

# TE Plomin - trenutno stanje i mogućnosti poboljšanja

---

**Vrbanac, Mateo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:231:558803>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-23**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**Studij politehnike**

Preddiplomski sveučilišni studij politehnike

Mateo Vrbanac

**TE Plomin – trenutno stanje i  
mogućnosti poboljšanja**  
Završni rad

Mentor: doc. dr. sc. Ivica Ančić

Rijeka, 2022.

UNIVERSITY OF RIJEKA  
**School of Polytechnics**

Undergraduate study od Polytechnics

Mateo Vrbanac

**TE Plomin – current status and potential  
improvements**

Bachelor thesis

Supervisor: doc. dr. sc. Ivica Ančić

Rijeka, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Ivici Ančiću kao i direktoru TE Plomin i djelatnicima koji su mi omogućili posjet elektrani i ukazali na važnost same elektrane te svojoj obitelji na pruženoj podršci.

## Zadatak za završni rad

Pristupnik: Mateo Vrbanac

Naziv završnog rada: TE Plomin – trenutno stanje i mogućnosti poboljšanja

Naziv završnog rada na eng. jeziku: TE Plomin – current status and potential improvements

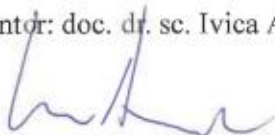
Sadržaj zadatka:

Potrebno je prikazati trenutno stanje TE Plomin te prikladne načine na koje je moguće u budućnosti unaprijediti njene energetske i ekološke značajke.

Završni rad treba sadržavati sljedeće:

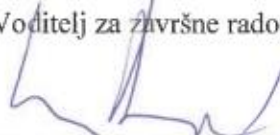
1. kraći uvod u kojemu će se ukratko opisati gradnja TE Plomin te njen značaj na elektroenergetski sustav Hrvatske,
2. metodologiju analize energetske značajke termoenergetskog postrojenja uz podjelu na elemente i analizu ukupnog utjecaja na okoliš,
3. grafički i tablični prikaz rezultata energetske i ekološke značajke trenutnog termoenergetskog postrojenja,
4. raspravu o dobivenim rezultatima uz analizu mogućih poboljšanja postojećeg postrojenja te utjecaj tih poboljšanja na energetske i ekološke značajke,
5. zaključak i preporuke vezane za unaprjeđenje TE Plomin.

Mentor: doc. dr. sc. Ivica Ančić




(potpis mentora)

Voditelj za završne radove



Zadatak preuzet: datum

14.3.2022.

  
(potpis pristupnika)

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA .....	III
POPIS OZNAKA .....	IV
SAŽETAK .....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD .....	1
1.1. Svjetski trend potrošnje električne energije .....	1
1.2. Potrošnja električne energije u Hrvatskoj .....	3
1.3. Gradnja i značaj termoelektrane Plomin .....	5
2. ENERGETSKE ZNAČAJKE TERMOENERGETSKOG POSTROJENJA .....	7
2.1. Sustav mlinova .....	12
2.2. Generator pare .....	15
2.2.1. Ložište .....	18
2.3. Parna turbina .....	20
2.4. Kondenzator .....	21
2.5. Utjecaj na okoliš .....	22
2.5.1. Postrojenje za odsumporavanje .....	22
2.5.2. Postrojenje za obradu otpadnih voda .....	24
3. PRIKAZ ZNAČAJKI TERMOENERGETSKOG POSTROJENJA .....	25
4. RASPRAVA .....	31
5. ZAKLJUČAK .....	32
LITERATURA .....	33

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Proizvodnja električne energije u svijetu [5] .....	2
Slika 2. Prijenosna mreža Hrvatske [6] .....	4
Slika 3. TE Plomin [7] .....	6
Slika 4. Parno-turbinski proces [9] .....	7
Slika 5. T-s dijagram parno-turbinskog procesa [9] .....	8
Slika 6. h-s dijagram parno-turbinskog procesa [9] .....	9
Slika 7. Transport ugljena .....	12
Slika 8. Mlin za mljevenje ugljena .....	13
Slika 9. Shema kuglastog mlina [10] .....	14
Slika 10. Dijelovi generatora pare [9] .....	16
Slika 11. Generator pare [10] .....	19
Slika 12. Parna turbina [12] .....	20
Slika 13. Proizvodnja gipsa .....	22
Slika 14. Skladište gipsa [10] .....	23
Slika 15. ARA kolač .....	24
Slika 16. Shematski prikaz TE Plomin .....	27

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Područje i stanovništvo širom svijeta.....	1
Tablica 2. Energetski pregled rada TE Plomin [8].....	28
Tablica 3. Omjer proizvodnja/instalirana snaga [10].....	28
Tablica 4. GVE/godišnja prosječna emisija za CO [10].....	29
Tablica 5. GVE/godišnja prosječna emisija za čestice [10] .....	30
Tablica 6. GVE/godišnja prosječna emisija za SO <sub>2</sub> [10] .....	30
Tablica 7. GVE/godišnja prosječna emisija za NO <sub>x</sub> [10] .....	30



**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Mjerna jedinica</b>	<b>Opis</b>
$A_d$	J/kg	Donja ogrjevna vrijednost goriva
$c$	J/kgK	Specifični toplinski kapacitet goriva
$c_p$	J/kgK	Specifični toplinski kapacitet zraka pri konstantnom tlaku
$H_d$	J/kg	Donja ogrjevna vrijednost
$H_g$	J/kg	Gornja ogrjevna vrijednost
$Q_{dov}$	J	Dovedena energija
$q_{mg}$	kg/s	Maseni protok goriva
$q_{mnv}$	kg/s	Maseni protok napojne vode
$q_{mp}$	kg/s	Maseni protok pare
$q_{mz}$	kg/s	Maseni protok zraka
$T_g$	K	Temperatura goriva
$T_z$	K	Temperatura zraka
$W_{dob}$	J	Dobiveni rad
$\eta$	%	Stupanj djelovanja
$\eta_k$	%	Stupanj djelovanja kotla

## SAŽETAK

U ovome radu analizira se ciklus parno – turbinskog postrojenja i svih elemenata koji tvore taj sustav. Nastavno na postupni porast povećanja broja stanovništva u svijetu, ukazuje se na važnost termoelektrana te se prikazuje gradnja i značaj same TE Plomin. Nakon toga prikazuje se općeniti parno – turbinski ciklus te je detaljno objašnjen putem T-s i h-s dijagrama. Ukazuje se na prednosti i nedostatke takvog procesa te je izračunata korisnost cijeloga ciklusa kao i korisnost samoga kotla. Potom se opisuju glavni elementi koji tvore sustav TE Plomin poput sustava mlinova, generatora pare, parne turbine, kondenzatora kao i postrojenja za odsumporavanje i postrojenja za obradu otpadnih voda kojima se bitno utječe na zaštitu okoliša. Zatim slijedi prikaz značajki termoenergetskog postrojenja te analiza i mogućnost poboljšanja samog postrojenja.

Ključne riječi: parno – turbinsko postrojenje, sustav mlinova, generator pare, parna turbina, kondenzator

## SUMMARY

This paper analyze the cycle of the steam – turbine plant and all the elements that form that system. Because of the progressive increase in the number of world’s population, this paper indicates the construction of the thermal power plants and its importance. More precisely the thermal power plant Plomin. Furthermore, it is presented and explained the general steam – turbine cycle by T-s and h-s diagrams. The advantages and disadvantages of such a process are point out, as well as the usefulness of entire cycle and the usefulness of the boiler itself. Further more, there are described the main elements that build the Plomin thermal power plant system. In other words the mill system, steam generator, steam turbine, condenser and the desulphurization plant, as well as the wastewater treatment plant which has significant impact on environmental protection. Overall are presented the features of the thermal energy plant as well as analysis and possibility of improving the plant itself.

Keywords: steam – turbine plant, mill system, steam generator, steam turbine, condenser

## 1. UVOD

Termoelektrane su postrojenja u kojima se pretvara kemijska energija goriva (plina ili ugljena) u mehanički rad na prirubnici parne turbine, a zatim se mehanički rad pretvara u električnu energiju putem generatora električne energije. Energetska pretvorba započinje procesom izgaranja fosilnih goriva gdje se oslobađa kemijska energija koja se pretvara u entalpiju dimnih plinova koji se potom hlade, a toplina prelazi na radni medij. Toplina se u generatoru pare predaje napojnoj vodi koja isparava, a zatim se vodena para vodi u turbinu gdje ekspandira. Vodena para koja ekspandira u turbini predaje energiju lopaticama, a dobiveni se mehanički rad pretvara u električnu energiju pomoću generatora električne energije. Kako bi se osigurao kontinuirani proces pretvorbe energije, sustav je potrebno održavati i stvoriti uvjete koji mogu jamčiti pouzdano odvijanje takvog procesa.

### 1.1. Svjetski trend potrošnje električne energije

Prema najnovijim podacima iz 2022. godine, svjetska je populacija dosegla broj od 7,92 milijarde stanovnika dok je 2011. godine, na svijetu bilo 6,97 milijardi ljudi sa neprekinutim trendom rasta od 1995. godine. U sljedećoj je tablici prikazan broj stanovnika ovisno o određenom području, površini zemljišta te gustoći naseljenosti.

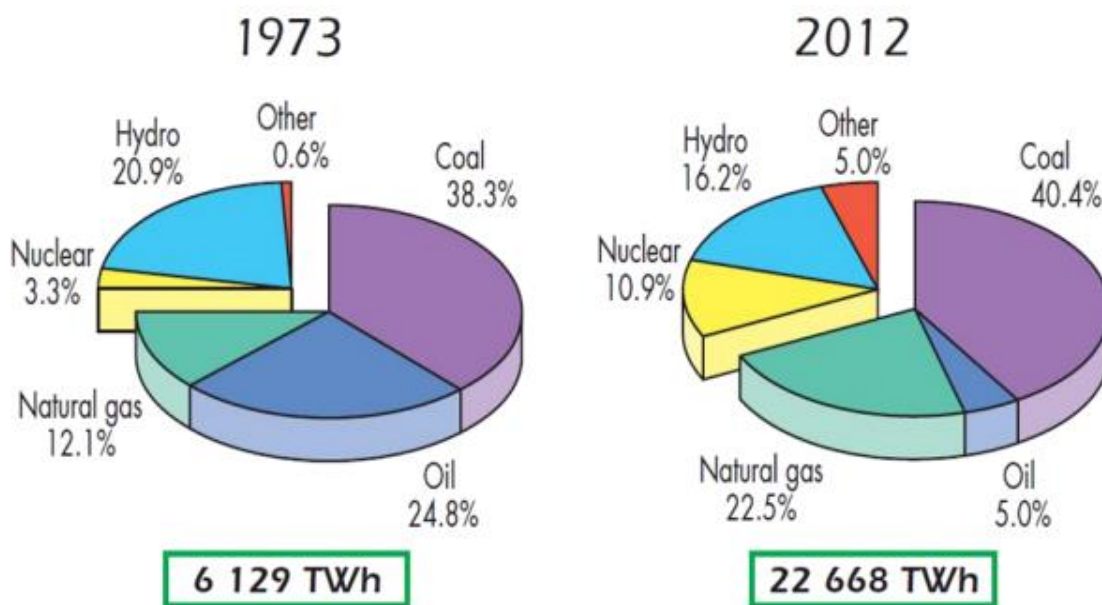
**Tablica 1. Područje i stanovništvo širom svijeta**

<b>Država</b>	<b>Kopnena površina (1 000 km<sup>2</sup>)</b>	<b>Stanovništvo (tisuću)</b>	<b>Gustoća naseljenosti (stanovnika/km<sup>2</sup>)</b>
<b>EU – 28</b>	4 381	506 781	116
<b>Kina</b>	9 597	1 344 100	140
<b>Japan</b>	378	127 817	338
<b>Rusija</b>	17 098	142 961	8
<b>SAD</b>	9 629	311 592	32
<b>Svijet</b>	136 127	6 974 036	51

Podatci su iz 2011. godine pa je do danas nešto od toga izmijenjeno, ali kako je cilj ovog dijela rada naglasiti kontinuirani porast broja stanovništva pa tako i potrebu povećanja proizvodnje električne energije, dovoljno je uzeti u obzir približne vrijednosti.

Kontinuirani porast broja populacije ima za posljedicu povećanje potrošnje električne energije, a kako je bitno da se proizvodnja električne energije prilagodi potrošnji, potrebno je povećati proizvodnju i krajnjim korisnicima osigurati dovoljnu količinu energije u trenutku u kojem im je to najpotrebnije.

Na sljedećoj slici pomoću grafičkih prikaza možemo vidjeti na koji se je način odvijala proizvodnja električne energije 1973. godine, a na koji način 2012. godine te ukupnu proizvodnju električne energije u određenoj godini.



**Slika 1. Proizvodnja električne energije u svijetu [5]**

Na prethodnoj su slici prikazani načini i količina proizvodnje električne energije putem ugljena, nafte, prirodnog plina, nuklearne energije, hidroenergije i nekonvencionalnih izvora. Zanimljivo je uočiti kako se u 40-ak godina, proizvodnja električne energije povećala za skoro četiri puta, a isto tako možemo vidjeti kako se drastično smanjila upotreba prirodnog plina i nafte, a povećao udio nuklearne energije i nekonvencionalnih izvora energije. Danas se pak uvodi sve više raznih poticaja zbog zaštite okoliša pa se broj obnovljivih izvora energije

povećava dok se postepeno pokušava smanjiti udio termoelektrana na ugljen, naftu i prirodni plin zbog raznih emisija.

Ukoliko promatramo potrošnju električne energije u malom razmaku od nekoliko godina, svaka zemlja bilježi blagi pad ili porast potrošnje električne energije zbog raznih ekonomskih aktivnosti, vremenskih prilika ili pandemije, ali pri dugoročnom promatranju ipak postoji određena konstanta ili postepeni porast zbog povećanja broja stanovništva i raznih djelatnosti poput IT sektora kojima je potrošnja električne energije neophodna iako se sve više teži ka mjerama štednje električne energije zbog smanjenja gospodarske aktivnosti i kupovne moći stanovnika.

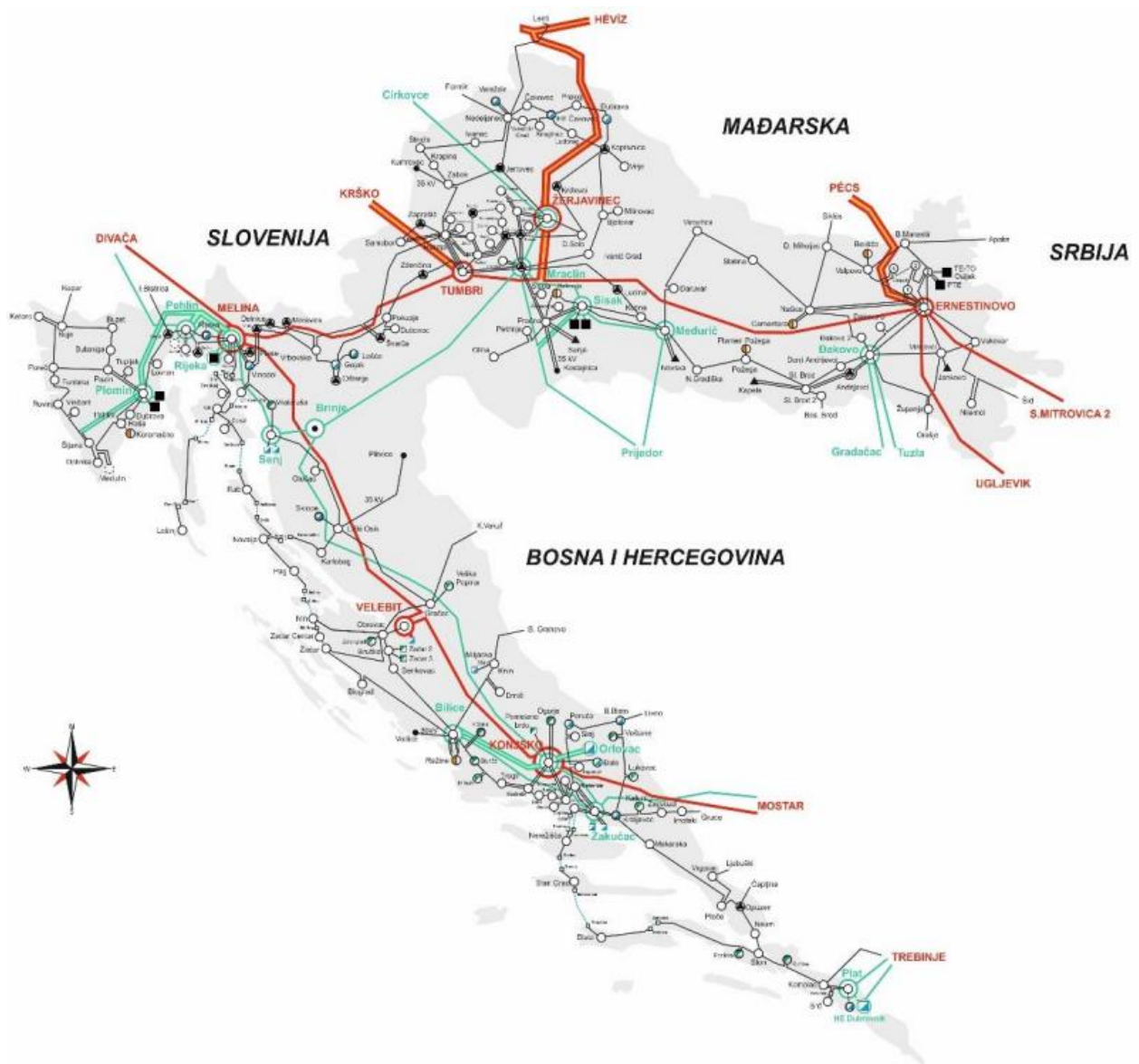
## 1.2. Potrošnja električne energije u Hrvatskoj

Električna se energija u Hrvatskoj osigurava proizvodnim kapacitetima u hrvatskom elektroenergetskom sustavu te uvozom energije iz ostalih zemalja. Prethodne je godine HEP raspolagala sa oko 19 TWh proizvedene ili kupljene električne energije dok je krajnjim korisnicima prodano 8 TWh električne energije. Najveći udio izvora električne energije je putem hidroelektrana, uvoza, a zatim slijede termoelektrane, NE Krško i obnovljivi izvori energije.

U hrvatskom prijenosnom sustavu u vlasništvu HOPS-a (hrvatski operator prijenosnog sustava) je 7721 km visokonaponske mreže 400 kV, 220 kV i 110 kV, a ubrojani su i dalekovodi konstruirani kao 110 kV koji su trenutno u pogonu na srednjem naponu [6].

Instalirana snaga objekata za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj iznosi oko 4800 MW, a od toga dominiraju hidroelektrane, zatim termoelektrane i sa oko 10 % udjela vjetroelektrane i ostali obnovljivi izvori energije. Raspoloživa je snaga tek nešto malo veća od 3300 MW dok samo termoelektrane čine nešto više od 900 MW.

Slika 2 prikazuje prijenosnu mrežu koja omogućava uvoz i izvoz električne energije sa susjednim zemljama, a značajnije se količine uvoze iz Slovenije (NE Krško), Mađarske, Srbije te Bosne i Hercegovine putem 400 kV nadzemnih vodova.



**Legenda:**

- |                               |                       |                             |     |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----|
| 400 kV dvostruki nadzemni vod | TS 400/220/110 kV     | TS (RP) 220 kV + TE         | EVP |
| 400 kV nadzemni vod           | TS 400/110 kV         | TS (RP) 220 kV + HE         | TE  |
| 220 kV dvostruki nadzemni vod | TS 220/110 kV         | TS (RP) 110 kV + VE         | HE  |
| 220 kV nadzemni vod           | TS 220/35 kV          | TS (RP) 110 kV + HE         | VE  |
| 220 kV kabelski vod           | TS 110/35 kV          | TS (RP) 110 kV + TE         |     |
| 110 kV nadzemni vod           | TS 110 kV             | TS (RP) 110 kV kupca        |     |
| 110 kV kabelski vod           | TS (RP) 110 kV + EVP  | 110 kV Kabelsko postrojenje |     |
| 110 kV podmorski kabel        | TS 110 kV U IZGRADNJI |                             |     |
|                               | TS 35 kV              |                             |     |

Prosinac, 2018.  
Izdalo: Marijo Kosović, PIP Zagreb

Slika 2. Prijenosna mreža Hrvatske [6]

### 1.3. Gradnja i značaj termoelektrane Plomin

Krajem sedamnaestog stoljeća počinje rudarenje u Istri, a kontinuirano kopanje spominje se od 1785. godine. Termoelektrana Vlačka, bila je u pogonu od 1939. godine i jedna je od tadašnjih elektrana koja je pridonijela poboljšanju elektrifikacije poluotoka Istre kada je izgrađen dalekovod Labin – Matulji čime je zatvoren prsten Pula – Matulji – Opičina – Pula, a taj je dalekovod napajao i Rijeku. Uz TE Vlačka bile su tu i TE Koromačno i TE Štrmac, ali su elektrane uništene bombardiranjem tijekom Drugog svjetskog rata.

Upravo zbog dobrog položaja i tada velikih količina ugljena sa Istarskih ugljenokopa, termoelektrana Plomin smještena je na istočnom dijelu Istarskog poluotoka, a položaj je prikladan zbog raznih sadržaja poput topografskog i geološko stimulativnog terena, mogućnosti korištenja slatke vode (Bubić jama), morske vode za hlađenje postrojenja, iznimno dobra prometna povezanost te adekvatna površina za smještaj deponija ugljena, šljake i pepela.

Početak izrade projekta za TE Plomin 2 tj. priprema, istražni radovi i studije počinje 1978. godine, a generalni projektant bio je Elektroprojekt Zagreb. Radovi počinju 1985. godine, a svaka tvrtka radi svoj dio (Jugoturbina – turbina, Đuro Đaković – kotao, Končar – generator itd.). Rok završetka bio je 1988. godine, ali to nije ostvareno pa 1991. godine slijedi raskid ugovora i zastoј do 1996. godine, a do tog je trenutka gotovost bila manja od 50%. U međuvremenu došla je odluka Sabora Republike Hrvatske o obveznoj izgradnji postrojenja za odsumporavanje pa je bilo potrebno izvršiti pojedine preinake. Nakon toga, 1996. godine, osniva se mješovita tvrtka TE Plomin d.o.o. od strane HEP-a i RWE Energije i zatim TE Plomin d.o.o. raspisuje natječaj kako bi se izgradnja dovršila te su za izvođače izabrani Siemens, Đ. Đ. TEP i razni podizvođači, a za glavnog izvođača izabran je AEE (Austrian Energy & Environment) sa rokom završetka do 1999. godine te je elektrana puštena u pogon 2000. godine. Tijekom procesa izgradnje, naišlo se je na razne probleme poput problema s tehnikom, ugovora s izvođačima, lokalne zajednice i problema sa samim izvođačima. Kako je u jednom trenutku elektrana bila nedovršena, a izvođači su se izmjenjivali, jedan dio opreme je tek djelomično izrađen dok je dio tek trebalo izraditi, izrađena oprema bila je neadekvatno zaštićena i skladištena te je dio opreme bio kod proizvođača, a drugi dio kod investitora. Tijekom stanke gradnje, definirane su odluke o novim objektima tj. sustavu transporta ugljena do deponije, postrojenja za odsumporavanje i kontrole emisijskog monitoringa što je značilo da je bilo potrebno izraditi nove nacрте ili preinake na starim nacртima. Sve se to dodatno zakompliciralo jer su promijenjena čak dva vlasnika AEE – a, bankrot same tvrtke te mijenjanje vlasnika tvrtke



Đ.Đ. TEP – a. Što se tiče upravnog postupka, elektrana ima veliki broj građevina za koje su bile potrebne izmjene i dopune građevinskih dozvola, tehnički pregled i uporabna dozvola, a između ostalog bilo je potrebno obratiti pažnju i na telekomunikacije, sustav mjerenja i regulacije, zelenilo itd. Namjera lokalne zajednice bila je izgraditi ribogojilište, razne sportske sadržaje, uzgoj cvijeća i povrća te trajektnu luku, a izgradnjom TE Plomin 2 dodatno zaposliti oko 1.000 ljudi.

Termoelektrane u Istri nekada su koristile ugljen sa Istarskih ugljenokopa, ali to naravno danas nije slučaj, prvenstveno jer na tom području više nema ugljenokopa, ali i zato jer je ugljen iz tih dijelova nešto drugačijeg sastava poput ogrjevnosti vrijednosti ugljena i većeg udjela sumpora što se svakako mora uzeti u obzir kod proizvodnje električne energije jer se dobivaju različite vrijednosti nominalne snage, ali i potrošnje samog ugljena. Ugljen za TE Plomin 2 danas se najčešće uvozi i to najviše iz Indonezije, Kolumbije, Južne Afrike, Rusije i USA, ali i dio iz Kine, Australije i Venezuele.

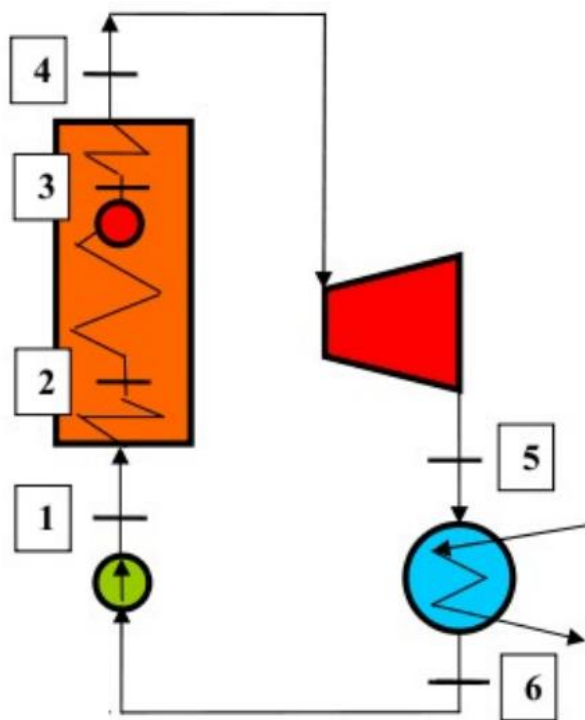


Slika 3. TE Plomin [7]

## 2. ENERGETSKE ZNAČAJKE TERMOENERGETSKOG POSTROJENJA

Termoelektrane su postrojenja kojima je primarni cilj iz kemijske energije goriva dobiti mehanički rad koji je moguće pretvoriti u električnu energiju pomoću generatora električne energije. U nastavku će biti prikazani osnovni elementi svake termoelektrane i objašnjen princip rada svakog pojedinog elementa od početka do kraja parno – turbinskog ciklusa.

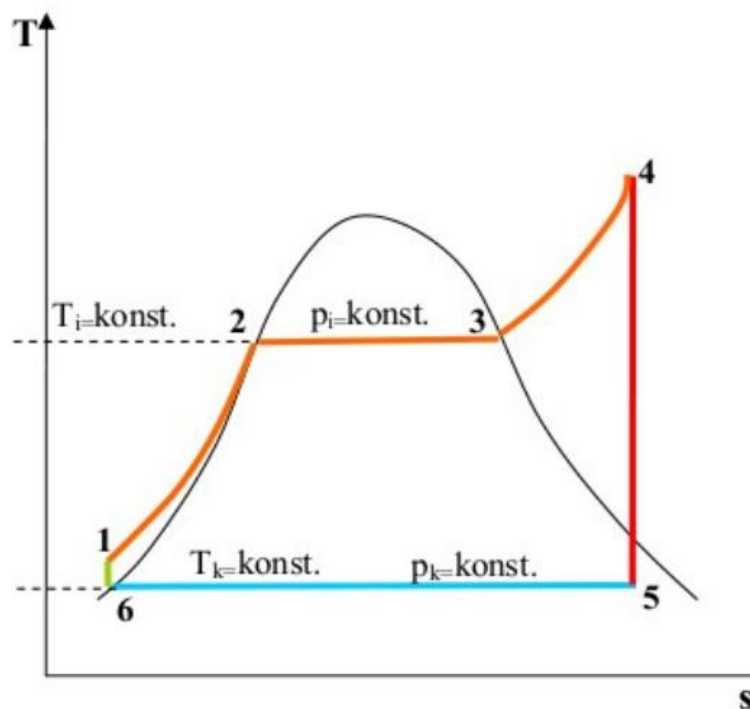
Slika 4 prikazuje pojednostavljenu shemu parno-turbinskog procesa. Na slici 5 nalazi se T-s dijagram parno-turbinskog procesa, a na slici 6 h-s dijagram parno-turbinskog procesa.



Slika 4. Parno-turbinski proces [9]

Promatrajući pojednostavljenu shemu parno-turbinskog ciklusa možemo redom komentirati djelovanje ukupnog procesa. Cilj samog parno-turbinskog procesa je proizvodnja mehaničkog rada na prirubnici parne turbine tj. iz parne turbine dobiva se moment pri nekoj brzini vrtnje, a kako bi se to ostvarilo, potrebno je parnoj turbini dovesti radni medij povišenog tlaka i temperature (sadrži entalpiju koja ovisi o masenom protoku radnog medija i vrijednosti specifične entalpije na ulazu). Iz parne turbine izlazi ekspanzirana para pa je prisutan određeni

maseni protok kondenzata odnosno maseni protok koji ulazi u kondenzator. Ukoliko bi se promatrao idealan proces, maseni protok pare na ulazu u parnu turbinu je isti onaj koji iz nje izlazi. Kondenzator je potrebno hladiti, a većinom će to biti vodom (more, rijeka ili u nekom zatvorenom krugu slatka voda). U TE Plomin se za proizvodnju pare koristi voda iz izvora Bubić jame koju je potrebno demineralizirati, a kao rashladna voda u procesu koristi se morska voda. Iz kondenzatora izlazi ukapljena para odnosno para koja se nalazi na granici zasićenja tj. vrele kapljevina (napojna voda). U cijelom procesu spominje se jedno te ista tekućina, ali u različitim agregatnim stanjima (prije turbine nalazi se u stanju suhozasićene ili pregrijane pare, nakon turbine nalazi se ekspanzirana para u stanju mokre pare dok je nakon kondenzatora u stanju vrele kapljevine). Protok se dalje vodi do napojne pumpe, generatora pare i nakon toga se zatvara opet dolaskom u turbinu. Parno-turbinski proces se dalje najbolje može prikazati u T-s i h-s dijagramu.

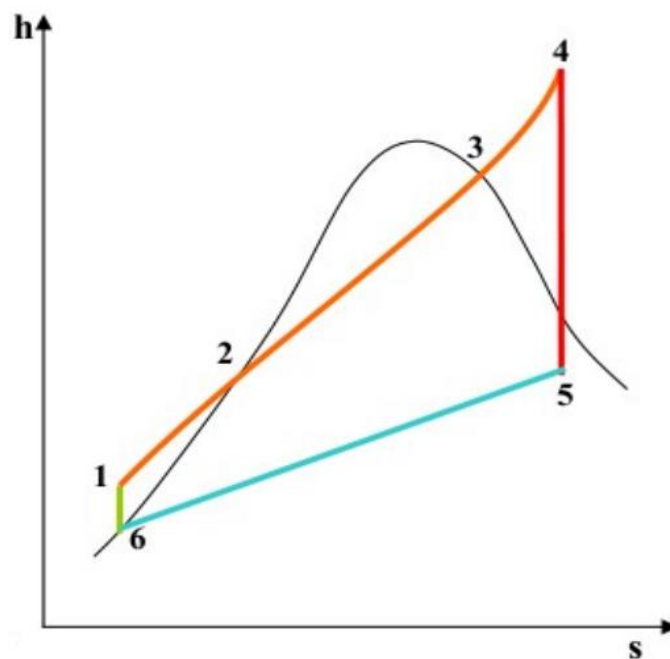


Slika 5. T-s dijagram parno-turbinskog procesa [9]

U T-s dijagramu, temperatura kritične točke iznosi  $374\text{ }^{\circ}\text{C}$  što znači da iznad te temperature pri tlaku od 220 bar-a ne postoji jasna podjela između kapljevine i pare. Proces započinje izobarnim dovođenjem topline od točke 1 do točke 2 koja odgovara  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zatim se dolazi u zasićeno

područje, a dovođenjem topline pri konstantnom tlaku se ne mijenja temperatura medija (vode) već sva toplina koja se dovodi vodi, koristi se za promjenu agregatnog stanja tako da proces teče i dalje po izobari od točke 2 do točke 3, ali je ta izobara ujedno i izoterma. Ukoliko se nastavi sa dovođenjem topline po izobari, budući da je u točki 3 područje suhozasićene pare, dolaskom u točku 4 dobiva se pregrijana para temperature od oko 300 °C. Pregrijana para se dalje odvodi u parnu turbinu gdje ekspandira i ekspanzijom na lopaticama turbine predaje svoju entalpiju u mehanički rad što prikazuje izentropa od točke 4 do točke 5. Ekspanzija pare može se voditi nešto iznad, ispod ili do same granice zasićenja tako da je na izlazu iz turbine tekućina u stanju mokre pare. Proces se dalje odvija od točke 5 do točke 6 izobarno i izotermno kroz kondenzator, a nakon toga od točke 6 do točke 1 (u napojnoj pumpi) tlak se povećava izentropski (nema promjene entropije).

Slika 6 prikazuje h-s dijagram parno-turbinskog procesa koji pokazuje promjenu entalpije pare u pojedinim fazama. Entropija – s, mjeri u kJ/kgK, a specifična entalpija u kJ/kg (ukoliko se promatra apsolutna entalpija mjerna jedinica je kJ).



Slika 6. h-s dijagram parno-turbinskog procesa [9]

Na h-s dijagramu točka broj 6 pri 0,5 bar i 80°C odgovara oko 340 kJ/kg. Nakon toga dolazi se u točku 1, a potom dolazi do dovođenja topline do točke 2 koja iznosi oko 720 kJ/kg. Nakon točke 2 i dalje je prisutno zagrijavanje po izobari, a u ovom slučaju i izotermi što u h-s dijagramu

označava pravac. Specifična entalpija u točki 3 iznosi oko 2750 kJ/kg, a pregrijavanje se dalje vrši do točke 4 tj. do 3200 kJ/kg. Od točke 4 do točke 5 dolazi do ekspanzije, a potom do točke 6 do ukapljivanja u kondenzatoru tj. odvodi se toplina od pare kako bi se kasnije ponovno mogla dovesti do višeg tlaka, a pritom da se ne koristi značajna entalpija.

### Korisnost parno-turbinskog ciklusa

Ukoliko promotrimo parno-turbinski proces, prije parne turbine nalazi se maseni protok i entalpija pare koja se može definirati kao entalpija  $h_4$  pa je onda entalpija nakon parne turbine  $h_5$ , nakon kondenzatora  $h_6$  te nakon napojne pumpe  $h_1$ .

$$\eta = \frac{W_{dob}}{Q_{dov}} = \frac{q_{mp}(h_4-h_5) - q_{mnv}(h_1-h_6)}{q_{mp}(h_4-h_1)} = \frac{h_4-h_5}{h_4-h_6}$$

gdje je:

- $Q_{dov}$  – dovedena energija
- $q_{mnv}$  – maseni protok napojne vode
- $q_{mp}$  – maseni protok pare
- $W_{dob}$  – dobiveni rad
- $\eta$  – stupanj djelovanja

Povećanje entalpije sa  $h_6$  na  $h_1$  je veoma malo pa se može definirati da je  $h_1 = h_6$ . Također, maseni protok napojne vode  $q_{mnv}$  jednak je masenom protoku pare  $q_{mp}$ . Kod parno-turbinskog ciklusa primarni oblik energije koji se dovodi je kemijska energija tj.  $Q_{dov}$  pri čemu postoje i pojedini gubitci, a to su gubitci entalpije dimnih plinova, zračenja generatora pare u okolinu i nepotpuno izgaranje te nepotpuno izgorjeno gorivo.

Kod promatranja svih gubitaka, može se definirati korisnost kotla kao omjer dobivene energije i dovedene energije u kotao.

Korisnost kotla:

$$\eta_k = \frac{q_{mp} (h_4 - h_6)}{q_{mg} \times A_d + q_{mg} \times c \times T_g + q_{mz} \times c_p \times T_z}$$

gdje je:

- $A_d$  – donja ogrjevna vrijednost goriva
- $c$  – specifični toplinski kapacitet goriva
- $c_p$  – specifični toplinski kapacitet zraka pri konstantnom tlaku (okolišni tlak)
- $T_g$  – temperatura goriva
- $T_z$  – temperatura zraka
- $q_{mg}$  – maseni protok goriva
- $q_{mp}$  – maseni protok pare
- $q_{mz}$  – maseni protok zraka
- $\eta_k$  – stupanj djelovanja kotla

Prednosti termoenergetskog postrojenja ima podosta, a neke od najpotrebnijih za istaknuti bile bi relativno jeftino dobivanje električne energije, pouzdana i poznata tehnologija dobivanja, prerade i uporabe ugljena te zalihe ugljena koje su dovoljne za sljedećih 400 – 800 godina ovisno o njegovoj potrošnji.

Kao ključni nedostatak takvog postrojenja može se istaknuti kako je potrebna velika količina ugljena za pogon termoelektrane jer je njegova ogrjevna vrijednost mala. Također, iskapanjem se rude i izgaranjem ugljena stvara velika količina otpada koji može biti kemijski i radijacijski opasan ukoliko se neadekvatno skladišti te su prisutne emisije dušikovih i sumporovih oksida te dušikova dioksida koje negativno utječu na biljni i životinjski svijet te potiču stvaranje kiselih kiša.

### **Transport ugljena od pristaništa do elektrane**

Transport ugljena u termoelektranu započinje iz pristaništa koje je izgrađeno u Plominskom zaljevu 1999. godine, a predviđeno je za prihvat brodova čija nosivost seže do 70 000 t. Ugljen se iskrcava i doprema do deponija putem transportnih traka oblikovanih u obliku cijevi. Deponij ugljena je otvorenog tipa kapaciteta od oko 250 000 t.

Na sljedećoj slici prikazan je transport ugljena od pristaništa, putem transportne trake u obliku cijevi do deponija i potom od deponija putem transportne trake koja opskrbljuje sustav mlinova.



Slika 7. Transport ugljena

## 2.1. Sustav mlinova

Sustav mlinova nalazi se na središnjem dijelu tehnološkog procesa tako što se nadovezuje na sustav dobave i pripreme ugljena. Gorivo (ugljen) se pomoću kuglastih mlinova melje u sitne čestice praha te se dobiva ugljena prašina koja prolazi kroz rotacioni filter te se zatim upuhuje u ložište. Pomoću sustava mlinova osigurava se dovoljna količina ugljene prašine koja je potrebna za kontinuiranu pretvorbu energije. Sustav mlinova direktno je povezan s ložištem i kotlom termoelektrane Plomin 2.

Na sljedećoj slici prikazan je kuglasti mlin koji se sastoji od pet kugli odnosno valjaka za mljevenje.



**Slika 8. Mlin za mljevenje ugljena**

Ugljen određene granulacije ulazi u kuglasti mlin putem transportne trake gdje dolazi do njegovog usitnjavanja pomoću valjaka za mljevenje te se dobiva ugljena prašina. Tako usitnjeni komadi tj. ugljena prašina upuhuje se pomoću vrućeg zraka prema vrhu mlina gdje se nalazi rotacioni filter koji propušta dovoljno usitnjenu ugljenu prašinu koja odlazi dalje u ložište dok se nedovoljno usitnjene čestice vraćaju natrag putem konusa i zatim se ponovno obrađuju pomoću kuglastih mlinova kako bi se dobila željena granulacija ugljene prašine.

Možemo reći kako sustav mlinova ima tri glavne funkcije, a to su:

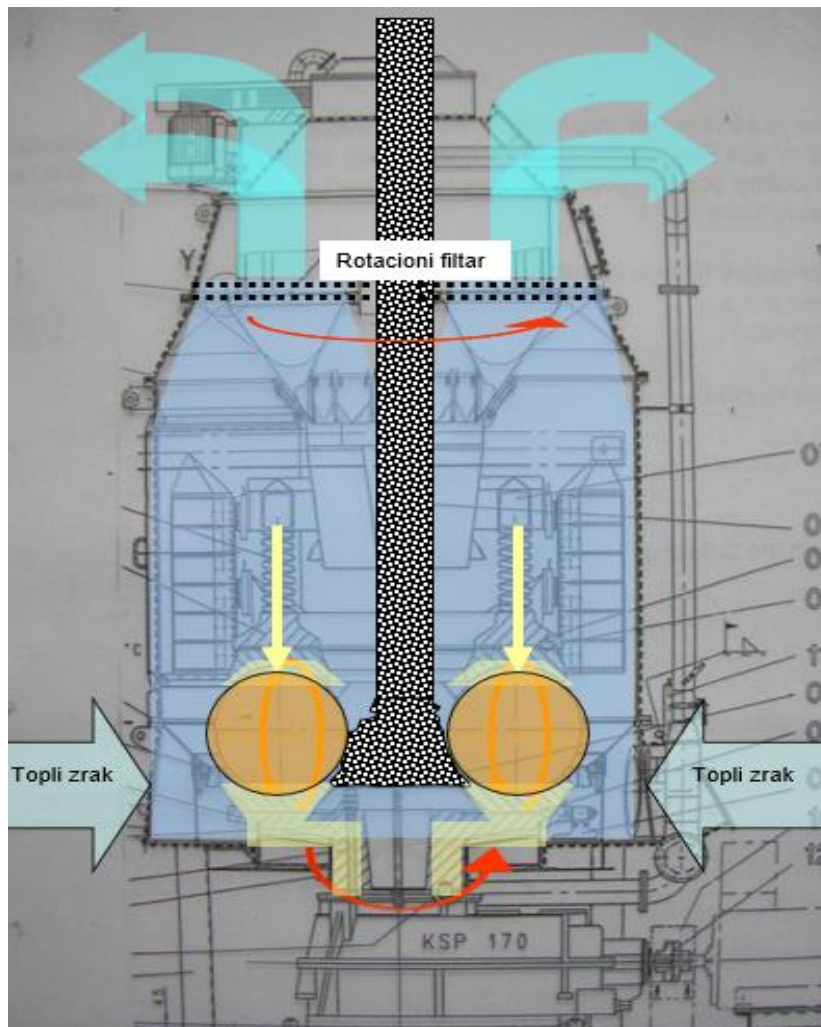
- Sušenje (ugljen se melje odnosno smanjuje mu se veličina i zatim se upuhuje pomoću vrućeg zraka kako bi došao do rotacionog filtra te se suši dok putuje od dna prema vrhu mlina. Vrući plin koji se koristi može biti zagrijani okolni zrak, ali može biti i ispušni plin npr. iz peći pa treba imati na umu kako vrsta plina koja se koristi diktira količinu kisika koja se nalazi u plinu. Kisik omogućuje izgaranje, a izgaranje potiče na eksploziju



pa je bitno voditi računa o tome jer u određenim uvjetima nije poželjno imati puno kisika u plinu.)

- Mljevenje (mljevenje je potrebno kako bi se povećala površina poprečnog presjeka što omogućuje brže sušenje te učinkovitije paljenje i sagorijevanje.)
- Klasifikacija (nakon što se ugljen samelje, dolazi do klasifikacije kako bi se osigurala isporuka ugljene prašine odgovarajuće veličine u peć.)

Slika 9 prikazuje shemu već objašnjenog kuglastog mlina s ucrtanim donjim strelicama dobave toplog zraka dok gornje četiri strelice prikazuju gorionike. Unutar mlina nalaze se valjci za mljevenje i rotacioni filter.



Slika 9. Shema kuglastog mlina [10]

Nekada se ugljen dobavljaio iz Istarskih ugljenokopa, a danas se uvozi iz raznih dijelova svijeta. Utvrđene su određene granice kojima je specificiran raspon kvalitete ugljena u skladu sa zahtjevima kod projektiranja kotlovskeg sustava od kojeg je sustav mlinova neizostavan dio.

Donja ogrjevna vrijednost goriva čija je oznaka  $H_d$ , označava razliku između entalpije mješavine zraka i goriva i entalpije dimnih plinova u kojima vlaga postoji u parovitom stanju nakon što se oni ohlade na temperaturu  $t = 0$  °C. Gornja ogrjevna vrijednost  $H_g$  goriva predstavlja razliku između entalpije mješavine zraka i goriva i entalpije dimnih plinova u kojima vlaga (i pare sumporne kiseline ukoliko gorivo sadrži sumpor) postoji u kapljevitom stanju nakon što se oni ohlade na temperaturu od  $t = 0$  °C [1].

Osim donje ogrjevne vrijednosti, čimbenici koji utječu na kvalitetu još su sadržaj vlage u ugljenu, indeks tvrdoće (meljivosti) ugljena koji se očitava prema Hardgrove metodi, temperatura i granulacija ugljene prašine. Donja ogrjevna vrijednost mora biti u granicama od 24 – 28 MJ/kg, sadržaj vlage od 8 – 11 %, indeks tvrdoće od 52 – 60, temperatura ugljene prašine od 65 – 90 °C te granulacija ugljene prašine  $\leq 10$  %. To su parametri koji direktno utječu na sustav mlinova koji se zatim nadovezuju s ostalim sustavom i tako su pokazatelj uspješnosti tj. radne i vremenske raspoloživosti te eksploatacijske pouzdanosti termoelektrane.

## 2.2. Generator pare

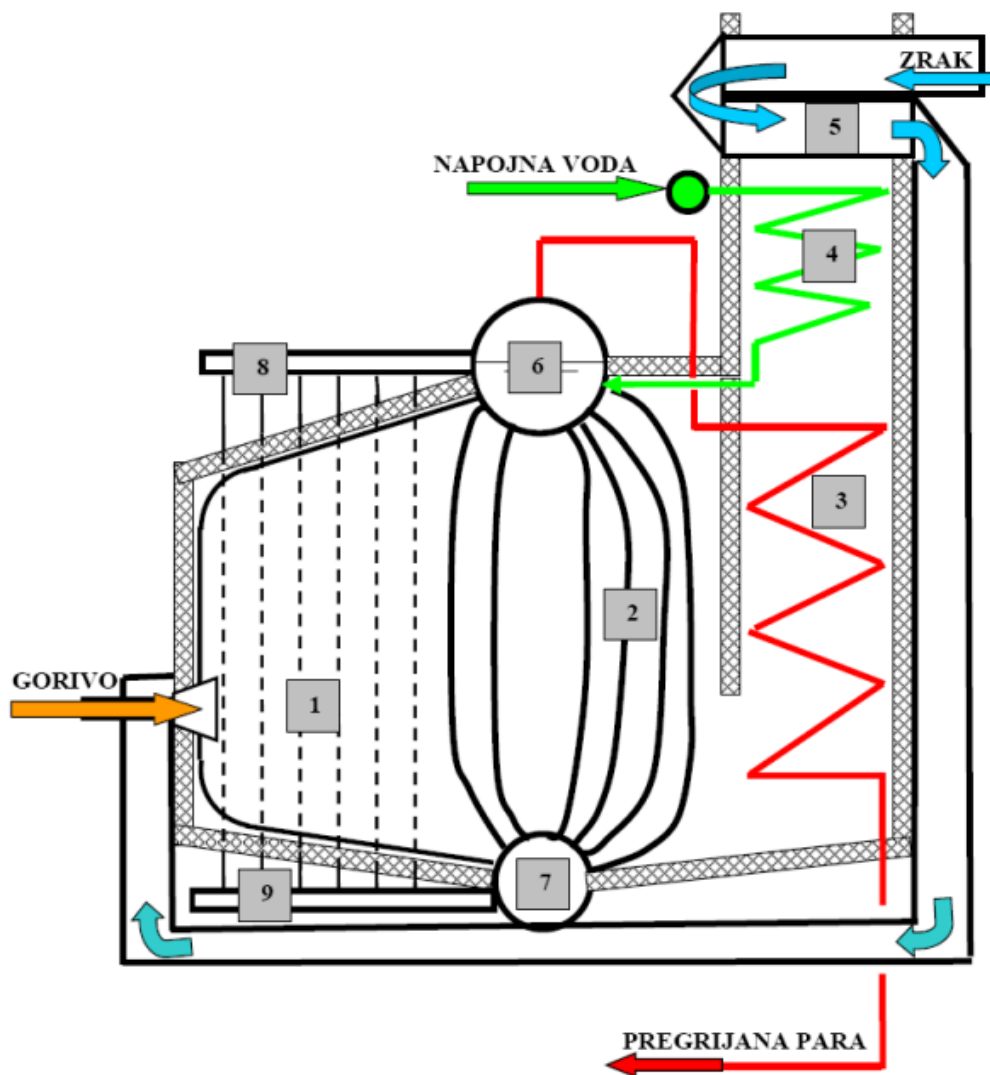
Generator pare je energetska uređaj koji se pretvara kemijsku energiju goriva u entalpiju pare određenog tlaka i temperature koja služi kao radni fluid za pogon parnih strojeva (turbina) ili za prijenos toplinske energije (na primjer za grijanje).

Postoji mnogo podjela generatora pare, a neke najvažnije su:

- prema vrsti pare
  - pregrijana para
  - suha para
  - zasićena para
- prema vrsti goriva koju koriste
  - generator pare na ugljen
  - generator pare na plinovito gorivo
  - generator pare na tekuće gorivo

- prema radnom tlaku
  - o niskotlačni (do 7 bara)
  - o srednjetačni (od 7 do 22 bara)
  - o visokotlačni (od 22 bara)
- prema konstrukciji
  - o vodocijevni
  - o vatrocijevni

Na sljedećoj su slici prikazani glavni dijelovi generatora pare. Broj 1 predstavlja ložište, 2 – konvekcijski isparivač, 3 – pregrijač pare, 4 – zagrijač vode, 5 – zagrijač zraka, 6 – parni bubanj, 7 – vodeni bubanj, 8 – gornja komora ekrana i 9 – donja komora ekrana.



Slika 10. Dijelovi generatora pare [9]

Na prethodnoj su slici navedeni glavni dijelovi generatora pare. Pod brojem 6 nalazi se parni bubanj koji je uobičajeno cilindričnog oblika unutar kojega se nalazi dvofazni medij (u donjem dijelu kapljevina, a u gornjem para). Na vrhu parnog bubnja nalazi se ventil kroz koji služi za izlaz pare. Unutar parnog bubnja nalazi se mokra para jer se upravo unutar cilindra parnog bubnja nalazi vrela kapljevina i suhozasićena para. Temperatura suhozasićene pare i vrela kapljevine je jednaka kao i tlak unutar samog bubnja. Dovođenjem topline u parni bubanj, dolazi do pretvorbe agregatnog stanja tj. vrela kapljevina prelazi u suhozasićenu paru. Budući da vrela kapljevina ima manji specifični volumen odnosno veću gustoću će se baš zbog toga nalaziti u donjem dijelu parnog bubnja dok će suhozasićena para ispuniti gornji dio. Iz parnoga bubnja prema vodenom bubnju odnosno vodnoj komori silazi snop isparivačkih cijevi, dio grijanih, a dio negrijanih silaznih cijevi.

Uslijed termosifonskog efekta, ukoliko su prisutne dvije vrste cijevi koje su međusobno spojene, jedne grijane, a druge hladene ili dovoljno samo da nisu grijane, ostvaruje se efekt da se iz grijanih cijevi smanjuje gustoća i budući da je gustoća na tom dijelu manja, po zakonu spojenih posuda, tekućina veće gustoće ulazi u cijev odnosno vodnu komoru dok tekućina manje gustoće prelazi u parni bubanj i time se ostvaruje cirkulacija između vodne komore i parnog bubnja.

Gorionik služi za miješanje goriva i zraka koji izgaraju u ložištu. Grijane cijevi se zagrijavaju upravo putem dimnih plinova koji su posljedica izgaranja goriva koje se spaljuje u gorionicima. Kako se pri izgaranju goriva razvijaju vrlo visoke temperature, reda veličine 2000 °C pa i više, ložište je potrebno izolirati kako bi gubitci bili što manji, a najčešće se za to primjenjuje šamotna cigla. U ložištu je prisutna vrlo visoka temperatura pa je poželjno osim dobre šamotne izolacije, dodatno hladiti vodom. Cijevi kroz koje struji voda se iz vodne komore odvede u parni bubanj te se kroz njih djelomično isparava voda. Dolaskom u parni bubanj, voda je u stanju mokre pare i mjehurići odlaze u gornji dio dok kapljevina ostaje u donjem dijelu.

Primarni oblik energije koji se dovodi generatoru pare je kemijska energija (gorivo) uslijed čega postoje određeni gubici, a to su:

- gubici entalpije dimnih plinova
- zračenje generatora pare u okolinu
- gubici zbog nepotpunog izgaranja

### 2.2.1. Ložište

Ložište je mjesto unutar generatora pare u kojemu izgara gorivo. Šamot u ložištu postavlja se iz dva razloga, a primarno kako bi se donji dio zaštitio od visokih temperatura odnosno u što manjoj mjeri grijao već da se grije upravo vertikalni dio kako bi se povećao utjecaj termosifonskog efekta i sekundarno, gorivo koje se koristi u pravilu se neće lako zapaliti pa neće biti prisutno potpuno izgaranje tako da svo gorivo koje se ne zapali, nakon što dođe do šamotne cigle sigurno će se zapaliti i na taj način se posredno smanjuju gubitci nepotpuno izgorenog goriva.

U današnje vrijeme sve se češće koristi izvedba ekranskog ložišta koje ima blisko postavljene cijevi i koje su spojene čeličnim trakama tako da formiraju „ekran“ tako da dimni plinovi neće moći strujati kroz njih. Iza cijevi postavlja se laki šamot koji ima manju gustoću od teškog šamota i ne podnosi visoke temperature, ali u ovom slučaju biti će dovoljan iz razloga jer je prisutno izravno hlađenje sa vodom koja struji kroz cijevi pa se bitno olakšava sama konstrukcija ložišta. Kod ekranskih ložišta, toplina se prenosi isključivo zračenjem odnosno emisijom dok se kod ložišta gdje su prisutne blisko postavljene cijevi bez međusobnog povezivanja, toplina prenosi zračenjem, a djelomično samim prijelazom topline odnosno konvekcijom.

Ložište treba osigurati:

- vrlo visoku sigurnost na radu
- proizvodnju pare za odgovarajuću unesenu količinu goriva
- što potpunije izgaranje
- što manje zašljakivanje ložišta
- mogućnost jednostavnog održavanja

Generator pare se osim ložišta sastoji još od niza ogrjevnih površina poput predgrijača, pregrijača, međupregrijača i isparivača. Predgrijač ili ekonomajzer predgrijava napojnu vodu iz stanja pothlađene kapljevine u stanje vrele kapljevine dok pregrijač pregrijava suhozasićenu paru iz parnog bubnja u pregrijanu paru. Proces međupregrijavanja pare vrši se tako da svježa para ekspandira u visokotlačni dio turbine do tlaka međupregrijanja, a zatim se vraća u generator pare u kojemu se međupregrijava i ponovno ekspandira u niskotlačnom dijelu turbine.

Isparivač odnosno snop isparivačkih cijevi predstavlja ogrjevnu površinu u kojoj se vrši isparavanje vode, a do prijelaza topline dolazi konvekcijom i zračenjem.

Na sljedećoj je slici prikazan generator pare TE Plomin s prisilnom cirkulacijom tipa Sulzer kapaciteta 670 t/h svježe pare (147,4 bar i 535 °C) sa 24 plamenika u šest ravnina koji prethodi procesu kondenzacijske turbine s međupregrijavanjem. Potrošnja ugljena donje ogrjevne vrijednosti 24 MJ/kg za maksimalnu iskoristivost iznosi oko 80 t/h [11].



**Slika 11. Generator pare [10]**

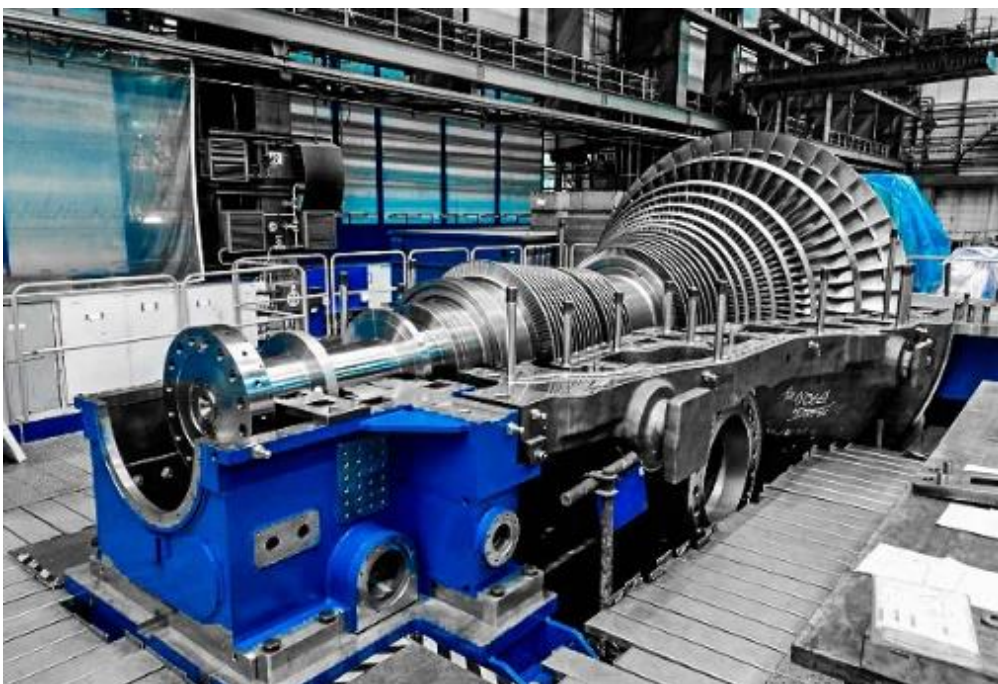
### 2.3. Parna turbina

Parna turbina je stroj koji pretvara energiju mlaza pare u mehanički rad na vratilu. Pregrijana ili suhozasićena para u turbini ekspandira čime pretvara svoju entalpiju (energiju tlaka i unutarnju energiju) najprije u kinetičku energiju, a zatim u rad na lopaticama turbine. Tlak i temperatura u samoj parnoj turbini padaju, a brzina lokalno raste odnosno energija tlaka i unutarnja energija se pretvaraju u kinetičku energiju, a potom se kinetička energija pretvara u mehaničku energiju. Para na ulazu može biti pregrijana ili suhozasićena dok para na izlazu iz turbine može biti pregrijana, suhozasićena ili mokra.

Podjela turbina prema načinu korištenja pare na izlazu iz turbine:

- protutlačna
- kondenzatorska
- ispušna

Kod kondenzatorskih turbina para na izlazu iz turbine odlazi u kondenzator dok kod protutlačnih ne ide u kondenzator već ide dalje u turbinu (ima povišeni tlak na izlazu iz turbine). Tipičan primjer ispušnih turbina bio je na parnim lokomotivama. Para na izlazu iz kondenzatorskih i ispušnih turbina biti će mokra odnosno kombinacija vrele kapljevine i suhozasićene pare.



Slika 12. Parna turbina [12]

U ovisnosti o stupnju reaktivnosti, parne turbine se dijele na:

- Akcijske parne turbine
  - Para ekspandira u prvom redu statorskih lopatica odnosno u mlaznicama
  - Izvedba mlaznice: sužene ili suženo – proširene
  - Kompaktna izvedba odnosno dobar omjer snaga/masa
  - Dobra regulacija
  - Veliki gubici za velike snage
- Reakcijske parne turbine
  - Para kontinuirano ekspandira u statoru i rotoru (stupnjevana ekspanzija)
  - Pogodne za velike snage
  - Spor odziv i slaba regulacija

U mlaznicama je prisutna pretvorba entalpije pare u kinetičku energiju. Suženjem presjeka povećava se brzina strujanja, a smanjuje se tlak odnosno energija tlaka pretvara se u kinetičku energiju mlaza. Brzina se suženjem presjeka može povećati do kritične brzine strujanja (brzine širenja tlačnog poremećaja tj. brzine zvuka), a nakon toga potrebno je mlaznicu proširiti kako bi mlaz mogao ubrzati i iznad kritične brzine. Za manje padove tlaka koristi se sužena mlaznica dok se za veće koristi suženo – proširena mlaznica. Povećanjem brzine strujanja povećavaju se i hidraulički gubici s kvadratom brzine.

Turbina termoelektrane Plomin je dvokućna s kombiniranim visokotlačnim i srednjotlačnim kućištem te dvoizlaznim niskotlačnim kućištem sa sedam nereguliranih oduzimanja [11].

## 2.4. Kondenzator

Kondenzator ima ulogu da ispušnu paru koja dolazi iz turbine pretvori u kapljevito stanje tj. kondenzat odnosno to je izmjenjivač topline u kojem se para nakon ekspanzije u turbini hladi predajući toplinski tok izravno okolišu. Prema vrsti rashladnog medija, kondenzatori mogu biti vodeni (rashladni medij im je voda) ili zračni kojima je rashladni medij zrak. Zbog pristupačnosti morske vode, termoelektrana Plomin koristi kondenzator hlađen morskom vodom. Uvjetima hlađenja nametnuta je temperatura u kondenzatoru te je zbog promjene agregatnog stanja njome određen tlak u kondenzatoru. Taj je tlak, zbog linije napetosti vode niži od okolišnog tj. u kondenzatoru je prisutan podtlak.



## 2.5. Utjecaj na okoliš

Kako bi se uspješno zaokružio cijeli parno – turbinski ciklus, potrebno je osim tehničkih podataka i iskoristivosti same elektrane, voditi brigu i o utjecaju na okoliš. Pomoćna postrojenja u sklopu termoelektrane Plomin koja su potrebna kako bi se kvalitetno gospodarilo otpadom i smanjilo zagađenje okoliša su postrojenje za odsumporavanje, postrojenje za obradu otpadnih voda te deponij tehnološkog otpada.

### 2.5.1. Postrojenje za odsumporavanje

Postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova jedino je takvo postrojenje u Republici Hrvatskoj. Maksimalan kapacitet proizvodnje gipsa iznosi oko 6,9 t/h dok je potrošnja vapnenca oko 4 t/h. Postrojenje za odsumporavanje mokrim postupkom IFO (Insitu Forced Oxidation) ispire dimni plin suspenzijom vapnenca u svrhu odstranjenja  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{HCl}$  i  $\text{HF}$  uz stvaranje gipsa. [Pogon TE Plomin: Izvješće o energetsom pregledu]



Slika 13. Proizvodnja gipsa

Slika 13 prikazuje tijek sušenja gipsa i transport prema skladištu iz kojeg se kasnije gips odvozi i prodaje. S tvrtkom Holcim dogovoreno je zbrinjavanje tehnološkog neopasnog otpada kao što je gips. Tehnološki neopasni otpad iz termoelektrane koristi se u proizvodnji cementa, a institut građevinarstva Republike Hrvatske provodi analize za prethodno navedene materijale. Bez obzira na mogućnost deponiranja, većina ostalih materijala prodaje se građevinskoj industriji pa je tako za primjer 2003. godine proizvedeno 26.000 t gipsa i prodano tvornici cementa, a ništa nije deponirano.



**Slika 14. Skladište gipsa [10]**

Tijekom odsumporavanja dolazi do kemijskih reakcija apsorpcije, reakcije s vapnencem, oksidacije i kristalizacije.

Stupanj izlučivanja  $\text{SO}_2$  je preko 95 %, prisutnost  $\text{SO}_2$  na izlazu manja od  $400 \text{ mg/mn}^3$  i prisutnost HCl na izlazu manja od  $400 \text{ mg/mn}^3$ .

### 2.5.2. Postrojenje za obradu otpadnih voda

Prije ispuštanja otpadnih voda u Čepić kanal, Bišac ili more u Plominskom zaljevu otpadne se vode pročišćavaju do mjera da sadržaj štetnih tvari ne smije prijeći dopuštenu koncentraciju za ispuštanje u 2. vrstu kakvoća vode tj. prema pravilniku o graničnim vrijednostima štetnih tvari vezanih za otpadne vode i prema vodopravnim dozvolama. Osim prethodno navedenog tehnološkog otpada koji nastaje u termoelektrani, u postrojenju za obradu otpadnih voda proizvodi se ARA kolač tako da se otpadna voda filtrira, a kao produkt nastaje ARA kolač koji se sastoji od čestica koje nisu prošle kroz filter.

Vode koja se obrađuje u postrojenju za obradu otpadnih voda su:

- Otpadne vode iz postrojenja za odsumporavanje
- Sanitarne otpadne vode
- Otpadne vode iz strojarnice

Kapacitet postrojenja za obradu otpadnih voda iznosi 50 m<sup>3</sup>/h, a prihvatni spremnik ima zapreminu od 1.200 m<sup>3</sup>.

Na sljedećoj slici nalazi se kruti ostatak od obrade otpadnih voda koji se prodaje cementnoj industriji.



**Slika 15. ARA kolač**

### 3. PRIKAZ ZNAČAJKI TERMOENERGETSKOG POSTROJENJA

Kao što je već navedeno, termoelektrana Plomin je jedina termoelektrana u Hrvatskoj koja koristi ugljen. Termoelektrana je smještena u Plominski zaljev zbog pogodnih topografskih, eksploatacijskih i geološko stimulativnih razloga kao i mogućnosti korištena ugljena sa Istarskih ugljenokopa. Ugljen sa takvih ugljenokopa kao npr. Raški ugljen, sadržavao je visoki udio sumpora te je dolazilo do problema zašljakivanja ložišta pa je tako zamijenjen uvoznim kamenim ugljenom koji ima ogrjevnu vrijednost od 24 do 29 MJ/kg te udio sumpora od 0,4 % do 1,4 %.

Osim navedenih parametara, nabavlja se visokokalorični niskosumporni ugljen narednih karakteristika:

- Sadržaj pepela: 8 – 15 %
- Ukupan sadržaj vlage: 6 – 15 %
- Sadržaj vlage i pepela:  $\leq 23$  %
- Hlapivo (bez vlage i pepela):  $\geq 25$  %
- Dušik:  $\leq 1,85$  %
- Klor:  $\leq 0,2$  %
- $\text{Na}_2\text{O}$ :  $\geq 0,2$  %
- Granulacija: 0 – 50 mm

#### Karakteristike TE Plomin:

##### **Blok**

- nominalna snaga 210 MW
- maksimalna snaga na generatoru 217,5 MW
- minimalna trajna snaga 125 MW
- vlastita potrošnja samog bloka 19 MW
- proizvodnja pare: 670 t/h, temperature 535 °C tlaka 147 bar
- potrošnja ugljena ogrjevne vrijednosti 24 – 29 MJ/kg cca 80 t/h

## **Turbina**

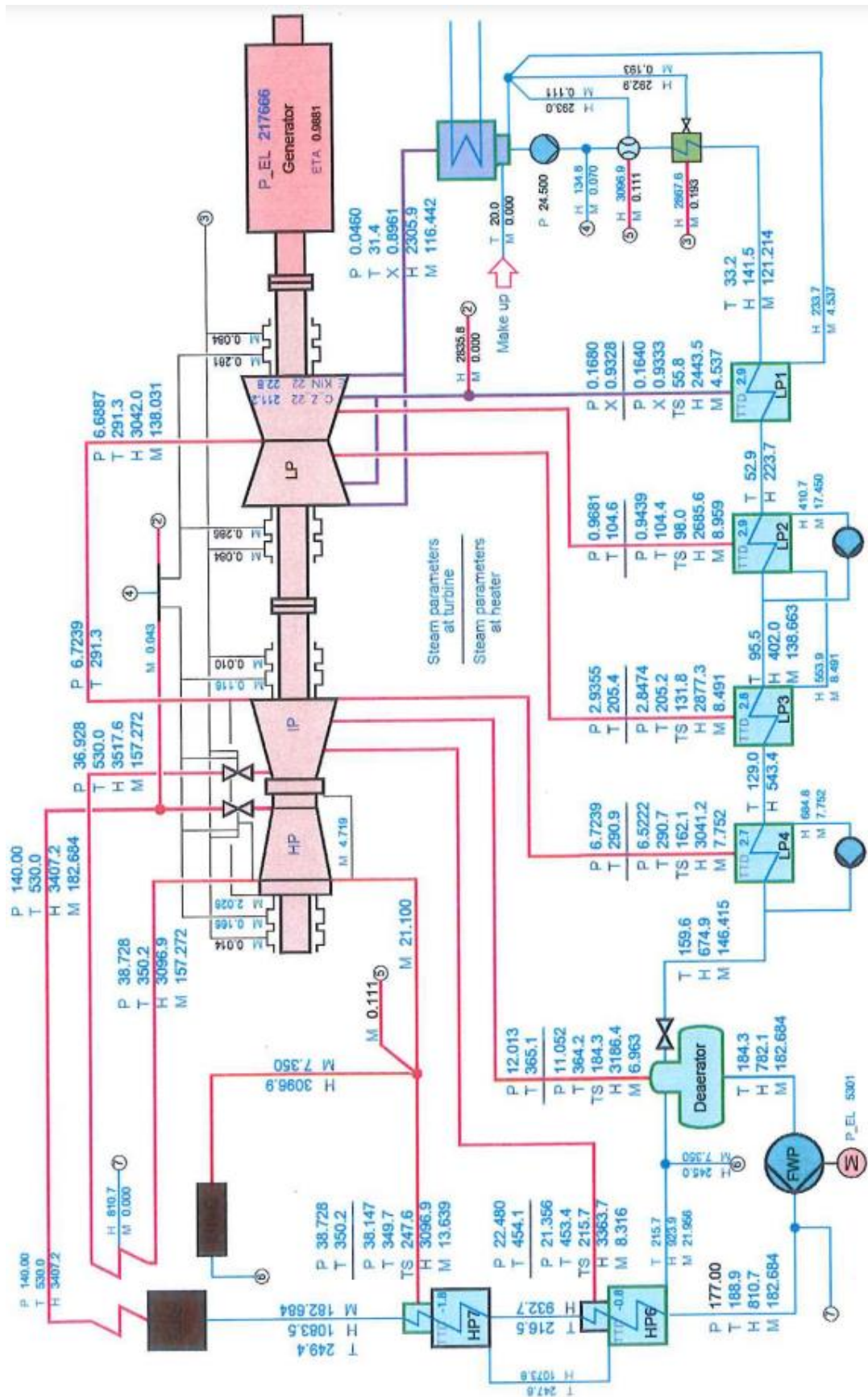
- kondenzacijska turbina s međupregrijavanjem (proizvođač Alstom Hrvatska, Karlovac)
- dvokučišna (kombinirano visokotlačno i srednjetačno kućište)
- dvoizlazno niskotlačno kućište
- sedam nereguliranih oduzimanja

## **Generator električne energije**

- nazivna snaga 247 MVA, faktor snage 0,85 i napon 13.800 V
- proizvedena energija se putem blok transformatora od 13,8/240 kV prenosi u 220 kV mrežu
- 3.000 okretaja u minuti, 50 Hz
- hlađenje vodikom

Kao sustav vođenja i nadzora glavnog sustava koristi se Siemens Teleperm XP program. Za sustav mjerenja, upravljanja i regulacije koristi se AS 620, a sustav nadzora OM 650 program. Turbotrol služi kao sustav vođenja turbine dok se Simatic koristi za pomoćne sustave.

Na sljedećoj slici prikazan je shematski prikaz TE Plomin sa istaknutim vrijednostima pare u određenim trenucima pa se tako može uočiti da je tlak suhozasićene pare na izlazu iz kotla 140 bar uz temperaturu suhozasićene pare od 530 °C dok su te vrijednosti znatno niže nakon ekspanzije u visokotlačnom, srednjetačnom i niskotlačnom dijelu turbine. Također, može se zamijetiti kako je prisutan podtlak u kondenzatoru tj. tlak od 0,0460 bar pri temperaturi od 31,4 °C.



Slika 16. Shematski prikaz TE Plomin

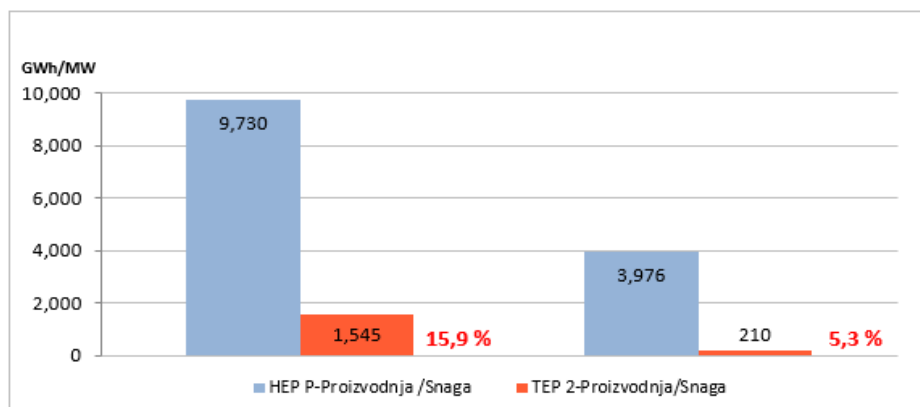
Ostvarena proizvodnja, vrijeme stajanja zbog kvara, remonta, sati rada na mreži te potrošnja ugljena i lož ulja prikazani su u sljedećoj tablici u razdoblju od početka rada tj. 1999. godine do polovice 2021. godine.

**Tablica 2. Energetski pregled rada TE Plomin [8]**

Godina	Ostvarena proizvodnja		Sati rada na mreži h	Vrijeme stajanja zbog						Ukupno stajanje h	Potrošnja		Pogon izlaz /ulaz br. puta
	Generator MWh	Prag MWh		Kvara ( h )			Rezerva h	Njega h	Remont h		ugljena t	lož ulja t	
				kotla	turbine	ostalo							
1999	37,181.20	15,030.10	346.80				0.00	0.00	0.00	2221.20	15,575	12121.91	27
2000	868,196.98	777,308.12	4839.00				84.00	72.00	888.00	3921.00	302,848	6630.89	72
2001	1,000,433.76	899,438.14	5297.60	156.60	0.00	2939.20	122.00	0.00	366.60	3462.40	350,411	4819.02	41
2002	1,420,807.77	1,283,882.12	7041.80	80.43	37.23	520.54	0.00	0.00	1080.00	1718.20	511,040	1140.46	13
2003	1,783,778.04	1,616,013.63	8630.12	43.00	0.00	86.90	0.00	0.00	0.00	129.90	646,139	585.00	9
2004	1,464,982.00	1,320,056.00	7428.00	98.00	2.00	131.00	641.00	0.00	484.00	1356.00	570,931	1432.00	17
2005	1,624,052.31	1,457,989.14	8177.06	11.22	1.37	126.65	338.56	105.13	0.00	582.93	627,655	1154.09	16
2006	1,746,031.55	1,575,790.39	8618.72	38.67	0.00	24.93	0.00	77.68	0.00	141.28	637,857	377.16	4
2007	1,555,225.16	1,401,270.95	7621.17	175.82	0.00	38.75	0.00	0.00	924.27	1138.84	567,818	977.55	12
2008	1,681,925.72	1,513,841.12	8513.58	162.37	0.42	107.63	0.00	0.00	0.00	270.42	607,253	511.22	7
2009	884,545.16	796,487.87	4542.28	115.75	0.75	3995.62	105.60	0.00	0.00	4217.72	328,493	739.12	6
2010	1,672,489.62	1,510,620.19	8392.93	0.00	0.00	197.04	0.00	170.04	0.00	367.07	618,177	463.77	6
2011	1,715,549.76	1,545,045.70	8367.46	216.17	7.42	89.08	0.00	79.87	0.00	392.54	616,249	605.32	8
2012	1,520,885.65	1,371,992.30	7584.50	283.20	14.41	56.35	0.00	0.00	845.50	1199.46	558,689	847.11	8
2013	1,608,089.78	1,448,119.29	8510.38	47.10	0.00	155.00	47.50	0.00	0.00	249.60	592,643	462.17	5
2014	1,601,140.86	1,440,786.03	8365.01				50.05	149.87	0.00	394.99	603,879	584.68	6
2015	1,439,028.29	1,295,307.42	7536.83				35.38	0.00	803.51	1223.17	528,264	1613.51	23
2016	1,688,281.65	1,531,264.86	8235.09				45.40	0.00	251.25	548.91	605,846	621.03	11
2017	1,048,437.75	944,548.70	5058.59				0.00	0.00	3169.50	3701.41	394,992	1148.89	21
2018	1,443,524.85	1,328,974.59	6967.56				768.05	100.88	750.32	1792.44	492,084	930.34	10
2019	1,630,846.05	1,491,039.79	7898.2				266.8	0.0	0.0	861.8	579,800	840.60	8
2020	1,214,127.45	1,108,890.82	6107.1				637.4	0.0	1200.0	2677.0	434,588	1,096.06	13
2021 (I-VI)	569,712.30	519,749.12	2855.3										
SUMA	31,219,273.64	28,193,446.39	156,935.05	1,428.33	63.60	8,468.69	3,141.77	755.47	10,762.95	32,568.19	11,191,231.00	39,701.90	343.00

Veliku važnost TE Plomin u ovisnosti na omjer proizvodnja/instalirana snaga prikazuje sljedeća tablica gdje se može uočiti kako je TE Plomin 2011. godine proizvela 15,9 % energije od ukupne proizvodnje u HEP Proizvodnji d.o.o. dok je udio instalirane snage nad ostalim elektranama samo 5,3 %.

**Tablica 3. Omjer proizvodnja/instalirana snaga [10]**



Kako bi se što više smanjio udio štetnih emisija dimnih plinova, TE Plomin koristi postrojenje za odsumporavanje koje se temelji na mokrom postupku apsorpcije koji koristi mljeveni vapnenac. Kao nusproizvod dobiva se gips koji se kasnije skladišti, a veći udio prodaje cementnoj i građevinskoj industriji.

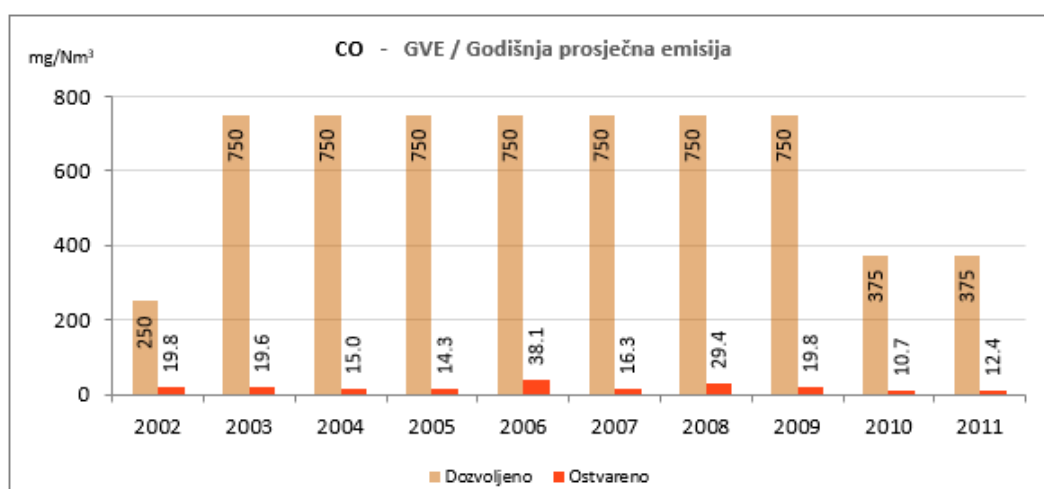
Granične vrijednosti emisija dimnih plinova nakon odsumporavanja iznose:

- za sumporni dioksid: 400mg/m<sup>3</sup>
- za dušične okside: 500 mg/m<sup>3</sup>
- za fluorovodik i klorovodik: 10 mg/m<sup>3</sup>
- za prašinu: 50 mg/m<sup>3</sup>
- za vlagu: < 100 mg/m<sup>3</sup>

Kod postrojenja za obradu otpadnih voda posebno se pročišćavaju otpadne tehnološke vode od odšljakivača, odsoljavanja kotla, strojarnice i vode koja je prethodno korištena za odsumporavanje. Kanalizacijska sanitarna voda pročišćava se uređajem za pročišćavanje fekalnih voda dok se oborinske vode slijevaju u posebnu kanalizaciju, a zatim se sva voda nakon što je pročišćena u zasebnim uređajima i zadovoljava kriterije zahtijevane propisima, slijeva u potok Boljunčicu. Termoelektrana ima još nekoliko pomoćnih postrojenja, a neka od njih su postrojenje komprimiranog zraka, prijenos pepela i šljake na deponij, crpna stanica sirove vode, pomoćna kotlovnica kapaciteta pare 25 t/h, dimnjak, vrelovodi itd.

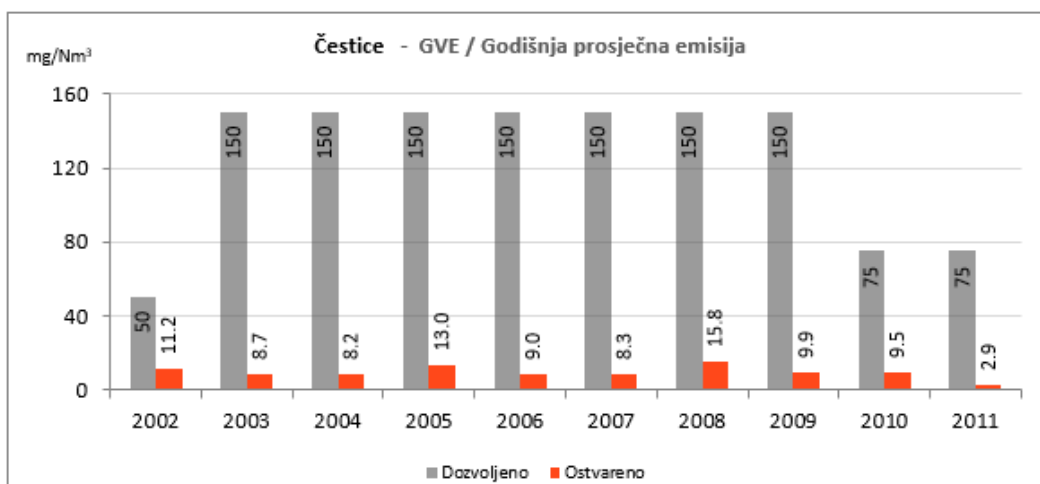
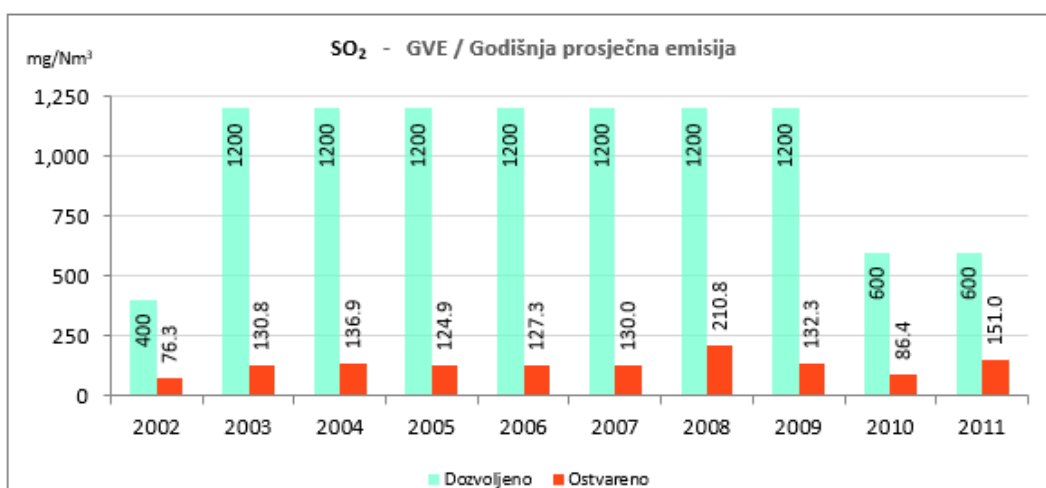
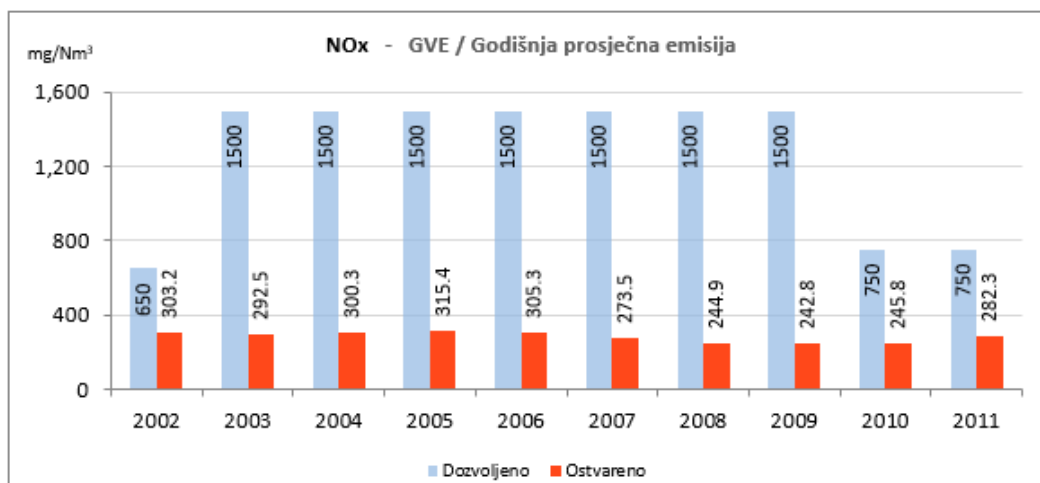
U nastavku su prikazane tablice emisije dimnih plinova naprema dozvoljenim godišnjim prosjecima gdje GVE predstavlja graničnu vrijednost emisije.

**Tablica 4. GVE/godišnja prosječna emisija za CO [10]**





Tablica 5. GVE/godišnja prosječna emisija za čestice [10]

Tablica 6. GVE/godišnja prosječna emisija za SO<sub>2</sub> [10]Tablica 7. GVE/godišnja prosječna emisija za NO<sub>x</sub> [10]

## 4. RASPRAVA

Općenito, postoje dva načina kojima možemo povećati korisnost kružnih procesa, a to su:

- Povišenje srednje temperature dovođenja topline
- Karnotizacija procesa

Što je viša temperatura dovođenja topline u procesu, korisnost samoga procesa biti će veća, a to je ujedno i razlog zašto se suhozasićena para pregrijava na višu temperaturu.

Korisnost parno – turbinskog ciklusa može se povećati regenerativnim zagrijavanjem napojne vode. Ukoliko se para u potpunosti kondenzira u tekućinu nakon turbine to zahtijeva kasnije njezino cjelokupno zagrijavanje i dovođenje u stanje mokre pare odnosno suhozasićene pare koja se pregrijava u pregrijaču u pregrijanu paru prije ulaska u parnu turbinu. U samom procesu para poslije prolaska kroz prvi odnosno drugi dio turbine, odlazi u regenerativne izmjenjivače topline. Zbog prisutne razlike temperature, tekućina se grije, a para kondenzira. Toplina koju predaje para jednaka je toplini koju prima tekućina što se događa u prvom izmjenjivaču topline. Regenerativnim se zagrijavanjem napojne vode provodi tzv. karnotizacija procesa što je jedan od načina povećanja korisnosti ukupnog procesa.

Suvremena parno – turbinska postrojenja s generatorom pare na fosilna goriva većinom rade s natkritičnim tlakom i temperaturom svježje pare do 565 °C. Više temperature zahtijevale bi materijale boljih mehaničkih svojstava za kotlovske cijevi na povišenim temperaturama.

Iz generatora pare na fosilna goriva, svježja se para vodi u jednu ili više turbina gdje ekspandira, a entalpija pare pretvara se u kinetičku energiju, kinetička energija u mehanički rad, a mehanički rad se u generatoru električne energije pretvara upravo u električnu energiju. Kod složenijih parno – turbinskih postrojenja, para najprije ekspandira u visokotlačnoj turbini, a zatim se djelomično ekspandirana para ponovno međupregrijava u generatoru pare te u niskotlačnoj turbini ekspandira do konačne temperature (međupregrijanje pri ekspanziji) [1].

## 5. ZAKLJUČAK

Proučavajući parno – turbinski proces i imajući na umu saznanja dobivena kroz ovaj rad, može se zaključiti kako je prisutnost termoelektrane Plomin vrlo bitna u elektroenergetskom sustavu Republike Hrvatske. Također, vrlo bitno je održavanje samog procesa kako bi se vrijeme stajanja, a ujedno i broj startova sveo na minimum zbog što većeg stupnja djelovanja procesa te kako bi sustav jamčio kontinuiranu i pouzdanu pretvorbu energije za potrebu krajnjih potrošača.

Usprkos raznim ekološkim problemima zbog emisija stakleničkih plinova i težnjom da se što manje grade i koriste termoelektrane na fosilna goriva, u pojedinim dijelovima svijeta nije moguće generirati električnu energiju iz obnovljivih izvora energije ili drugih. Tako je i termoelektrana Plomin izgrađena zbog povoljnog smještaja odnosno geološko stimulativnog terena, povoljne prometne povezanosti, mogućnosti korištenja slatke vode sa Bubić izvora i morske vode za hlađenje postrojenja kao i adekvatne površine za smještaj deponija ugljena, šljake i pepela.

Izgaranjem fosilnih goriva negativno se utječe na zdravlje ljudi i samu prirodu, ali razvojem tehnologije i ugradnjom raznih filtera, postrojenja za odsumporavanje te uređaja za uklanjanje oksida dušika iz dimnih plinova, termoelektrana Plomin teži smanjenju emisija ugljikovog dioksida, čestica te sumporova i dušikova dioksida.

## LITERATURA

- [1] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
- [2] Petric, N., Vojnović, I., Martinac, V.: Tehnička termodinamika, Split, 2007.
- [3] Elčić, Z.: Parne turbine, Viša tehnička strojarska škola, Karlovac, 1983.
- [4] Kreuh, L.: Generatori pare, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [5] Lecimte i suradnici: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants, 2017.
- [6] Godišnje izvješće o sigurnosti opskrbe hrvatskog EES-a za 2018. godinu. Dostupno na [www.hops.hr](http://www.hops.hr)
- [7] <https://www.hep.hr/proizvodnja/termoelektrane-1560/termoelektrane/te-plomin/1563>
- [8] Izvješće o poslovanju i održivosti HEP grupe za 2021. godinu. Dostupno na [www.hep.hr](http://www.hep.hr)
- [9] Brodski generatori pare. Dostupno na [www.pfri.uniri.hr](http://www.pfri.uniri.hr)
- [10] Vukelić, I.: TE Plomin 2 – 15 godina izgradnje, 12 godina eksploatacije.
- [11] Termoelektrana Plomin: Iskustva iz rada termoenergetskog kompleksa Plomin na ugljen 2000. – 2005. godine.
- [12] Turbomachinery international. Dostupno na [www.turbomachinerymag.com](http://www.turbomachinerymag.com)
- [13] Batelić, J.: Prilog povećanju pouzdanosti sustava mlinova TE Plomin 2, Rijeka, 2019.