo izvor električne energije već i postrojenje za proizvodnju sintetičkih goriva i vodonika.

Međutim, ove elektrane mogu se koristiti samo na malom broju lokacija koje zadovoljavaju neophodne uslove (velika razlika temperatura, strme obale, dovoljna dubina i sl.).

Nakon početka probne eksploatacije, pojavila su se i dodatna ograničenja, prije svega vezana za problem transporta energije sa, po pravilu, od kopna udaljene površine u vodi, gdje je bila smještena elektrana, do kopna, gdje bi se ona koristila.

Osnovne prednosti i atraktivnost elektrana sa OTEC postupkom su: njima se proizvodi čista obnovljiva energija; nema štetnih efekata uslovljenih sagorijevanjem goriva i proizvodnjom gasova staklene bašte; nema zagađivanja okoline otpadnim materijama; omogućava redukciju zavisnosti od neposjedovanja pogonskih goriva (prije svega nafte); omogućava (kod postrojenja sa otvorenim ciklusom) dobijanje pitke vode iz vode mora i okeana; omogućava dobijanje drugih goriva, kao što je vodonik; otpadne vode iz ovih postrojenja mogu biti iskorišćene u raznim poljoprivrednim procesima, za rashlađivanje ili klimatizaciju prostora.

Najveći problem OTEC elektrana je njihova veoma mala efikasnost. Naime, kako ove elektrane koriste relativno male razlike između toplog i hladnog fluida, prema zakonima fizike, one imaju veoma mali stepen efikasnosti, obično samo nekoliko procenata. Iz tog razloga, OTEC elektrane moraju raditi veoma naporno (pumpati ogromne količine vode) kako bi proizvele čak i skromne količine električne energije.

Ovo uslovljava dva dodatna problema: prvo, to znači da se značajna količina proizvedene električne energije (obično oko trećine) mora koristiti za rad sistema (pumpanje vode u i iz sistema); i drugo, to podrazumijeva da se OTEC elektrane moraju graditi relativno velikih dimenzija, što ih čini skupim investicijama.

Velike kopnene OTEC elektrane mogu imati značajan uticaj na životnu sredinu obale, koja često predstavlja nestabilne, već ugrožene ekosisteme kao što su koralni grebeni i sl.

3.3.4. Elektrane na biomasu i otpad

D

Elektrane na biomasu i otpad su termoelektrane u kojima se umjesto konvencionalnih goriva, najčešće fosilnih (nafte, uglja i gasa) spaljuje biomasa i otpad, koji se nalaze u kategoriji obnovljivih izvora energije.

Kao i u svakom termoenergetskom postrojenju u elektranama na biomasu i otpad nalaze se četiri glavna dijela: kotao, turbina, kondenzatorsko postrojenje i pumpe.

Najčešće se koristi drvena masa koja je nastala kao sporedni proizvod ili otpad, kao i ostaci koji se ne mogu više iskoristiti. Takva biomasa koristi se kao gorivo u postrojenjima za proizvodnju električne i toplotne energije ili se prerađuje u gaso-



vita i tečna goriva za primjenu u vozilima i domaćinstvima. U biomasu se ne ubraja organske materije dobijene raznim geološkim procesima (npr. nafta ili uglj).

Biomasa je primarni izvor energije i čovjek ju je koristio za gorivo otkad je pronašao vatru. Kada se biomasa koristi za dobijanje električne energije i toplote, sagorijeva velika količina biomase koja nema homogena svojstva po cijelom volumenu, ili ima manju homogenost od uglja, nafte i gasa. Zbog toga je potrebno prilagoditi tehnologije izgaranja specifičnim svojstvima biomase i otpada koji nisu tako homogena goriva. Tehnologija izgaranja je važan dio u termoelektričkim postrojenjima jer je izvor korisne energije u vidu toplote.

Danas su dvije najčešće korišćene tehnologije za dobijanje energije iz biomase i otpada:

- tehnologija **izgaranja na rešetki** i
- tehnologija **izgaranja u fluidiziranom sloju**.

Kod **tehnologije izgaranja na rešetki** izgaranje se dešava u kotlu na rešetki na koju se donosi biomasa i/ili otpad. Ovo je tradicionalna, tj. starija tehnologija izgaranja. Postupak spaljivanja je sličan onome kod tehnologije izgaranja u fluidiziranom stanju, razlika je u pretpripremi biomase i otpada. Tehnologija izgaranja na rešetki je pogodnija za čvrsta goriva (npr. poljoprivredni i šumski otpaci) i za postrojenja manjih snaga (< 5 MW). Kontrola i regulacija izgaranja vrši se uduvavanjem vazduha ispod rešetke tako da se stvori turbulencija čime se poboljšava izgaranje. Nedostatak ove tehnologije je taj što je izgaranje nepotpunije nego kod fluidiziranog sloja, lošiji rezultati izgaranja postoje i kod izgaranja goriva nejednolikog sastava i goriva sa visokim procentom vlage. Međutim, uz dobre sisteme za regulaciju postižu se visoke vrijednosti iskoristivosti jer je ova tehnologija razvijana duži niz godina.

Tehnologija izgaranja u fluidiziranom sloju je novija tehnologija izgaranja u kojoj se biomasa i/ili otpad tretiraju prije samog spaljivanja. Tretiranjem biomase i otpada prije spaljivanja postiže se veći stepen homogenosti goriva bez obzira na njihovu vlažnost, udio pepela i kaloričnost. Tako se u fluidiziranom sloju mogu zajedno naći ostaci poljoprivredne proizvodnje, otpaci od sječe šuma zajedno sa kućnim otpadom i sl. Izgaranje u fluidiziranom sloju pruža veliku fleksibilnost u pogledu zahtjeva za kvalitet i vlažnost goriva, veću nego izgaranje na rešetki. Ova tehnologija postiže vrlo visoke vrijednosti iskoristivosti kotla, i do 90% bez obzira na to ima li otpad visok procenat vlažnosti ili ne, jesu li komponente goriva sličnog kvaliteta ili ne i sl. Glavni nedostatak je cijena koja je u odnosu na izgaranje na rešetki znatno veća. Zbog toga se koristi samo u elektranama snage preko 5 MW.

Iako je potencijal biomase kao goriva veoma veliki, značajnije korišćenje biomase kao goriva javlja se tek nakon ozbiljnih upozorenja o ograničenosti rezervi fosilnih goriva i sve izraženijih ekoloških problema koji se javljaju usljed njihovog korišćenja.

Ekološka vrijednost biomase naročito dolazi do izražaja u poređenju biomase kao goriva sa klasičnim fosilnim gorivima (pogotovo ugljem), jer je pri njenom sagorijevanju znatno manja emisija kiselih spojeva nego pri sagorijevanju fosilnih goriva, dok se s obzirom na emisiju CO₂ smatra neutralnim izvorom. Pored ove prednosti, korišćenjem biomase moguće je izvršiti i značajniju supstituciju uglja u posebnim ili zajedničkim sistemima za sagorijevanje, pri čemu ekonomski efekat ovoga zavisi od procenta učešća biomase u sistemu zajedničkog sagorijevanja.

Biomasa se može transformisati u električnu energiju (ili toplotu) na različite načine.

Tehnologije za korišćenje biomase za proizvodnju različitih vrsta upotrebničkih oblika energije i biogoriva zasnivaju se na dobro poznatim klasičnim tehnologijama termohemijskog pretvaranja:

Biomasa se smatra obnovljivim izvorom energije koji predstavlja živu ili donedavno živu materiju biljnog ili životinjskog porijekla, koja se može koristiti kao gorivo ili za industrijsku proizvodnju. Biomasa je nastala prirodnom transformacijom, fotosintezom Sunčevog zračenja kojom se neživa materija zemlje, vazduha i vode transformiše u živu materiju biljaka i drveća. Najčešće se koristi direktno u konačnoj potrošnji energije za grijanje, kuvanje ili zagrijavanje tople vode, ali se može koristiti i za proizvodnju električne energije i toplote, a donedavno se sve više koristi i za proizvodnju biogoriva i biogasa. Takođe može se koristiti u industriji za proizvodnju vlakana i hemikalija. Biomasa se može podijeliti na: drvenu biomasu, ostatak i otpatke iz poljoprivrede, životinjski otpad, ostaci i biomasa iz otpada i sl..

- sagorijevanju,
- gasifikaciji i
- pirolizi.

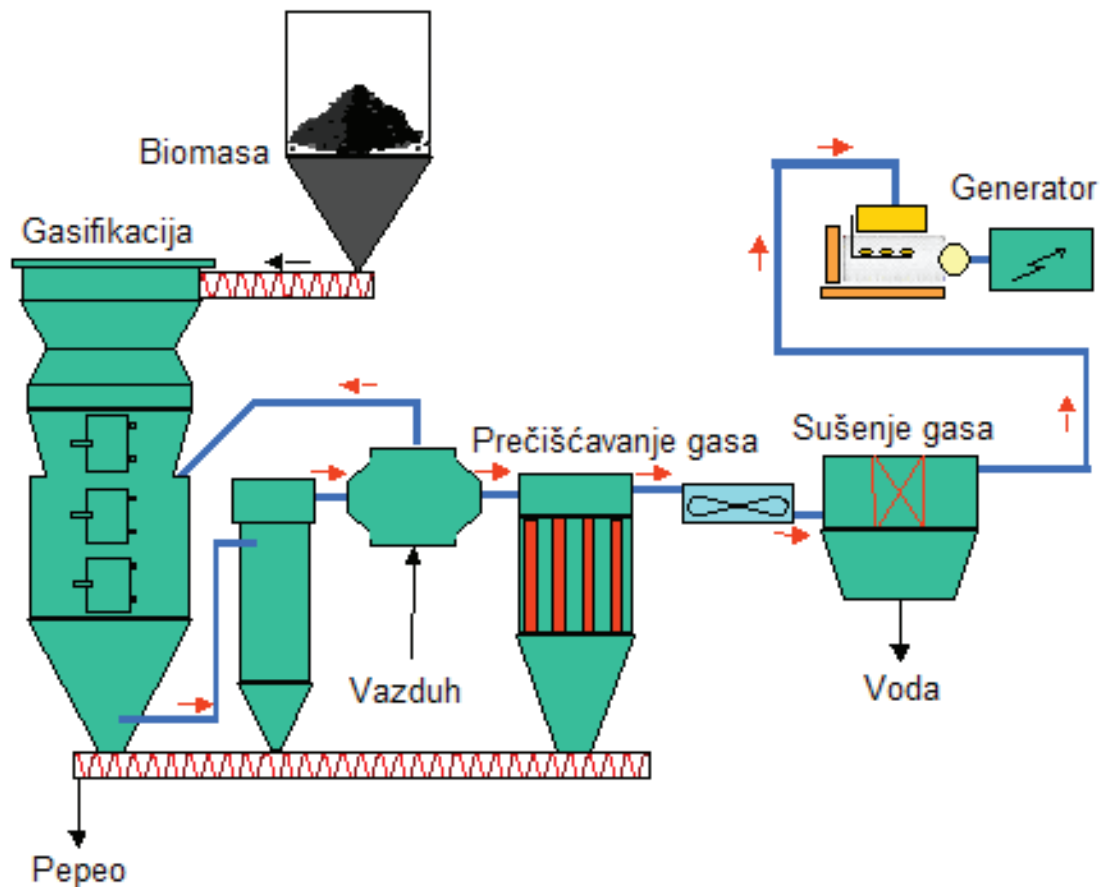
I pored značajnih rezultata postignutih na ovom polju, naročito u posljednje vrijeme, i dalje se vrše veoma intenzivna istraživanja sa željom da se poboljša efikasnost samog procesa, kao i da se postigne optimizacija tehničko-tehnoloških sistema i smanji cijena ovog postupka.

Jedan od mogućih načina korišćenja biomase dat je na slici 3.18., na kojoj su dati i osnovni djelovi ovih termoelektrana.

I pri korišćenju biomase javljaju se određeni problemi. Jedan od problema je i relativno mali stepen iskorišćenja. Da bi se povećao stepen njenog iskorišćenja, koriste se **kogeneracijska postrojenja** na biomasu.

Kogeneracijsko postrojenje na biomasu na dva načina koristi toplotu dobijenu izgaranjem, za dobijanje rada i korisne toplote. Rad gasa u turbini koristi se za dobijanje električne energije koja se dalje šalje u mrežu, dok se korisna toplota koristi za zagrijavanje vode za grijanje i klimatizaciju (stambenih prostora, bazena, staklenika i sličnih prostora) i za razne tehnološke procese sušenja (koji se odvijaju u prehrambenoj idustriji za sušenje voća i povrća i pečenje u procesnoj industriji, ali i u postrojenjima za proizvodnju peleta za sušenje i sl.).

Električna energija u manjim kogeneracijskim postrojenjima na biomasu najčešće se dobija otvorenim gasno-turbinskim procesom u kome se turbina pogoni zagrijanim vazduhom i/ili dimnim gasovima od izgaranja pri povećanom pritisku. Manja postrojenja često se rade u modularnom izvođenju zbog olakšanog testiranja, transporta, montaže, demontaže i servisa. To su postrojenja najčešće do 5MW.



Slika 3.18. Primjer korišćenja biomase

Postoje dvije vrste otvorenih gasno-turbinskih procesa: indirektni i direktni. Manja kogeneracijska postrojenja imaju smisla u pogledu održivog razvoja i potrošnje energije za razliku od velikih postrojenja, jer manja postrojenja koriste otpadnu biomasu, dok bi velika postrojenja za svoje potrebe tražila uzgajanje biomase za dobijanje energije. Takav pristup ima negativne ekonomsko-privredne posljedice i utiče na bioraznovrsnost.

Relativno male investicije neophodne za adaptaciju postojećih postrojenja na ugalj da bi se prešlo na proces kosagorijevanja biomase i uglja, kao i značajna smanjenja neophodnih količina uglja i mogućnost smanjenja određenih štetnih emisija, uslovia su da primjena procesa **kosagorijevanja biomase i uglja** u posljednje vrijeme nalazi sve više pristalica.

Pored razvoja sistema ko-sagorijevanja biomase i uglja, naročito razvijene zemlje ulažu značajna sredstva i istraživačke napore u istraživanja i razvoj sistema primjene biomase u procesima ko-generacije, odnosno kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije, gdje se očekuju značajni rezultati.

Veoma često se u stručnoj literaturi srijeće podjela biomase i na:

- **Čvrstu biomasu**, koja uključuje drvo, poljoprivredne i ostale organske nusproizvode i otpad. Čvrsta biomasa može se spaljivati i tako se iz nje može dobiti toplotna energija za grijanje ili proizvodnju električne energije, a može se raznim postupcima pretvoriti i u biogoriva ili biogas, pa se kao takva koristiti za dobijanje energije.
- **Biogoriva** su goriva koja se dobijaju preradom biomase. U posljednjih nekoliko godina, proizvodnja i potrošnja biogoriva rastu. Ekološki su daleko prihvatljivija od fosilnih, ali im je proizvodnja još uvijek skuplja. Najintenzivnija proizvodnja je u Brazilu, iz šećerne trske, kao i u SAD-u, iz kukuruza. Glavna biogoriva su bioetanol i biodizel.
- **Bioetanol** predstavlja alternativu benzinu. Proizvodi se iz šećerne trske, kukuruza, ječma, krompira, suncokreta, žita, drveta i još nekih biomasa. Najintenzivnija proizvodnja je u Brazilu. Evropska unija već troši znatne količine bioetanola.
- **Biodizel** predstavlja alternativu običnom dizelu proizvedenom iz fosilnih goriva. Proizvodi se najviše iz uljarica (uljane repice, soje, suncokreta, palmih ulja i sl.). Biorazgradiv je i nije opasan za okolinu. U nekim zemljama Evropske unije, biodizel je već zastupljen u gorivima (u određenom postotku) a takođe postoje i vozila koja se već mogu voziti na 100%-ni biodizel.
- **Biogas** se proizvodi energetske transformacijama iz životinjskog izmeta, kanalizacijskog otpada i čvrste biomase, u anaerobnim uslovima. Prvenstveno se sastoji od metana i ugljen dioksida. Može se koristiti kao pogonsko gorivo za vozila, a njegovim pročišćavanjem može se dobiti i gas čist poput prirodnog. Biogas se može koristiti za dobijanje električne energije, grijanje vode i prostora kao i u industrijskim procesima. Ako se kompresuje, može zamijeniti prirodni gas koji se koristi u automobilima sa motorima sa unutarašnjim sagorijevanjem.

I pored značajnih prednosti koje se javljaju pri različitim načinima energetske korišćenja biomase, neophodno je ukazati i na postojanje određenih nedostataka, kao što su: mala gustina, heterogenost sastava, potrebne velike površine za obnovu utrošene biomase, vremenska promjenljivost sastava i količinska raspoloživost, uticaj na okolinu, velike investicije u potrebne objekte i opremu, relativno mala snaga jedinica, obično korišćenje poljoprivrednog zemljišta za proizvodnju goriva, kao i problemi u vezi sa prikupljanjem, transportom i skladištenjem biomase.

Z

Osnovni princip rada je poznat još od Faradeja, koji je otkrio da se na krajevima provodnika koji presijeca magnetne linije polja javlja potencijalna razlika, a ako se krajevi spoje, kroz provodnik će proteći električna struja. Ovaj princip važi bez obzira da li je provodnik od čvrstog materijala (metal, poluprovodnik i sl.), tečnog materijala (tečni metali, elektrolitik i sl.) ili gasovitog materijala. Kao gasoviti materijal najčešće se koristi plazma.

3.3.5. Magnetohidrodinamički generatori

D

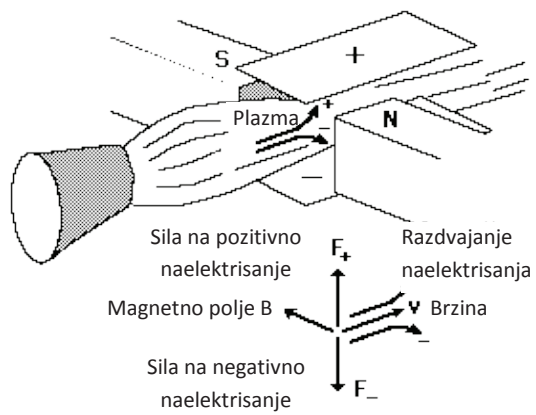
Magnetohidrodinamički generator (MHDG) je generator koji pretvara dio unutrašnje toplotne energije radnog tijela (koje mora biti u stanju plazme) u električnu energiju djelovanjem magnetnog polja.

Razlikuju se od klasičnih generatora po tome što nemaju pokretnih dijelova i rade na visokim temperaturama. Velika je prednost ovakvih vrsta generatora u tome što se njihovi izduvni gasovi mogu koristiti za dalje zagrijavanje (praktično rade kao kogeneracijska postrojenja).

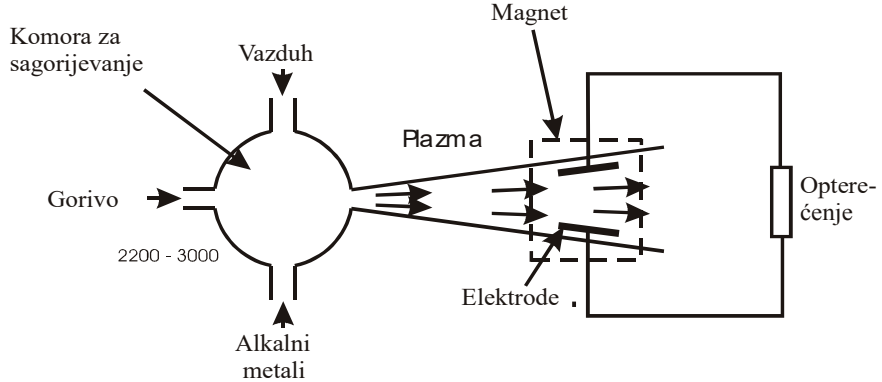
Magnetohidrodinamički generator radi na principu elektromagnetske indukcije. Kod njega, za razliku od konvencionalnih generatora, ulogu provodnika igra visoko jonizovani zagrijani gas (plazma), koji se proizvodi u komori za sagorijevanje. Na Slici 3.19 je dat uprošćeni osnovni princip rada MHDG, dok su na Slici 3.20 prikazani osnovni elementi MHDG i strujanje plazme.

U komori se gas, kome se, da bi se pretvorio u plazmu, dodaju alkalni metali (npr. cezijum, kalijum i sl.), zagrijeva do visokih temperatura (reda veličine 2.200–2.900°K). Ovako zagrijana plazma (visokoprovodni gas), usmjerena provodnim kanalom, struji velikom brzinom (nekoliko hiljada m/s) između polova jakog magnetna, presijecajući linije magnetnog polja.

Kao posljedica toga, među elektrodama postavljenim u struji elektrona, dolazi do pojave razlike potencijala, odnosno kroz kolo u kome se nalaze potrošači proteći će električna struja.



Slika 3.19. Osnovni princip rada MHDG



Slika 3.20. Osnovni elementi MHDG

S obzirom na raspoložive materijale od kojih se mogu napraviti ovakva postrojenja, visoke radne temperature predstavljaju danas značajnu poteškoću koju treba tek savladati da bi se, na ekonomičan i siguran način, osigurao trajan pogon i dovoljno dug vijek trajanja postrojenja.

Osnovne karakteristike ovog uređaja su njegova relativna jednostavnost i nepostojanje obrtnih djelova. Temperatura plazme može biti veoma visoka (što je veća to je bolje), i potrebno je da je veća od 2.000 °C. Ona je obično limitirana samo karakteristikama materijala koji je u dodiru sa njom.

Za pogon ovog generatora mogu se upotrijebiti i zagrijani gasovi sagorijevanja fosilnih goriva ili gasovi iz nuklearnog reaktora visokih temperatura.

Budući da se u MHDG iskorišćava samo manji dio razlike temperature (područje u kojem dolazi do jonizacije), stepen iskorišćenja ovih postrojenja nije veliki (obično do 20%). Međutim, ako se izlazni gasovi iz MHDG, koji su na izlazu još uvijek sa veoma visokom temperaturom, u daljem postupku iskoriste u klasičnom konvencionalnom načinu dobijanja električne energije, npr u parnoj turbini, stepen iskorišćenja u takvoj kombinaciji MHDG i parne termoelektrane može biti između 55 i 60%. Istraživanja su pokazala da se stepen iskorišćenja može povećati na 65 do 70% ukoliko se koristi trostruki ciklus pretvaranja, odnosno u sistemu u kome jednovremeno rade MHDG, gasna i parna turbina.

Z

Na osnovu intenzivnih istraživanja na ovom polju, prognoza je da će u bliskoj budućnosti elektrane sa MHDG biti sposobne za komercijalni pogon. Na ovom polju su najviše postigli istraživači u SAD, Japanu, Kini i Rusiji.

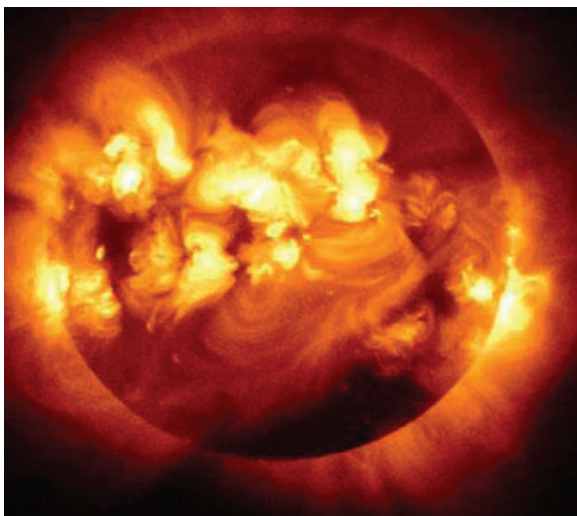
3.3.6. Nuklearne elektrane (fuzija)

D

Nuklearna fuzija predstavlja termonuklearnu reakciju sinteze – spajanja lakih atomskih jezgara u nešto teže, koja se dešava pri vrlo visokim temperaturama, i u kojoj se oslobađa velika količina energije.

Ova reakcija može se uporediti sa procesom sagorijevanja koji predstavlja proces hemijskog spajanja slabije vezanih atoma ili molekula u hemijski jače vezane.

Reakcija nuklearne fuzije je neprekidni nuklearni proces koji se stalno dešava na Suncu (Slika 3.21). To je, u stvari, sinteza helijuma i vodonika, koja neprekidno održava temperaturu Sunca, i predstavlja energetski izvor Sunčevog zračenja.



Slika 3.21. Termonuklearna reakcija fuzije na površini Sunca

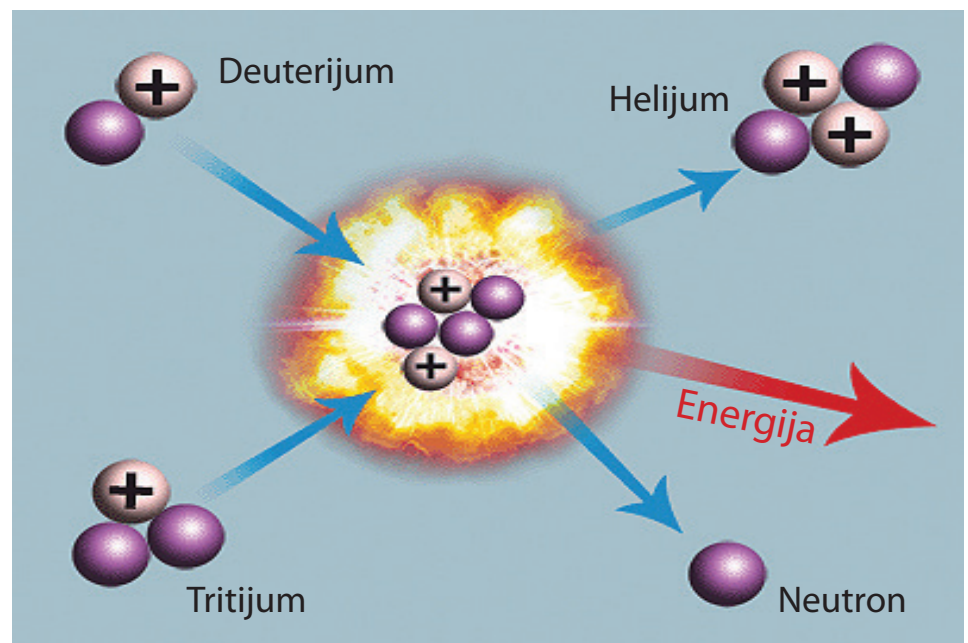
Da bi započela reakcija nuklearne fuzije (spajanje čestica), neophodno je jezgra atoma dovesti na dovoljno malo rastojanje (manje od prečnika atoma), pri čemu je, pošto su jezgra atoma pozitivno naelektrisana, potrebno savladati velike odbojne elektrostatičke sile.

U principu, postoje dva osnovna načina pomoću kojih je moguće ostvariti navedeni proces:

- ubrzanjem čestica pomoću akceleratora ili
- stvaranjem veoma visokih temperatura (viših od 10 miliona stepeni) na kojima jezgra posjeduju veoma visoku energiju toplotnog kretanja (brzine).

Proces fuzije gasa vodonika prikazan je na slici 3.22. U toku ove reakcije, za koju treba stvoriti tačno definisane uslove: izolovati i dovoljno dugo zadržati gas na određenom rastojanju, neophodna je temperatura reda više miliona stepeni Kelvina.

Na slici 3.22 je prikazan proces u kome se vrši sudar i sinteza gasa vodonika: izotopi tritijuma i deuterijuma sudaraju se stalnom brzinom stvarajući helijum. Pri ovoj reakciji oslobađa se jedan neutron i velika količina energije.



Slika 3.22. Proces fuzije vodonika

Osnovni problemi za realizaciju ove reakcije su:

- zagrijavanje gasova (plazme) do neophodne, veoma visoke temperature,
- njena izolacija od okolnog prostora i
- dovoljno dugo održavanje u stanju potrebnom da se reakcija izvrši.

Neophodno je napomenuti da, iako u pojedinim zemljama naučnici ulažu značajne napore i sredstva za ostvarivanje komercijalne kontrolisane nuklearne reakcije fuzije u termonuklearnom reaktoru, ova istraživanja su još uvijek u eksperimentalnoj laboratorijskoj fazi.

Uzimajući u obzir da se na Zemlji nalaze velike količine materija (koje se uglavnom mogu dobiti iz vode) koje se mogu koristiti kao „gorivo u ovom procesu“ (deuterijum, tritijum i sl.), može se pretpostaviti da će se, kada se riješe navedeni problemi, na ovaj način moći dobiti velike količine potrebne energije, koje će u budućnosti zamijeniti klasične, danas korišćene, izvore energije.

3.4

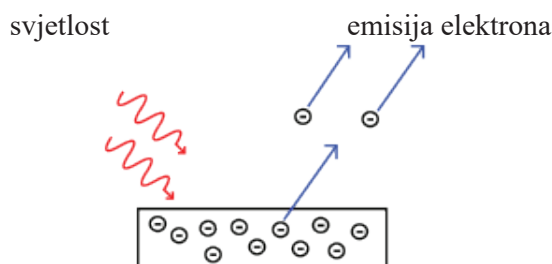
FOTONAPONSKE SOLARNE ELEKTRANE

D

Fotonaponske solarne elektrane koriste direktno (neposredno) pretvaranje energije Sunčevog zračenja u električnu energiju putem fotonaponskog efekta, odnosno solarnih fotonaponskih (PV) ćelija.

Intenzivna istraživanja su dovela do značajnog smanjenja cijene i stepena efikasnosti ovih ćelija, čime je i njihova primjena porasla, prije svega u pomorstvu (svjetionici), željezničkom i putničkom saobraćaju (skretnice, ukrštanja, svjetla za upozorenje, semafori...), telekomunikacijama (repetitori, antene...), turizmu, elektrifikaciji udaljenih naselja i vikend naselja, kao i udaljenih individualnih kuća, svjetionika, solarnih pumpi za vodu.

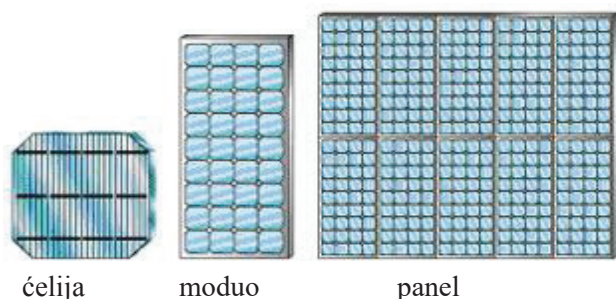
Fotonaponski efekat je emisija elektrona (foto elektrona) ili drugih slobodnih nosioca koja se dešava pri osvjetljenju određenog materijala svjetlošću. Prema teoriji elektromagnetizma ovaj efekat može se pripisati prenosu energije sa svjetlosti na elektron. Osnovu fotonaponskog efekta čini svojstvo poluprovodnika da mogu direktno pretvarati svjetlost u električnu energiju, pobuđivanjem i pokretanjem elektrona određenih materijala usljed dejstva na njih svjetlosti određene energije (Slika 3.23).



Slika 3.23. Šema fotonaponskog efekta

Fotonaponski sistemi sastoje se od ćelija koje su napravljene od tankog sloja fotoosjetljivog poluprovodničkog materijala (PV ćelija), sa čije se obje strane nalazi tanka prevlaka od elektroprovodnog materijala. PV ćelije ugrađuju se u PV module i panele koji čine osnovu svih PV sistema (Slika 3.24).

Postoji više različitih fotoosjetljivih materijala i tehnologija za proizvodnju ovih sistema. Za izradu PV ćelija najčešće se koriste: kristalni silicijum, amorfni silicijum, galijum-arsenid i dr.



Slika 3.24. Elementi fotonaponskog sistema

Z

Još 1876. godine istraživački tim na čelu sa William G. Adamsom otkrio je da električna struja može proteći kroz selenijum ako se on izloži dejstvu svjetlosti, pokazujući da čvrsti materijali mogu pretvoriti svjetlost u elektricitet i bez zagrijavanja ili pokretnih djelova. Tek 1953. godine u Belovim laboratorijama je napravljena mnogo efikasnija silikonska solarna ćelija, sposobna da pretvori Sunčevu energiju u dovoljnu količinu električne energije da pokrene pojedine električne uređaje. Osnovni nedostatak za veće korišćenje silikonskih solarnih ćelija je bila njihova visoka cijena, jer je 1956. god. ćelija od jednog vata koštala oko 300 USD \$. Stoga je u početku njeno korišćenje bilo ograničeno uglavnom na istraživanja svemira i vojne svrhe, gdje cijena nije bila primarna.

Z

Pri osvjetljavanju fotoelementa Sunčevom svjetlošću na njegovim krajevima javlja se elektromotorna sila, utoliko veća što je osvjetljenje (osvjetljaj) jače. U ovom slučaju energija Sunčevih zraka direktno se pretvara u električnu energiju. Koeficijent efikasnosti PV ćelija je još uvijek relativno mali. On se na tržištu kreće od 12 do 19%. U laboratorijskim uslovima ide i preko 30%, u zavisnosti od materijala od koga su ćelije napravljene. Teorijski, ovaj koeficijent može ići i do 50%.

Z

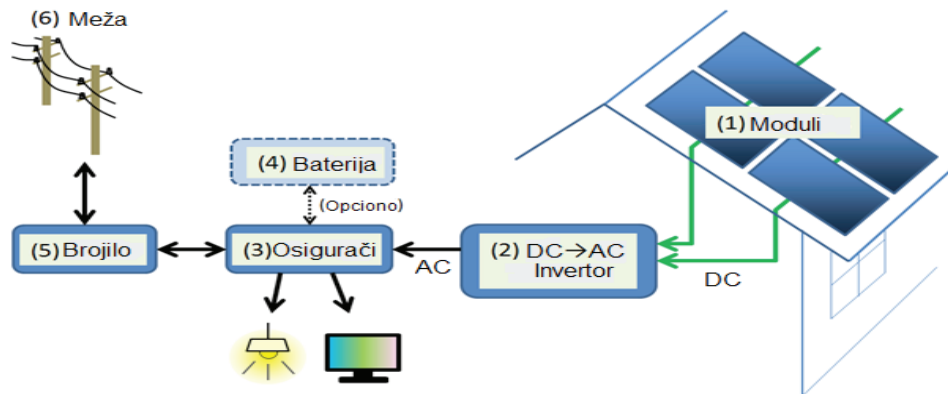
Solarni PV instalisani kapacitet u svijetu raste sa veoma visokom godišnjom stopom. Porast instalisanih PV kapaciteta u svijetu u periodu od 1992. do 2017. godine dat je na Slici 3.28. Očigledno je da su instalisani kapaciteti u svijetu krajem 2016. godine premašili 300 GW, uz prognoze da će krajem 2017. godine premašiti 400 GW. Prema raspoloživim podacima od 2000. godine, instalisani PV kapaciteti rastu sa faktorom od ~ 57. U 2014. godini instalisani PV kapaciteti su podmirivali oko 1% od svjetskih potreba za električnom energijom.

Primjer izvedene fotonaponske elektrane (solarna elektrana sa fotoelementima), koja koristi direktno pretvaranje energije Sunčevog zračenja u električnu energiju korišćenjem fotonaponskih ćelija, dat ja na Slici 3.25.

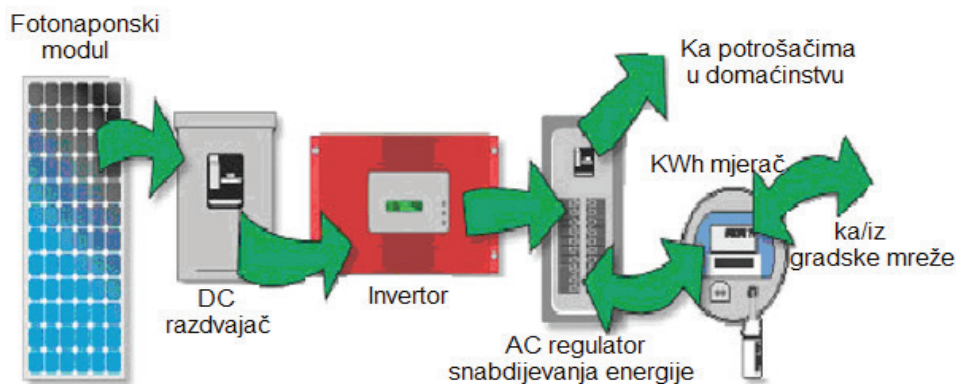


Slika 3.25. Fotonaponska elektrana

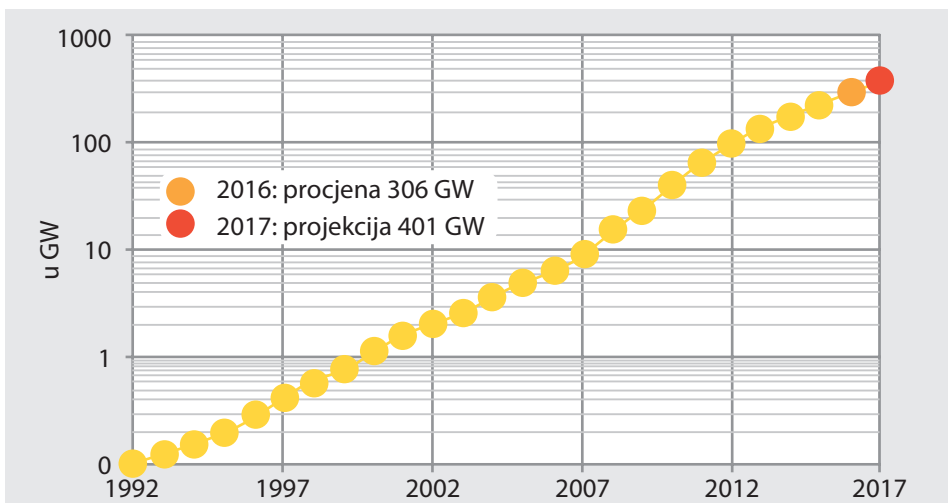
Jedan od problema koji se javlja kod ovih elektrana (kao i kod većine nekonvencionalnih – distribuiranih elektrana) jeste njihovo priključenje na elektroenergetsku mrežu i potreba postojanja većeg broja pomoćnih uređaja i opreme. Primjeri izvedenih instalacija malih fotonaponskih elektrana (obično za napajanje pojedinačnog ili manjeg broja domaćinstava ili malih industrijskih potrošača) sa potrebnim uređajima za njeno priključenje na distributivnu mrežu dati su na Slikama 3.26 i 3.27.



Slika 3.26. Solarna PV elektrana sa uređajima za priključenje na mrežu



Slika 3.27. Solarna PV elektrana za napajanje malih potrošača



Slika 3.28. Porast instaliranih snaga PV uređaja u periodu 1992–2017. god.



Posmatrajući globalne instalirane kapacitete, solarni PV energetske izvori su danas, poslije hidroenergije i energije vjetrova, treći najvažniji obnovljivi energetske izvor.

Osnovni problemi za značajnije korišćenje Sunčeve energije za dobijanje električne energije, nalaze se u:

- relativno maloj gustini (koncentraciji) Sunčevog zračenja po jedinici površine (mali specifični energetske fluks energije Sunčevog zračenja), što, za dobijanje veće količine energije, zahtijeva velike površine izložene Sunčevom zračenju potrebne za sakupljanje Sunčevog zračenja,
- raspoloživosti ove energije samo u jednom (vidljivom) dijelu dana, što uslovljava ili rad postrojenja za njeno korišćenje samo u ritmu dnevnog ciklusa, ili dodatni (paralelni) izvor za napajanje ovih potrošača kada Sunčeva energija nije raspoloživa (period noći) ili je raspoloživa u nedovoljnim količinama (period oblačnih i kišnih razdoblja),
- malom stepenu efikasnosti (komercijalno do oko 20%, u laboratorijskim uslovima oko 30%),
- oscilacijama u toku dana, mjeseca i godine, kao i neravnomjernosti i nepostojanosti toka Sunčevog zračenja,
- velike zavisnosti od atmosferskih uslova (stanja oblačnosti),
- trenutno još visokoj proizvodnoj cijeni potrebnih uređaja, opreme i instalacija,
- uticajima proizvodnje, transporta i instalacija dijelova i komponenti solarnih elektrana na okolinu,
- solarnim energetske sistemima koji se izrađuju još uvijek sa relativno malim snagama,
- zagađenju okolne sredine/vazduha što utiče na smanjenje efikasnosti panela i kolektora,
- nepostojanju ili nedovoljnoj potrebnoj regulativi za izgradnju i korišćenje ovih objekata...



Danas više od 100 zemalja koriste solarne PV kapacitete. Najbrže rastuće tržište je u Kini, koju slijede Japan i SAD, dok je najveći svjetske proizvođač ovih uređaja Njemačka. Kina je najveće svjetske tržište i za fotovoltajsku i za solarnu termalnu energiju. Na kraju 2016. godine ukupno instalirani PV kapacitet u Kini je iznosio više od 77,4 GW, dok njeni solarni termalni kapaciteti iznose preko 300 GW (što je oko 70% ukupnih svjetskih instaliranih solarnih termalnih kapaciteta).

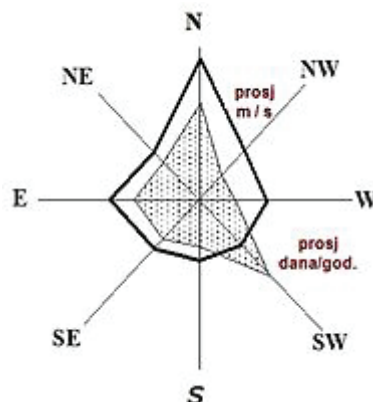
Vjetar se najjednostavnije može opisati kao strujanje vazdušnih masa koje nastaje usljed razlike temperatura, odnosno pritisaka na površini Zemlje. Strujanjem vazduha dolazi do trenja, odnosno gubitka kinetičke energije u dodiru sa čvrstom podlogom, što rezultira razlikama u brzini strujanja u prostoru i vremenu.

Usljed nejednolikog zagrijavanja zemljine površine, dolazi do zagrijavanja vazdušnih masa. Topli vazduh uzdiže se na desetak kilometara u ekvatorijalnom pojasu, pa se usmjerava prema polovima i zakreće pod uticajem zemljine rotacije, odnosno **Coriolisove sile**. Hladni vazduh popunjava nastale praznine i na taj način prouzrokuje kretanje vazduha tj. stalne vjetrove.

Lokalni vjetrovi nastaju zbog globalne raspodjele pritiska i putujućih cirkulacionih sistema. Oni u značajnoj mjeri zavise od topografskih i geografskih obilježja kao što su: drveće, zgrade, jezera, more, brda i planine, klanci, kotline i sl.

Vjetar se najčešće opisuje sa dva osnovna parametra: **smjerom** i **jačinom**. Za određivanje smjera koristi se tzv. ruža vjetrova, na kojoj je vjetar označen stranom svijeta sa koje dolazi (Slika 3.29).

Ruža vjetrova daje informacije o relativnoj učestanosti vjetrova iz različitih smjerova. Iz ruže vjetrova može se odrediti i jačina vjetra, koja je predstavljena dužinom kraka koji odgovara određenom pravcu iz koga dolazi vjetar.



Slika 3.29. Ruža vjetrova

Jačina vjetra najčešće se određuje **anemometrom** ili pomoću **Boforore skale**, oznakama od 0 do 12, gdje 0 označava brzinu 0–14 km/h, a 12 označava orkanski vjetar jači od 154,8 km/h.

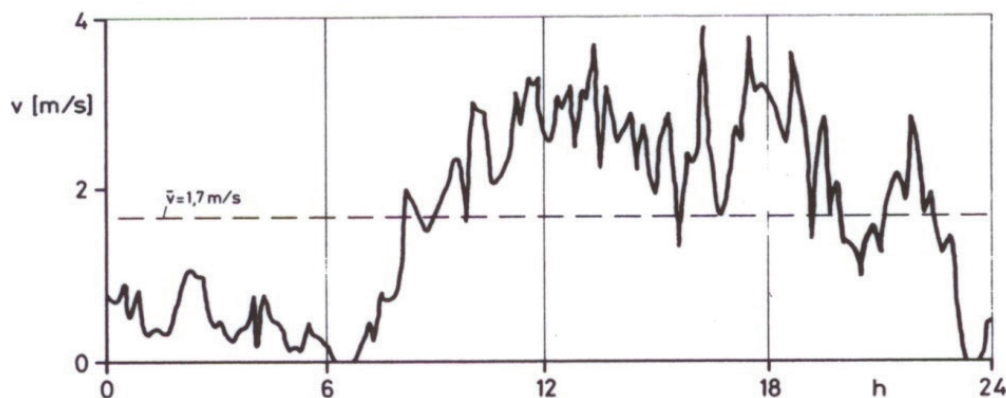
Energija iz vjetra se koristi njenom konverzijom u korisni oblik energije, npr.: korišćenje vjetroagregata za proizvodnju električne energije; korišćenje mlinova na vjetar za proizvodnju mehaničke snage; pumpe na vjetar za pumpanje vode; korišćenje jedara za pogon brodova i sl. U današnje vrijeme izuzetno su interesantni i aktuelni vjetroagregati iz kojih se dobija električna energija i kojih je sve veći broj priključen na elektroenergetsku mrežu.

Vjetar se kao energetska izvor koristio još od davnina, najprije kao izvor energije u domaćinstvima i poljoprivredi za pogon vjetrenjača različitih namjena i pogon

jedrenjaka, a kasnije i za druge namjene. I vjetar je, kao i većina ostalih raspoloživih energetskih izvora, posljedica dejstva Sunca na Zemlju.

Iako vjetar sadrži značajan energetski potencijal, njegovo značajnije korišćenje kao energetskog izvora je ograničeno zbog njegove nepredvidljivosti, male koncentracije energije na jedinicu površine, zatim zbog značajnih, čestih i naglih promjena pravca, smjera, brzine i intenziteta, kao i zbog temperatura i sastava vazduha, kratkog vremena iskorišćenja maksimalne snage i sl.

Primjera radi, na Slici 3.30 je data promjena mjerene vrijednosti brzine vjetra u toku dana. Očigledna je velika neravnomjernost brzine vjetra u toku dana, što predstavlja veliki problem za veće kontinualno korišćenje energije vjetra.



Slika 3.30. Promjena mjerene vrijednosti brzine vjetra u toku dana

Navedene karakteristike su značajna ograničenja za veće korišćenje energije vjetra u skladu sa mogućom proizvodnjom energije iz raspoloživog potencijala. Iako se intenzivno rade istraživanja kako u što većoj mjeri iskoristiti energiju vjetra, ona se danas uglavnom koristi za zadovoljenje energetskih potreba u dosta ograničenom obimu i namjeni, pri čemu se postrojenja koja koriste energiju vjetra najčešće koriste za supstituciju drugih vrsta goriva i redukovanje troškova goriva.

Postupak korišćenja energije vjetra za dobijanje električne energije je relativno jednostavan i dobro poznat. Vjetar se dovodi u turbine na vjetar u kojima se vrši konverzija njegove kinetičke energije u mehaničku energiju, kojom se okreće rotor turbine i sa njim kuplovani rotor generatora u kome se proizvodi električna energija.

Postrojenja za korišćenje energije vjetra obično se sastoje iz dva osnovna dijela:

- **tornja**, na kome se nalazi rotaciono kolo (elisa) i
- **pokretnog kola** u kome se kinetička energija vjetra pretvara u mehaničku energiju.

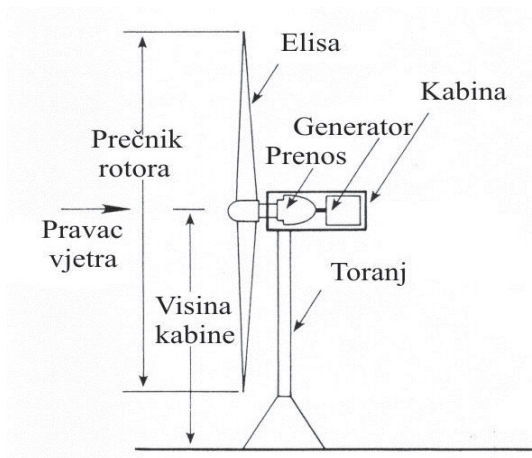
Postoji više različitih tipova postrojenja za pretvaranje energije vjetra u električnu energiju.

Jedna od mogućih podjela je data na Slici 3.31, po kojoj se ova postrojenja dijele na:

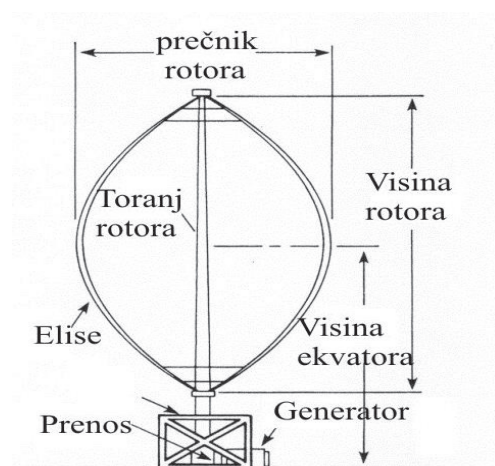
- Postrojenja koja koriste turbinu na vjetar sa **horizontalnom osom**, tzv. HAWT – osa rotacije je paralelna sa površinom zemlje (Slika 3.31a). Moderne vjetroturbine se grade sa horizontalnom osovinom koja ima sistem za zakretanje osovine za praćenje promjena smjera vjetra. Prečnik rotora im zavisi od snage i kreće se od 30 m za snagu od 300 kW do 115 m za snagu od 5 MW. Verikalni stub na kome se nalazi vjetroturbina može biti visok i preko 100 m.



Procenat instalisanja novih kapaciteta i porast ukupnih instalisanih kapaciteta za korišćenje energije vjetra za proizvodnju električne energije raste iz godine u godinu. U 2016. godini ukupni novi instalisani kapaciteti za korišćenje energije vjetra u svijetu su iznosili 54,3 GW, čime je ukupni svjetski kapaciteti dostigao iznos od 434,1 GW (procenat porasta u odnosu na 2015. godinu od 12,1%). Procjenjuje se da će, ako se nastavi sa ovakvom stopom rasta, energija vjetra u 2020. godini u Evropi postati najkorišćeniji obnovljivi izvor energije sa učešćem od oko 16,5% u podmirivanju ukupnih potreba za električnom energijom (premašujući hidro energiju).



a) vjetroturbina sa horizontalnom osom HAWT



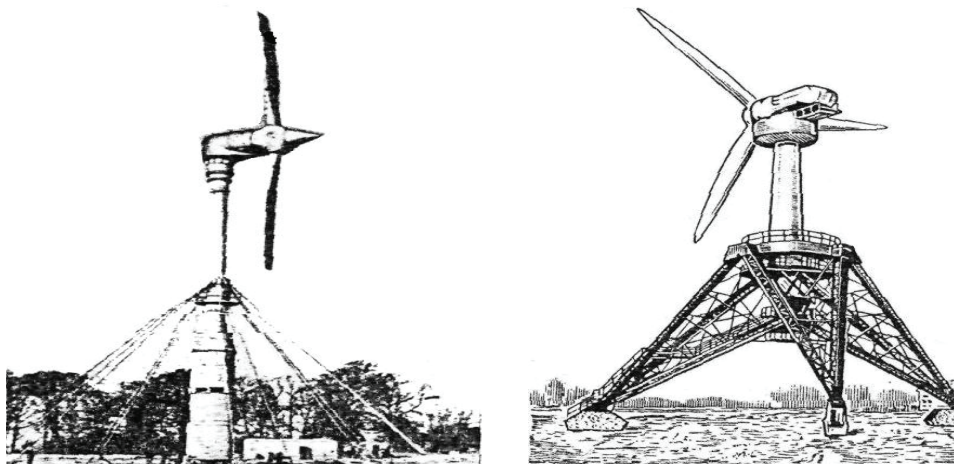
b) vjetroturbina sa vertikalnom osom VAWT

Slika 3.31. Različiti tipovi vjetroelektrana

- Postrojenja koja koriste turbinu na vjetar sa **vertikalnom osom**, tzv. VAWT – osa rotacije je normalna na površinu zemlje (Slika 3.31b). To su najstariji sistemi za korišćenje vjetra. Jednostavnije su konstrukcije i ne treba im dodatni uređaj za praćenje vjetra i okretanje vjetroturbine.

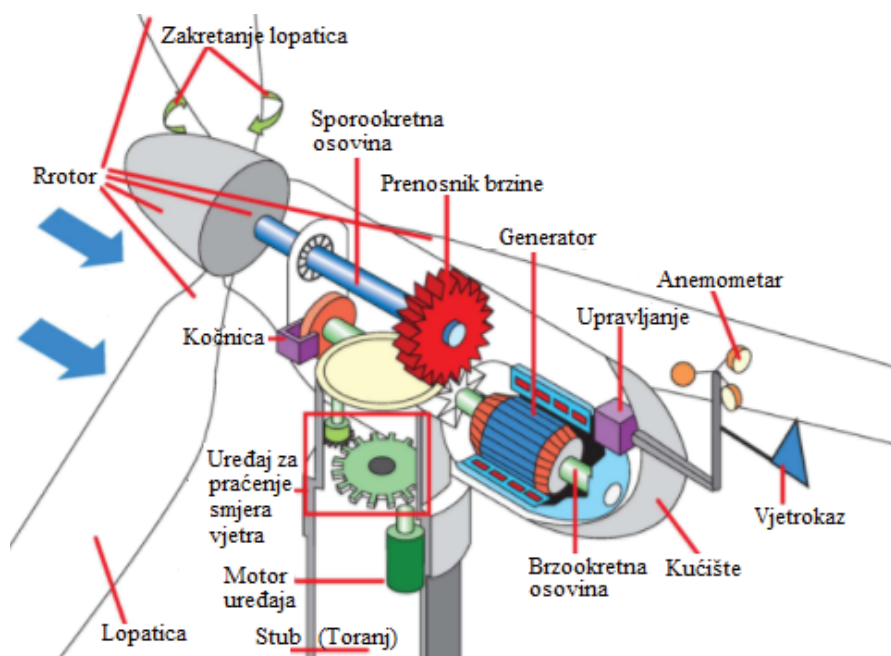
Često se u literaturi srijeće i podjela na:

- postrojenja kod kojih su turbina i generator odvojeni od elise i nalaze se na nivou zemlje, čime toranj može biti znatno olakšane konstrukcije (Slika 3.32a) i
- postrojenja kod kojih su turbina i generator na vrhu tornja, direktno kuplovani sa osom elise, pri čemu toranj mora biti projektovan za znatno veća naprezanja (Slika 3.32b).



Slika 3.32. a) Turbina i generator na nivou zemlje, b) Turbina i generator na vrhu tornja

Tipičan primjer izgleda gondole (kabine) na vrhu tornja, sa osnovnim djelovima dat je na Slici 3.33.



Slika 3.33. Djelovi vjetroagregata u gondoli na vrhu tornja vjetrenjače sa osnovnim djelovima

Prema mjestu izgradnje vjetroelektrane mogu biti izgrađene:

- na kopnu (on shore) ili
- na moru/okeanu (off shore),

a razvijaju se i **visinske/leteće** vjetroelektrane.

Kada se govori o korišćenju vjetroelektrana za dobijanje električne energije korišćenjem vjetra kao obnovljivog izvora energije, mogu se navesti brojne **prednosti**:

- Vjetroelektrane su veoma poželjan oblik obnovljivog izvora energije jer ne troše fosilna goriva i ne zagađuju okolinu. Instaliranjem vjetroelektrana

umjesto termoelektrana na fosilna goriva, sprečava se emisija produkata sagorijevanja. Pošto pri svom radu ne proizvode štetne gasove staklene bašte, pomažu u borbi protiv globalnog zagrijavanja.

- Vjetroelektrane su sve popularnije među ekološki osviješćenim stanovništvom zbog činjenice da proizvodnja električne energije iz vjetra smanjuje potrošnju fosilnih goriva i pomaže u očuvanju okoline.
- Zemlje koje posjeduju lokacije sa povoljnim vjetrovima i koje su se odlučile da investiraju u izgradnju **vjetroparkova** (cjelina sastavljena od više vjetroelektrana), u znatnoj mjeri će smanjiti nacionalnu zavisnost od uvoza fosilnih goriva.
- **Prednost vjetroelektrana** je i u tome što se mogu smjestiti podjednako na neobradivim površinama, morskoj pučini ili poljoprivrednom zemljištu, a prostor između stubova generatora može se i dalje koristiti. Ispod stubova vjetroelektrane mogu se obavljati poljoprivredni, stočarski i slični radovi, kao i ispod visokonaponske mreže.
- Važno je istaći i da se raspoloživi resursi troše samo prilikom rada vjetroelektrane, da su im niski pogonski troškovi, da nema otpadnih voda ni otpadne toplote, i da je, radi povećanja ekonomičnosti energetske transformacije, moguć njihov kombinovani/paralelni pogon npr. sa solarnim ili gasnim elektranama.

Faktor ograničenja zbog koga se energija vjetra još uvijek ne koristi u dovoljnoj mjeri je činjenica da su neophodne savremene tehnologije još uvijek u fazi istraživanja i intenzivnog razvoja.

S obzirom da ne postoji efikasan način da se akumulira veća količina energije za periode bez vjetra, vjetroelektrane moraju biti povezane sa elektroenergetskim sistemom, što mnogi navode kao jedan od nedostataka ovog obnovljivog izvora energije. Takođe se navodi i njihov nepovoljan uticaj na karakteristike EES-a zbog nestabilnosti proizvodnje, potreba postojanja paralelnih izvora električne energije (za periode kada nema vjetra), niska ukupna iskoristivost (oko 30%), niska iskoristivost maksimalne snage (zbog brze i velike promjene parametara vjetra) i sl.

U negativne efekte može se ubrojati i činjenica da su troškovi izrade visokih i stabilnih tornjeva i kvalitetnih elisa trenutno dosta visoki.

Među negativnim stranama može se uzeti i činjenica da se u procesu pripreme i obrade potrebnog materijala poput čelika, betona, aluminijuma i sl. moraju koristiti fosilni izvori energije koji nepovoljno utiču na okolinu.

Troškovi održavanja pogona mogu biti značajna stavka u cijeni dobijene energije. Ovdje se mogu navesti i značajni troškovi kvalitetne zaštite visokih tornjeva od atmosferskih pražnjenja, kao i najčešće znatna udaljenost pogodnih lokacija sa vjetrom od mogućih potrošača.

Protivnici vjetroelektrana ističu i da visina i oblik stubova narušava izgled okoline, tj. da konstrukcije vjetroelektrana utiču na „estetsko narušavanje (nagrđivanje) prirode/prostora“, zatim da vjetroelektrane destruktivno djeluju na tlo, podzemne vode, da mogu štetiti sistemu pitke vode, kao i biljnom i životinjskom svijetu.

Jedan od najvećih problema nekada je bila buka koju stvaraju vjetroelektrane prilikom obrtanja propelera i rada pogonskog mehanizma generatora koji je smješten u gondoli, kao i radio i TV smetnje. Danas je, uz korišćenje sve savršenijih tehnoloških rješenja zvučne i ostalih izolacija, ovaj problem značajno smanjen.

Naučnici tvrde da će vjetroelektrane u budućnosti postati jedan od glavnih izvora električne energije i da budućnost cijele planete leži u obnovljivim izvorima energije. Međutim, i dalje su stavovi o gradnji vjetroparkova vrlo restriktivni i za-

htijeva se pažljivo biranje lokacija za izgradnju. Upravo radi zaštite ptičjeg svijeta, staništa i ugroženih vrsta, EU je donijela dvije direktive: Direktivu o pticama i Direktivu o staništima, koje obavezuju svaku članicu EU da zaštiti svoja vrijedna područja i to prema kriterijumima iz tih direktiva.

Preporuke su i da vjetroelektrane treba graditi tamo gdje ne žive ugrožene biljne i životinjske vrste, budući da postoje primjeri loše postavljenih VE koje ugrožavaju malu populaciju, npr. surih orlova. Pogodne su lokacije koje nijesu na migracijskim putevima ptica, šišmiša ili nekih drugih vrsta. Važno je istaći i da efikasnost vjetroparkova ponajviše zavisi od meteoroloških karakteristika područja na kojem se vjetropark nalazi.

Gradnja vjetroelektrane u načelu je pozitivna i poželjna, no ne treba zaboraviti da je vjetroelektrana ipak elektroenergetski objekat, koji ugrožava životnu sredinu.

3.6

TENDENCIJE BUDUĆEG KORIŠĆENJA NEKONVENCIONALNIH IZVORA ENERGIJE

U jednom periodu razvoja, čovječanstvo je za podmirenje svojih energetske potrebe skoro bez ikakvih ograničenja nemilice koristilo, prema tadašnjem uvjerenju, neograničene i jeftine, raspoložive rezerve postojećih energetske izvora, prije svega fosilnih goriva.

Usljed relativno niske cijene korišćenih konvencionalnih oblika energije (posebno fosilnih goriva), njihovog nekontrolisanog korišćenja i velikog i brzog porasta potreba za energijom, gotovo su iscrpljeni pojedini oblici energije u nekim djelovima svijeta (drvo, ugalj, nafta), ili je zapostavljena primjena pojedinih oblika energije (drvo i ugalj), na račun intenzivnijeg korišćenja drugih oblika (prije svega derivata nafte).

Nakon energetske krize u drugoj polovini XX vijeka, čovječanstvo je shvatilo pravu vrijednost i značaj energije i njenu ulogu u cjelokupnom životu. Važno je bilo i saznanje da je vrijeme jeftine energije prošlo i da sve aktivnosti na rješavanju ovih problema iziskuju značajno vrijeme, rad, istraživanja i velika novčana sredstva.

Energetske krize i ratovi na Bliskom istoku, ograničene rezerve i brzo nestajanje postojećih izvora energije, uslovlili su vrtoglavo povećanje cijena svih vrsta goriva i velike poremećaje u snabdijevanju energijom. Ovo je uzrokovalo i veliko povećanje svih životnih troškova i značajan negativni uticaj na razvoj životnog standarda u mnogim zemljama, naročito u zemaljama u razvoju.

Zbog veoma intenzivnog razvoja, svijetu treba sve više energije. Trenutno svijet svoje energetske potrebe uglavnom pokriva neobnovljivim izvorima energije, većinom fosilnim gorivima. Pored njihove neobnovljivosti, veliki problemi u njihovom korišćenju su i ograničene rezerve i brzo trošenje, kao i veliki broj negativnih uticaja na životnu sredinu.

Shvatajući značaj i težinu ovih problema, kao i problema koji mogu nastati u snabdijevanju energijom ako se na vrijeme ne osiguraju novi oblici energije, ozbiljno se prišlo njihovom razmatranju i rješavanju.

Kao jedno od mogućih rješenja za ublažavanje ili prevazilaženje nastalih energetske i životnih problema jeste to da su se pojedine zemlje počele ozbiljnije okretati traženju i nalaženju dodatnih mogućnosti vezanih za sopstvene energetske resurse i rezerve.

Z

Intenzivna istraživanja su pokazala da će se i u neposrednoj budućnosti podmirivanje najvećeg dijela energetske potreba zadovoljavati uglavnom iz konvencionalnih energetske oblika (ugalj, nafta i prirodni gas), uz primjenu novih savremenijih tehnoloških rješenja, kao i potpuno drugačiji pristup njihovom korišćenju i racionalniju preraspodjelu njihove potrošnje (više u korist uglja i prirodnog gasa, a manje u korist sirove nafte).

Prvi zadatak bio je neophodnost dodatnih i iscrpnih istraživanja sopstvenih rezervi konvencionalnih oblika energije i mogućnosti njihove ekonomičnije eksploatacije.

Sljedeći zadatak je bio rad na poboljšanju postupaka i primjena novih tehnologija (ekonomičnijih i ekoloških) pri eksploataciji postojećih i budućih nalazišta.

Osim u istraživanjima i korišćenju sopstvenih izvora energije i što manjoj zavisnosti od uvoza svih oblika energije, mnoge zemlje su shvatile da je mogući izlaz i u štednji, racionalnom trošenju i mogućoj supstituciji raspoloživih oblika energije.

Vrlo brzo došlo se do saznanja da je veoma teško (praktično nemoguće) u kratkom roku naći adekvatna rješenja za obezbjeđenje potrebnih količina energije ili izvršiti supstituciju korišćenih oblika drugim oblicima energije neophodnih za održavanje i podizanje nivoa standarda stanovništva.

Ovakve pretpostavke su zasnovane prije svega na činjenicama do kojih se došlo dugogodišnjim istraživanjima koja je izvelo više nezavisnih stručnih institucija, a koja su vršena uglavnom uz pretpostavku da eksploatacija posmatranog energetske izvora ostane na istom nivou za posmatrani broj godina. Njihovi osnovni rezultati su uglavnom sljedeći:

- Postojeće rezerve uglja čine osnovicu za ovu pretpostavku, jer se ovim istraživanjima dolazi do podatka da bi raspoložive (dokazane) rezerve uglja bile dovoljne za više od 400 godina.
- Pretpostavlja se da će rezerve prirodnog gasa osigurati današnju potrošnju u sljedećih od 55 do preko 160 godina (različito kod različitih istraživača).
- Poznate rezerve sirove nafte i današnji nivo i tendencije potrošnje njenih derivata upućuju na krajnje oprezan pristup u potrošnji nafte. Prognozira se da će njihovim raspoloživim rezervama biti moguće osigurati podmirenje današnje potrošnje u sljedećih 40 do 50 godina.
- Prema nekim prognozama do kraja 21. vijeka utrošiće se trajno sve poznate rezerve nafte i prirodnog gasa.

Treba voditi računa i o činjenici da su poznate rezerve nafte u bitumenoznom pijesku i naftnim škriljcima veće od rezervi nafte u tečnom stanju. Međutim, za njihovo veće i ekonomski opravdano korišćenje treba intenzivirati istraživanja na postojećim i otkrivanju novih tehničko-tehnoloških rješenja i smanjenju troškova njihovog korišćenja.

Jasno je da će se raditi i na većem korišćenju raspoloživog hidroenergetske potencijala. Međutim, i pored mnogobrojnih prednosti ovog obnovljivog energetske izvora, samo manji dodatni dio potreba za energijom u neposrednoj budućnosti će se osigurati većim korišćenjem vodnih snaga, i to uglavnom u razvijenim zemljama. Ovo prije svega zbog činjenice da su u razvijenim zemljama praktično vodne snage već iskorišćene do nivoa njihovog opravdanog ekonomskog korišćenja.

Prognoze za korišćenje i tendencije u budućnosti vezane za nuklearnu fisiju su, u zavisnosti od izvora informacija, veoma različite. I pored ogromnih energetske potencijala nuklearnog goriva, značajne rezerve javljaju se kada su u pitanju različiti aspekti sigurnosti, pouzdanog rada i uticaja na okolnu sredinu. Međutim, sigurno je da će, u bliskoj budućnosti, makar do isteka „životnog vijeka“ već angažovanih nuklearnih elektrana, one podmirivati značajan dio potreba stanovništva za električnom energijom.

Raspoložive rezerve, njihovo brzo trošenje i negativni ekološki uticaji još uvijek nijesu dovoljni argumenti da fosilna goriva ne budu dominantni izvori energije u većini država širom svijeta. U prilog ovome je i činjenica da postoje veoma jaki finansijski lobiji koji kontrolišu korišćenje fosilnih goriva i koji podržavaju ove

tradicionalne izvore energije sa dugom tradicijom i izuzetno velikim dosadašnjim investicijama. Značajna je i njihova niska inicijalna cijena, veoma jaka tehnološka podrška i dobro razvijene tehnologije za njihovo korišćenje, kao i velika sredstva koja se trenutno ulažu u kupovinu, transport, rafiniranje i distribuciju fosilnih goriva. Sve ovo znatno otežava veće angažovanje i učešće bilo kog drugog energetskog izvora i ujedno ukazuje da će postupak smanjenja intenziteta korišćenja fosilnih goriva i veće korišćenje obnovljivih izvora energije biti postepen, dugotrajan i mukotrpan postupak.

Očigledno je da je, pored dodatnih napora za što veće i efikasnije korišćenje raspoloživih konvencionalnih oblika energije, potrebno je uložiti dodatne napore i sredstva i u istraživanja mogućnosti za bolje, masovnije, efikasnije i što skorije korišćenje raspoloživih nekonvencionalnih, novih obnovljivih (neiscrpljivih) oblika energije.

Međutim, i pored brojnih i značajnih napredaka i dostignuća, današnja saznanja i stanje u ovoj oblasti ne pružaju veliki optimizam u pogledu značajnijeg i bržeg korišćenja nekonvencionalnih, prije svega, obnovljivih oblika energije.

Glavni argumenti za veći optimizam u naporima da se, što je moguće prije, upotreba fosilnih goriva zamijeni obnovljivim izvorima energije su u čistoći transformacije i korišćenja obnovljivih izvora energije i u energetske nezavisnosti njihovih korisnika od vlasnika izvora fosilnih goriva.

Veoma važno je istaći da su za većinu poznatih novih obnovljivih izvora energije poznata i već postoje tehnološka rješenja za njihovo korišćenje, ali su u ovom trenutku veoma skupa (a neka i nedovoljno efikasna), pa su i dalje potrebna velika ulaganja. Uz dodatne napore i ulaganja u istraživanja, očekuje se da će brzo ove tehnologije napredovati u smislu efikasnosti i smanjenja cijena, pa će samim tim postati i mnogo atraktivnije za širu i masovniju upotrebu.

Nešto više može se očekivati od masovnijeg korišćenja neposredne energije Sunčevog isijavanja kolektorima i koncentratorima za grijanje, pripremu tople vode, klimatizaciju i sl. i fotonaponskim ćelijama za proizvodnju električne energije; većeg korišćenja energije vjetra, malih vodotoka, biomase i otpada, korišćenjem geotermalne energije i toplote okoline primjenom toplotnih pumpi, kao i od nuklearne energije na temelju fuzije, naravno ako se ubrzo prevaziđu postojeći značajni problemi.

Pored ovih, za podmirenje energetskih potreba u bliskoj budućnosti može se računati i sa dodatnim rezultatima istraživanja u vezi sa korišćenjem gorivih ćelija i goriva na bazi vodonika, koja su još u početnoj istraživačkoj fazi, ali sa veoma obećavajućim rezultatima.



3.1.

1. Nabroj vrste nekonvencionalnih izvora električne energije.
2. Objasni specifičnosti nekonvencionalnih elektrana.
3. Navedi razlike između raznih tipova nekonvencionalnih elektrana.

3.2.

1. Objasni princip rada nekonvencionalnih hidroelektrana.
2. Navedi vrste nekonvencionalnih hidroelektrana.
3. Kritički procijeni specifičnosti nekonvencionalnih hidroelektrana.
4. Napravi pregled glavnih dijelova nekonvencionalnih hidroelektrana.

3.3.

1. Objasni princip rada nekonvencionalnih termoelektrana.
2. Navedi vrste nekonvencionalnih termoelektrana.
3. Kritički procijeni specifičnosti nekonvencionalnih hidroelektrana.
4. Napravi pregled glavnih dijelova nekonvencionalnih termoelektrana.
5. Navedi razlike između nekonvencionalnih hidroelektrana i termoelektrana.

3.4.

1. Objasni princip rada fotonaponskih solarnih elektrana.
2. Opiši fotonaponski efekat.
3. Napravi pregled materijala koji se koriste za izradu PV ćelija.
4. Kritički procijeni osnovne probleme u korišćenju Sunčeve energije.

3.5.

1. Objasni princip rada vjetroelektrana.
2. Napravi pregled osnovnih parametara koji definišu vjetar.
3. Nabroj osnovne dijelove vjetroelektrane.
4. Kritički procijeni osnovne pozitivne i negativne efekte korišćenja vjetroelektrana



REZIME

- Pod nekonvencionalnim (novim, alternativnim, neindustrijskim...) izvorima energije podrazumijevaju se izvori za koje se zna da sadrže određene nosioce energije, ali je njihova transformacija u korisne oblike energije trenutno ekonomski još nekonkurentna proizvodnji iz konvencionalnih izvora ili čak još nije dovoljno poznata mogućnost i način njihovog korišćenja i transformacije.
- U nekonvencionalne elektrane ubrajaju se: male hidroelektrane, elektrane na plimu i oseku, elektrane na morske talase, solarne termalne i fotonaponske elektrane, vjetroelektrane, geotermalne elektrane, elektrane koje koriste unutrašnju toplotnu energiju mora i okeana, bioelektrane (elektrane koje koriste bioenergiju), elektrane na čvrsti komunalni otpad, magnetno hidrodinamički generatori (MHDG), nuklearne termoelektrane (fuzija) i dr.
- Male hidroelektrane su hidroenergetski sistemi manjih snaga, uglavnom izgrađeni na manjim vodotocima, odnosno na manjim rijekama, potocima, raznim kanalima pa čak i sistemima za navodnjavanje. U njima se energija tzv. malih vodotoka pretvara u korisnu energiju, čime se obezbjeđuje jeftina, čista i pouzdana proizvodnja električne energije. To su pretežno protočne elektrane, pa stoga i ne zahtijevaju značajne zemljane i građevinske radove i investicije koje su vezane za izgradnju velikih brana i akumulacija.
- Kako promjene oseke i plime (morske mijene) nastale dejstvom Sunca i Mjeseca, izazivaju kretanje fluida, odnosno kretanje vodene mase, moguće je izvršiti pretvaranje te energije u električnu energiju uz pomoć posebnih elektrana na plimu i oseku.
- Elektrane na morske talase su elektrane koje koriste energiju talasa za proizvodnju električne energije. Osnovni uzrok nastanka ove energija je djelovanje vjetra (posljedica dejstva Sunca) na površinu mora i okeana, usljed čega dolazi do stvaranja talasa.
- Direktno pretvaranje Sunčeve energije u druge oblike (naročito u električnu energiju) vrši se relativno lako i jednostavno, znatno lakše nego pretvaranje bilo kog drugog oblika energije. Postojeći načini mogu se podijeliti u dvije osnovne velike grupe: direktno pretvaranje energije Sunčevog zračenja u toplotnu energiju (koja se kasnije koristi za dobijanje električne energije), i direktno (neposredno) pretvaranje energije Sunčevog zračenja u električnu energiju korišćenjem fotonaponskog efekta, odnosno solarnih fotonaponskih (PV) ćelija.
- Vjetar predstavlja strujanje vazdušnih masa koje nastaje usljed razlike temperatura, odnosno pritisaka na površini Zemlje. Usljed zagrijavanja zemljine površine, dolazi do zagrijavanja vazdušnih masa. Topli vazduh se uzdiže na desetak km u ekvatorijalnom pojasu, pa se usmjerava prema polovima i zakreće pod uticajem zemljine rotacije. Hladni vazduh popunjava nastale praznine i na taj način prouzrokuje kretanje vazduha tj. stalne vjetrove. U vjetroelektranama koristi se energija nastala kretanjem ovih vazdušnih masa (vjetra), pretvaranjem u mehaničku energiju na vratilu rotora vjetroturbine koji ogreće generator u kome se proizvodi električna energija.
- Geotermalna elektrana je specifičan tip termoelektrane kod koje se para ne proizvodi sagorijevanjem fosilnih ili drugih goriva, već se crpi direktno iz unutrašnjosti Zemlje.



REZIME

- Okeani i mora pokrivaju zemljinu površinu više od 70%, što ih čini najvećim svjetskim solarnim kolektorom ali istovremeno i sistemom za uskladištavanje energije. Ova energija može se iskoristiti u elektranama koje koriste unutrašnju toplotnu energiju mora i okeana.
- Elektrane na biomasu i otpad su termoelektrane u kojima se umjesto konvencionalnih goriva kao gorivo koristi biomasa i otpad.
- Magnetohidrodinamički generator je specifičan tip generatora (nema pokretnih dijelova i radi na visokim temperaturama) koji pretvara dio unutrašnje toplotne energije radnog tijela (plazme) u električnu energiju djelovanjem magnetnog polja.
- Nuklearna fuzija predstavlja termonuklearnu reakciju sinteze - spajanja lakih atomskih jezgara u nešto teže, koja se dešava pri vrlo visokim temperaturama, i u kojoj se oslobađa velika količina energije (sinteza helijuma i vodonika koja se dešava na površini Sunca).

4.

Ugradnja, održavanje i remont elektroenergetske opreme i uređaja u elektranama

- Osnovni elektroenergetski uređaji u elektranama
- Montiranje i demontiranje elektroenergetske opreme i uređaja u elektranama
- Funkcionalno ispitivanje elektroenergetske opreme u elektranama
- Ispitni protokoli funkcionalnih i završnih ispitivanja elektroenergetske opreme
- Vrste i procedure pregleda, nadzora i održavanja elektroenergetske opreme i uređaja u elektranama
- Pravila zaštite i primjena zaštitnih mjera i sredstava zaštite na radu u elektranama



4.1

OSNOVNI ELEKTROENERGETSKI UREĐAJI U ELEKTRANAMA

Elektrana predstavlja veoma kompleksan i složen jedinstveni sistem sastavljen od velikog broja uređaja, opreme i postrojenja. Ona, kao jedinstvena cjelina, ima osnovnu funkciju – proizvodnju električne energije.

Svi sastavni dijelovi, oprema i uređaji elektrane mogu se grupisati u tri velike funkcionalne cjeline, koje pripadaju oblastima: mašinstva, građevine i elektrotehnike.

Osnovna **mašinska oprema i uređaji** su: razne vrste turbina, kotlovi, reaktori, protočni i regulacioni elementi, hidromašinska oprema (rešetke, zatvarači i sl.), mlinovi za ugalj, pumpe, kranovi, kompresori, liftovi, transportni sistemi, pomoćni uređaji i oprema i sl.

Osnovni **građevinski elementi** u elektranama su: zgrade, brane, prilazni putevi, zahvati, razni dovodni i odvodni organi, cjevovodi, tuneli, kanali, vodostan, sifon, bazeni, portali za opremu, temelji, stubovi, pomoćni uređaji i oprema i sl.



U osnovne i pomoćne **elektroenergetske uređaje i opremu** u elektranama i njima pripadajućim visokonaponskim razvodnim postrojenjima ubrajaju se: električne mašine (sinhroni generatori, pobudni uređaji), transformatori (snage, mjerni strujni i naponski), komutacioni uređaji (prekidači, rastavljači i sl.), sabirnice, odvodnici prenapona, osigurači, izolatori, izolacioni fluidi, razni aparati niskog i visokog napona, akumulatorske baterije, uzemljenje, kablovi, rasvjeta, mjerni instrumenti i pretvarači, releji i uređaji relejne zaštite i automatike, kontakteri, tasteri, signalizacija i sl.

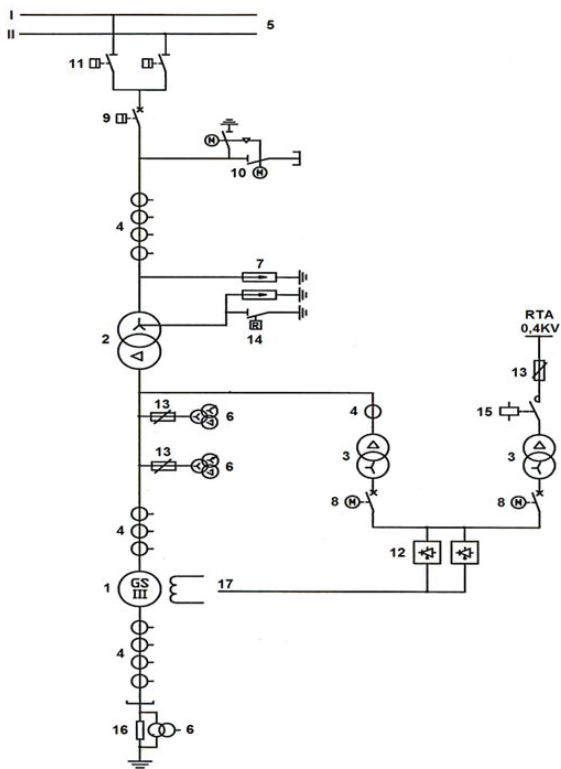
Radi sticanja opšte slike o mjestu, ulozi i značaju elektroenergetske opreme i uređaja u elektranama na Slici 4.1 je data jednopolna šema jedne funkcionalne cjeline – jedan blok – u HE Perućica. Na slici je ucrtana osnovna i pomoćna elektroenergetska oprema i uređaji ove cjeline, koji su naznačeni i u legendi pored slike.

Osnovna elektroenergetska oprema i uređaji u elektranama navedeni su i detaljno opisani u prethodnim poglavljima u kojima je bilo govora o ovim osnovnim uređajima i elektroopremi kod različitih tipova elektrana.

4.2

MONTIRANJE I DEMONTIRANJE ELEKTROENERGETSKE OPREME I UREĐAJA U ELEKTRANAMA

Elektroenergetska oprema i uređaji predstavljaju veoma važan segment u funkcionisanju svih tipova elektroenergetskih objekata i postrojenja. Pravilan izbor, montaža i održavanje svih elektroenergetskih uređaja i opreme u skladu sa tehničkim propisima iz oblasti elektrotehnike, je preduslov za odgovarajuće, tehnički sigurno i bezbjedno funkcionisanje svih električnih sistema.



Legenda:

1. generator
2. energetska transformator
3. pobudni transformatori
4. strujni mjerni transformatori
5. sistem sabirnica
6. naponski mjerni transformatori
7. odvodnici prenapona
8. prekidači na motorni pogon
9. prekidači na pneumatski pogon
10. rastavljač za električno kočenje sa noževima za uzemljenje
11. sabirnički rastavljači na pneumatski pogon
12. ispravljači
13. otpornici
14. rastavljač za uzemljenje zvjezdišta transformatora
15. rastavljač 0,4 KV u kolu pobude
16. otpornik u zvjezdištu generatora
17. sistem pobude

Slika 4.1. Jednopolna šema jednog bloka HE Perućica

Oprema se doprema na gradilište i predaje izvođačima radova koji će izvršiti montažu i puštanje u pogon. Kad je električna oprema u pitanju, kao što je generator, transformator, elementi rasklopnih postrojenja i sl., gdje montaža i puštanje u pogon zahtijevaju specijalistička znanja i dobro poznavanje same opreme, često se ove aktivnosti prepuštaju onima koji su tu opremu i proizveli.

Nakon što se obave građevinske i komunalne pripreme prostorija i okolnog prostora, postupak montaže elektroenergetske opreme obuhvata bravarske i elektromontažne radove.

Bravarski radovi obuhvataju: pripremu potrebnog bravarskog materijala, izradu bravarskih elemenata, zaštitu elemenata (bojanje, cinkovanje i sl.), radioničko sklapanje potrebnih konstrukcija, provjera dimenzija u odnosu na vrijednosti zadate projektom, transport pripremljenih elemenata do mjesta montaže postrojenja, montažu opreme i sl.



Elektromontažni radovi su: priprema elektromaterijala, radionička izrada potrebnih sklopova, obavljanje neophodnih elektroispitivanja, transport pripremljenih elemenata do mjesta montaže postrojenja, montaža opreme, spajanje bravarskih i elektromontažnih radova i provjera funkcionisanja, kao i ostala ispitivanja propisana standardima i tehničkim preporukama.

Nakon ovih aktivnosti, u saradnji sa nadzornim organom, slijedi otklanjanje eventualno uočenih nedostataka, propusta, neusklađenosti i sl.

Prije početka radova na montaži elektroenergetske opreme potrebno je detaljno raščistiti i obezbijediti teren na kome se predviđa montaža. Sve postojeće otvore i prolaze na mjestu gdje će se obavljati radovi (npr. građevinske i montažne otvore,

otvore između spratova, kablovske i vodovodne šahte i sl.) treba zatvoriti podovima koji se ne mogu pomjerati ili ih treba sigurno ograditi. Ako postoji mogućnost povrede radnika, nije dozvoljeno istovremeno obavljanje elektromonterskih i ostalih, npr. građevinskih radova.

Pri montaži otvorenog dijela visokonaponskih postrojenja, dio na kome se vrši montaža mora biti odgovarajuće ograđen. Prije polaganja kablova i postavljanja predviđenih zaštitnih ploča na kablovskim kanalima, treba kanale privremeno zatvoriti i osigurati. Sve konstrukcije otvorenog dijela elektroenergetskog postrojenja (npr. sabirnički i dalekovodni portali, potpore za postavljanje prekidača, rastavljača i mjernih transformatora i sl.) moraju biti kvalitetno pričvršćene odgovarajućim zavrtnjima ili zavarene na odgovarajući način. Rad na konstrukcijama na kojima ovo nije ispunjeno je zabranjen.



Ukoliko se radi na visini, svi monter i su dužni da se vezuju za stabilnu konstrukciju pomoću sigurnosnih pojaseva.

Primjeri rada montažera pri montiranju elektroenergetske opreme na dalekovodnom stubu i u visokonaponskom razvodnom postrojenju dati su na Slici 4.2. U slučaju nevremena, oluje ili jakog vjetrova svi radovi na montaži elektroopreme na otvorenom, kao i na uvođenju nadzemnih vodova u zatvorena postrojenja moraju da budu obustavljeni.



a) dalekovodni stub



b) visokonaponsko razvodno postrojenje

Slika 4.2. Primjeri montiranja elektroenergetske opreme

Kada je u pitanju redosljed montaže pojedinih elemenata, najčešće se na odgovarajućoj nosećoj konstrukciji počinje sa montažom potpornih i provodnih izolatora. Poslije toga montiraju se rastavljači, rastavne sklopke i rastavljači sa zemljospojnicima.

Najprije se montiraju izolatori rastavljača, zatim glavno kolo rastavljača i na kraju pogonski mehanizam. Zatim se svi djelovi povežu i izvrše se potrebna mjerenja da bi se provjerila ispravnost montaže.

Montaža prekidača (montiraju se isključivo u vertikalnom položaju) vrši se na isti način i po istom redosljedu kao i montaža rastavljača. Zatim se montiraju mjerni transformatori (uljni samo u vertikalnom položaju a ostali u bilo kom položaju).

U sljedećem koraku montiraju se odvodnici prenapona (mogu biti u vertikalnom položaju ili se mogu bočno okačiti na nosače/zid). Neophodno je napomenu-

ti da se sabirnice (šine, obično od bakra ili aluminijuma) otvorenih djelova postrojenja montiraju prije ostale opreme, pri čemu je zbog njihove velike važnosti bitno da se one, ako je to potrebno, pravilno saviju i produže. Za ove radnje je potrebno koristiti poseban alat i prese, a poslije montaže je šine neophodno ofarbati odgovarajućom bojom u zavisnosti od pripadajuće faze.

Kada se radi o montaži energetskih transformatora, najčešće se energetski transformatori napona do 35 kV isporučuju na mjesto predviđeno za montažu kompletno fabrički montirani. Energetski transformatori ostalih naponskih nivoa isporučuju se u djelovima, gdje se sklapaju i postavljaju i učvršćuju na za to predviđeno mjesto.

Nakon njihovog montiranja, postavljaju se dijelovi koji su skinuti prilikom transporta i naliva se ulje u kotao (Slika 4.3). Nakon ovog procesa obavljaju se, radi njegove provjere, sva predviđena mjerenja i ispitivanja, i vrši se upoređivanje izmjerenih vrijednosti sa podacima datim od strane proizvođača opreme i sa vrijednostima navedenim u važećim standardima i tehničkim preporukama.



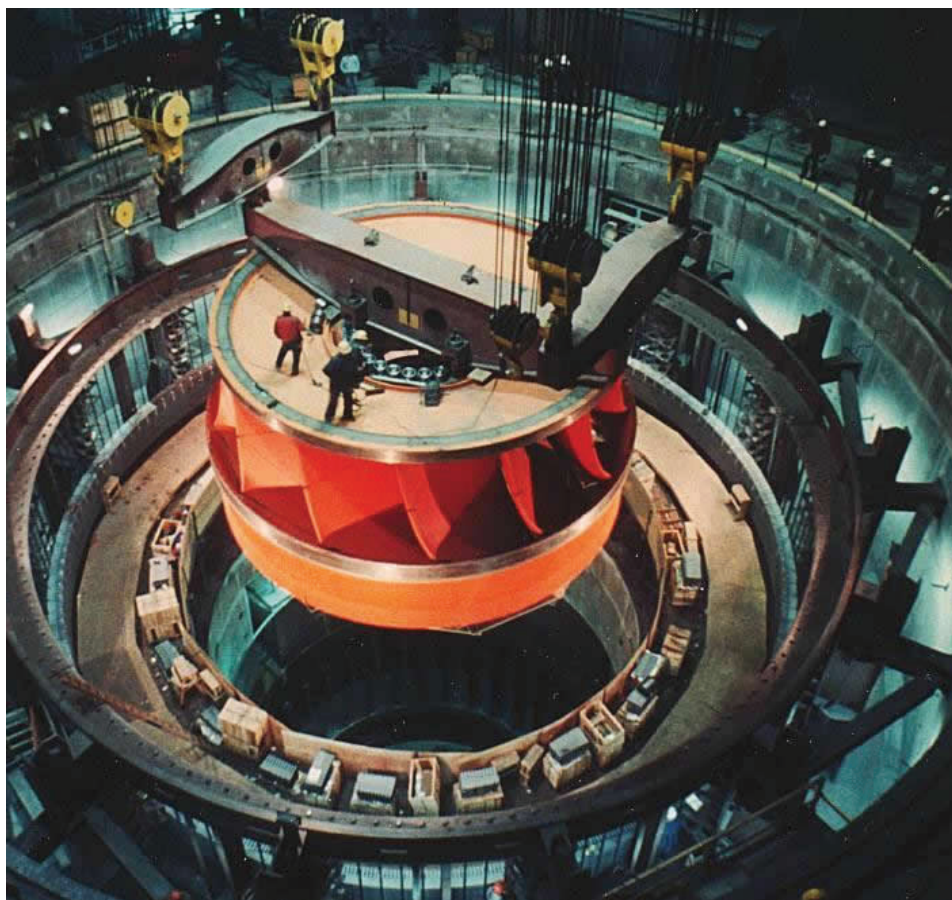
Slika 4.3. Montaža energetskog transformatora

Montiranje rotora hidraulične turbine i električnog generatora u mašinskoj hali hidroelektrane prikazano je na Slici 4.4.



Slika 4.4. Montiranje rotora turbine i generatora u hidroelektrani

Na Slici 4.5 je prikazana jedna faza u montiranju Fransisove turbine.



Slika 4.5. Montiranje Fransisove turbine



Primjer lista kontrole koji se u CGES-u koristi prilikom montaže energetskog transformatora sa svim potrebnim podacima i karakteristikama koji se moraju upisati u ovaj list vezano za ispitivani objekat, kao i sa svim parametrima njegovih sastavnih komponenata koje treba provjeriti, prekontrolisati, komentarisati i ocijeniti, i koji na kraju mora biti potpisan i ovjeren od odgovarajućih pojedinaca i institucija, dat je na Slici 4.6.



Postojećim tehničkim propisima zahtijeva se da se u toku izvođenja radova na ugradnji i održavanju elektroenergetskog postrojenja i opreme, a prije njihovog preuzimanja, moraju provesti pregledi i ispitivanja radi provjeravanja i potvrđivanja usklađenosti izvedenog elektroenergetskog postrojenja i ugrađene električne opreme sa svim postojećim standardima, pravilima i tehničkim preporukama.

Da bi se na najmanju moguću mjeru smanjio veliki rizik koji nosi svako puštanje elektroenergetskog postrojenja i opreme u pogon, kao i zbog mogućih materijalnih šteta i stradanja ljudi, tokom i nakon montaže i povezivanja pojedinih komponenti redovno se provode neophodna propisana ispitivanja kojima se potvrđuje ispravnost provedenih aktivnosti. Na osnovu rezultata tih ispitivanja, ovlašćena osoba donosi odluku (koja po pravilu predstavlja veliku odgovornost) o puštanju u pogon. I ovdje se radi o situaciji u kojoj je važno imati povjerenje u ispitne rezultate i sve prethodne elemente osiguranja kvaliteta. Tehnička predaja objekta investitoru vrši se nakon provedenih svih ispitivanja i provjera, nakon probnog pogona po djelovima i cjelina postrojenja i nakon što je provedena obuka osoblja za rukovanje i održavanje postrojenja.

LIST KONTROLE MONTAŽE ENERGETSKOG TRANSFORMATORA

Objekat Tip transformatora Proizvođač Nazivna snaga	MVA	Tip Nazivni napon	kV	Datum kontrole			Godina	Grupa spoja	Fabrički broj
				da	ne	n/a			
Komponenta		Komentar sa ocjenom							
Kotao									
Transformator odzračan									
Nivo ulja u konzervatoru ETR									
Nivo ulja u konzervatoru RS									
Ventili u dobrom stanju i u radnom položaju									
Uzemljenje kotla izvedeno i dobro									
Boja u dobrom stanju									
Korozija metalnih djelova									
Primjetno curenje ulja									
Primjetni nedostaci u trafo boksu									
Primjetna buka i vibracije									
Rashladni sistem									
Ormar hlađenja kompletan i u funkciji									
Svi ventilatori montirani i ispravni									
Smjer obrtanja ventilatora korektan									
Provjeren rad ventilatora automatski/ručno									
Uljne pumpe montirane i u funkciji									
Radijatori korodirali									
Ventili na radijatorima u ispravnom položaju									
Primjetno curenje ulja na radijatorima									
Cijevi za odzračavanje u dobrom stanju									
Provodni izolatori									
Zaprljanost i masnoća									
Primjetno curenje ulja									
Primjetna oštećenja porculana									
Nizak nivo ulja									
Primjetno oštećenje primarnih strujnih veza									
Zaštitna i mjerna oprema									
Džepovi napunjeni uljem i zaptiveni									
Buholc kazana ispravan alarm/isključenje									
Gasni rele ispravan									
Odušnik u funkciji i ispravan									
Kontakti termometar ispravan									
Termo slika u funkciji i ispravna									
Pt sonda ispravna									
Silikagel nov i neovlažen									
Magnetni pokazivači u funkciji i ispravni									
Ventil sušionika otvoren									
Uzemljenje neutralne tačke korektno									
Stabilizacioni namotaj kratko spojen i uzemljen									
Regulaciona sklopka									
Pokazivač položaja usklađen i korektan									
Brojač manipulacija ispravan									
Polužni mehanizam ispravan									
Motorni pogon u funkciji i ispravan									
Primjetno curenje ulja									
Vibracije i buka									
Provjeren rad ručnim pogonom									
Provjeren rad električnim pogonom-direktno									
Provjeren rad električnim pogonom-daljinski									
Provjerena mehanička blokada krajnjih položaja									
Provjerena električna blokada krajnjih položaja									
Puštanje u prazan hod									
Prethodne kontrole i ispitivanja završeni									
Postoje ovjerenja obavještenja o završetku radova									
Povučeno ljudstvo									
Uklonjeni alati, instrumenti mjere obezbjeđenja									
Stavljanje u PH u trajanju od 2 sata									
Kontrola napona na VN i SN strani									
Provjeren rad regulacione sklopke									
Puštanje transformatora u pogon									
	Rukovodilac radova		Matična fabrika						Nadzor

Slika 4.6. List kontrole montaže energetske transformatora

4.3

FUNKCIONALNO ISPITIVANJE ELEKTRO-ENERGETSKE OPREME U ELEKTRANAMA



Ispitivanja uključuju sve aktivnosti predviđene za provjeru pogona ili električnog, mehaničkog i toplotnog stanja električne opreme ili električnog postrojenja, kao i provjeru djelovanja električnih zaštitnih ili sigurnosnih strujnih krugova.

Električna ispitivanja smiju izvoditi samo osposobljene stručne osobe uz primjenu odgovarajućih zaštitnih mjera za date uslove rada.

Prije početka ispitivanja elektroenergetskih uređaja i opreme neophodno je detaljno upoznavanje sa tehničkim opisom, izvedenim proračunima, jednopolnim šemama, šemama djelovanja i vezivanja, planom polaganja i povezivanja kablova, dispozicijom (prostornim rasporedom) opreme i postrojenja, specifikacijama opreme, osnovnim karakteristikama i elementima tehnološkog procesa, potrebama i rokovima puštanja pojedinih djelova i postrojenja u pogon, posebnim zahtjevima investitora i nadzornih organa (ako ih ima), isporučiocima opreme i učesnicima u montaži opreme, prethodnim ispitivanjima i ostalim elementima i podacima potrebnim za kvalitetna, kvantitetna i brza planirana ispitivanja.

Ispitivanja propisanih svojstava i karakteristika elektroenergetske opreme i električnih instalacija sprovode se:

- **vizuelnim pregledom**, koji obuhvata postupke kojima se utvrđuje: usklađenost opreme sa zahtjevima sigurnosti i normama, korektan odabir opreme i montaže i vidljive greške i oštećenja,
- **provjeravanjima**, koja sadrže radnje kojima se utvrđuje da li ugrađena oprema odgovara propisanim normama, odnosno da li uređaji mogu ispuniti svoju svrhu,
- **mjerenjima**, koja uključuju utvrđivanje određenih fizičkih veličina i svojstava koja omogućavaju siguran i ispravan rad instalacija koje se ne mogu provjeriti ni pregledom, ni provjeravanjem, već samo upotrebom odgovarajućih mjernih instrumenata.

Vizuelni pregled se mora obaviti prije provjeravanja i mjerenja.

Postoje različite vrste ispitivanja, kao što su: fundamentalna ispitivanja, razvojna ispitivanja, ispitivanja u proizvodnji i sl. Ispitivanja u proizvodnji mogu biti ispitivanja pri preuzimanju i ispitivanja koja se vrše u toku eksploatacije uređaja – eksploataciona (funkcionalna) ispitivanja. Funkcionalno ispitivanje može biti funkcionalno inicijalno ispitivanje, ispitivanje nakon zamjene, rekonstrukcije ili remonta, periodično ispitivanje i sl. U toku eksploatacije mogu se vršiti i profilaktička ispitivanja.

Funkcionalno (inicijalno) ispitivanje predstavlja ispitivanje koje se mora sprovesti tokom ugradnje (ako je to praktično izvodljivo), kao i prije puštanja u pogon. Ovim ispitivanjem se utvrđuju eventualni poremećaji ili oštećenja prilikom transporta ili montaže i provjerava se da li su performanse uređaja tačno podešene. Pri ovom ispitivanju ispitno osoblje mora imati na raspolaganju sva potrebna dokumenta, nacрте i druge informacije potrebne za funkcionalno ispitivanje. Prilikom funkcionalnog ispitivanja potrebno je preduzeti sve mjere zaštite ljudi i ostalih živih bića, kao i štete za opremu i ostala materijalna dobra. Ispitivanje smiju obavljati samo obučene stručne osobe. Nakon obavljenog funkcionalnog ispitivanja ispitno osoblje mora odmah podnijeti detaljan pisani izvještaj.

Ispitivanja nakon zamjene, rekonstrukcije ili remonta su ista kao i funkcionalna ispitivanja, samo što ona obuhvataju samo područje zamijenjenog, rekonstruisanog ili remontovanog dijela instalacija, kao i djelova instalacija na koje su ove radnje uticale.

Periodična ispitivanja sadrže detaljna ispitivanja svojstava opreme i uređaja bez oštećenja ili djelimično oštećena, koja moraju da omogućе:

- sigurnost ljudi i ostalih živih bića od opasnosti od električnog udara i opekotina,
- zaštitu opreme od požara i štetnih toplotnih uticaja u slučaju kvara u instalaciji,
- utvrđivanje mogućih oštećenja ili pogoršanja u instalaciji koja bi smanjila postignuti stepen sigurnosti.

Kao i kod drugih ispitivanja, prije njihovog početka treba preduzeti zaštitne mjere za sprečavanje nastanka opasnosti po ljude i ostala živa bića, kao i oštećenje imovine i opreme. Kod izvođenja ovih ispitivanja uvijek treba primjenjivati i koristiti izvještaje sa prethodnih periodičnih ispitivanja. Ukoliko takvi izvještaji ne postoje, moraju se sprovesti sva ispitivanja kao kod funkcionalnog (inicijalnog) ispitivanja, nakon kojih se mora podnijeti detaljan pisani izvještaj.

Profilaktička ispitivanja sprovode se periodično u toku eksploatacije sa ciljem provjere opšteg stanja opreme i uređaja. Njima se utvrđuje postojanje oštećenja u što ranijem stadijumu, kako bi se izbjegle kasnije ozbiljnije havarije. Izmjereni parametri pri ovim ispitivanjima upoređuju se sa izmjerenim vrijednostima pri prethodnim kontrolama i ispitivanjima ili tokom prijemnih ispitivanja.

4.4

ISPITNI PROTOKOLI FUNKCIONALNIH I ZAVRŠNIH ISPITIVANJA ELEKTROENERGETSKE OPREME

Elektroenergetska oprema i elektro postrojenja moraju, pored referentnih dokumenata (kao što su: projekat, tehnički opisi, primijenjene norme i standardi, podaci proizvođača za dati proizvod, građevinske, upotrebne i ostale dozvole, rezultati vizuelnog pregleda, način održavanja nakon ugradnje i sl.) imati i svoj ispitni list, koji, po pravilu, sadrži:

- naziv investitora ili vlasnika,
- naziv objekta/građevine/instalacije,
- lokaciju objekta,
- primijenjene propise,
- datum ispitivanja,
- vrstu ispitivanja (za vrijeme izgradnje ili montaže, pri preuzimanju, pri redovnom održavanju, nakon havarijskih popravki i sl.).


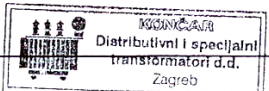
Nakon završenih ispitivanja elektroenergetske opreme i uređaja, sastavljaju se izvještaji o ispitivanjima napravljeni prema obrascima zasnovanim na postojećim normama i standardima. Izvještaji na utvrđenim obrascima pišu se samo ako je ispitivana oprema ispravna i pogodna za eksploataciju. U slučaju bilo kakve neispravnosti opreme piše se kratko obavještenje sa tačnim navođenjem što je neispravno.



Do zaključka da je oprema pogodna za eksploataciju dolazi se na osnovu upoređivanja rezultata dobijenih ispitivanjima sa važećim standardima, propisima i fabričkim podacima uz razmatranje rezultata svih provedenih nadgledanja, podešavanja i ispitivanja.



Na primjer, u ispitnom listu energetskih transformatora, pored naziva proizvođača, tipa, osnovnih karakteristika i fabričkog broja proizvoda, nalaze se navedeni i svi oblici ispitivanja, ispitni protokoli i standardi po kome se vrše ispitivanja. Radi ilustracije (na Slici 4.7) data je kopija ispitnog lista transformatora (slično se radi za svu opremu i uređaje) koja se koristi u Končaru, Zagreb, prilikom ispitivanja energetskih transformatora.

		ISPITNI LIST TRANSFORMATORA		Stranica : i	
T R A N S F O R M A T O R			Tip : TRP 20000-123/BZ Tvornički broj : ET0259 - 462659		
RUTINSKA ISPITIVANJA:		ISPITNI PROTOKOL BR.		Stranica :	
STANDARD					
Mjerenje prijenosnog omjera i provjera grupe spoja	462659	3,4 / 10	IEC 60076-1 (10.3)		
Mjerenje otpora namota	462659	3,4,5 / 10	IEC 60076-1 (10.2)		
Mjerenje napona kratkog spoja i gubitaka zbog tereta	462659	6,7 / 10	IEC 60076-1 (10.4)		
Mjerenje struje i gubitaka praznog hoda	462659	8 / 10	IEC 60076-1 (10.5)		
Mjerenje struje magnetiziranja kod 400 V, 50 Hz	462659	8 / 10			
Mjerenje otpora izolacije	462659	9 / 10	IEC 60076-1 (10.1.3)		
Ispitivanje stranim naponom	462659	9 / 10	IEC 60076-3 (11)		
Ispitivanje izolacije induciranim naponom	462659	9 / 10	IEC 60076-3 (12)		
Provjera rada regulacione sklopke	462659	9 / 10	IEC 60076-1 (10.8)		
Funkcionalna provjera zaštitnih uređaja i sistema hlađenja prema CS2261	462659	9 / 10			
Mjerenje parcijalnih izbijanja (ACSD test)	462659	10 / 10	IEC 60076-3 (12)		
Ispitivanje udarnim naponom	1339	---	IEC 60076-3 (13)		
Mjerenje dielektrične čvrstoće ulja	462659	dodatak 1	IEC 60156		
Ispitivanje curenja transformatora	462659	dodatak 2			
SVA PROPISANA ISPITIVANJA I MJERENJA SU PROVEDENA. TRANSFORMATOR JE PROŠAO ISPITIVANJA, A MJERENJA SU UNUTAR SPECIFICIRANIH TOLERANCIJA					
Ispitivanje je izvršeno u prisutnosti :					
Ispitao : V. Gobjević, dipl.ing.		Pregledao : N. Maljković, dipl.ing.		Datum i žig : 28.11.2011.	
					
				ISPITNA STANICA TESTING STATION	
				3	

Slika 4.7. Primjer Ispitnog lista energetskog transformatora

Za sve vrste predviđenih ispitivanja postoje tačno utvrđeni ispitni protokoli po kojima se vrše. Na primjer, nakon obavljenog periodičnog ispitivanja treba odmah sačiniti pisani izvještaj, koji, po pravilu, sadrži:

- popis svih radnji i rezultate vizuelnog pregleda,
- popis svih provjera i rezultate tih provjera,
- rezultate svih obavljenih mjerenja sa zaključcima,
- ocjenu usklađenosti instalacije sa zahtjevima pravilnika, normi, standarda i sl,
- preporuke za otklanjanje nedostataka,
- eventualne preporuke za povećanje funkcionalnosti ili sigurnosti pogona, i sl.

Ovim izvještajem moraju se obuhvatiti sva uočena i evidentirana oštećenja, pogoršanja, kvarovi i opasna stanja, i on mora biti sastavljen i potpisan od posebno ovlaštene osobe osposobljene za ovu vrstu ispitivanja. Svi prethodno sačinjeni izvještaji i preporuke sa prethodnih periodičnih ispitivanja moraju se čuvati i biti sastavni dio materijala koji uvijek prati ispitivanu opremu.

4.5

VRSTE I PROCEDURE PREGLEDA, NADZORA I ODRŽAVANJE ELEKTROENERGETSKE OPREME I UREĐAJA U ELEKTRANAMA



U elektranama i njnim sastavnim djelovima postoji veliki broj razne opreme i uređaja od čijeg normalnog funkcionisanja zavisi ispunjavanje postavljenih ciljeva. Zbog toga je veoma važno striktno se pridržavati propisanih procedura za njihovu nabavku, isporuku, montažu, nadzor, preglede, ispitivanja, održavanje i remonte.

Prvi korak u ostvarivanju postavljenih zadataka je nabavka i isporuka primarne električne opreme za elektrane i pripadna elektroenergetska postrojenja (generatori, energetska i mjerni transformatori, prekidači, rastavljači, srednjenaponska i visokonaponska razvodna postrojenja, pomoćni pogoni, AC i DC razvodna postrojenja, visokonaponski kablovi i sl.) uz prethodni nadzor kvaliteta pri njejoj eksploataciji.

Sljedeći korak je nadzor kod montaže primarne opreme u elektrani i elektroenergetskim postrojenjima.

Slijedi ispitivanje i puštanje u pogon elektroenergetske opreme, pojedinih dijelova i kompletnog postrojenja. Ispitivanja mogu biti: osnovna (vizuelni pregledi, probe i mjerenja), funkcionalna (inicijalna) i specijalistička.

U toku čitavog perioda eksploatacije elektroenergetskih postrojenja neophodno je redovno vršiti sve potrebne radnje za njihovo održavanje, planirane remonte i periodična ispitivanja.



Postupak i rokovi za vršenje periodičnih pregleda i ispitivanja sredstava za rad, sredstava i opreme lične zaštite na radu i uslova radne sredine za elektroenergetske objekte i instalacije precizno su definisani i vrše se u skladu sa usvojenim Pravilnikom, propisima o zaštiti na radu, standardima, tehničkim propisima, uputstvima proizvođača i sl. radi utvrđivanja da li je primijenjenim mjerama osiguran bezbjedan, pouzdan i siguran rad.

Periodični pregledi i ispitivanja određenih sredstava za rad vrše se dok su u mirovanju i u pogonu (statička i dinamička ispitivanja). Ovim periodičnim pregledima i ispitivanjima vrši se provjera funkcionalnosti njihovih dijelova, kao i mjerenja instrumentima i opremom, dok su bez opterećenja i pri najvećem dopuštenom opterećenju, po redosljedu korišćenja koji je tehnološko-konstruktivski određen, uz upotrebu svih naprava i alata koji se koriste na određenom sredstvu za rad.



Za vrijeme pregleda i ispitivanja određenih sredstava za rad moraju se primjenjivati **mjere zaštite na radu**, a naročito u pogledu postavljanja zaštitnih naprava i bezbjednog načina rada lica koje vrši pregled i ispitivanje.

Periodični pregledi i ispitivanja elektroopreme i instalacija vrše se:

- prije puštanja u rad,
- nakon rekonstrukcije ili adaptacije,
- nakon prestanka korišćenja u trajanju duže od šest mjeseci i
- u roku od 24 mjeseca od prethodnog pregleda i ispitivanja.

Održavanje elektroenergetske opreme je skup tehničkih i administrativnih djelatnosti, sa ciljem da se oprema održi ili ponovo „vrati“ u pogonski traženo stanje u kojem može obavljati namijenjenu funkciju. Postoje dvije vrste radova u održavanju:

- radovi kod kojih je prisutan rizik od električnog udara ili luka i gdje se moraju primijeniti propisani radni postupci pri radu u tim uslovima (pravila za rad u stanju bez napona, za rad pod naponom ili za rad u blizini djelova pod naponom) i
- radovi kod kojih konstrukcija uređaja omogućava određeno održavanje bez opasnosti od električnog udara ili luka.

Osoblje koje izvodi radove mora biti osposobljeno za siguran rad. Mora biti opremljeno odgovarajućim priborom, koristiti prikladan alat, mjerne i ispitne uređaje kao i ličnu zaštitnu opremu. Sva oprema mora se redovno testirati i održavati u ispravnom stanju.

Održavanje se sastoji iz:

- dijagnostike, koja se dijeli na: preglede i provjere, ispitivanja i nadgledanja (monitoring) i
- radova, koji se mogu obavljati u toku pogona (pregled i provjere) ili kada je oprema van pogona (revizija, remont i popravak).

Dijagnostika elektroenergetske opreme podrazumijeva pravovremeno ili periodično određivanje stanja opreme (i sastavnih djelova) sa ciljem procjene pouzdanosti daljeg pogona i/ili predlaganja načina i obima servisiranja.

Pregled i provjere obuhvataju periodična vizuelna ispitivanja osnovnih osobina opreme, kao i provjeru funkcionalnosti, podešenosti i tačnosti. Vrše se za vrijeme pogona (pod naponom).

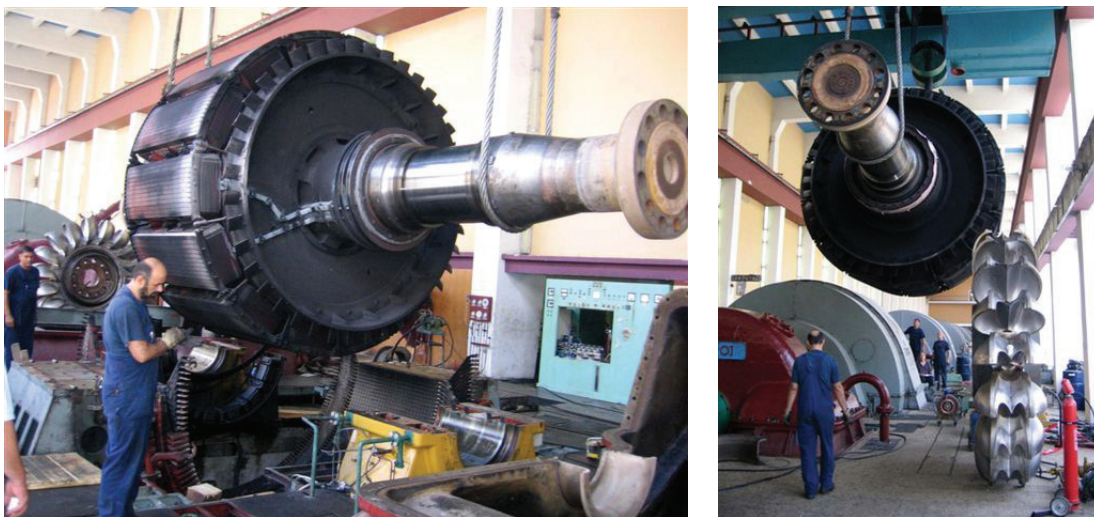
Nadgledanje (monitoring) obuhvata aktivnosti koje se vrše ručno ili automatski (očitanjem mjernih instrumenata i signalizacije), a u cilju praćenja stanja opreme. Izvodi se dok je oprema u pogonu. Kontinuirano posmatranje mjernih instrumenata naziva se i kontinuirano nadgledanje.

Dijagnostička ispitivanja su uporedna ispitivanja karakterističnih parametara opreme kako bi se potvrdila njihova funkcionalnost. Izmjerene veličine upoređuju se sa specificiranim ili prethodno izmjerenim veličinama (npr. veličinama izmjerenim tokom rutinskih ispitivanja, ili ispitivanja prilikom puštanja u pogon). Dijagnostička ispitivanja obično se izvode na opremi koja je van pogona, međutim postoji mogućnost da se neka ispitivanja vrše i za vrijeme pogona.

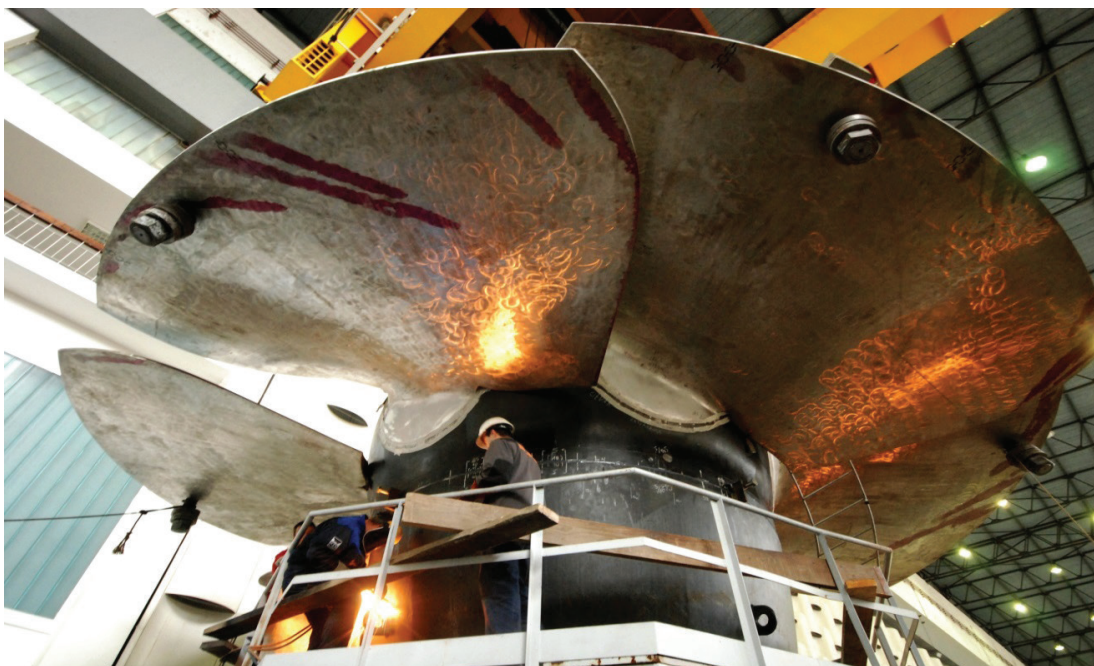
Revizija sadrži radove koji se obavljaju na opremi prema unaprijed definisanim redosljedu i terminu. Uz preglede i provjere koji se ne mogu obaviti tokom pogona, izvode se mjerenja i tzv. nerazorna (nedestruktivna) ispitivanja, kako bi se pouzdano odredilo njeno stanje, a vrši se i čišćenje, podmazivanje i zamjena istrošenih djelova.

Remont sadrži složenije radove na opremi u svrhu popravki ili zamjene elemenata za koje je pregledom, ispitivanjem ili mjerenjem pokazano da odstupaju od uobičajenih/zadatih vrijednosti. Remontom se ne mijenjaju tehničke karakteristike i funkcionalnost uređaja i opreme. On se vrši u beznaponskom stanju dotičnog dijela postrojenja.

Na Slici 4.8 je prikazan dio postupka pri remontu i popravci rotora hidrogeneratora, dok je na Slici 4.9 prikazan dio postupka pri remontu radnog kola hidraulične turbine.



Slika 4.8. Remont rotora hidrogeneratora



Slika 4.9. Remont radnog kola hidraulične turbine

Svake godine na svakom bloku elektrane obavljaju se obavezni remont, i to u najpovoljnijem vremenu sa stanovišta potrošnje i moguće proizvodnje električne energije.

Popravak se preduzima nakon kvara opreme, a u svrhu ponovnog uspostavljanja njenih normalnih funkcionalnih svojstava. Radovi na otklanjanju kvarova, po pravilu, sastoje se iz više koraka:

- utvrđivanje mjesta kvara,
- popravak kvara ili zamjena komponenti ili čitavog uređaja,
- ponovno stavljanje opreme i instalacija u pogon.

Otklanjanje kvarova, zamjena dijelova i ponovno stavljanje u pogon uređaja i instalacija mora se obaviti u skladu sa zahtjevima proizvođača opreme.

Efikasnost održavanja prvenstveno zavisi od izrade pogonskih uputstava od strane proizvođača i njihovoj primjeni od strane korisnika.

Radi pravilnog održavanja i korišćenja elektroenergetskog postrojenja i njegove veće pogonske sigurnosti svako postrojenje mora imati sređenu tehničku dokumentaciju. Tehnička dokumentacija, u zavisnosti od značaja i veličine postrojenja, po pravilu, sadrži:

- glavne karakteristike objekta, postrojenja, mašina i aparata,
- uputstva za pogon objekta i postrojenja,
- uputstva za održavanje objekata i postrojenja,
- uputstva za reviziju objekata i postrojenja,
- uputstva za remont objekata i postrojenja,
- rokovnik sistematskog održavanja kojim se regulišu pojedini redovni poslovi (npr. podmazivanje, zamjena ulja, ispitivanje ulja, zamjena pojedinih dijelova i sl.),
- dosije osnovnog objekta, mašine ili aparata sa šemom postrojenja sa osnovnim podacima,
- dosije građevinskog objekta ili njegovih dijelova, sa lokacijom objekta, nosivosti terena, geološkim sastavom zemljišta, hidrološkim i meteorološkim prilikama, situacionim planom objekta, planom temelja i dijelova u zemlji i sl.



Sve izvršene radnje na održavanju, sva ispitivanja i njihovi rezultati i sve promjene, rekonstrukcije, havarije i njihovi uzroci ili bilo kakvi radovi koji mijenjaju osnovne karakteristike objekta, moraju se unijeti u zapisnike i čuvati u odgovarajućem dosijeu.

4.6

PRAVILA ZAŠTITE I PRIMJENA ZAŠTITNIH MJERA I SREDSTAVA ZAŠTITE NA RADU U ELEKTRANAMA

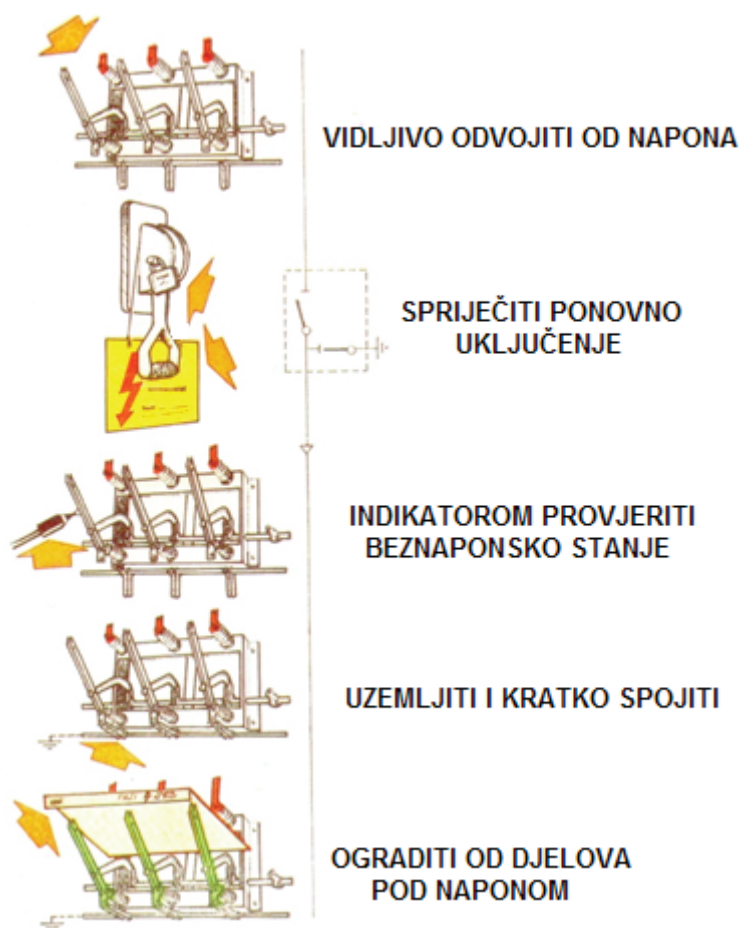
Prilikom rada i korišćenja električnih uređaja, postrojenja i instalacija zaposleni je izložen nizu opasnosti od mogućih povreda visokim naponom i električnom strujom. U zavisnosti od načina na koji čovjek može doći u dodir sa djelovima pod naponom, postoje sljedeći izvori opasnosti:

- direktan dodir dijelova postrojenja pod naponom,
- približavanje djelovima postrojenja pod visokim naponom,
- previsoki dodirni napon kao posljedica kvara na izolaciji električnih uređaja niskog napona,
- previsoki napon dodira i napon greške usljed prolaska struje kroz uzemljenje,
- indukovani napon,
- prelaz visokog napona na postrojenja niskog napona,
- električni luk,
- uticaj električnog i magnetnog polja na čovjeka,
- zaostali napon,
- uticaj elektrostatičkog polja,
- atmosferski prenaponi i sl.



Pri izvođenju radova u elektroenergetskim postrojenjima neophodno je na odgovarajućem i dovoljno uočljivom mjestu u elektroenergetskom objektu postaviti jednopolnu šemu postrojenja, uputstvo za pružanje prve pomoći pri nesreći koju izaziva električna struja, tablicu sa pravilima koja se odnose na rad i manipulaciju u postrojenjima tzv. zlatnim pravilima i obavještenje o obaveznoj primjeni sredstava lične zaštite.

„Zlatna pravila“ za rad i manipulacije u elektroenergetskim postrojenjima, koja se primjenjuju radi obezbjeđenja mjesta rada od djelovanja visokog napona, tj. za rad u beznaponskom stanju (Slika 4.10):



Slika 4.10. „Zlatna pravila“ za rad i manipulacije u elektroenergetskim postrojenjima

- 1. Vidljivo odvojiti od napona.** Isključenje obaviti uz vidljivo odvajanje od napona (prekid napajanja), koje se ostvaruje:
 - a. prekidačem i rastavljačem,
 - b. rastavnom sklopkom,
 - c. vađenjem umetka osigurača i sl.
- 2. Spriječiti ponovno (slučajno) uključenje,** koje se ostvaruje:
 - a. blokiranjem pogonskih mehanizama,
 - b. uklanjanjem topljivih umetaka osigurača,

- c. uklanjanjem poluga i ručica za manipulaciju,
- d. stavljanjem izolacionih umetaka,
- e. blokadom uključenja prekidača,
- f. blokadom APU i sl.

Obavezno je postavljanje tablice sa zabranom pristupa.

3. Indikatorom provjeriti beznaponsko stanje. Beznaponsko stanje utvrđuje se na svim provodnicima koji su u normalnom pogonu pod naponom, a obuhvaćeni su postupkom uzemljivanja i kratkospajanja.

4. Uzemljiti i kratko spojiti:

- a. na mjestima odvajanja od napona,
- b. u blizini mjesta rada gdje je potrebno beznaponsko stanje zbog ovih radova,
- c. na mjestu rada, na svim provodnicima koji su u normalnom pogonu pod naponom.

Uzemljenje i kratko spajanje sprovodi se zemljospojnicama ili prenosnim napravama za uzemljivanje i kratkospajanje.

5. Ograditi od djelova pod naponom. Ova mjera sprovodi se primjenom ograda, traka, zastavica, užadi, svjetlosne i zvučne signalizacije i sl.



Na vidnim djelovima postrojenja treba postaviti tablice za upozorenje na opasnost od dodira i približavanja djelovima pod naponom (Slika 4.11). Treba postaviti i natpise koji označavaju namjenu pojedinih ćelija, prostoriya, priključaka i sl.



Slika 4.11. Primjer tablice upozorenja na opasnost od visokog napona

Hodnici i prostorije u energetskim postrojenjima u zgradama treba da su dovoljno široki i visoki. U njima se ne smiju nalaziti predmeti i oprema koji bi mogli da ometaju normalnu komunikaciju. Vrata zatvorenih električnih pogonskih prostorija treba da se iznutra otvaraju samo kvakom a spolja specijalnim ključem.

Zaštitna sredstva za rad u elektroenergetskim objektima koriste se radi zaštite života ili pojedinih djelova tijela zaposlenih koji rade na izgradnji, rukovanju i održavanju elektroenergetskih postrojenja visokog i niskog napona od udara električne struje, od vremenskih nepogoda, i od drugih štetnosti i opasnosti.

Prema stepenu zaštite koju pružaju, zaštitna sredstva se dijele na **osnovna** i **dopunska**.

D

Osnovna sredstva zaštite na radu su sredstva koja kod propisane primjene pružaju dovoljnu bezbjednost u obavljanju radnih zadataka.

Ona se dimenzionišu prema nominalnom naponu postrojenja.

U ova sredstva, za postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V, ubrajaju se: zaštitni izolacioni šljem, izolaciona motka za pogonske manipulacije (operativne, mjerne, remontne), izolaciona motka sa tinjalicom za ispitivanje beznaponskog stanja (indikator napona) i izolaciona kliješta za skidanje visokonaponskih osigurača (Slika 4.12).



a) izolacioni šljem

b) elektroizolacione motke

c) izolaciona kliješta

Slika 4.12. Osnovna sredstva zaštite na radu

D

Dopunska zaštitna sredstva služe kao dopuna za pojedinačno djelovanje osnovnih zaštitnih sredstava ili ostalih tehničkih mjera zaštite na radu.

Dimenzionišu se prema nominalnom naponu osnovnih zaštitnih sredstava sa kojima se zajedno koriste. U njih se ubrajaju: izolacione gumene rukavice, izolaciona gumena obuća (cipele-kaljače i čizme), izolacioni gumeni prostirač i sl. (Slika 4.13).



a) gumene rukavice

b) gumena obuća

c) gumeni prostirač

Slika 4.13. Dopunska zaštitna sredstva

Dozvoljena je primjena i korišćenje samo ispravnih sredstava lične zaštite i zaštitne opreme, uz uslov da je obezbijedeno uputstvo za korišćenje i izvještaj – atest o rezultatima ispitivanja.



4.1.

1. Napravi pregled osnovnih elektroenergetskih uređaja u elektranama.
2. Nacrtaj jednopolnu šemu jednog bloka hidroelektrane sa osnovnom elektroenergetskom opremom.
3. Usporedi osnovne karakteristike hidrogeneratora i turbogeneratora.

4.2.

1. Objasni postupak pripremnih elektromontažnih radova.
2. Opiši postupak montiranja i demontiranja elektroenergetske opreme u elektranama na zadatom primjeru (hidrogenerator, turbogenerator, energetska transformator, prekidač, rastavljač, odvodnik prenapona i sl.).
3. Napravi pregled uobičajenog redosljeda montaže pojedinih energetska elemenata.
4. Opiši svrhu i osnovni sadržaj lista kontrole montaže elektroenergetske opreme.

4.3.

1. Objasni pojam funkcionalnog (inicijalnog) ispitivanja.
2. Opiši postupak funkcionalnog ispitivanja elektroenergetske opreme u elektranama.
3. U čemu je prednost periodičnih ispitivanja?
4. Opiši postupak vizuelnog pregleda.
5. Objasni postupak profilaktičkih ispitivanja.

4.4.

1. Napravi pregled osnovnog sadržaja Ispitnog lista elektroenergetske opreme.
2. Navedi argumente na osnovu kojih se dolazi do zaključka da je oprema pogodna za eksploataciju.
3. Opiši sadržaj pisanog izvještaja nakon obavljenog periodičnog ispitivanja.

4.5.

1. Kritički procijeni vrste i procedure pregleda, nadzora i održavanja opreme u elektranama.
2. Navedi razlike između statičkih i dinamičkih ispitivanja opreme.
3. Navedi redosljed periodičnih pregleda i ispitivanja elektroopreme i instalacija.
4. Napravi pregled vrsta radova u održavanju opreme.
5. Navedi razlike između dijagnostike, pregleda i provjere i monitoringa opreme.
6. Definiši pojam remonta elektroenergetske opreme u elektranama.

4.6.

1. Nabroj moguće izvore opasnosti usljed kontakta čovjeka sa djelovima pod naponom.
2. Navedi sadržaj „Zlatnih pravila“ koja se primjenjuju radi obezbjeđenja mjesta rada od djelovanja visokog napona.
3. Napravi pregled osnovnih sredstva zaštite na radu.
4. Napravi pregled dopunskih zaštitnih sredstva.



REZIME

- Elektroenergetska oprema i uređaji predstavljaju veoma važan segment u funkcionisanju svih tipova elektroenergetskih objekata i postrojenja.
- Pravilan izbor, montaža i održavanje elektroenergetskih uređaja i opreme u skladu s tehničkim propisima iz oblasti elektrotehnike, preduslov su za odgovarajuće, tehnički sigurno i bezbjedno, funkcionisanje svih električnih sistema.
- Postojećim tehničkim propisima zahtijeva se da se u toku izvođenja radova na ugradnji i održavanju elektroenergetskog postrojenja i opreme moraju provesti pregledi i ispitivanja radi provjeravanja i potvrđivanja usklađenosti izvedenog elektroenergetskog postrojenja i ugrađene električne opreme sa svim postojećim standardima, pravilima, propisima i tehničkim preporukama.
- Ispitivanja uključuju sve aktivnosti predviđene za provjeru pogona ili stanja električne opreme, kao i provjeru djelovanja električnih zaštitnih ili sigurnosnih strujnih krugova.
- Električna ispitivanja smiju izvoditi samo osposobljene stručne osobe, uz primjenu odgovarajućih zaštitnih mjera za date uslove rada.
- Prije početka ispitivanja treba preduzeti zaštitne mjere za sprečavanje nastanka opasnosti po ljude i ostala živa bića, kao i oštećenje imovine i opreme.
- Ispitivanja propisanih svojstava i karakteristika elektroenergetske opreme i električnih instalacija sprovode se: vizuelnim pregledom, provjeravanjima i mjerenjima. Vizuelni pregled mora se obaviti prije provjeravanja i mjerenja.
- Postoje različite vrste ispitivanja, kao što su: fundamentalna/funkcionalna ispitivanja, razvojna ispitivanja, ispitivanja u proizvodnji i sl.
- Funkcionalno ispitivanje može biti funkcionalno inicijalno ispitivanje, ispitivanje nakon zamjene, rekonstrukcije ili remonta, periodično ispitivanje i sl. U toku eksploatacije mogu se vršiti i profilaktička ispitivanja.
- Nakon završenih ispitivanja elektroenergetske opreme i uređaja sastavljaju se, prema obrascima zasnovanim na postojećim normama i standardima, izvještaji o ispitivanjima.
- Svaka vrsta predviđenih ispitivanja ima tačno utvrđene ispitne protokole po kojima se vrše određena ispitivanja.
- Do zaključka da li je oprema pogodna za eksploataciju dolazi se na osnovu upoređivanja rezultata dobijenih ispitivanjima sa važećim standardima, propisima i fabričkim podacima, uz razmatranje rezultata svih prethodno provedenih nadgledanja, podešavanja i ispitivanja.
- Sve izvršene radnje na održavanju, sva ispitivanja i njihovi rezultati i sve promjene, rekonstrukcije, havarije i njihovi uzroci ili bilo kakvi radovi koji mijenjaju osnovne karakteristike opreme i objekata, moraju se unijeti u zapisnike i čuvati u odgovarajućem dosijeju.
- Na vidnim djelovima postrojenja treba postaviti tablice za upozorenje na opasnost od dodira i približavanja djelovima pod naponom.
- Zaštitna sredstva za rad u elektroenergetskim objektima koriste se radi zaštite osoblja koje radi na izgradnji, rukovanju i održavanju elektroenergetskih postrojenja visokog i niskog napona od: udara električne struje, od visokih napona, od vremenskih nepogoda, od pada predmeta i od drugih štetnosti i opasnosti.



REZIME

- Prema stepenu zaštite koji pružaju, zaštitna sredstva dijele se na:
 - osnovna i
 - dopunska.
- Osnovna sredstva zaštite na radu su sredstva koja kod propisane primjene pružaju dovoljnu bezbjednost u obavljanju radnih zadataka.
- Dopunska zaštitna sredstva služe kao dopuna za pojedinačno djelovanje osnovnih zaštitnih sredstava ili ostalih tehničkih mjera zaštite na radu. Dimenzionišu se prema nominalnom naponu osnovnih zaštitnih sredstava sa kojima se zajedno koriste.

5.

Uticaji proizvodnje električne energije na okolinu

- Uticaji hidroelektrana na okolinu
- Uticaji termoelektrana na fosilna goriva na okolinu
- Nuklearne elektrane kao izvori zagađenja okoline



Z

Proizvodnja, transport i korišćenje energije u velikoj mjeri utiču na okolnu sredinu i ekosisteme. Apsolutno čista energija, bilo da se ona dobija od Sunca, vjetra, vode ili nekog drugog izvora, ne postoji.

Praktično nema ni jednog energetskeg objekta koji nema određene uticaje na okolnu sredinu. Kod energetskih postrojenja uticaj na okolinu je gotovo uvijek negativan, od direktnih ekoloških katastrofa poput izlivanja nafte, kiselih kiša i radioaktivnog zračenja do indirektnih posljedica poput globalnog zagrijavanja i sl.

Z

Trenutno su sa stanovišta uticaja na okolnu sredinu najopasniji izvori energije fosilna goriva, tj. ugalj, nafta i prirodni gas, a potencijalnu veliku opasnost predstavlja i iskorišćeno radioaktivno gorivo iz nuklearnih elektrana.

Osnovna opasnost fosilnih goriva ogleda se u tome što pri sagorijevanju ispuštaju u okolinu velike količine štetnih produkata sagorijevanja, dok je radioaktivni otpad opasan jer utiče na strukturu organizama na vrlo bazičnom nivou.

Uzimajući u obzir da će energetske potrebe čovječanstva nastaviti da rastu i u budućnosti, neophodno je sprovesti aktivnosti i mjere kojima bi se uticaj eksploatacije energije na okolinu smanjio na najmanju moguću mjeru.

Očigledno je da različiti izvori energije imaju različite uticaje na okolinu u kojoj se ti izvori energije proizvode, transportuju, transformišu ili koriste i da je neophodno poznavanje osnovnih karakteristika pojedinih izvora energije kao i njihovog pojedinačnog uticaja na okolinu.

Kao što je već navedeno, ogroman procenat svjetske energije još uvijek se dobija iz ekološki neprihvatljivih izvora energije, prije svega fosilnih goriva. Kako je osnova fosilnih goriva ugljenik, sagorijevanjem tog goriva nastaje ugljen-dioksid (CO_2) koji je osnovni gas staklene bašte. Ugljen-dioksid većinom završava u atmosferi (Slika 5.1). Zbog svojih negativnih efekata ovaj gas se smatra glavnim uzročnikom globalnog zagrijavanja. Još opasniji je gas ugljen-monoksid (CO), koji se oslobađa prilikom nepotpunog sagorijevanja goriva (sagorijevanja bez dovoljne količine kiseonika). Ugljen-monoksid je izuzetno otrovan gas bez boje, ukusa i mirisa, a koncentracija od samo 0,6% ima fatalne posljedice nakon samo 15 minuta udisanja.



Slika 5.1. Ispuštanje gasova staklene bašte u atmosferu usljed sagorijevanja fosilnih goriva

Na današnjem stepenu razvoja i korišćenja nijedno fosilno gorivo nije sasvim pročišćeno, pa se prilikom njihovog sagorijevanja ispuštaju još neki štetni gasovi, poput sumpor-dioksida ili azotnih oksida. Ti gasovi kasnije reaguju sa vodenom parom u oblacima i formiraju kapljice koje padaju na zemlju kao slabe sumporne i azotne kiseline, tzv. „kisele kiše“, koje djeluju veoma štetno na čitave ekosisteme koje zahvataju. Kisele kiše predstavljaju jedan od glavnih uzroka odumiranja šuma, jer ovako stvorene kiseline imaju veoma negativno dejstvo na čitavu floru na površini zemlje (Slika 5.2). Kisele kiše utiču na drastično smanjenje Ph vrijednosti vode, što utiče na pad kvaliteta pitke vode i do izumiranja mikroorganizama u vodi, što dodatno uzrokuje njeno zagađivanje. Kisele kiše su jedan od glavnih razloga smanjenja svjetskih zaliha pitke vode, a one utiču i na značajno zagađenje zemljišta.



Slika 5.2. Posljedice kiselih kiša na drveće u šumama

Kod sagorijevanja nekih izvora energije nastaju i sitne čestice minerala koje kasnije prave pepeo. Jedan dio tih čestica diže se i u atmosferu nošen vrtlogom dima. I te čestice su, po pravilu, takođe vrlo opasne za zdravlje.



Sve energetske i ekološke analize pokazuju da je procenat globalne upotrebe ekološki prihvatljivih obnovljivih izvora energije još uvijek nedovoljan i da ekološki problemi kao posljedica pretjerane upotrebe fosilnih goriva zaslužuju dodatnu pažnju ne samo sa energetske već i sa ekološkog gledišta.

Osnovni uticaju pojedinih izvora energije na okolnu sredinu su:

- **Fosilna goriva** imaju daleko najveći negativni uticaj na okolinu. Sagorijevanje fosilnih goriva (da bi se njihova energija u daljem procesu transformisala u električnu energiju), dovodi do ispuštanja u atmosferu ogromnih količina produkata sagorijevanja, prije svega ugljenika, koji se hiljadama godina taložio i nakon toga bio prekriven slojevima stijena i zemlje. Taj isti ugljenik sagorijevanjem fosilnih goriva u atmosferi stvara ugljen-dioksid koji je gas staklene bašte i, sa ostalim produktima sagorijevanja, znatno utiče na temperature na Zemlji i zagađivanje okolne sredine.
- **Bioenergija (biogoriva)** stvara slične probleme kao i fosilna goriva, ali budući da se proizvodnjom biogoriva zatvara tzv. ugljenikov ciklus, biogoriva su manje štetna od fosilnih goriva. Zatvaranje ugljenikovog ciklusa znači da biljke koje se koriste za proizvodnju biogoriva prilikom rasta iz atmosfere uzimaju određene količine ugljenika koji se kasnije vraća u atmosferu sagorijevanjem tih biogoriva. Kod fosilnih goriva taj krug nije zatvoren, tj. ugljenik se samo ispušta u atmosferu.
- **Solarna energija.** Iako Sunce ima ogroman energetske potencijal, zbog malog stepena iskorišćenja i male gustine po jedinici površine bilo bi potrebno prekriti velike površine kolektorima ili panelima/modulima da se dobije potrebna količina iskoristive (električne ili toplotne) energije. Takvo rješenje ekološki je prihvatljivo samo u područjima u kojima nema vegetacije, tj. u pustinjama. U tzv. „zelenim“ područjima to bi stvorilo prevelike negativne uticaje na okolinu. Inače, samo instaliranje solarnih kolektora ili solarnih ćelija na krovovima kuća gotovo da nema negativnog učinka (osim vizuelnih) na okolinu.

- **Energija vjetra.** Poznato je da sama proizvodnja električne energije iz energije vjetra nema ozbiljnijeg negativnog uticaja na okolinu. Gledano sa ekološkog aspekta, kao ozbiljnija zamjerka vjetroelektranama navodi se negativan uticaj na ptičje populacije, tj. elise vjetrenjača, okrećući se, ubijaju ptice. Kao manja zamjerka vjetroelektranama navodi se narušavanje estetskih vrijednosti prostora tj. vizuelno zagađivanje okoline, uništavanje netaknute prirode gradnjom pristupnih puteva do vjetrenjača i visokih tornjeva, kao i generisanje zvuka niske frekvencije koji negativno utiče na zdravlje ljudi (ometa spavanje, izaziva glavobolje, može izazvati anksioznost i sl.), a može uticati i na rad određenih aparata i uređaja.
- **Energija vode.** U stručnim krugovima smatra se da se iskorišćavanjem energije vode za dobijanje električne energije ne stvara nikakvo (ili malo) zagađenje okoline. Međutim, sami infrastrukturni objekti mogu znatno uticati na okolinu. Tako, gradnjom visokih brana, pored sigurnosnih problema, dolazi do plavljenja velike površine i dižu se nivoi podzemnih voda, a to može promijeniti cijeli lokalni biosistem. Dodatni problemi su presijecanje prirodnih tokova vode, presijecanje puta kretanja pojedinih vodenih životinja, vizuelno zagađenje okoline i sl.
- **Nuklearna energija.** Sam proces proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama je izuzetno čist proces. Nama gasova staklene bašte ili drugih zagađenja. Međutim, dolazi do zagrijavanje vode koja se koristi za hlađenje reaktora, pa to može uticati na biosisteme. Ipak, najveći izazovi su bezbjednost i odlaganje radioaktivnog otpada.
- **Geotermalna energija.** Korišćenjem geotermalne energije za dobijanje električne energije ne dolazi do zagađenja okoline. Međutim, kao i kod korišćenja ostalih izvora energije i kod iskorišćavanja geotermalne energije moraju se izgraditi infrastrukturni objekti. Smatra se da je uticaj tih objekata na okolinu zanemariv kad se gleda količina moguće proizvedene energije. Ovdje se javlja i problem uticaja raznih agresivnih materija i fluida na opremu i uređaje i potreba prečišćavanja pare.



Vodeći računa o sve većem porastu potreba za energijom, pa time i električnom energijom, kao i o navedenim negativnim uticajima pojedinih trenutno korišćenih izvora i izvora na čijem se znatno većem korišćenju intenzivno radi, čovječanstvo će u bliskoj budućnosti morati pronaći ekološki prihvatljivije izvore energije kojima će pokrивati svoje, sve veće, energetske potrebe.

Trenutno se, kao ekološki prihvatljivije rješenje, nude obnovljivi izvori energije. Ipak, nije za očekivati da će se ti izvori energije dovoljno brzo razviti i komercijalizovati da u bliskoj budućnosti u značajnijoj mjeri zadovolje rastuće energetske potrebe čovječanstva.

Osnovni razlozi za to su sljedeći: energija Sunca nema dovoljnu iskoristivost i još uvijek je skupa; energija vjetra, takođe je skupa, a nije svugdje dostupna u dovoljnim količinama; energetske potencijali vode već su u velikoj mjeri, naročito u visokorazvijenim zemljama, iskorišteni u ekonomski opravdanim granicama... Geotermalna energija se može u dovoljnoj mjeri i optimalno iskorištavati samo na relativno malom broju lokacija na Zemlji gdje toplotna energija iz unutrašnjosti Zemlje izlazi na površinu ili dolazi vrlo blizu površine. Energija plime i oseke, kao i energija talasa predstavljaju značajan potencijal, ali zbog male dostupnosti i cijene trenutno se izuzetno malo energije proizvodi iz tih izvora. Bioenergija (biogoriva)

se ozbiljno nameće kao zamjena za klasična fosilna goriva, ali ta goriva takođe u atmosferu ispuštaju gasove staklene bašte pa nijesu ekološki potpuno prihvatljiva.

Usprkos činjenici da su na nekim poljima postignuti značajniji napreci u pokušajima ako ne sprečavanja, a onda barem ublažavanja globalnih klimatskih promjena, sveopšti napredak još uvijek nije zadovoljavajući, tako da na tom polju još predstoji dosta istraživačkog i eksperimentalnog rada ako se žele riješiti mnogobrojni energetske i ekološki problemi.

5.1

UTICAJI HIDROELEKTRANA NA OKOLINU

U postupku pripreme, projektovanja i realizacije hidroenergetskih objekata redovno dolazi do niza problema, nesporazuma i nerazumijevanja oko značaja i načina rješavanja raznih uticaja hidroenergetskih postrojenja na okolnu okolinu.

Opšte je poznato da izgradnja HE, odnosno energetske iskorišćavanje vodotoka svake rijeke, donosi do više značajnih i neposrednih **prednosti**, kao što su:

- smanjenje mogućnosti od poplava,
- stvaranje preduslova za osposobljavanje zemljišta za razvoj poljoprivrede,
- poboljšanje ili omogućavanje plovnosti i poboljšanje vodenog transporta,
- stvaranje uslova za snabdijevanje stanovnika i industrije vodom,
- regulisanje povoljnog hidrološkog minimuma rijeke,
- proizvodnja električne energije i sl.

Međutim, ne treba zanemariti činjenicu da izgradnja hidroenergetskih postrojenja redovno ima i dosta **negativnih uticaja** i posljedica na prirodnu sredinu, kao što su:

- narušavanje prirodnih ljepota rijeke i uopšte okoline – vizuelni efekti (Slika 5.3),
- poremećaj života u rijekama i uticaj akumulacija na faunu i floru,
- erozija i urušavanje zemljišta na obalama akumulacija,
- problemi iseljavanja stanovništva iz potopljenog područja i njihovo zapošljavanje,
- mogućnosti promjene mikroklimatskih uslova u regionu,
- uticaj na podzemne tokove voda i pogoršanje uslova vodosnabdijevanja,
- postojanje opasnosti od seizmičkih aktivnosti i efekata,
- vremenske mogućnosti prilagođavanja stanovništva novim ekološkim uslovima, itd.

Ovaj grubi prikaz pozitivnih i negativnih efekata izgradnje HE pokazuje da se na neka suštinska pitanja u vezi sa izgradnjom HE može uticati samo ozbiljnim radom u procesu istraživanja, izrade studija i projektovanja, te da se na taj način većina preostalih otvorenih problema mogu eliminisati ili bar dovoljno ublažiti kompromisnim rješenjima tokom realizacije samih objekata.



Slika 5.3. Izgled djelimično ispražnjene akumulacije hidroelektrane

Poznato je da se, zavisno od prirodnih uslova odnosno karakteristika pojedinog područja ili regiona kroz koje protiče rijeka na kojoj se planira izgradnja HE, pojavljuje više složenih i različitih ekoloških problema. Dosadašnje iskustvo pokazuje da je jedini pravi put jedinstveno i kompleksno rješavanje višenamjenskog karaktera svake rijeke.

Pored uticaja eksploatacije osnovnih elemenata hidroenergetskih postrojenja, neophodno je istaći i još neke osnovne tehno-ekonomske karakteristike hidroenergetskih objekata koje su relevantne za pristup sveopštem sagledavanju problema zaštite i uređenja sredine, kao što su:

- hidroelektrane sa akumulacijama zahtijevaju izrazito velika investiciona ulaganja u relativno kratkom roku od 4 do 6 godina. Međutim, troškovi proizvodnje električne energije su mnogo manji nego kod termoelektrana, jer kod HE nema kasnijih troškova goriva;
- akumulacije po pravilu zauzimaju veliki prostor i imaju veoma naglašen posredan i neposredan uticaj na okolno područje;
- gotovo redovno se pojavljuju znatne oscilacije vode u akumulacijama, što je u neposrednoj vezi sa potrebama potrošača i režimom rada elektrane u energetsom sistemu. Zbog velikih i učestalih variranja nivoa vode u akumulaciji one mogu biti neprikladne za planiranje raznih drugih djelatnosti (turizam, rekreacija, sportovi na vodi i dr.);
- izgradnjom HE može doći do izmijenjenog režima voda u njihovoj gravitacionoj zoni, što se može odraziti na irigacione sisteme, poljoprivredu, rječnu plovidbu, i sl.;
- optimalni energetske projekti postrojenja HE najčešće diktiraju i sva ostala rješenja infrastrukture u prostoru akumulacija, zbog čega dolazi do izmještanja saobraćajnica, kulturno-istorijskih spomenika, a ponekada i željezničkih trasa, privrednih objekata, pa i čitavih naselja;
- znatno se otvara mogućnost zapošljavanja stanovništva u okviru regiona za vrijeme izgradnje hidroelektrana, dok se u periodu eksploatacije taj broj ograničava isključivo na kvalifikovane i stručne radnike;
- zemljište pored akumulacija znatno dobija na vrijednosti bilo da se nalazi neposredno uz jezero ili novi put, ili zbog nekog drugog sličnog razloga (voda za piće, trase dalekovoda, telefon i sl.);
- postojanje akumulacije omogućava kontrolu bujica i regulaciju vodotoka u slivnom području, čime se znatno smanjuje štetno dejstvo od erozije i poplava;
- za izgradnju HE potrebno je obaviti veliki obim pripremnih radova, što podrazumijeva i uređenje prostora sa odgovarajućom infrastrukturom i pratećim objektima i koji se nakon završetka izgradnje mogu koristiti za različite lokalne potrebe i sl.

Nabrojane karakteristike HE ukazuju na sljedeće činjenice:

- a) da je rješavanje inženjersko-tehničkih problema svake HE neodvojivo od paralelnog istraživanja i projektovanja svih ekoloških uticaja i da je postojeće probleme moguće prevazići samo uz interdisciplinarni timski rad stručnjaka različitog profila i odgovarajuće stručne osposobljenosti;
- b) da je na svim potencijalnim područjima ili regijama gdje se predviđa iskorišćenje vodnih potencijala potrebno organizovati, osposobljavati i usmjeravati odgovarajuće stručne kadrove i institucije koje će u svim fazama izrade projekata i njegove realizacije raditi na prilagođavanju novonastaloj prirodnoj situaciji.

Za male hidroelektrane se smatra da imaju još manji štetni uticaj na okolinu od velikih HE.

Kao osnovne prednosti malih hidroelektrana mogu se navesti:

- male hidroelektrane su ekološki vrlo prihvatljive jer pri proizvodnji električne energije nema emisije ugljen-dioksida u okolinu,
- njihovim korišćenjem smanjuje se potrošnja fosilnih goriva,
- pomažu u zaštiti od poplava,
- ne zahtijevaju korišćenje velikih površina,
- omogućavaju sigurnije i pouzdanije snabdijevanje električnom energijom,
- njihov stepen efikasnosti je do 90%,
- mali pogonski troškovi, visoki stepen automatizacije i sl.,
- pozitivan društveni uticaj na regiju (zapošljavanje i sl.).

Kada se govori o osnovnim nedostacima MHE neophodno je napomenuti da, iako u znatno manjoj mjeri u odnosu na velike HE (ne utiču na promjene vodotoka), postoji vjerojatnoća njihovog uticaja na lokalnu floru i faunu (migracije i povrede riba, kvalitet vode nizvodno i sl.). Zbog toga se kao mjere za zaštitu okoline predlažu: postojanje rezervnog toka, obezbjeđenje prolaza za ribe (riblje staze), jednostavniji načini za skupljanje i skladištenje smeća, postojanje višenamjenskih pogona, primjena novih tehnika za smanjenje buke i vibracije, korišćenje savremenijih „prijateljskih“ turbina za ribe, korišćenje tzv. bio-dizajna i sl.

Z

Treba voditi računa i da jedan GWh električne energije proizvedene u MHE znači:

- izbjegavanje emisije od 480 tona ugljen dioksida,
- snabdijevanje električnom energijom u toku jedne godine za oko 250 domaćinstava u razvijenim zemljama, a za oko 450 domaćinstava u zemljama u razvoju,
- uštedu oko 220 tona goriva ili uštedu oko 335 tona uglja, i sl.

5.2

UTICAJI TERMoeLEKTRANA NA FOSILNA GORIVA NA OKOLINU

!

Termoelektrane na fosilna goriva u procesu proizvodnje električne energije stvaraju ogromne količine otpadnih materijala, koje završavaju u okolini, čime dolazi do sve veće zagađenosti okoline (Slika 5.4). Od svih proizvođača električne energije, danas su termoelektrane na fosilna goriva najveći zagađivači životne okoline, uglavnom zbog dva osnovna efekta: stvaranje štetnih produkata pri sagorijevanju fosilnih goriva i stvaranje otpadne toplote.

U većini TE na fosilna goriva dominantno gorivo je uglj, čiji je osnovni sagorivi element ugljenik. Stoga u procesu sagorijevanja (transformacija hemijske energije goriva u unutrašnju energiju) nastaju velike količine ugljen-dioksida. Količina i sastav produkata sagorijevanja u kotlovima TE zavisi od fizičkih i hemijskih osobina goriva, kao i od korišćenog tehnološkog postupka. Štetni produkti sagorijevanja su naročito prisutni kod termoelektrana koje koriste loš kvalitet uglja (najčešće TE locirane na samim kopovima uglja ili u njihovoj neposrednoj blizini).



Slika 5.4. Izgled termoelektrane na fosilna goriva u toku rada

Z

U termodinamičkom ciklusu ovih termoelektrana gubi se oko 50% oslobođene toplotne energije iz uglja kao otpadna toplota. Ova toplota se prenosi na vode u rijekama, jezerima, morima i na okolni vazduh. Uzimajući u obzir da se još oko 15% energije gubi u dimnim gasovima, jasno je da se u ovim TE u električnu energiju pretvara samo oko trećina gorivom dovedene energije.

Z

Toksično dejstvo ugljen monoksida zasnovano je na činjenici da on s hemoglobinom u krvi gradi kompleksno jedinjenje karboksihemoglobin, i na taj način onemogućava snabdijevanje ćelija kiseonikom. Ako se 15–20% hemoglobina veže sa ugljen-monoksidom dolazi do trovanja, a veće koncentracije prouzrokuju smrt.

Glavni sagorivi djelovi goriva su: ugljenik (C), vodonik (H) i sumpor (S), koji u procesu sagorijevanja oksidiraju i prelaze u ugljen-monoksid (CO), ugljen-dioksid (CO₂), sumpor-dioksid (SO₂) i vodenu paru (H₂O). Zavisno od vrste upotrijebljenog goriva, u atmosferu se emituju i druge štetne supstance: azotni oksidi (NO_x), ugljovodonici (C_m H_n) i pepeo.

Na smanjenje količine emitovanih zagađivača kao što su sumpor-dioksid i azotni oksidi, može se uticati primjenom odgovarajućih tehnoloških postupaka, a jedan od načina za njihovo smanjivanje je i upotreba uglja sa što manjim sadržajem sumpora i ostalih primjesa (ukoliko postoji takva mogućnost).

Danas sve više zemalja donosi dosta rigorozne norme i standarde o dopuštenim koncentracijama zagađivača po jedinici proizvedene električne energije, što znatno utiče na cijenu njene proizvodnje.

Od svih zagađenja životne sredine (vazduh, voda, zamlja) najveća opasnost čovjeku prijete od zagađenosti vazduha (Slika 5.5), jer je vazduh element sa kojim čovjek ima stalan i veoma intenzivan kontakt.

Gasovi stvoreni u procesu sagorijevanja predstavljaju osnovne zagađivače vazduha. Procenat ovih gasova emitovanih u atmosferu zavisi od procenta pojedinih elemenata u gorivu.

Vazduh sa povećanim sadržajem sumpor-dioksida iritirajuće djeluje na disajne puteve a u većim koncentracijama dolazi do smrti usljed trovanja. Zabilježeno je više slučajeva u kojima je zagađeni vazduh sa dominantnim sadržajem sumpor-dioksida prouzrokovao povećanu smrtnost stanovništva.

Uticaj azotnih oksida je takođe štetan za disajne puteve. Pod uticajem Sunčevog zračenja dolazi do hemijske reakcije između azotnih oksida, ugljen-monoksida i ugljovodonika pa nastaje smog poznat kao „fotohemijski smog“ ili „smog losanđeleskog tipa“. Ovaj smog obično se javlja u velikom gradovima sa toplom i suvom klimom.



Slika 5.5. Zagađenje okoline od termoelektrane na fosilna goriva u radu

Uticaj ugljovodonika je različit. Jedni nadražuju disajne puteve kao npr. aldehidi, a drugi, kao policiklični ugljovodonici, imaju kancerogeno dejstvo. Najveće kancerogeno dejstvo, dokazano je, ima benzopiren.

Dejstvo toksičnih materija na životinjski svijet razlikuje se od njihovog dejstva na čovjeka. Zapaža se da je nestao veliki broj životinjskih vrsta u industrijalizo-

vanim oblastima, pri čemu se pretpostavlja da je glavni uzrok njihovog nestanka zagađeni vazduh. Neke vrste su doživjele promjene u svojoj populaciji (neke vrste leptira promijenile su boju i sl.), jer su izložene uticaju povećane zagađenosti vazduha.

Uticaj zagađenog vazduha na biljke je izraženiji jer one reaguju i na male koncentracije zagađivača. Od štetnih gasova najštetnije dejstvo na biljke ima sumpor dioksid, koji remeti proces fotosinteze, a u većim količinama izaziva i sušenje biljke.

Dejstvo azotnih oksida predstavlja takođe opasnost iako je njihova toksičnost manja od sumpor-dioksida. Azotni oksidi zajedno sa ugljovodonicima oštećuju biljke preko fotohemijske reakcije. Oštećenje flore je najizrazitije u centralnoj Evropi (Rurska oblast) gdje npr. borovi koji u normalnim okolnostima imaju visinu 20-ak metara, jedva dostižu 5 do 6 metara visine.

Kisele kiše, koje nastaju kada se slobodni nemetalni oksidi sumpora i azota vežu sa vodenom parom u atmosferi stvarajući sumporne i azotne kiseline, u obliku padavina dopijevaju na površinu Zemlje. Zbog veoma štetnog djelovanja ovih kiselina na čitavu floru (remete proces fotosinteze biljaka), kisele kiše predstavljaju jedan od glavnih uzroka odumiranja šuma. Kisele kiše, smanjenjem Ph vrijednosti u vodi, dovode i do izumiranja određenih mikroorganizama i do smanjenja zaliha pitke vode na svjetskom nivou.

Ugljen-dioksid je sastavni dio Zemljine atmosfere i bez njega ne bi bio moguć život na Zemlji. On predstavlja osnovni element u procesu fotosinteze gdje biljke pod uticajem Sunčevog zračenja za stvaranje organskih supstanci koriste ugljen-dioksid i vodu. Ugljen-dioksid se ne smatra zagađivačem (kao npr. sumpor-dioksid), jer u koncentracijama koje se pojavljuju u atmosferi ne djeluje štetno na zdravlje ljudi i životinja. Međutim, povećana emisija ugljen-dioksida u atmosferi može uticati na promjenu klime na Zemlji i na tzv. globalno zagrijavanje.

Z

Istraživanja su pokazala da se atmosfera prema Sunčevom zračenju ponaša kao propusno tijelo, a Zemlja kao crno tijelo. Kad nema oblaka, oko 65% dozračene energije apsorbuje Zemljina površina a 10% se reflektuje nazad u svemir. Kad je oblačno, taj odnos je 45%, odnosno 57%. Preostali dio energije apsorbuju prije svega CO₂ i vodena para, pa je emituju prema tlu omogućavajući održavanje visokih temperatura na zemljinoj površini. Ovaj efekat je nazvan „efekat staklene bašte“. Prvi put je opažen i zabilježen još 1827. godine, nakon čega su intenzivna istraživanja utvrdila veliki i značajan uticaj CO₂ na klimu na Zemljinoj površini.

Koncentracija CO₂ u atmosferi zavisi od inteziteta iskorišćavanja fosilnih goriva. Uz povećano korišćenje fosilnih goriva za dobijanje energije, povećava se i koncentracija CO₂. Zbog opasnosti da koncentracija CO₂ izazove porast temperature, što može prouzrokovati topljenje leda na polovima i porast nivoa vode u morima i okeanima, mora se odrediti gornja granica koncentracije CO₂ u atmosferi, koja se ne smije prekoračiti.

Pod tehničkim mjerama za smanjenje emisije zagađivača podrazumijevaju se sve raspoložive tehničke mogućnosti za smanjenje toksičnih materija u produktima sagorijevanja. Osnovne mjere koje se provode sa ovim ciljem su:

- prečišćavanje dimnih gasova (razne vrste filtera i sl.),
- prečišćavanje korišćenih goriva (osavremenjavanje postupka prečišćavanja i sl.),

- poboljšanje tehnološkog procesa (nove savremene tehnologije i sl.),
- povećanje visine dimnjaka,
- vođenje računa o ruži vjetrova i sl.

5.3

NUKLEARNE ELEKTRANE KAO IZVORI ZAGAĐENJA OKOLINE

Sva ispitivanja i analize pokazuju da je, zbog nepostojanja štetnih gasova staklene bašte i drugih oblika zagađivanja okoline (koji su prisutni kod većine ostalih postupaka dobijanja električne energije), sam proces proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama izuzetno čist proces. Kada su u pitanju nuklearne elektrane (Slika 5.6) kao izvor zagađivanja okoline, prije svega se misli na radioaktivno zračenje izazvano postojanjem i aktivnostima radioaktivnog goriva u ovim elektranama i u manjoj mjeri na zagrijavanje vode koja se koristi za hlađenje reaktora.

Kao mjerna jedinica radioaktivnog zračenja koristi se **rem** koja predstavlja dozu zračenja koja pod jednakim uslovima proizvodi isto biološko dejstvo kao i 1 rad (10^{-2} J/kg) γ zračenja. Osnova za utvrđivanje propisa za zaštitu od radioaktivnog zračenja su preporuke ICRP (International Council on Radiation Protection), prema kojima su propisane sljedeće dopuštene doze zračenja (odnos predate energije i mase elementa kojoj je ta energija dozračena):

1. 0,5 rem/god - za koštanu srž i polne organe,
2. 1,5 rem/god - za ostale organe pojedinačno,
3. 3,0 rem/god - za kožu, kosti i štitnu žlijezdu,
4. 7,5 rem/god - za mišiće ruku i nogu.



Slika 5.6. Nuklearna termoelektrana u pogonu

Radioaktivno zračenje različito djeluje na pojedine organe čovječjeg organizma. Djelovanje zračenja zavisi od napadnutog organa, od kojih su najosjetljiviji koštana srž i limfno tkivo, dok je najmanje osjetljivo mišićno tkivo. U slučaju udisanja radioaktivnih supstanci ili uzimanja hrane sa radioaktivnim supstancama najveću opasnost predstavljaju supstance koje emituju α i β čestice, zbog jonizacije koje one izazivaju.

Djelovanje radioaktivnog raspada i neutrona na ljudski organizam zavisi od vrste i brzine čestica, kao i od toga da li se izvor zračenja nalazi izvan ili unutar organizma.

U slučaju da se izvor zračenja nalazi izvan organizma, α čestice će biti zaustavljene u koži tijela, β čestice prodiru dublje u kožu, a γ zraci djeluje na cijelo tijelo. Spori neutroni će biti zaustavljeni u koži, a brzi neutroni prodiru u tkivo.

Osim toga, neki radioaktivni elementi naročito razorno djeluju na pojedine organe. Tako npr. plutonijum napada pluća (već manja količina od 100 μg je smrtonosna), jod štitnu žlijezdu, a stroncijum kosti. Značajan je i uticaj zračenja na mutacije u genima, koje izazivaju promjene u svojstvima materije.

U nuklearnoj elektrani prostor u kome se može nalaziti osoblje najčešće se dijeli na:

- prostor u kome je osoblje izloženo zračenju,
- prostor u kome osoblje nije izloženo zračenju. To je pogonsko područje elektrane, u kome postoji mogućnost godišnjeg zračenja od 0,5 rem, uz trajan boravak u tom prostoru.

Izvan kruga elektrane maksimalna dopuštena doza zračenja treba da iznosi 0,15 rem/god.

U nuklearnoj elektrani se kao izvori radioaktivnosti najčešće navode:

- primarni produkti raspada nuklearnog goriva i
- jezgra aktivirana apsorbcijom neutrona u rashladnom mediju.

Primarni produkti raspada ostaju u gorivim elementima, a veoma mali dio lako pokretljivih izotopa može, ako se ošteti košuljica rashladnog sredstva, doći u rashladno sredstvo. Za vrijeme prečišćavanja rashladnog sredstva preostaju određeni gasoviti i tečni otpaci.

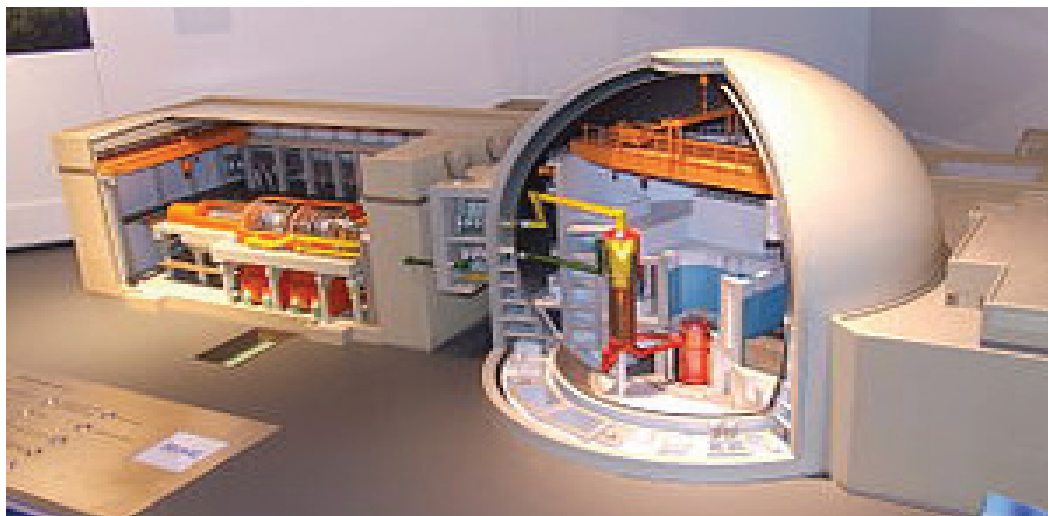
S obzirom na aktivnost zračenja u nuklearnoj termoelektrani postoje sljedeće četiri zone:

1. Gorivi elementi, sa košuljicama kao barijerama aktivnosti,
2. Primarni krug rashladnog sredstva, sa reaktorskom posudom i cjevovodima kao barijerama aktivnosti,
3. Prostor postrojenja, sa biološkim štitom kao barijerom aktivnosti i
4. Pogonske prostorije, sa reaktorskom zgradom kao barijerom aktivnosti.

Glavnu poteškoću za postizanje efikasne zaštite čine γ zraci i neutroni.

Kao zaštita od γ zraka koristi se: olovo, beton i željezo, a kao zaštita od neutrona: bor, voda i grafit.

Za smanjenje doze zračenja (koja je visoka u okolini reaktora) čitav reaktorski dio se, u cilju zaštite od zračenja, oblaže/izoluje betonom. Zaštita treba da bude sposobna da izdrži moguća mehanička i termička (termički štit) naprezanja. Prikaz jednog od izvedenih načina zaštite pojedinih elemenata NE pomoću betonskog oklopa dat je na Slici 5.7.



Slika 5.7. Zaštita elemenata NE pomoću betonskog oklopa

U prostoru postrojenja nalaze se generatori i pumpe rashladnog sredstva, i oni su izloženi intenzivnom zračenju. Pogonske prostorije su odijeljene od postrojenja biološkim štitom.

Da bi se spriječilo nekontrolisano ispuštanje vazduha van reaktorske zgrade u okolinu, pritisak u pogonskim prostorijama je veći nego u prostoru postrojenja, ali je niži od pritiska okoline.



Kao posljedica rada, havarija i remonta nuklearnih elektrana javljaju se razni radioaktivni otpaci, koji sadrže značajnu količinu energije i radioaktivnosti, a koji se mogu nalaziti u gasovitom, tečnom i čvrstom stanju. Obično se, prije odlaganja ovih radioaktivnih otpadaka, u cilju smanjenja njihove zapremine i olakšanja odlaganja, vrši njihova prerada, uz razdvajanje visoko aktivnih od manje aktivnih otpadaka.

Najveći problem stvaraju čvrsti radioaktivni otpaci, jer među njima ima veliki broj izotopa sa veoma dugim vremenom poluraspada (i više stotina godina). Zbog toga se deponovanju ovih otpadaka mora posvetiti posebna pažnja.

Problem deponovanja čvrstog radioaktivnog otpada rješava se na više načina, npr.:

- deponovanjem u okna napuštenih rudnika,
- deponovanjem u mora i okeane (na velikim dubinama),
- ukopavanjem u tlo (na velikim dubinama) i sl.

Pri deponovanju radioaktivnog otpada treba voditi računa da posude u koje se smještaju otpaci budu otporne na zračenje i na koroziju okolne sredine, a takođe i o mogućnosti pojave podzemnih voda, koje bi u nepovoljnim okolnostima, mogle radioaktivne otpatke iznijeti na površinu zemlje.

Vodeći računa o ogromnim i nesagledivim razmjerama i posljedicama koje može imati nuklearna katastrofa, preduzimaju se mnogobrojne mjere i aktivnosti u cilju smanjenja vjerovatnoće da dođe do takvih katastrofa. Na Slici 5.8 je prikazano pokrivanje u katastrofalnoj havariji oštećenog četvrtog reaktora u NE Černobil, sa ciljem da se spriječi dalje njegovo radioaktivno zračenje.



Slika 5.8. Pokriveni oštećeni četvrti reaktor u NE Černobil

Veliki problem nijesu samo moguće havarije u nuklearnim elektranama. Sa povećanjem broja godina od izgradnje i puštanja u pogon ovih elektrana, povećava se i potreba za njihovim češćim remontom i održavanjem, čime dolazi i do promjene određene opreme, zbog oštećenja, istrošenosti ili njihove zamjene novim, savremenijim elementima. Ovi promijenjeni elementi su, po pravilu, ozračeni i oni predstavljaju tzv. radioaktivni otpad. Odgovarajuće zbrinjavanje nuklearnog otpada (koji može biti vrlo štetan i opasan) predstavlja veoma veliki problem i odgovoran zadatak.

Za sada nema još potpuno sigurnog načina kojim bi se iskorišćeno nuklearno gorivo zauvijek neutralizovalo. Međutim, na ovome se i dalje veoma intenzivno radi i postoje pozitivni pomaci koji bi mogli smanjiti probleme skladištenja nuklearnog otpada. Ipak, još uvijek se razmatra koja su to najpogodnija mjesta za odlaganje radioaktivnog otpada. U ovu svrhu se zasad, iako to ne predstavlja i ne može biti kvalitetno dugoročno rješenje, najčešće koriste napušteni rudnici kao i ruralna i nenaseljena područja.



5.1.

1. Navedi argumente za pozitivne uticaje izgradnje hidroelektrana na okolinu.
2. Kritički procijeni osnovne negativne uticaje izgradnje hidroelektrana na okolinu.
3. Napravi pregled osnovnih uticaja malih hidroelektrana na okolnu sredinu.

5.2.

1. Kritički procijeni osnovne negativne uticaje izgradnje termoelektrana na fosilna goriva na okolinu.
2. Objasni pojmove: „ozonska rupa“, „kisele kiše“, „efekat staklene bašte“.
3. Navedi primjere tehničkih mjera za smanjenje emisije zagađivača.
4. Uporedi uticaj hidroelektrana i termoelektrana na okolinu.

5.3.

1. Kritički procijeni uticaj nuklearnih elektrana na okolinu.
2. Nabroj osnovne negativne uticaje izgradnje nuklearnih elektrana na okolinu.
3. Objasni djelovanje radioaktivnog zračenja na čovječji organizam.
4. Navedi primjere različitih načina rješavanja problema deponovanja čvrstog radioaktivnog otpada.



REZIME

- Proizvodnja, transport i korišćenje energije u velikoj mjeri utiču na okolnu sredinu i ekosisteme.
- Apsolutno čista energija, bilo da se ona dobija od Sunca, vjetra, vode ili nekog drugog izvora, ne postoji. Praktično nema nijednog energetskog objekta koji nema određene, manje ili veće, štetne uticaje na okolnu sredinu.
- Opšte je poznato da izgradnjom hidroelektrana, odnosno energetskim iskorišćenjem vodotoka svake rijeke, dolazi do više značajnih i neposrednih prednosti. Međutim izgradnja hidroenergetskih postrojenja redovno ima i dosta negativnih uticaja i posljedica na prirodnu sredinu. Za male hidroelektrane se smatra da imaju manji štetni uticaj na okolinu od velikih HE.
- Trenutno su, sa stanovišta uticaja na okolinu najopasniji izvori energije fosilna goriva, tj. ugalj, nafta i prirodni gas, a potencijalnu veliku opasnost predstavlja i iskorišćeno radioaktivno gorivo iz nuklearnih elektrana. Osnovna opasnost fosilnih goriva je u tome što pri sagorijevanju ispuštaju u okolinu velike količine štetnih produkata sagorijevanja, dok je radioaktivni otpad opasan jer utiče na strukturu organizama na vrlo bazičnom nivou.
- Termoelektrane na fosilna goriva u procesu proizvodnje električne energije stvaraju ogromne količine otpadnih materijala, koje završavaju u okolini, čime dolazi do zagađenosti okoline.
- Od svih zagađenja životne sredine (vazduh, voda, zamlja) najveća opasnost čovjeku prijete od zagađenosti vazduha, jer je vazduh element sa kojim čovjek ima stalan i veoma intenzivan kontakt.
- Osnovne tehničke mjere za smanjenje emisije zagađivača su: prečišćavanje dimnih gasova (razne vrste filtera i sl.), prečišćavanje korišćenih goriva (osavremenjavanje postupka prečišćavanja i sl.), poboljšanje tehnološkog procesa (nove savremene tehnologije i sl.), povećanje visine dimnjaka, vođenje računa o ruži vjetrova i sl.
- Sva ispitivanja i analize pokazuju da je, zbog nepostojanja štetnih gasova staklene bašte i drugih oblika zagađivanja okoline (koji su prisutni kod većine ostalih postupaka dobijanja električne energije), proces proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama izuzetno čist proces.
- Kod nuklearne elektrane izvor zagađenja okoline je radioaktivno zračenje izazvano postojanjem i aktivnostima radioaktivnog goriva u ovim elektranama a u manjoj mjeri i zagrijavanje vode koja se koristi za hlađenje reaktora.
- Radioaktivno zračenje različito djeluje na pojedine organe čovječjeg organizma. Djelovanje zračenja zavisi od napadnutog organa, od kojih su najosjetljiviji koštana srž i limfno tkivo, dok je najmanje osjetljivo mišićno tkivo. U slučaju udisanja radioaktivnih supstanci ili uzimanja hrane sa radioaktivnim supstancama najveću opasnost predstavljaju supstance koje emituju α i β čestice, radi jonizacije koje one izazivaju.
- Za smanjenje doze zračenja (koja je visoka u okolini reaktora) čitav reaktorski dio se, u cilju zaštite od zračenja, oklapa/izoluje betonom. Zaštita treba da bude sposobna da izdrži moguća mehanička i termička (termički štiti) naprezanja.
- Kao posljedica rada, havarija i remonta nuklearnih elektrana javljaju se razni radioaktivni otpaci koji sadrže izotope sa veoma dugim vremenom poluraspada (i više stotina godina), i koji sadrže značajnu količinu energije i radioaktivnosti. Zbog toga se deponovanju ovih otpadaka mora posvetiti posebna pažnja.

6

Elektroenergetski sistem Crne Gore

- Osnovne karakteristike i objekti elektroenergetskog sistema Crne Gore
- Karakteristike velikih hidroelektrana u elektroenergetskom sistemu Crne Gore
- Karakteristike malih hidroelektrana u elektroenergetskom sistemu Crne Gore
- Karakteristike termoelektrane u elektroenergetskom sistemu Crne Gore
- Karakteristike i tendencije bilansa proizvodnje i potrošnje električne energije u elektroenergetskom sistemu Crne Gore



Osnovne djelatnosti EPCG su:

- proizvodnja električne energije,
- snabdijevanje električnom energijom,
- kupoprodaja električne energije,
- izgradnja i održavanje elektroenergetskih objekata,
- projektovanje i nadzor i
- druge djelatnosti propisane Statutom EPCG.

Z

Radi obavljanja osnovne privredne djelatnosti proizvodnje i snabdijevanja električnom energijom u Crnoj Gori je osnovana (Odlukom o transformaciji JEP „Elektroprivreda Crne Gore“, Nikšić br. 1991-2772/1 od 16. 10. 1998. g.) nacionalna elektroenergetska kompanija Elektroprivreda Crne Gore AD Nikšić (EPCG). Prema trenutnom stanju vlasnička struktura kompanije EPCG je: Država Crne Gora 70,16%, A2A (Italija) 28,6053% i Ostalo 1,2347% [www.epcg.com].

Elektroprivreda Crne Gore AD Nikšić raspolaže kapacitetima za proizvodnju električne energije ukupne instalisane snage 874 MW, od čega se:

- 649 MW (74,3%) odnosi na hidroelektrane Perućica i Piva, a
- 225 MW (25,7%) na termoelektranu Pljevlja.

Pored velikih, u EES Crne Gore postoje i sljedeće tzv. male HE: Podgor (1939), Rijeka Mušovića (1950), Slap Zete (1952), Rijeka Crnojevića (1948), Glava Zete (1954), Lijeva Rijeka (1988) i Šavnik (1957). Ove tzv. „stare“ MHE zajedno imaju snagu 9,025 MW, sa ukupnom mogućom godišnjom proizvodnjom od oko 21 GWh.

Potencijal MHE se i dalje izučava. Do sada je ukupno projektovano još 70 MHE ukupne instalisane snage 231,72 MW i godišnje proizvodnje električne energije od 644,213 GWh.

Posljednjih godina je Vlada Crne Gore raspisala i sprovela više tendera, na osnovu kojih je zaključeno 34 ugovora o koncesiji za izgradnju 53 MHE, ukupne instalisane snage oko 94 MW i ukupne planirane godišnje proizvodnje oko 310 GWh. Od planiranih 53, trenutno je završena izgradnja 12 MHE (Tabela 6.1).

Država Crna Gora je zaključila ugovore o izgradnji dvije vjetroelektrane:

- vjetroelektrana na lokalitetu Krnovo, opštine Nikšić i Šavnik, 26 agregata instalisane snage 72 MW, moguće godišnje proizvodnje 200–220 GWh/god, i
- vjetroelektrana na lokalitetu Možura, opštine Ulcinj i Bar, snage 46 MW, moguće godišnje proizvodnje oko 100 GWh/god.

Ministarstvo ekonomije je izdalo 14 rješenja o izdavanju energetske dozvole za izgradnju solarnih elektrana instalisane snage do 1 MW, na površinama stambenih, poslovnih i/ili infrastrukturnih objekata. Ukupna instalisana snaga solarnih elektrana za koje su izdate energetske dozvole iznosi oko 5,4 MW, a ukupna planirana godišnja proizvodnja oko 8,3 GWh. Trenutno nijedna od planiranih solarnih elektrana nije puštena u rad.

Z

Prva elektrana u Crnoj Gori puštena je u pogon 19. avgusta 1910. na Cetinju

Tabela 6.1. Izgrađene nove male hidroelektrane

vodotok	MHE	Instalisana snaga MW	Planirana godišnja proizvodnja GWh
Bistrica	1. Bistrica	5,100	17,50
	2. Jezerštica	0,844	3,00
Šekularska	3. Orah	0,954	4,132
	4. Rmuš	0,450	1,600
	5. Spaljevići	0,650	2,560
	6. Šekular	1,450	5,70
Vrelo	7. Vrelo	0,587	2,760
Bradavec	8. Bradavec	0,970	3,823
Plav	9. Jara	4,636	14,547
	10. Babino Polje	2,450	6,860
Bradavec	11. Piševska	0,945	2,914
Bistrica-pritoka Ljuboviđe	12. Bistrica-pritoka Ljuboviđe	3,497	11,319
		22,533	76,715

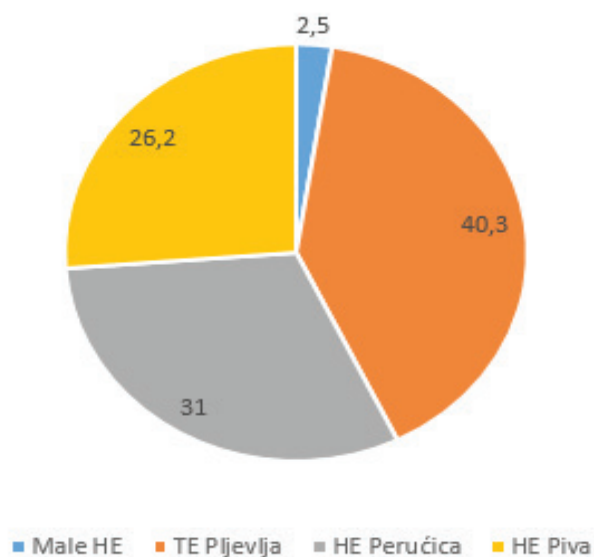
Ostvarena proizvodnja u 2016. godini bila je 3.023,39 GWh, od čega je proizvedeno u:

- hidroelektranama 1.807,24 GWh,
- termoelektrani 1.216,15 GWh.

Pojedinačno, po elektranama, proizvodnja u 2016. godini je bila:

- hidroelektrana Perućica 938,73 GWh (31%),
- hidroelektrana Piva 792,46 GWh (26,2%),
- termoelektrana Pljevlja 1.216,15 GWh (40,3%),
- male HE 76,05 GWh (2,5%).

Procenat učešća pojedinih elektrana u ukupnoj proizvodnji u 2016. godini dat je na Slici 6.1.



Slika 6.1. Procentualno učešće pojedinih elektrana u ukupnoj proizvodnji u 2016. god.

Elektroenergetski sistem Crne Gore, sa ucrtanim velikim elektranama (hidro i termo) i prenosnim sistemom (prenosni vodovi i visokonaponska razvodna postrojenja) dat je na Slici 6.2.



Slika 6.2. Šematski prikaz dijela elektroenergetskog sistema Crne Gore



U cilju stvaranja nacionalnog elektroprenosnog sistema za obavljanje djelatnosti od javnog interesa – prenos električne energije, iz EPCG se 2009. godine izdvojila i djelimično privatizovala (A2A-Italija 43,7% akcija i Terna-Italija 22% akcija) kompanija Crnogorski Elektroprenosni Sistem AD (CGES) [www.cges.me].

CGES obavlja djelatnost prenosa električne energije u Crnoj Gori preko prenosne mreže na 400 kV, 220 kV i 110 kV naponskom nivou, obavlja funkciju eksploatacije i upravljanja elektroenergetskim sistemom, funkciju održavanja i razvoja prenosne mreže.

CGES raspolaže prenosnom mrežom koju čini preko 1.300 km dalekovoda (ukupna dužina dalekovoda na teritoriji Crne Gore koji su vlasništvo i osnovno sredstvo CGES-a je 1.239,58 km), 24 trafostanice i razvodna postrojenja na naponskim nivoima 400kV, 220kV i 110kV.

Ukupna snaga transformacije prenosne mreže Crne Gore je 3.359 MVA (sa ukupno 46 transformatorskih jedinica).

Na prenosnu mrežu su priključene tri velike elektrane:

- TE Pljevlja, priključena na 220 kV mrežu u TS Pljevlja 2,
- HE Piva, priključena na 220 kV mrežu, i
- HE Perućica, priključena na 110 kV mrežu.

Iz prenosne mreže, električnu energiju, osim distributivnog konzuma, preuzimaju i direktni potrošači:

- Kombinat aluminijuma Podgorica,
- Željezara Nikšić i
- Željeznička infrastruktura Crne Gore AD Podgorica.

Pored prenosne mreže, CGES raspolaže i sa sljedećim visokonaponskim postrojenjima:

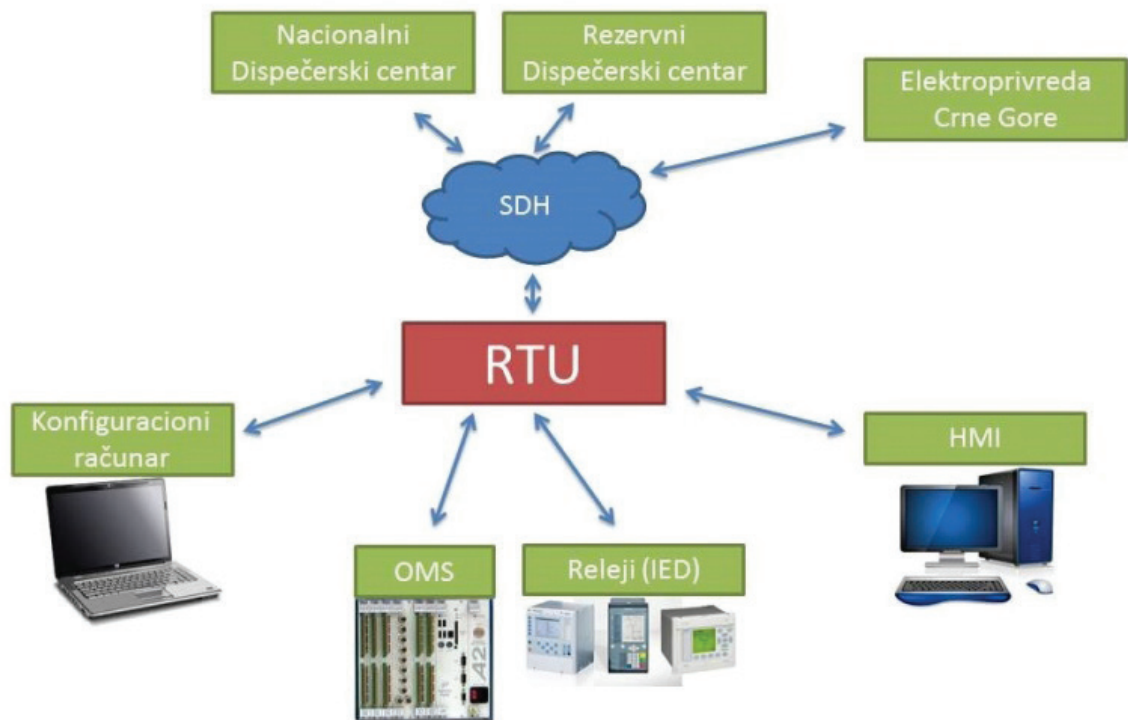
- 1 transformatorska stanica 400/220/110 kV (TS Pljevlja 2),
- 1 transformatorska stanica 400/110 kV (TS Podgorica 2),
- 2 transformatorske stanice 400/110/35 kV (TS Ribarevine, TS Lastva),
- 2 transformatorske stanice 220/110/35 kV (TS Podgorica 1 i TS Mojkovac),
- 12 transformatorskih stanica 110/35 kV (TS H. Novi, TS Tivat, TS Budva, TS Bar, TS Ulcinj, TS Virpazar, TS Nikšić, TS Vilusi, TS Danilovgrad, TS Pljevlja 1, TS Cetinje, TS Berane, TS Andrijevića),
- 4 transformatorske stanice 110/10 kV (TS Podgorica 3, TS Podgorica 4 i TS Podgorica 5, TS Kličevo (Nikšić 2).
- 2 transformatorske stanice 110/35/10 kV Andrijevića, TS 110/35/10 kV Kotor (Škaljari).

Organizacioni dio CGES-a je i **Nacionalni dispečerski centar** (NDC), koji je zadužen za operativno upravljanje elektroprenosnim sistemom. Centar je u tu svrhu opremljen savremenom opremom za akviziciju podataka iz svih objekata prenosne mreže (Slika 6.3). Upravljanje elementima sistema i regulacija snage i frekvencije počinjavaju na sistemu supervizorske kontrole i prikupljanju podataka (SCADA sistemu), razvijenom i implementiranom sopstvenim kapacitetima.



Slika 6.3. Nacionalni dispečerski centar CGES-a

U junu 2016. godine CGES je sa Institutom Mihailo Pupin iz Beograda sklopio Ugovor o izradi projekta za uvođenje novog CSADA sistema (Slika 6.4), koji podrazumijeva nabavku i implementaciju novog SCADA/EMS sistema. Cilj ovog projekta je formiranje nadzorno-upravljačke arhitekture koja će se sastojati od dva paralelna nezavisna centra u glavnoj i back-up konfiguraciji, na dvije fizički odvojene lokacije: Nacionalnom dispečerskom centru (NDC) i rezervnom dispečerskom centru (RDC).



Slika 6.4. Novi sistem CGES-a za daljinski nadzor i upravljanje (SCADA)



Odlukom Odbora direktora EPCG o osnivanju Društva sa ograničenom odgovornošću **Crnogorski elektrodistributivni sistem Podgorica (CEDIS)**, (Skupština akcionara Elektroprivrede 23. juna 2016. godine), FC Distribucija od 1. jula 2017. godine posluje kao samostalni pravni subjekat sa licencom za obavljanje poslova operatora distributivnog sistema. Osnivač Društva je Elektroprivreda Crne Gore (vlasnik u iznosu od 100%). Društvo u okviru jedinstvenog elektroenergetskog sistema Crne Gore obavlja djelatnost distribucije električne energije [www.cedis.me].

Nadzor i upravljanje sistemom vrši se neprekidno (24 časa/7dana) iz kontrolne sale NDC-a. Služba za operativno upravljanje, plan i razvoj EES-a, kao težište NDC-a, neposredno obezbjeđuje koordinisan i siguran rad sistema. Podršku u realizaciji permanentnog nadzora obezbjeđuju Služba za razvoj i eksploataciju sekundarnih i informacionih sistema i Služba telekomunikacija.

Elektroenergetske djelatnosti CEDIS-a su:

- distribucija električne energije,
- operator distributivne mreže,
- izgradnja i održavanje elektroenergetskih objekata,
- projektovanje i nadzor i
- druge djelatnosti propisane Statutom CEDIS-a.

Realizacijom osnovnih djelatnosti CEDIS obezbjeđuje uredno i kvalitetno zadovoljavanje potreba potrošača na svim naponskim nivoima, kao i sigurnu i stabilnu isporuku električne energije privredi i stanovništvu Crne Gore.

Distributivni sistem je dio elektroenergetskog sistema koji služi za prenošenje električne energije od prenosne mreže, ili distribuiranih elektrana (elektrana priključenih na distributivnu mrežu), do krajnjih kupaca i čine ga postrojenja 35 kV, transformatori 35/X kV i vodovi 35 kV, kao i postrojenja, transformatori i vodovi nižeg naponskog nivoa, do mjesta priključka korisnika sistema, kao i objekti, telekomunikaciona i informaciona oprema i druga infrastruktura neophodna za njegovo funkcionisanje.

Distributivni sistem obuhvata cjelokupnu distributivnu mrežu na kojoj pravo korišćenja ima Operater distributivnog Sistema (ODS), kao i elemente elektroenergetskih objekata ili mreže visokog i srednjeg napona koji su u vlasništvu, odnosno na koje pravo korišćenja imaju korisnici distributivnog sistema, a preko kojih se fizički vrši distribucija električne energije u uobičajenom uklopnom stanju.

Struktura i osnovne karakteristike distributivnog sistema Crne Gore su:

- a) Distributivni vodovi (ukupno 19.110 km):
- nadzemni vodovi 35 kV u dužini od 1041 km
 - kablovski vodovi 35 kV u dužini od 77 km
 - nadzemni vodovi 10 kV u dužini od 3599 km
 - kablovski vodovi 10 kV u dužini od 1232 km
 - nadzemni vodovi 0,4 kV u dužini od 11341 km
 - kablovski vodovi 0,4 kV u dužini od 1549 km

b) Distributivne trafostanice (ukupno: 4.887)

- TS 110/10kV 3
- TS 35/10 kV 95
- TS 35/0,4 kV, TS 35/6 kV 37
- TS 10/0,4 kV 2.461
- STS 10/0,4 kV 2.292

6.2

KARAKTERISTIKE VELIKIH HIDROELEKTRANA U ELEKTRO- ENERGETSKOM SISTEMU CRNE GORE

6.2.1. Hidroelektrana Perućica

HE Perućica koristi vode sliva rijeke Gornje Zete, odnosno vode koje dotiču u Nikšićko polje. To je derivaciona elektrana pod visokim pritiskom, koja koristi raspoloživu vodu na veoma povoljnom padu i kratkom rastojanju između Nikšićkog polja i Bjelopavličke ravnice.

HE Perućica je građena po fazama:

- I faza (puštena u pogon 1960): izgrađene su sve akumulacije i dovodni organi; cjevovod br. I; mašinska zgrada sa dva agregata (1 i 2) od po 40 MVA; razvodno postrojenje 110 kV od četiri polja i odvodna vada za agregate br. 1-7.
- II faza (puštena u pogon 1962): izgrađen je cjevovod br. II; tri agregata (3,4 i 5) od po 40 MVA i razvodno postrojenje 110 kV od osam polja.
- III faza (puštena u pogon 1976): izgrađen je cjevovod br. III; dva agregata (6 i 7) od po 65 MVA i razvodno postrojenje 110 kV od dva polja.

Planirano je da se u IV fazi ugradi agregat br. 8 snage 65 MVA, za koga su, u okviru prethodnih faza, izgrađeni svi potrebni sadržaji, kao i pripremljeno mjesto za ugradnju.

U posljednjoj fazi, koja je završena 1981. god. izgrađena je i TS 220/110 kV.

EPCG je 1992. god. počela sa realizacijom Programa modernizacije i osposobljavanja HE Perućica.

Hidrološki podaci sistema: površina sliva 850 km²; prosječne godišnje padavine 2.072 mm/m²; srednji godišnji proticaj 49,74 m³/sec.

Akumulacije: Krupac (42x10⁶ m³), Slano (11,2x10⁶ m³) i Vrtac (71,9x10⁶ m³); dovodni organi: sistem kanala dužine oko 40 km; kompenzacioni bazen oko 180.000 m³; tunel pod pritiskom dužine 3.300 m, prečnika 4,8 m i proticaja 80,75 m³/sec.

Tri cjevovoda: prečnik: I - (2,2-1,8), II - (2,2-2,1) i III - (2,5-2,2) m; dužina: 1.851, 1.883 i 1.931 m i proticaj: 17; 25,5 i 38,25 m³/sec. Priključeni agregati: I – 1 i 2; II – 3, 4 i 5 i III – 6 i 7 (8).

Energetski podaci: bruto pad 550 m, instalisana snaga 307 MW, moguća godišnja proizvodnja oko 1.300 GWh, planska godišnja proizvodnja oko 932 GWh.

Generatori: naznačena snaga: 1,2,3,4 i 5 po 40 MVA (38MW), 6 i 7 po 65 MVA (58,5MW); nazivni napon: 10,5 kV, nazivni faktor snage: 0,95 i 0,9.

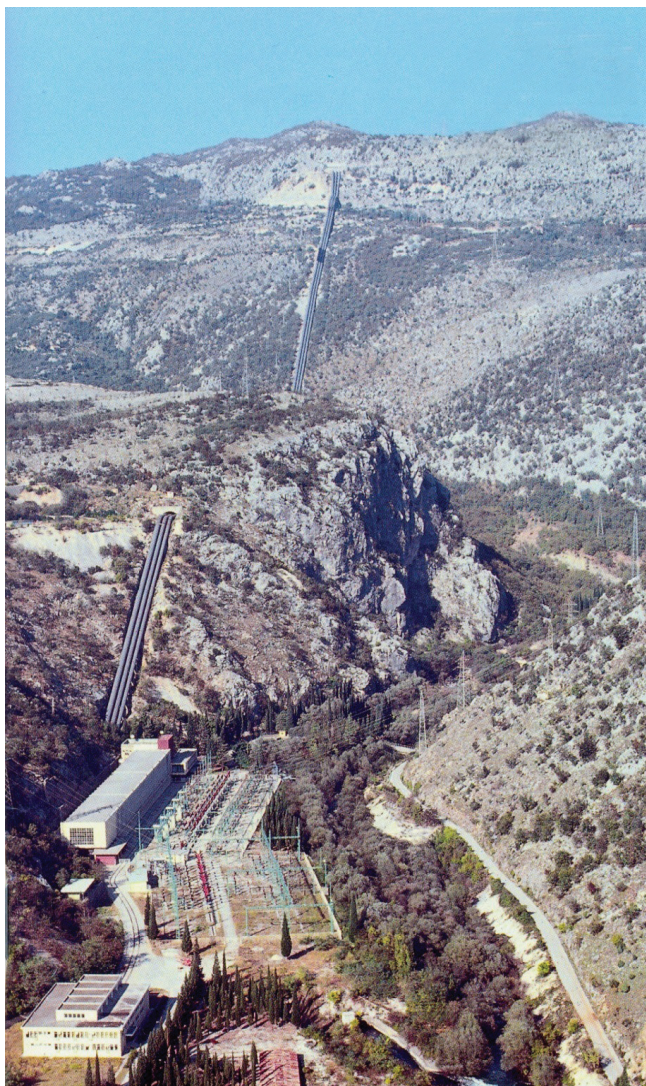
Razvodna postrojenja: 110 kV sa 18 polja i 220 kV sa 6 polja; autotransformator 125 MVA, prenosnog odnosa 230/121/11 kV.

Turbine Pelton: snaga na osovini 39,338 (59,036) MW; broj obrtaja 375 (428,5) ob/min; instalisani proticaj 8,5 (12,75) m³/sec, respektivno.

Ukupna instalisana snaga HE Perućica iznosi 330 MVA (307 MW).

Od početka rada (1960) zaključno sa 2016. god. (za 57 godina rada) HE Perućica je proizvela ukupno 48.997.234 MWh električne energije, ili 859.600 MWh/godišnje. Maksimalnu proizvodnju ostvarila je 2010. god. u iznosu od 1.434.895 MWh, dok je minimalna proizvodnja bila 1993. god. u iznosu od 539.166 MWh.

Na Slikama 6.5 do 6.12 su, radi jasnije predstave o hidro sistemu HE Perućice, dati pojedini djelovi i detalji ovog elektroenergetskog objekta.



Slika 6.5. HE Perućica i cijevi pod pritiskom



Slika 6.6. Mašinska zgrada i visokonaponsko razvodno postrojenje HE Perućica



Slika 6.7. Mašinska hala HE Perućica



Slika 6.8. Mašinska zgrada i visokonaponsko razvodno postrojenje HE Perućica



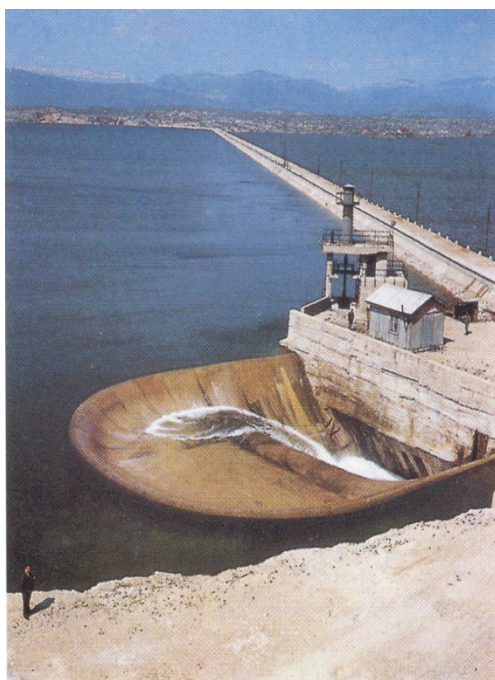
Slika 6.9. Visokonaponsko razvodno postrojenje HE Perućica



Slika 6.10. Akumulacije HE Perućica



a)



b)

Slika 6.11. Nasute brane HE Perućica: a) „Slano“ i b) „Krupac“ sa prelivima



Slika 6.12. Komandna sala HE Perućica

6.2.2. Hidroelektrana Piva

Hidroelektrana Piva je smještena između planinskih masiva Pive, Komarnice i Vrbnice.

To je akumulaciono-pribranska elektrana koja je puštena u pogon 1976. godine. Zbog specifičnih topografskih karakteristika terena kompletno postrojenje je ukopano, tj. smješteno je ispod površine zemlje.

Hidrološki podaci: površina sliva 1.760 km²; prosječne godišnje padavine 1.470 mm/m²; srednji godišnji proticaj 74,3 m³/sec.

Kota normalnog uspora 675,00 m; kota pražnjenja 595,00 m.

Ukupna zapremina akumulacije $880 \times 10^6 \text{ m}^3$; korisna zapremina akumulacije $790 \times 10^6 \text{ m}^3$; instalisani protok $240 \text{ m}^3/\text{sec}$; energetska vrijednost akumulacije 300 GWh.

Betonska lučna brana građevinske visine 220 m, dužine luka na kruni 268,56 m, dužine luka na koritu 40 m, minimalne debljine u kruni 4,5 m, maksimalne debljine u temeljnom presjeku 22,3 m. Za evakuaciju velikih voda i pražnjenje akumulacije brana ima tri prelivna polja u kruni, tri propusta u polovini visine brane i dva ispusta u dnu brane.

Energetski podaci: nominalni pad 160 m (maksimalni neto pad 181,95 m, minimalni neto pad 99,9 m); instalisana snaga $3 \times 120 = 360 \text{ MVA}$; srednja godišnja proizvodnja oko 860 GWh.

Mašinska zgrada je podzemna i sadrži prostor za tri agregata, kao i prostor za montažu, komandni prostor i prostor za transformatore. Svaki agregat ima svoj poseban dovodni tunel i cjevovod, a za odvod iskorišćenih voda služi jedan tunel.

Trofazni sinhroni generatori sa vertikalnom osovinom (3): nazivna snaga generatora 120 MVA; nazivni napon: 15,75 kV.

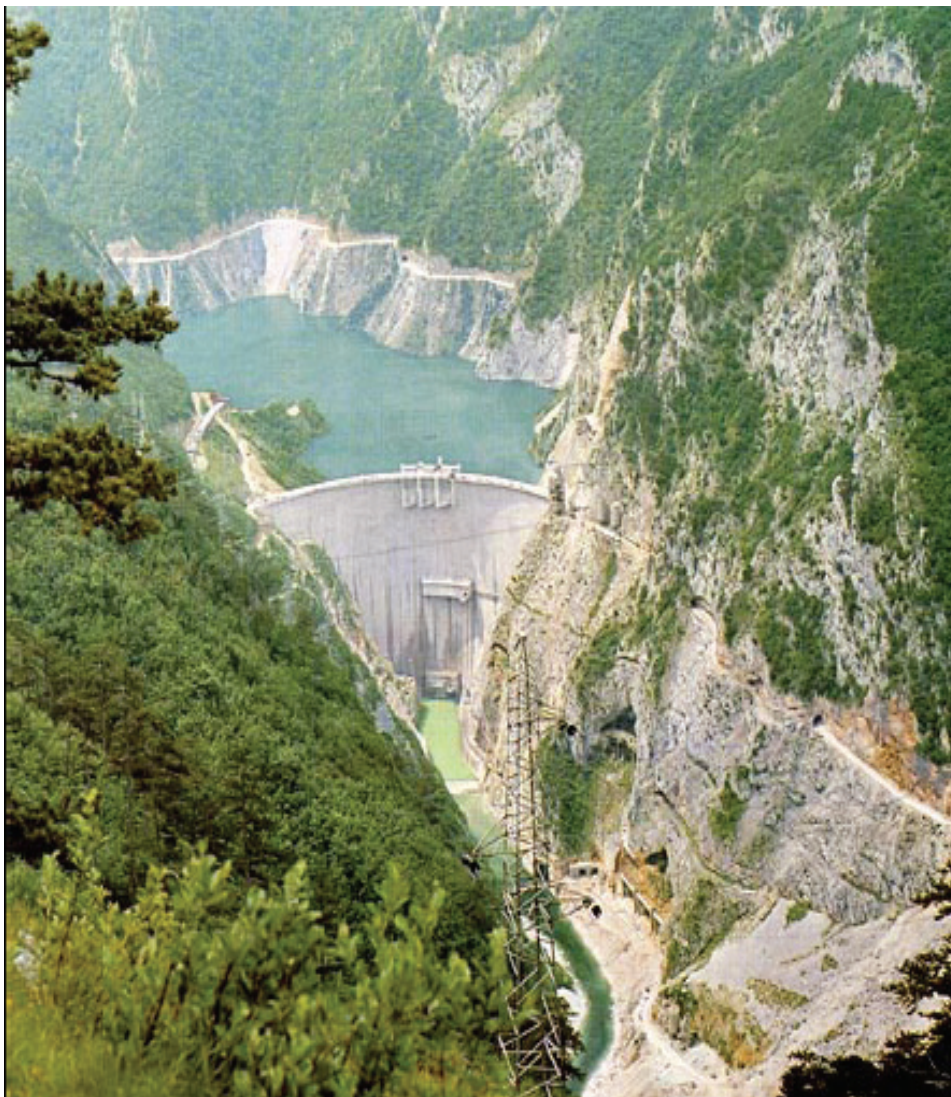
Razvodno postrojenje: tri trofazna blok transformatori po 12 MVA, prenosnog odnosa 15,75/220 kV.

Hidroelektrana ima tri spiralne (vertikalne) Fransis turbine: snaga na osovini 117 MW; broj obrtaja 250 ob/min; instalisani proticaj $80 \text{ m}^3/\text{sec}$. Instalisani protok $3 \times 80 = 240 \text{ m}^3/\text{sec}$.

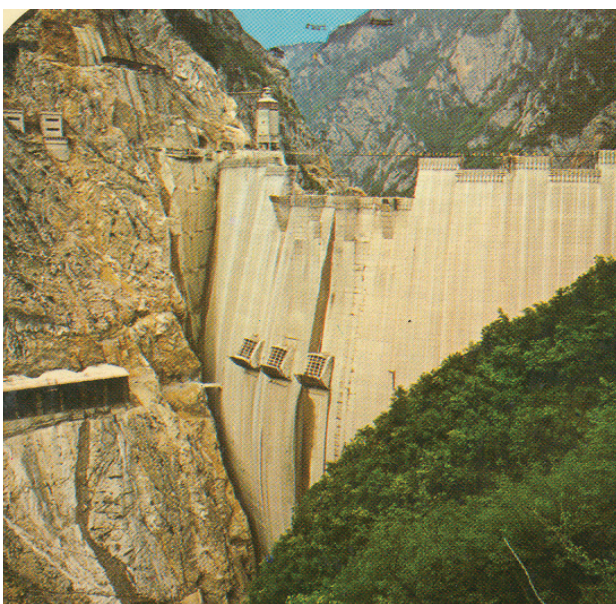
Na Slikama 6.13 do 6.20 su dati pojedini djelovi i detalji sistema HE Piva.



Slika 6.13. Brana HE Piva



Slika 6.14. Pogled na akumulaciju i branu HE Piva



Slika 6.15. Brana HE Piva u periodu izgradnje



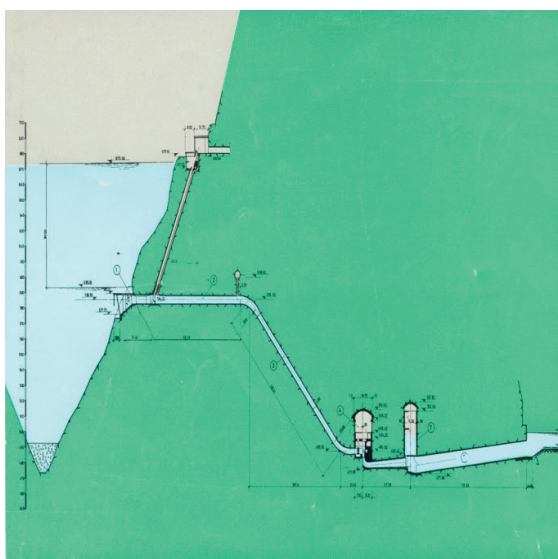
Slika 6.16. Mašinska hala HE Piva



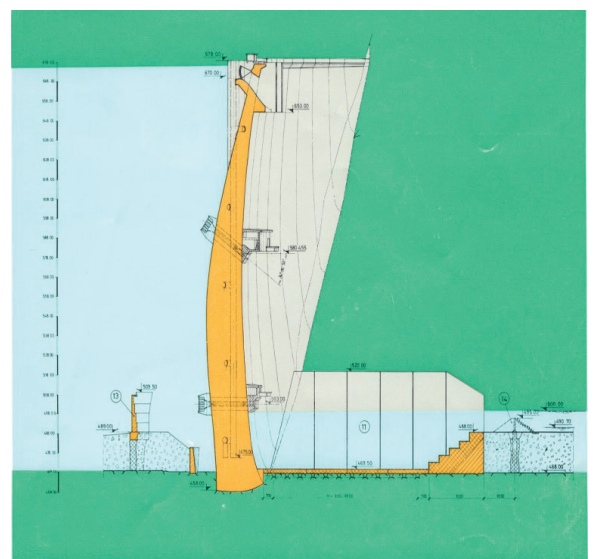
Slika 6.17. Pogled na branu HE Piva



Slika 6.18. Brana HE Piva u vrijeme preliva



Slika 6.19. Šematski prikaz brane HE Piva



Slika 6.20. Šematski prikaz objekata HE Piva

6.3

KARAKTERISTIKE MALIH HIDROELEKTRANA U ELEKTRO- ENERGETSKOM SISTEMU CRNE GORE

Prva „mala“ hidroelektrana (danas se obično nazivaju distributivne ili distribuirane) u Crnoj Gori je hidroelektrana „Podgor“ kod Cetinja, izgrađena 1937. godine. Snaga joj je bila 395 kW. Nakon nje su izgrađene: „Rijeka Mušovića“ 1950. godine, snage 3x420 kW, „Slap Zete“ 1952. godine, snage 2x600 kW i godišnje proizvodnje 6.000 GWh, „Rijeka Crnojevića“, takođe 1952. godine, snage 555 kW (prilikom puštanja u pogon samo 160 kW) i „Glava Zete“ 1953. sa snagom 2x2.680 kW, koja je jedina izgrađena kompletno pod zemljom, „Šavnik“ 1957. sa snagom 2x100 kW i „Lijeva Rijeka“ 1988. g, snage 55 kW.

Sve zajedno tzv. „stare MHE“ imaju snagu 9,025 MW, sa ukupnom godišnjom mogućom proizvodnjom od oko 21 GWh.

Očigledno je da su ove hidroelektrane veoma stare i da je nekima od njih davno istekao planirani vijek upotrebe. Međutim, uz određena ulaganje i rekonstrukcije, ugradnjom nove savremene opreme i uređaja, mogu veoma korisno poslužiti u pokrivanju dijela potreba za električnom energijom.

Pored postojećih MHE, urađena je i projektna dokumentacija za još 70 MHE ukupne instalisane snage 231,72 MW i moguće godišnje proizvodnje električne energije od 644,213 GWh.

U sklopu aktivnosti za veće korišćenje raspoloživog potencijala za izgradnju MHE od strane Vlade Crne Gore realizovan je određeni broj tendera. Do sada je zaključeno 34 ugovora o koncesiji za izgradnju 53 MHE, ukupne instalisane snage oko 94 MW i ukupne planirane godišnje proizvodnje oko 310 GWh. Od planiranih 53 trenutno je završena izgradnja 12 MHE (Tabela 6.1), ukupne instalisane snage 22,533 MW i planirane godišnje proizvodnje 76,715 GWh.

Na Slici 6.21 je dat izgled MHE Slap Zete, na Slici 6.22 MHE Šavnik, a na Slici 6.23 unutrašnjost MHE Glava Zete.



Slika 6.21. Mala hidroelektrana Slap Zete



Slika 6.22. Mala hidroelektrana Šavnik



Slika 6.23. Unutrašnjost male hidroelektrane Glava Zete

6.4

KARAKTERISTIKE TERMOELEKTRANE U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU CRNE GORE

6.4.1. Termoelektrana Pljevlja I

Termoelektrana „Pljevlja“ I je počela sa radom 21. oktobra 1982. godine. To je kondenzaciona termoelektrana projektovana sa dva bloka od po 210 MW.

Za elektroenergetski sistem Crne Gore, čijem stabilnom radu u znatnoj mjeri doprinosi, termoelektrana Pljevlja predstavlja baznu elektranu koja najveći značaj ima u pokrivanju konstantnog dijagrama opterećenja.

Akumulacija vode kao i svi pomoćni, tehnički i upravno-administrativni objekti (izuzev dekarbonizacije i recirkulacionog rashladnog sistema) izvedeni su za dva bloka. Međutim, do sada je izgrađen samo jedan blok.

Termoelektrana sagorijeva pljevaljski ugalj garantovane kalorične vrijednosti 9.211 kJ/kg (220 Kcal/kg). Godišnja potrošnja uglja za 6.000 časova rada je oko 1.358.000 tona.

Lokacija TE je na četvrtom kilometru puta Pljevlja – Đurđevića Tara – Žabljak. Približno toliko od nje je udaljen i rudnik uglja Borovica, iz kojeg se TE snabdijevala ugljem u prvom periodu svoga rada.

Nadmorska visina TE Pljevlja je 760 m. Visina njenog dimnjaka je 250 m, tako da njegov izlazni otvor premašuje 1.000 m nadmorske visine. Prečnik u vrhu dimnjaka je 7,9 m, a u osnovi 21 m.

Snabdijevanje TE vodom za hlađenje i druge potrebe vrši se iz akumulacije Otilovići, koja ima 18 miliona m³, nalazi se na rijeci Čehotini, a udaljena je oko 8 km od TE.

Brana akumulacije „Otilovići“ je betonsko-lučna visine 59 m.

Rashladni armirano-betonski toranj je visok 93 m, sa prečnikom u osnovi od 66,2 m i sa prečnikom u vrhu od 40,44 m.

Glavna oprema TE je proizvedena u SSSR-u.

Prva faza rekonstrukcije kotlovskeg postrojenja je obavljena 2003. godine, s obzirom na to da prvobitna konstrukcija postrojenja nije odgovarala karakteristikama pljevaljskog uglja.

Parni kotao ima proizvodnju svježe pare od 186,111 kg/s, pritisak pare 13,73 /2,53 Mpa, temperaturu pare 540/540 °C, temperaturu napojne vode 247 °C i potrošnju uglja 61,72 kg/s.

Generator je nazivne snage 247 MVA (210 MW), nazivnog napona 15,75 kV, faktora snage 0,85. Hlađenje generatora je sistemom voda-vodonik.

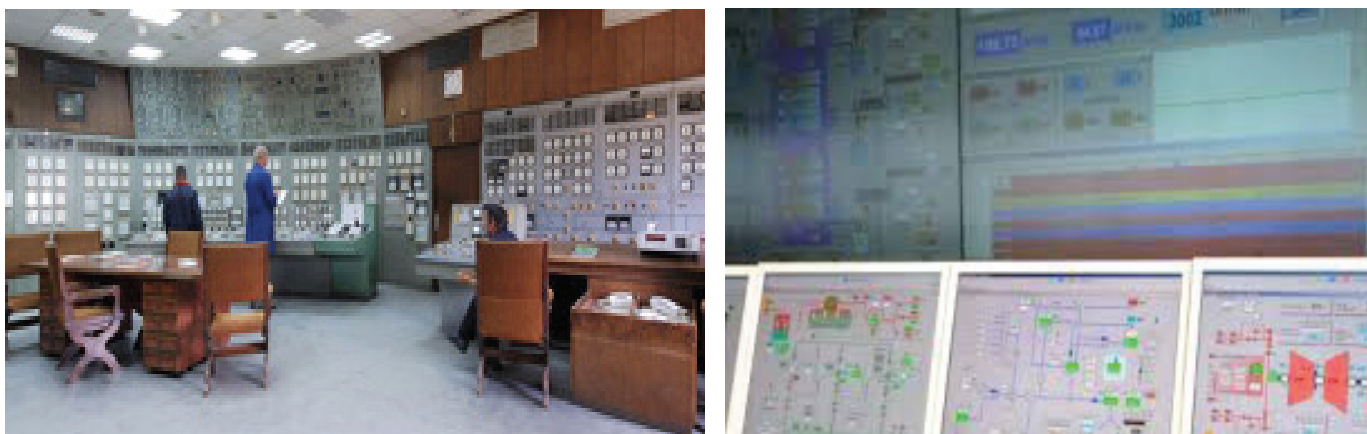
U 2009. i 2010. godini izvedeni su sljedeći važni projekti koji se odnose na ekološku i tehnološku stabilizaciju objekta:

- zamjena elektrofilterskog postrojenja,
- zamjena sistema kontole i upravljanja,
- zamjena razvoda 6 i 0,4 kV sopstvene potrošnje i
- zamjena sistema pobude generatora sa ugradnjom generatorskih prekidača.

Poslije rekonstrukcije turbine u 2009. godini, novoinstalisana snaga TE je 218,5 MW.

Pored radova na rekonstrukciji turbinskog i kotlovskeg postrojenja, čijim se završetkom stvaraju pretpostavke za povećanje snage elektrane do 225 MW, u toku su i pripreme da se izvrši potpuna ekološka sanacija.

Na Slici 6.24 je prikazana komandna sala TE Pljevlja. Veoma veliki broj pokaznih, komandnih, signalnih, mjernih i drugih, sličnih instrumenata i uređaja, kojima se nadziru i kontrolišu stanja i upravlja radom termoelektrane pokazuje koliko je složen tehnološki postupak u termoelektranama.



Slika 6.24. Komandna sala TE Plevlja

Unutrašnjost mašinske hale TE Pljevlja sa dijelom njenih postrojenja dat je na Slici 6.25, dok je izgled TE Pljevlja, posmatrane sa različitih lokacija, dat na Slici 6.26.



Slika 6.25. Unutrašnjost mašinske hale TE Plevlja



Slika 6.26. Termoelektrana Pljevlja

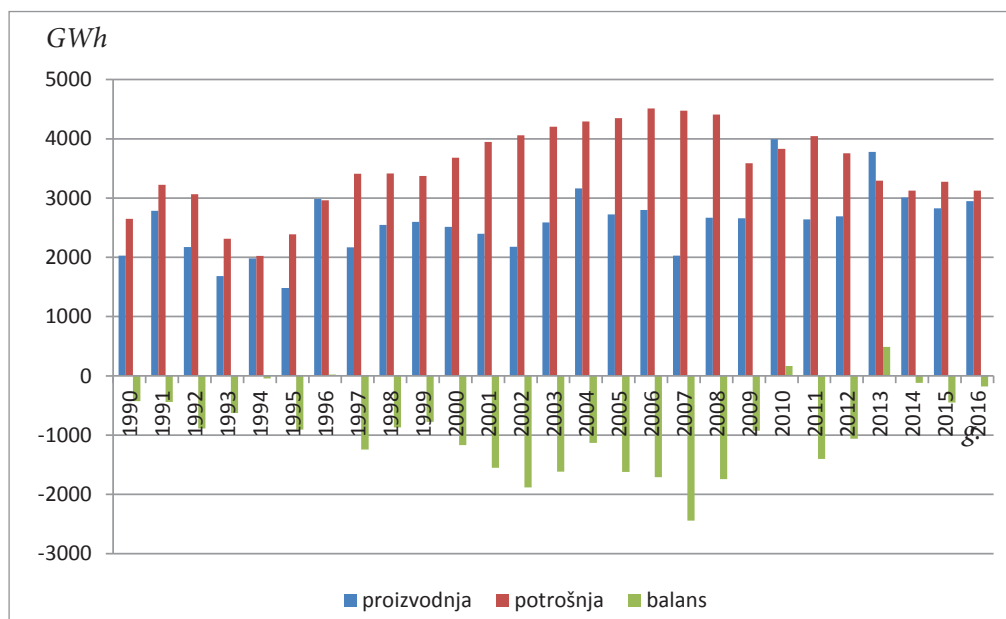
KARAKTERISTIKE I TENDENCIJE BILANSA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU CRNE GORE

Analizom osnovnih karakteristika, strukture i višegodišnjih bilansa proizvodnje i potrošnje električne energije u Crnoj Gori [www.epcg.me], može se doći do sljedećih konstatacija:

- Uzimajući u obzir karakteristike postojećih većih izvora električne energije u Crnoj Gori (dvije velike HE i jedna TE), očigledno je da je u proizvodnji električne energije zastupljenost hidroelektrana u elektroenergetskom sistemu oko 2/3. Vodeći računa da obje velike hidroelektrane imaju značajne akumulacione bazene, može se zaključiti da se, sa stanovišta njihove moguće uloge u popunjavanju dnevnog dijagrama opterećenja, one mogu ubrojati u tzv. vršne elektrane. Ovaj tip elektrana svojim pogonskim svojstvima relativno lako može da prati nagle promjene opterećenja i da bez velikih problema brzo ulazi i izlazi iz pogona. Zbog toga se za njih kaže da proizvode tzv. „skupu“ električnu energiju.
- Ako se posmatraju dnevni dijagrami potrošnje, naročito u prošlosti kada je bila u pogonu čitava raspoloživa industrijska struktura potrošača, može se zaključiti da potrošnja pretežno odgovara tzv. baznoj potrošnji, odnosno da, zbog dominantne uloge velikih potrošača, u ovim dijagramima preovladava konstantno (bazno) opterećenje.

Ove dvije činjenice ukazuju na značajnu neusklađenost postojeće strukture izvora električne energije sa strukturom i zahtjevima, prije svega velikih, potrošača.

Bilansi proizvodnje i potrošnje električne energije pokazuju da već dugi niz godina u Crnoj Gori postoji značajno odstupanje (deficit) između proizvodnje i potrošnje električne energije, koje je u pojedinim godinama išlo i preko 40%. Prikaz bilansa proizvodnje i potrošnje električne energije u Crnoj Gori za period od 1990. do 2016. god., dat je na Slici 6.27.



Slika 6.27. Bilans proizvodnje i potrošnje električne energije za period 1990–2016. god.

Postojanje ovog deficita ukazuje na potrebu njegovog detaljnog izučavanja i analiza u cilju pronalaženja mogućih načina za njegovo smanjenje ili potpuno eliminisanje.

Veoma teško se može opravdati i prihvatiti činjenica da Crna Gora s jedne strane raspolaže velikim neiskorišćenim energetske potencijalima, dok, s druge strane, ima ovako velik deficit električne energije.

Detaljne analize raspoloživih energetske izvora i stanja u EES jasno ukazuju da se prevazilaženje ovog velikog energetske problema, pored smanjenja gubitaka na svim nivoima i preduzimanja mjera štednje i racionalnijeg korišćenja električne energije, može ostvariti znatno većim i efikasnijim korišćenjem obnovljivih energetske izvora, čiji su potencijali i mogućnosti u Crnoj Gori značajni.

Ovakva konstatacija je zasnovana na sljedećim činjenicama:

U Crnoj Gori postoji veoma veliki neiskorišćeni hidroenergetski potencijal, sa izuzetnim povoljnostima za izgradnju kako velikih (akumulacionih), tako i malih hidroelektrana.

Prema raspoloživim podacima o intenzitetu Sunčevog zračenja, Crna Gora spada u oblasti sa veoma velikim solarnim potencijalom. Ovdje treba istaći ne samo mogućnosti za proizvodnju električne energije već i velike mogućnosti za korišćenje solarne toplotne energije za supstituciju električne energije i njeno racionalnije, efikasnije i ekonomičnije korišćenje.

Na području Crne Gore, pogotovo u primorskim i planinskim oblastima, postoje i mogućnosti za korišćenje značajnih povoljnosti koje pruža raspoloživa energija vjetra.

Uzimajući u obzir veliku pokrivenost teritorije Crne Gore šumama i postojanje značajnih poljoprivrednih površina, moguće je u znatno većoj mjeri koristiti i energetske potencijale biomase i otpada.

Sve ovo, zajedno sa mogućnostima koje pruža raspoloživi procijenjeni potencijal uglja (i pored tendencija u svijetu za relativno brzo odustajanje od njegovog korišćenja), ukazuje na realne mogućnosti da se sve potrebe za električnom energijom u Crnoj Gori mogu u narednom periodu podmirivati iz sopstvenih raspoloživih izvora energije.

Treba još jednom istaći i neophodnost da se pri planiranju i izgradnji svih elektroenergetskih objekata velika pažnja mora posvetiti i smanjenju njihovih negativnih uticaja na životnu sredinu.



1. Opiši strukturu elektroenergetskog sistema Crne Gore.
2. Navedi osnovne djelatnosti EPCG.
3. Objasni djelatnost i strukturu Nacionalnog dispečerskog centra.
4. Opiši karakteristike postojećih elektrana u EES Crne Gore.
5. Navedi karakteristike bilansa proizvodnje i potrošnje električne energije u EES Crne Gore.



REZIME

- Radi obavljanja osnovne privredne djelatnosti proizvodnje i snabdijevanja električnom energijom, u Crnoj Gori je osnovano JEP „Elektroprivreda Crne Gore“.
- Osnovne djelatnosti EPCG su: proizvodnja električne energije, snabdijevanje električnom energijom, kupoprodaja električne energije, izgradnja i održavanje elektroenergetskih objekata, projektovanje i nadzor i druge djelatnosti propisane Statutom EPCG.
- EPCG raspolaže kapacitetima za proizvodnju električne energije ukupne instalisane snage 874 MW, od čega je 649 MW (74,3%) u velikim hidroelektranama, 225 MW (25,7%) u termoelektrani Pljevlja i 9.023 (1,03%) u malim hidroelektranama.
- U cilju stvaranja nacionalnog elektroprenosnog sistema za obavljanje prenošenja električne energije, iz EPCG se 2009. godine izdvojila i djelimično privatizovala kompanija Crnogorski elektroprenosni sistem AD (CGES), a od 2017. godine i društvo sa ograničenom odgovornošću Crnogorski elektrodistributivni sistem (CEDIS), kao samostalni pravni subjekat sa licencom za obavljanje poslova operatora distributivnog sistema.
- Organizacioni dio CGES-a je i Nacionalni dispečerski centar (NDC), koji je zadužen za operativno upravljanje elektroprenosnim sistemom.
- Derivaciona elektrana pod visokim pritiskom, HE Perućica, je građena po fazama: I faza (puštena u pogon 1960), II faza (puštena u pogon 1962), III faza (puštena u pogon 1976). Planirano je da se u IV fazi ugradi agregat br. 8, snage 65 MVA, za koji su izgrađeni svi potrebni sadržaji, kao i pripremljeno mjesto za ugradnju.
- Akumulaciono pribranska elektrana HE Piva, puštena je u pogon 1976. godine. Ukupna nazivna snaga tri generatora je 360 MVA. Zbog specifičnih topografskih karakteristika terena kompletno postrojenje je ukopano, tj. smješteno je ispod površine zemlje.
- Ukupna instalisana snaga tzv. starih MHE je 9,025 MW, sa ukupnom godišnjom mogućom proizvodnjom od oko 21 GWh. Ove hidroelektrane su veoma stare, a nekima od njih je davno istekao planirani vijek upotrebe. Potencijal za MHE se i dalje veoma intenzivno izučava.
- Jedina termoelektrana u Crnoj Gori TE Pljevlja, počela je sa radom 1982. godine. TE Pljevlja je kondenzaciona termoelektrana, projektovana sa dva bloka od po 210 MW. Do sada je urađen samo blok jedan.
- Vlada Crne Gore je raspisala i sprovela više tendera, na osnovu kojih je zaključeno 34 ugovora o koncesiji za izgradnju 53 MHE, ukupne instalisane snage oko 94 MW i ukupne planirane godišnje proizvodnje oko 310 GWh. Od planiranih 53, trenutno je završena izgradnja 12 MHE.
- Država Crna Gora zaključila je ugovore o izgradnji dvije vjetroelektrane: vjetroelektrana na lokalitetu Krnovo, opštine Nikšić i Šavnik, sa 26 agregata instalisane snage 72 MW, moguće godišnje proizvodnje 200–220 GWh/god.; i vjetroelektrana na lokalitetu Možura, opštine Ulcinj i Bar, snage 46 MW, moguće godišnje proizvodnje oko 100 GWh/god.
- Ministarstvo ekonomije izdalo je 14 rješenja o izdavanju energetske dozvole za izgradnju solarnih elektrana instalisane snage do 1 MW, na površinama stambenih, poslovnih i/ili infrastrukturnih objekata. Ukupna instalisana snaga solarnih elektrana za koje su izdate energetske dozvole iznosi oko 5,4 MW, a ukupna planirana godišnja proizvodnja oko 8,3 GWh. Trenutno nijedna od planiranih solarnih elektrana nije puštena u rad.

RJEČNIK POJMOVA I IZRAZA

A

Atomska (nuklearna) energija – energija koja se dobija pri raspadanju atomskog jezgra.

B

Bernulijeva jednačina – jednačina koja pokazuje da kod stacionarnog strujanja fluida bez unutrašnjeg trenja, zbir statičkog, hidrostatičkog i hidrodinamičkog pritiska ostaje stalan u svakom poprečnom presjeku strujne cijevi.

Biomasa - živa ili donedavno živa materija, biljnog ili životinjskog porijekla, koja se može koristiti kao gorivo ili za industrijsku proizvodnju.

D

Dispečer – operativni službeni radnik koji vrši neposrednu raspodjelu poslova, materijala, električne energije itd.; osoba koja upravlja cijelim tokom proizvodnje nekog mehanizovanog preduzeća iz jednog centra.

E

Energija – sposobnost tijela ili sistema da vrši neki rad.

Energetika – nauka koja se bavi izučavanjem energije, njenih izvora i svega što je sa time u vezi.

Električna energija – jedan od oblika energije koji se proizvodi dejstvom elektromagnetskog polja na naelektrisanje.

Elektroenergetika – disciplina koja izučavaja transformacije energije u električnu energiju, njene unutrašnje transformacije, prenos i distribucija, kao i njene transformacije u upotrebne oblike koje čovjek koristi.

Elektroenergetski sistem – tehničko-ekonomski sistem u okviru kojeg se vrše sve elektroenergetske transformacije i električna energija prenosi, distribuira i troši.

Elektrane – postrojenja u kojima se neki od korisnih oblika energije pretvara u električnu energiju.

Ekologija – nauka koja proučava odnose među živim organizmima, kao i njihov uticaj na okolinu u kojoj žive i uticaj te okoline na njih; bavi se proučavanjem odnosa čovjeka i njegove okoline.

F

Fluid – (fiz) tečno ili gasovito tijelo koje lako mijenja oblik.

Fuzija – spajanje lakših atomskih jezgara u teže pri jako visokim temperaturama i pritiscima, pri čemu dolazi do oslobađanje velikih količina nuklearne energije.

Fisija – lančana nuklearna reakcija cijepanja (razdvajanja, dijeljenja) atomskog jezgra uz oslobađanje velike količine nuklearne energije.

Faktor oticanja – odnos između količine vode koja otiče vodotokom i količine vode koja pada u obliku padavine.

Fotonaponski efekat – emisija elektrona iz metala pod dejstvom svjetlosti.

G

Generator – obrtna električna mašina koja mehaničku energiju dovedenu na njeno vratilo transformiše u električnu energiju.

H

Hidrodinamika – dio dinamike koji se bavi zakonima kretanja tečnosti.

Hidroelektrana – postrojenje koje potencijalnu energiju vode transformiše prvo u kinetičku energiju, zatim kinetičku energiju u energiju pritiska/mehaničku energiju i konačno mehaničku energiju pretvaraju u električnu energiju.

I

Infrastruktura – ekonomska i organizaciona podloga nekog velikog projekta, poduhvata; podloga za privredni i društveni razvoj koju čine: saobraćajnice, vodene instalacije, izvori električne energije itd.

J

Jednačina kontinuiteta – jednačina koja pokazuje da je odnos brzina proticanja tečnosti kroz dva različita presjeka u cijevi obrnuto srazmjeran površini tih presjeka.

K

Kinetička energija – mehanička energija tijela pri njegovom kretanju, energija potrebna da se neko tijelo ubrza na neku brzinu.

Konvencionalna energija - dobije se tehnički i tehnološki poznatim i riješenim postupcima, koji su dostupni na tržištu i koji su u ekonomskom smislu prihvatljivi/konkurentni.

Komutacija – promjena, izmjena, zamjena; (el) promjena smjera struje pomoću komutatora.

N

Nekonvencionalna energija – dobije se tehnički i tehnološki još nedovoljno razvijenim postupcima ili trenutno ekonomski neisplativim i nekonkurentnim rješenjima.

P

Potencijalna energija – mehanička energija tijela pri njegovom mirovanju; oblik energije koja potiče od interakcije dva ili više tijela i zavisi od međusobnog položaja tijela.

R

Rad – promjena energije tijela; djelovanje sile na nekom putu, proizvod te sile i puta na kojem ona djeluje.

S

Snaga – fizička veličina koja opisuje brzinu obavljanja mehaničkog rada.

Stepen iskorišćenja – odnos korisnog i ukupnog rada ili korisne i ukupne snage mašine.

T

Transformacija – promjena oblika, stanja, osobina, preobražaj, pretvaranje; (fiz) pretvaranje jednog oblika energije u drugi; pretvaranje električne energije visokog napona u energiju niskog napona i obratno.

Termoelektre – postrojenja koja za proizvodnju električne energije koriste toplotu dobijenu transformacijom iz različitih energetske izvora.

Turbo agregat – cjelina koja obuhvata turbinu i generator.

Termodinamički proces – proces promjene stanja nekog termodinamičkog sistema opisan pomoću makroskopskih veličina (temperatura, pritisak, toplota, obim, zapremina i sl.).

V

Vodostaj – nivo vode u moru, rijeci ili jezeru.

LITERATURA

1. Abdel Gelil, prof. dr Ibrahim, *Framework Conditions for Solar Thermal Energy Use in the Southern Mediterranean Countries*, Center for the Environment and Development for the Arab Region and Europe (CEDARE) Egypt, 2007.
2. Begović, K., *Hydroenergetska postrojenja*, DELIT, Sisak, 1980.
3. Boxwell, Michael, *Solar Electricity Handbook – 2011 Edition: A Simple Practical Guide to Solar Energy – Designing and Installing Photovoltaic Solar Electric Systems*, Greenstream Publishing, UK, 2011.
4. Boyle, Godfrey, *Renewable Energy – Power for a Sustainable Future*, Oxford University Press, Oxford, UK, 2004.
5. Đorđević, B., *Korišćenje vodnih snaga. Objekti hidroelektrana*, Građevinski fakultet Beograd, Naučna knjiga, 1984.
6. Đurić, M., Čukarić, A., *Elektrane*, ETF Beograd, 1998.
7. Fanchi, J. R., *ENERGY Technology and Directions for Future*, Elsevier Academic Press, London, UK, 2004.
8. Jovanović, J., *Proizvodnja i prenos električne energije*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2004.
9. Kalea, M., *Nekonvencionalni izvori energije – svemogući ili nemogući*, Elektroenergetika, Zagreb, 2005.
10. Kemp, H. William, *The Renewable Energy Handbook, Revised Edition: The Updated Comprehensive Guide to Renewable Energy and Independent Living*, 2009
11. Laughlin, B. Robert – Nobel Laureate in Physics, *Powering the Future: How We Will (Eventually) Solve the Energy Crisis and Fuel the Civilization of Tomorrow*, Basic Books, , 2011.
12. Markvart, Tom, Castafier, Luis: *Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation*, University of Southampton, UK and Universidad Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain, 2005.
13. Messenger, R. A., Ventre, J., *Photovoltaic Systems Engineering*, CRC Press, , 2004.
14. Milanković, M., Perić, D., Naumovska-Vlajić, I., *Osnovi elektroenergetike*, Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd, 2013.
15. Milovanović, Z., *Program ispitivanja i puštanja u rad elektroopreme*, Tuzla, 1988.
16. Mindjov, K., Keri, A., *Značaj energije u svakodnevnom životu – Green Pack Online*, www.greenpackonline.org
17. Nelson, Vaughn, *Wind Energy*, Renewable Energy and the Environment, Taylor & Francis Group, LLC, 2009.
18. Popović, M., *Razvodna postrojenja i elektrane*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2000.
19. Požar, H., *Osnove energetike I, II, III*, Školska knjiga, Zagreb, 1992.
20. Prelec, Z., *Inženjerstvo zaštite okoliša*, Izvori energije, Utjecaj energetike na okoliš, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci
21. Scharmer, K., Greif, J., *The European Solar Radiation Atlas – Vol.1. Fundamentals and Maps*, Les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 2000.
22. Škuletić S., *Elektrane*, Univerzitet Crne Gore – Elektrotehnički fakultet, Podgorica, 2006.
23. Sorensen, B., *Renewable energy*, Academic Press, NY, 2000.
24. U. S. Department of Energy, Energy Information Administration, *Annual Energy Review 2000–2016*.
25. Udovičić, B., *Elektroenergetika*, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
26. Udovičić, B., *Energija i izvori energije*, Građevinska knjiga, Beograd, 1988.

27. Venikov, V. A., Zhuravlev V. G., Filipova T.A.: *Optimal Operation of Power Plants and Electric Systems*, Mir Publishers, Moscow, USSR, 1984.
28. Whitaker, C., Newmiller, J., Ropp, M., Norris, B., *Distributed photovoltaic systems design and technology requirements*, Sandia Nat. Labs., Tech. Rep. SAND2008-0946 P, 2008.
29. *Delivering Energy and Climate Solutions* (EWEA 2016 Annual Report)
30. *Directive on Electricity Production from Renewable Energy Sources*, 2001/77/EC, EU Commission, 2001.
31. *Energetska politika Crne Gore do 2030. godine*, Vlada Crne Gore, Podgorica, 2011.
32. *Global Wind Energy Council*, Global Wind Energy Outlook 2008, 2010, 2012, 2014, 2016.
33. *International Energy Outlook 2017*, US Energy Information Administration, DOE/EIA-0484(2017), Washington, , 2017.
34. *Layman's Guidebook on How to develop a Small Hydro Site*, EU Comission, ESHA, Brussels, 2004.
35. *Nacionalni akcioni plan za obnovljive izvore energije do 2020. godine*, Vlada Crne Gore, Podgorica, 2014.
36. *Pravila za funkcionisanje distributivnog sistema električne energije*, Odbor direktora EPCG AD, Nikšić, 2012.
37. *Pravila za funkcionisanje prenosnog sistema električne energije*, Odbor direktora CGES AD, Podgorica, 2011.
38. *Pravilnik o održavanju elektroenergetskih objekata Crnogorskog elektroprenosnog sistema*, CGES, Podgorica, 2017.
39. *Pravilnik o postupku i rokovima za vršenje periodičnih pregleda i ispitivanja sredstava za rad, sredstava i opreme lične zaštite na radu i uslova radne sredine*, „Službeni list RCG“, br. 71/05, 2005.
40. *Procjena potencijala obnovljivih izvora energije u Republici Crnoj Gori*, Italijansko ministarstvo za zaštitu životne sredine, kopna i mora (IMELS), CETMA (Brindizi, Italija), br. 06-407-H2, 2007.
41. *Proizvodnja električne energije*, Mreža mlade generacije Hrvatskoga nuklearnoga društva (MMG HND) Tehnički muzej, Zagreb, 2013.
42. *Renewable Energy in Europe*, EUREC, Brussels, 2016.
43. *Renewable Energy Technologies*, Solar Energy Perspectives, OECD/IEA, Paris, France, 2011.
44. *The International System of Units (SI)*, 8th edition, BIMP, Paris, France, 2006.
45. *The State of Renewable Energies in Europe*, Edition 2014, 14th EurObservER Report, Paris, France, 2014.
46. *The Strategic Energy Technology (SET) Plan*, Directorate General for Research and Innovation, European Commission, Joint Research Centre, Brusels, 2017.
47. *The World Small Hydropower Development Report 2013, 2016* (WSHPDR 2013, 2016), UNIDO and International Center on Small Hydro Power (ICSHP), 2013/16.
48. *Wind Atlas Balkan*, Federalno ministarstvo za ekonomski razvoj i saradnju SR Njemačke i KfW, SANDER + PARTNER, SANDER GmbH, Institut für Strömungsmechanik, Munich, Germany, 2015.
49. *World Energy Outlook Special Report*, International Energy Agency, Paris, France, 2017.
50. *Zakon o energetici*, Skupština Crne Gore, 2015.

KORISNI SAJTOVI

www.wikipedia.org
www.iea.org
www.eia.gov
www.izvorienergije.com
www.energy.gov
www.doe.gov
www.europa.eu.int/comm/dgs/energy
www.windenergy.org
www.erac-renewables.org
www.energyobserver.com
www.refokus.net
www.esha.be
www.erec-renewables.org
www.hydropower.org
www.eufores.org
www.eurec.be
www.ewea.org
www.nrel.gov
www.solarschoolhouse.org
www.storm.de
www.oie-res.me
www.epcg.me
www.cges.me
www.cedis.me