

TERMOELEKTRANE



OSNOVI ELEKTROENERGETIKE

Dr Ivana Vlajić-Naumovska

Sadržaj

2

- Termoelektrane
- Lokacija termoelektrane
- Šematski prikaz i osnovni delovi termoelektrana
- Transport goriva
- Kotlovski deo
- Napojni deo
- Turbinski deo
- Kondenzacioni deo
- Elektroenergetski deo
- Uticaj na prirodnu sredinu
- Termoelektrana "Nikola Tesla" B 2x620MW

Termoelektrane

3

- Termoelektrane (TE) su postrojenja u kojima se električna energija proizvodi iz toplotne energije sadržane u gorivu.
- Glavne podele termoelektrana na fosilno gorivo su prema sledećim kategorijama:
 - Vrsta proizvodnje energije: razlikuju se termoelektrane koje odaju samo električnu energiju (kondenzacione TE) i termoelektrane-toplane (TE-TO), koje pored električne energije odaju i toplotnu energiju putem nosilaca toplote (pare, ili tople vode), koji se koriste za tehnološke procese i grejanje.
 - Vrsta korišćenog goriva: razlikuju se TE na čvrsto (ugalj), tečno (nafta i naftini derivati) i gasovito gorivo (prirodni gas) kao i na kombinaciju dva ili tri goriva.
 - Tip osnovne turbine: razlikuju se TE sa parnim ili gasnim turbinama, odnosno kombinovani proces kada su primenjena i parna i gasna turbina.

Termoelektrane

4

- *Vrsta hlađenja:* protočno i povratno hlađenje. Kod protočnog hlađenja voda za hlađenje kondenzora se uzima iz prirodnog izvora (reke, jezera), propušta kroz kondenzator i vraća natrag. Kad ne postoji prirodni izvor vode za hlađenje ista voda se propušta kroz kondenzator i stalno se hladi u posebnim hladnjacima (najefikasniji su rashladni tornjevi), što predstavlja povratno ili veštačko hlađenje. Izbor sistema hlađenja vezan je za osnovnu dilemu prilikom izbora lokacije TE na ugalj – blizu reke ili blizu rudnika uglja.
- Termoelektrane se u elektroenergetskom sistemu najčešće koriste kao tzv. osnovne elektrane, koje pokrivaju nepromenljiv deo opterećenja.
- Sopstvena potrošnja termoelektrana iznosi 7-10% naznačene snage elektrane.

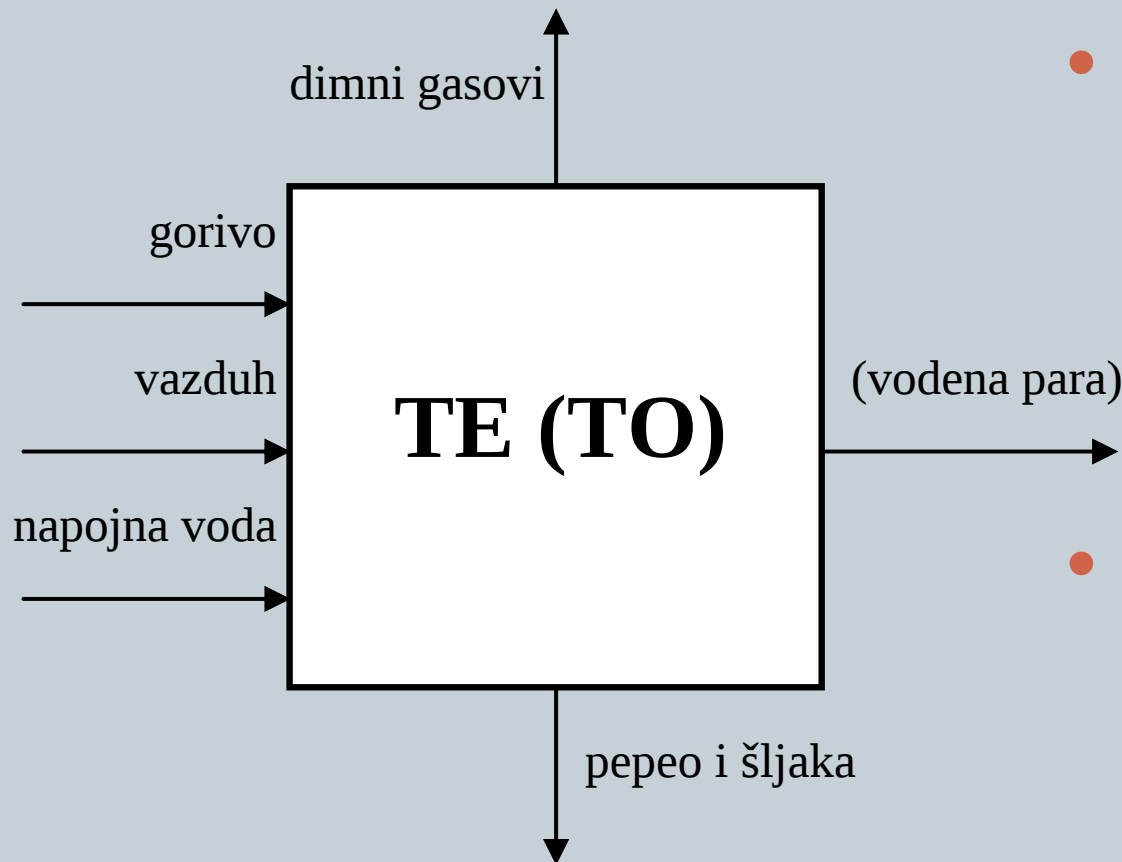
Lokacija termoelektrane

5

- Na izbor lokacije gradnje termoelektrane utiču sledeći glavni faktori:
 - težište opterećenja potrošnje (prvenstveno prostorni raspored transformatorskih stanica);
 - cena zemljišta;
 - količina raspoložive vode;
 - lokacija ugljenokopa, radi što manjih transportnih troškova;
 - troškovi građevinskih radova;
 - blizina industrije;
 - mogućnost proširenja kapaciteta;
 - blizina važnih potrošačkih centara;
 - ekologija;
 - estetika;
 - vojno-odbrambeni zahtevi.

Šematski prikaz i osnovni delovi termoelektrana

6



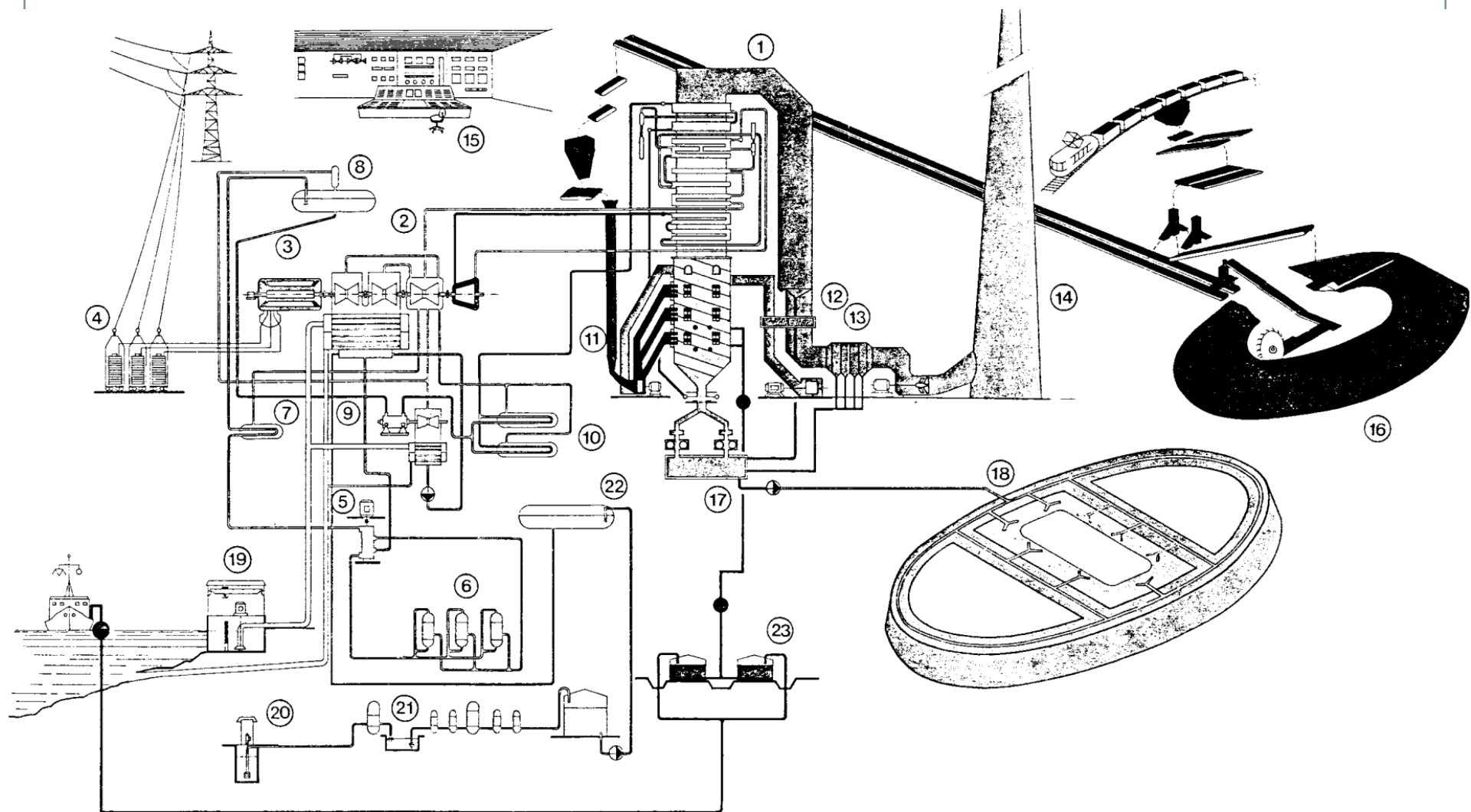
- Ulazni fluidi termoelektrana su:
 - gorivo;
 - vazduh;
 - napojna voda
- Izlaz čine:
 - dimni gasovi;
 - vodena para;
 - pepeo i šljaka.

Slika 1 Šematski prikaz ulazno/izlaznih fluida i produkata za TE (TO)

Šematski prikaz i osnovni delovi termoelektrana

7

- Celokupna termoenergetska oprema se po pojedinim tehnološkim celinama deli na:
 - *kotlovski,*
 - *napojni,*
 - *turbinski,*
 - *kondenzacioni,*
 - *toplifikacioni (za toplane) i*
 - *elektroenergetski deo.*



Slika 2 Šematski prikaz proizvodnje električne energije u TE "Nikola Tesla B"

1-kotao, 2-turbina, 3-generator, 4-transformator, 5-kondenzat pumpa, 6-prečišćavanje kondenzata, 7-zagrejač niskog pritiska, 8-napojni rezervoar, 9-napojna pumpa, 10-zagrejač visokog pritiska, 11-mlin za ugalj, 12-zagrejač vazduha, 13-elektro filter, 14-dimnjak, 15-blok komanda, 16-skladište

Transport goriva

9



- Ugalj koji se kod nas koristi u termoelektranama je obično lignit, koji ima relativno malu donju toplotnu moć (6-10 MJ/kg).
- Zavisno od blizine rudnika, ugalj se od rudnika do termoelektrane prevozi na pokretnim trakama (transporterima), kamionima, železnicom, obično sopstvenom prugom, ili brodovima.
- Kod železničkog transporta, da bi se smanjilo vreme istovara, obično se koriste specijalni vagoni kod kojih se u hodu otvara dno.

Transport goriva

10

- U elektranama se ugalj odlaže na skladištu odgovarajućeg kapaciteta kako bi se obezbedio pun rad elektrane u odgovarajućem periodu (npr. 15 dana) u slučaju problema u dostavi.
- Ugalj se posle istovara pomoću transportera dovodi do kotlovskih bunkera. Kapacitet bunkera je obično dovoljan za desetak sati rada elektrane.
- Veći problemi u dostavi uglja mogu da izazovu prekid rada termoelektrane.
- Na putu od istovara do kotlovskih bunkera, vrši se selekcija i izdvajanje gvozdениh predmeta iz uglja, kao i uzimanje uzoraka i merenje protočne težine uglja. Punjenje kotlovskih bunkera ugljem vrši se prema radu kotla. Kao pomoćno gorivo je obično predviđen mazut, pa postoji i postrojenje za istovar, kao i rezervoari za skladištenje.

Kotlovski deo

11

- *Kotlovsko postrojenje* – da bi se obavilo sagorevanje, gorivo treba pripremiti, dovesti do temperature paljenja i uz dovodenje kiseonika izvršiti njegovo sagorevanje.
- Priprema goriva ima za cilj povećanje površine goriva koja će doći u dodir sa vazduhom, šta se obično postiže raspršivanjem.
- Čvrsta goriva mogu da sagorevaju na rešetki (slojno) (kod kotlova do 100 t/h) ili u prostoru.
- Kod sagorevanja na rešetki, rukovanje ložištem obuhvata tri najvažnije operacije:
 - dovod goriva na rešetku, odnosno ložište;
 - raspodelu goriva po rešetci;
 - uklanjanje pepela i šljake.

Kotlovski deo

12

- Pri sagorevanju u prostoru, čvrsto gorivo se prvo pomoću mlinova usitni na određenu finoću, a zatim dovodi u ložište pomoću struje zagrejanog vazduha, posredstvom gorionika.
- Mešavina samlevenog uglja i vazduha pali se u ložištu.
- Kod ugljeva male toplotne moći, često se koristi recirkulacija dimnih gasova, tako što se deo dimnih gasova iz ložišta vraća u mlinove.
- Na taj način se vrši sušenje ugljene prašine u mlinovima i postiže potrebna temperatura mešavine za sagorevanje.

Kotlovski deo

13

- Prednosti i nedostaci sagorevanja goriva u prostoru, u odnosu na sagorevanje na rešetki su:
- *Prednosti:*
 - mogu se izrađivati ložišta velikih snaga (jer nema glomaznih rešetki);
 - istovremeno se mogu koristiti goriva različitih karakteristika;
 - postiže se visok stepen iskorišćenja ložišta (nema propadanja goriva kroz rešetke, potrebno je manje vazduha itd.);
 - vazduh se može zagrevati do viših temperatura (neće se ugroziti rešetka).
- *Nedostaci:*
 - velika potrošnja energije za mlevenje uglja i za rad ventilatora koji dovode svež vazduh;
 - veliko trošenje obrtnih delova mlinova za ugalj;
 - neophodna ugradnja filtera za dimne gasove radi uklanjanja čestica pepela i nesagorenih sastojaka goriva;
 - teža mogućnost rada kotla sa manjim opterećenjem (najmanje 30-50% naznačene snage);
 - opasnost samozapaljenja ugljene prašine.

Kotlovski deo

14

- Kod kotlova sa sagorevanjem u prostoru, za potpalu i eventualno održavanje vatre, kao pomoćno gorivo je obično predviđen mazut.
- Kod tečnih i gasovitih goriva, priprema je znatno jednostavnija.
- Kod tečnih je potrebno izvršiti raspršivanje kako bi se stvorila mešavina pare tečnog goriva i vazduha, koja potom sagoreva.
- Da bi se ostvarilo potpuno sagorevanje, treba izvršiti pravilan izbor gorionika.
- Kod gasovitih goriva potrebno je stalno mešanje sa vazduhom.
- Sagorevanje se vrši pomoću gasnih gorionika (plamenika).

Napojni deo

15

- Voda koja se koristi za napajanje parnih kotlova mora se prethodno pripremiti, jer sirova voda sadrži štetne primese.
- Rastvorene i nerastvorene štetne primese u sirovoj vodi moraju se odstraniti da ne bi došlo do njihovog taloženja na zidovima parnih kotlova i u cevima.
- Naročito je opasan kotlovski kamen jer sa jedne strane smanjuje stepen iskorišćenja parnih kotlova zbog male toplotne provodnosti, a sa druge strane dovodi do pregrevanja kotlovskog materijala, što može dovesti do deformacije i eksplozije parnog kotla.
- Sirova voda se priprema mehaničkim i hemijskim bistrenjem i filtriranjem, čime se dobija tzv. demineralizovana (demi) voda.

Turbinski deo

16

- Para iz parnog kotla dospeva u pregrejač pare gde se pregreva, a odatle odvodi u parni vod visokog pritiska i dalje u turbinu.
- Turbine su toplotni motori sa posrednim pretvaranjem toplotne energije u mehanički rad, pri čemu je u parnim turbinama radni medij vodena para, a u gasnim dimni gasovi, odnosno produkti sagorevanja.
- Osnovni delovi svake turbine su radno kolo i sprovedni aparat.
- Radno kolo se sastoji od diska, radne lopatice i vratila.
- Prema principu rada razlikujemo akcijske, reakcijske i kombinovane turbine.
- Kod akcijskih turbina, para, neposredno delujući na lopatice, izaziva silu akcijskog dejstva, a ona obrtni moment. Mehanički rad nastaje na račun smanjenja kinetičke energije pare.
- Kod reakcijskih turbina, prvo se, produženom ekspanzijom, u sprovednom aparatu i radnom kolu, potencijalna toplotna energija pare pretvara u kinetičku.

Turbinski deo

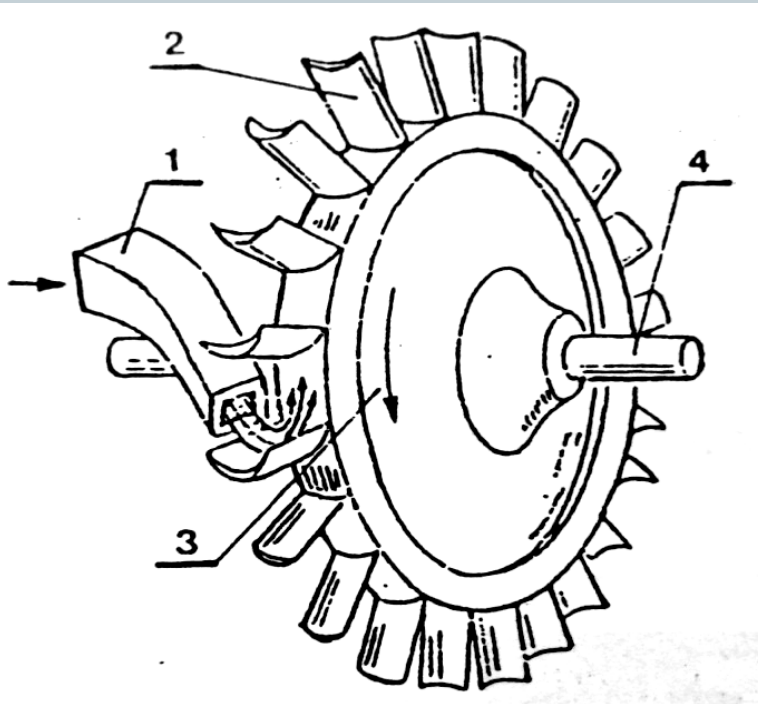
17

- Zbog ubrzanja mlaza pare, na lopaticama radnog kola nastaje sila reakcijskog dejstva.
- Komponenta reakcijske sile koja deluje tangencijalno na rotor turbine je korisna, a druga, koja deluje aksijalno, duž vratila turbine, štetna je jer negativno deluje na ležišta turbine i mora se nekako poništiti.
- Prema broju stepena, turbine delimo na jednostepene i višestepene.
- Prema pravcu strujanja mlaza radnog fluida, turbine se dele na aksijalne i radijalne.

Turbinski deo



- Parne turbine su osnovni pogonski motori sinhronih generatora u velikim termoelektranama. U njima se unutrašnja potencijalna energija pare transformiše u mehaničku energiju.



- 1 – sprovodni aparat ili mlaznik (sastavljen od jednog ili više mlaznika)*
2 – lopatice
3 – disk
4 – vratilo

Kondenzacioni deo

19

- Kondenzovanjem pare pomoću vode za hlađenje smanjuje se pritisak i temperatura izlazne pare, čime se termički i opšti stepen iskorišćenja parnog postrojenja povećava.
- Kondenzovana voda (kondenzat) je zapravo destilovana voda koja se kondenzatnim pumpama vraća u parni kotao.
- Ako ne bi bilo kondenzatora, postrojenje za pripremu vode bi moralo da priprema celokupnu vodu za napajanje kotla, što bi povećalo troškove eksploatacije.
- Upotrebom parnog kondenzatora praktično se dobija jedan zatvoreni sistem cirkulacije, u kojem se nadoknađuje samo dopunska voda, tj. voda koja je iscurila ili isparila kroz slabije zaptivena mesta, što obično predstavlja 3-10 % vode i pare u kruženju.

Kondenzacioni deo

20

- Kondenzator je u osnovi metalni cilindrični sud sa velikim brojem mesinganih cevi u unutrašnjosti, kroz koje protiče rashladna voda.
- Na dnu cilindra se prikuplja kondenzat, koji se vodi pumpama u deareator - uređaj za izdvajanje vazduha iz napojne vode (vazduh u napojnoj vodi izaziva koroziju na instalaciji za paru i turbini).
- Količina rashladne vode je 50 do 70 puta veća od količine pare koja se kondenzuje.
- Kondenzator se postavlja neposredno ispod turbine da bi gubici usled isticanja bili što manji.
- Za pravilno funkcionisanje termoelektrane potrebne su, dakle, velike količine rashladne vode koje se koriste za kondenzovanje pare.
- Ako se iz reke ne može dobiti dovoljna količina rashladne vode, upotrebljena voda se hladi u rashladnim tornjevima.

Kondenzacioni deo

21



Slika 3 Rashladni toranjevi

- Rashladni toranj je visoka betonska kula, čija je unutrašnjost isprepletena mrežom na koju pada voda dovedena iz parnog kondenzatora.
- Voda se razbija na kapljice čime se povećava njena dodirna površina sa vazduhom.
- Vazduh, čiji je tok suprotan od vode, oduzima toplotu od vode i u vidu toplih isparenja izlazi iz rashladnog tornja.
- Rashlađena voda pada u obliku kiše u bazen za skupljanje rashlađene vode, a odatle se odvodi pumpama u parni kondenzator.
- Gubici vode usled isparavanja i curenja nisu veliki i iznose 4-6% ukupne vode za hlađenje, pa se ovaj gubitak mora nadoknaditi.

Elektroenergetski deo

22



Slika 4 Turboagregat

- Elektroenergetski deo TE uglavnom se sastoji od turboagregata (turbina+generator), odnosno od blokova generator-transformator, koji se nezavisno povezuju na prenosnu mrežu.
- Transformatori služe za podizanje napona na nivo napona prenosne mreže.
- Potrebno je obezbediti pouzdano napajanje sopstvene potrošnje elektrane, pa se obično predviđa napajanje ove potrošnje iz dva nezavisna izvora, najčešće sam generator bloka, i elektroenergetski sistem kao drugi izvor.

Uticaj na prirodnu sredinu

23

- Termoelektrane na ugalj i mazut, proizvodima sagorevanja (dimni gasovi, šljaka, pepeo) najviše zagađuju atmosferu, vodu, tlo i životnu sredinu uopšte.
- Potrebno je ugraditi odgovarajuće sisteme i preduzeti sve potrebne mere kako bi se nepovoljni uticaji ublažili, odnosno držali u zakonima dozvoljnim granicama.
- Dimni gasovi u sebi sadrže dosta čađi, prašine i sumpora. Najopasnija je emisija sumpor dioksida (SO_2), jer ugalj i nafta sadrže nekoliko procenata sumpora.
- U jako industrijalizovanom evropskom području, tzv. kisela kiša kojom se na vegetaciju talože sumporni spojevi, postala je jedan od najkrupnijih ekoloških problema.

Uticaj na prirodnu sredinu

24

- Široka šumska prostranstva, zajedno sa faunom, nalaze se u ozbiljnoj opasnosti.
- U Nemačkoj se navodi postojanje oštećenja u jednoj trećini šumskih područja. Pomoću visokih dimnjaka i odgovarajućih ekofiltera, nastoji se da se ovaj problem učini što manjim.
- Drugi, isto tako ozbiljan problem, predstavljaju velike količine pepela i šljake na odlagalištima (deponijama).
- Da ne bi došlo do zagađenja podzemnih voda proceđivanjem štetnih materija iz pepela, deponija se pravi na odgovarajućem zemljištu gde npr. postoji debeo sloj gline, a oko deponije se postavlja drenažni sistem.
- Deponije se drže potopljene vodom, a suvi delovi se prskaju veštačkom kišom čime se sprečava raznošenje pepela vetrom. Posle punjenja, deponija se rekultiviše, (npr. pošumljavanjem) ili konzervira. Pepeo iz elektrofiltera (tzv. leteći pepeo) može da se koristi u građevinarstvu, npr. za opekarske proizvode ili kao podloga za autoputeve.
- Konačno, i samo zemljište površinskih kopova uglja se treba rekultivisati na kraju eksploatacije.

Termoelektrana "Nikola Tesla" B 2x620MW

25

- Termoelektrane "Nikola Tesla" u Obrenovcu, neposredno pored Beograda, za proizvodnju električne energije koriste kolubarski lignit čiji su kopovi udaljeni 20 do 30 km od termoelektrana.
- Termoelektrane su locirane na reci Savi uzvodno 30-50km od Beograda i tako su se u beogradskom regionu spojile tri osnovne pogodnosti za izgradnju velikih TE: ugalj, voda i veliki potrošač električne energije.
- U TE "Nikola Tesla" A i B nalazi se danas najveća koncentracija energetske kapaciteta u Srbiji sa instalisanih 2890 MW.
- U pogonu B (TENT B) instalisane su i najveće energetske jedinice u Srbiji na ugalj i lignit od 620 MW.

Termoelektrana "Nikola Tesla" B 2x620MW

26



- Ugalj koji se koristi kao gorivo ima donju toplotnu moć 6-8MJ/kg, prosečnog sadržaja vlage 45-53% i pepela 10-23%.
- Dnevna potrošnja uglja (u TENT B) je 17000-19000 tona po svakom bloku.
- Od prijemnih mesta na rudniku do termoelektrana, ugalj se transportuje specijalnim železničkim kompozicijama neto težine oko 1500t, sopstvenom industrijskom elektrificiranom prugom normalnog koloseka.

Termoelektrana "Nikola Tesla" B 2x620MW

27

- Dimni gasovi dobijeni sagorevanjem uglja po izlasku iz kotla se sprovode kroz zagrejač vazduha gde deo toplote predaju svežem vazduhu koji se uvodi u ložište, zatim kroz elektrofilter gde se dimnim gasovima odstranjuje pepeo i najzad kroz dimnjak visine 280m u spoljašnji prostor gde ne bi trebalo očekivati nedozvoljena zagađenja životne sredine.
- Pepeo iz kotla se u bazenu meša sa vodom i pumpama otprema na deponiju pepela.
- Voda za osnovni ciklus se obezbeđuje iz sistema bunara izbušenih na obali Save , a prečišćava se u postrojenju za hemijsku pripremu – potpunu demineralizaciju vode.
- Napajanje kotla vodom iz napojnog rezervoara obezbeđuje jedna turbonapojna pumpa.
- Za hlađenje kondenzatora, koristi se voda iz reke Save koja se mehanički prečišćava u pumpnoj stanici.

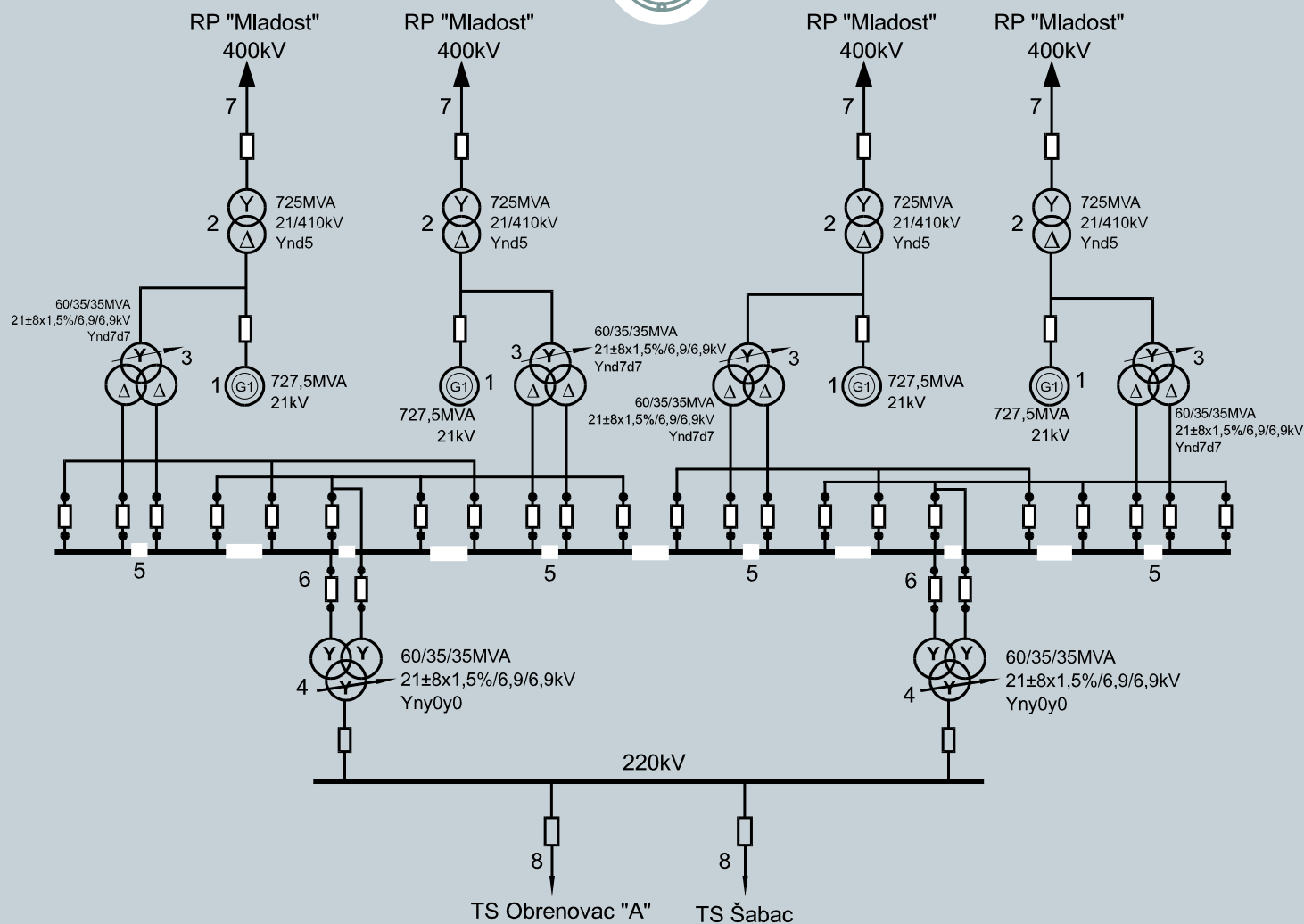
Termoelektrana "Nikola Tesla" B 2x620MW

28

- Generator za proizvodnju električne energije je trofazna sinhrona mašina direktno spojena za vratilo turbine. Naznačena snaga generatora je 630MW, prividna snaga 727,5MVA uz naznačeni napon od 21kV i naznačeni faktor snage 0,85.
- Hlađenje rotora generatora vrši se neposredno vodonikom pritiska 600 Pa, a hlađenje namotaja statora demi vodom – vodom koja se upotrebljava i za termodinamički radni ciklus.
- Generatori su za mrežu 400kV vezani blok transformatorima, a za sabirnice sopstvene potrošnje elektrane, blok transformatorima sopstvene potrošnje .
- Sopstvena potrošnja elektrane može se obezbediti i iz mreže od 220kV posredstvom posebnih transformatora, u slučaju da elektrana sama ne proizvodi električnu energiju.

Termoelektrana "Nikola Tesla" B 2x620MW

29



Slika 5 Jednopolna šema TE "Nikola Tesla" B

Literatura

30

- M. Milanković, D. Perić, I. Vlajić-Naumovska, “*Osnovi elektroenergetike*”, Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd, 2016.