

# Postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i ispušnih dimnih plinova Termoelektrane Plomin

---

**Milevoj, Mauricio**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:210258>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
*Stručni studij Mehatronike*

Mauricio Milevoj

**POSTROJENJA ZA  
PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH  
VODA I ISPUŠNIH DIMNIH  
PLINOVA TERMoeLEKTRANE  
PLOMIN**

Završni rad

Karlovac, 2018. godina.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
*Stručni studij Mehatronike*

Mauricio Milevoj

**Waste water and exhaust fumes  
purification facilities of Plomin  
thermal power plant**

Final thesis

dr.sc. Mihalić Tihomir

Karlovac, 2018. godina.

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

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Tihomiru Mihaliću na savjetima i ukazanoj pomoći pri izradi ovog rada. Također, zahvalio bih se djelatnicima društva HEP- Proizvodnje d.o.o TE Plomin koji su mi osigurali stručno vodstvo tijekom obilaska postrojenja te omogućili pristup materijalima za pisanje rada.

Posebno bih se zahvalio svojim bližnjima na nesebičnoj pomoći i pruženoj potpori tijekom studiranja.

Mauricio Milevoj



SCIENCES

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED



Trg J.J.Strossmayera 9

HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579

## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni studij: Strojarsva

Usmjerenje: Stručni studij Mehatronike

Karlovac, 02.07.2018.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Mauricio Milevoj

Matični broj: 0112613055

Naslov: POSTROJENJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA I ISPUŠNIH  
DIMNIH PLINOVA TERMOELEKTRANE PLOMIN

Opis zadatka:

Fokus zadatka je konstrukciji i fizikalnoj osnovi postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i ispušnih dimnih plinova u TE Plomin

Student treba u radu objasniti:

- TERMOELEKTRANE
- TERMOELEKTRANA PLOMIN
- POSTROJENJA TERMOELEKTRANE PLOMIN
- ARA (ABWASSERREINIGUNGSALAGE)
- DENOX postrojenje

Koristiti odgovarajuću dostupnu literaturu, priručnike i podatke.

Zadatak zadan:  
02.07.2018.

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:  
19.10.2018

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

dr.sc. Tihomir Mihalić

## SADRŽAJ

|   |     |
|---|-----|
| SADRŽAJ .....   | I   |
| POPIS SLIKA .....   | III |
| POPIS TABLICA.....  | IV  |
| POPIS OZNAKA .....  | V   |
| SAŽETAK.....  | VI  |
| 1. UVOD.....  | 1   |
| 2. TERMOELEKTRANE.....  | 2   |
| 2.1. Podjela termoelektrana.....  | 2   |
| 2.1.1. Podjela prema vrsti pokretača .....  | 2   |
| 2.1.2. Podjela prema načinu korištenja pare.....  | 3   |
| 2.1.3. Podjela prema upotrijebljenom gorivu.....  | 3   |
| 2.1.4. Podjela prema načinu hlađenja kondenzatora: .....  | 3   |
| 2.2. Termoelektrane u Hrvatskoj.....  | 4   |
| 3. TERMOELEKTRANA PLOMIN .....  | 5   |
| 3.1. Lokacija postrojenja .....   | 5   |
| 3.2. Proizvodni kapaciteti i procesi .....  | 5   |
| 3.3. Opskrba ugljenom i plinskim uljem .....  | 6   |
| 3.4. Opskrba vodom .....  | 8   |
| 3.5. Zbrinjavanje nusproizvoda.....   | 9   |
| 3.6. Pročišćavanje otpadnih voda .....  | 9   |
| 3.7. Pročišćavanje dimnih plinova .....   | 10  |
| 4. POSTROJENJA TERMOELEKTRANE PLOMIN .....  | 11  |
| 4.1. Opis postrojenja TE Plomin 1 .....   | 11  |
| 4.1.1. Prestanak rada TE Plomin 1 .....   | 11  |
| 4.1.2. Potrebna modernizacija TE Plomin 1.....  | 13  |
| 4.2. Emisije štetnih tvari TE Plomin 1 .....  | 13  |
| 4.2.1. Emisije u zrak.....  | 13  |
| 4.2.2. Emisije u vodu.....  | 13  |
| 4.3. Opis postrojenja TE Plomin 2 .....   | 14  |
| 5. ARA (ABWASSERRENIGUNGSALAGE) .....   | 15  |
| 5.1. Opis procesa pročišćavanja otpadne vode postrojenja za pročišćavanje dimnih plinova (REA)..... | 15  |
| 5.2. Opis procesa pročišćavanja otpadanih voda kotla (KW) .....                                     | 20  |
| 5.3. Kontejnersko postrojenje za pročišćavanje .....  | 23  |
| 5.4. Odvajač ulja.....  | 25  |
| 6. POSTROJENJA ZA PROČIŠĆAVANJE DIMNIH PLINOVA .....  | 26  |
| 6.1. Postojanje za odsumporavanje dimnih plinova (REA) .....  | 26  |
| 6.1.1. Opis procesa .....   | 27  |
| 6.2. DENOX postrojenje .....  | 34  |

---

|                    |    |
|--------------------|----|
| 7. ZAKLJUČAK ..... | 35 |
| PRILOZI.....       | 36 |
| LITERATURA.....    | 37 |



## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Prikaz postrojenja termoelektrane. [2] .....  | 2  |
| Slika 2. Lokacija postrojenja. [5] .....   | 5  |
| Slika 3. Prikaz postrojenja TE Plomin 1 i 2. ....  | 6  |
| Slika 4. Istarski ugljenokop Raša - rudnik Raša. [9].....  | 7  |
| Slika 5. Traka kojom ugljen dolazi na deponij. [10].....   | 7  |
| Slika 6. Dolazak ugljena na deponij. [10] .....  | 7  |
| Slika 7. Bubić jama. ....  | 8  |
| Slika 8. Odlagalište prekriveno slojem humusa na kojem je posijana trava. [12] .....                   | 9  |
| Slika 9. Postrojenje za obradu otpadnih voda. [13].....  | 10 |
| Slika 10. Dimljak TE Plomin. [13] .....  | 10 |
| Slika 11. Generator pare TE Plomin 1. ....   | 11 |
| Slika 12. Požar u TE Plomin. [16] .....  | 12 |
| Slika 13. Kotlovsko postrojenje TE Plomin 2. [17] .....  | 14 |
| Slika 14. Međubazen (tampon-bazen) sustava ARA. ....   | 15 |
| Slika 15. Procesna shema dovodne vode iz REA postrojenja. [18] .....                                   | 17 |
| Slika 16. Pješčani filteri. ....   | 18 |
| Slika 17. Pročišćena voda nakon pješčanih filtera. ....  | 18 |
| Slika 18. Filterska preša mulja. ....  | 19 |
| Slika 19. ARA kolač.....   | 20 |
| Slika 20. Procesna shema doziranje kemikalija u ARA postrojenju. [18] .....                            | 21 |
| Slika 21. Lamelni taložnici.....   | 22 |
| Slika 22. Procesna shema namještanje pH vrijednosti i završnog čišćenja .[18].....                     | 23 |
| Slika 23. Kontejnersko postrojenje za pročišćavanje. ....  | 25 |
| Slika 24. Postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova, REA. ....                                      | 26 |
| Slika 25. Procesna shema dimnih plinova REA postrojenja. [19] .....                                    | 27 |
| Slika 26. Motori pumpe suspenzije vapnenca: snage 355 kW i 315 kW (ovisno na koju visinu pumpaju)..... | 28 |
| Slika 27. Procesna shema doziranja suspenzije vapnenca. [19].....                                      | 29 |
| Slika 28. Hidrociklon. ....  | 30 |
| Slika 29. Pojasni filter na ulazu iz hidrociklona i pojasni filter na izlazu.....                      | 31 |
| Slika 30. Transportna traka 3. ....  | 32 |
| Slika 31. Nagomilavanje gipsa strugalom.....   | 32 |
| Slika 32. Transportna traka 5. ....  | 32 |
| Slika 33. Odvajač kapljica.....  | 33 |
| Slika 34. Procesna shema izlaznih čestica u atmosferu.[19].....  | 33 |
| Slika 35. Prikaz DENOX postrojenja. [17].....  | 34 |

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Prikaz termoelektrana u Hrvatskoj, njihova snaga i pogonskih goriva. [3] ..... 4

## POPIS OZNAKA

| Oznaka         | Jedinica               | Opis                          |
|----------------|------------------------|-------------------------------|
| MW             | megavat                | jedinica snage                |
| MJ/kg          | megadžula po kilogramu | ogrijevna vrijednost          |
| he             | hetar                  | jedinica za površinu          |
| m              | metar                  | jedinica za duljinu           |
| m <sup>3</sup> | metar kubični          | jedinica za volumen           |
| °C             | stupanj Celzijus       | jedinica za temperaturu       |
| bar            | bar                    | jedinica za tlak              |
| t              | tona                   | jedinica za masu              |
| kV             | kilovat                | jedinica za napon             |
| pH             | potentia hydrogenii    | jedinica kiselosti/lužnatosti |

ARA – njem. *Abwasserrenigungsanlage*, postrojenje za obradu otpadnih voda

DeNO<sub>x</sub> - postrojenje za smanjenje emisije dušikovih oksida

HEP - Hrvatska elektroprivreda

KPV - kemijska priprema vode

NRT - najbolje raspoloživa tehnologija

NT- para niskog tlaka

REA- njem. *Rauchgasentschwefungsanlagen*, postrojenje za odsumporavanje (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>) dimnih plinova

SCR - engl. *Selective Catalytic Reduction*, selektivna katalitička redukcija NO<sub>x</sub>

TE – Termoelektrana

Uredba o GVE - Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora; Narodne novine 87/17.

VT - para visokog tlaka, svjež para

## **SAŽETAK**

U ovom završnom radu opisan je način rada postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i ispušnih dimnih plinova termoelektrane (TE) Plomin. Također, rad obuhvaća prikaz TE Plomin kroz povijest te kratke opise postrojenja.

Opisana su postrojenja za pročišćavanja dimnih plinova prije puštanja u atmosferu, dobivanje gipsa i njegovo skladištenje kao rezultat odsumporavanja dimnih plinova, sakupljanje i pročišćavanje otpadnih i sanitarnih voda. Dobivenim vrijednostima na završetku procesa obrade, doznajemo da opisana postrojenja kvalitetno obavljaju njihovu namjenu.

Ključne riječi: pročišćavanje, otpadne vode, dimni plinovi, gips

## **SUMMARY**

This thesis describes the mode of operation of the waste water and exhaust fumes treatments plants of the Plomin thermal power plant. The paper also cover representation of TE Plomin throuht history and short description of the facilities.

Described facilities for flue gas purification prior or realse into the atmosfere, obtaining plaster and its storage as a result of desulphurization of flue gases, collection and purification of waste and sanitary water. From the values obtained at the end of the processing we learn that the plants describes perform their purpose well.

Key words: purification, waste water, flue gas, plaster

## 1. UVOD

Tema ovog završnog rada su postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i ispušnih dimnih plinova termoelektrane Plomin. Termoelektrana Plomin nalazi se na istočnoj obali Iste. Jedina je termoelektrana na ugljen u Republici Hrvatskoj. Nekada je TE Plomin koristila ugljen Istarskog ugljenokopa Raša. No, ugljenokop je zatvoren i danas za svoj rad koristi isključivo uvozni kameni ugljen. Termoelektrana Plomin sastoji se od dva bloka: TE Plomin 1 i TE Plomin 2. Danas je u pogonu samo TE Plomin 2, a pogon TE Plomin 1 ugasio se nakon požara u svibnju 2017. godine. Za ponovni početak rada potrebne su modernizacije postrojenja propisane Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora. U TE Plomin 2, tijekom 2017. godine, provedene su rekonstrukcije uređaja za pročišćavanje dimnih plinova.

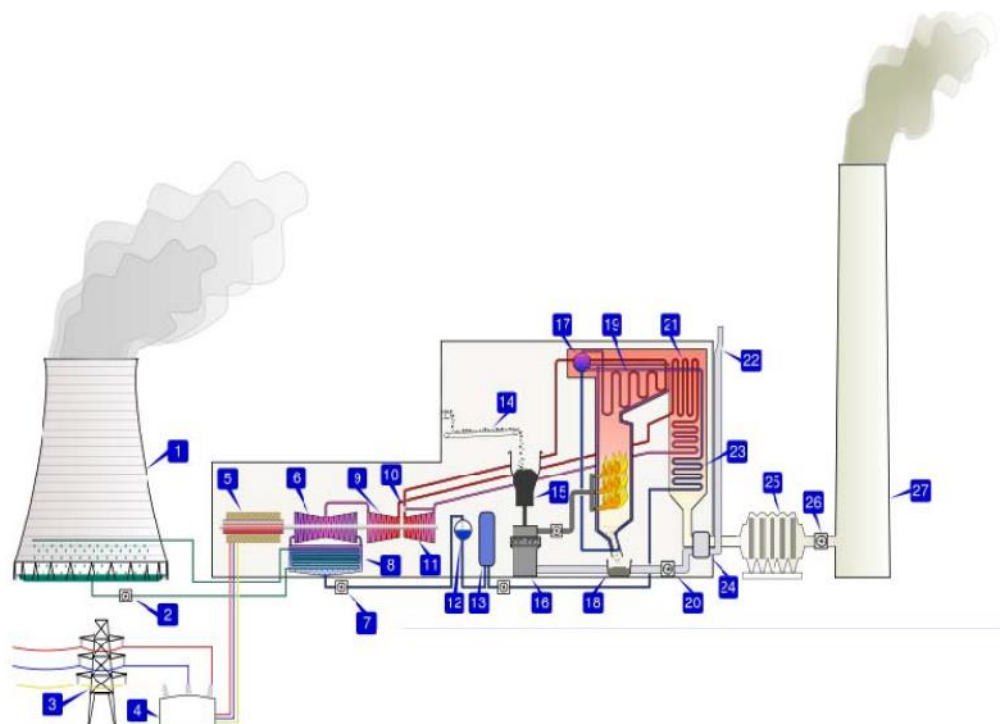
Struktura završnog rada sastoji se od sedam poglavlja. Uvodni dio predstavlja osnovnu problematiku rada. Drugo poglavlje prikazuje opću podjelu termoelektrana, kao i postojeće termoelektrane u Hrvatskoj. U trećem poglavlju navedene su opće karakteristike termoelektrane Plomin te način zbrinjavanja nusproizvoda, kao i pročišćavanje otpadnih voda i dimnih plinova. U četvrtom poglavlju daje se kratki uvid u postrojenja TE Plomin 1 i TE Plomin 2 te opisuje potrebna modernizacija postrojenja. Peto i šesto poglavlje predstavljaju moderan ekološki način pročišćavanja voda i odsumporavanja dimnih plinova. Završno poglavlje daje kratki pregled cjelokupnog rada, a na samom kraju rada nalazi se popis korištene literature.

Pri pisanju ovog rada, uz dopuštenje HEP Proizvodnje d.o.o. - Pogon TE Plomin, korištena je izvorna dokumentacija opisa postrojenja. Osim pisane literature, pretraživani su dostupni i relevantni internetski izvori. Tematika je prikaza pomoću metode analize i sinteze proučene literature, kao i parafraziranjem koje je uslijedilo nakon detaljnog upoznavanja s temom.

Cilj završnog rada je prikazati način rada postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i ispušnih dimnih plinova termoelektrane Plomin.

## 2. TERMOELEKTRANE

Termoelektranama se nazivaju postrojenja u kojima se toplina, sagorijevanjem goriva iz geotermalnih izvora ili toplina dobivena nuklearnom fisijom, pretvara u mehaničku energiju koja se dalje iskorištava za proizvodnju električne energije. Termoelektrane se mogu podijeliti prema vrsti pogonskih strojeva, prema načinu korištenja pare, prema upotrijebljenom gorivu i prema načinu hlađenja kondenzatora. [1]



Slika 1. Prikaz postrojenja termoelektrane. [2]

### 2.1. Podjela termoelektrana

#### 2.1.1. Podjela prema vrsti pokretača

Prema vrsti pokretača (stroj koji u slijedu energetske transformacije prvi pretvara bilo koji oblik energije u mehaničku energiju) dijelimo ih na:

1. plinsko-turbinsko postrojenje u kojima gorivo (obično prirodni plin) izgara u komori za izgaranje, a pogonski stroj je plinska turbina.

2. parna turbinska postrojenja pri čemu razlikujemo način predaje topline mediju (pari):

- gorivo izgara u parnim kotlovima – konvencionalne parne termoelektrane na ugljen ili nekonvencionalne na čvrstu biomasu
- nuklearni reaktor (s izmjenjivačem topline ili bez njega preuzima ulogu parnog kotla) - nuklearne (parne) termoelektrane
- koristi se koncentrirano Sunčevo zračenje preko visoko temperaturnih solarnih kolektora - sunčane (parne) termoelektrane

3. kombinirana postrojenja imaju oboje: plinske turbine ložene prirodnim plinom, parni kotao te parnu turbinu koja koristi iscrpljeni plin iz plinske turbine kako bi se proizveo elektricitet.

### ***2.1.2. Podjela prema načinu korištenja pare***

Termoelektrane u kojima se kao pogonski stroj upotrebljavaju parne turbine, mogu se podijeliti na:

- kondenzacijske termoelektrane za proizvodnju samo električne energije
- kogeneracijske termoelektrane (toplane i industrijske termoelektrane) za kombiniranu proizvodnju električne energije i pare koja se upotrebljava za tehnološke procese i grijanje (kombinirana proizvodnja električne energije i pare može se ostvariti i s plinskim turbinama)

### ***2.1.3. Podjela prema upotrijebljenom gorivu***

- u parnim termoelektranama mogu se koristiti čvrsta (ugljen, biomasa), tekuća (nafta, biogoriva) i plinovita goriva (prirodni plin, bioplin)
- u termoelektranama s plinskim turbinama mogu se koristiti tekuća i plinovita goriva

### ***2.1.4. Podjela prema načinu hlađenja kondenzatora:***

- termoelektrane s protočnim hlađenjem,
- termoelektrane s povratnim hlađenjem [1]

## 2.2. Termoelektrane u Hrvatskoj

HEP Proizvodnja d.o.o. je društvo s ograničenom odgovornošću s ishodenim dozvolama za obavljanje dvije energetske djelatnosti: proizvodnju električne energije za tarifne kupce i proizvodnju toplinske energije. U vlasništvu Hrvatske elektroprivrede (HEP) u Hrvatskoj je sedam termoelektrana (TE). TE Sisak, TE Rijeka, TE Plomin 1 i kombinirana termoelektrana (KTE) Jertovec su kondenzacijske za proizvodnju električne energije, a termoelektrana-toplana (TE-TO) Zagreb, elektrana-toplana (EL-TO) Zagreb i TE-TO Osijek su termoelektrane toplane u kojima se u spojenom procesu proizvodi električna i toplinska energija. Kao pogonsko gorivo koriste loživo ulje, prirodni plin i ugljen. [3,4]

**Tablica 1. Prikaz termoelektrana u Hrvatskoj, njihove snage i pogonskih goriva. [3]**

| Termoelektrane | Raspoloživa snaga na pragu (MW) | Gorivo                          |
|----------------|---------------------------------|---------------------------------|
| TE Sisak       | 396                             | loživo ulje / prirodni plin     |
| TE-TO Zagreb   | 337                             | prirodni plin / loživo ulje     |
| TE Rijeka      | 303                             | loživo ulje                     |
| TE Plomin 1    | 98                              | ugljen                          |
| TE Plomin 2    | 192                             | ugljen                          |
| EL-TO Zagreb   | 90                              | prirodni plin / loživo ulje     |
| KTE Jertovac   | 83                              | prirodni plin / ekstralako ulje |
| TE-TO Osijek   | 90                              | loživo ulje / prirodni plin     |
| Ukupno:        | 1589                            |                                 |



### 3. TERMOELEKTRANA PLOMIN

#### 3.1. Lokacija postrojenja

Termoelektrana Plomin nalazi se u vrhu Plominskog zaljeva na istočnoj obali Istre. Prostor lokacije termoelektrane većim dijelom pripada općini Kršan, a manjim dijelom (obalni rub plominske uvale) gradu Labinu. Površina navedenog područja je oko 54 ha, koju čini kompleks katastarskih čestica u vlasništvu HEP-a, dok se za prihvat i transport ugljena koristi dio pomorskog dobra za koje je dobivena koncesija (3 ha). Položaj termoelektrane Plomin je izrazito povoljan zbog: topografski i geološkog prikladnog terena, raspoložive morske vode za hlađenje, raspoloživosti slatke vode iz Bubić jame, adekvatne površine za smještaj deponija pepela, šljake i ugljena. Navedeno područje također je dobro prometno i komunikacijski povezano. [5]



Slika 2. Lokacija postrojenja. [5]

#### 3.2. Proizvodni kapaciteti i procesi

Termoelektrana Plomin sastoji se od dva bloka: TE Plomin 1 i TE Plomin 2. To su jedine termoelektrane na ugljen u Hrvatskoj. Dva bloka elektrane imaju zajednički sustav dopreme i skladištenja ugljena, zajednički ispus otpadnih plinova kroz dimnjak visine 340 m, zajednički sustav dopreme rashladne morske vode, zbrinjavanje šljake i pepela, sustav pomoćnog goriva, sustav tehnološke vode, sustav obrade otpadnih tehnoloških, oborinskih i sanitarnih voda, zajedničke prometnice, skladišta i radionice. [5,6]



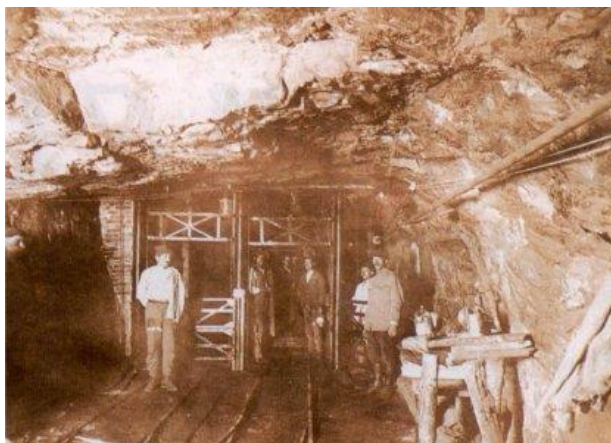
**Slika 3. Prikaz postrojenja TE Plomin 1 i 2.**

### **3.3. Opskrba ugljenom i plinskim uljem**

Danas se kao gorivo za rad termoelektrane koristi uvozni kameni ugljen. Uvozni kameni ugljen zamjena je za ugljen iz raških ugljenokopa koji više nisu u eksploataciji. Upravo je blizina raških ugljenokopa imala veliku ulogu u odabiru lokacije termoelektrane. Raški ugljen, s visokim udjelom sumpora i problemima sa zašljakivanjem, zamijenjen je s uvoznim kamenim ugljenom. Posljednji ugljenokop u Hrvatskoj bio je ugljenokop Tupljak na Labinštini koji je zatvoren i potopljen 3. prosinca 1999. godine. Danas se ugljen nabavlja na svjetskom tržištu i dovozi brodovima, nosivosti od oko 70 000 tona. Ugljen se doprema iz SAD-a, Kolumbije, Venezuele, Poljske, Južne Afrike, Indonezije, Australije, Rusije i Kine. Brodovima se dovodi do pristaništa (dovršenog 1999. godine) gdje se iskrcava i sustavom zatvorenih trakova doprema do otvorenog deponija (kapacitet 220 000 tona).

U termoelektrani Plomin nabavlja je visokokalorični niskosumporni ugljen, čije karakteristike su: donja ogrjevna vrijednost 24-29,3 MJ/kg, ukupna vlaga 6-15%, sadržaj pepela 8-15%, sadržaj vlage i pepela  $\leq 23\%$ , hlapivo (bez vlage i pepela)  $\geq 25\%$ , sumpor: (0,3) 0,5-1,4%, dušik  $\leq 1,85\%$ , klor  $\leq 0,2\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} \geq 0,2\%$ , granulacija 0-50 mm.

U termoelektrani Plomin koristi se i plinsko ulje. Dovozi se auto-cisternom, a istovarnom pumpom se pretače u spremnike. Skladišti se u dva nadzemna spremnika zapremine  $2 \cdot 150 \text{ m}^3$  koja su međusobno spojena i opremljena betonskim tankvanama. Upotrebljava se za potpalu kotlova i kao gorivo pomoćnih kotlova. [5,7,8]



**Slika 4. Istarski ugljenokop Raša - rudnik Raša. [9]**



**Slika 5. Traka kojom ugljen dolazi na deponij. [10]**

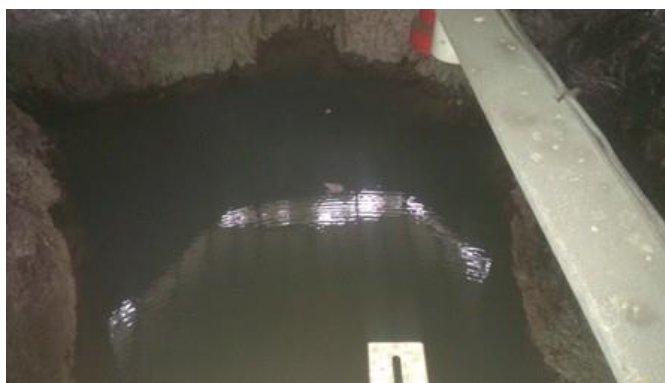


**Slika 6. Dolazak ugljena na deponij. [10]**

### 3.4. Opskrba vodom

TE Plomin 1 i TE Plomin 2 imaju zajednički sustav vodoopskrbe. Sustav vodoopskrbe obuhvaća javnu vodoopskrbu i vlastiti vodozahvat (Bubić jama). Iz Bubić jame voda se crpi i prebacuje u vodospremu Sv. Matej zapremine  $500 \text{ m}^3$  ( $2 \cdot 250 \text{ m}^3$ ).

Za tehnološke potrebe (demineralizacija, hlađenje, protupožarni sustav) upotrebljava se sirova voda s izvora Bubić jame. Postoje dvije jedinice za kemijsku pripremu demineralizirane vode (KPV). Sustav rada KPV-a je potpuna demineralizacija ionskom izmjenom. Otpadne vode koje nastaju regeneracijom ionskih masa neutraliziraju se u neutralizacijskim bazenima, a prije ispuštanja prolaze kroz lamelarne taložnice.



**Slika 7. Bubić jama.**

Za potrebe rashlađivanja kondenzatora i pomoćnih uređaja koristi se morska voda, koja se uzima u Plominskom zaljevu s dubine od 24 m. Za hlađenje osjetljivih dijelova strojeva upotrebljava se demineralizirana voda u kružnom optoku. [7,8,11]

### 3.5. Zbrinjavanje nusproizvoda

TE Plomin 1 i TE Plomin 2 imaju zajednički sustav zbrinjavanja pepela, šljake, gipsa i filtarskog kolača otpadnog mulja iz postrojenja za obradu voda. Važan dio ovog sustava je odlagalište neopasnog otpada. U tvornici cementa u Koromačnu, kao mineralni dodaci, zbrinjavaju se navedeni otpadi (nusproizvodi). Kad tvornica cementa ne može prihvatiti sve količine nusproizvoda koristi se odlagalište. Odlagalište se sastoji od starog i novog dijela. Na starom dijelu odlagališta, odlagalo se u vrijeme uporabe domaćeg ugljena. Taj dio odlagališta u potpunosti je saniran. Zaštićen je od procjednih oborinskih voda, dotoka oborinskih voda s okolnih padina te osiguran protiv klizanja i obrušavanja. Odlagalište je prekriveno slojem humusa na kojem je posijana trava. Novi dio odlagališta je uređena ploha na koju je postavljen bentonitni tepih. Na njemu je položena geomreža, preko koje je položen zemljani materijal debljine od 40 cm do 60 cm na dnu odlagališta. Taložnica prikuplja procjedne i oborinske vode starog i novog dijela odlagališta. Prikupljene vode se kontroliraju. Kapacitet odlagališta povećan je za odlaganje do 2045. godine. [6]



Slika 8. Odlagalište prekriveno slojem humusa na kojem je posijana trava. [12]

### 3.6. Pročišćavanje otpadnih voda

Postrojenje za obradu otpadnih voda sastoji se od: obrade otpadnih voda odsumporavanja - TE Plomin 2, obrade otpadnih voda kotla (TE Plomin 1 i 2), obrade sanitarnih otpadnih voda (TE Plomin 1 i 2). Pročišćavanje otpadnih voda kotlova odvija se kemijskom neutralizacijom, koagulacijom i flokulacijom. Prije ispuštanja otpadne vode prolaze kroz pješčane filtre. [11]



**Slika 9. Postrojenje za obradu otpadnih voda. [13]**

### **3.7. Pročišćavanje dimnih plinova**

Na elektrostatskom filtru provodi se pročišćavanje dimnih plinova. Tu se plinovi oslobađaju od nesagorivih sastojaka i pepela. Nakon prelaska na uvozni ugljen, tijekom 1999. godine, rekonstruiran je elektrostatski filtar TE Plomin 1. Proizvođač garantira stupanj uklanjanja prašine od 99,5% i kod najnepovoljnijeg ugljena za rad elektrostatskog filtra. Elektrostatski filtri smanjuju u zrak emisije krutih čestica, teških metala i žive. Dimni plinovi se ispuštaju kroz dimnjak visine 340 m. [11]



**Slika 10. Dimljak TE Plomin. [13]**

## 4. POSTROJENJA TERMOELEKTRANE PLOMIN

### 4.1. Opis postrojenja TE Plomin 1

Termoelektrana Plomin 1 bila je u pogonu od 1969. godine do 2017. godine. Nazivna toplinska snaga goriva kotla bila je 338 MWtg. Proizvodila je 385 t/h vodene pare (svježa para ili para visokog tlaka, VT) 132,4 bara i temperature 540 °C. Koristio se kotao s prisilnim protokom i jednim među-pregrijavanjem pare sa 16 plamenika u 4 nivoa. Kotao se potpaljivao plinskim uljem s osam plamenika. Energetska učinkovitost kotla bila je 91%. Instalirana snaga parne turbine iznosila je 125 MW s 3 odvojena kućišta i 6 nereguliranih oduzimanja. Generator je imao nazivnu snagu 156 MVA te je bio izravno spojen s blok transformatorom radnog napona 13,8/121 kV. Kondenzator pare niskog tlaka (NT) bio je dvodijelni, a hladio se morskom vodom. Pomoćni kotao PK1 toplinske snage goriva 0,9 MWtg smješten je u zgradi strojarnice, a ložen je plinskim uljem koje se koristi i za potpalu glavnih kotlova oba bloka. [5,7,14]



Slika 11. Generator pare TE Plomin 1.

#### 4.1.1. Prestanak rada TE Plomin 1

Prema Rješenju o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša postrojenja TE Plomin 1 propisan je prestanak rada elektrane 1. siječnja, 2018. godine. No, prestanak rada TE Plomin bio je u svibnju 2017. godine zbog požara u postrojenju. Prema priopćenju HEP-a, 29. svibnja 2017. godine u 11.18 sati, prilikom starta motora ventilatora dimnog plina na prvom bloku TE Plomin došlo je do oštećenja energetskog kabela što je izazvalo požar u kabelskom prostoru.

TE Plomin 1 trebala je biti zamijenjena novim blokom TE Plomina C. No, do izgradnje novog bloka TE Plomin C nije došlo. Kako bi TE Plomin 1 mogla zadovoljiti granične vrijednosti emisija (GVE), propisane Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora za razdoblje nakon 1. 1. 2018. godine, potrebne su modernizacije postrojenja. [11,15]



**Slika 12. Požar u TE Plomin. [16]**



#### **4.1.2. Potrebna modernizacija TE Plomin 1**

Modernizacija TE Plomin 1 obuhvaća: ugradnju postrojenja za odsumporavanje (DeSO<sub>x</sub>, mokri postupak s vapnencem uz obradu otpadnih voda), ugradnju selektivne katalitičke redukcije DeNO<sub>x</sub> postrojenja, zamjenu unutarnjih dijelova parne turbine, zamjenu triflux pregrijača kotla, zamjenu generatora novim zrakom hlađenim generatorom, zamjenu parovoda vrućeg i hladnog međupregrijanja, zamjenu parnog zagrijača zraka s pripadajućim kanalima, rekonstrukciju kondenzatora, generalni remont napojnih pumpi i voith spojke pumpe br. 1, zamjenu mlinova za ugljen i pripadajućih kanala i ventilatora, modernizaciju bloka transformatora i transformatora vlastite i opće potrošnje, modernizaciju mjerno regulacijskih uređaja.

31. ožujka 2016. godine provedena je provjera koja pokazuje da je neto učinkovitost zbog starosti postrojenja niža za 0,7% u odnosu na nazivnu učinkovitost (35%). Zamjenom i nadogradnjom komponenti ukupna neto električna učinkovitost porasla bi za približno 3% te će iznositi oko 38%. [5]

### **4.2. Emisije štetnih tvari TE Plomin 1**

#### **4.2.1. Emisije u zrak**

U TE Plomin 1 kontinuirano se mjeri: CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, krute čestice, protok, O<sub>2</sub> i temperatura dimnih plinova. Najmanje jednom godišnje mjeri se emisija ukupne žive, dioksina i furana. Postojeće praćenje emisije onečišćujućih tvari u zraku nije usklađen sa zahtjevima NRT-a. Odnosno, ne provode se mjerenja HCl, HF i teških metala. U sklopu modernizacije postrojenja planirano je mjerenje ostalih onečišćujućih tvari: teških metala (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn), NH<sub>3</sub>, HCl i HF.

Emisije u zrak iz TE Plomin 1 ne zadovoljavaju razine emisija za emisije SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i krutih čestica, dok za CO, ukupnu živu, HCl i HF zadovoljavaju. Predviđenom modernizacijom postrojenja postigla bi se usklađenost. [5]

#### **4.2.2. Emisije u vodu**

TE Plomin 1 nema sustave za pročišćavanje dimnih plinova koji generiraju otpadne vode. Modernizacijom TE Plomin 1 ugradit će se postrojenje za odsumporavanje, koje će generirati otpadne vode. Predviđeno je povremeno mjerenje propisanih parametara nakon obrade, a prije ispuštanja u recipijent. [11]

### 4.3. Opis postrojenja TE Plomin 2

Uz već postojeću TE Plomin 1 u Plominskom zaljevu, u svibnju 2000. godine dovršena je i puštena u rad Termoelektrana Plomin 2. Gorivo za rad TE Plomin 2, kao i TE Plomin 1 je uvozni kameni ugljen. Danas je to jedina termoelektrana na ugljen u Hrvatskoj. Pri proizvodnji pare koristi se sirova voda izvora Bubić jame koja se demineralizira, a kao rashladna voda koristi se morska voda. [7]

Snaga termoelektrane Plomin 2 je 217 MW. Kotao bloka 2 je jednocijevni protočni s prisilnom cirkulacijom tipa Sulzer, kapaciteta 670 t/h svježe pare (147,4 bar, 535 °C) sa 24 plamenika u 6 ravna. Kondenzacijska turbina s međupregrijanjem je proizvodnje ABB Karlovac. Turbina je dvokučišna s kombiniranim visokotlačnim i srednjetačnim kućištem te dvoizlaznim niskotlačnim kućištem sa sedam nereguliranih oduzimanja. Turbogenerator proizvodnje Končar je trofazni dvopolni, hlađen vodikom, sinkroni, nazivne snage 247 MVA, faktora snage 0,85 i napona 13,8 kV. Proizvedena energija se preko blok transformatora 13,8/240 kV predaje u 220 kV mrežu. Veza s Elektroenergetskim sustavom Hrvatske ostvarena je rasklopnim postrojenjem 220/110 kV.

2017. godine postrojenje je rekonstruirano nadogradnjom uređaja za uklanjanje oksida dušika iz dimnih plinova. Također u 2017. godini je proveden kapitalni remont visokotlačnog i srednjetačnog dijela turbine te rekonstrukcija niskotlačnog dijela turbine čime je povećana ukupna snaga turbine za 7 MW za istu ukupnu potrošnju ugljena. [7,17]



Slika 13. Kotlovsko postrojenje TE Plomin 2. [17]

## 5. ARA (ABWASSERREINIGUNGSALAGE)

Ara postrojenje, dio je termoelektrane Plomin i služi za pročišćavanje otpadne vode postrojenja za pročišćavanje dimnih plinova (REA), otpadnih voda kotla (KW) i sanitarnih otpadnih voda te otpadnih voda iz kuhinje. Otpadne vode iz postrojenja REA idu direktno na pročišćavanje, dok se kotlovske otpadne vode preuzimaju u međubazenu (tampon-bazen), a čine ih otpadna voda iz pogona elektrane, voda za ispiranje šljunčanih filtera, otpadna voda iz pješčanih filtera (u slučaju odstupanja pH vrijednosti) i otpadna voda iz jame otpadne vode. Otpadne vode koje sadržavaju masti (npr. iz kuhinje) moraju se prije uvođenja u kanal odvoditi kroz separator ulja. Dovod otpadnih voda do pumpne stanice vrši se slobodnim padom kroz odvojene sustave (sanitarne otpadne vode i oborinske vode). Dio pročišćenih voda se ponovno iskorištava u elektrani, a dio se ispušta u potok Boljunčicu koji se ulijeva u Plominski zaljev. [18]



Slika 14. Međubazen (tampon-bazen) sustava ARA.

### 5.1. Opis procesa pročišćavanja otpadne vode postrojenja za pročišćavanje dimnih plinova (REA)

Otpadna voda koja dolazi iz postrojenja za pročišćavanje dimnih plinova ima vrijednost od 5 do 6 pH i miješa se s povratnim muljem iz okruglog taložnika i ta mješavina se pumpa u

neutralizacijski spremnik u koji se još dodaje vapneno mlijeko preko dozirnog ventila iz prstenastog voda. Dodavanjem vapnenog mlijeka mješavini otpadne vode / mulja dolazi do odvajanja krutih tvari (uglavnom gips i spojevi teških metala) i podizanje pH vrijednosti na cca 8,5 pH. Neutralizacijski spremnik je opremljen miješalicom koja ima ulogu pažljivog miješanja svih otpadnih voda i vapnenog mlijeka, te sprječavanja sedimentacije krutih tvari u neutralizacijskom spremniku. Mjerenje pH vrijednosti nalazi se u zoni smirenoj od strujanja, iza uronjene stijenke kroz koju mješavina otpadne vode i mulja napušta neutralizacijski spremnik. Mješavina otpadne vode / mulja teče kroz žlijeb u precipitacijski spremnik u kojem se vrši daljnje podizanje pH vrijednosti do cca 9,5 pH. [18]

U precipitacijskom spremniku preuzimaju se sljedeće otpadne vode i kemikalije:

- mješavina otpadne vode/mulja iz neutralizacijskog spremnika
- vapneno mlijeko iz prstenastog voda (ovisno o pH vrijednosti)
- željezni klorid  $\text{FeCl}_3$  (ovisno o količini)
- TMT 15 (ovisno o količini)
- filtrat iz filtracijskog rezervoara

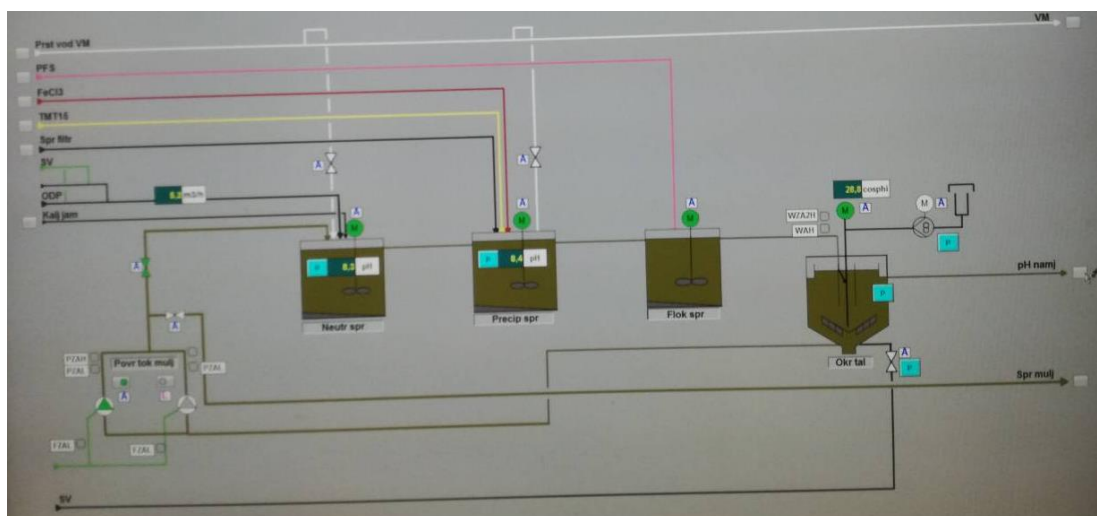
Potrebno doziranje vapnenog mlijeka vrši se kao kod neutralizacijskog spremnika iz prstenastog voda vapnenog mlijeka. Pri tome se dodatno dozira željezni klorid kao taložno sredstvo za ione teških metala i organosulfid (TMT 15) za (II)-ione žive. Sadržaj spremnika pažljivo se miješa miješalicom. Mjerenje pH vrijednosti nalazi se ponovno u zoni smirenoj od strujanja iza uronjene stijenke kroz koju mješavina otpadne vode/mulja napušta precipitacijski spremnik i teče kroz žlijeb u flokulacijski spremnik. [18]

U flokulacijskom spremniku preuzimaju se sljedeće otpadne vode i kemikalije:

- mješavina otpadne vode/mulja iz precipitacijskog spremnika
- flokulacijsko pomoćno sredstvo (ovisno o količini)

U flokulacijskom spremniku se u svrhu povišenja brzine taloženja dozira flokulacijsko pomoćno sredstvo poslije kojeg mješavina teče u okrugli taložnik. Okrugli taložnik opremljen je rešetkastim uređajem koji sprječava taloženje i transportira staloženi mulj ka odvodnom spremniku, gdje ga preuzimaju pumpe povratnog mulja. Mulj se kroz pneumatski ventil vodi u neutralizacijski spremnik ili se kroz pneumatski ventil izbacuje u spremnik mulja. Izbistrena

otpadna voda na površini stiže preko letve sa zupcima u sabirni kanal i teče odande u spremnik za namještanje pH vrijednosti. [18]



Slika 15. Procesna shema dovodne vode iz REA postrojenja.

Spremnik za namještanje pH vrijednosti opremljen je miješalicom, mjerenjem pH vrijednosti, pripadajućom lokalnom indikacijom (pokazivačem), te dozirnim ventilom za doziranje HCl (solna kiselina) koja se oduzima iz prstenastog voda za regulaciju pH vrijednosti. Jednom od pumpi završnog čišćenja, se otpadna voda tjera ka daljnjem čišćenju ka pješčanim filterima. U svrhu čišćenja pješčanih filtera instalirani su uređaji za povratno ispiranje. Sastoje se iz rezervoara vode za ispiranje i pumpi za povratno ispiranje. U normalnom slučaju se rezervoar vode za ispiranje puni očišćenom otpadnom vodom nakon pješčanih filtera, kao nadomjestak se koristi sirova voda. Pješčani filteri su paralelno spojeni, preključivanje na ispiranje vrši se automatski, kada diferencijalni tlak filtera iznosi 0,5 bar. Za vrijeme ispiranja jednog filtera se drugi filter nalazi u pogonu. Nakon pješčanih filtera vrši se kontrola pH vrijednosti. Ako pH vrijednost otpadne vode leži unutar zadanih granica, pušta se otpadna voda preko ventila u kanal rashladne vode, pneumatski ventil ostaje zatvoren. Kod prekoračenja ili podbacivanja granične pH vrijednosti se otpadna voda preko pneumatskog ventila vodi u spremnik za namještanje pH vrijednosti, pneumatski ventil se zatvara. [18]



**Slika 16. Pješčani filteri.**



**Slika 17. Pročišćena voda nakon pješčanih filtera.**

Jama otpadne vode preuzima iste iz prelijeva precipitacije i sedimentacije ARA-e, iz odvodnjavanja mulja ARA-e, te iz lamelnih taložnika. Uneseni zrak za miješanje drži krute tvari lebdećim. Pumpe jame otpadne vode izvlače otpadnu vodu razinski regulirano, te ju dijele u neutralizacijski spremnik ARA-REA precipitacija i sedimentacija, ARA za otpadnu vodu kotla, te u međubazen (tampon-bazen) otpadne vode. [18]

Mulj iz okruglog bistrika i iz lamelnih bistrika privremeno se sprema u tanku za mulj prije nego što se istisne u filtarsku prešu. Mulj se pomoću pumpi za punjenje filtarske preše crpi u filtarsku prešu. Prešanje mulja pomoću filtarske preše započinje ručno, a aktivira ga signal razine u spremniku za mulj, nakon što se u njemu dostigne razina potrebna za prešanje od  $> 70 \%$ . Mulj se pomoću pumpe za punjenje filtarske preše 1 ili pumpe za punjenje filtarske preše 2 transportira u filtarsku prešu, a preklapanje na redundantni agregat vrši se isključivo ručno. Odvijanjem jednog ciklusa prešanja upravlja se pomoću programa, smještenog u razvodnom ormariću filtarske preše koji komunicira s postrojenjem razmjenu određenih signala koji izazivaju započinjanje, prekidanje itd. ciklusa prešanja. Filtarska preša je nadalje opremljena uređajem za zakiseljavanje koji se pokreće ručno. Pomoću uređaja za zakiseljavanje u filtarsku prešu se doprema solna kiselina, čime se otapaju inkrustacije na filtarskim tkaninama. Uređaj za zakiseljavanje se pokreće s terminala. Na filtarsku prešu se šalje signal koji onemogućuje lokalno slučajno otvaranje preše napunjene solnom kiselinom. Rezultat prešanja dobije se tzv. Ara kolač. [18]



**Slika 18. Filterska preša mulja.**



**Slika 19. ARA kolač.**

## **5.2. Opis procesa pročišćavanja otpadanih voda kotla (KW)**

U među bazenu (tampon-bazenu) otpadne vode koji se nalazi pored postrojenja are preuzimaju se sljedeće otpadne vode:

- otpadna voda od pogona elektrane
- voda za ispiranje šljunčanih filtera
- otpadna voda iz pješčanih filtera (u slučaju smetnje kod odstupanja pH vrijednosti)
- otpadna voda iz jame otpadne vode (slučaj nužde)

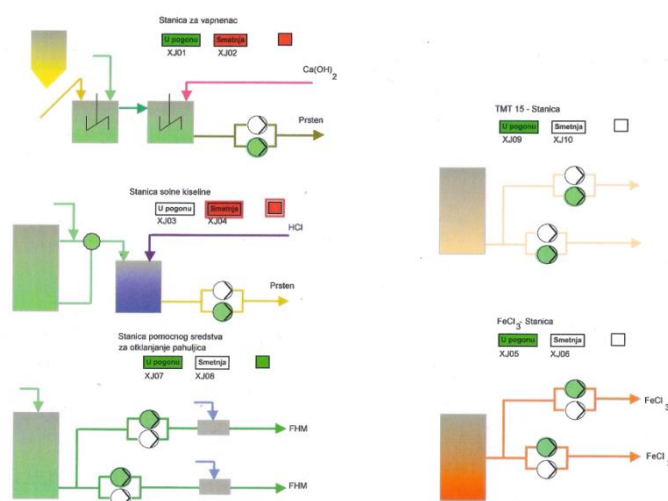
Upuhivanjem zraka za miješanje iz ventilatora se unesene krute tvari uskomešaju kako bi se mogle crpiti s otpadnom vodom. Otpadna voda pH vrijednosti 5-9 se dovodnim pumpama tjera u neutralizacijski spremnik gdje se miješa s povratnim muljem, vapnenim mlijekom (po potrebi za podizanje na cca 8,5pH), HCL-om (po potrebi ako je vrijednost iznad 8,5 pH), otpadnom vodom iz spremnika filtra i otpadnom vodom iz jame otpadne vode. Pri tome se preko dozirnog ventila koji se otvara i zatvara (u koracima) na osnovu zadanih podataka regulatora pH vrijednosti vapneno mlijeko oduzima iz prstenastog voda vapnenog mlijeka, a HCl iz prstenastog voda za HCl. Dodavanje vapnenog mlijeka u otpadnu vodu odvajaju se krute tvari (uglavnom gips i spojevi teških metala). Neutralizacijski spremnik opremljen je miješalicom koja služi pažljivom miješanju svih otpadnih voda i vapnenog mlijeka tj. HCl, a što služi sprječavanju sedimentacije krutih tvari u neutralizacijskom spremniku. Mjerenje pH vrijednosti smješteno je u zoni mirnoj od strujanja, iza uronjene stijenke kroz koju mješavina otpadne vode / mulja napušta neutralizacijski spremnik i teče žljebovima u flokulacijski spremnik. [18]



U flokulacijskom spremniku se vrši daljnje podizanje pH vrijednosti na cca 9,5 pH i preuzimaju se sljedeće struje otpadne vode i kemikalije:

- mješavina otpadne vode/mulja iz neutralizacijskog spremnika
- vapneno mlijeko iz prstenastog voda (ovisno o pH vrijednosti)
- željezni klorid (ovisno o količini)
- TMT 15 (ovisno o količini)
- pomoćno flokulacijsko sredstvo (ovisno o količini)

Doziranje vapnenog mlijeka koje je pri tome potrebno vrši se kao kod neutralizacijskog spremnika iz prstenastog voda vapnenog mlijeka. Nadalje se dodatno dozira željezni klorid kao precipitacijsko sredstvo za ione teških metala, organosulfida (TMT 15) za (II)-ione žive, te flokulacijsko pomoćno sredstvo za povišenje brzine taloženja.



**Slika 20. Procesna shema doziranja kemikalija u ARA postrojenju.**

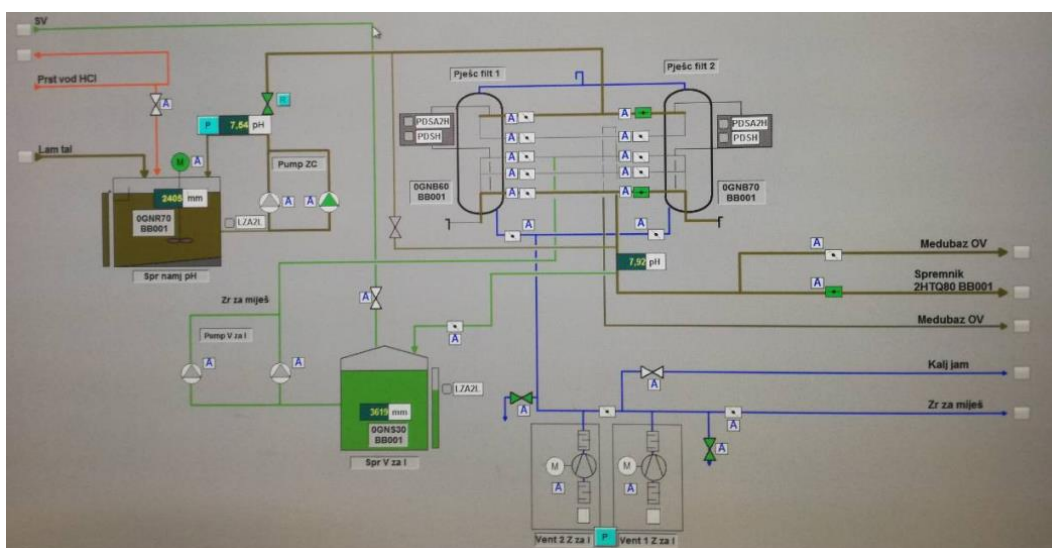
Sva ta smjesa dalje teče kroz žljebove u lamelni taložnik i raspoređuju se ispod lamelnih paketa. Lamelnih taložnika ima četiri od kojih su tri određeni za pogon a četvrti služi kao rezerva. Mješavina otpadne vode / mulja struji uz lamele polako nagore, pri čemu se vrši podjela vode-mulja. Površina taložnika odgovara projiciranoj površini svih lamela. Mulj klizi uzduž pod kutem od 60 ° uspravljenih lamela nadolje, a odvodi se postepeno s dna lamelnih taložnika koji su u pogonu pomoću stand by izvedenih pumpi kontaktnog mulja. Ventili mulja se samo tada otvaraju kada su otvorene odgovarajuće zaklopke. [18]



**Slika 21 Lamelni taložnici.**

Mulj se pomoću oba pneumatska ventila koja se izmjenično otvaraju i zatvaraju vodi nazad u neutralizacijski spremnik, odnosno ispušta u rezervoar mulja. Ispuštena količina mulja odgovara točno onoj stvorenoj na osnovu precipitacijske reakcije. Odnos vremena otvaranja oba pneumatska ventila namještava se na takozvanom “timeru”. Razbistrena otpadna voda na površini dolazi preko jedne letve sa zupcima u sabirni kanal. Razbistrena voda teče kroz žljebove odande u spremnik za namještanje pH vrijednosti. Spremnik za namještanje pH vrijednosti opremljen je jednom miješalicom, jednim mjerenjem pH vrijednosti i pripadajućim pokazivanjem na licu mjesta, te dozirnim ventilom za doziranje HCl ( solna kiselina) koja se oduzima iz prstenastog voda. Namještajem pH vrijednosti jedna od pumpi za završno čišćenje tjeraju neutraliziranu vodu kroz pješčane filtere. Nakon pješčanih filtara nalazi se kontrola pH, ako je pH vrijednost otpadne vode u okviru zadanih granica, tada se otpadna voda kroz zaklopku predaje dalje na granici postrojenja u potok Boljunčicu, a u protivnom se otpadna voda kroz zaklopku odvodi u među bazen za otpadnu vodu ili u rezervoar za ispiranje u slučaju potrebe. U svrhu čišćenja pješčanih filtera instalirani su uređaji za povratno ispiranje. Sastoje se iz rezervoara vode za ispiranje, pumpi vode za ispiranje, te ventilatora zraka za ispiranje. Rezervoar vode za ispiranje služi kao podloga za povratno ispiranje pješčanog filtra ARA-e za otpadnu vodu kotla.

Ako je potrebno ispiranje pješčanih filtera (visok diferencijalni pritisak pješčanog filtera), a rezervoar vode za ispiranje nije napunjen, otvara se pneumatski ventil, a rezervoar vode za ispiranje puni se sirovom vodom. Oba ventilatora zraka služe povratnom ispiranju pješčanih filtera ARA-e za otpadnu vodu kotla te za proizvodnju zraka za miješanje za među bazen otpadne vode i za jamu s pumpama. [18]



Slika 22. Procesna shema namještanje pH vrijednosti i završnog čišćenja.

### 5.3. Kontejnersko postrojenje za pročišćavanje

Uređaj za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda služi za obradu svih sanitarnih otpadnih voda te otpadnih voda iz kuhinje. Otpadne vode koje sadržavaju masti (npr. iz kuhinje) moraju se prije uvođenja u kanal odvoditi kroz separator ulja. Dovod otpadnih voda do pumpne stanice vrši se slobodni padom kroz odvojene sustave (sanitarne otpadne vode i oborinske vode). Pumpna stanica je opremljena s 2 pumpe s uređajem za usitnjavanje. Prva crpka je predviđena za količine koje dolaze tijekom suhog vremena (7,5 m<sup>3</sup>/h), pri čemu se višak količina koje doprema crpka preko preljevne brane integrirane u kontejnerski uređaj za pročišćavanje vraća natrag u okno pumpe. Druga crpka je predviđena kao rezervna crpka i u slučaju potrebe se automatski uključuje. Zatim se biološki stupanj, ovisno o razini, diskontinuirano puni i voda prolazi kroz njega slobodnim padom sve do ispusta iz sekundarnog bistrika. Transport mulja unutar kontejnerskog uređaja za pročišćavanje vrši se pomoću pneumatske dizalice, tj. sustava cijevi u koje se upuhuje zrak. Biološko pročišćavanje dovedene otpadne vode vrši se pomoću 2-stepenog postupka s aktiviranim muljem s odvojenim aerobnim stabiliziranjem mulja. Uređaj

se uglavnom sastoji od biološkog pred stupnja (BV) iza kojeg slijedi međubistrik (ZKB). U ovom stupnju s velikim opterećenjem vrši se pročišćavanje otpadnih voda biološko-fizikalnim procesima. Da bi se održala potrebna gustoća flokula, dobro prozračeni mulj iz stabilizacijskog spremnika (STAB) se uvodi u biološki pred stupanj. U glavnom stupnju (BH) koji zatim slijedi, a koji se sastoji od taložnika za aktiviranje mulja i od sekundarnog bistrika (NKB), izvedenog kao separatora s paralelnim pločama, odvijaju se pretežno procesi biološke razgradnje. Uvjetovano dimenzioniranjem prostornog opterećenja dolazi ovdje osim pretežne razgradnje organskih ugljika i do potpune nitrifikacije otpadnih voda. Biološki pročišćene otpadne vode stižu preko preljevne brane iz sekundarnog bistrika u odvod prema recipijentu. Diskontinuiranom odvodnjom zamućene vode se osim toga postiže zgušćivanje stabiliziranog mulja. Stabilizirani mulj se prema potrebi periodički vadi iz stabilizacijskog bazena i treba ga propisno ukloniti.[18]

Povratni i suvišni mulj unutar kontejnerskog uređaja za pročišćavanje se pomoću pneumatske dizalice transportira u odgovarajuće bazene, pri čemu se dovodom zraka upravlja preko magnetskih ventila. Kontrola postrojenja se obavlja redovitim određivanjem koncentracija mulja u svim reakcijskim spremnicima. Pritom se iz svakog spremnika uzima uzorak te se iz mulja, ostavljenog da neko vrijeme stoji u Imhoffovom taložnom lijevku, određuje koncentracija. Stvaranje mulja (Screening-Process) za vrijeme faze toplog stavljanja u pogon trajat će cca 8 tjedana, uz što će u toj fazi otpadna voda iz kontejnerskog uređaja za pročišćavanje samo postepeno postizati očekivanu kakvoću. Stabilizirani mulj iz kontejnerskog uređaja za pročišćavanje se sakuplja u silosu za mulj. Ovisno o opterećenju kontejnerskog uređaja za pročišćavanje se silos za mulj mora prazniti u razmacima od mjesec i pol do dva mjeseca. [18]



**Slika 23. Kontejnersko postrojenje za pročišćavanje.**

#### **5.4. Odvajač ulja**

Odvajač za tekućine niske viskoznosti su postrojenja za čišćenje otpadne vode za odvajanje mineralnih tekućina niske viskoznosti od vode (osobito benzin, dizel, ulje za loženje itd.). Ova postrojenja funkcioniraju na principu sile teže tj. koalescentnog odvajanja tj. bez korištenja kemikalija i bez strane energije. Sakupljanje oborinske vode vrši se preko kanalnog sustava. Sakupljena oborinska voda vodi se na geodetski najdubljem mjestu preko odvajača za tekućine niske viskoznosti, te se zaključno vodi u Čepić kanal. Održavanje odvajača ulja i propisno deponiranje ostataka vrši koncesionirano poduzeće. Uređaj odvajanja mineralnog ulja mora se kontrolirati jednom mjesečno, te nakon posebnih događaja (npr. nevrijeme, istjecanje mineralnog ulja itd.). [18]

## 6. POSTROJENJA ZA PROČIŠĆAVANJE DIMNIH PLINOVA

### 6.1. Postojanje za odsumporavanje dimnih plinova (REA)

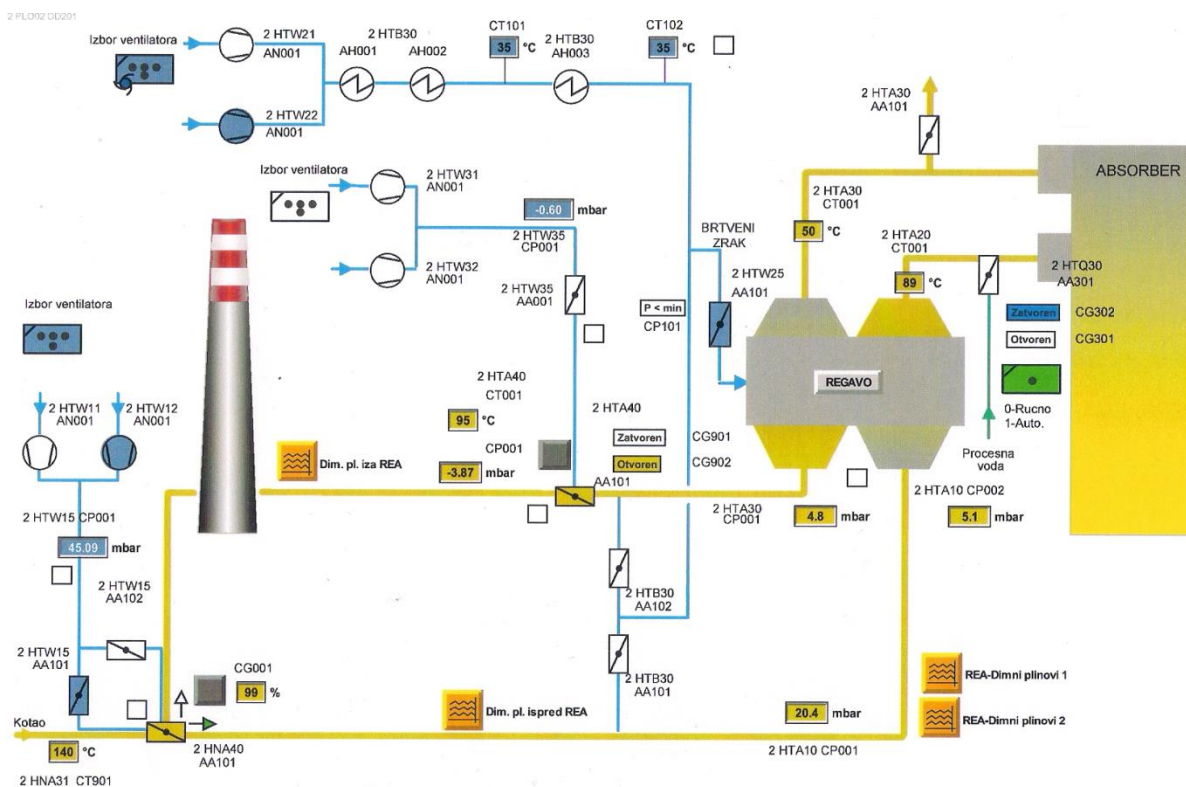
Uz TE Plomin 2 izgrađeno je prvo postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova u Hrvatskoj. Montaže postrojenja počela je u svibnju 1998. i završila krajem 1999. Postrojenje se nalazi između kotla TE Plomin 2 i dimnjaka TE Plomin. Proces u REA-i odvija se prema procesu Chemico Insitu. SO<sub>2</sub> koji se pomoću suspenzije vapnenca apsorbira iz dimnog plina reagira u apsorberu kod 100 % postotnog obuhvaćanja dimnih plinova u kalcijev sulfit i sulfat sa stupnjem odsumporavanja 95 %, te oksidira u gips u toku takozvanog "forced oxidation gypsum process" direktno u jami apsorbera. Gips koji kristalizira u apsorberu se izdvaja kao kruta tvar nakon odvodnje suspenzije kroz sustav hidrociklona i postrojenje trakastih filtara, filtarski kolač se transportira u skladište gipsa. Očišćeni dimni plin se nakon ponovnog zagrijavanja u regenerativnom izmjenjivaču topline odvodi u 340 m visok dimnjak. Pri tome se generalno izlučuju i druge popratne tvari kao što je pepeo, SO<sub>3</sub>, HCl i HF. [19]



Slika 24. Postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova, REA.

### 6.1.1. Opis procesa

Nakon prolaska kroz elektrofiltar dimni plin ima dvije mogućnosti za nastavljjanje toka, može ići u postrojenje za odsumporavanje ili direktno u dimnjak (kod puštanja termoelektrane u rad poslije remonta, max 24 h). Kako bi se omogućio samo jedan tok, u kanalu sirovog plina i u mimovodnom kanalu nalazi se skretnica za dimni plin, u kanalu čistog plina zaklopke dimnih plinova. Kako bismo kompenzirali eventualno propuštanje zaklopki tj. skretnica dimnog plina koristi se za vrijeme bypass (mimovodnog) pogona brtveni zrak. Dimni plin dolazi do regenerativnog izmjenjivača topline (REGAVO) gdje ima zadatak da ogrjevnom paketu predaje jedan dio njegove topline. Zbog zahtjeva kemije procesa na regavu se prije ulaska u apsorber (13 m) dimni plin hladi s cca 146° C na cca 96° C. Rotor s ogrjevnim paketima okreće se s otprilike jednim okretajem u minuti. Predana količina topline se koristi kako bi se čisti dimni plin temperature cca 46° C nakon izlaska iz apsorbera (30 m) ponovno zagrijao na garantiranu minimalnu temperaturu od 90° C te kroz dimnjak izlazi u atmosferu. To je nužno da bi se omogućilo uspješno djelovanje dimnjaka, njegova zaštita od korozije te što je najvažnije da bi se postigla odgovarajuća emisijska koncentracija tvari kao što je pepeo, SO<sub>3</sub>, HCl i HF. [19]



Slika 25. Procesna shema dimnih plinova REA postrojenja.

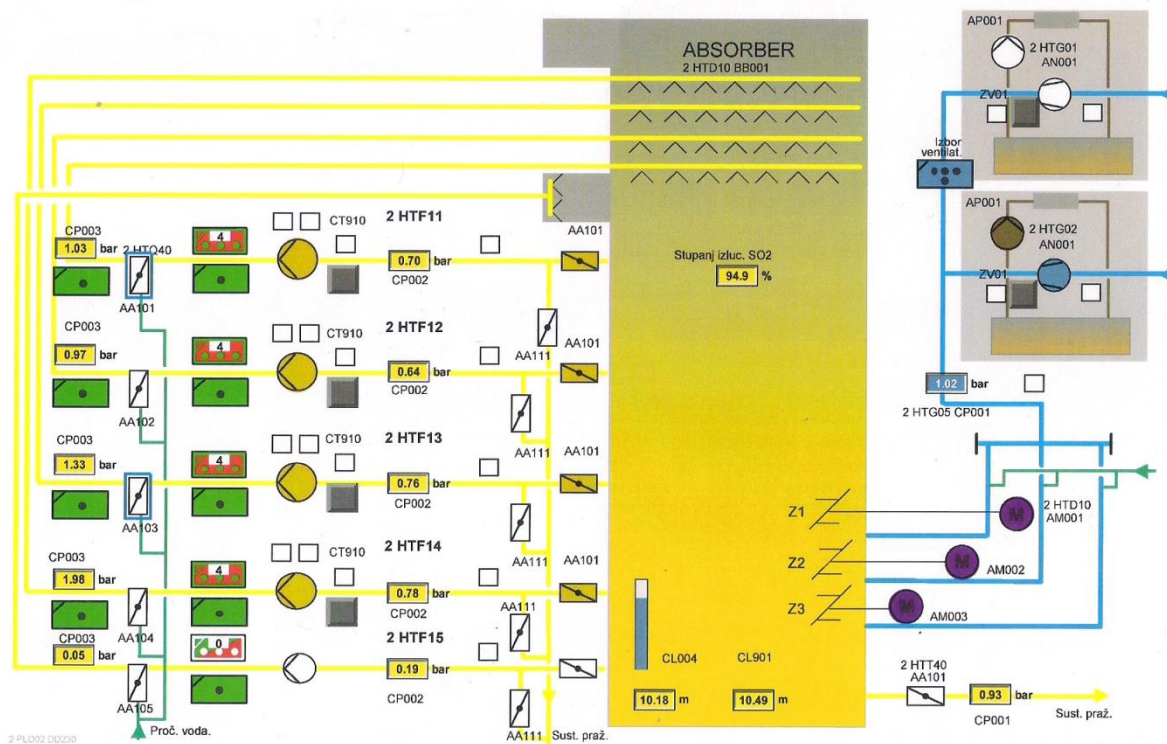
Nakon REGAVO-a vrši se pranje dimnih plinova. Struja dimnih plinova u apsorberu diže se i pere u protu, struji padajućih suspenzijskih kapljica (magle) vapnenca koje u apsorber ušpricavaju. Suspenziju s dna apsorbera podiže se cjevovodima promjera 1000 mm pomoću četiri pumpe, svaka pumpa podiže na jedan od određenih nivoa raspršivanja (visine iznad 20 m). Broj pumpi koje će biti u pogonu ovisi o sadržaju sumpora u dimnim plinovima koji pak ovisi o opterećenju kotla i o sadržaju sumpora u ugljenu.



**Slika 26. Motori pumpa suspenzije vapnenca: snage 355 kW i 315 kW (ovisno na koju visinu pumpaju).**

U apsorberu  $\text{SO}_2$  iz dimnog plina u kapljicama suspenzije reagira s vapnencem  $\text{CaCO}_3$  pri čemu nastaje kalcijev sulfit  $\text{CaSO}_3 \times \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ . Dio sulfita reagira s kisikom iz dimnog plina te nastaje kalcijev sulfat dihidrat  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  tj. gips. Uz dodavanje oksidacijskog zraka preostali kalcijev sulfit prelazi također u kalcijev sulfat. Istovremeno se odvijaju i reakcije kojima se izdvajaju Cl i F iz dimnog plina te preostala prašina koju uz potrošnju vapnenca kao apsorbenta pomoću suspenzije vapnenca/gipsa peru u protu struji. Na visini od 1.200 mm ugrađene su u plašt apsorbera tri miješalice pod kutevima od  $0^\circ$ ,  $105^\circ$  i  $210^\circ$  po obodu apsorbera koje oksidacijski zrak koji se upuhuje cijevima postavljenim ispred vratila umiješa u suspenziju. Vapnenac koji se stavlja za naknadno doziranje ulazi u jamu apsorbera gdje se miješa sa suspenzijom gipsa. Suspenzija vapnenca se nakon što se je u jami apsorberu pretvorila u gips crpi pomoću odvodne pumpe ka stanici za odvodnjavanje. [19]





Slika 27. Procesna shema doziranja suspenzije vapnenca.

Gips se u stanici za odvodnjavanje, koja se sastoji iz hidrociklona gipsa i hidrociklona optočne vode, odjeljuje od jednog dijela suspenzije. U hidrociklonu gipsa ulazi suspenzija gipsa u sabirnu cijev i teče iz nje u otvorene pojedinačne ciklone. Cikloni se koriste za koncentriranje i kontinuirano klasiranje čestica, to su konusni šuplji gumeni komadi u koje se tangencijalnim dodavanjem suspenzija prisiljava na kružno gibanje. Na suspendirane čestice djeluje centrifugalno ubrzanje koje ovisi o brzini toka i veličine hidrociklona. Grublje veće čestice grupiraju se po obodu hidrociklona dok se fine čestice nalaze u centru vrtloga. U pojedinačnim ciklonima gips se odvaja u donjem toku ciklona, a filtrat (vodenasti dio suspenzije gipsa) u preljevu gornjeg dijela hidrociklona gipsa. Gips koji ističe u donjem toku pojedinačnih ciklona vodi se nazad preko razdjelnika ka vakuuskom pojasnom fileru ili ka apsorberu ako ne zadovoljava željenu gustoću. [19]



**Slika 28. Hidrociklon.**

Uređaj pojasnog filtra preuzima ugušćenu grubu frakciju od donjeg toka ciklona, pere se, te se vakuumom odvodnjava na preostalu vlažnost od cca 10%. To je ustvari transporter dužine 6 m i širine 1200 mm. Površina filtera je 7,7 m<sup>2</sup> s učinkom od 860 kg/m<sup>2</sup>/h. Sastoji se od nosećeg gumenog pojasa na kojem se nalazi filtersko platno s rupicama veličine 10 $\mu$ m pri čemu na donjoj strani vlada vakuum. Isisani višak vlage iz prednjeg dijela bogat nepoželjnim kloridima, sustavom cijevi provodi se do spremnika kružne vode. Nakon toga se gips ispiri vodom, a ostatak vode od pranja iz drugog dijela filtera vraća se u apsorber. Debljina filterskog kolača tj. gipsa unosi se ručno (20-30 mm). Tamo se filtrat još jednom odvaja od najvećeg dijela njegove krute tvari i vodenastog dijela. Krute tvari koje otječu, u donjem se toku ponovno dodaju apsorberu. Vodenasti dio filtrata koji preko preljevnog voda otječe, u gornjem dijelu hidrociklona prihvaća se u spremniku optočne vode te se ponovo koristi u svrhu pripreme suspenzije vapnenca. [19]



**Slika 29. Pojasni filter na ulazu iz hidrociklona i pojasni filter na izlazu.**

Proizvedeni gips s pojasnog filtera pada kroz lijevak na prvu transportnu traku smještenu unutar pogonske zgrade etažu niže. U slučaju nužde tj. kvara na ostalom dijelu transportnog sustava, gips se iznosi direktno s prve trake kroz teleskopski lijevak u kamion ili postavljeni kontejner uz cestu. Normalnim slijedom, iznos gipsa vodi s prve transportne trake na drugu koja premošćava razmak od dvadesetak metara između pogonske zgrade i skladišta gipsa. Treća traka nalazi se cijelom dužinom u skladištu gipsa. Postizanjem dozvoljene visine nagomila, traka se pomiče za određenu udaljenost i sipanjem stvara novi nakupine. U principu je skladište podijeljeno na dva dijela. Dok se jedan dio puni, drugi se prazni. Oduzimač gipsa istresa zahvaćeni gips na transportnu traku broj četiri. Presip s ove trake vodi do koso postavljene pete trake koja se ponovno nalazi van zgrade. Peta traka završava teleskopskim lijevkom kojim se gips pretovaruje u kamion. [19]



**Slika 30. Transportna traka 3.**



**Slika 31. Nagomilavanje gipsa strugalom.**



**Slika 32. Transportna traka 5.**

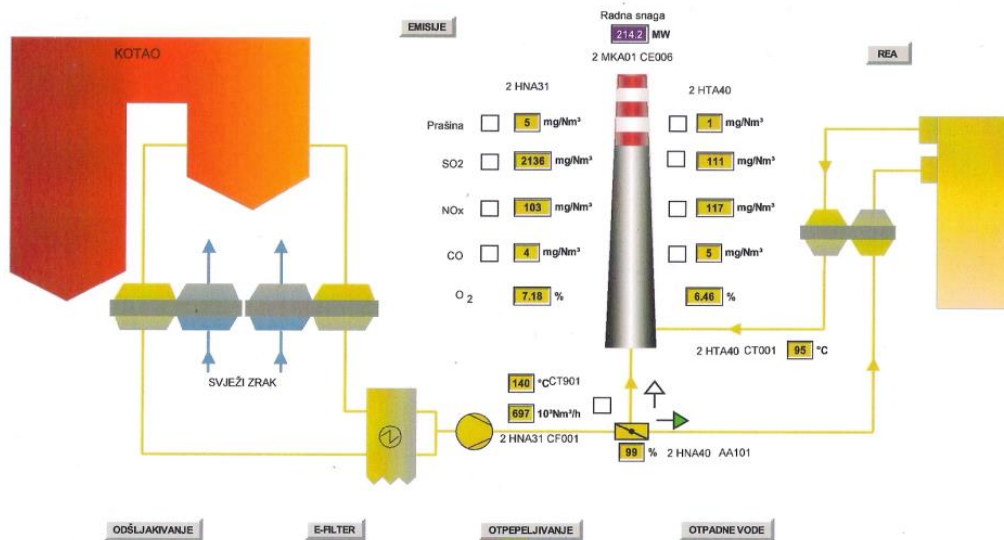
U zoni pranja dimni plin se hladi na temperaturu zasićenja, te se nakon toga zasićuju vodenom parom iz reciklirane suspenzije. Gubici vode apsorbera (zasićenje dimnih plinova, vlažnost produkta i otpadna voda) nadoknađuju se dovodom tehnološke vode (uređajem za ispiranje odvajača kapljica). Očišćeni dimni plin struji nakon toga kroz dva horizontalno postavljena odvajača kapljica. U odvajaču kapljica čisti plin se oslobađa od pokupljenih suspenzijskih kapljica. Odvajači kapljica se preko programa povremeno ispiru.

Učestalost ispiranja je rjeđa što je razina vode u apsorberu viša. Ispiranje odvajачa kapljica koje se vrši tehnološkom vodom ima dvije uloge: sprječavanje sljepljivanja odvajачa kapljica i održavanje potrebne razine u apsorberu.



Slika 33. Odvajač kapljica.

Dimni plin temperature cca 46° C nakon izlaska iz apsorbera (30 m) ponovno se zagrijava na 90° C predanom toplotom na ulazu u apsorber pomoću REGAVA te kroz dimnjak izlazi u atmosferu. [19]



Slika 34. Procesna shema izlaznih čestica u atmosferu.

## 6.2. DENOX postrojenje

1. siječnja 2018. godine stupili su na snagu novi zahtjevi za smanjenom emisijom dušikovih oksida ( $< 200 \text{ mg/Nm}^3$ ). Kako bi TE Plomin 2 mogla nastaviti s radom, bilo je potrebno ugraditi postrojenje za smanjenje sadržaja dušikovih oksida u dimnom plinu. Sustav je ugrađen i pušten u rad u 2017. godini.

Selektivna katalitička redukcija (SCR) s ubrizgavanjem amonijačne vode koncentracije 25% ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) u dimni plin je metoda odabrana za smanjenje oksida dušika u izlaznim dimnim plinovima. Postrojenje za uklanjanje dušikovih oksida nalazi se između kotla i regenerativnih zagrijača zraka. Sastoji se od reaktora ispunjenog katalizatorom kroz koji prolaze dimni plinovi iz kotla.

Proces uklanjanja dušikovih oksida odvija se uštrcavanjem amonijaka u obliku vodene otopine pri čemu se na katalizatoru odvija kemijska reakcija razbijanja dušikovih oksida i pretvaranja u čisti plinoviti dušik i vodu. U blizini kotlovske postrojenja skladišti se amonijačna voda u atmosferskom spremniku. Postrojenje je opremljeno i uređajima za čišćenje katalizatora, sustavom upravljanja, osobnim/teretnim liftom, nosivom čeličnom konstrukcijom s pristupnim platformama, hodnim stazama i stepeništima. SCR reaktor sastoji se od dva nivoa katalizatora i slobodnog prostora za naknadnu ugradnju trećeg sloja nakon djelomičnog zasićenja (minimalno nakon tri godine rada). Ispod prostora za katalizator smještena su tri paketa ekonomajzera nakon kojih se dimni plin razdvaja u odvojene kanale na postojeće rotacione zagrijače zraka. [17]



Slika 35. Prikaz DENOX postrojenja. [17]

## 7. ZAKLJUČAK

Ovim završnim radom dan je kratak pregled postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i ispušnih dimnih plinova termoelektrane Plomin. Također, dan je prikaz lokacije postrojenja TE Plomin, proizvodnih procesa, opskrbe derivatima te zbrinjavanje nusproizvoda proizvodnje.

Termoelektrana Plomin nalazi se na istočnoj obali Istre u vrhu Plominskog zaljeva. Sastoji se od dva bloka – TE Plomin 1 i TE Plomin 2. No, TE Plomin 1 prestala je s radom 29. svibnja 2017. nakon požara u kabelskom prostoru. Za ponovni početak rada potrebne su modernizacije postrojenja propisane Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora. TE Plomin 1 i 2 imale su zajednički sustav dopreme i skladištenja ugljena, zajednički ispušni otpadnih plinova, zajednički sustav dopreme rashladne morske vode, zbrinjavanja šljake i pepela te zajednički sustav tehnološke vode, sustav obrade otpadnih, tehnoloških, oborinskih i sanitarnih voda. Danas je TE Plomin 2 ostala jedina termoelektrana na ugljen u Hrvatskoj.

Termoelektrana posjeduje postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i dimnih plinova. Postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda naziva se ARA, a postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova REA. Osim zasebnih funkcija pročišćavanja otpadnih voda kotla, sanitarnih otpadnih voda te otpadnih voda iz kuhinje, ARA obavlja i pročišćavanje otpadnih voda iz postrojenja REA. U REA-i se odvija odsumporavanje dimnih plinova prema Chemico Insitu, a očišćeni dimni plin se odvodi u 340 metara visoki dimnjak. Pritom, dolazi do izlučivanja i drugih popratnih tvari, poput pepela, SO<sub>3</sub>, HCl i HF.

Proučavajući svu dostupnu literaturu, zaključujem kako sustavi za pročišćavanje TE Plomin poštuju propise Republike Hrvatske te djeluju u vidu zaštite okoliša i lokalnog stanovništva. Moderna tehnologija donosi brojne novine koje će se s vremenom implementirati u svakodnevni rad, a sve u cilju poboljšanja efikasnosti same proizvodnje, ali i zaštite zdravlja.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc



## LITERATURA

- [1] [http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE\\_TRANSFORMACIJE#Termoelektrane](http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE#Termoelektrane) (4.10.2018.)
- [2] [http://www.riteh.uniri.hr/zav\\_katd\\_sluz/zvd\\_teh\\_term\\_energ/katedra4/energetska\\_postr\\_ojenja/10.pdf](http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/energetska_postr_ojenja/10.pdf) ( 4.10.2018.)
- [3] [http://rgn.hr/~drajkovi/nids\\_damirrajkovic/skripta/Skripta\\_PiPE.pdf](http://rgn.hr/~drajkovi/nids_damirrajkovic/skripta/Skripta_PiPE.pdf) ( 4.10.2018.)
- [4] [http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE\\_TRANSFORMACIJE#Termoelektrane u Hrvatskoj](http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE#Termoelektrane_u_Hrvatskoj) (4.10.2018.)
- [5] [https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO\\_PUO/2018/180403\\_Sazetak\\_Plomin.pdf](https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO_PUO/2018/180403_Sazetak_Plomin.pdf) (4.10.2018.)
- [6] [https://www.mzoip.hr/doc/tehnicko-tehnolosko\\_rjesenje\\_52.pdf](https://www.mzoip.hr/doc/tehnicko-tehnolosko_rjesenje_52.pdf) (4.10.2018.)
- [7] <http://istra.lzmk.hr/clanak.aspx?id=2730> (5.10.2018.)
- [8] TE Plomin d.o.o., Termoelektrana Plomin - iskustva iz rada termoelektranskog kompleksa na ugljen 2000.-2005. godine
- [9] <https://www.istrapedia.hr/hrv/1188/istarski-ugljenokopi-rasa/istra-foto/#> (5.10.2018.)
- [10] <https://istarski.hr/node/40110-sustav-iskrcaja-ugljena-dizajniran-tako-da-je-utjecaj-na-okolis-minimalan> ( 5.10.2018.)
- [11] [https://www.istra-istria-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO\\_PUO/2018/180403\\_Strucna\\_podloga\\_Plomin.pdf](https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO_PUO/2018/180403_Strucna_podloga_Plomin.pdf) (5.10.2018.)
- [12] [https://istarski.hr/app\\_assets/publications/photos/8481/lg\\_8481\\_plomin\\_pepeo\\_web\\_6.jpg](https://istarski.hr/app_assets/publications/photos/8481/lg_8481_plomin_pepeo_web_6.jpg) ( 5.10. 2018.)
- [13] [http://www.koncar-ket.hr/documents/koncar\\_te\\_plomin2.pdf](http://www.koncar-ket.hr/documents/koncar_te_plomin2.pdf) ( 5.10.2018.)
- [14] Dokumentacija TE Plomin; Enciklopedija Istre
- [15] <https://www.labin.com/vijesti/hep-priopcenje-za-medije-povodom-pozara-u-te-plomin-53295> ( 5.10.2018.)
- [16] <https://www.tportal.hr/media/thumbnail/w1000/540830.jpeg> (5.10.2018.)
- [17] HEP proizvodnja, Sektor za TE- Pogon Te Plomin; Procjena stanja objekta i postrojenja.
- [18] Dokumentacija TE Plomin: Opis procesa ARA postrojenja.
- [19] Dokumentacija TE Plomin: Opis procesa REA postrojenja.