

Utjecaj Direktive u industrijskim emisijama na postrojenje TE-TO Zagreb

Ćurković, Danijela

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:588818>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-09**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij rudarstva

**UTJECAJ DIREKTIVE O INDUSTRIJSKIM EMISIJAMA NA
POSTROJENJE TE-TO ZAGREB**

Diplomski rad

Danijela Ćurković

R 110

Zagreb, 2015.

UTJECAJ DIREKTIVE O INDUSTRIJSKIM EMISIJAMA NA POSTROJENJE TE-TO ZAGREB

DANIJELA ĆURKOVIĆ

Diplomski rad je izrađen:

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U današnje vrijeme termoelektrane su veliki onečišćivač okoliša. Kako bi se osiguralo sprječavanje i kontrola onečišćenja okoliša, Direktivom EU o industrijskim emisijama (2010/75/EU) propisani su obvezni uvjeti zaštite okoliša koje određene djelatnosti iz sektora energetike, industrije i gospodarenja otpadom moraju ispunjavati da bi postrojenje u kojem se obavljaju te djelatnosti dobilo dozvolu za rad (okolišnu dozvolu). Ti uvjeti uključuju primjenu najboljih raspoloživih tehnologija (NRT) i drugih mjera usmjerenih na sprječavanje ili, kada to nije izvedivo, smanjivanje emisija onečišćujućih tvari ili energije u zrak, vode i tlo. U ovom radu je analiziran utjecaj termoelektrane-toplane (TE-TO) Zagreb na okoliš, implementirani sustav upravljanja okolišem TE-TO Zagreb, te usklađenost postrojenja s uvjetima definiranim Direktivom o industrijskim emisijama. Na temelju usporedbe emisija onečišćujućih tvari iz TE-TO Zagreb s graničnim vrijednostima emisija propisanih Direktivom, dan je prijedlog mjera za usklađivanje sa zahtjevima Direktive.

Ključne riječi: termoelektrana, Direktiva o industrijskim emisijama, okolišna dozvola, najbolje raspoložive tehnologije

Diplomski rad sadrži: 83 stranice, 11 tablica, 30 slika i 49 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: dr. sc. Ivan Sobota, docent RGNF-a
Pomoć pri izradi: Monika Babačić, dipl. ing kem.

Ocjenjivači: dr. sc. Ivan Sobota, docent RGNF-a
dr. sc. Gordan Bedeković, izvanredni profesor RGNF-a
dr. sc. Dalibor Kuhinek, docent RGNF-a

Datum obrane: 11. prosinca 2015.

IMPACT OF THE EU DIRECTIVE ON INDUSTRIAL EMISSIONS ON TE-TO
ZAGREB COGENERATION PLANT

DANIJELA ĆURKOVIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mining Engineering and Geotechnics
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

At the present time the thermal power plants are a major polluter of the environment. In order to ensure the prevention and control of environmental pollution, the EU Directive 2010/75/EC on industrial emissions lays down the mandatory environmental requirements that certain activities in the energy industry, industry and waste management must fulfill in order to be granted an operating license (environmental permit). These requirements include the use of best available technologies (BAT) and other measures to prevent or, where that is not practicable, to reduce the emissions of pollutants or energy into the air, water and soil. This paper analyzes the effects of "TE-TO Zagreb" power plant on the environment, the environmental management system implemented by the "TE-TO Zagreb", and plant compliance with conditions defined by Directive 2010/75/EC. Based on a comparison of pollutant emissions from "TE-TO Zagreb" with the emission limit values laid down in the Directive, the measures that may be taken to comply with the requirements of the Directive have been proposed.

Keywords: thermal power plant, the Industrial Emissions Directive (IED), environmental permit, best available techniques (BAT)

Thesis contains: 83 pages, 11 tables, 30 pictures and 49 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Ivan Sobota, PhD, Assistant Professor

Technical support and assistance: Monika Babačić, MSc.

Reviewers: Ivan Sobota, PhD, Assistant Professor
Gordan Bedeković, PhD, Associate Professor
Dalibor Kuhinek, PhD, Assistant Professor

Date of defence: December 11, 2015

SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	III
POPIS TABLICA.....	V
1. UVOD.....	1
2. PREGLED UTJECAJA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA NA OKOLIŠ.....	3
2.1. Utjecaj na zrak	4
2.1.1. Sumporov (IV) oksid (SO ₂).....	6
2.1.2. Dušikovi oksidi (NO _x)	7
2.1.3. Ugljikov dioksid (CO ₂)	8
2.1.4. Ugljikov (II) oksid (CO)	9
2.1.5. Lebdeće čestice.....	9
2.2. Utjecaj na vode i tlo.....	12
2.3. Buka.....	17
3. DIREKTIVA EU O INDUSTRIJSKIM EMISIJAMA I OKOLIŠNA DOZVOLA.....	19
3.1. Najbolje raspoložive tehnologije (NRT)	21
3.2. Okolišna dozvola.....	22
4. POSTROJENJE TE-TO ZAGREB.....	26
4.1. Opis lokacije postrojenja	26
4.1.1. Hidrološke značajke.....	26
4.1.2. Klimatske značajke	26
4.1.3. Flora i fauna.....	27
4.2. Opis postrojenja i tehnološkog procesa.....	28
4.3. Korišteni energenti, voda i pomoćne tvari u TE-TO Zagreb.....	35
4.4. Izvori onečišćenja okoliša.....	35
4.4.1. Utjecaj na zrak	36
4.4.2. Utjecaj na tlo	37
4.4.3. Utjecaj na vode	37

4.4.4. Tehnološki otpad	38
4.4.5. Buka	40
4.4.6. Ekološka nesreća	41
4.5. Politika zaštite okoliša TE-TO Zagreb	42
4.6. Mjere zaštite okoliša od štetnih utjecaja	47
4.6.1. Mjere za smanjenje štetnih emisija u atmosferu.....	47
4.6.2. Obrada otpadnih voda	49
4.6.3. Zbrinjavanje tehnološkog otpada.....	54
4.6.4. Mjere zaštite od buke	55
4.6.5. Sprječavanje ekološke nesreće	55
4.7. Program praćenja emisija	57
5. USKLAĐENOST POSTROJENJA TE-TO ZAGREB SA ZAHTJEVIMA	
DIREKTIVE O INDUSTRIJSKIM EMISIJAMA.....	64
6. PRIJEDLOG MJERA POTREBNIH ZA SMANJIVANJE EMISIJA U ZRAK.....	71
7. ZAKLJUČAK.....	77
8. LITERATURA.....	79

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Osnovni elementi termoenergetskog postrojenja.....	3
Slika 2-2. Uređaj za pročišćavanje dimnih plinova iz ložišta termoenergetskog postrojenja	11
Slika 2-3. Pločasti elektrostatički taložnik (Sobota, 2012)	11
Slika 2-4. Filtarski uređaj s vrećama (vrećasti filter) (Sobota, 2012).....	12
Slika 2-5. Sustav zaštite okoliša termoelektrane ložene tekućim gorivom: glavne mjere za smanjenje štetnih utjecaja na okoliš (Goić, 2015).....	18
Slika 4-1. Termoelektrana-toplana (TE-TO) Zagreb (Sučić et al., 2004).....	27
Slika 4-2. Princip rada termoelektrane-toplane (Goić, 2006)	28
Slika 4-3. Prikaz rasporeda pogonskih jedinica TE-TO Zagreb (EKONERG d.o.o., 2015)	30
Slika 4-4. Blok K: parno-turbinski agregat (Jukić i Majcen, 2011)	32
Slika 4-5. Blok L (HEP Proizvodnja d.o.o., 2011a)	32
Slika 4-6. Princip rada kombi-kogeneracijskog postrojenja (Goić, 2006).....	33
Slika 4-7. Plinska turbina bloka L (HEP Proizvodnja d.o.o., 2011a)	34
Slika 4-8. Segment parne turbine bloka L (HEP Proizvodnja d.o.o., 2011a)	34
Slika 4-9. Lokacije mjerenja razine buke (Sučić et al., 2004).....	41
Slika 4-10. Ciklus neprekidnog poboljšavanja (<i>Deming</i> -ov ciklus) (Sobota, 2014)	45
Slika 4-11. Certifikat dodijeljen TE-TO Zagreb (HEP Proizvodnja d.o.o., 2012).....	45
Slika 4-12. Specifične emisije SO ₂ , NO _x , CO i PM10 (HEP d.d., 2011).....	48
Slika 4-13. Specifična emisija CO ₂ (HEP d.d., 2011)	48
Slika 4-14. Otpadne vode na lokaciji TE-TO Zagreb	49
Slika 4-15. Shema sustava za pročišćavanje zauljenih voda (Sučić et al., 2004).....	51
Slika 4-16. Shema sustava za preradu otpadnih voda (Sučić et al., 2004).....	52
Slika 4-17. Shema postrojenja za neutralizaciju otpadnih voda iz KPV (Sučić et al., 2004)	53

Slika 4-18. Mjerno mjesto (lijevo) i mjerni priključci (desno) kotla K3 (EKONERG d.o.o., 2015).	58
Slika 4-19. Mjerno mjesto (lijevo) i mjerni priključci (desno) plinskih turbina (EKONERG d.o.o., 2015).	58
Slika 4-20. Analizator dimnih plinova PG-250A (EKONERG d.o.o., 2015)	60
Slika 4-21. Peltier hladnjak (EKONERG d.o.o., 2015)	60
Slika 4-22. Sick Gravimat SHC 501 (EKONERG d.o.o., 2015)	60
Slika 4-23. Univerzalni mjerni instrument Almemo 2590-4S (EKONERG d.o.o., 2015)	61
Slika 4-24. Rezultati kontinuiranih mjerenja emisija onečišćujućih tvari iz TE-TO Zagreb (AZO, 2015)	63
Slika 6-1. Mogući položaji SCR uređaja kod uređaja za loženje (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).	76

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Specifične emisije iz TE po jedinici proizvedene električne energije (emisijski faktori) ovisno o vrsti goriva (Udovičić, 1989).....	5
Tablica 4-1. Osnovni podaci proizvodnih postrojenja TE-TO Zagreb (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).....	29
Tablica 4-2. Pregled glavnih izvora emisija u zrak i emitiranih onečišćujućih tvari na lokaciji TE-TO Zagreb (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).....	36
Tablica 4-3. Vrste otpadnih voda i onečišćujućih tvari (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b).....	38
Tablica 4-4. Otpad koji nastaje tijekom rada i održavanja postrojenja (Sučić et al., 2004)	39
Tablica 5-1. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak za velike termoelektrične uređaje ložene tekućim gorivom (Direktiva 2010/75/EU i RDNRT za velike termoelektrične uređaje).....	67
Tablica 5-2. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak za velike termoelektrične uređaje ložene plinskim gorivom (Direktiva 2010/75/EU i RDNRT za velike termoelektrične uređaje).....	68
Tablica 5-3. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak za plinske turbine (uključujući i one s kombiniranim ciklusom - CCGT) koje koriste lake i srednje destilate kao tekuća goriva (Direktiva 2010/75/EU i RDNRT za velike termoelektrične uređaje)	69
Tablica 5-4. Usporedba emisija iz zrak iz pogonskih jedinica TE-TO Zagreb spojenih na zajednički dimnjak s propisanim GVE.....	69
Tablica 5-5. Usporedba emisija u zrak iz bloka K TE-TO Zagreb s propisanim GVE ..	70
Tablica 5-6. Usporedba emisija u zrak iz bloka L TE-TO Zagreb s propisanim GVE ..	70

1. UVOD

Nagli porast stanovništva, ubrzani tehnološki razvoj s procesom urbanizacije, rast industrijske proizvodnje i proizvodnje energije dovode do crpljenja prirodnih resursa te stvaranja mnogih antropogenih izvora onečišćenja koji, bez poduzimanja odgovarajućih mjera zaštite, ugrožavaju sve dijelove okoliša.

Zaštita okoliša je danas implementirana u sve djelatnosti društva, pa tako i u industriju i energetiku. U skladu s relevantnom zakonskom regulativom iz područja zaštite okoliša, svaka tvrtka čije djelatnosti ili postrojenja predstavljaju izvore onečišćenja okoliša dužna je provesti sve potrebne mjere zaštite kako bi spriječila moguće onečišćenje zraka, vode i tla.

Energetska postrojenja kao što su termoelektrane, toplane i kogeneracijske elektrane (termoelektrane-toplane) predstavljaju značajne izvore emisija štetnih plinova i lebdećih čestica, te stvaranja tehnološkog otpada. Plinovi kojima se posebno pridaje pažnja su ugljikovi oksidi (CO , CO_2), dušikovi oksidi (NO_x), sumporovi oksidi (SO_x) i ugljikov monoksid (CO). Navedene onečišćujuće tvari mogu dovesti do nepoželjnih posljedica za okoliš i živa bića, ako se prekorače propisane granične vrijednosti emisija i imisija tih tvari. Za svako postrojenje koje predstavlja nepokretni izvor onečišćenja, operater postrojenja obavezan je pratiti emisije onečišćujućih tvari u okoliš te poduzimati odgovarajuće mjere za smanjenje tih emisija ispod propisanih graničnih vrijednosti (*Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora*, NN br. 117/2012).

Termoelektrana-toplana (TE-TO) Zagreb, jedan od energetske pogona u vlasništvu tvrtke Hrvatska elektroprivreda (HEP), najveće je termoenergetsko postrojenje u Republici Hrvatskoj koje opskrbljuje stanovništvo električnom i toplinskom energijom (Babačić i Begović, 2013; Hrvatska elektroprivreda d.d., 2002). Kako bi se to i dalje ostvarivalo u skladu sa zakonskim propisima, HEP Proizvodnja d.o.o. kontinuirano ulaže sredstva za postizanje što veće proizvodnje uz što manje posljedice na okoliš. U svim dijelovima proizvodnje poduzimaju se propisane mjere za smanjenje svih utjecaja na okoliš: od emisija onečišćujućih tvari iz termoelektrana preko kontrole buke do zbrinjavanja tehnološkog otpada (HEP Proizvodnja d.o.o., 2015).

Postoje certifikati koji su potvrda da tvrtka zadovoljava određene standarde zaštite okoliša. TE-TO Zagreb ima od 2006. g. uspostavljen i certificiran integrirani sustav upravljanja

okolišem prema zahtjevima međunarodne norme ISO 14001:2004 (HEP Proizvodnja d.o.o., 2015), što znači da se tvrtka obvezuje ispunjavati uvjete upravljanja zaštitom okoliša definirane tom normom i na taj način svesti negativne utjecaje svoje djelatnosti na okoliš na najmanju moguću mjeru.

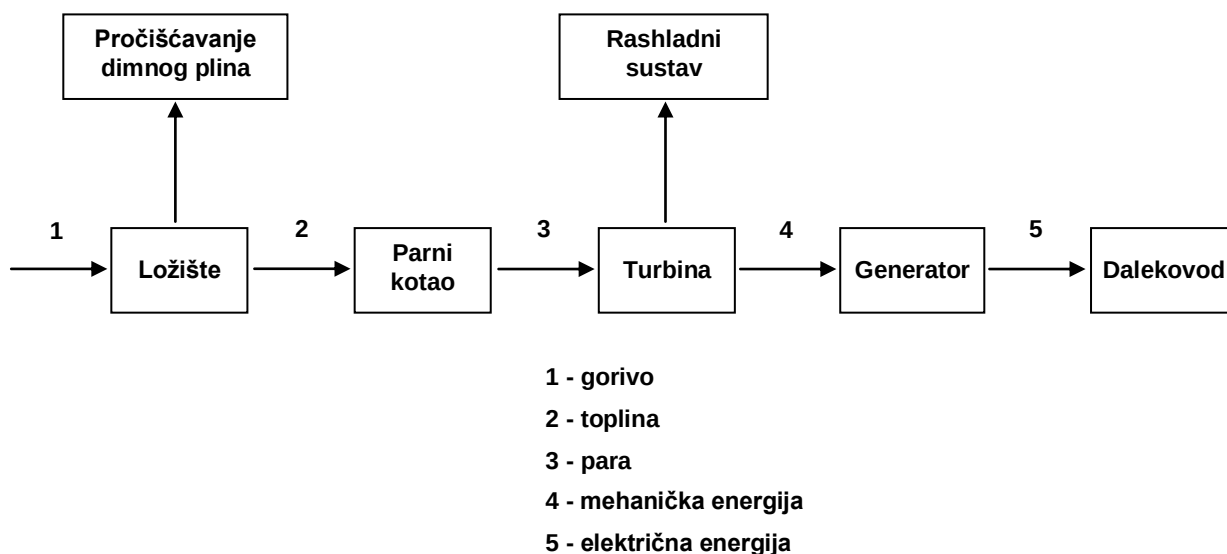
S ciljem sprječavanja i nadzora onečišćenja okoliša, europskom *Direktivom 2010/75/EU o industrijskim emisijama* čiji su zahtjevi implementirani u relevantnu hrvatsku zakonsku regulativu iz područja zaštite okoliša, propisani su obvezni uvjeti zaštite okoliša koje sva termoelektrična postrojenja nazivne toplinske snage veće od 50 MW moraju ispunjavati da bi dobila dozvolu za rad (okolišnu dozvolu). Direktiva propisuje primjenu najboljih raspoloživih tehnologija (NRT) i drugih mjera usmjerenih na sprječavanje ili, kada to nije izvedivo, smanjivanje emisija onečišćujućih tvari ili energije u okoliš ispod propisanih graničnih vrijednosti emisija (GVE), te smanjenje nastajanja otpada. U slučaju uređaja za loženje toplinske snage veće od 50 MW, NRT kojima je to moguće postići definirane su u *Referentnom dokumentu o najbolje raspoloživim tehnologijama za velike termoelektrične uređaje* (VTU RDNRT, eng. *LCP BREF*; European Commission, 2006) na koji se poziva Direktiva. Sukladno rasponima vrijednosti emisija (NRT-GVE) definiranih u VTU RDNRT, *Direktivom 2010/75/EU o industrijskim emisijama* također su propisane minimalne obvezujuće GVE.

U ovom diplomskom radu prikazani su mogući utjecaji na okoliš i mjere za zaštitu okoliša u slučaju termoelektričnih postrojenja kao što je TE-TO Zagreb, analizirana je usklađenost pogona TE-TO Zagreb sa zahtjevima *Direktive 2010/75/EU o industrijskim emisijama* i, na temelju usporedbe stvarnih (izmjerenih) emisija onečišćujućih tvari iz TE-TO Zagreb s propisanim GVE, predložene su mjere za ispunjavanje zahtjeva Direktive.

2. PREGLED UTJECAJA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA NA OKOLIŠ

Energija se još uvijek većinom proizvodi iz fosilnih goriva: ugljena, naftnih derivata i plina. Tijekom procesa njihovog izgaranja stvaraju se krute, tekuće i plinovite otpadne tvari. Proizvodnja električne i/ili toplinske energije, bilo korištenjem fosilnih goriva ili obnovljivih izvora energije, ima značajan utjecaj na okoliš. Glavni problemi onečišćenja okoliša na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini (zagađenja urbanih i industrijskih sredina, kisele kiše i efekt staklenika) vezani su za korištenje fosilnih goriva u termoenergetskim postrojenjima i prometu, pogotovo za ugljen i naftu odnosno naftne derivate, jer se njihovim izgaranjem u atmosferu emitiraju najveće količine onečišćujućih tvari - plinova SO_2 , NO_x , CO_2 i CO , krutih čestica (lebdeći pepeo i čađa), te raznih ostalih anorganskih i organskih štetnih tvari kao što su "teški" metali, radioaktivne tvari i policiklički aromatski ugljikovodici. Krute otpadne tvari odlažu se ili talože u blizini mjesta nastanka, dok se plinovi i najsitnije čestice mogu prenositi zrakom na velike udaljenosti prije nego se istalože, tim veće što su viši dimnjaci kroz koje se ispuštaju (Udovičić, 1989; Sobota, 2012).

Na slici 2-1 prikazani su pojednostavljenom shemom osnovni elementi termoenergetskog postrojenja. Uz prikazane osnovne elemente postrojenje se sastoji od brojnih drugih komponenti, uključujući spremnike goriva, deponije otpada, postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda, pumpne stanice, parkirališta, radionice, skladišta i druge prateće objekte.



Slika 2-1. Osnovni elementi termoenergetskog postrojenja

Osim prethodno spomenutih utjecaja, termoelektrična postrojenja zauzimaju velike zemljišne površine i mijenjaju izgled okoline, uključujući i površine koje zauzimaju pomoćni pogoni i transportna sredstva, a pri njihovom radu stvaraju se znatne količine krutog tehnološkog otpada (šljake i pepela u slučaju termoelektrana na ugljen) te otpadnih voda i mulja. Specifičan izvor onečišćenja okoliša je otpadna toplina iz elektrana koja se oslobađa pri izgaranju fosilnih i nuklearnih goriva i prenosi rashladnim tornjevima direktno u atmosferu ili putem rashladne vode u okolne vodene ekosustave (rijeke, jezera, mora), povisujući im temperaturu.

U sljedećim potpoglavljima detaljnije su opisani glavne onečišćujuće tvari emitirane iz termoelektričnih postrojenja, utjecaj na pojedine sastavnice okoliša i osnovne mjere za smanjenje tih utjecaja.

2.1. Utjecaj na zrak

Postoje prirodni i antropogeni izvori onečišćenja zraka. Pod izvorom onečišćenja smatra se izvor koji emitira onečišćujuće tvari u atmosferu. Prema *Zakonu o zaštiti zraka* (NN br. 130/2011) antropogeni izvori onečišćenja zraka dijele se na dva osnovna tipa:

- nepokretne ili stacionarne,
- pokretne ili mobilne.

Nepokretni ili stacionarni dijele se na točkaste i difuzne izvore onečišćenja. Točkasti izvori ispuštaju onečišćujuće tvari u zrak kroz za to oblikovane ispuste (dimnjake), a kod difuznih se onečišćujuće tvari unose u zrak bez određenog ispusta. Pokretni ili mobilni izvori su prijevozna sredstva koja ispuštaju onečišćujuće tvari u zrak (npr. automobili, avioni, brodovi, rudarski, građevinski i poljoprivredni strojevi, itd.). Prema istom Zakonu svi izvori emisija moraju biti izgrađeni i/ili proizvedeni, opremljeni, korišteni i održavani tako da ne ispuštaju u zrak onečišćujuće tvari iznad graničnih vrijednosti emisija (GVE) koje su propisane posebnom uredbom, odnosno da ne ispuštaju u zrak onečišćujuće tvari u količinama koje mogu ugroziti zdravlje ljudi, kvalitetu življenja i okoliš. U ovom radu je riječ o termoelektričnim postrojenjima na fosilna goriva, koja se razvrstavaju u velike točkaste izvore onečišćenja.

Kod izgaranja fosilnih goriva najveće probleme onečišćenja zraka uzrokuju emisije sumpor-dioksida (SO_2), dušikovih oksida (NO_x), ugljikovog monoksida (CO), ugljikovog

dioksida (CO_2) i krutih čestica kao produkata nepotpunog izgaranja. Iznos i sastav emitiranih onečišćujućih tvari pri izgaranju goriva ovisi najviše o vrsti (kemijskom sastavu) i količini goriva, te načinu izgaranja. Emisija CO_2 ovisi u prvom redu o sadržaju ugljika, a emisija SO_2 o sadržaju sumpora u gorivu, s time da dio sumpora ostaje vezan u pepelu. Ugljeni mogu sadržati i do 5 % sumpora (iznimno rijetko i preko 5 %), nafta od 0,7 % do 2,5 % sumpora (ovisno o podrijetlu nafte), dok su koncentracije sumpora u prirodnom plinu neznatne pa su i emisije SO_2 uslijed izgaranja prirodnog plina neznatne (Udovičić, 1989; Sobota, 2012). Prema tome, prirodni plin se svrstava među ekološki najčistije energente.

U tablici 2-1, u kojoj su prikazani prosječni iznosi emisija pojedinih onečišćujućih tvari pri radu termoelektrana ovisno o vrsti primjenjenog goriva, može se vidjeti kako pri izgaranju prirodnog plina nema emisija SO_2 , a emisije CO_2 , NO_x , pepela i čađe znatno su manje nego pri izgaranju ugljena i loživog ulja. Također se može primjetiti da vrsta goriva najmanje utječe na emisiju NO_x dok su emisije ostalih onečišćujućih tvari najveće pri izgaranju ugljena. Emisija CO najveća je iz TE loženih ugljenom zbog težeg postizanja optimalne smjese gorivo-zrak i time potpunog izgaranja (ugljik pri potpunom izgaranju oksidira u CO_2 , a pri nepotpunom u CO).

Tablica 2-1. Specifične emisije iz TE po jedinici proizvedene električne energije (emisijski faktori) ovisno o vrsti goriva (Udovičić, 1989)

Gorivo	SO_2	CO_2	CO	NO_x	H_2O	Pepeo i čađa
	g/kWh					
Ugljen	10	1200	0,1	2,5	150	2,0
Loživo ulje	7	750	0,01	2,5	250	0,3
Prirodni plin	-	600	0,01	2,0	400	0,05

2.1.1. Sumporov (IV) oksid (SO₂)

Određeni oksidi sumpora štetni su za okoliš, a najznačajniji u tom pogledu je SO₂. SO₂ je bezbojan, nezapaljiv plin, karakterističnog oštrog mirisa, vrlo topljiv u vodi i u malim koncentracijama vrlo reaktivan. Smatra se vrlo otrovnim i štetno djeluje na ljudsko zdravlje pri niskim koncentracijama u zraku; nadražuje sluzokožu i oči već pri 5 ppm, a opasnost po život nastupa pri 0,05 % i pri kratkotrajnom udisanju. U najvećoj količini nastaje potpunim izgaranjem sumpora pri čemu se oslobađa toplina, a oksidacijom SO₂ pri povišenim temperaturama nastaje SO₃. Glavni antropogeni izvori emisija SO₂ u atmosferu su izgaranje fosilnih goriva u proizvodnji električne i toplinske energije (termoelektrane, toplane i industrijske energane na ugljen i loživo ulje) i metalurgija sulfida (Sobota, 2012).

Emisije SO_x u atmosferu, zajedno s emisijama NO_x, uzrokuju "kisele kiše". U kontaktu s vodom (vodenom parom) u atmosferi, SO₃ brzo stvara sumpornu kiselinu. Sumporna kiselina nastaje i reakcijom SO₂ s vodom uz prisustvo metalnih soli kao katalizatora. NO₂ u kontaktu s vodom tvori dušičnu kiselinu. Na taj način stvaraju se kisele kiše tj. oborine snižene pH-vrijednosti (5,5 do 3) koje su jedan od najvažnijih problema onečišćenja čovjekova okoliša. "Kisele kiše" štetno djeluju na:

- vodene ekosustave (uzrokuju njihovu acidifikaciju),
- vegetaciju i tlo (acidifikacija tla, propadanje šuma, usjeva i poljoprivrednih površina),
- materijale i građevine (npr. korozija metala),
- ljudsko zdravlje.

Osnovne mjere za smanjenje emisije SO_x u atmosferu su (Sobota, 2012):

- Korištenje goriva s niskim (< 1 %) ili zanemarivim sadržajem sumpora, npr. prirodnog plina;
- Uklanjanje sumpora iz fosilnih goriva, tj. odsumporavanje goriva prije izgaranja (na primjer, oplemenjivanjem ugljena postupcima flotacije u koloni, gravitacijske koncentracije, elektrostatičke separacije, primjenom teškotekućinskih ciklona, i dr.);
- Odsumporavanje otpadnih plinova tj. uklanjanje SO₂ i drugih spojeva sumpora iz otpadnih plinova pri izgaranju goriva (obično primjenom mokrih kolektora, a rijede suhim postupkom);
- Promjena načina izgaranja goriva (na primjer, prijelaz s konvencionalnog načina izgaranja na izgaranje goriva u fluidiziranom sloju, suspaljivanje tekućeg i plinskog goriva, i dr. promjene/poboljšanja tehnologije kojima se postiže učinkovitije

izgaranje odnosno manja potrošnja goriva i ujedno emisija štetnih plinova);

- Izgradnja visokih dimnjaka čime se postiže bolje raspršivanje dimnih plinova u atmosferu i smanjenje prizemne koncentracije pojedinih onečišćujućih tvari. Međutim, to nije definitivno rješenje jer ne smanjuje emisiju SO_2 i drugih onečišćujućih tvari nego samo omogućuje njihovo efikasnije raspršivanje i udaljavanje od izvora, što to prije ili kasnije rezultira suhim ili mokrim taloženjem na nekom udaljenom području;
- Smanjenje korištenja fosilnih goriva i poticanje korištenja alternativnih izvora energije (obnovljivi izvori energije ili nuklearna energija uz riješene probleme sigurnosti i odlaganja radioaktivnog otpada).

2.1.2. Dušikovi oksidi (NO_x)

U pogledu onečišćenja atmosferskog zraka, od dušikovih oksida najznačajniji su NO i NO_2 . Svi dušikovi oksidi su vrlo otrovni, osim didušikovog oksida (N_2O) koji je značajan staklenički plin. NO se lako spaja s kisikom i u atmosferskom zraku brzo oksidira u NO_2 . NO_2 štetno djeluje na biljke (fitotoksičan je), a djelovanja na ljude i životinje uglavnom se odnose na respiratorni trakt. Glavni antropogeni izvori emisija NO_x u atmosferu su izgaranje fosilnih goriva u termoenergetskim postrojenjima i motornim vozilima (Sobota, 2012).

Kao što je već spomenuto u prethodnom potpoglavlju, emisije NO_x u atmosferu, zajedno s emisijama SO_2 , uzrokuju stvaranje "kiselih kiša". Iako emisije NO_x u znatno manjoj mjeri pridonose problemu kiselih oborina, učinkovito rješenje tog problema uključuje i mjere za njihovo smanjenje.

Primarne mjere za smanjenje emisije NO_x svode se na reguliranje procesa izgaranja i/ili promjenu načina izgaranja goriva (npr. primjena plamenika s niskom emisijom NO_x , izgaranje ugljena u fluidiziranom sloju, i dr.). Što se tiče sekundarnih mjera, dušikovi oksidi se danas sve više odstranjuju iz dimnih plinova termoenergetskih postrojenja postupcima selektivne nekatalitičke (*SNCR*) i selektivne katalitičke redukcije (*SCR*) koja je detaljnije opisana u 6. poglavlju rada. Osim selektivne katalitičke i nekatalitičke redukcije postoje drugi procesi za uklanjanje dušikovih oksida iz otpadnih plinova. Dva najvažnija su NOXSO i SNOX postupci čišćenja dimnih plinova, kojima se ujedno uklanjaju NO_x i SO_2 iz dimnih plinova (Salopek et al., 1994).

2.1.3. Ugljikov dioksid (CO₂)

Ugljikov dioksid ili ugljikov (IV) oksid je plin bez boje i mirisa pri nižim koncentracijama dok pri višim koncentracijama ima oštar kiselkast miris, vrlo je topljiv u vodi, nije otrovan i pri nižim koncentracijama u zraku nema direktni utjecaj na ljudsko zdravlje. Među glavne onečišćujuće tvari ubraja se jer njegove povećane koncentracije u atmosferi u znatnoj mjeri uzrokuju tzv. efekt staklenika, što je posljedica njegovog svojstva da apsorbira infracrveno zračenje. Stalnim povećanjem antropogenih emisija CO₂, prije svega uslijed korištenja fosilnih goriva, čovjek je narušio ravnotežu između nastale količine CO₂ koja se u atmosferu emitira iz prirodnih izvora (vulkani, požari, respiracija biljaka i životinja, raspadanje organske tvari) i količine CO₂ koja se iz atmosfere uklanja putem oborina i fotosinteze od strane biljaka. Povećanjem koncentracije CO₂ i drugih stakleničkih plinova (N₂O, CH₄, O₃, freoni i vodena para) u atmosferi, apsorbira se veći dio Sunčevog infracrvenog zračenja koji se s površine Zemlje vraća u atmosferu te emitira natrag prema površini Zemlje, a manji dio zračenja vraća u svemir. Na taj način povećava se temperatura donjeg sloja atmosfere i površine Zemlje, a time i isparavanje vode (Sobota, 2012).

Jedno od najlogičnijih i najisplativijih rješenja koja se nameću u borbi protiv povećane emisije CO₂ jest racionalno korištenje energije. Mjere smanjenja emisija CO₂ u atmosferu, osim smanjenja korištenja fosilnih goriva uz uvođenje i poticanje korištenja alternativnih izvora energije poput nuklearne energije i/ili obnovljivih izvora energije (energije Sunca, vode, vjetrova, geotermalne energije), uključuju (Sobota, 2012):

- povećanje učinkovitosti tehnologije izgaranja fosilnih goriva (time se smanjuje potrošnja goriva a ujedno i emisija CO₂),
- smanjenje krčenja šuma i intenzivnije pošumljavanje kako bi šume "upijale" višak proizvedenog CO₂,
- poboljšanje regulacije prometa i poticanje oblika prijevoza koji rezultiraju manjim emisijama CO₂,
- izgradnju sustava hvatanja i geološkog skladištenja CO₂ iz termoenergetskih pogona; Koncept se sastoji u izgradnji sustava hvatanja CO₂ (prije ili poslije izgaranja goriva), njegovog transporta i trajnog skladištenja u odgovarajuće podzemne geološke formacije. Hvatanje CO₂ prije izgaranja goriva obavlja se uklanjanjem C iz goriva (npr. *IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle)* tehnologija – kombinirani proces s integriranim rasplinjavanjem ugljena), a

hvatanje poslije izgaranja goriva izdvajanjem CO₂ iz dimnih plinova izgaranja.

2.1.4. Ugljikov (II) oksid (CO)

Ugljikov monoksid ili ugljikov (II) oksid je plin bez boje i mirisa, slabotopljiv u vodi, zapaljiv, izgara svijetloplavim plamenom pri čemu nastaje CO₂. Nastaje nepotpunim izgaranjem tvari koje sadrže ugljik, pri čemu ugljik oksidira u CO. CO je vrlo otrovan jer pri udisanju reagira s hemoglobinom (Hb) u krvi, na taj način da lako istiskuje i nadomješta kisik vezan za hemoglobin stvarajući karboksihemoglobin, pri čemu hemoglobin gubi sposobnost prenošenja kisika. Glavni antropogeni izvori emisija CO u atmosferu su procesi nepotpunog izgaranja fosilnih goriva, drva i otpada, te požari i eksplozije (Sobota, 2012).

Prirodni mehanizmi uklanjanja CO iz atmosfere do sada još uvijek nisu potpuno razjašnjeni. Pretpostavljaju se slijedeći mogući mehanizmi uklanjanja: reakcije s drugim plinovima, apsorpcijski i biološki procesi. Tehnologija smanjivanja emisija CO sastoji se u reguliranju procesa izgaranja s ciljem kompletnog izgaranja goriva (Sobota, 2012).

2.1.5. Lebdeće čestice

Lebdeće čestice podrazumijevaju svaku dispergiranu krutu ili tekuću tvar, dovoljno male veličine da može lebdjeti u zraku. Promjer lebdeće čestice može iznositi od 1 nm do 1 mm (Raković, 1981). Lebdeće čestice se javljaju u obliku prašine, lebdećeg pepela, čađe, itd. a posljedica su emisija iz raznovrsnih prirodnih i antropogenih izvora.

Prekomjerne emisije krutih čestica u atmosferski zrak mogu prouzročiti brojne probleme (Sobota, 2012):

- zdravstvene (iritacija kože, očiju i grla, bolesti dišnih puteva, plućne bolesti),
- štetne utjecaje na floru i faunu,
- ubrzano trošenje i oštećenja strojeva, uređaja i opreme,
- opasnost od eksplozije i požara u slučaju zapaljive prašine (npr. ugljene),
- neugodne mirise,
- smanjenje vidljivosti te nepoželjan estetski učinak, smanjenu sigurnost pri radu i transportu kao posljedicu smanjene vidljivosti.

Štetnost lebdećih čestica za ljudski organizam ovisi o njihovoj veličini, vrsti, koncentraciji

u zraku i vremenu izlaganja. S obzirom na veličinu, najopasnijima se smatraju čestice veličine od 0,2 μm do 5 μm (tzv. respirabilne čestice) koje udisanjem dospijevaju do nižih dišnih puteva.

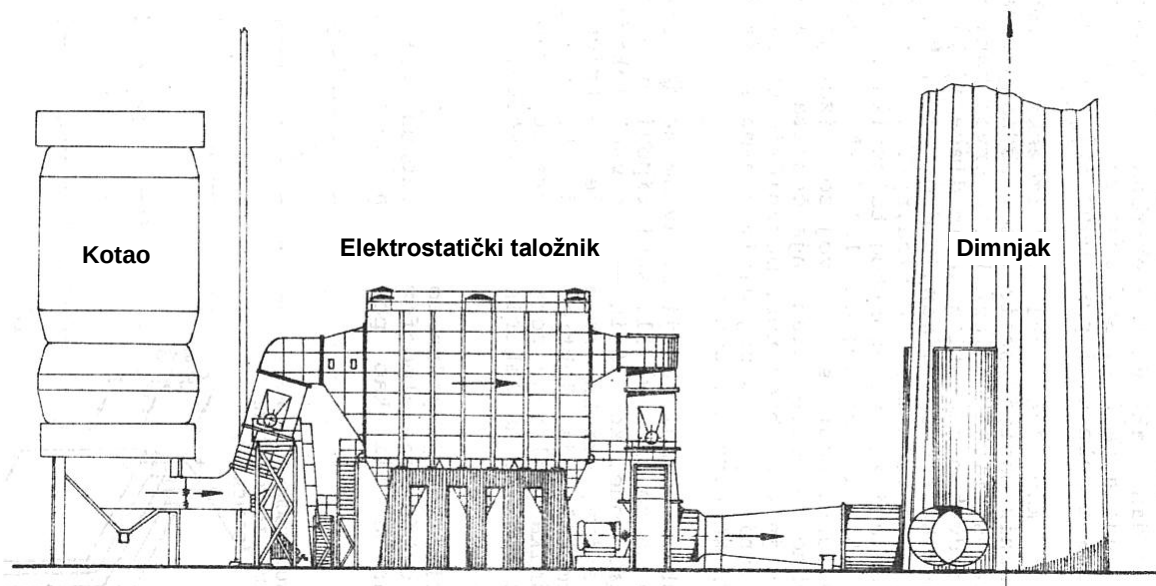
U termoenergetskim postrojenjima na kruta goriva (ugljen, biomasa) kao produkt nepotpunog izgaranja goriva nastaju lebdeći pepeo i čađa. Izgaranje tekućih goriva pri lošim uvjetima izgaranja izvor je emisija čađe, dok izgaranje prirodnog plina nije značajan izvor emisije lebdećih čestica. Za lebdeće čestice nastale pri izgaranju fosilnih goriva vežu se razni štetni kemijski elementi i spojevi, kao što su "teški" metali (Pb, Cd, Hg, As, Cu i dr.), SO_2 i policiklički aromatski ugljikovodici. U sklopu praćenja onečišćenja atmosferskog zraka u urbanim sredinama, gotovo redovito se prate i emisijske koncentracije metala, bilo u lebdećim česticama ili u taložnoj tvari.

Za uklanjanje onečišćujućih tvari u obliku lebdećih čestica iz zraka ili otpadnih plinova u industrijskim procesima, procesima proizvodnje električne i toplinske energije, te termičke obrade otpada, primjenjuju se različiti tipovi uređaja za pročišćavanje (Sobota, 2012):

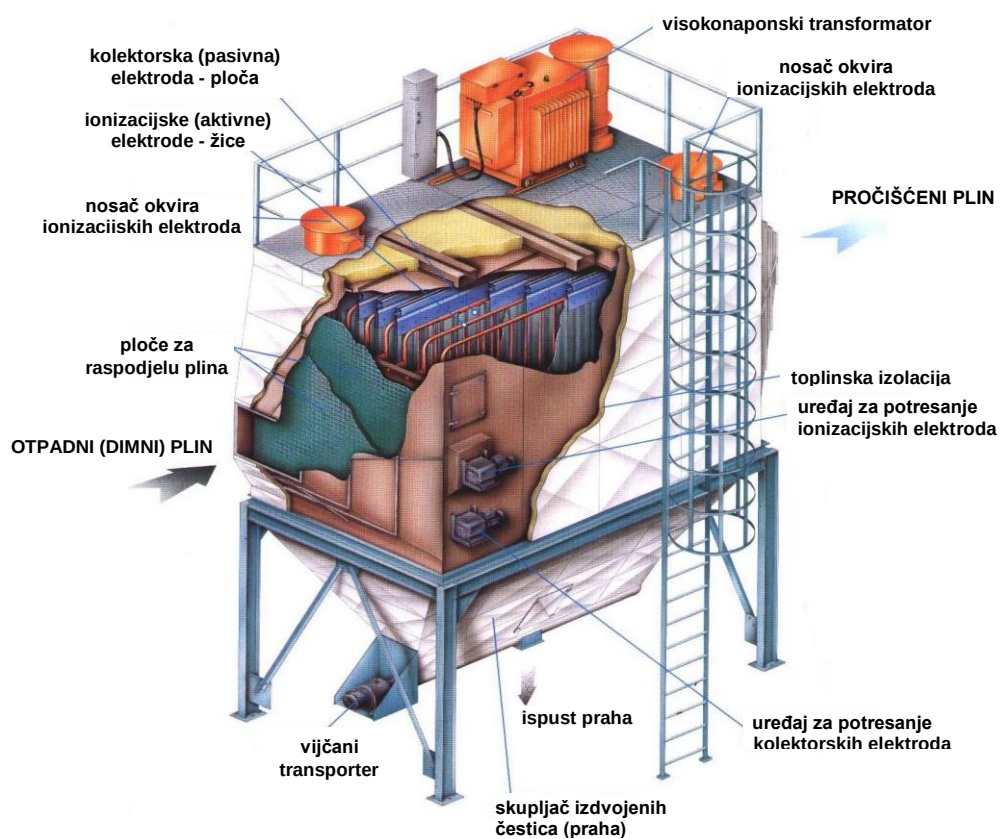
- gravitacijski taložnici (za uklanjanje čestica $> 50 \mu\text{m}$),
- inercijski taložnici (za uklanjanje čestica $> 30 \mu\text{m}$),
- aerocikloni (centrifugalni taložnici; za uklanjanje čestica $> 5 \mu\text{m}$),
- elektrostatički taložnici, tkaninski filtri, te suhi i mokri kolektori (za uklanjanje najsitnijih čestica, tj. $< 10 \mu\text{m}$).

Lebdeće čestice se iz dimnih plinova termoenergetskih postrojenja vrlo učinkovito izdvajaju (učinkovitost veća od 99 %), obično primjenom elektrostatičkih taložnika (slika 2-2) ili vraćastih filtara (slika 2-3).

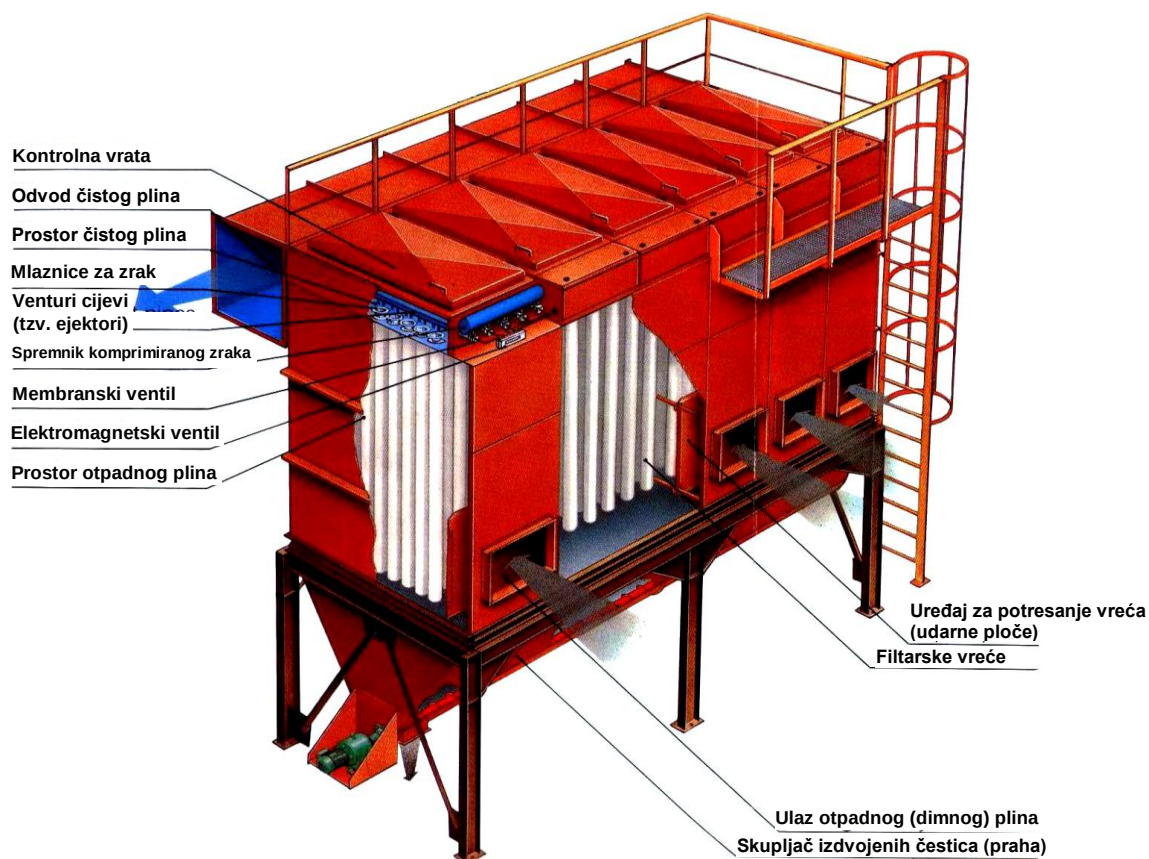
Izbor optimalnog uređaja za pročišćavanje otpadnih plinova ovisi o nizu faktora: količini (protoku), temperaturi i vlažnosti pročišćavanog otpadnog plina, koncentraciji, veličini, gustoći i obliku čestica, kemijskim svojstvima čestica i plinova, traženoj učinkovitosti čišćenja, padu pritiska, dimenzijama, troškovima nabave, pogona i održavanja uređaja, i dr. U svrhu postizanja željenog učinka čišćenja, sustav za pročišćavanje često se sastoji od dva ili više uređaja koji rade suhim, polusuhim ili mokrim postupkom ili se koristi kombinacija suhog i mokrog postupka (Dullien, 1989; Salopek i Bedeković, 1996).



Slika 2-2. Uređaj za pročišćavanje dimnih plinova iz ložišta termoenergetskog postrojenja



Slika 2-3. Pločasti elektrostatički taložnik (Sobota, 2012)



Slika 2-4. Filtarski uređaj s vrećama (vrećasti filter) (Sobota, 2012)

2.2. Utjecaj na vode i tlo

Pri radu termoelektričnih postrojenja nastaju i značajne količine otpadnih voda, mulja i krutog otpada, koji predstavljaju važan izvor onečišćenja vodenih ekosustava i tla.

Otpadne vode su sve potencijalno onečišćene tehnološke, oborinske, sanitarne i druge vode (*Zakon o vodama*, NN br. 153/2009). Oborinske onečišćene vode su otpadne vode koje nastaju ispiranjem površina objekata, odlagališta, prometnica, parkirališta ili drugih manipulativnih površina oborinama. Oborinske vode postupno otapaju onečišćujuće tvari na navedenim površinama te otječu u sustave odvodnje ili izravno u okolno tlo i površinske vode. Na lokaciji energane neizbježno je povremeno stvaranje manjih količina zauljenih otpadnih voda, npr. uslijed rukovanja tekućim gorivima. Prikupljene zauljene vode se prije ispuštanja u kanalizaciju ili površinske vode oslobađaju od ulja u odgovarajućem separatoru ulja.

Tehnološke otpadne vode nastaju upotrebom vode u pogonu te održavanjem postrojenja. U velikim termoenergetskim postrojenjima to su otpadne vode od kemijske pripreme vode (omekšavanje i demineralizacija), pranja kotlova i predgrijača zraka, iz mokrih postupaka odsumporavanja dimnih plinova, kemijskog čišćenja i pranja, itd. Upotrebom vode u tehnološkom procesu njena se fizikalna, kemijska i biološka svojstva mijenjaju. Ovisno o kvaliteti ulazne tehnološke vode, primjenjenoj vrsti goriva i procesu, količina i sastav otpadne vode mogu vrlo varirati, te je u njoj moguće prisustvo raznih onečišćujućih tvari kao što su: teški metali, kiseline, lužine, masti, mineralna ulja, raspršene (suspendirane) tvari, fluoridi, fenoli, aromatski ugljikovodici, dioksini, furani, i dr. Ispuštanje takvih otpadnih voda u okoliš bez prethodne odgovarajuće obrade, može imati vrlo negativne utjecaje na okoliš, kao što su zakiseljavanje ili povećanje lužnatosti prirodnih voda i/ili tla, nekontrolirani rast vodenih biljaka uslijed povećanja koncentracije hranjivih tvari (spojeva dušika i fosfora) te smanjenje koncentracije otopljenog kisika u vodi.

Posebna vrsta tehnoloških otpadnih voda su rashladne vode tj. vode koje se koriste kao rashladni medij za odvođenje topline iz procesa ili uređaja. U termoenergetskim postrojenjima upotrebljavaju se velike količine rashladne vode, npr. za hlađenje kondenzatora turbina, hladnjaka ulja i sl. Ispuštene u vodeni ekosustav (vodotok, jezero ili more) bez prethodnog hlađenja, rashladne vode mogu prouzročiti toplinsko onečišćenje tj. znatno povišenje njegove prirodne temperature, a time i niz negativnih učinaka na vodeni svijet i mogućnost daljnje upotrebe vode (smanjenje koncentracije otopljenog kisika uslijed ubrzavanja biokemijskih procesa i dr. faktora, povećana osjetljivost vodenih organizama na bolesti i trovanja, smanjena sposobnost njihovog razmnožavanja i postupno nestajanje) (Udovičić, 1989; Gates, 1985).

Nastale otpadne vode je potrebno prikupiti pomoću drenažnog sustava i obraditi u odgovarajućem postrojenju ili uređaju za pročišćavanje otpadnih voda, prije njihovog ispuštanja u prirodni okoliš (npr. obližnji vodotok ili jezero) ili vraćanja u tehnološki proces. Također je potrebno zbrinuti mulj koji nastaje obradom otpadnih voda, na način da ne predstavlja opasnost za ljude i okoliš.

Temeljni je cilj čišćenja otpadnih voda iz njih ukloniti nepoželjne sastojke prije konačnog ispuštanja u okoliš ili ponovne uporabe. Razina čistoće otpadne vode tj. granične koncentracije pojedinih onečišćujućih tvari u vodi i vrijednosti drugih pokazatelja onečišćenja koje je čišćenjem potrebno postići definirani su posebnim propisom (*Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda*).

Postupci pročišćavanja otpadnih voda mogu se podijeliti na fizikalne, kemijske i biološke (Tušar, 2009):

- Fizikalni postupci pročišćavanja otpadnih voda podrazumijevaju metode za uklanjanje krutih tvari (uključujući krupne raspršene i plutajuće tvari) iz otpadnih voda, npr.: rešetanje, miješanje, taloženje (sedimentacija), flotacija, filtriranje i adsorpcija.
- Kemijski postupci pročišćavanja su: neutralizacija (povišenje snižene pH-vrijednosti vode), koagulacija, flokulacija (aglomeracija čestica u krupnije čestice kako bi se brže/lakše odvojile od tekućine), oksidacija i redukcija, ionska izmjena, membranski procesi, itd.
- Biološki postupci obuhvaćaju razgradnju organskih otpadnih tvari pomoću mikroorganizama tako što ih prevode u biomasu ili plinove, npr: pročišćavanje u bio-filtrima, bio-diskovima, lagunama, uređajima za anaerobnu ili aerobnu obradu otpadnih voda, itd.

Izbor postupaka pročišćavanja otpadne vode ovisi u prvom redu o njenoj količini i sastavu, te o zahtjevanoj čistoći vode na mjestu ispuštanja.

Prema *Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda* (NN br. 80/2013, 43/2014, 27/2015), prilikom ispuštanja tehnoloških otpadnih voda iz objekata i postrojenja za proizvodnju toplinske i električne energije potrebno je provoditi slijedeće mjere zaštite voda:

- sve tehnološke otpadne vode (od kemijske pripreme vode, mokrih postupaka odsumporavanja, kemijskog čišćenja i pranja, kotlovske vode i dr.) potrebno je pročistiti jednim od raspoloživih fizikalno-kemijskih postupaka pročišćavanja (sedimentacija, neutralizacija, flokulacija, filtriranje, ionska izmjena i dr.),
- najboljim raspoloživim tehnologijama (NRT) potrebno je rashladne otpadne vode (s kontinuiranim i diskontinuiranim ispuštanjem) dovesti u stanje koje osigurava da se ne prekorače propisane granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari i/ili topline prijemnika,
- sve opasne i štetne tvari te opasne otpadne tvari, koje se skladište na lokaciji, potrebno je skladištiti na izoliranim vodonepropusnim površinama (po mogućnosti natkrivenim) sa zasebnim sustavom odvodnje i pročišćavanja onečišćenih oborinskih voda,
- sve spremnike tekućih goriva, koji nisu osigurani prihvatnim tankvanama s pripadajućim odvodnim sustavom i uređajima za pročišćavanje otpadnih voda, potrebno je opremiti sustavom automatske dojava procurivanja,

- način zahvaćanja voda izvesti tako da se spriječi povlačenje vodenih organizama,
- ispušt rashladnih voda kod protočnog hlađenja konstruirati na način da je isti postavljen jedan metar ispod najniže izmjerene razine vode vodotoka,
- kod odabira rashladne opreme primjenjivati materijal otporniji na koroziju,
- kod obrade rashladne vode primijeniti alternativne, a ne kemijske načine obrade rashladnih voda,
- koristiti aditive za rashladnu vodu koji imaju manji utjecaj na okoliš te pratiti primjenu (doziranje) aditiva za rashladnu vodu,
- ostale posebne mjere sukladne najboljim raspoloživim tehnologijama.

Istim Pravilnikom propisane su granične vrijednosti emisija (GVE) onečišćujućih tvari u tehnološkim otpadnim vodama prije njihovog ispuštanja u površinske vode, sustav javne odvodnje, septičke ili sabirne jame, kriteriji i uvjeti prikupljanja, pročišćavanja i ispuštanja otpadnih voda, metodologija uzorkovanja i ispitivanja sastava otpadnih voda, učestalost uzorkovanja i ispitivanja, i dr. Posebno su propisane GVE onečišćujućih tvari u otpadnim vodama iz termoelektričnih postrojenja u kojima se koriste konvencionalna goriva (ugljen, biomasa, tekuća i plinska goriva), te GVE pojedinih onečišćujućih tvari koje se u okoliš unose putem procjednih voda iz odlagališta neopasnog otpada.

U postupcima pročišćavanja otpadnih voda kao nusprodukt nastaje mulj. Muljevi su po svojem sastavu i količini, obradi i konačnom odlaganju znatan tehnološki i ekonomski problem svakoga pogona gdje nastaju. Temeljni su ciljevi obrade otpadnog mulja (Vouk et al., 2011):

- smanjenje volumena u svakoj fazi obrade radi smanjenja troškova daljnje obrade te prijevoza obrađenog mulja do lokacije konačnog odlaganja,
- nadziranje otpadne tvari kako bi se pri transportu i odlaganju spriječili neželjeni utjecaji na okoliš.

Suvremeni koncept zbrinjavanja otpada podrazumijeva smanjenje nastajanja i odlaganja otpada na najmanju moguću mjeru. Najpovoljniji način zbrinjavanja nastalog mulja i krutog otpada, je da se nakon odgovarajućeg postupka obrade, iskoristi kao koristan proizvod (sirovina) za određenu namjenu ili da se iz njega izdvoje korisne komponente. Ovisno o značajkama mulja odnosno otpada, moguća je njegova primjena u različite svrhe u (Sobota, 2012):

- industriji (npr. otpadni gips koji nastaje kao nusprodukt pri mokrom postupku odsumporavanja dimnih plinova može se iskoristiti kao sekundarna sirovina za

proizvodnju cementa umjesto prirodnog gipsa ili u proizvodnji gips-kartonskih ploča, a pepeo i šljaka koji nastaju u TE pri izgaranju ugljena također kao sekundarna sirovina u proizvodnji cementa),

- građevinarstvu i cestogradnji (npr. šljaka s rešetki ložišta TE na ugljen),
- izradi završnog pokrova odlagališta i rekultivacije kamenoloma,
- poljoprivredi, i dr.

Na taj način termoeenergetski pogon praktički može raditi bez odlaganja ili s minimalnim odlaganjem tehnološkog otpada.

Odlaganje otpada na uređena (propisno projektirana, izgrađena i održavana) odlagališta je posljednja opcija u hijerarhiji postupaka suvremenog koncepta zbrinjavanja otpada. Izbor načina i mjesta konačnog odlaganja otpadnog mulja je složen i ovisi o više činitelja (Vouk et al., 2011; Sobota, 2012):

- specifičnim uvjetima na lokaciji odlaganja (klimatske, topografske, hidrogeološke i hidrološke značajke lokacije, fizikalno-mehaničke značajke temeljnog tla, seizmička aktivnost područja),
- svojstvima i količini mulja koji se odlaže,
- zakonskim propisima,
- mjesnim prilikama,
- troškovima izgradnje i održavanja odlagališta.

Ne postoji jedinstven način konačnog odlaganja mulja, a u odnosu na navedene činitelje potrebno je za posebno svaki slučaj odabrati način na koji će se mulj konačno odložiti. U svakom slučaju, odlagalište je potrebno projektirati, izgraditi i održavati tako da se otpad dugoročno izolira od okoliša odnosno da se na minimum svedu štetni utjecaji odlagališta, kao što su: emisije prašine i plinova (s otvorenih odlagališta), otjecanja oborinskih voda s površine odlagališta i procjeđivanja filtrata iz odlagališta u okolno tlo i vode, mogućnost prodora otpadnog mulja uslijed oštećenja pregrade odlagališta zbog nestabilnosti temeljnog tla i/ili kosina, erozije, itd.

U termoeenergetskim uređajima loženim tekućim i pogotovo plinskim gorivom pri izgaranju zaostaje mala količina neizgorivog ostatka u odnosu na izgaranje krutog goriva (ugljenja) pri kojem se stvaraju velike količine tehnološkog otpada (pepela i šljake). Općenito, rad termoelektrane na tekuća goriva (loživa ulja) ima manji utjecaj na okoliš nego rad termoelektrane na ugljen iste veličine, dok termoelektrane na plinska goriva imaju relativno najmanji utjecaj na okoliš (Gates, 1985).

2.3. Buka

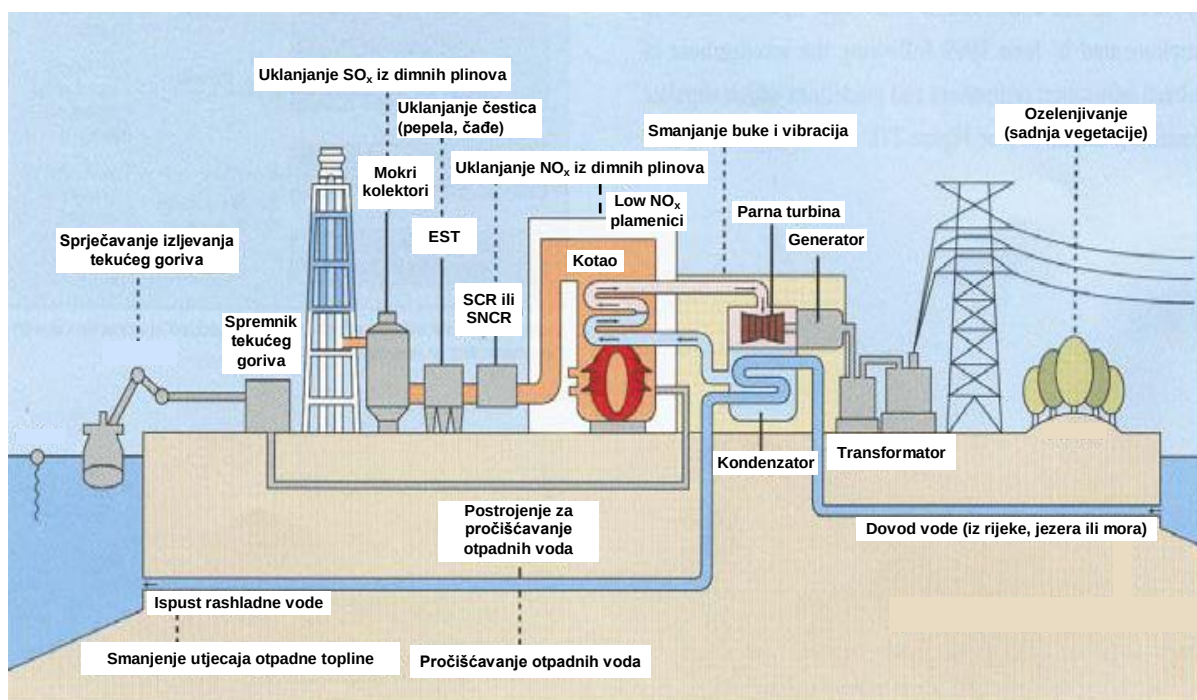
Buka ima značajan utjecaj na okoliš i kvalitetu života, a posebno je potrebno uzeti u obzir utjecaj buke na zdravlje. Industrijska buka i buka uzrokovana radom energetskih postrojenja, transportnim sustavima unutar i između naselja, može imati vrlo negativne utjecaje kako na ljudsko zdravlje, kao i na ravnotežu prirodnih ekosustava jer uslijed zagađenja bukom mnoge životinjske vrste napuštaju staništa ili pokazuju abnormalno ponašanje (Rakovac, 2011).

Znanstveno je dokazano da produženi boravak u zoni buke iznad 85 dB (normalni razgovor kreće se u rasponu od 60 dB do 65 dB), može imati ozbiljne posljedice po zdravlje čovjeka. Među češćim su visoki krvni tlak, konstantni umor, glavobolje, teškoće s spavanjem, povišena agresija, problemi s govorom, te naravno oštećenje sluha (Rakovac, 2011).

Prema *Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave* (NN 145/2004), najveća dopuštena imisijska razina buke u otvorenom boravišnom prostoru (u kojem ljudi borave trajno ili privremeno), ovisno o namjeni prostora, smije iznositi 50 dB do 65 dB danju odnosno 40 dB do 50 dB noću, dok u otvorenom radnom prostoru (industrija, skladišta, servisi) iznosi 80 dB. Najviše dopuštene razine buke za pojedinu opremu, metode mjerenja razine buke i mjere zaštite od buke na otvorenom prostoru određene su posebnim *Pravilnikom o mjerama zaštite od buke izvora na otvorenom prostoru* (NN 156/08).

U slučaju velikih termoenergetskih postrojenja glavni izvori buke su: transport i rukovanje gorivima, otpadom i nusproizvodima, rad velikih pumpi i ventilatora (npr. u rashladnom sustavu), rotacijskih strojeva (npr. turbina), transformatora, kompresora, elektromotora, itd. Utjecaj buke ograničen je na relativno usko područje oko termoenergetskog pogona. Zaštita od buke ostvaruje se sprječavanjem nastajanja buke, npr.: odgovarajućom zvučnom izolacijom, raznim prigušivačima, ograđivanjem uređaja i postrojenja, odabirom opreme s nižom razinom zvučne snage, te monitoringom odnosno kontrolom izvora buke (European Commission, 2006).

Na slici 2-4. shematski su prikazani osnovni segmenti cjelovitog sustava zaštite okoliša u slučaju termoelektrane ložene tekućim gorivom.



EST – elektrostatički taložnik

SCR ili SNCR – sustav za uklanjanje NO_x iz dimnih plinova (*Selective Catalytic Reduction/ Selective Non Catalytic Reduction*)

Low NO_x plamenici – plamenici s niskom emisijom NO_x (i dr. primarne mjere za smanjenje emisija SO_x i NO_x)

Slika 2-5. Sustav zaštite okoliša termoelektrane ložene tekućim gorivom: glavne mjere za smanjenje štetnih utjecaja na okoliš (Goić, 2015)

3. DIREKTIVA EU O INDUSTRIJSKIM EMISIJAMA I OKOLIŠNA DOZVOLA

Donošenjem i provođenjem zakonskih propisa iz područja zaštite okoliša osigurava se kontrola onečišćenja zraka, vode i tla, a time i zaštita okoliša i ljudskog zdravlja od štetnih utjecaja. Na temelju osnovnih zakona (*Zakon o zaštiti okoliša*, *Zakon o zaštiti prirode*, *Zakon o zaštiti zraka*, i dr.) u Hrvatskoj je donešen niz provedbenih propisa tj. uredbi i pravilnika kojima se regulira zaštita okoliša i koji su usklađeni sa zakonskom regulativom EU. Njima se između ostalog propisuju (Sobota, 2014):

- maksimalne dopuštene koncentracije onečišćujućih tvari u zraku, vodu i tlu, kao i granične vrijednosti emisija (GVE) onečišćujućih tvari iz određenih izvora onečišćenja;
- način praćenja kvalitete zraka i emisija onečišćujućih tvari u zrak; Prema *Pravilniku o praćenju kvalitete zraka* (NN 3/2013) i *Pravilniku o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora* (NN 129/2012) potrebno je provoditi kontinuirana ili povremena mjerenja koncentracija onečišćujućih tvari u zraku i emisija onečišćujućih tvari u zrak. Praćenje (monitoring) se provodi radi prevencije kako bi se na vrijeme mogle poduzeti odgovarajuće mjere za sprječavanje (smanjenje) onečišćenja zraka. Rezultati mjerenja, provedenih na reprezentativnim mjernim mjestima, propisanim metodama i u propisanom vremenu trajanja, uspoređuju se s propisanim graničnim vrijednostima.
- način informiranja i edukacije javnosti o stanju okoliša i njeno sudjelovanje u zaštiti okoliša; Prema *Zakonu o zaštiti okoliša* javnost ima pravo na pravodobno informiranje o onečišćavanju i stanju okoliša te o poduzetim mjerama zaštite, a također ima pravo sudjelovati u postupcima izrade i donošenja strategija, planova, programa i propisa u vezi sa zaštitom okoliša, te sudjelovati u postupcima koji se vode na zahtjev nositelja zahvata, npr. u procjeni utjecaja zahvata na okoliš. Uzimanje u obzir mišljenja javnosti pomaže osiguravanju transparentnosti i nepristranosti procesa donošenja odluka, te postizanju boljih rezultata zaštite okoliša.

Ulaskom Republike Hrvatske u Europsku uniju hrvatski propisi zaštite okoliša snažno se razvijaju i mijenjaju radi usklađivanja s propisima EU. Države članice obavezne su provesti direktive EU u potpunosti i na najefikasniji način. Jedna od njih je Direktiva 2010/75/EU o industrijskim emisijama, koja je stupila na snagu 6. siječnja 2011. godine i

morala je biti integrirana u nacionalno zakonodavstvo zemalja članica Europske unije do 7. siječnja 2013. godine (Babačić i Begović, 2013). Direktiva 2010/75/EU je implementirana u sljedeće hrvatske propise:

- *Zakon o zaštiti okoliša* (NN br. 80/2013, 78/2015)
- *Uredbu o okolišnoj dozvoli* (NN br. 8/2014)
- *Uredbu o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora* (NN 117/12, 90/2014)

U Direktivu 2010/75/EU o industrijskim emisijama (*IED – The Industrial Emission Directive*) integrirano je sedam direktiva, a za velika termoeenergetska postrojenja poput TE-TO Zagreb relevantne su: Direktiva 2008/1/EZ o cjelovitom sprječavanju i nadzoru onečišćenja (IPPC direktiva) i Direktiva 2008/80/EZ o ograničenjima nekih emisija štetnih tvari u zrak iz velikih termoeenergetskih uređaja (LCP direktiva). *IED* se ujedno naziva i novom IPPC direktivom, jer se smanjenje štetnog utjecaja na okoliš i nadalje postiže okolišnim dozvolama zasnovanim na najboljim raspoloživim tehnologijama ali i novim, sada nižim, sektorskim graničnim vrijednostima emisija (Babačić i Begović, 2013).

Njena osnovna svrha je određivanje preventivnih mjera s ciljem sprječavanja ili smanjenja emisija onečišćujućih tvari ili energije u okoliš, uključujući i stvaranje i/ili odlaganje otpada, koji su posljedica djelatnosti iz sektora energetike, industrije i gospodarenja otpadom, kako bi se postigla visoka razina cjelovite zaštite okoliša. Pod energijom se podrazumijeva: buka, vibracija, toplina i svjetlost (Sobota, 2014).

Osim navedenog *IED* ima za cilj: unaprijediti jasnoću glede ishoda emisija okolišnih dozvola, praćenja emisija i izvješćivanja, uskladiti granične vrijednosti emisija u zrak za velike termoeenergetske uređaje i postrojenja s vrijednostima emisija dostižnih primjenom NRT (okolišne dozvole moraju biti u skladu s NRT), uvođenje minimalnih standarda za inspekcije, provođenje inspekcije na osnovu procjene rizika i izvještavanje o usklađenosti postrojenja (Babačić i Begović, 2013).

Direktiva propisuje opće uvjete zaštite okoliša koje je potrebno ispuniti kako bi postrojenje, koje obavlja neku od djelatnosti određenih Direktivom, moglo dobiti dozvolu za rad (Sobota, 2014.):

- primjena odgovarajućih preventivnih mjera za sprječavanje onečišćenja tj. NRT-a,
- sprječavanje bilo kakvog onečišćenja većih razmjera,
- izbjegavanje nastajanja otpada ili, kad se to ne može ostvariti, obrada i/ili odlaganje

otpada na način koji najmanje onečišćuje okoliš,

- učinkovito (racionalno) korištenje resursa (sirovina, energije i vode),
- poduzimanje mjera propisanih posebnim propisima, kako bi se spriječile nesreće i ograničile njihove posljedice,
- poduzimanje potrebnih mjera nakon konačnog prestanka djelatnosti, kako bi se izbjegao svaki rizik od onečišćenja i kako bi se lokacija vratila u njeno prvobitno stanje, ili ako to nije moguće, u zadovoljavajuće stanje uz izbjegnuto rizik onečišćenja.

Direktiva također određuje granične vrijednosti emisija za pojedine onečišćujuće tvari, ovisno o vrsti djelatnosti (Prilozi: V do VIII direktive), posebne tehničke odredbe za uređaje za loženje (GVE, praćenje emisija), te općenite smjernice vezane za praćenje emisija, inspekcijski nadzor, mjere zaštite zraka, vode i tla, te zbrinjavanja otpada (Sobota, 2014).

3.1. Najbolje raspoložive tehnologije (NRT)

Najbolje raspoložive tehnologije (eng. *Best Available Techniques - BAT*) odnose se na najučinkovitije tehnologije, djelatnosti, procese i proizvodne postupke koji su razvijeni i testirani u pogonskim uvjetima, te koji su ekonomski dostupni organizaciji, a u praktičnoj primjeni osiguravaju djelatnost bez štetnih emisija i općenito štetnih utjecaja na okoliš, ili ako to nije moguće, s minimalnim utjecajem na okoliš. NRT podrazumijeva koncept stalnog poboljšavanja tehnologije i time sve manjeg učinka na okoliš (Sobota, 2014).

Za izbor NRT-a postoji niz sektorskih dokumenata za različita područja energetike, industrije i gospodarenja otpadom, poznatih pod nazivom referentni dokumenti o NRT (RDNRT, engl. BREF), koje objavljuje Europska unija. Izbor ili provjera usklađenosti postrojenja s NRT-om u postupku ishođenja okolišne dozvole provodi se prema ovim dokumentima.

Pri određivanju najboljih raspoloživih tehnologija, vodeći računa o troškovima i koristima vezanima uz pojedine mjere te vodeći računa o načelima predostrožnosti i sprječavanja, treba uzeti u obzir sljedeće kriterije (Prilog III *Direktive 2010/75/EU* i *Uredbe o okolišnoj dozvoli*, NN br. 8/2014):

1. korištenje tehnologija kod kojih nastaju male količine otpada,
2. korištenje manje opasnih tvari,

3. promicanje uporabe i recikliranja tvari koje nastaju i koje se koriste u procesu, i tamo gdje je to primjereno otpada,
4. usporedivi postupci, uređaji ili radne metode koje su uspješno iskušane na industrijskoj razini,
5. tehnološki napredak i promjene u znanstvenim spoznajama i shvaćanjima,
6. vrsta, učinci i opseg predmetnih emisija,
7. rokovi upuštanja u pogon novih ili već postojećih postrojenja,
8. vrijeme koje je potrebno za uvođenje najboljih raspoloživih tehnologija,
9. potrošnja i svojstva sirovina (uključujući vodu) koje se koriste u postupku i energetska učinkovitost,
10. potreba da se spriječi ili svede na minimum sveukupni utjecaj emisija na okoliš kao i uz njih vezane opasnosti,
11. potreba da se spriječe nesreće i da se posljedice za okoliš svedu na minimum,
12. sve nove informacije o tehnologijama koje se objavljuju u službenim dokumentima EU.

3.2. Okolišna dozvola

Svi gospodarski subjekti koji obavljaju djelatnosti čija je posljedica emisija u tlo, zrak i vodu te mogu imati značajan utjecaj na okoliš moraju ishoditi okolišnu dozvolu. Njome se ujedanjuju svi važni podaci o postrojenju te se osigurava cjelovit uvid u njihov rad. Ona sadrži usporedbu postojećih emisija u zrak, vodu i tlo s propisanim GVE te, ako postojeće emisije premašuju granične vrijednosti, opis NRT-a za usklađenje s GVE (Bačun et al., 2014).

Okolišna dozvola predstavlja jedinstvenu dozvolu koja mora uzeti u obzir cjelovito upravljanje zaštitom okoliša, uključujući emisije u zrak, vode i tlo, stvaranje otpada, korištenje sirovina, energetska učinkovitost, buku, nesreće i sanaciju lokacije nakon zatvaranja postrojenja. Okolišna dozvola izdaje se za postrojenja u kojima se obavljaju i na postrojenja u kojima će se nakon izgradnje, odnosno rekonstrukcije i puštanja u redoviti rad postrojenja obavljati djelatnosti kojima se mogu prouzročiti emisije kojima se onečišćuje tlo, zrak i vode. Postupak utvrđivanja okolišne dozvole za nova postrojenja i za rekonstrukcije postojećih provodi se najkasnije prije početka rada novog postrojenja ili puštanja u pogon rekonstruiranog postrojenja (*Uredba o okolišnoj dozvoli*, NN br. 8/2014).

Kao što je već spomenuto, da bi postrojenje moglo dobiti okolišnu dozvolu, ono mora biti potpuno usklađeno s najboljim raspoloživim tehnologijama (NRT) koje su propisane Uredbom, a ako nije, treba napraviti plan usklađenja (elaborat).

Pojam okolišne dozvole u hrvatskom je zakonodavstvu uređen *Zakonom o zaštiti okoliša* i *Uredbom o okolišnoj dozvoli* (NN 8/2014) koja zamjenjuje *Uredbu o postupku utvrđivanja objedinjenih uvjeta zaštite okoliša* iz 2008. godine (NN 114/08). Donošenjem *Uredbe o okolišnoj dozvoli* naziv dokumenta Rješenje o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša zamijenjen je nazivom Okolišna dozvola.

Uredbom o okolišnoj dozvoli, sukladno odredbama *IED-a*, utvrđene su:

- djelatnosti iz sektora energetike, industrije i gospodarenja otpadom koje mogu prouzročiti emisije koje dovode do onečišćivanja tla, zraka i voda (popis djelatnosti nalazi se u Prilogu I Uredbe);
- onečišćujuće tvari čije emisije prilikom obavljanja djelatnosti uzrokuju onečišćavanje tla, zraka i vode, te ih treba uzeti u obzir kao relevantne za utvrđivanje graničnih vrijednosti emisija u postupku ishoda dozvole (popis onečišćujućih tvari nalazi se u Prilogu II Uredbe);
- način podnošenja zahtjeva i kriteriji za izdavanje okolišne dozvole;
- sadržaj stručne podloge koja se obvezno prilaže zahtjevu za ishoda okolišne dozvole (pobliže utvrđen obrascem u Prilogu IV Uredbe);
- informiranje i sudjelovanje javnosti i zainteresirane javnosti u postupku izdavanja okolišne dozvole;
- način dostavljanja podataka o praćenju emisija u sastavnice okoliša;
- način utvrđivanja graničnih vrijednosti emisija;
- kriterije na temelju kojih se utvrđuju NRT (Prilog III Uredbe), način određivanja NRT-a, rokove za primjenu NRT-a, i dr.

Zahtjev za ishoda okolišne dozvole treba sadržavati (*Zakon o zaštiti okoliša*, NN br. 80/2013):

- podatke o operateru: naziv i sjedište tvrtke, OIB, ime odgovorne osobe, broj telefona i e-adresu,
- podatke o lokaciji i zahvatu,
- podatke o ovlaštenoj osobi za stručne poslove zaštite okoliša koja je izradila stručnu podlogu za ishoda okolišne dozvole.

Uz zahtjev se obavezno prilaže stručna podloga za ishođenje okolišne dozvole, koja mora sadržavati:

- opis postrojenja i djelatnosti koja se obavlja ili se namjerava obavljati u postrojenju,
- popis sirovina, dodatnih materijala i ostalih tvari, te podaci o energiji koja će se koristiti ili stvarati u postrojenju,
- skladištenje sirovine i ostalih tvari,
- popis onečišćujućih tvari koje će biti prisutne u postrojenju,
- opis stanja lokacije gdje se postrojenje nalazi,
- opis izvora industrijskih emisija iz postrojenja,
- opis vrste i količine predviđenih emisija iz postrojenja u pojedinu sastavnicu okoliša (zrak, vode, tlo) te identifikaciju značajnijih učinaka industrijskih emisija na okoliš,
- opis predložene tehnologije sprječavanja ili, gdje to nije moguće, smanjenja industrijskih emisija iz postrojenja,
- opis tehnologija za sprječavanje nastajanja otpada i pripremu za ponovno korištenje, ili oporabu nastalog u postrojenju,
- opis i karakteristike postojećih ili planiranih mjera i korištene opreme za potrebe nadzora postrojenja i emisija u okoliš,
- detaljna analiza postrojenja u odnosu na NRT.

Ishođenje okolišne dozvole je zahtjevan i složen postupak u kojem sudjeluju stručnjaci različitih struka i predstavnici različitih sektora na različitim razinama. Važni nezaobilazan dio postupka je sudjelovanje i predstavnika javnosti i zainteresirane javnosti. Javnost može neposredno doprinijeti boljoj kvaliteti odlučivanja o okolišu, budući da poznaje uvjete u svojim zajednicama (Bačun et al., 2014).

Što se tiče velikih termoeenergetskih pogona u Hrvatskoj, svi postojeći termoeenergetski objekti HEP-a nazivne toplinske snage veće od 50 MW, uključujući i TE-TO Zagreb, moraju ishoditi dozvolu kako bi nastavili s proizvodnjom električne i toplinske energije, sukladno odredbama *Zakona o zaštiti okoliša* i *Zakona o zaštiti prirode*. Zahtjeve za ishođenje okolišnih dozvola, zajedno s tehničko-tehnološkim rješenjima, termoeenergetska postrojenja HEP-a poslala su još 4. lipnja 2012. godine, ali za pojedine pogone još uvijek traju pregovori o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak i otpadne vode te o dinamici praćenja i mjerenja emisija onečišćujućih tvari (Babačić i Tarnik, 2015).

Za izdavanje rješenja o okolišnoj dozvoli postupak je sljedeći (Babačić i Tarnik, 2015):

- priprema zahtjeva za utvrđivanje objedinjenih uvjeta zaštite okoliša i tehničko-tehnoloških rješenja usklađenja postrojenja (TTR),
- predaja zahtjeva i TTR-a u Ministarstvo zaštite okoliša i prirode (MZOiP),
- postupak pregovaranja s mjerodavnim tijelima (sektori MZOiP-a mjerodavni za zrak, tlo i otpad, Hrvatske vode, Ministarstvo zdravlja, Uprava za zaštitu prirode),
- donošenje konačnih zaključaka mjerodavnih tijela o sastavnicama okoliša (zrak, voda, i tlo), utjecaju otpada i buke,
- održavanja javne rasprave, odgovaranje na sva pitanja i primjedbe s javne rasprave te prilagođavanje tehničko-tehnoloških rješenja zaključcima javne rasprave,
- izrada završne knjige o okolišnoj dozvoli,
- dobivanje rješenja o okolišnoj dozvoli.

Za postrojenja koja neće moći zadovoljiti granične vrijednosti emisija samo primjenom osnovnih mjera, npr. korištenjem prirodnog plina kao primarnog goriva ili loživog ulja s manje od 1 % sumpora, nužno će se morati uložiti u njihovu rekonstrukciju te provesti pojedinačne mjere, poput zamjene plamenika i sustava upravljanja. Ugradnja skupe opreme za smanjivanje emisija u zrak, kao što su uređaji za odsumporavanje dimnih plinova i smanjenje emisija NO_x (tzv. DeSO_x i DeNO_x uređaji), razmatra se u slučajevima gdje osnovnim (primarnim) mjerama nije moguće postići ispunjavanje zahtjeva Direktive o industrijskim emisijama. Ako postrojenja ne budu mogla zadovoljiti propisane uvjete niti jednom mjerom, morat će prestati s radom ili plaćati visoke kazne EU-u za prekoračenje GVE, ovisno o procjeni i propisima Europske komisije. Iz svega ovoga proizlazi da HEP Proizvodnja nužno mora rekonstruirati postojeća ili izgraditi zamjenska postrojenja (Babačić i Tarnik, 2015).

4. POSTROJENJE TE-TO ZAGREB

4.1. Opis lokacije postrojenja

Na slici 4-1 prikazano je postrojenje TE-TO Zagreb, smješteno u istočnom dijelu grada Zagreba, na lijevoj obali Save u području Žitnjaka, na lokaciji Kuševačka 10a. Ukupni kompleks zauzima površinu od oko 21 ha. Lokacija postrojenja se proteže na istok do okuke jezera Savica, na sjeverozapad do Kuševačke ulice i južno seže do Miševečke ulice, tj. u produžetku do zaštitinog nasipa uz rijeku Savu. Industrijskim kolosijekom povezana je sa željezničkom stanicom Žitnjak. Lokacija je općenito dobro infrastrukturno povezana s magistralnim energetske i prometnim pravcima. Prema važećim prostorno-planerskim dokumentima definira se kao izgrađeno građevinsko područje i područje mješovite gospodarske namjene. Najbliže stambeno naselje je Savica-Šanci (Sučić et al., 2004).

4.1.1. Hidrološke značajke

S hidrološkog gledišta, zagrebačkom regijom (Grad Zagreb, dio Zagrebačke županije) dominira vodni sliv rijeke Save i njenih pritoka. Na cijelom području postoji oko 632 km različitih vodotoka (rijeke Sava i Krapina, medvednički potoci, rječice Bregana, Gradna i Rakovica, brojni potoci itd.) te 215 stajaćica (jezera, rukavaca, kanala, itd.) ukupne površine 333 ha (Sučić et al., 2004).

4.1.2. Klimatske značajke

Zagreb je smješten u dolini rijeke Save, podno planine Medvednice u kontinentalnom dijelu Hrvatske, na stotinjak metara nadmorske visine. Ukratko se može reći da Zagreb ima klimu umjerenih zemljopisnih širina kontinentalnog tipa. Klimu umjerenih širina obilježava distinkcija četiri godišnja doba, te česte promjene vremenskih prilika koje su uzrokovane prolascima ciklona i anticiklona. Kišovita razdoblja karakteristična su za rano ljeto i kasnu jesen. Prosječna godišnja količina oborine na meteorološkoj postaji Zagreb - Maksimir iznosi 852 mm, a srednja godišnja temperatura 10,3 °C (najhladniji mjesec je siječanj, a najtopliji srpanj). Na području Zagreba prevladava strujanje iz sjevernog kvadranta, sa dominantnim vjetrovima iz smjerova sjever i sjeveroistok (Sučić et al., 2004).



Slika 4-1. Termoelektrana-toplana (TE-TO) Zagreb (Sučić et al., 2004)

4.1.3. Flora i fauna

Po klimazonalnoj vegetaciji, područje zagrebačke regije je u cijelosti šumsko područje, a u sastavu vegetacije mogu se razlikovati osnovni vegetacijski pojasevi: nizinski, brežuljkasti, brdski i gorski. Antropogeni utjecaj na klimazonalnu zajednicu na području Zagreba rezultira raznovrsnim površinama – oranice, travnjaci i pašnjaci (Sučić et al., 2004).

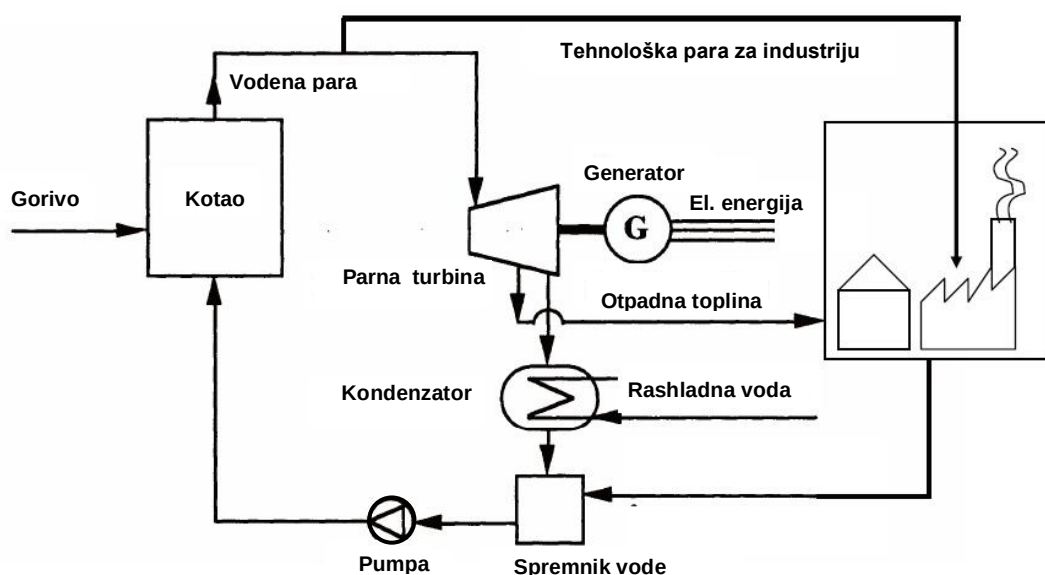
S obzirom da područje Grada Zagreba i okolice obuhvaća uglavnom urbanu zonu, stanje faune kopnenih ekosustava najvećim je dijelom usmjereno na "urbane vrste" (ptice, sisavce, kukce i paučnjake). U neposrednoj blizini TE-TO Zagreb živi više od 150 vrsti ptica, a u vodama jezera Savica prisutne su brojne vrste riba (Hrvatska elektroprivreda d.d., 2002). Usputnim opažanjima životinjskih svojti, na lokaciji zabilježeni su riječni galebovi (*Larus ridibundus*), vrane (*Corvus sorone cornix*), gavrani (*C. corax*), gačci (*C. frugilegus*), divlja patka (*Anas platyrhynchos*), vodomar ribar (*Alcedo atthis*) te različite vrste glodavaca, zečevi i krtice (Sučić et al., 2004).

4.2. Opis postrojenja i tehnološkog procesa

Osnovna djelatnost Pogona TE-TO Zagreb je kombinirana proizvodnja električne i toplinske energije. Toplinska energija proizvodi se kao tehnološka (industrijska) para za potrebe industrije istočnog dijela Zagreba (industrijske zone Žitnjak) i kao toplinska energija koja se dovodi preko tople vode i koristi za grijanje dijela grada koji je priključen na centralni toplovodni sustav (Hrvatska elektroprivreda d.d., 2002).

Pojam kogeneracijskog postrojenja ili termoelektrane-toplane (TE-TO) podrazumijeva istovremenu proizvodnju električne i korisne toplinske energije. Otpadna toplota koja nastaje proizvodnjom električne energije u termoenergetskom postrojenju koristi se za grijanje pojedinačnih objekata ili cijelih naselja, a rjeđe u proizvodnim procesima. Toplinska energija se može koristiti za proizvodnju pare, zagrijavanje vode ili zraka. Osnovna prednost kogeneracije je povećana učinkovitost u odnosu na konvencionalne elektrane koje služe samo za proizvodnju električne energije.

Na slici 4-2. je prikazana pojednostavljena shema rada kogeneracijske termoelektrane. Pri izgaranju goriva u kotlu nastaje toplota koja pretvara vodu u paru pod visokim tlakom. Para se odvodi na turbinu gdje se toplinska energija pretvara u mehaničku koja se u generatoru transformira u električnu energiju. Para koja je u turbini predala dio svoje energije vodi se u kondenzator gdje se pomoću rashladne vode hladi, kondenzira te se kao kondenzat vraća u spremnik vode odakle se vodi u kotao u proces proizvodnje pare.



Slika 4-2. Princip rada termoelektrane-toplane (Goić, 2006)

Unutrašnja toplinska energija vodene pare dobivene u kotlu termoelektrane može se dijelom iskoristiti za direktnu industrijsku potrošnju. Otpadna toplina iz turbine se može preko toplovodne mreže iskoristiti za grijanje (Goić, 2006; Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2010).

Tablica 4-1. Osnovni podaci proizvodnih postrojenja TE-TO Zagreb (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a)

Proizvodna postrojenja			Gorivo	Nazivno opterećenje	Toplinska snaga goriva	Godina puštanja u pogon
Veliki betonski dimnjak	Postrojenja direktnog procesa	VK3	LUT / PP	58 MW	64 MW	1977.
		VK4	LUT / PP	58 MW	64 MW	1978.
		VK5	LUT / PP	116 MW	129 MW	1982.
		VK6	LUT / PP	116 MW	129 MW	1990.
		PK3	LUT / PP	80 t/h (20 bar / 280°C)	58 MW	1985.
	Postrojenja spojnog procesa	Blok C		120 MW + 200 MW		1979.
		K3	LUT / PP	500 t/h (140 bar / 560°C)	384 MW	
		PAT3/G-3	-	120 MW	-	
Blok K		Blok K		208 MW + 140 MW		2001.
		PT1/G-4	PP / SLLU	71 MW	205 MW	
		KU1	-	109 t/h (95 bar / 539°C) 12 t/h (10 bar / 287°C)	-	
		PT2/G-5	PP / SLLU	71 MW	205 MW	
		KU2	-	109 t/h (95 bar / 539°C) 12 t/h (10 bar / 287°C)	-	
		PAT4/G-6	-	66 MW	-	
Blok L		Blok L		112 MW + 110 MW		2011.
		PT3/G-7	PP	75 MW	214 MW	
		KU3	-	107 t/h (95 bar / 540°C) 25 t/h (11 bar / 280°C)	-	
		PAT5/G-8	-	37 MW	-	

VK – vrel vodne kotlovnice

K3 – parni kotao (blok C)

PK3 – pomoćna kotlovnica (parni kotao)

PT – plinska turbina

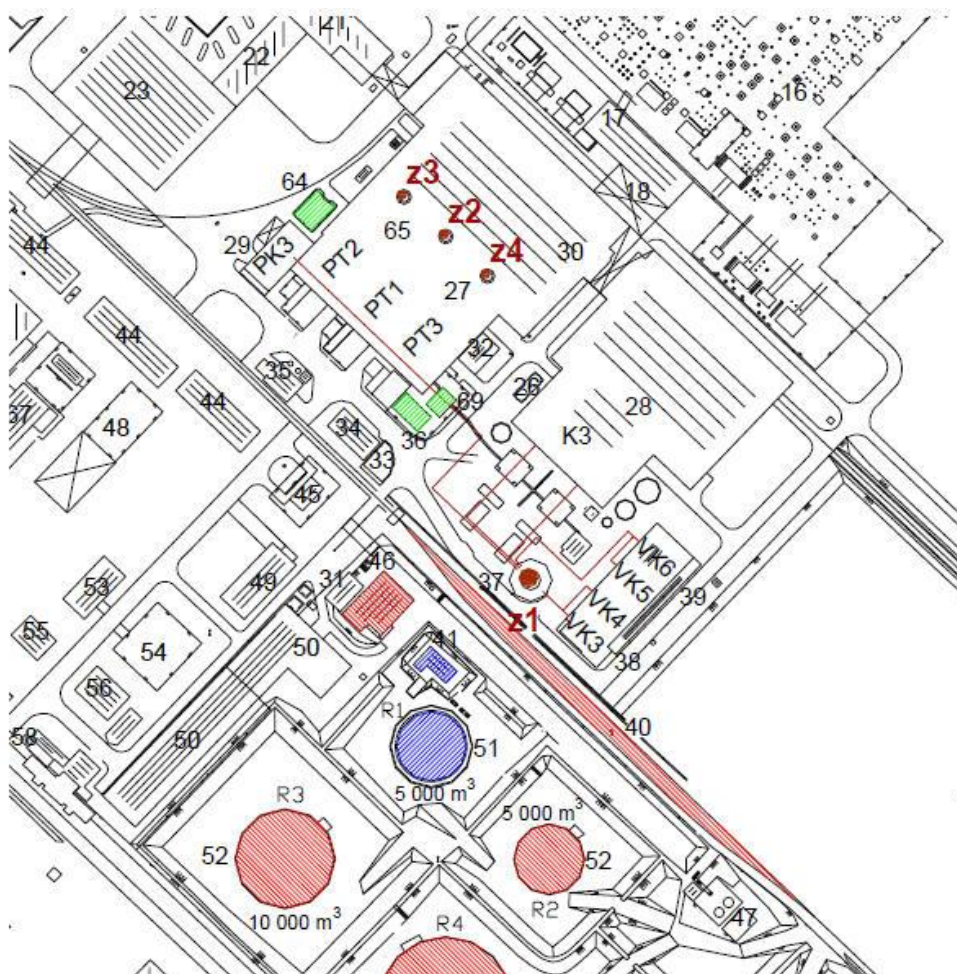
PAT – kondenzacijsko-oduzimna parna turbina

KU – Kotao na otpadnu toplinu

LUT – loživo ulje teško

SLLU – specijalno lako loživo ulje

PP – prirodni plin



Slika 4-3. Prikaz rasporeda pogonskih jedinica TE-TO Zagreb (EKONERG d.o.o., 2015)

Pogon TE-TO Zagreb čini ukupno osam proizvodnih jedinica, od kojih su tri kogeneracijski blokovi (C, K i L), a ostale jedinice su vršni vrelovodni kotlovi (E, F, G i H) te pomoćni parni kotao (blok D) za proizvodnju toplinske energije. Pogon ima 4 dimnjaka: glavni armirano betonski dimnjak visine 202 m na koji su spojeni blokovi C, D, E, F, G i H, te dva dimnjaka bloka K i jedan dimnjak bloka L visine 60 m (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b).

U tablici 4-1 prikazani su osnovni tehnički podaci o svim blokovima TE-TO Zagreb, a na slici 4-3 njihov raspored.

Bloкови E (VK-3), F (VK-4), G (VK-5) i H (VK-6) su vrelovodni kotlovi koji služe za proizvodnju toplinske energije za potrebe vrelovodnog sustava. Instalirani toplinski učinak svakog od kotlova VK-3 i VK-4 iznosi 58 MW, a toplinski učinak svakog od kotlova VK-5 i VK-6 116 MW. Ulazna temperatura vrele vode je 120 °C, a izlazna temperatura 150 °C. Konstrukcija plamenika vrelovodnih kotlova omogućava izgaranje loživog ulja ili

prirodnog plina ali ne i njihove kombinacije. Blok D (PK-3) je pomoćni parni kotao s ukupno instaliranom snagom od 65 MW, koji služi za proizvodnju toplinske energije (tehnološke pare) u slučaju kvara na osnovnim jedinicama spojnog procesa. PK3 ima ugrađene kombinirane gorionike za spaljivanje teškog loživog ulja i prirodnog plina (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a i b).

Blok C je konvencionalni kogeneracijski blok (slika 4-2) kojeg čini parni kotao (K3), oduzimno-kondenzacijska parna turbina (PAT3) s dva toplifikacijska oduzimanja s automatskom regulacijom, te generator (G3). Kotao je konstruiran za izgaranje teškog loživog ulja i prirodnog plina (udio plina u ukupno utrošenom gorivu kreće se oko 25 % ili manje). Blok C radi uglavnom samo tijekom ogrjevne sezone (od studenog do ožujka) za potrebe grijanja grada Zagreba. Nominalni instalirani učin bloka je električnih 120 MW i toplinskih 200 MW (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a i b).

Blok K je bazni kombi-kogeneracijski blok, ukupne električne snage od 208 MW i toplinske od 140 MW, sastavljen od dva plinsko-turbinska agregata (plinske turbine PT1 i PT2 s generatorima G-4 i G-5) i pripadajućih kotlova (KU1 i KU2) na otpadnu toplinu izlaznih plinova plinskih turbina, koji su spojeni na jedan zajednički parno-turbinski agregat tj. parnu turbinu PAT4 s generatorom G-6 (slika 4-4). Blok K proizvodi: električnu energiju, pregrijanu vodenu paru visokog tlaka i pregrijanu vodenu paru niskog tlaka za pogon parno-turbinskog agregata, industrijsku paru na 10 bara i toplu vodu u zagrijaču mrežne vode za potrebe grijanja. Postrojenje kao osnovno gorivo koristi prirodni plin, a u slučaju pada tlaka prelazi na tekuće gorivo tj. specijalno lako loživo ulje s udjelom sumpora < 1 % (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a i b; Sučić et al., 2004).

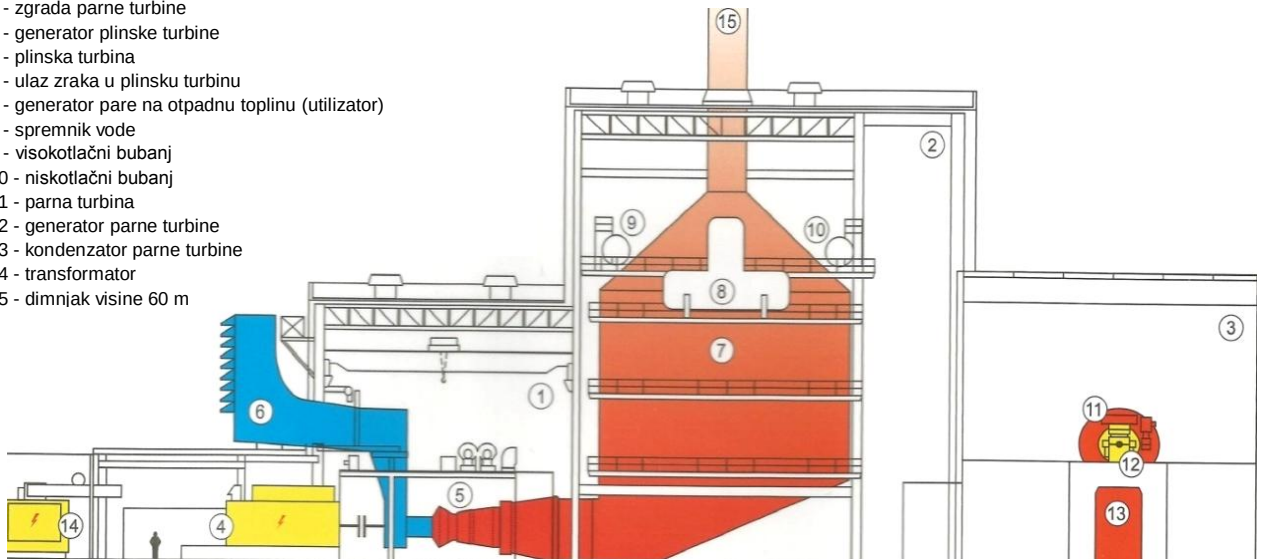
Blok L (slika 4-5) je kombi-kogeneracijski blok, ukupne električne snage od 112 MW i toplinske od 110 MW, koji se sastoji od jednog plinsko-turbinskog agregata (PT3/G-7), kotla na otpadnu toplinu (KU3) i parno-turbinskog agregata (PAT5/G-8). Za gorivo koristi isključivo prirodni plin jer nije opremljen sustavom za spaljivanje tekućeg goriva. Način rada bloka L sličan je kao i kod bloka K, odnosno ima istu ulogu u elektroenergetskom i toplinskom sustavu kao blok K (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a i b).

Princip rada kombi-kogeneracijskih blokova (blokovi K i L) prikazan je na slici 4-6, a na slikama 4-7 i 4-8 plinska turbina i segment parne turbine bloka L.

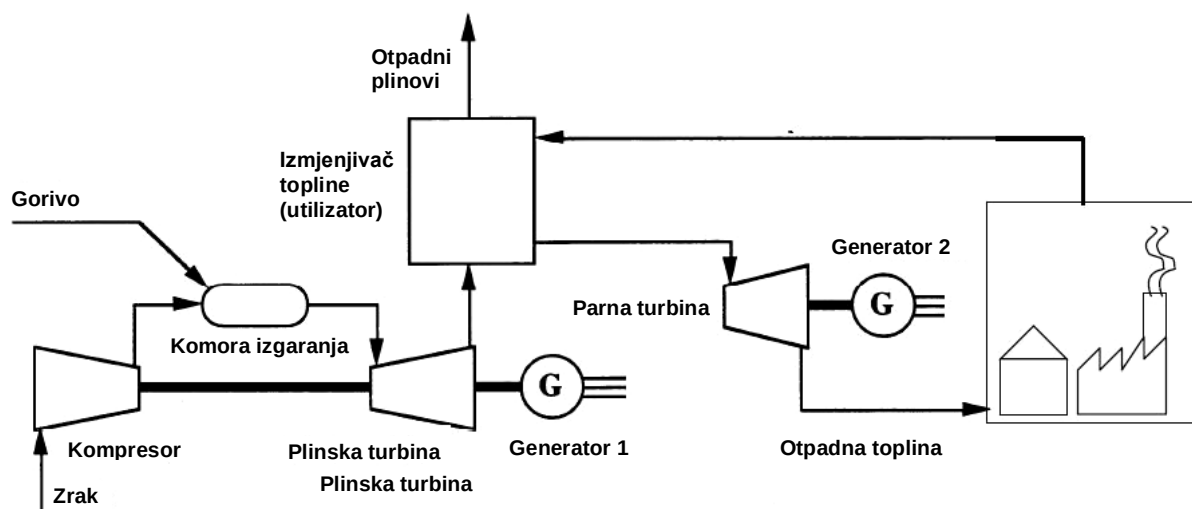


Slika 4-4. Blok K: parno-turbinski agregat (Jukić i Majcen, 2011)

- 1 - zgrada plinske turbine
- 2 - zgrada generatora pare
- 3 - zgrada parne turbine
- 4 - generator plinske turbine
- 5 - plinska turbina
- 6 - ulaz zraka u plinsku turbinu
- 7 - generator pare na otpadnu toplinu (utilizator)
- 8 - spremnik vode
- 9 - visokotlačni bubanj
- 10 - niskotlačni bubanj
- 11 - parna turbina
- 12 - generator parne turbine
- 13 - kondenzator parne turbine
- 14 - transformator
- 15 - dimnjak visine 60 m



Slika 4-5. Blok L (HEP Proizvodnja d.o.o., 2011a)



Slika 4-6. Princip rada kombi-kogeneracijskog postrojenja (Goić, 2006)

Kombinirane (kombi) termoelektrane-toplane ili kombi-kogeneracijske termoelektrane (slika 4-6) sastoje se od plinsko-turbinskog i parno-turbinskog dijela (agregata). Osnovna ideja kod ovakvog postrojenja je da se otpadna toplina vrućih ispušnih plinova na izlazu iz plinske turbine iskorištava za zagrijavanje vode i stvaranje pare koja pokreće parnu turbinu. Na taj način povećava se ukupni stupanj djelovanja jer je toplina, koja bi inače bila izgubljena, iskorištena za daljnju proizvodnju pare. Kompresor upija zrak iz okoline i komprimira ga do određenog pritiska. Komprimirani zrak se dovodi u komoru izgaranja gdje se miješa s gorivom koje izgara. Plinovi izgaranja vrlo visoke temperature odvođeni se iz komore u plinsku turbinu gdje ekspanziraju dajući kinetičku energiju (rotaciju) osovini spojenoj na rotor turbine. Osovina pokreće generator električne struje, a proizvedena električna energija prenosi se dalje u elektroenergetsku mrežu. Nakon ekspanzije, ispušni se plinovi iz plinske turbine vode u utilizator (generator pare na otpadnu toplinu). Na izlazu iz plinske turbine ostaje dosta neiskorištenog zraka i taj se višak zraka koristi za izgaranje dodatnog goriva u utilizatoru. U utilizatoru se voda zagrijava do isparavanja. Pregrijana para odlazi iz generatora pare u parnu turbinu gdje ekspanzira i predaje mehanički rad generatoru električne struje. Otpadna toplina iz parne turbine koristi se preko toplovodne mreže za potrebe grijanja (Goić, 2006).

Plinska turbina (slika 4-7) je rotacijski stroj koji pretvara energiju izgaranja goriva u koristan rad. Plinska turbina bloka L (proizvođača *General Electric*, tip PG 6111FA), snage 75 MW, pripada generaciji plinskih turbina izvedenih korištenjem tzv. "F"

tehnologije, gdje kvalitetne legure temeljene na niklu i kobaltu omogućuju izgaranje pri višim temperaturama i time veće učinkovitosti. Prvi redovi kompresorskih lopatica imaju mogućnost mijenjanja ulaznog kuta, čime se za vrijeme prijelaznih režima rada uvijek postiže optimalni stupanj iskoristivosti. Aksijalni izlaz ispušnih plinova iz turbine smanjuje pad tlaka ispušnih plinova i time povećava stupanj iskoristivosti. Konstrukcija turbine omogućava temperature izgaranja od 1327 °C, učinkovitost od 35 % u otvorenom odnosno 54 % u kombiniranom ciklusu. U kombiniranom kogeneracijskom postrojenju, ova turbina omogućava ukupni stupanj djelovanja (ukupna izlazna energija - toplinska i električna, u odnosu na ulaznu unutrašnju kemijsku energiju goriva) do 80 %. Za smanjenje emisije dušikovih oksida pri izgaranju prirodnog plina koristi se tzv. suhi (*dry low NO_x - DLN*) postupak smanjenja emisija (HEP Proizvodnja d.o.o., 2011a).

Proizvođač parne turbine (slika 4-8) je Škoda (Plzen, Češka). Jednokućišna dvodijelna kondenzacijska parna turbina sa dva regulirana oduzimanja pare i ima četiri regulacijska ventila na ulazu u slučaju visokog tlaka. Kondenzator je površinskog tipa sa odvojenim dvostrukim vodenim i spojenim parnim komorama što omogućuje rad turbine na pola opterećenja, te rad elektrane sa smanjenoj snagi plinske turbine. Kondenzator ima sistem za čišćenje cijevi sa vodene strane i filtre za pročišćavanje rashladne vode na ulazu u kondenzator (HEP Proizvodnja d.o.o., 2011a).



Slika 4-7. Plinska turbina bloka L (HEP Proizvodnja d.o.o., 2011a)



Slika 4-8. Segment parne turbine bloka L (HEP Proizvodnja d.o.o., 2011a)

4.3. Korišteni energenti, voda i pomoćne tvari u TE-TO Zagreb

Pogon TE-TO Zagreb koristi kao pogonsko gorivo prirodni plin, teško loživo ulje (LUT) i specijalno lako loživo ulje (SLLU). Osim pogonskih goriva u radu postrojenja koriste se turbinska i transformatorska ulja te druga maziva. Prirodni plin u količini od 299 do 461 milijuna kubičnih metara, SLLU od 0 do 192 tone godišnje i TLU u količini od 54.000 do 93.000 tona godišnje (APO d.o.o i EKONERG d.o.o., 2013).

Blokovi K i L kao gorivo koriste prirodni plin, što ima značajne prednosti u pogledu emisija plinova SO₂ i CO₂ te krutih čestica. Teško i specijalno lako lož ulje doprema se željezničkim cisternama, a prirodni plin se visokotlačnim plinovodom dobavlja od PMRS Ivanja Reka do lokacije TE-TO (APO d.o.o i EKONERG d.o.o., 2013).

Naravno, potrebna je i opskrba vodom koja je osigurana vodoopskrbnom mrežom za sanitarne, protupožarne i tehnološke potrebe procesa proizvodnje, te posebni sustav rashladne vode. Za tehnološke, protupožarne i sanitarna vode koristi se bunarska voda u količinama od 900.000 m³ do 1.100.000 m³ godišnje, a za rashladne potrebe koristi se voda iz rijeke Save. Količine ovise o proizvodnji te se koristi od 56 do 93 milijuna m³ godišnje. Dozvoljeno je crpiti do 100 milijuna kubičnih metara vode godišnje. Pitka voda dobavlja se iz vodovoda (3500-11.000 m³/godišnje) (APO d.o.o i EKONERG d.o.o., 2013).

Voda za tehnološki proces priprema se demineralizacijom na ionskim izmjenjivačima. Demineralizirana voda koristi se za napajanje visokotlačnih kotlova i proizvodnju pare. Kemikalije koje se koriste za kemijsku pripremu vode i kondicioniranje vode su: otopina kloridne kiseline, HCl (714-820 t/god), otopina natrijeve lužine, NaOH (210-250 t/god), hidratizirano vapno (4,5-5 t/godišnje), Nalco 1700 (oko 7,1-8,1 t/god), amonijačna voda, otopina NH₄OH (1,2-1,3 t/god), Levoxin 15 (2,1-4,9 t/god), natrij fosfat Na₃PO₄ (2,9-6,6 t/god), natrijev hipoklorit 15 %-tni (0-2,5 t/god) (APO d.o.o i EKONERG d.o.o., 2013).

4.4. Izvori onečišćenja okoliša

Izvori onečišćenja su podijeljeni prema utjecajima na pojedine sastavnice okoliša: zrak, tlo i vode. U ovom potpoglavlju također su navedeni izvori buke i nastajanja tehnološkog otpada, te mogući izvori ekološke nesreće.

4.4.1. Utjecaj na zrak

U tablici 4-2. se nalaze glavni izvori onečišćenja zraka i glavne onečišćujuće tvari koje se emitiraju iz navedenih izvora. Onečišćujuće tvari imaju određen utjecaj na zrak.

Kako se na lokaciji TE-TO Zagreb kao gorivo koristi prirodni plin ili ekstra lako loživo ulje ili teško loživo ulje, tako vrsta i sastav plinova nastalih uslijed izgaranja ovisi o korištenoj vrsti goriva. Emisije onečišćujućih tvari: NO_x , CO_2 , SO_2 i krutih čestica u zrak jedan su od najvažnijih pokazatelja utjecaja na okoliš termoeenergetskih postrojenja, a glavni negativni utjecaji tih emisija na okoliš opisani su detaljnije u poglavlju 2.1.

Blok K koristi prirodni plin, dok se specijalno lako loživo ulje koristi samo u nuždi (rezervno gorivo). Za razliku od Bloka K, Blok L koristi isključivo prirodni plin. To ima značajne prednosti u odnosu na ostala moguća tehnološka rješenja, kako u pogledu smanjenja količine izgorenog loživog ulja i time znatnog smanjenja emisije SO_x i krutih čestica tako i u pogledu emisije stakleničkog plina CO_2 . Odnos iznosa emisija CO_2 pri izgaranju ugljena, pri izgaranju loživog ulja i pri izgaranju prirodnog plina približno iznosi 2 : 1,5 : 1. Dušikovi oksidi (NO_x) su glavne onečišćujuće tvari kad je riječ o upotrebi prirodnog plina kao goriva dok izgaranjem teškog lož ulja, koje kao gorivo koriste blokovi C, E, F, G i H, dolazi također do značajne emisije SO_2 i čestica. Kod plinske turbine, količina emisije je ovisna o temperaturi i uvjetima izgaranja u komori za izgaranje (Sučić et al., 2004).

Tablica 4-2. Pregled glavnih izvora emisija u zrak i emitiranih onečišćujućih tvari na lokaciji TE-TO Zagreb (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).

Izvor emisije u zrak	Onečišćujuća tvar
Plinska turbina PT1	
Plinska turbina PT2	CO
Plinska turbina PT3	NO_x
Parni kotao K3	SO_2
Pomoćni parni kotao PK3	Krute čestice
Vrelvodni kotlovi (VK3, VK4, VK5, VK6)	Teški metali
	HCl
	HF

4.4.2. Utjecaj na tlo

Tijekom rada postrojenja ne očekuje se negativan utjecaj na tlo. Radi opreza su poduzete preventivne mjere za moguće nesreće. Primjerice spremnici se nalaze u tankvanama te se provodi preventivno održavanje postrojenja (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012 b).

4.4.3. Utjecaj na vode

Kao što je spomenuto u 2. poglavlju, otpadne vode mogu sadržavati toksične i nerazgradive sastojke koji mogu nepovoljno utjecati na okoliš. Općenito, veličina i sastav otpadnih voda ovise o tehnologiji proizvodnje električne energije i/ili topline. Ukoliko se otpadne vode iz postrojenja adekvatno ne obrađuju (pročišćavaju), štetne se tvari se putem tih voda ispuštaju izravno u vodeni tok i izazivaju velike štete po okoliš i život koji ga nastanjuje. U termoelektrani-toplani (TE-TO) razlikuju se sljedeći tipovi otpadnih voda (Sučić et al., 2004):

1. tehnološke otpadne vode
2. sanitarne otpadne vode
3. ispusne rashladne vode

Otpadne vode smiju se ispuštati iz interne vodenopropusne kanalizacije putem kontrolnih okna. Obavezna je kontrola kakvoće otpadnih voda. U tablici 4-3 su navedene vrste otpadnih voda i vrste onečišćujućih tvari u vodi. U slučaju ispuštanja vode za hlađenje u rijeke i jezera, može doći do povišenja prosječne temperature vode koje vodi izumiranju čitavih vrsta koje ih nastanjuju. Mogući utjecaj na vodu i vodni ekosustav je prvenstveno otpadna toplina koja nastaje proizvodnjom električne energije. Nastaje u kondenzatoru parne turbine, te se odvodi rashladnom vodom u Savu. Toplinski poremećaji prijamnika, kao posljedica ispuštanja rashladnih voda naročito onih iz termoelektrana utječu na promjene metabolizma ekosustava. Odnosno mogu uzrokovati povećanu osjetljivost organizma na bolesti, trovanja, smanjenu sposobnost razmnožavanja, što u krajnjem slučaju može dovesti do eliminacije populacije. Eliminacija jedne vrste u prehrambenom lancu mijenja ekološku ravnotežu i može uzrokovati nagli porast određenih vrsta biljaka i životinja, na štetu drugih. Tri osnovna pokazatelja eventualnog pogoršanja kvalitete vode uslijed toplinskog opterećenja su temperature vode, sadržaj otopljenog kisika i biološka potreba za kisikom (Sučić et al., 2004).

Tablica 4-3. Vrste otpadnih voda i onečišćujućih tvari (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b)

Vrsta otpadnih voda	Vrste onečišćujućih tvari
Sanitarne vode Tehnološke otpadne vode Oborinske otpadne vode s manipulativnih površina	Ukupna suspendirana tvar KPKCr BPK5 Ukupni halogeni ugljikovodici Detergenti, anionski Detergenti, neionski Ukupna ulja i masti Mineralna ulja Krom i spojevi Cr^{6+} Nikal i spojevi Cink i spojevi Željezo
Rashladne vode	Temperatura, ΔT

4.4.4. Tehnološki otpad

Razvojem proizvodnje, razvija se i problem otpada te njegovog utjecaja na okoliš. Tehnološki otpad možemo definirati kao nusprodukt (ostatak) nastao tijekom tehnološkog procesa. U tablici 4-4. naveden je jedan dio otpada koji nastaje tijekom rada i održavanja bloka L, otpad koji nastaje tijekom remonta, sa crpne stanice i otpad koji nastaje tokom pripreme tehnološke vode.

U TE-TO Zagreb godišnje nastaje (APO d.o.o i EKONERG d.o.o., 2013):

- 104 t do 234 t opasnog otpada: lebdeći pepeo od izgaranja ulja, muljevi od fizikalno/kemijske obrade otpadnih voda, otpadni toneri, električna i elektronička oprema te fluorescentne cijevi, otpadna ulja, muljevi i zauljena voda iz odvajaača ulje/voda, zauljena ambalaža, apsorbens i filteri te drugi zauljeni otpad, baterije i akumulatori, otpadne kemikalije;
- 35 t do 145 t neopasnog otpada: željezo i čelik te miješani metali, izolacijski materijali (kamena vuna), povremeno građevni otpad (beton), zasićene ili istrošene smole ionskih izmjenjivača te neopasna električna i elektronička oprema, amabalaža od papira i kartona.

Tablica 4-4. Otpad koji nastaje tijekom rada i održavanja postrojenja (Sučić et al., 2004)

Naziv otpada	Ključni broj	Vrsta otpada
1. Otpad koji nastaje tijekom redovitog rada i održavanja novog bloka CCCGT 100 MW		
- otpadna ulja za motore, pogonske uređaje i podmazivanje	*13 02 00	opasni
- zauljeni otpad koji nije specificiran na drugi način	*13 06 01	opasni
2. Otpad koji nastaje tijekom remonta		
- hidraulička ulja koja sadrže samo mineralna ulja	*13 01 06	opasni
- otpadna ulja za motore, pogonske uređaje i podmazivanje	*13 02 00	opasni
- otpadna izolacijska ulja, ulja za prijenos topline i ostale otpadne tekućine	*13 03 00	opasni
- zauljeni otpad koji nije specificiran na drugi način	*13 06 01	opasni
- željezo i čelik	17 04 05	neopasni
3. Otpad sa crpne stanice		
- ostaci na sitima i grabljama	19 08 01	neopasni
4. Otpad koji nastaje prilikom pripreme tehnološke vode		
- istrošeni aktivni ugljen	19 09 04	neopasni
- zasićene ili istrošene smole iz ionskih izmjenjivača	19 09 05	neopasni
5. Otpad koji nastaje na postrojenju za obradu otpadnih voda		
- mješavina masti i ulja iz odvajачa (separatora) ulje/voda	*19 08 03	opasni
- muljevi koji sadrže metalne hidrokside i ostali muljevi od taloženja metala	*19 02 01	opasni

Zvezdica (*) uz ključni broj otpada označava opasni otpad sukladno *Uredbi o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada* (NN 50/05, 39/09).

TE-TO Zagreb ima Rješenje za obavljanje djelatnosti postupanja s opasnim otpadom - skladištenje opasnog otpada i obrađivanje opasnog otpada (otpadna ulja I i II kategorije). Otpadna ulja I i II kategorije privremeno se skladište i obrađuju na lokaciji TE-TO Zagreb. Ostali otpad poput zauljene ambalaže, krpe, muljevi koji sadrže metalne hidrokside i ostali muljevi od taloženja metala preuzimaju ovlaštene sakupljači (Sučić et al., 2004).

Sve navedene vrste otpada koje nastaju na lokaciji TE-TO Zagreb i postupanje s otpadom definirani su internim pravilnicima.

4.4.5. Buka

Buka nastaje zbog procesa koji se odvijaju u uređajima i strojevima koji su sastavni dio postrojenja: usisa i ispuha zraka, izgaranja goriva, mehaničkog trenja pokretnih dijelova strojeva, strujanja fluida u cjevovodima, ispuštanja pare i sl. Glavni izvori buke koji se odnose na postojeće blokove su sljedeći (Sučić et al., 2004):

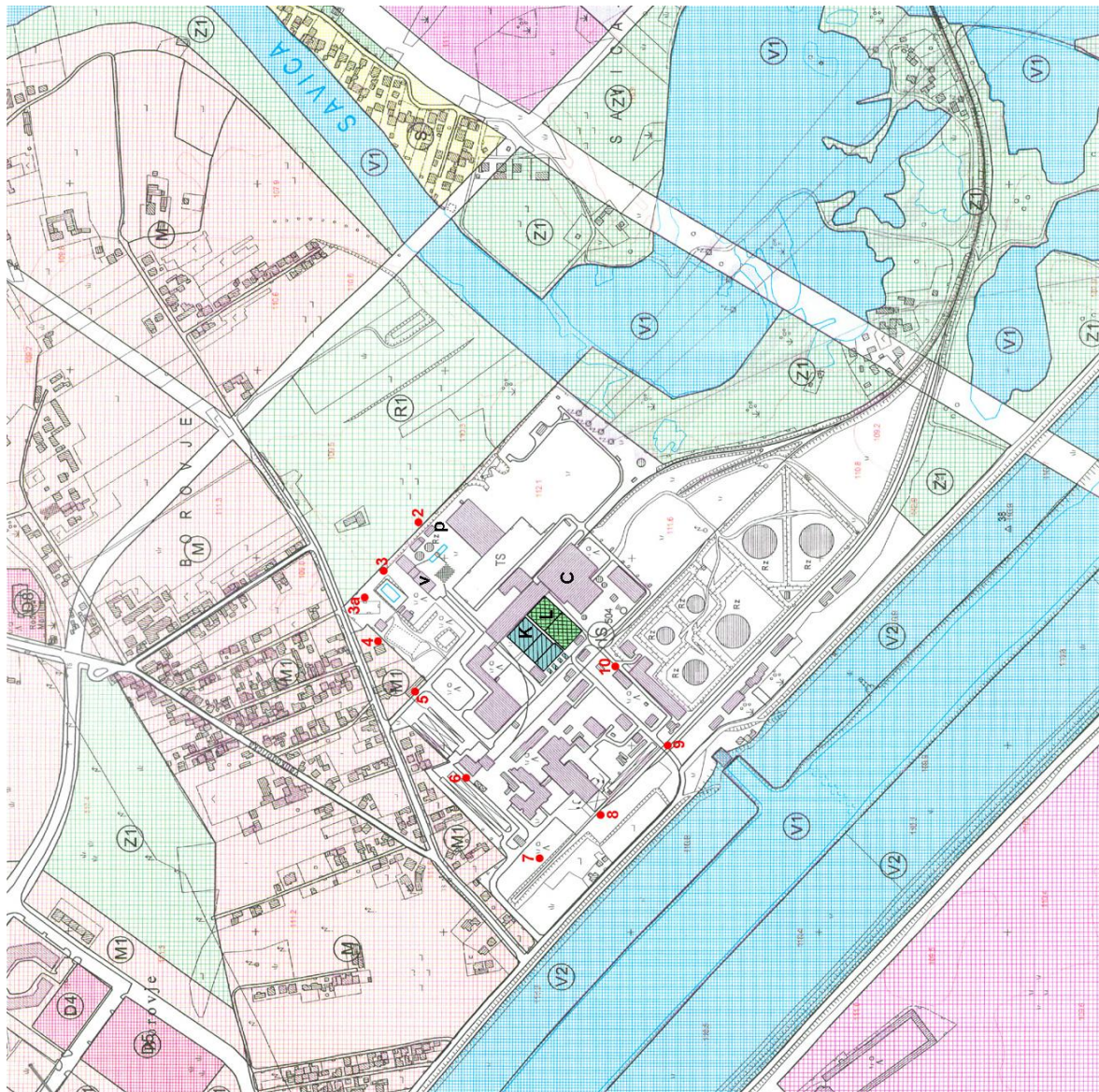
- strojarnica Bloka C u kojoj je smješten parna turbina s električnim generatorom 120 MW i pratećom opremom,
- kotlovnica Bloka C u kojoj su smješteni parni i vrelovodni kotlovi s ostalom pratećom opremom,
- turbinska zgrada Bloka K u kojoj su smještene dvije plinske turbine s električnim generatorima snage 2x72 MW s pratećom opremom (uljne pumpe, zračni kompresori, difuzori itd.),
- strojarnica parne turbine u kojoj su smješteni:
 - parna turbina Bloka K s generatorom snage 66 MW s pratećom opremom (uljne pumpe, ejectori, kondenzacijske pumpe, kondenzator, armatura s regulatorima tlaka),
- pomoćna kotlovnica u kojoj je smješten parni kotao PK3,
- kotlovnice vrelovodnih kotlova VK3, VK4, VK5 i VK6,
- ventilatori koji se nalaze na fasadama i krovovima zgrada postojećih blokova,
- rasklopište s transformatorima i ventilatorima.

Osim navedenih izvora buke, također se kao izvori buke ističu prateći objekti (Sučić et al., 2004):

- postrojenje kemijske pripreme vode,
- plinska mjerno-regulacijska stanica,
- pumpna stanica za rashladnu vodu.

Na lokaciji postrojenja, ovlaštene tvrtke periodično provode mjerenja razine akustične buke. Na temelju dosadašnjih mjerenja može se utvrditi da razina buke na svim mjernim mjestima (mjerna mjesta na slici 4-9 označena crvenim brojevima od 2 do 10) u dnevnim uvjetima zadovoljava uvjete iz *Pravilnika o najvišim dopuštenim razinama buke u kojoj ljudi rade i borave* (NN 145/04). Buka je najveća na sjeverozapadnoj odnosno sjevernoj granici lokacije postrojenja (na granici sa zonama R1 i M1 – sportsko-rekreacijska namjena i zona mješovite namjene), 20-ak metara udaljene od bučnih objekata kemijske

pripreme vode i plinske stanice. Do prekoračenja dopuštene razine buke noću (mjerno mjesto 3a na slici 4-8) dolazi uslijed rada spomenutih pratećih objekata (Sučić et al., 2004). Na lokaciji se provode mjere zaštite od buke u sklopu sustava zaštite na radu.



Slika 4-9. Lokacije mjerenja razine buke (Sučić et al., 2004)

4.4.6. Ekološka nesreća

Ekološka nesreća se smatra izvanrednim događajem koja nastaje utjecajima koji nisu pod nadzorom. Emisije onečišćujućih tvari u zrak, vodu i tlo mogu se pojaviti kao posljedica nesreće. Kao rezultat toga javlja se ugroženost života ili zdravlja ljudi i u većem obujmu nanosi šteta okolišu (Sučić et al., 2004).

Mogući uzroci su potencijalna ispuštanja u okoliš zbog skladištenja i transporta opasnih tvari. Osim navedenih uzroka moguće je i neadekvatno rukovanje tekućinama i plinovima, te opasnosti od kvarova koji mogu uzrokovati nekontrolirano ispuštanje toksičnih, zapaljivih tvari. Opasne tvari koje se nalaze na lokaciji TE-TO Zagreb i koriste prilikom rada i/ili održavanja novog Bloka L CCCGT 100 MW, a koje u slučaju ispuštanja za posljedicu mogu imati ugrožavanje života i zdravlja ljudi i/ili nanijeti štetu okolišu su: prirodni plin, transformatorsko ulje, ulja za podmazivanja, hidrazin, amonijak (Sučić et al., 2004).

Za lokaciju TE-TO Zagreb izrađen je Operativni plan interventnih mjera za slučaj mogućih izvanrednih zagađenja voda na lokaciji pogona. Plan intervencija u zaštiti okoliša ostvaruje pretpostavke za učinkovito i sveobuhvatno provođenje zaštite okoliša i provedbu interventnih mjera u slučaju ekološke nesreće. Svrha donošenja Plana je predvidjeti, ograničiti i spriječiti moguće ekološke nesreće ili izvanredne događaje, koji mogu štetno djelovati na okoliš te izazvati opasnost po život i zdravlje ljudi, te na prirodna dobra. Utvrđuju se vrste rizika i opasnosti, postupak i mjere za ublažavanje i uklanjanje neposrednih posljedica štetnih za okoliš (Sučić et al., 2004).

4.5. Politika zaštite okoliša TE-TO Zagreb

Svaka organizacija, pa tako i Hrvatska elektroprivreda (HEP) ima svoju politiku zaštite okoliša. Politika zaštite okoliša podrazumijeva ukupne namjere i smjernice neke organizacije u pogledu njenog upravljanja aspektima okoliša tj. svim aspektima djelatnosti, proizvoda ili usluga organizacije koji djeluju ili mogu uzajamno djelovati s okolišem i time utjecati na okoliš (ISO 14050:2009). Ona osigurava okvir planiranja i djelovanja te okvir za postavljanje općih i pojedinačnih ciljeva zaštite okoliša, a usvaja se na najvišoj razini uprave organizacije. Glavni ciljevi politike zaštite okoliša organizacije trebaju biti (Sobota, 2014):

- ispunjavanje uvjeta postojećih zakonskih propisa iz područja zaštite okoliša,
- kontinuirano povećanje učinkovitosti organizacije u pogledu smanjenja nepovoljnih utjecaja na okoliš na najmanju moguću mjeru (npr. smanjenja emisija onečišćujućih tvari, potrošnje prirodnih resursa, itd.)
- postizanje sklada gospodarskog razvoja organizacije i zaštite okoliša, u skladu s konceptom održivog razvoja.

Provođenje jasno definirane politike zaštite okoliša u svim segmentima djelatnosti prepoznat je kao važan element poslovanja HEP-a. U svim dijelovima proizvodnje poduzimaju se propisane mjere kontrole utjecaja na okoliš, a istodobno se ulažu sredstva za smanjenje svih utjecaja na okoliš: od emisija iz termoelektrana preko kontrole buke do zbrinjavanja svih vrsta otpada (HEP Proizvodnja d.o.o., 2015). HEP-ova politika zaštite okoliša se temelji na sljedećim načelima (HEP d.d, 2006; HEP Proizvodnja d.o.o., 2013; HEP, 2015):

- racionalnom korištenju resursa i poticanju većeg korištenja obnovljivih izvora energije te kogeneracijskih jedinica,
- zagovaranju racionalne uporabe i štednje energije kod svojih potrošača, te na državnoj razini,
- prevenciji i stalnom smanjivanju emisija u okoliš, te količina i štetnosti proizvedenog otpada,
- očuvanju biološko-ekoloških i drugih prirodnih vrijednosti u okolini objekata HEP-a,
- ugrađivanju i održavanju trajnih sustava redovitog nadzora zaštite okoliša na svakoj lokaciji gdje se nalaze HEP-ovi objekti, te objavljivanju dobivenih rezultata,
- razvijanju i istraživanju primjene čistijih i djelotvornijih tehnoloških rješenja u proizvodnji, prijenosu i distribuciji električne energije,
- uključivanju problematike zaštite okoliša u razvojne planove i strategiju HEP-a, a kriterije zaštite okoliša u postupke planiranja i donošenja odluka,
- obrazovanju i osposobljavanju radnika HEP-a za zaštitu okoliša,
- usklađenosti sa zahtjevima zakonskih propisa i zahtjevima HEP-a,
- suradnji s tijelima državne uprave i lokalne samouprave, te s institucijama i građanskim udrugama za zaštitu okoliša.

Da bi se utjecaji na okoliš smanjili na najmanju moguću mjeru, sukladno navedenim načelima, potrebno je poduzimati sljedeće mjere (HEP Proizvodnja d.o.o., 2013):

- korištenje najbolje raspoloživih tehnologija i postupaka za smanjenje emisija u okoliš,
- kontinuirano praćenje i unapređivanje ključnih pokazatelja procesa,
- održavanje pogona,
- stalno osposobljavanje i informiranje zaposlenih u normalnim radnim uvjetima i u izvanrednim situacijama,
- skladištenje i odlaganje otpada u skladu sa zakonskim zahtjevima,

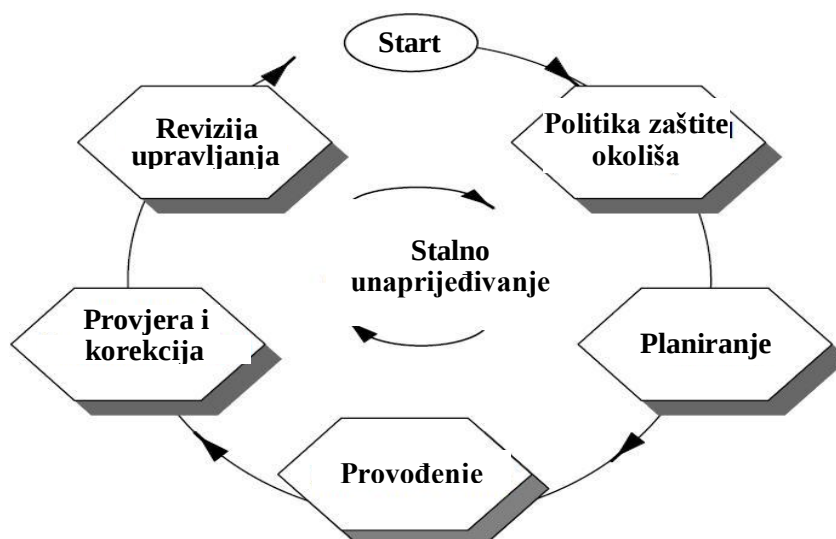
- konstantno unapređivanje sustava upravljanja okolišem (SUO) u skladu sa zahtjevima međunarodne norme ISO 14001,
- praćenje, mjerenje te izvještavanje javnosti o rezultatima upravljanja okolišem.

Bez sustavnog pristupa problemu onečišćenja i zaštite okoliša ne može biti dugoročnog napretka, pa su u tu svrhu osmišljeni sustavi i norme upravljanja okolišem koji olakšavaju postizanje ciljeva politike zaštite okoliša raznih tvrtki i sustava. Sustav upravljanja okolišem (eng. *Environmental Management System - EMS*) odnosi se na dio cjelokupnog sustava upravljanja organizacijom kojim se ona koristi za razvoj i provođenje politike zaštite okoliša, te upravljanje svojim aspektima okoliša, a uključuje organizacijsku strukturu, planiranje aktivnosti, odgovornosti, edukaciju zaposlenih, postupke, procese i resurse (ISO 14050:2009). Implementacija učinkovitog sustava upravljanja okolišem (SUO) osigurava ostvarivanje ciljeva politike i programa zaštite okoliša definiranih od strane uprave organizacije, na sveobuhvatan, sustavan, planiran i dokumentiran način.

Postoje različiti tipovi SUO, a odabir i implementacija najprikladnijeg ovisi o konkretnoj djelatnosti i potrebama koje definira uprava organizacije. Neovisno o tome koji je standard primjenjen, glavni elementi svakog SUO su isti a mogu se prikazati *Deming*-ovim ciklusom (slika 4-10) koji se sastoji od (Sobota, 2014):

- planiranja odnosno definiranja općih i pojedinačnih ciljeva te mjera potrebnih za ostvarivanje ciljeva u skladu sa politikom zaštite okoliša organizacije,
- implementacije odgovarajućeg SUO odnosno provođenja onoga što je planirano,
- provjere koliko ostvareni rezultati odgovaraju postavljenim ciljevima (monitoring i vrednovanje učinkovitosti organizacije s obzirom na upravljanje utjecajima na okoliš, postavljene ciljeve zaštite okoliša i važeće zakonske propise kojima se regulira zaštita okoliša),
- djelovanja s ciljem stalnog unapređivanja (korekcija grešaka utvrđenih auditom i revizijom).

U slučaju TE-TO Zagreb, uspostavljen je i certificiran SUO (slika 4-11) u skladu sa zahtjevima međunarodne norme ISO 14001:2004, što tvrtku obvezuje primjenjivati SUO koji je u potpunosti usuglašen sa svim zahtjevima norme, usvojenom politikom upravljanja okolišem, te zahtjevima relevantnih zakonskih propisa RH iz područja zaštite okoliša. Certifikat obvezuje na stalno održavanje dostignutih standarda, što se provjerava svake godine, a nakon tri godine certifikat se obnavlja (HEP Proizvodnja, 2015).



Slika 4-10. Ciklus neprekidnog poboljšavanja (*Deming-ov ciklus*) (Sobota, 2014)



Slika 4-11. Certifikat dodijeljen TE-TO Zagreb (HEP Proizvodnja d.o.o., 2012)

Norma ISO 14001 čini osnovu serije normi ISO 14000 kojima su definirani različiti aspekti upravljanja okolišem (osnovni pojmovi, principi i smjernice za primjenu SUO, vrednovanje ili audit, označavanje znakovima zaštite okoliša, procjena životnog ciklusa proizvoda, i dr.). Ona je danas najraširenija međunarodno prihvaćena norma koja daje osnovne smjernice organizacijama koje žele uvesti, održavati i kontinuirano poboljšavati vlastiti SUO. SUO standardiziran normom ISO 14001 dobrovoljni je instrument upravljanja okolišem, međutim tvrtka koja implementira SUO prema toj normi obvezuje se primjenjivati smjernice definirane normom i na taj način svesti negativne utjecaje na okoliš bilo kojeg aspekta svoje djelatnosti na najmanju moguću mjeru. Promicanje norme ISO 14001 i SUO, jedan je od prioriteta zaštite okoliša u sektoru energetike i industrije Republike Hrvatske (*Nacionalna strategija zaštite okoliša*, NN 46/2002).

Sustav upravljanja okolišem koji zadovoljava zahtjeve norme ISO 14001 omogućuje tvrtki da (Rakovac, 2011; HEP Proizvodnja, 2015):

- identificira i kontrolira utjecaje koje na okoliš imaju njene djelatnosti, proizvodi i usluge, te ih svede na najmanju moguću mjeru,
- kontinuirano poboljšava svoj učinak upravljanja zaštitom okoliša,
- osigura usklađenost sa zakonskim propisima po pitanju zaštite okoliša,
- implementira sustavni pristup postavljanju ciljeva u pogledu zaštite okoliša, ostvarivanju istih, te dokazivanju o njihovom ispunjenju,
- smanji potrošnju energije i materijala te reducira troškove za zbrinjavanje otpada,
- poboljšava ugled tvrtke među potrošačima, investitorima i ostalim dionicima,
- lakše dobije ovlasti i dopuštenja od lokalnih i državnih vlasti,
- poboljša kvalitetu radnih mjesta, motivaciju zaposlenika i odnose s lokalnom zajednicom,
- poveća konkurentnost na tržištu,
- lakše pristupa europskim poslovnim integracijama i sklapa poslove na međunarodnoj razini.

4.6. Mjere zaštite okoliša od štetnih utjecaja

4.6.1. Mjere za smanjenje štetnih emisija u atmosferu

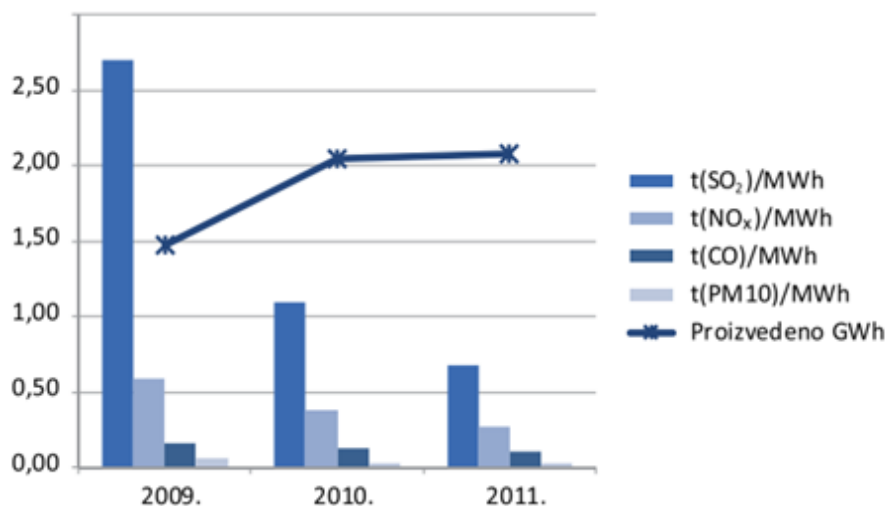
Emisije onečišćujućih tvari u zrak dominantno potječu iz velikih uređaja za loženje termoelektričnog postrojenja TE-TO Zagreb, a ostatak emisija onečišćujućih tvari iz kotlovnica za grijanje HEP-Toplinarstva d.o.o. (HEP d.d., 2011).

Da bi se izbjegli štetni utjecaji na okoliš i ljudsko zdravlje, potrebno je planiranje i poduzimanje odgovarajućih mjera i aktivnosti kojima je cilj sprječavanje (smanjenje) emisija onečišćujućih tvari u atmosferu, kao i poboljšanje kvalitete zraka. U nastavku će biti navedene mjere koje su provedene u cilju zaštite i poboljšanja kvalitete atmosferskog zraka na lokaciji TE-TO Zagreb.

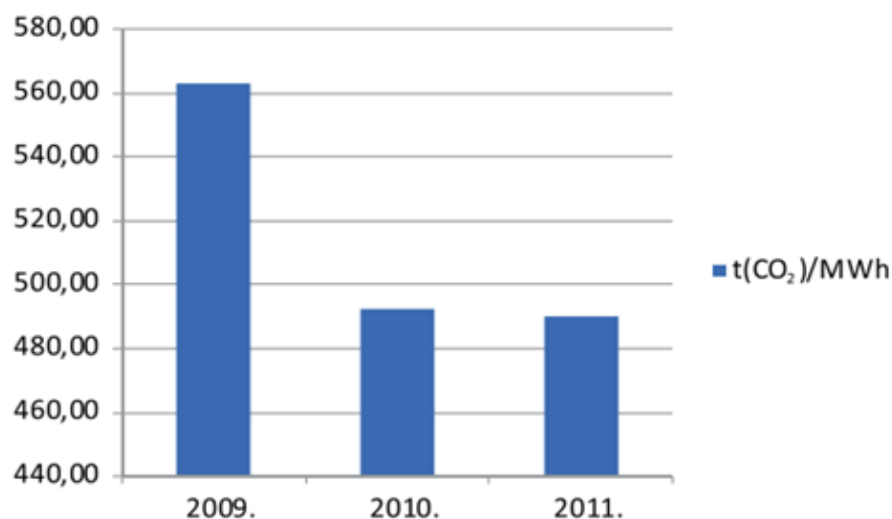
Općenito za uređaje za loženje na tekuća goriva, smatra se da je primarna mjera za smanjenje emisije SO₂ korištenje goriva s niskim sadržajem sumpora. *Uredbom o kakvoći tekućih naftnih goriva* od 1. siječnja 2013. godine propisuje se korištenje tekućih goriva s masenim udjelom sumpora do 1 %. U skladu s navedenim, HEP nabavlja isključivo niskosumporno loživo ulje, što je rezultiralo dodatnim smanjenjem emisija onečišćujućih tvari u zrak.

Kao jedna od mjera se može navesti i sama izgradnja bloka K, kao i novijeg bloka L. Izvršena je zamjena starih blokova (A i B) iz davne 1962. godine. Novi kombi kogeneracijski blokovi K i L smanjuju udio sati rada starih postrojenja i emisije u zrak uz povećanje ekonomičnosti cijele TE-TO Zagreb. Također, ovisno o raspoloživosti plina u toplifikacijskom razdoblju, značajno se povećava iskoristivost toplinske energije goriva za proizvodnju električne energije i topline. (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b).

Upotrebom isključivo prirodnog plina u novom bloku L smanjena je količina izgorenog lož ulja na lokaciji, a time dolazi do smanjenja emisija SO₂ i čestica (Sučić et al., 2004), dok se u bloku K uz prirodni plin koristi i SLLU. Rezultat izgradnje bloka L je povećana energetska učinkovitost postrojenja uz istovremeno smanjenje potrošnje tekućeg goriva i smanjenje emisija onečišćujućih tvari (NO_x, SO₂, krutih čestica i CO₂), što se može vidjeti na slikama 4-12 i 4-13. koje prikazuju specifične emisije onečišćujućih tvari za 2009., 2010. i 2011. godinu (HEP d.d., 2011).



Slika 4-12. Specifične emisije SO₂, NO_x, CO i PM₁₀ (HEP d.d., 2011)



Slika 4-13. Specifična emisija CO₂ (HEP d.d., 2011)

Osim izgradnje blokova K i L, bitno je spomenuti kako su u njima montirane plinske turbine s tzv. DLN komorama izgaranja za smanjenje emisija NO_x pri izgaranju plina. Pri izgaranju SLLU, plinske turbine PT1 i PT2 bloka K koriste ubrizgavanje demineralizirane vode za smanjenje emisije NO_x. Posljedica toga je smanjenje emisija NO_x u dimnim plinovima. Izgaranje plinskih turbina bloka K i L i emisije dimnih plinova su u skladu s definiranim NRT (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).

Općenito su kotlovi u TE-TO Zagreb konstruirani su za izgaranje teškog loživog ulja, ali opremljeni su sa plamenicima za izgaranje i prirodnog plina te često umjesto teškog loživog ulja koriste prirodni plin. Kotao K3 koristi kombinirano izgaranje teškog loživog ulja i

prirodnog plina. PK3 pretežno koristi prirodni plin, a teško loživo ulje samo povremeno (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b).

S ciljem smanjenja emisija SO_2 , NO_x i čestica završena je i rekonstrukcija vrelovodnih kotlova VK5 i VK6. Rekonstrukcijom je postignuto učinkovitije izgaranje, a time i smanjenje emisija onečišćujućih tvari u zrak (HEP d.d., 2013).

Kako bi se smanjila emisija NO_x i čestica, obavljena je zamjena svih 8 kombiniranih plinsko-mazutnih i 8 potpalnih gorionika, 8 kompleta sigurnosnih i regulacijskih armatura na plinu, mazutu, pari za ispuhivanje/raspršivanje i zraku za izgaranje, zamjena mjerene opreme u polju, ugradnja novog sustava za upravljanje i nadzor gorionika (tzv. *Burner Management System*) i njegovo povezivanje u sustav vođenja bloka C. Mjerenjem emisija onečišćujućih tvari u zrak u radu na prirodni plin i loživo ulje dobiveni su rezultati koji zadovoljavaju dozvoljene granične vrijednosti emisija koje će vrijediti do 1. siječnja 2018. tj. do isteka prijelaznog razdoblja za usklađivanje s odredbama Direktive o industrijskim emisijama (HEP d.d., 2013).

Između ostalog u pogonu TE-TO Zagreb provedena je sanacija glavnog dimnjaka, nakon čega je pušten u daljnju 30-godišnju eksploataciju (HEP d.d., 2010).

4.6.2. Obrada otpadnih voda

Jedan od uvjeta za proizvodnju električne energije u termoenergetskim postrojenjima je osiguranje dovoljne količine vode. Zbog toga su termoenergetska postrojenja smještena pored velikih rijeka, u ovom slučaju pored Save. Velike količine vode koje se koriste za proizvodnju energije podrazumijevaju i veliku količinu otpadnih voda (slika 4-14).



Slika 4-14. Otpadne vode na lokaciji TE-TO Zagreb

Štetne se tvari i tekućine ne smiju ispuštati direktno u kanalizacijske sustave i otvorene vodotoke. Prema tome otpadne vode je nužno obraditi prije ispuštanja. Tehnološke otpadne vode obrađuju se u tri sljedeća odvojena sustava (Sučić et al., 2004):

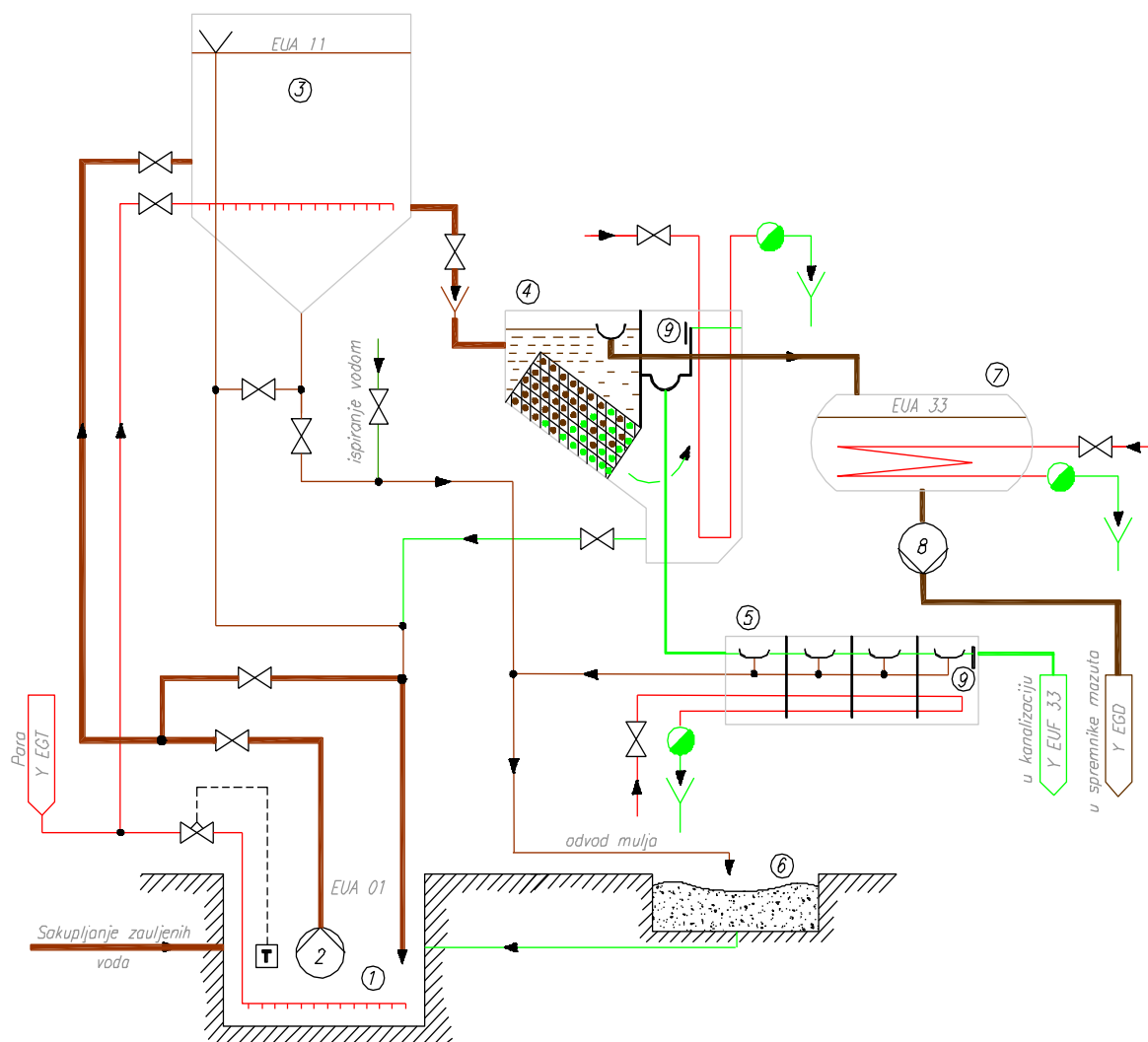
- a) sustav za pročišćavanje zauljenih voda
- b) sustav za preradu otpadnih voda
- c) sustav za neutralizaciju otpadnih voda iz kemijske pripreme vode (KPV)

a) Sustav za pročišćavanje zauljenih voda

Na slici 4-15 prikazana je shema sustava za pročišćavanje zauljenih voda. Zauljene vode iz svih dijelova mazutnog gospodarstva nastaju u procesu istovara, uskladištenja i termičke pripreme mazuta. To su ogrjevni kondenzati iz grijalica cisterni i spremnika mazuta, popratna grijanja cjevovoda, isuhivanje i čišćenje filtera, kao i oborinske vode i vode za pranje betonskih dijelova istovarnog kolektora. Te se sve vode i kondenzati sakupljaju u sabirnu jamu, gdje se zagrijavaju do temperature od 60 °C. Dalje se pumpom prebacuju u spremnike u kojima se također zagrijavaju, te iz kojih se prirodnim padom ispuštaju u separator. Tu se zbog razlike u gustoći vrši odvajanje mazuta iz vode. Mazut se sakuplja u poseban spremnik i pumpom prebacuje u spremnike mazuta, a očišćena voda preko dodatnog separatora odlazi u kanalizaciju. Na kontrolnom oknu kanalizacije ovlaštena organizacija povremeno ispituje kvalitetu vode i mjeri koncentraciju opasnih i ekološki štetnih tvari, a među ostalima i sadržaj ulja i masti (Sučić et al., 2004).

b) Sustav za preradu otpadnih voda

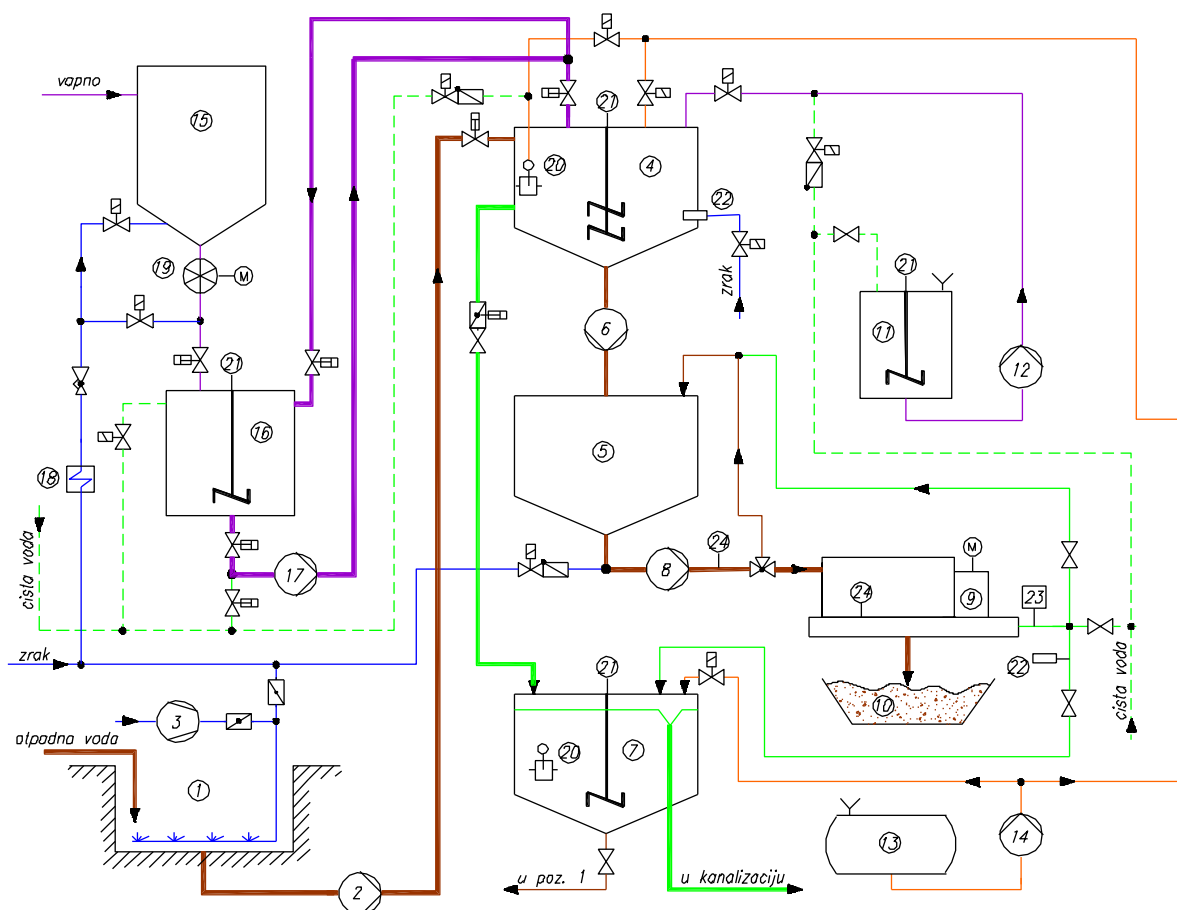
Ostatak od izgaranja goriva taloži se na plameno dimnim površinama kotla i od tuda se povremeno odstranjuje ispuhivanjem s parom i ispiranjem s vodom. Sva ta otpadna voda od pranja visokotlačnih kotlova, pranja regenerativnog zagrijača zraka i cijelih blokova C, K i L sakuplja se u spremnik otpadne vode, odnosno bazen. Ta mješavina sadrži nedopuštenu koncentraciju opasnih i štetnih tvari, a radi sadržaja sumpora u gorivu njezina pH-vrijednost nalazi se u području kiselosti. Takva se voda ne smije ispuštati u kanalizaciju bez pročišćavanja. Pročišćavanje se odvija u postrojenju za obradu otpadnih voda (slika 4-16) gdje se voda i krute čestice razdvajaju. Pročišćena voda se neutralizira na pH-vrijednost od 6,5 do 8 i ispušta u kanalizaciju, a mulj se kao kruti ostatak (filtarski kolač) iz filter preše odvozi na skladište krutog otpada. Na kontrolnom oknu kanalizacije ovlaštena organizacija uzima i analizira uzorke vode u kojima je sadržaj opasnih i štetnih tvari uvijek ispod dopuštene koncentracije (Sučić et al., 2004).



Slika 4-15. Shema sustava za pročišćavanje zauljenih voda (Sučić et al., 2004)

Tumač oznaka na slici 4-15:

- 1 - sabirna jama
- 2 - pumpa
- 3 - spremnik
- 4 - trapezasti pločasti separator (TPS)
- 5 - pregradni separator
- 6 - pješčanik
- 7 - spremnik mazuta
- 8 - pumpa mazuta
- 9 - podesivi preljev



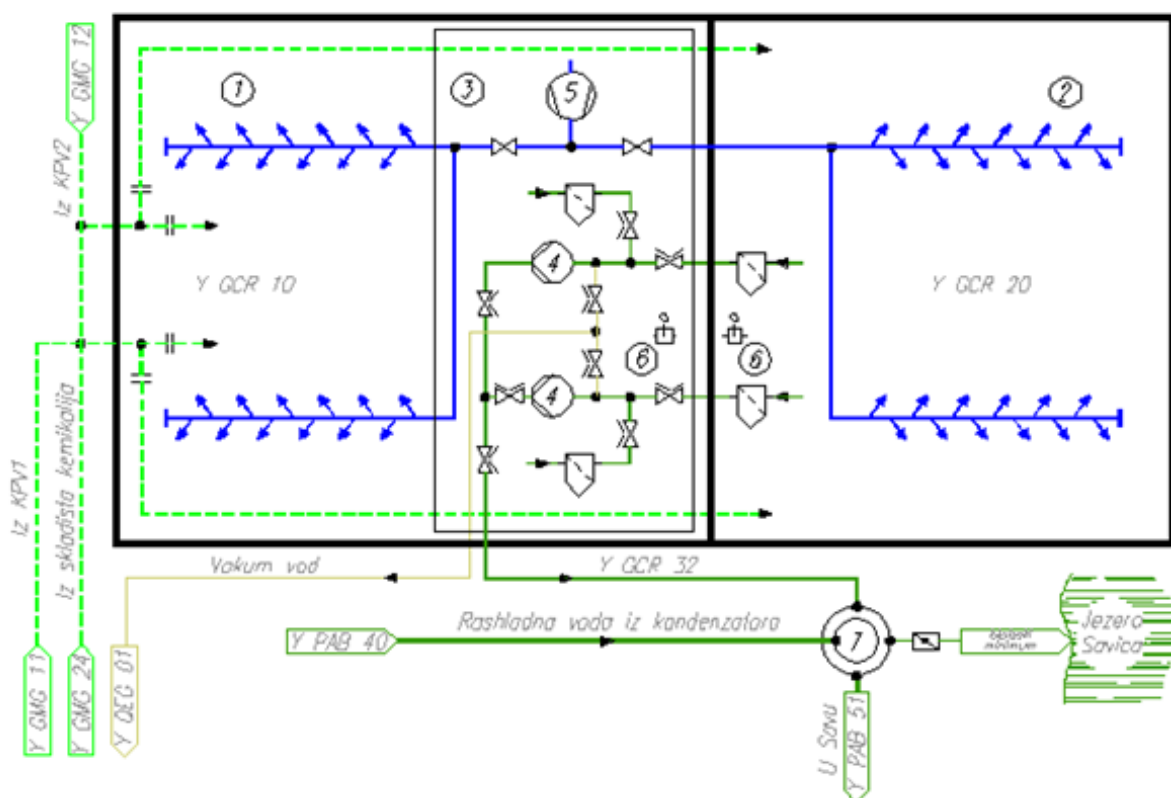
Slika 4-16. Shema sustava za preradu otpadnih voda (Sučić et al., 2004)

Tumač oznaka na slici 4-16:

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1 - bazen otpadnih voda | 18 - sušać zraka |
| 2 - pumpe otpadnih voda | 19 - dozator vapna |
| 3 - puhalo za zrak | 20 - sonde (elektrode) za Ph |
| 4 - reaktor za taloženje mulja | 21 - elektromotorne mješalice |
| 5 - spremnik mulja | 22 - sonde za mjerenje prozirnosti |
| 6 - pumpa za mulj | 23 - sonda za kontrolu protoka |
| 7 - spremnik očišćene vode | 24 - kontakti manometar |
| 8 - pumpe za pretovar mulja | |
| 9 - komorna filter-preša sa hidrauličnom pumpom | |
| 10 - odvoz krutog otpada | |
| 11 - spremnik poliektrolita (PE) | |
| 12 - pumpa za doziranje PE | |
| 13 - spremnik kiseline HCl | |
| 14 - pumpa za doziranje HCl | |
| 15 - spremnik vapna | |
| 16 - posuda za vapneno mlijeko | |

c) Sustav za neutralizaciju otpadnih voda iz KPV

Sustav kemijske pripreme vode (KPV) proizvodi oko 1.150.000 m³/god demineralizirane vode. Od te količine 22 % je gubitak u pogonu, 36 % je nevraćanje kondenzata industrijskih potrošača, a 42 % je dopuna u dotrajaov vrelovod razveden diljem grada. Za proizvodnju gore navedene količine demi vode troši se oko 950 l kloridne kiseline (30 % HCl) i oko 250 t natrijeve lužine (45 % NaOH). Te kiseline i lužine pomiješane s vodom kod ispiranja odnosno regeneracije ionskih filtara sakupljaju se u bazenima za neutralizaciju (slika 4-17). Tu se vrši korekcija pH-vrijednosti dodavanjem 40 % natrijeve lužine uz stalno miješanje, tako dugo dok se pH-vrijednosti ne dovede do granice 6,5-8, a zatim prepumpavanje vode u interni sustav odvodnje TE-TO Zagreb (Sučić et al., 2004).



Slika 4-17. Shema postrojenja za neutralizaciju otpadnih voda iz KPV (Sučić et al., 2004)

Tumač oznaka na slici 4-17:

- 1 - bazen br. 1
- 2 - bazen br. 2
- 3 - strojarnica
- 4 - pumpe
- 5 - puhalo za zrak
- 6 - sonda za mjerenje
- 7 - prelijevna komora

Osim postojećih postrojenja za obradu otpadnih voda, s ciljem smanjenja potrošnje vode i emisija u vode napravljena je zamjena KPV 1 (kemijske pripreme vode). Stara KPV-1 izgrađena je 1962. godine i prikazana je na gornjoj slici. Zbog zastarjelosti i neisplativosti rekonstrukcije na njegovo mjesto ugradilo se novo potpuno automatizirano postrojenje moderne tehnologije i sa mikroprocesorskom tehnikom upravljanja (KPV-3) kapaciteta 240 t/h (2x 120 t/h) demi vode u radu i 120 t/h u regeneraciji ili pripremi (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b).

U sklopu ovog projekta, izgrađeno je i postrojenje za obradu čistih kondenzata i njihovog povrata u sustav demineralizirane vode za napajanje kotlova. Time se značajno smanjuje količina crpljene sirove vode iz zdenaca TE-TO Zagreb kao i ispuštanje otpadnih voda u sustav javne odvodnje (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b).

Tijekom 2013. godine u TE-TO Zagreb je završena sanacija pretakališta za loživo ulje u sklopu opsežne rekonstrukcije mazutnog gospodarstva, a tijekom 2014. godine dovršena je modernizacija odvajanja zauljenih otpadnih voda. Ugrađeni su i pušteni u rad novi uređaji za: mjerenje količine iscrpljene vode, mjerači pojave zauljenog sloja u oknu prije prepumpne stanice otpadnih voda, mjerač pojave zauljenosti otpadnih voda i pH vrijednosti otpadnih voda u zadnjem internom oknu prije spoja u glavni odvodni kolektor, mjerač rashladne savske vode, temperature savske vode ispred crpki zahvata vode kao i temperature rashladne vode prije povratka u Savu odnosno jezero Savicu. Rekonstrukcijom se smanjuje mogućnost emisija u vode, kao i mogućnost proboja zamućenih voda u sustav odvodnje i u jezero Savica (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b; HEP d.d., 2013).

4.6.3. Zbrinjavanje tehnološkog otpada

U potpoglavlju 4.4.4. su navedene pojedine vrste otpada, i kao što je već rečeno zbrinjavanje je uređeno internim pravilnicima. TE-TO Zagreb ima razvijen sustav gospodarenja otpadom.

Postupanje s otpadom je usklađeno s zakonskom regulativom koja regulira postupanje s opasnim otpadom na slijedeći način (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2013):

- odvojeno prikupljanje,
- privremeno skladištenje u posebnom spremniku,
- predaja ovlaštenom sakupljaču / zbrinjavatelju).

Svrha odvojenog sakupljanja otpada je smanjivanje količina otpada odnosno volumena, te izdvajanje iz otpada onih kategorija koje se mogu materijalno i energetski iskoristiti. Kao primjer mogu se navesti otpadna ulja koja se najprije prikupljaju u odgovarajućim spremnicima, pa prolaze kroz rešetke kako bi se uklonile zaostale nečistoće i na kraju se prepumpavaju u spremnike teškog loživog ulja. Koriste se kao alternativno gorivo za proizvodnju pare, odnosno topline i električne energije na parnim i vrelovodnim kotlovima koji koriste teško loživo ulje. Ostali otpad se predaje tvrtkama ovlaštenim za gospodarenje odgovarajućom vrstom otpada (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b).

4.6.4. Mjere zaštite od buke

Mjerama zaštite od buke mora se spriječiti nastajanje buke, odnosno smanjiti postojeća buka na dopuštene razine. U nastavku su spomenute mjere korištene kod postrojenja TE-TO Zagreb.

Kod blokova K i L dimni plinovi prolaze kroz prigušivač buke koji snižava buku ispod 85 dB na udaljenosti 1 m od dimnjaka. Također će se poduzeti mjere prevencije ugradnjom "low noise" zamjenske i nove opreme, te dobrim održavanjem (ventilatori, ležaji, visokotlačni ventili, postojeći bukobrani). Za veće izvore buke primijeniti će se mjere tehničke zaštite ugradnjom fizičkih akustičkih barijera, oklapanjem, ugradnjom rebrenica za usmjeravanje, panela, fleksibilne izolacije (kao i termičke), zaslona (kod ventilacija), difuzora (kod tekućina i para), upijača vibracija (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012 a).

4.6.5. Sprječavanje ekološke nesreće

U poglavlju 4.4.6. su navedeni mogući uzroci i posljedice ekoloških nesreća, a u narednom tekstu su navedene osnovne mjere koje se poduzimaju kako bi se spriječila ekološka nesreća.

Preventivne mjere se odnose na smanjenje mogućnosti nastanka situacija koje bi za posljedicu mogle imati pojavu velike nesreće na najmanju moguću mjeru, a uključuju (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b):

- pravilno rukovanje pri prijevozu i pravilno skladištenje opasnih tvari,
- održavanje uređaja odnosno cijelog postrojenja u ispravnom stanju i njegovu redovnu provjeru,

- pravilno zbrinjavanje otpada,
- pravilno održavanje uređaja za predobradu otpadnih voda i upotrebu propisanih zaštitnih sredstava,
- teško loživo ulje skladišti se u čelične spremnike na betonskim temeljima, a svaki spremnik u zasebnoj tankvani, ima ugrađen stabilni sustav za hlađenje i gašenje spremnika i tankvana, vatrodojavu i alarmne sirene, mjerenje razine goriva i temperature u spremniku,
- novi blokovi su projektirani s malim podtlakom, i druge mjere,
- svi spremnici za privremeno skladištenje smješteni su na posebnom privremenom skladištu opasnog otpada, zatvoreni su i pod ključem, tj. dostupni samo odgovornim osobama educiranim za rad s opasnim tvarima. Spremnike redovito prazne educirani djelatnici ovlaštenih tvrtki za gospodarenje opasnim otpadom;
- opasne kemikalije se u postrojenju skladište u spremnicima i posudama (originalna ambalaža) u posebnim skladištima odvojeno prema vrsti opasnosti (spremnici kiseline i lužine za KPV, skladište kemikalija za KPV, skladište maziva i zapaljivih tekućina, skladište plinova pod tlakom); dostupne su samo odgovornim i educiranim osobama za rad s opasnim kemikalijama.

Svi spremnici za privremeno skladištenje opasnog otpada imaju odgovarajuće ateste i potvrde da se u njima mogu skladištiti opasni otpadi. Također, za sve uređaje s povećanim opasnostima provedena su ispitivanja i izdana uvjerenja, odnosno atesti (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b).

U postrojenju se periodično provode ispitivanja uvjeta radne okoline u pogledu mikrokilme, buke i osvijetljenosti koja su pokazala da razine ne prelaze propisane vrijednosti za radni okoliš/povremeni ili trajni boravak osoblja u takvim uvjetima te da radni okoliš ispunjava sve uvjete utvrđene pravilima o zaštiti na radu (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b).

Kao dodatno osiguranje u cilju sprječavanja iznenadnih nesreća svakodnevno se provode vizualna kontrolna mjerenja: tankvana (zemljanih i betonskih), spremnika i ambalaže s opasnim tvarima, svih prometnih i radnih površina i parkirališnog prostora, uređaja za obradu otpadnih voda i muljeva, uređaja za manipulaciju naftnim derivatima i drugim opasnim tvarima, te jednom u tjednu provoditi vizualnu kontrolu ispravnosti opreme za provođenje interventnih mjera i neophodnih zaštitnih sredstava (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b).

Ako slučajno dođe do iznenadne ekološke nesreće, HEP je spreman na to koliko je to moguće. Kao što je spomenuto kod politike, potrebno je imati definirane odgovorne osobe pa tako i u ovom slučaju, opremu i sredstva za provođenje interventnih mjera te suradnju s vanjskim tvrtkama ovlaštenim za interventne mjere, poslove sanacije, provjere i čišćenja sustava odvodnje, gospodarenja opasnim otpadom i slično. Osim navedenog pogon je opremljen s opremom, alatima, osobnim zaštitnim sredstvima, protupožarnom opremom i drugim sredstvima koja koriste djelatnici koji su educirani za postupanje s opasnim kemikalijama (otrovima), zaštitu na radu, početno gašenje požara, prvu pomoć prilikom sprječavanja nastanka i ograničavanja širenja posljedica industrijskih nesreća (uključivo i velike nesreće) i drugih izvanrednih događaja na lokaciji TE-TO Zagreb (APO d.o.o., 2009).

Pogon TE-TO Zagreb ima sustav za dojavu i gašenje požara koji se sastoji od (APO d.o.o., 2009):

- sustava vatrodojave,
- alarmnih sirena,
- stabilnog sustava za gašenje,
- hidrantske mreže za gašenje požara s hidrantskim ormarićima,
- ručnih i pokretnih vatrogasnih aparata za početno gašenje požara s prahom i CO₂.

4.7. Program praćenja emisija

U TE-TO Zagreb je instaliran sustav za kontinuirano mjerenje emisija onečišćujućih tvari u zrak (SO₂, NO_x, CO i krutih čestica) sukladno *Uredbi o graničnim vrijednostima emisije onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora* (NN 117/2012, 90/2014) i *Pravilniku o pracenju emisija onečiscujucih tvari u zrak iz nepokretnih izvora* (NN 129/2012). Prema Uredbi, kontinuiranim mjerenjem utvrđuje se:

- emisija SO₂, NO_x, krutih čestica, temperatura, volumni udio kisika i emitirani maseni protok otpadnih plinova iz velikih uređaja za loženje ukupne ulazne toplinske snage veće od 100 MW koji koriste kruta goriva, tekuća i plinska goriva,
- emisija NO_x, CO, volumni udio kisika, emitirani maseni protok i temperatura u otpadnim plinovima iz velikih uređaja za loženje ukupne ulazne toplinske snage veće od 100 MW koji koriste prirodni plin kao gorivo.



Slika 4-18. Mjerno mjesto (lijevo) i mjerni priključci (desno) kotla K3 (EKONERG d.o.o., 2015).



Slika 4-19. Mjerno mjesto (lijevo) i mjerni priključci (desno) plinskih turbina (EKONERG d.o.o., 2015).

Prema istoj Uredbi, u slučaju stacionarnih izvora, ako se emisije mjere kontinuirano za više postojećih ložišta zajedno jedanput godišnje, mora se obaviti i mjerenje za svako ložište posebno.

Otpadni plinovi svih proizvodnih postrojenja direktnog procesa (VK3, VK4, VK5, VK6 i PK3) i bloka C (odnosno parnog kotla K3) ispuštaju se kroz zajednički dimnjak visine 202 m na kojem je instaliran zajednički CEM sustav (EKONERG d.o.o., 2015). S obzirom da se na taj način ne može pratiti emisija iz svakog pojedinačnog ložišta obavezno je jednom godišnje provesti pojedinačno mjerenje za svako ložište. Na slikama 4-18 i 4-19 prikazana su mjerna mjesta i mjerni priključci kotla K3 i plinskih turbina u pogonu TE-TO Zagreb.

Sukladno Uredbi, na zajedničkom ispustu (betonski dimnjak visine 200 m) za velike uređaje za loženje: K3 (blok C), PK3, VK3, VK4, VK5 i VK6, jednom godišnje se kontinuirano mjere emisije SO₂, NO_x, CO i krutih čestica, te koncentracija kisika, temperatura i protok dimnih plinova. Mjerno mjesto je na 35 metara visine. Mjerna mjesta prilikom povremenih mjerenja emisija se nalaze na dimnovodnim kanalima pojedinog kotla (EKONERG d.o.o.; 2015APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2013).

Na ispustu plinsko-turbinskog kogeneracijskog bloka L (dimnjak PT3) kontinuirano se mjere emisije CO i NO_x, te dimni broj, temperatura i protok dimnih plinova. Mjerno mjesto je na 50 metara visine 60 metarskog dimnjaka (EKONERG d.o.o., 2015). Na istom ispustu, mjere se povremeno emisije SO₂, volumni sadržaj O₂, te masene koncentracije krutih čestica u dimnim plinovima.

Na ispustima plinsko-turbinskog kogeneracijskog bloka K (dimnjaci PT1 i PT2) kontinuirano se mjere emisije SO₂, NO_x, CO i krutih čestica, te dimni broj, volumni udio kisika (O₂) i temperatura dimnih plinova. Mjerno mjesto je na 50 metara visine 60 metarskog dimnjaka (EKONERG d.o.o., 2015).

Sva korištena mjerna oprema je u izvedbi *in situ*, što znači da su mjerni osjetnici smješteni u tok dimnih plinova.

U nastavku su navedeni postupci i uređaji za mjerenje koncentracije onečišćujućih tvari u dimnim plinovima, temperature dimnih plinova i okolišnih uvjeta.



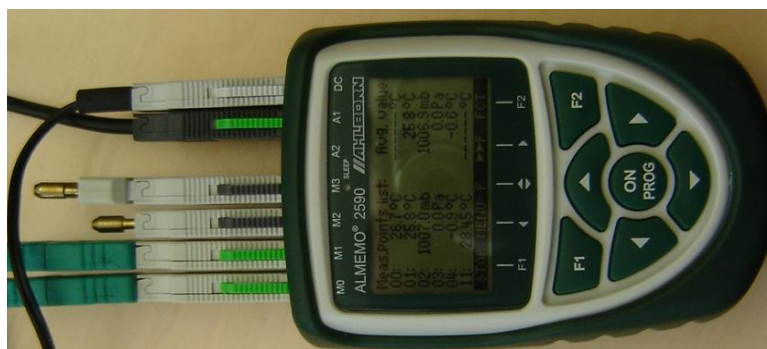
Slika 4-20. Analizator dimnih plinova PG-250A (EKONERG d.o.o., 2015)



Slika 4-21. Peltier hladnjak (EKONERG d.o.o., 2015)



Slika 4-22. Sick Gravimat SHC 501 (EKONERG d.o.o., 2015)



Slika 4-23. Univerzalni mjerni instrument Almemo 2590-4S (EKONERG d.o.o., 2015)

- Mjerenje koncentracije plinovitih onečišćujućih tvari

Analizator dimnih plinova PG-250A i Peltier hladnjak prikazani su na slikama 4-20 i 4-21. Mjere volumne udjele SO_2 , CO i CO_2 metodom nedisperzivne infracrvene apsorpcije (*engl. NDIR, non-dispersive infrared method*), dok se mjerenje volumnog udjela NO_x provodi metodom kemijske luminisencije (*engl. chemiluminescence method*). Analizator dimnih plinova PG-250A mjeri volumni udio O_2 elektrokemijskom metodom, a analizator dimnih plinova PG-250SRM mjeri volumni udio O_2 paramagnetskom metodom. Provjera analizatora dimnih plinova PG-250A i PG-250SRM provedena je na mjernom mjestu svaki dan pomoću smjesa plinova prije početka i po završetku mjerenja emisija. Podaci o svim provedenim provjerama i certifikatima raspoloživi su na uvid u dokumentaciji Ispitnog laboratorija (EKONERG d.o.o., 2015).

- Mjerenje masene koncentracije krutih čestica

Mjerenja masenih koncentracija krutih čestica provedena su pomoću uređaja Sick Gravimat SHC 501 prikazanim na slici 4-22. Namijenjen je za mjerenje emisije krutih čestica u vlažnim dimnim plinovima. Plinovi se odsisavaju izokinetički kroz sisaljke koje se učvršćuju u glavi mjerne sonde. Prije mjerenja na sisaljke se učvršćuje filter koji sa sisaljkom čini cjelinu tokom cijelog mjernog postupka uključujući i vaganje. Prije i nakon mjerenja provedeno je sušenje i vaganje mjernih sisaljki u istim uvjetima (temperatura sušenja $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperiranje u eksikatoru) (EKONERG d.o.o., 2015).

- Mjerenje temperature dimnih plinova i okolišnih uvjeta

Temperatura dimnih plinova određena je pomoću otpornog Pt 100 termometra u sklopu Gravimat-a ili pomoću univerzalnog mjernog instrumenta Almemo 2590-4S koji je prikazan na slici 4-23 i termoelementa NiCr-Ni duljine 160 cm. Termoelement je ugrađen u

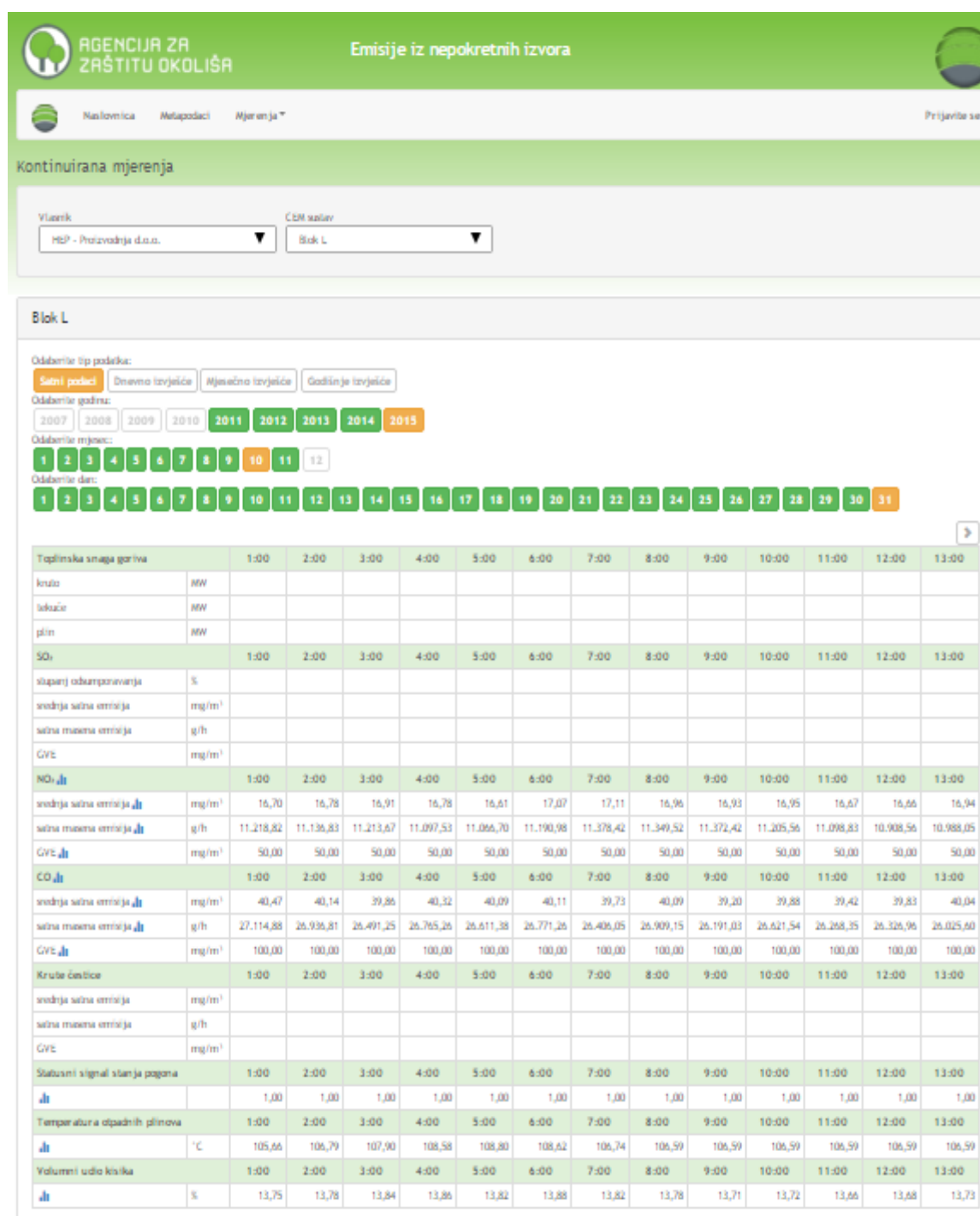
sondu pomoću koje je provedeno uzorkovanje dimnih plinova radi mjerenja emisija. Temperatura okoline i barometarski tlak također su mjereni pomoću univerzalnog mjernog instrumenta Almemo 2590-4S i termoelementa NiCr-Ni te barometra.

Prema *Zakonu o zaštiti zraka* (NN 130/11, 47/14) i *Pravilniku o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora* (NN 129/12) vlasnici nepokretnih izvora, u koje se svrstava i TE-TO Zagreb, koji imaju uspostavljeno kontinuirano mjerenje emisija, obvezni su osigurati kontinuirani prijenos podataka o izmjerenim emisijskim vrijednostima računalnom mrežom u *Agenciju za zaštitu okoliša* (AZO).

AZO je neovisna javna ustanova osnovana odlukom Vlade Republike Hrvatske za prikupljanje, objedinjavanje i obradu podataka o okolišu. AZO izrađuje baze podataka s ciljem praćenja ispuštanja onečišćujućih tvari u sve sastavnice okoliša (zrak, voda/more i tlo) te nastajanja otpada, kao i praćenja količina i vrsta opasnih tvari u postrojenjima, bilo u cilju sprječavanja velikih nesreća, bilo u cilju osiguranja integriranog pristupa zaštiti okoliša te efikasnije zaštite ljudskog zdravlja (AZO, 2015).

Na temelju prikupljenih i obrađenih podataka iz godišnjih izvješća o mjerenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora te drugih raspoloživih podataka o emisijama, AZO izrađuje godišnje izvješće o praćenju emisija na teritoriju Republike Hrvatske i dostavlja ga Ministarstvu do 31. srpnja tekuće godine za proteklu kalendarsku godinu (AZO, 2015).

Na slici 4-24 je prikazano kako izgleda internet stranica AZO, na kojoj su u tablici prikazani rezultati kontinuiranih mjerenja emisija onečišćujućih tvari iz nepokretnog izvora (dimnjak PT3 bloka L TE-TO Zagreb). Osim navedene web stranice, i HEP ima svoju web stranicu na kojoj su javno dostupna godišnja izvješća s opisanim utjecajima na okoliš te poduzetim mjerama za njihovo sprečavanje.



Slika 4-24. Rezultati kontinuiranih mjerenja emisija onečišćujućih tvari iz TE-TO Zagreb (AZO, 2015)

5. USKLAĐENOST POSTROJENJA TE-TO ZAGREB SA ZAHTJEVIMA DIREKTIVE O INDUSTRIJSKIM EMISIJAMA

Kao što je objašnjeno u 3. poglavlju, rješenje o okolišnoj dozvoli preduvjet je za nastavak rada postojećih i jedan od preduvjeta za ishođenje uporabne dozvole za rekonstrukciju postojećih i izgradnju novih termoeenergetskih postrojenja nazivne toplinske snage veće od 50 MW. Cilj HEP-a je da primjenom najboljih raspoloživih tehnika (NRT), omogući nastavak rada termoeenergetskih postrojenja (za koja je to izvedivo s obzirom na njihov životni vijek) nakon 1. siječnja 2018. do kada se njihov rad mora uskladiti s graničnim vrijednostima prema Direktivi 2010/75/EU o industrijskim emisijama (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).

Ishođenje okolišne dozvole za neko postrojenje zasniva se na zadovoljenju graničnih vrijednosti emisija dostižnih primjenom NRT-a. Dakle, za termoeenergetska postrojenja toplinske snage goriva iznad 50 MW treba prema *IED-u*, odnosno prema *Uredbi o okolišnoj dozvoli* (NN 8/2014), utvrditi usklađenost postrojenja s rasponima vrijednosti emisija dostižnih primjenom NRT (NRT-GVE).

Usporedba NRT-GVE prema *Uredbi o okolišnoj dozvoli* i *IED-u* nema smisla jer se radi o istim rasponima vrijednosti navedenim u relevantnim RDNRT-ima, odnosno njihovim zaključcima (Babačić i Begović, 2013). Naime, *IED* za velike termoeenergetske uređaje, osim raspona NRT-GVE-a, definira i nove sektorske granične vrijednosti emisija (GVE) u zrak za NO_x, SO₂, CO i krute čestice. Ove granične vrijednosti emisija možemo shvatiti kao minimalne obvezujuće GVE. *IED* u određenim slučajevima za velike termoeenergetske uređaje omogućava propisivanje i manje strožih GVE-a od relevantnih NRT-GVE-a, ali koje nikako ne smiju biti veće od minimalnih obvezujućih GVE propisanih *IED-om* odnosno *Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora* (NN 117/2012). Osim toga, *IED* za "stare" termoeenergetske uređaje omogućava korištenje različitih izuzeća glede zadovoljavanja minimalnih obvezujućih GVE (Babačić i Begović, 2013).

Stoga se usporedba graničnih vrijednosti emisija povezanih s primjenom *Uredbe o okolišnoj dozvoli* i *IED-om* svela na usporedbu minimalnih obvezujućih graničnih vrijednosti emisija (GVE) propisanih *IED-om* za NO_x, SO₂, CO i krute čestice s rasponima emisija u zrak (NRT-GVE) određenih *Referentnim dokumentom o najboljim raspoloživim tehnikama za velike termoeenergetske uređaje* (VTU RDNRT).

U tablicama 5-1., 5-2. i 5-3. prikazane su granične vrijednosti emisija (GVE) za glavne onečišćujuće tvari propisane Direktivom 2010/75/EU (*IED*), rasponi vrijednosti emisija (NRT-GVE) prema Referentnom dokumentu o NRT za velike termoeenergetske uređaje ložene tekućim odnosno plinskim gorivom, te NRT koje omogućuju postizanje GVE odnosno NRT-GVE.

NRT-GVE lebdećih čestica i SO₂, kao i NRT za smanjenje njihovih emisija, nisu propisane za slučaj velikih termoeenergetskih uređaja loženih prirodnim plinom (vidi tablice 5-2 i 5-3) jer su pri izgaranju prirodnog plina emisije SO₂ i lebdećih čestica vrlo niske ili zanemarive. Emisije SO₂ obično su znatno ispod 10 mg/m³, a emisije lebdećih čestica znatno ispod 5 mg/m³, i to bez primjene bilo kakvih dodatnih tehničkih mjera za smanjenje emisija (European Commission, 2006). Međutim, u slučajevima gdje se koriste drugi industrijski plinovi (npr. rafinerijski plin ili plin iz visoke peći), potrebno je primjeniti odgovarajuće mjere za smanjenje emisija SO₂ i lebdećih čestica koje se smatraju NRT-om (npr. odsumporavanje plinskog goriva, uklanjanje lebdećih čestica iz plina primjenom vrećastih filtara ili elektrostatičkih taložnika).

U skladu s kumulacijskim pravilom *IED*-a kotlovi: VK3, VK4, VK5, VK6, PK3 i K3 TE-TO Zagreb spojeni na zajednički dimnjak su jedan veliki "stari" uređaj za loženje nazivne toplinske snage goriva 828 MW. Nazivna toplinska snaga goriva ovakvog, zajedničkog termoeenergetskog uređaja računa se zbrajanjem nazivnih toplinskih snaga goriva pojedinih uređaja čija je snaga jednaka ili veća od 15 MW. Uređaj spada u velike termoeenergetske uređaje koji podliježu odredbama poglavlja III *IED*-a ako mu je na prethodni način određena nazivna toplinska snaga goriva jednaka ili veća od 50 MW (Direktiva 2010/75/EU).

U tablici 5-4. je dana usporedba emisija onečišćujućih tvari u zrak iz proizvodnih jedinica TE-TO Zagreb spojenih na zajednički dimnjak visine 200 metara s minimalnim obvezujućim GVE-ima prema *IED*-u i rasponima emisija u zrak (NRT-GVE) propisanih VTU RDNRT-om (*engl.* LCP BREF).

Kao što je prethodno spomenuto, *IED* razlikuje "stare" ("postojeće") i "nove" termoeenergetske uređaje. "Stari" veliki termoeenergetski uređaji su oni čija je okolišna dozvola odobrena prije 7. siječnja 2013. godine ili za koje je zahtjev za dozvolu podnesen prije tog datuma te ako je uređaj u pogonu najkasnije do 7. siječnja 2014. Sukladno tome vrijednosti GVE se odnose na "stare" odnosno postojeće termoeenergetske uređaje.

Kotlovi: VK3, VK4, VK5, VK6, PK3 i K3 predstavljaju velike uređaje za loženje i ne zadovoljava minimalne obvezujuće GVE određene *IED*-om i NRT-GVE propisane VTU RDNRT-om za NO_x kod izgaranja prirodnog plina i loživog ulja te SO₂ i krutih čestica kod izgaranja loživog ulja. Ove emisije treba primjenom najboljih raspoloživih tehnika (NRT-a) uskladiti s GVE-ima propisanim *IED*-om, odnosno s rasponima emisija (NRT-GVE) propisanim VTU RDNRT-om na koji se *IED* poziva.

U tablicama 5-5 i 5-6 prikazane su usporedbe emisija u zrak iz plinskih turbina kombi-kogeneracijskih blokova K i L s minimalnim obvezujućim GVE-ima prema *IED*-u i rasponima emisija u zrak (NRT-GVE) propisanih VTU RDNRT.

Prema *IED*-u, sve tri plinske turbine blokova K i L su velike „stare“ plinske turbine, odnosno blokovi K i L su veliki "stari" kombi-kogeneracijski blokovi (dozvola odobrena prije 7. siječnja 2013. godine i u pogonu najkasnije do 7. siječnja 2014. godine) (Direktiva 2010/75/EU).

Plinske turbine PT1, PT2 i PT3 kombi-kogeneracijskih blokova K i L TE-TO Zagreb imaju prema *IED*-u status velikih "starih" plinskih turbina koje zadovoljava minimalne obvezujuće GVE i NRT-GVE kod izgaranja prirodnog plina. Kod izgaranja tekućeg goriva plinske turbine PT1 i PT2 bloka K ne zadovoljavaju minimalne obvezujuće GVE i NRT-GVE za NO_x. Međutim, kako se radi o rezervnom gorivu koje se koristi samo u nuždi možemo smatrati da i kombi-kogeneracijski blok K u normalnom radu zadovoljava odredbe *IED*-a i VTU RDNRT-a.

Rasponi izmjerenih vrijednosti emisija u zrak iz pogonskih jedinica TE-TO Zagreb, prikazani u 4. stupcu tablica 5-4, 5-5 i 5-6, temelje se na rezultatima povremenih mjerenja provedenih u razdoblju od 2007. do 2014. godine (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012b; EKONERG d.o.o., 2015). Sve vrijednosti emisija u tablicama iskazane su masenom koncentracijom onečišćujućih tvari u suhom dimnom plinu pri standardnim uvjetima (temperaturi 0 °C i tlaku 101,3 kPa), uz volumni udio kisika od 3 % u slučaju vrelovodnih kotlova (tablica 5-4) odnosno 15 % u slučaju plinskih turbina (tablice 5-5 i 5-6).

Tablica 5-1. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak za velike termoenergetske uređaje ložene tekućim gorivom (Direktiva 2010/75/EU i RDNRT za velike termoenergetske uređaje)

Ukupna toplinska snaga (MW)	Onečišćujuća tvar	GVE (mg/m ³)		NRT-GVE (mg/m ³)		NRT
		Nova postrojenja	Postojeća postrojenja	Nova postrojenja	Postojeća postrojenja	
50 do 100	SO ₂	350	350	100 - 350	100 - 350	PM, FGD, STPG
	NO _x	300	450	150 - 300	150 - 450	PM SCR ili SNCR
	CO	-	-	30 - 50	30 - 50	PI
	krute čestice	20	30	5 - 20	5 - 30	ESP ili FF
100 do 300	SO ₂	200	250	100 - 200	100 - 250	PM, FGD, STPG
	NO _x	150	200	50 - 150	50 - 200	PM SCR ili SNCR
	CO	-	-	30 - 50	30 - 50	PI
	krute čestice	20	25	5 - 20	5 - 25	ESP ili FF ESP/FF-FGD
> 300	SO ₂	150	200	50 - 150	50 - 200	PM, FGD, STPG
	NO _x	100	150	50 - 100	50 - 150	PM SCR ili SNCR
	CO	-	-	30 - 50	30 - 50	PI
	krute čestice	10	20	5 - 10	5 - 20	ESP ili FF ESP/FF-FGD

Ukupna toplinska snaga (MW) – maksimalna toplina utrošenog goriva u jedinici vremena određena prema donjoj toplinskoj vrijednosti goriva, pri temperaturi od 273,15 K i tlaku od 101,3 kPa

GVE – granične vrijednosti emisija propisane *Direktivom 2010/75/EU o industrijskim emisijama* odnosno *Uredbom o GVE onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora* (NN 117/2012)

NRT-GVE – rasponi vrijednosti emisija prema RDNRT za velike termoenergetske uređaje (European Commission, 2006)

ESP – elektrostatički taložnik (*electrostatic precipitator*)

FF – tkaninski filtar (*fabric filter*)

FGD – odsumporavanje dimnih plinova (*flue-gas desulphurisation*)

PM – primarne mjere za smanjenje SO_x ili NO_x (gorivo s niskim sadržajem S, plamenici s niskom emisijom NO_x, stupnjevani dovod goriva i zraka, recirkulacija dimnih plinova, i dr.)

STPG – suspaljivanje tekućeg i plinskog goriva

PI – potpuno izgaranje (postiže se raznim mjerama koje uključuju dobru konstrukciju, regulaciju, kontrolu učinkovitosti i održavanje sustava izgaranja)

Tablica 5-2. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak za velike termoenergetske uređaje ložene plinskim gorivom (Direktiva 2010/75/EU i RDNRT za velike termoenergetske uređaje)

Vrsta postrojenja	Onečišćujuća tvar	GVE (mg/m ³)		NRT-GVE (mg/m ³)		NRT
		Nova postrojenja	Postojeća postrojenja	Nova postrojenja	Postojeća postrojenja	
Plinske turbine (uključujući CCGT)	SO ₂	-	-	-	-	-
	NO _x	50	50 75 ⁽²⁾ 120 ⁽³⁾	20 - 50	50 - 90 20 - 90 ⁽⁴⁾ 20 - 75 ⁽⁵⁾	PM SCR ili SNCR
	CO	100	100	5 - 100	30 - 100	PI
	krute čestice	-	-	-	-	-
Plinski motori	SO ₂	-	-	-	-	-
	NO _x	75	100	20 - 75	20 - 100	PM SCR
	CO	100	100	30 - 100	30 - 100	PI
	krute čestice	-	-	-	-	-
Parni kotlovi	SO ₂	35 5 ⁽¹⁾	35 5 ⁽¹⁾	-	-	-
	NO _x	100	100	50 - 100	50 - 100	PM SCR ili SNCR
	CO	100	100	30 - 100	30 - 100	PI
	krute čestice	5	5	-	-	-

⁽¹⁾ Izgaranje ukapljenog plina

⁽²⁾ U sljedećim slučajevima gdje je učinkovitost (stupanj djelovanja) plinske turbine utvrđena pri uvjetima opterećenja definiranim ISO standardima:

- plinske turbine koje se koriste u kombiniranim sustavima za proizvodnju toplinske i električne energije čija je ukupna učinkovitost veća od 75%
- plinske turbine koje se koriste u pogonima s kombiniranim ciklusom proizvodnje čija je ukupna učinkovitost veća od 55%.

⁽³⁾ Izgaranje ostalih plinskih goriva (osim prirodnog plina)

⁽⁴⁾ NRT-GVE za postojeće CCGT ⁽⁵⁾ za postojeće turbine s *Dry low NO_x (DLN)* plamenicima

Plinske turbine – rotacijski stroj koji pretvara toplinsku energiju goriva u koristan rad (vrući plinovi nastali izgaranjem izravno se provode kroz turbinu radi pretvorbe u mehaničku energiju).

Plinski motori – motori s unutarnjim izgaranjem koji rade prema Otto ciklusu s paljenjem na iskru, a u slučaju motora sa kombiniranim gorivom s paljenjem na kompresiju.

CCGT – *Combined cycle gas turbine* (plinske turbine s kombiniranim ciklusom)

Tablica 5-3. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak za plinske turbine (uključujući i one s kombiniranim ciklusom - CCGT) koje koriste lake i srednje destilate kao tekuća goriva (Direktiva 2010/75/EU i RDNRT za velike termoelektrične uređaje)

Vrsta postrojenja	Onečišćujuća tvar	GVE (mg/m ³)		NRT-GVE (mg/m ³)		NRT
		Nova postrojenja	Postojeća postrojenja	Nova postrojenja	Postojeća postrojenja	
Plinske turbine (uključujući CCGT)	SO ₂	-	-	-	-	-
	NO _x	50	90	20 - 50	50 - 90 20 - 90 ⁽¹⁾	PM SCR ili SNCR
	CO	100	100	5 - 100	30 - 100	PI
	krute čestice	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ NRT-GVE za postojeće CCGT

Tablica 5-4. Usporedba emisija iz zrak iz pogonskih jedinica TE-TO Zagreb spojenih na zajednički dimnjak s propisanim GVE

TE-TO Zagreb	Gorivo i toplinska snaga goriva	Onečišćujuća tvar	Emisije u zrak* (mg/m ³)	GVE (mg/m ³)	NRT-GVE (mg/m ³)
Betonski dimnjak 202 m zajednički ispust kotlova: VK3, VK4, VK5, VK6, PK3 i K3	PP 828 MW	CO	0 - 157**	100	30 - 100
		SO ₂	0 - 40**	35	-
		NO _x	91 - 325	100	50 - 100
		Krute čestice	≤ 5	5	-
	LUT 828 MW	CO	1 - 546	-	30 - 50
		SO ₂	2007 - 3783	200	50 - 200
		NO _x	452 - 924	150	50 - 150
		Krute čestice	32 - 312	20	5 - 20

* Rasponi vrijednosti emisija u zrak, izmjerenih povremenim mjerenjima u razdoblju od 2007. do 2014. godine (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a i 2012b; EKONERG d.o.o., 2015)

** Prosječna vrijednost emisije je niža od GVE (kod izgaranja PP, emisija CO iz svih kotlova, osim VK4, niža je od 67 mg/m³)

PP – prirodni plin LUT – loživo ulje teško

Emisija iz uređaja za loženje prekoračuje propisanu GVE.

Tablica 5-5. Usporedba emisija u zrak iz bloka K TE-TO Zagreb s propisanim GVE

TE-TO Zagreb	Gorivo i toplinska snaga goriva	Onečišćujuća tvar	Emisije u zrak* (mg/m ³)	GVE (mg/m ³)	NRT-GVE (mg/m ³)
Blok K Dimnjak PT1 Dimnjak PT2	PP 205 MW	CO	7 - 76	100	5 - 100
		NO _x	10 - 31	75	20 - 75
	SLLU 205 MW	CO	18	100	5 - 100
		NO _x	117	90	20 - 90

PP – prirodni plin

SLLU – specijalno lako loživo ulje (plinsko ulje)

Emisija iz plinske turbine prekoračuje propisanu GVE.

Tablica 5-6. Usporedba emisija u zrak iz bloka L TE-TO Zagreb s propisanim GVE

TE-TO Zagreb	Gorivo i toplinska snaga goriva	Onečišćujuća tvar	Emisije u zrak* (mg/m ³)	GVE (mg/m ³)	NRT-GVE (mg/m ³)
Blok L Dimnjak PT3	PP 214 MW	CO	4 - 6	100	5 - 100
		NO _x	15 - 25	50	20 - 50

* Rasponi vrijednosti emisija u zrak, izmjerenih povremenim mjerenjima u razdoblju od 2007. do 2014. godine (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a i 2012b; EKONERG d.o.o., 2015)

6. PRIJEDLOG MJERA POTREBNIH ZA SMANJIVANJE EMISIJA U ZRAK

Sva termoelektrična postrojenja HEP-a se moraju uskladiti s graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz *IED*-a odnosno vrijednostima dostižnim primjenom NRT-a do isteka prijelaznog perioda (31.12.2017). U suprotnom, nakon isteka navedenog roka, slijedi zabrana rada proizvodnih jedinica (Roksa i Babačić, 2012).

Prema vrijednostima emisija danim u tablicama 5-4, 5-5 i 5-6, jedino plinske turbine kombi-kogeneracijskih blokova K i L TE-TO Zagreb pri izgaranju prirodnog plina u potpunosti zadovoljavaju GVE određene *IED*-om i NRT-GVE određene *Referentnim dokumentom o najboljim raspoloživim tehnikama za velike termoelektrične uređaje* (VTU RDNRT, engl. LCP BREF).

Uz propisane razine emisija u zrak (NRT-GVE), u zaključcima o NRT-ima u *Referentnom dokumentu o najboljim raspoloživim tehnikama za velike termoelektrične uređaje* (VTU RDNRT, engl. LCP BREF) navedene su i tehnike (NRT) koje mogu zadovoljiti propisane razine emisija. Usklađivanje emisije u zrak iz nekog postrojenja s odredbama *IED*-a, odnosno zahtjevima VTU RDNRT-a, nije trivijalan problem jer je odabir nekog NRT-a i ugradnja u postojeće postrojenje tehnički složen i neizvjestan posao HEP Proizvodnja d.o.o., 2011b). Stoga su u nastavku samo navedeni glavni elementi za izbor NRT-a čijom primjenom je moguće postići tražene GVE, odnosno NRT-GVE.

Ključ usklađivanja emisija u zrak svih kotlova spojenih na zajednički dimnjak leži u načinu usklađenja kotla K3 (384 MW_{tg}) bloka C koji je bazna proizvodna jedinica ogrjevnog konzuma tijekom zimskih mjeseci. Rješenje treba tražiti u različitim kombinacijama primarnih i sekundarnih mjera smanjivanja emisija u zrak, izgradnji novih zamjenskih postrojenja, prestanku rada 1. siječnja 2018. godine i zamjeni tekućeg goriva prirodnim plinom (samo ukoliko se zamjenom plamenika kotlova K3, VK5 i VK6 kod izgaranja prirodnog plina postigne $\text{NO}_x \leq 100 \text{ mg/m}^3$) (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).

Općenito za uređaje za loženje na kruta i tekuća goriva, u skladu sa zaključcima VTU RDNRT, smatra se da je NRT za smanjenje emisije SO₂:

- korištenje goriva s niskim sadržajem sumpora kao primarna mjera i/ili
- odsumporavanje dimnih plinova kao sekundarna mjera.

Odsumporavanje se može podijeliti na regenerativne i ne-regenerativne procese. U ne-

regenerativnim postupcima reagens se troši jer ostaje vezan u produktima odsumporavanja koji se ili trajno odlažu ili služe kao sirovina u cementnoj i građevinskoj industriji. Kod regenerativnog odsumporavanja produkti se regeneriraju te se reagens može ponovno upotrijebiti, a koncentrirani SO₂ se izdvaja i potom prerađuje u konačni proizvod, najčešće u sumpornu kiselinu ili elementarni sumpor. Regenerativni procesi su tehnološki složeniji te stoga i znatno skuplji od ne-regenerativnih postupaka. Regenerativne i ne-regenerativne procese možemo podijeliti na vlažne i suhe (te polusuhe) (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).

Kod suhih i polusuhih postupaka konačni proizvod je suha praškasta tvar koja se, zajedno s viškom reagensa i letećom prašinom, izdvaja iz plinova u elektrostatičkom taložniku (*eng. ESP, Electrostatic Precipitator*) ili vrećastom filtru (*eng. FF, Fabric Filter*) (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).

1) Ne-regenerativni postupci odsumporavanja:

Suhi postupak:

- suho odsumporavanje (*eng. Dry sorbent injection*)- mogućnost smanjenja SO₂ za 30 % do 80 %,

Polusuhi postupak:

- odsumporavanje korištenjem skrubera za suho odsumporavanje s raspršivačem (*engl. Spray dryer absorption*) - mogućnost smanjenja SO₂ za 85 % – 92 %,

Mokri postupci:

- odsumporavanja mokrim ispiranjem s vapnencem (*engl. Limestone scrubbing*)- mogućnost smanjenja SO₂ za 92 % – 98 %
- odsumporavanja mokrim ispiranjem s vapnencem (*engl. Lime scrubbing*)- mogućnost smanjenja SO₂ za 92 % – 98 %
- odsumporavanja mokrim ispiranjem s amonijakom (*engl. Ammonia wet scrubbing*)- mogućnost smanjenja SO₂ za ≤ 90 %

2) Regenerativni postupci odsumporavanja:

Suhi postupak:

- Proces s aktivnim ugljenom (*eng. Activated carbon process*)- mogućnost smanjenja SO₂ za 95 % – 98 %

Mokri postupak:

- DESONOX proces- mogućnost smanjenja SO₂ za 90 % – 98 %

TE-TO Zagreb nema ugrađenu nijednu od tehnologija za redukciju SO₂ iz dimnih plinova. Potrebni stupanj odsumporavanja za TE-TO Zagreb možemo postići svim regenerativnim postupcima te polusuhim ili vlažnim ne-regenerativnim postupcima. Osim o stupnju izdvajanja SO₂, kod izbora postupka odsumporavanja treba voditi računa o smještaju uređaja (prije ili nakon filtra za prašinu), investicijskim troškovima, pogonskim troškovima (posebice glede cijene i mogućnosti nabavke reagensa) te produkciji otpadnih tvari i njihovom zbrinjavanju. Kod uređaja za loženje koji otpadne plinove ispuštaju kroz zajednički dimnjak, kao što je to slučaj kod kotlova TE-TO Zagreb, postoji dilema da li ugraditi jedan zajednički uređaj ili više uređaja za odsumporavanje, te kako ih kombinirati sa mjerama za uklanjanje NO_x (SNCR/SCR) i krutih čestica (ESP/FF) (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).

Za smanjenje emisija NO_x iz mogu se primjeniti sljedeće primarne mjere (European Comission, 2006):

- smanjenje viška zraka (eng. *Low Excess Air*) – moguće smanjenje emisija NO_x za 10 % do 44 %,
- recirkulacija dimnih plinova u ložištu (eng. *Flue Gas Recirculation*) – moguće smanjenje emisija NO_x za 20 % do 50 %,
- stupnjevani dovod goriva (eng. *Fuel Staging*) – moguće smanjenje emisija NO_x do za 50 % do 60 %,
- stupnjevano dovođenje zraka u ložište (eng. *Air Staging*) – moguće smanjenje emisija NO_x za 45 % (za uređaje ložene uljem) i 65 % za uređaje ložene plinom),
- primjena plamenika s niskom emisijom NO_x (eng. *Low NOx Burners*) – moguće smanjenje emisija NO_x za 25 % do 60 %,
- ubrizgavanje vode ili vodene pare u zrak za izgaranje (eng. *Diluent injection*) – moguće smanjenje emisija NO_x za 40 % do 75 %,
- isključivanje pojedinih plamenika (eng. *Burners Out Of Service*)- moguće smanjenje emisija NO_x za 20 % do 70 %.

Kontrola procesa izgaranja održavanjem omjera dovedenog i teoretski potrebnog volumena zraka u ložištu tj. koeficijenta viška zraka (λ) u optimalnim granicama važna je primarna mjera za smanjenje emisije NO_x. Kada je zraka premalo, dolazi do nepotpunog izgaranja što izaziva nepotrebne toplinske gubitke. Ako je zraka previše, povećava se masa dimnih

plinova što s jedne strane izaziva gubitak zbog sniženja temperature izgaranja, a s druge strane toplinski gubitak na izlazu zbog povećane mase. Mjerenjem sastava dimnih plinova moguće je odrediti gubitke nepotpunog izgaranja i vrijednost koeficijenta viška zraka (Tomšić, 2015).

Ako se primarnim mjerama i korištenjem kvalitetnijeg tekućeg goriva u kotlovima ne bude mogla postići zadovoljavajuća emisija NO_x nužne su sekundarne mjere *npr.* (European Comission, 2006):

- selektivna katalitička redukcija (eng. *Selective Catalytic Reduction*) moguće smanjenje emisija NO_x za 80 % do 95 %,
- selektivna nekatalitička redukcija (eng. *Selective Non Catalytic Reduction*) moguće smanjenje emisija NO_x za 60 % do 80 %.

Dušikovi oksidi se danas sve više odstranjuju iz dimnih plinova postupcima selektivne nekatalitičke (SNCR) i selektivne katalitičke redukcije (SCR) (Salopek, et al. 1994). Redukcija se provodi uz pomoć tvari koju nazivamo *reducens* koji je u slučaju NO_x spojeva amonijak (NH_3) ili urea.

Kod selektivne nekatalitičke redukcije (SNCR) *reducens* (amonijak ili otopina uree) raspršuje se direktno u prostor ložišta i reagira s NO_x , koji se reduciraju u N_2 i H_2O . Reakcija se odvija pri temperaturi između 850 °C i 1000 °C (Pašalić i Smolčić 2006). Prednost nekatalitičke redukcije je u tome što ne koristi katalizator pa nema dodatnog otpada, dok je nedostatak potrebna veća temperatura za reakciju i izdvajanje samo 50 % NO_x (Salopek et al. 1994).

Kod postupka selektivne katalitičke redukcije (SCR) amonijak pomiješan sa zrakom dodaje se otpadnom plinu, te prolaskom plina kroz keramički katalizator amonijak reagira s NO_x . Produkt reakcije su dušik i vodena para. Katalizator se sastoji od keramičke mase sačaste strukture u kojoj se nalazi aktivna komponenta koju čini smjesa titanovog (II) oksida (TiO), vandijevog (V) oksida (V_2O_5) i volframovog (VI) oksida (WO_3). Da bi se povećala kontaktna površina katalizator je konstruiran kao sačasta struktura, dok je veličina pojedinih keramičkih elemenata (150 x 150 x 990 mm) (Salopek et al. 1994).

Za učinkovitu redukciju NO_x iz dimnih plinova potrebna je temperatura između 130 °C i 400 °C (Pašalić i Smolčić 2006). Prednost katalitičke redukcije je visoka efikasnost (uklanja i do 90 % NO_x) i niža temperatura, dok je nedostatak korištenje katalizatora koji poskupljuje proces.

Mogući položaji SCR uređaja kod uređaja za loženje su (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a):

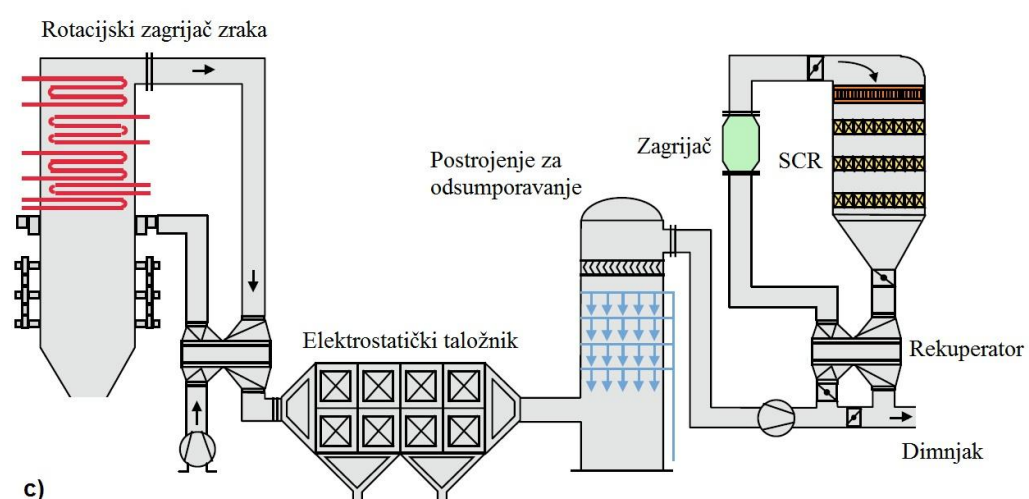
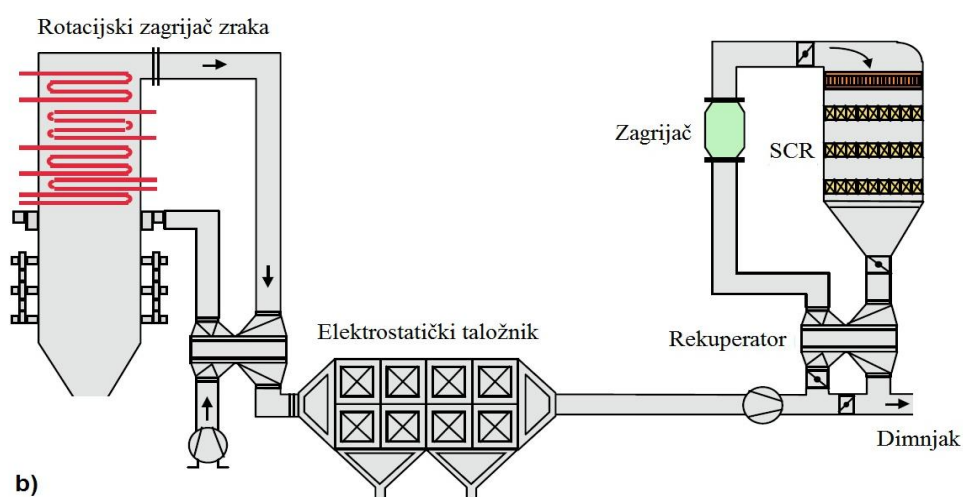
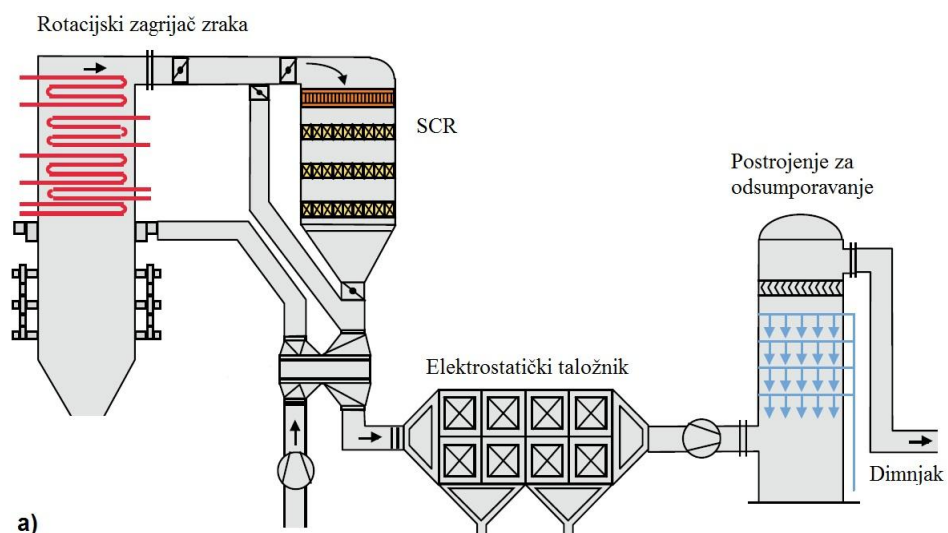
- a) prije rotacionog zagrijača zraka (engl. high dust),
- b) iza elektrostatičkog taložnika (engl. low dust) i
- c) prije dimnjaka (engl. tail end).

Kod smještaja SCR između rotacionog zagrijača zraka (engl. *Rotary Air Heater - RAH*) i elektrostatičkog taložnika (engl. *Electrostatic Precipitator - ESP*), katalizator bi bio izložen visokoj koncentraciji prašine i SO₂ (slika 6-1a). Ovako smješten SCR je investicijski najisplativije rješenje (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).

Kod smještaja SCR iza elektrostatičkog taložnika (slika 6-1b) katalizator bi bio izložen visokoj koncentraciji SO₂ i niskoj koncentraciji prašine. Glavni nedostatak ovog rješenja je niska temperatura dimnih plinova iza elektrostatičkog taložnika (ESP). Stoga bi dimne plinove prije ulaska u SCR trebalo zagrijati na barem 225 °C, što znatno poskupljuje investiciju, pogonske troškove i troškove održavanja, a morali bi koristiti i znatno skuplji katalizator. Katalizator se bira prema temperaturi otpadnih plinova (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).

Smještaj SCR ispred dimnjaka (slika 6-1c) je kod naknadne ugradnje tehnički najjednostavnije rješenje, a katalizator bi bio izložen samo niskoj koncentraciji SO₂ i prašine. Temperatura dimnih plinova je još niža nego kod prethodno navedenog primjera stoga je potrebno koristiti znatno skuplji katalizator s plemenitim metalom (platina ili paladij na osnovi od Al₂O₃) koji uz to ima relativno nizak stupanj uklanjanja NO_x. Troškovi ulaganja, pogonski troškovi i troškovi održavanja su veći nego kod smještaja SCR iza elektrostatičkog taložnika. Riječ je o velikom ulaganju te izvođač treba garantirati za granične vrijednosti, prvenstveno se misli na stupanj uklanjanja dušikovih oksida (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).

U ovom trenutku, bez dodatnih mjerenja i analiza nije moguće odgovoriti koja je kombinacija NRT-a za uklanjanje NO_x, SO_x i krutih čestica iz otpadnih plinova optimalan izbor za neko postrojenje HEP-a.



Slika 6-1. Mogući položaji SCR uređaja kod uređaja za loženje (APO d.o.o. i EKONERG d.o.o., 2012a).

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je utjecaj termoenergetskih postrojenja na okoliš, tehnologije odnosno mjere kojima se nastoji smanjiti negativni utjecaji, te mogućnost usklađivanja rada energetskih pogona sa zahtjevima relevantne zakonske regulative iz područja zaštite okoliša na primjeru TE-TO Zagreb.

Potencijalni utjecaji termoenergetskih postrojenja na okoliš su brojni i oni se ne mogu u potpunosti izbjeći ali potrebno je učiniti svaki napor da se svedu na najmanju moguću mjeru. Veličina i vrste utjecaja ovise o mnogim faktorima, a prije svega vrsti korištenog goriva, veličini pogona za energetsku pretvorbu (količini izgaranja), primjenjenoj tehnologiji izgaranja i provedenim mjerama zaštite okoliša. Odgovorno ponašanje prema okolišu i primjena učinkovitog sustava upravljanja okolišem (SUO), npr. SUO koji primjenjuje TE-TO Zagreb prema zahtjevima međunarodne norme ISO 14001:2004, može znatno utjecati na smanjenje troškova i štetnih emisija u okoliš.

Kako bi se osiguralo sprječavanje i kontrola onečišćenja okoliša, europskom *Direktivom 2010/75/EU o industrijskim emisijama* čiji su zahtjevi implementirani i u hrvatsku zakonsku regulativu, propisani su obvezni uvjeti zaštite okoliša koje velika termoenergetska postrojenja (ukupne toplinske snage veće od 50 MW), kao što je TE-TO Zagreb, moraju ispunjavati da bi dobila dozvolu za rad. Najbolje raspoložive tehnologije (NRT) čijom primjenom je moguće postići smanjenje emisija onečišćujućih tvari u okoliš ispod propisanih graničnih vrijednosti emisija (GVE), definirane su u *Referentnom dokumentu o najbolje raspoloživim tehnologijama za velike termoenergetske uređaje* (VTU RDNRT) na koji se poziva Direktiva. Prema tome, TE-TO Zagreb u skladu s Direktivom o industrijskim emisijama ima obavezu koristiti najbolje raspoložive tehnologije te druge preventivne mjere. Na taj način se smanjuju emisije onečišćujućih tvari, otpad i povisuje energetska učinkovitost. Tehnologije se konstantno usavršavaju kako bi se učinak povećao.

U radu su promatrane emisije u zrak iz postrojenja TE-TO Zagreb u odnosu na granične vrijednosti emisija (GVE) za velika termoenergetska postrojenja propisane Direktivom 2010/75/EU odnosno hrvatskom *Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora*. Na temelju usporedbe izmjerenih koncentracija onečišćujućih tvari u dimnim plinovima pojedinih pogonskih jedinica s propisanim GVE i NRT-GVE (određenim u VTU RDNRT), utvrđeno je da jedino plinske

turbine kombi-kogeneracijskih blokova K i L pri izgaranju prirodnog plina u potpunosti zadovoljavaju GVE, dok ostale jedinice (kotlovi blokova C do H) koji prema *IED* predstavljaju jedan veliki termoenergetski uređaj, ne zadovoljavaju propisane GVE za NO_x pri izgaranju prirodnog plina i loživog ulja, niti GVE za SO₂, CO i krute čestice pri izgaranju loživog ulja.

S ciljem ostvarivanja usklađenosti emisija u zrak s propisanim GVE do odobrenog prijelaznog roka (1. siječnja 2018.), HEP Proizvodnja d.o.o. treba, sukladno smjernicama VTU RDNRT, provesti odgovarajuću rekonstrukciju svojih pogonskih jedinica. U slučaju TE-TO Zagreb, moguća primjena NRT-a uključuje: primarne mjere kao što su prijelaz na loživo ulje s niskim udjelom sumpora (< 1 %) i drugih primjesa, povećanje udjela potrošnje prirodnog plina, ugradnja plamenika s niskom emisijom NO_x i novog sustava za kontrolu procesa izgaranja, te skuplje (sekundarne) mjere kao što su ugradnja uređaja za smanjenje emisija NO_x (SCR ili SNCR postupak) i izgradnja novog zamjenskog vrelovodnog kotla (umjesto postojećih VK3 i VK4). No, potrebno je napraviti dodatna mjerenja i analize (uključujući detaljnu analizu koristi i troškova), kako bi se pouzdano moglo odgovoriti koja je kombinacija NRT-a za smanjenje štetnih emisija optimalan izbor za termoenergetsko postrojenje.

8. LITERATURA

APO d.o.o. i EKONERG d.o.o. (2012a): Tehničko-tehnološko rješenje usklađenja postojećih postrojenja TE-TO Zagreb. Prilog Zahtjevu za utvrđivanje objedinjenih uvjeta zaštite okoliša. Zagreb: HEP - Proizvodnja d.o.o., br. dok. 25-12-695/44 (I-02-0499/1).

APO d.o.o. i EKONERG d.o.o. (2012b): Zahtjev za utvrđivanje objedinjenih uvjeta zaštite okoliša za postojeća postrojenja TE-TO Zagreb u skladu s odredbama Uredbe o postupku utvrđivanja objedinjenih uvjeta zaštite okoliša (NN 114/08). Elaborat. Zagreb: HEP d.d., APO br. dokumenta: 25-12-695/44, EKONERG br. dokumenta: I-02-0499/1.

APO d.o.o. i EKONERG d.o.o. (2013): Zahtjev za utvrđivanje objedinjenih uvjeta zaštite okoliša za postojeća postrojenja TE-TO Zagreb. Kratak i sveobuhvatan sažetak za informiranje javnosti. Zagreb: HEP - Proizvodnja d.o.o., APO br. dokumenta: 25-12-695/44, EKONERG br. dokumenta: I-02-0499/1.

APO d.o.o. (2009): Izvješće o sigurnosti za Pogon TE-TO Zagreb. Zagreb: HEP - Proizvodnja d.o.o., APO br. dokumenta: 25-09-2871/12.

AZO (2015): Emisije iz nepokretnih izvora. Kontinuirana mjerenja. URL:
<http://iszz.azo.hr/stacion/mjer.html?tip=Kontinuirana>

BABAČIĆ, M., BEGOVIĆ, M. (2013.): Utjecaj Direkrive o industrijskim emisijama na rad postrojenja TE-TO Zagreb. Referat. 101. savjetovanje HRO CIGRE, Cavtat (10.-13. studeni 2013).

BABAČIĆ, M., TARNIK, T. (2015.): Rješenja o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša (okolišne dozvole) za termoelektrična postrojenja HEP-a. "Bliži se kraj postupaka." HEP Vjesnik, broj 281/321, str. 16-17.

BAČUN, D., MATEŠIĆ, M., JELIĆ MUCK, V., PAVIĆ-ROGOŠIĆ, L., VARLEC, D. (2014): Okolišna dozvola – kratki vodič za javnost. 2. dopunjeno izdanje, ODRAZ i HR PSOR, Zagreb.

DULLIEN, F. A .L. (1989): Industrial Gas Cleaning. San Diego: Academic Press, Inc.

EKONERG d.o.o. (2014): Izvješće o mjerenju emisije onečišćujućih tvari u zrak u pogonu TE-TO Zagreb. Zagreb: HEP - Proizvodnja d.o.o.

EKONERG d.o.o. (2015): Povremena mjerenja emisija u zrak iz pogonskih jedinica u TE-TO Zagreb. HEP - Proizvodnja d.o.o.

EUROPEAN COMMISSION (2006): Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. URL: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lcp_bref_0706.pdf (20.05.2015.).

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE (2010): Studija utjecaja na okoliš izgradnje TE na biomasu 20 MW, Koprivnički Ivanec. Br. dokumenta: S-0303/10-6. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. URL: http://kckzz.hr/user_content/documents/SUO%20TE%20Koprivni%C4%8Dki%20Ivanec.pdf

GATES, D. M. (1985.): Energy and Ecology. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.

GOIĆ, R. (2006): Opća energetika. Prezentacija. Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje. URL: <http://marjan.fesb.hr/~rgoic/oe/p1.pdf>

GOIĆ, R. (2015): Opća energetika - Energetika i okoliš. Prezentacija. Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje. URL: <http://marjan.fesb.hr/~rgoic/oe/p4.pdf>

HEP (2015): Načela poslovne politike u zaštiti okoliša. URL: <http://www.hep.hr/hep/okolis/nacela.aspx> (10.06.2015.).

HEP d.d. (2006): Izvješće "HEP i okoliš 2003.-2004.". URL: <http://www.hep.hr/hep/publikacije/okolis/okolis2006.pdf> (10.06.2015.)

HEP d.d. (2010): Godišnje izvješće 2010. URL:
<http://www.hep.hr/hep/publikacije/godisnje/2010godisnje.pdf> (17.05.2015.)

HEP d.d. (2011): Godišnje izvješće 2011. URL:
<http://www.hep.hr/hep/publikacije/godisnje/2011godisnje.pdf> (17.05.2015.)

HEP d.d. (2013): Godišnje izvješće 2013. URL:
<http://www.hep.hr/hep/publikacije/godisnje/2013godisnje.pdf> (17.05.2015.)

HEP Proizvodnja d.o.o. (2011a): TE-TO Zagreb - combined-cycle cogeneration power plant, 115 MW, unit L. Brošura. Zagreb.

HEP Proizvodnja d.o.o. (2011b): Tehnička dokumentacija tvrtke.

HEP Proizvodnja d.o.o. (2012): Certifikat. Pogon TE-TO Zagreb. URL:
http://www.hep.hr/proizvodnja/osnovni/termoelektrane/TE_TOCertifikat_iso_14001.pdf
(15.06.2015.)

HEP Proizvodnja d.o.o. (2013): Politika upravljanja kvalitetom i okolišem. URL:
http://www.hep.hr/proizvodnja/osnovni/termoelektrane/Politika_Plomin.pdf (10.06.2015.).

HEP Proizvodnja d.o.o. (2015): Zaštita okoliša – Termoelektrane.
URL: <http://www.hep.hr/proizvodnja/okolis/default.aspx> (10.06.2015.).

Hrvatska elektroprivreda d.d. (2002): TE-TO Zagreb. Brošura. Zagreb.

ISO 14050:2009 (2009): Environmental management – Vocabulary.

JUKIĆ, P., MAJCEN, A. (2011): Pravci razvoja izvora topline centralnog toplinskog sustava (CTS) grada Zagreba. Prezentacija, Zagreb: Hrvatska elektroprivreda. URL:
http://www.hkis.hr/Upload/Documents/SSU/ZagrebackiEnergetskiTjedan/A.Majcen%20-%20Prezentacija%20CTS_A.ppt

NARODNE NOVINE br. NN 117/2012 i 90/2014. Uredba o graničnim vrijednostima emisije onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora. Zagreb: Narodne Novine d.d.

NARODNE NOVINE br. NN 8/2014. Uredba o okolišnoj dozvoli. Zagreb: Narodne Novine d.d.

NARODNE NOVINE br. NN 113/2013 i 76/2014. Uredba o kvaliteti tekućih naftnih goriva. Zagreb: Narodne Novine d.d.

NARODNE NOVINE br. NN 130/2011 i 47/2014. Zakon o zaštiti zraka. Zagreb: Narodne Novine d.d.

NARODNE NOVINE br. NN 129/2012 i 97/2013. Pravilnik o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora. Zagreb: Narodne Novine d.d.

PAŠALIĆ, G., SMOLČIĆ, I. (2006): Termička obrada otpada, emisije u zrak i čišćenje dimnih plinova. Savjetovanje tehnologije zbrinjavanja otpada. Sisak, str. 121-126.

RAKOVAC, D. (2011): Zakonski okvir ekološkog pristupa proizvodnji. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje. URL: https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1332506436-0-diplomskiraddr.pdf

RAKOVIĆ, A. R. (1981): Zagađivanje i prečišćavanje vazduha. Beograd: Građevinska knjiga.

ROKSA, I., BABAČIĆ, M. (2012): Utjecaj Direktive 2010/75/EU o industrijskim emisijama na rad postojećih termoenergetskih objekata HEP Proizvodnje d.o.o. Prezentacija, 10. međunarodno znanstveno stručno savjetovanje "Energetska i procesna postrojenja", Rovinj, 24.-26.10.2012.

SALOPEK, B. KRASIĆ, D., MIKULIĆ, A. (1994): Novi postupci čišćenja plinova termoelektrana loženih ugljenom. Zbornik radova simpozija "Energija i okoliš", Opatija, 26.-28.10.1994., str. 209-216.

SALOPEK, B., BEDEKOVIĆ, G. (1996): Čišćenje otpadnih plinova iz spalionica otpada. Zbornik radova, IV Međunarodni simpozij - Gospodarenje otpadom Zagreb '96, Zagreb, str. 151-164.

SOBOTA, I. (2014): Pisana predavanja iz "Upravljanja okolišem". Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

SOBOTA, I. (2012): Pisana predavanja iz "Zaštite okoliša u rudarstvu". Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

SUČIČ, H., HORVATIĆ, E., TOMAC, V., RITZ, S. (2004): Studija o utjecaju na okoliš ciljanog sadržaja. Izgradnja kombi plinskog bloka CCCGT 100 MW na lokaciji TE-TO Zagreb. Zagreb: HEP- Proizvodnja d.o.o.

TARNIK, T., BABAIĆ, M. (2006): Upravljanje okolišem u HEP-u. Sustavna briga o zaštiti okoliša. HEP Vjesnik, broj 181 (221), str. 8-9.

TOMIĆ, I., BOBALIĆ LJ. (2013.): Sve termoelektrane prema ISO normama za kvalitetu i okoliš. HEP Vjesnik, broj 272/312, str. 8-9.

TOMŠIĆ, Ž. (2015): Skripta iz predmeta "Gospodarenje energijom i energetska učinkovitost". Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva. URL: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/GEEU_8-Skripta_2015_Goriva_i_kotao_.pdf

TUŠAR B. (2009): Pročišćavanje otpadnih voda. Kigen d.o.o., Zagreb, str.51-69, 73-121.

UDOVIČIĆ, B. (1989): Energija, društvo i okolina - Energija i okolina. Knjiga IV. IRO "Građevinska knjiga", Beograd.

VOUK, D., MALUS, D., TEDESCHI, S. (2011): Muljevi s komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Građevinar 63 (2011) 4, 341-349.