

I. Sobota, G. Bedeković, D. Čurković\*

# USKLAĐIVANJE TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA SA ZAHTJEVIMA DIREKTIVE O INDUSTRIJSKIM EMISIJAMA

UDK 620.9:621  
PRIMLJENO: 2.11.2016.  
PRIHVAĆENO: 6.3.2017.

*SAŽETAK: Termoenergetska postrojenja su značajan izvor emisija štetnih plinova i lebdećih čestica te stvaranja tehnološkog otpada. Kako bi se osiguralo cjelovito sprečavanje i nadzor onečišćenja okoliša, europskom Direktivom 2010/75/EU o industrijskim emisijama propisani su obvezni uvjeti zaštite okoliša koje sva termoenergetska postrojenja nazivne toplinske snage jednake ili veće od 50 MW moraju ispunjavati da bi dobila dozvolu za rad (okolišnu dozvolu). Ti uvjeti uključuju primjenu najboljih raspoloživih tehnologija i drugih mjera usmjerenih na sprečavanje ili, kada to nije izvedivo, smanjenje emisija onečišćujućih tvari ili energije u okoliš. Prijedlog mjera za usklađivanje sa zahtjevima direktive donosi se na temelju usporedbe emisija onečišćujućih tvari iz postrojenja s graničnim vrijednostima emisija propisanih direktivom. U radu su pojašnjeni uvjeti zaštite okoliša propisani Direktivom 2010/75/EU i razmatrana mogućnost usklađivanja rada velikih termoenergetskih postrojenja s tim uvjetima.*

**Ključne riječi:** Direktiva 2010/75/EU, termoenergetska postrojenja, emisije, najbolje raspoložive tehnologije, okolišna dozvola

## UVOD

Termoenergetska postrojenja (termoelektrane, toplane i industrijske energane) značajan su izvor onečišćenja okoliša. Tijekom izgaranja goriva u procesu proizvodnje energije, ovisno o vrsti i količini goriva te tehnologiji izgaranja, u atmosferu se emitiraju velike količine onečišćujućih tvari, u prvom redu  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  i krutih čestica (pepela i čađe), a u manjoj mjeri i razne druge štetne tvari kao što su policiklički aromatski ugljikovodici, "teški" metali i radioaktivne tvari (Gates, 1985., Vallero, 2008.). Ovaj problem pogotovo je značajan kod termoelektrana (TE) na ugljen i loživo ulje gdje su spo-

menute emisije najveće, a također se stvaraju i najveće količine tehnološkog otpada (šljake, pepela, otpadnih voda i mulja). Glavni problemi onečišćenja atmosfere na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini (zagađenja zraka urbanih i industrijskih sredina, "kisele kiše" i učinak staklenika) općenito su povezani s uporabom fosilnih goriva bilo u nepokretnim ili pokretnim izvorima. Zbog stvaranja velikih količina tehnološkog otpada i pojave "kiselih kiša" zbog emisija  $\text{SO}_x$  i  $\text{NO}_x$ , također, postoji opasnost od znatnog onečišćenja tla, te površinskih i podzemnih voda. Navedeni utjecaji ne mogu se u potpunosti izbjeći, ali se primjenom odgovarajućih mjera zaštite okoliša mogu uvelike smanjiti. Za svako postrojenje koje predstavlja nepokretni izvor onečišćenja, operater postrojenja (pravna ili fizička osoba koja obavlja ili nadzire gospodarsku djelatnost) obavezan je osigurati redovito praćenje emisija onečišćujućih tvari u okoliš i poduzimati odgo-

\*Doc. dr. sc. Ivan Sobota, dipl. ing. rud., (ivan.sobota@rgn.hr), prof. dr. sc. Gordan Bedeković, dipl. ing. rud., (gordan.bedekovic@rgn.hr), Danijela Čurković, mag. ing. min., (curkovic.danijela@gmail.com), Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb.

varajuće mjere za smanjenje tih emisija ispod propisanih graničnih vrijednosti. Navedeno je regulirano Direktivom 2010/75/EU, Zakonom o zaštiti okoliša, Uredbom o okolišnoj dozvoli, Zakonom o zaštiti zraka i Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora.

S ciljem cjelovitog sprečavanja i nadzora onečišćenja okoliša, europskom *Direktivom 2010/75/EU o industrijskim emisijama* (u daljnjem tekstu: Direktiva), čije su odredbe implementirane u relevantnu hrvatsku zakonsku regulativu iz područja zaštite okoliša, propisani su obvezni uvjeti zaštite okoliša koje određene djelatnosti iz sektora energetike, industrije i gospodarenja otpadom moraju ispunjavati da bi postrojenje u kojem se one obavljaju dobilo dozvolu za rad. U spomenutu hrvatsku zakonsku regulativu ulaze Zakon o zaštiti okoliša, Uredba o okolišnoj dozvoli, Zakon o zaštiti zraka, Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora, Pravilnik o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora i Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda. U članku su pojašnjeni svrha Direktive, uvjeti zaštite okoliša propisani Direktivom i njezina povezanost s hrvatskom zakonskom regulativom. Posebno je razmatrana mogućnost usklađivanja rada velikih uređaja za loženje i plinskih turbina (veliki termoenergetski uređaji - VTU) sa zahtjevima Direktive i dan pregled najboljih raspoloživih tehnologija (NRT) čijom je primjenom moguće postići smanjenje emisija glavnih onečišćujućih tvari iz VTU-a u zrak ispod propisanih graničnih vrijednosti emisija (GVE).

## **DIREKTIVA 2010/75/EU O INDUSTRIJSKIM EMISIJAMA I OKOLIŠNA DOZVOLA**

U Direktivu je integrirano sedam ranijih direktiva koje ona od siječnja 2014. godine potpuno zamjenjuje, a od kojih su za velika termoenergetska postrojenja značajne: Direktiva 2008/1/EZ o cjelovitom sprečavanju i nadzoru

onečišćenja (IPPC direktiva) i Direktiva 2001/80/EZ o ograničenjima emisija određenih onečišćujućih tvari u zrak iz velikih termoenergetskih uređaja (LCP direktiva); (*Babačić, Begović, 2013, Čurković, 2015.*). Osnovna svrha Direktive je određivanje mjera za sprečavanje ili, gdje to nije praktično izvedivo, smanjenje emisija onečišćujućih tvari ili energije (toplina, buka, vibracije) u zrak, vode i tlo te nastajanja otpada koji su posljedica djelatnosti iz sektora energetike, industrije i gospodarenja otpadom, s ciljem postizanja visoke razine cjelovite zaštite okoliša. Prema Direktivi, cjeloviti pristup smanjenju i nadzoru emisija u okoliš, gospodarenju otpadom, energetske učinkovitosti i sprečavanju nesreća, te općenito visoka razina zaštite okoliša osiguravaju se okolišnim dozvolama zasnovanim na NRT-ima i zadovoljenju propisanih GVE.

Okolišna dozvola izdaje se na temelju jedinstvenog postupka utvrđivanja mjera zaštite okoliša za postrojenje. Osim primjene odgovarajućih preventivnih mjera za sprečavanje onečišćenja okoliša odnosno primjene NRT-a, Direktiva propisuje i druge opće uvjete zaštite okoliša koje djelatnosti utvrđene Direktivom moraju ispunjavati radi ishođenja okolišne dozvole. Ti uvjeti uključuju: primjenu suvremene hijerarhije gospodarenja otpadom u skladu s Direktivom 2008/98/EC o otpadu, učinkovito korištenje resursa (sirovina, energije i vode) u skladu s konceptom održivog razvoja, sprečavanje nesreća i ograničavanje štetnih učinaka nesreća, te poduzimanje svih potrebnih mjera po konačnom prestanku djelatnosti s ciljem izbjegavanja rizika onečišćenja okoliša. Od mogućih mjera za minimaliziranje utjecaja na okoliš, težište se stavlja na mjere povezane sa samim izvorom onečišćenja (postupak) s ciljem sprečavanja da uopće dođe do štetnih emisija i stvaranja otpada, a potom na mjere za smanjenje utjecaja nastalog onečišćenja. Pri tome, u skladu s načelom "onečišćivač plaća", tvrtka sama snosi odgovornost za sprečavanje i smanjenje bilo kakvog onečišćenja koju njezina djelatnost može prouzročiti.

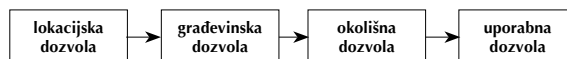
Popis djelatnosti iz sektora energetike, industrije i gospodarenja otpadom koje predstavljaju izvore onečišćenja okoliša i na koje se primje-

njuje Direktiva (Prilog I Direktive) uključuje i izgaranje goriva u termoenergetskim postrojenjima nazivne ulazne toplinske snage jednake ili veće od 50 MW (*Directive 2010/75/EU...*). Direktiva također definira onečišćujuće tvari za koje se određuju GVE u postupku ishođenja okolišne dozvole (popis u Prilogu II Direktive), minimalne obvezujuće GVE za pojedine onečišćujuće tvari ovisno o vrsti djelatnosti, uvjete za ishođenje okolišne dozvole, kriterije za određivanje NRT-a, praćenje (monitoring) emisija, informiranje i sudjelovanje javnosti, te posebne tehničke odredbe za VTU.

Ishođenje okolišne dozvole je zahtjevan i složen postupak u kojem sudjeluju stručnjaci različitih struka i predstavnici različitih sektora na različitim razinama, uključujući sudjelovanje predstavnika javnosti i zainteresirane javnosti kao važan nezaobilazan dio postupka (*Bačun et al., 2014.*). Način provedbe postupka ishođenja okolišne dozvole, obvezni sadržaj zahtjeva i kriteriji za njezino ishođenje, sadržaj stručne podloge koja se prilaže uz zahtjev, sadržaj rješenja o okolišnoj dozvoli, način određivanja GVE i NRT-a, način informiranja i sudjelovanja javnosti i zainteresirane javnosti u postupku izdavanja dozvole u hrvatskom su zakonodavstvu uređeni Zakonom o zaštiti okoliša i Uredbom o okolišnoj dozvoli čije su odredbe usklađene s Direktivom. U skladu s tim propisima, operater postrojenja dužan je od ministarstva nadležnog za zaštitu okoliša ishoditi okolišnu dozvolu: prije puštanja u rad postrojenja (uključujući probni rad), za rad postojećih postrojenja, te prije značajne promjene u radu postrojenja, namijenjenih obavljanju djelatnosti kojima se mogu prouzročiti industrijske emisije i koje su utvrđene u Prilogu I Uredbe odnosno Direktive. Za nova postrojenja i za rekonstrukciju postojećih postrojenja, za koje je propisana obveza provođenja procjene utjecaja na okoliš (PUO), okolišna dozvola izdaje se nakon izdavanja rješenja o prihvatljivosti zahvata za okoliš. U tom slučaju, dio informacija prikupljenih za PUO može se koristiti i u postupku ishođenja okolišne dozvole.

Okolišna dozvola je zasebni dokument (slika 1) koji se, za razliku od lokacijske i građevinske

dozvole koje imaju trajni karakter, izdaje na ograničeni rok (pet godina), nakon čega podliježe reviziji. Zahtjev za produljenjem okolišne dozvole, tvrtka je obvezna podnijeti ministarstvu nadležnom za zaštitu okoliša u propisanom vremenu prije isteka roka valjanosti. Ako se uvjeti zaštite okoliša u međuvremenu postrože ili je tehnologija napredovala, tvrtka im se treba prilagoditi kako bi joj se dozvola produljila.



Slika 1. Redoslijed izdavanja dozvola

Figure 1. The sequence of permitting procedure

Prema tome, okolišnu dozvolu nije moguće dobiti bez sagledavanja svih aspekata zaštite okoliša, uključujući usklađenost primijenjene tehnologije s konceptom NRT-a za postojeće pogone i uvažavajući zaključke provedenog postupka procjene utjecaja na okoliš za nove pogone i rekonstrukcije. Ako postrojenje ne uspije zadovoljiti zahtjeve iz Direktive, tada u konačnici prestaje s radom. Za postrojenja koja su ušla u pregovore o rokovima, dani su individualni prijelazni rokovi za usklađivanje rada postrojenja sa zahtjevima Direktive i poslije ulaska u EU, ovisno o postrojenju. Na primjer, za postojeća termoenergetska postrojenja tvrtke HEP nazivne ulazne toplinske snage jednake ili veće od 50 MW taj rok je 1. siječnja 2018. (*HEP: Okolišne dozvole, 2016.*).

## USKLAĐIVANJE SA ZAHTJEVIMA DIREKTIVE

Kao što je spomenuto, ishođenje okolišne dozvole za neko postrojenje zasniva se na zadovoljenju GVE dostižnih primjenom NRT-a. NRT (engl. *BAT - Best Available Techniques*) odnose se na najučinkovitije tehnologije, procese i proizvodne postupke (uključujući projektiranje, izgradnju, rad, održavanje i stavljanje izvan pogona) koji su razvijeni i testirani u pogonskim uvjetima, te koji su ekonomski dostupni tvrtki, a u praktičnoj primjeni osiguravaju djelatnost bez štetnih emisija i općenito štetnih utjecaja na okoliš ili, ako to nije moguće, s minimalnim emisija-

ma i utjecajima na okoliš. NRT podrazumijevaju koncept stalnog poboljšavanja tehnologije i time sve manjeg učinka na okoliš.

U slučaju termoenergetskih uređaja nazivne ulazne toplinske snage jednake ili veće od 50 MW, NRT i rasponi vrijednosti emisija u okoliš koje se u normalnim radnim uvjetima mogu postići primjenom NRT-a (NRT-GVE) određeni su u *Referentnom dokumentu o NRT za velike termoenergetske uređaje (VTU RDNRT, engl. LCP BREF); (LCP-BREF, 2006.)*. Taj dokument i njegovi zaključci o NRT-u, na koje se poziva Direktiva, predstavljaju temeljni mjerodavni dokument prema kojem se provodi izbor NRT-a ili provjera usklađenosti postrojenja s NRT-om i NRT-GVE u postupku ishođenja okolišne dozvole za velika termoenergetska postrojenja. Na temelju razmjene podataka između stručnjaka iz sektora energetike, industrije, provedbenih i regulatornih

tijela država članica EU-a te nevladinih udruga koje se bave zaštitom okoliša, Europska komisija sastavlja, revidira i prema potrebi ažurira VTU RDNRT.

U skladu s NRT-GVE definiranim u VTU RDNRT-om, Direktivom odnosno Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora i Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda također su propisane minimalne obvezujuće GVE onečišćujućih tvari za VTU. U tablicama 1 i 2 (*Directive 2010/75/EU, LCP-BREF, 2006.*) prikazani su primjeri GVE propisanih Direktivom i NRT-GVE prema VTU RDNRT za glavne onečišćujuće tvari u slučaju VTU loženih ugljenom, tekućim i plinskim gorivom, kao i NRT-a čija primjena omogućuje postizanje propisanih GVE odnosno NRT-GVE.

**Tablica 1. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak za VTU ložene ugljenom i VTU ložene tekućim gorivom**

**Table 1. Emission limit values for the polluting substances emitted into the air in case of large combustion plants using solid or liquid fuels**

Gorivo/ukupna toplinska snaga (MW)	Onečišćujuća tvar	GVE (mg/m <sup>3</sup> )		NRT-GVE (mg/m <sup>3</sup> )		NRT
		Nova postrojenja	Postojeća postrojenja	Nova postrojenja	Postojeća postrojenja	
Ugljen/ > 300	SO <sub>2</sub>	150 200 <sup>(1)</sup>	200	20 – 150 100 - 200 <sup>(1)</sup>	20 – 200 100 - 200 <sup>(1)</sup>	PM ili PM i FGD
	NO <sub>x</sub>	150 200 <sup>(2)</sup>	200	90 – 150 50 - 150 <sup>(1)</sup> 50 - 200 <sup>(2)</sup>	90 – 200 50 - 200 <sup>(1)</sup> 50 - 200 <sup>(2)</sup>	PM ili PM i SCR
	CO	-	-	30 – 50 < 100 <sup>(1)</sup>	30 – 50 < 100 <sup>(1)</sup>	PI
	krute čestice	10	20	5 - 10	5 - 20	ESP ili FF ESP/FF i FGD
Tekuće gorivo/ > 300	SO <sub>2</sub>	150	200	50 - 150	50 - 200	PM, STPG i FGD
	NO <sub>x</sub>	100	150	50 - 100	50 - 150	PM i SCR/SNCR
	CO	-	-	30 - 50	30 - 50	PI
	krute čestice	10	20	5 - 10	5 - 20	ESP/FF i FGD

(1) Izgaranje u fluidiziranom sloju

(2) Izgaranje lignita u prahu

GVE – minimalne obvezujuće granične vrijednosti emisija propisane Direktivom 2010/75/EU odnosno Uredbom o GVE onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora; NRT-GVE – rasponi vrijednosti emisija prema RDNRT za velike termoenergetske uređaje; ESP – elektrostatički taložnik (electrostatic precipitator); FF – tkaninski (vrečasti) filtar (fabric filter); FGD – odsumporavanje dimnih plinova (flue-gas desulphurisation); PM – primarne mjere za smanjenje SO<sub>x</sub> ili NO<sub>x</sub> (gorivo s niskim sadržajem sumpora, izgaranje u fluidiziranom sloju uz dodatak vapnenca kao adsorbensa, plamenici s niskom emisijom NO<sub>x</sub>, 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 optimalnu konstrukciju, regulaciju, nadzor i održavanje sustava izgaranja)

**Tablica 2. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak za VTU ložene plinskim gorivom****Table 2. Emission limit values for the polluting substances emitted into the air in case of large combustion plants using gaseous fuels**

Vrsta uređaja	Onečišćujuća tvar	GVE (mg/m <sup>3</sup> )		NRT-GVE (mg/m <sup>3</sup> )		NRT
		Nova postrojenja	Postojeća postrojenja	Nova postrojenja	Postojeća postrojenja	
Plinske turbine (uključujući CCGT)	SO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-
	NO <sub>x</sub>	50	50 75 <sup>(2)</sup> 120 <sup>(3)</sup>	20 - 50	50 - 90 20 - 90 <sup>(4)</sup> 20 - 75 <sup>(5)</sup>	PM SCR ili SNCR
	CO	100	100	5 - 100	30 - 100	PI
	krute čestice	-	-	-	-	-
Plinski motori	SO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-
	NO <sub>x</sub>	75	100	20 - 75	20 - 100	PM, SCR
	CO	100	100	30 - 100	30 - 100	PI
	krute čestice	-	-	-	-	-
Parni kotlovi	SO <sub>2</sub>	35 5 <sup>(1)</sup>	35 5 <sup>(1)</sup>	-	-	-
	NO <sub>x</sub>	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 plamenicima s niskom emisijom NO<sub>x</sub> (Dry low NO<sub>x</sub> - DLN plamenici)

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

Postojeća postrojenja - postrojenja za koje je okolišna dozvola odobrena prije 7. siječnja 2013. godine ili za koje je zahtjev za dozvolu podnesen prije tog datuma pod uvjetom da je postrojenje pušteno u rad najkasnije do 7. siječnja 2014.

NRT-GVE za SO<sub>2</sub> i krute čestice te NRT za smanjenje njihovih emisija nisu propisani za slučaj VTU loženih prirodnim plinom (tablice 1 i 2), s obzirom da su pri izgaranju prirodnog plina emisije SO<sub>2</sub> i krutih čestica (lebdeći pepeo, čađa) vrlo niske ili zanemarive. U tom slučaju, emisije SO<sub>2</sub> obično su znatno ispod 10 mg/m<sup>3</sup>, a emisije krutih čestica znatno ispod 5 mg/m<sup>3</sup>, i to bez primjene bilo kakvih dodatnih tehničkih mjera za smanjenje emisija (*LCP-BREF, 2006.*). Međutim, u slučajevima gdje se koriste drugi industrijski plinovi (npr. rafinerijski plin ili plin iz visoke peći), potrebno je u tu svrhu primijeniti odgovarajuće mjere koje se smatraju NRT-om (npr. odsumporavanje plinskog goriva, uklanja-

nje lebdećih čestica iz plina primjenom vrećastih filtara ili elektrostatičkih taložnika).

U posebnim slučajevima gdje procjena pokaže da bi postizanje NRT-GVE dovelo do nerazmjerno visokih troškova u usporedbi s koristima za okoliš, Direktiva dopušta odstupanja od NRT-GVE pri utvrđivanju GVE, s time da utvrđene GVE nipošto ne smiju biti veće od minimalnih obvezujućih GVE. Odstupanja, bilo stroža ili blaža od NRT i NRT-GVE, trebala bi se temeljiti na procjeni prema dobro definiranim kriterijima. Objašnjenje opravdanosti odstupanja od zaključaka RDNRT-a (npr. na temelju troškova i koristi zaštite okoliša, specifičnosti postroje-

nja i lokalnih uvjeta) mora biti jasno i zabilježeno. U načelu, što je veća šteta za okoliš koju bi određena tehnologija mogla spriječiti, to se mogu opravdati i veći troškovi njezine primjene. S druge strane, ulaganja u skupe tehnologije ili značajnije rekonstrukcije radi malog smanjenja emisija može prouzročiti neproporcionalan trošak. U slučaju postojećih postrojenja, kod određivanja odgovarajućih uvjeta okolišne dozvole u obzir također treba uzeti gospodarsku i tehničku održivost unapređenja postrojenja (*Smjernice za NRT...*, *Projekt CARDS, 2004*).

Pri određivanju NRT-a, uzevši u obzir troškove i koristi povezane s pojedinim mjerama te načelo opreza, treba voditi brigu o osnovnim kriterijima propisanim Direktivom, kao što su: korištenje tehnologija kod kojih nastaju male količine otpada; korištenje manje opasnih tvari; potrošnja i vrsta sirovina (uključujući vodu) koji se upotrebljavaju u procesu; energetska učinkovitost; vrsta, učinci i opseg promatranih emisija; vrijeme koje je potrebno za uvođenje NRT-a i dr.

Detaljna analiza postrojenja s obzirom na NRT, koja se prikazuje u stručnoj podlozi za ishođenje okolišne dozvole koju izrađuje osoba ovlaštena za stručne poslove zaštite okoliša, prema Uredbi o okolišnoj dozvoli treba sadržavati:

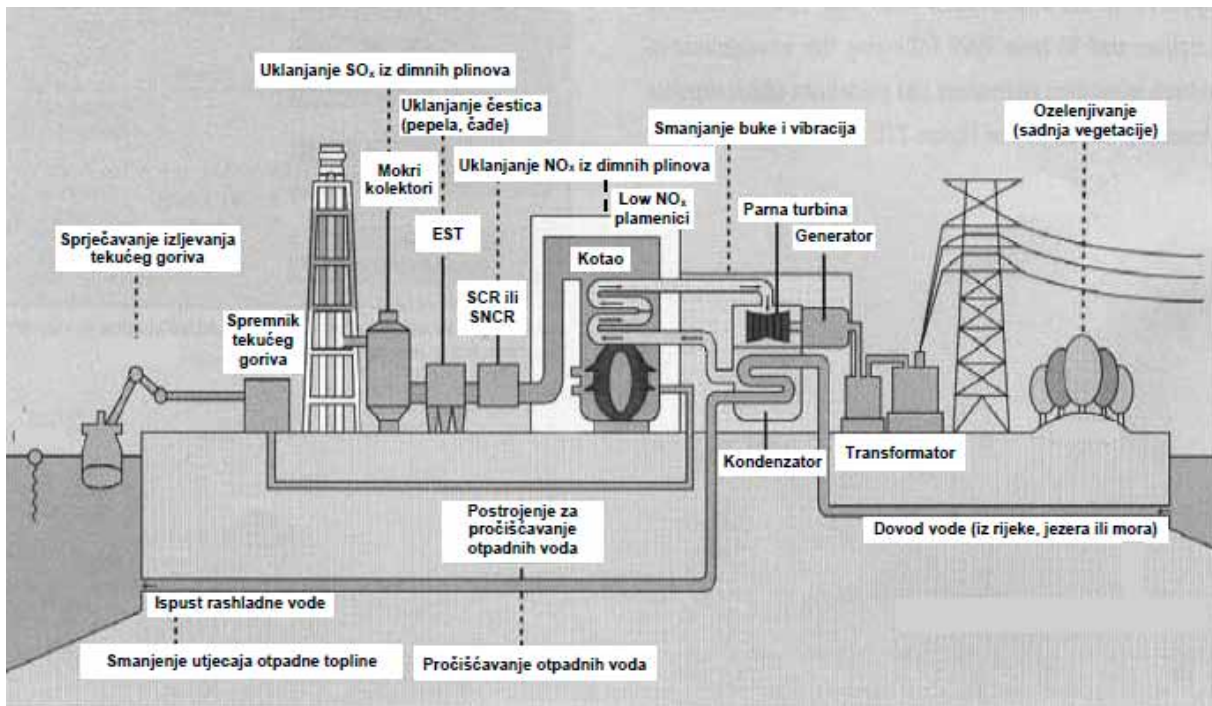
- popis korištenih RDNRT dokumenata odnosno Zaključaka o NRT iz RDNRT-a,
- opću usporedbu (usklađenost) postojećih ili planiranih mjera, postupaka i tehnologija zaštite okoliša sa zahtjevima za NRT prema RDNRT-u,
- usporedbu postojećih ili planiranih vrijednosti emisija u zrak, vode i tlo iz postrojenja s NRT-GVE i s minimalnim obvezujućim GVE.

Ako se analizom utvrdi neusklađenost rada postrojenja s uvjetima Direktive odnosno Uredbe o graničnim vrijednostima emisija onečišću-

jućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora, tj. da su emisije onečišćujućih tvari iz postrojenja u pojedine sastavnice okoliša veće od minimalnih obvezujućih GVE, potrebno je planirati i poduzeti odgovarajuće mjere za smanjenje emisija ispod tih vrijednosti. U slučaju postojećih termoenergetskih postrojenja gdje se propisane GVE ne mogu zadovoljiti samo primjenom osnovnih mjera (npr. prijelaz na prirodni plin kao primarno gorivo odnosno loživo ulje ili ugljen s manje od 1 % sumpora), potrebna su ulaganja u njihovu rekonstrukciju i provođenje pojedinačnih mjera, kao što su zamjena plamenika i sustava upravljanja. Ugradnja skupe opreme za smanjenje emisija, kao što su uređaji za odsumporavanje dimnih plinova i uređaji za smanjenje emisija NO<sub>x</sub>, razmatra se u slučajevima gdje prethodno navedenim (primarnim) mjerama nije moguće postići ispunjavanje zahtjeva Direktive. Ako postrojenje niti jednom mjerom ne može zadovoljiti propisane uvjete, mora prestati s radom ili plaćati visoke kazne EU-u za prekoračenje GVE, ovisno o procjeni i propisima Europske komisije (*Babačić, Tarnik, 2015.*).

## NRT ZA SMANJENJE EMISIJA U ZRAK

U VTU RDNRT, pored definiranih NRT-GVE za velika termoenergetska postrojenja, detaljno su opisane NRT kojima se mogu postići te razine emisija i koje uglavnom predstavljaju tehnologije učinkovito primijenjene u nekim od postojećih postrojenja unutar energetskog sektora. Na slici 2 (*Ćurković, 2015., Goić, 2016.*) shematski je prikazan primjer cjelovitog sustava zaštite okoliša u slučaju termoelektrane ložene tekućim gorivom, a u Tablici 3 (*LCP-BREF, 2006., Cooper, Alley, 2014., Ramachandran et al., 1999.*) i narednom tekstu dan pregled pojedinačnih mjera i postupaka koji se u skladu s VTU RDNRT-om smatraju NRT-om za smanjenje emisija glavnih onečišćujućih tvari u atmosferu iz VTU-a.



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. Sustav zaštite okoliša termoelektrane ložene tekućim gorivom  
- glavne mjere za smanjenje štetnih utjecaja na okoliš*

*Figure 2. Environmental protection system of liquid fuel fired combustion plants  
- measures for reducing adverse environmental impacts*

**Tablica 3. NRT za smanjenje emisija onečišćujućih tvari u zrak iz VTU-a****Table 3. BAT for the reduction of pollutant emissions to air from large combustion plants**

Onečišćujuća tvar	Mjera/tehnologija	Učinkovitost uklanjanja	
Krute čestice (pepeo, čađa)	elektrostatički taložnici	> 99,5 %	
	tkaninski (vrećasti) filtri	> 99,9 % (konc. čestica u izlaznom plinu < 5 mg/m <sup>3</sup> )	
	mokri kolektori	> 99 % (Venturi kolektori)	
SO <sub>x</sub>	primarne mjere	- korištenje goriva s niskom koncentracijom sumpora (< 1 %) - odsumporavanje goriva - izgaranje u fluidiziranom sloju uz dodatak vapnenca kao adsorbensa - suspaljivanje tekućeg i plinskog goriva	
	sekundarne mjere	- odsumporavanje dimnih plinova mokrim, polusuhim ili suhim postupkom - kombinirani postupci za uklanjanje SO <sub>2</sub> i NO <sub>x</sub> (npr. NOXSO i SNOX proces) <sup>1</sup>	
NO <sub>x</sub>	primarne mjere	- plamenici s niskom emisijom NO <sub>x</sub>	25-60%
		- izgaranje uz mali suvišak zraka	10-44 %
		- stupnjevani dovod goriva	50-60 %
		- stupnjevani dovod zraka	10-70 %
		- recirkuliranje dimnih plinova	20-50 %
		- smanjeno predgrijavanje zraka <sup>2</sup>	20-30 %
	sekundarne mjere	- uklanjanje NO <sub>x</sub> iz dimnih plinova primjenom procesa SCR ili SNCR - kombinirani postupci za uklanjanje SO <sub>2</sub> i NO <sub>x</sub> (npr. NOXSO i SNOX proces) <sup>1</sup>	SCR: 80-95 % SNCR: 30-50 % NOXO: 97 % (SO <sub>2</sub> ) i 70 % (NO <sub>x</sub> ) SNOX: 95 % (SO <sub>2</sub> i NO <sub>x</sub> )
CO <sub>2</sub>	primarne mjere	- povećanje učinkovitosti tehnologije izgaranja fosilnih goriva - istovremena proizvodnja električne i korisne toplinske energije (kogeneracija)	npr., povećanje učinkovitosti sa 40 % na 41 % u slučaju plinske TE, smanjuje emisiju CO <sub>2</sub> za 2,5 %
	sekundarne mjere	- tehnologija hvatanja i geološkog skladištenja CO <sub>2</sub> iz energetskih postrojenja	80-90 %
CO	- optimalna konstrukcija, regulacija, nadzor i održavanje sustava izgaranja s ciljem potpunog izgaranja	koncentracija u izlaznom plinu: < 50 mg/m <sup>3</sup>	

<sup>1</sup> Mogu se smatrati NRT-om ali njihove prednosti, nedostatke i primjenjivost treba provjeriti na lokalnoj razini.

<sup>2</sup> Prikladno za VTU ložene tekućim ili plinskim gorivom.

<sup>3</sup> Sukladno VTU RDNRT, zasad se još ne smatra NRT-om.

Emisije sumporovih oksida (SO<sub>x</sub>), dušikovih oksida (NO<sub>x</sub>), ugljikovog monoksida (CO), ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) i krutih čestica (lebedći pepeo, čađa) u zrak jedan su od najvažnijih pokazatelja utjecaja termoenergetskih postrojenja na okoliš. Pri izgaranju fosilnih goriva, od SO<sub>x</sub> u najvećoj mjeri stvara se SO<sub>2</sub>, a NO<sub>x</sub> uglavnom čine NO, NO<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>O. Koncentracija i vrsta emi-

tiranih onečišćujućih tvari pri izgaranju goriva ovisi najviše o vrsti (kemijskom sastavu), količini i načinu izgaranja goriva. Emisije SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, pepela i čađe najveće su pri izgaranju ugljena, a najmanje pri izgaranju prirodnog plina. Vrsta goriva najmanje utječe na emisiju NO<sub>x</sub> (nešto je niža pri izgaranju prirodnog plina). 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. Bitan utjecajan čimbenik je



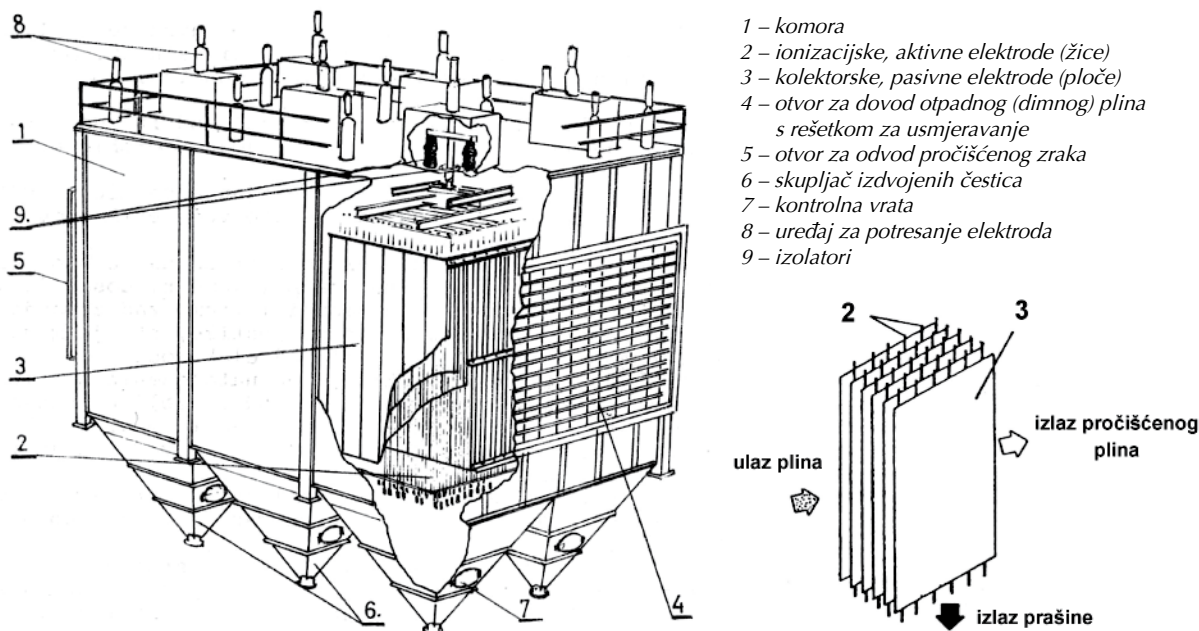
primijenjena tehnologija izgaranja; tzv. "čistim" tehnologijama kao što su izgaranje ugljena u fluidiziranom sloju i tehnologije s rasplinjavanjem ugljena postiže se i učinkovitije izgaranje i smanjenje emisija onečišćujućih tvari u odnosu na klasičan način izgaranja ugljena (Zheng, Yan, 2013., Salopek, 1993., Bogdan et al., 2007.).

### Smanjenje emisije lebdećih čestica

U termoenergetskim postrojenjima na kruta goriva (ugljen, biomasa), kao produkt nepotpunog izgaranja goriva nastaju lebdeći pepeo i čađa. Od ukupne mase pepela nastalog pri izgaranju ugljena, koja obično iznosi 10 % mase ugljena, oko 70 % čini lebdeći pepeo koji napušta prostor izgaranja nošen dimnim plinom (preostalih 30 % skuplja se na dnu kotla odakle se odvodi na odlagalište); (Gates, 1985.). Granulometrijski i kemijski sastav lebdećeg pepela ovise najviše o vrsti ugljena koji izgara. 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 metali (Pb, Cd, Hg, Mn, Cu i dr.),

radioaktivni elementi i policiklički aromatski ugljikovodici, tako da se uklanjanjem lebdećih čestica iz dimnih plinova ujedno smanjuju i emisije tih štetnih tvari.

Krute čestice iz dimnih plinova termoenergetskih postrojenja vrlo učinkovito se izdvajaju primjenom EST-a (slika 3) ili tkaninskih (vrećastih) filtara (Cooper, Alley, 2014., Ramachandran et al., 1999., Dullien, 1989., Schnelle, Brown, 2002., Theodore, 2008.). Stoga i prema VTU RDNRT-u, NRT za smanjenje emisije krutih čestica ispod propisanih GVE podrazumijeva primjenu tih uređaja, pogotovo u kombinaciji s nekim od mokrih postupaka odsumporavanja kojima se iz dimnih plinova osim  $SO_x$ , HCl, HF i metala uklanjaju i najsitnije krute čestice ( $< 10 \mu m$ ). EST i vrećasti filtri imaju sličnu ukupnu učinkovitost izdvajanja čestica (veću od 99 %), s time da su filtri manje osjetljivi na promjenu količine i sastava dimnih plinova. Sami mokri kolektori općenito imaju nešto manju učinkovitost izdvajanja čestica (pogotovo najsitnijih) u odnosu na EST i filtre. Za uklanjanje krupnijih čestica ( $> 10 \mu m$ ), kao uređaji za prethodno čišćenje, mogu se primijeniti aerocikloni ili gravitacijski taložnici, iako se oni sami ne smatraju NRT-om (LCP-BREF, 2006.).



Slika 3. Pločasti elektrostatički taložnik  
Figure 3. Plate electrostatic precipitator

## Smanjenje emisije SO<sub>x</sub>

### **Prijelaz na goriva s niskim ili zanemarivim koncentracijama sumpora**

Ugljen može sadržavati znatnu količinu sumpora (do 5 %, rijetko i preko 5 %) pa izgaranjem ugljena dolazi do znatne emisije SO<sub>x</sub> u zrak. Dio sumpora nakon izgaranja ostaje vezan u pepelu. Loživo ulje također sadrži sumpor, ali znatno manje nego ugljen (do 3,5 % ovisno o podrijetlu nafte). Prelaskom na kvalitetniji ugljen ili loživo ulje, s nižim masenim udjelom sumpora, znatno će se smanjiti emisije SO<sub>x</sub>. Prelaskom na prirodni plin, u kojem su koncentracije sumpora zanemarivo male, emisije SO<sub>x</sub> pri izgaranju bit će neznatne. Stoga je, u slučaju termoelektrana koje upotrebljavaju ugljen ili loživo ulje kao gorivo, korištenje goriva s niskom koncentracijom sumpora, tj. masenim udjelom nižim od 1 %, jedna od primarnih mjera za smanjenje emisija SO<sub>x</sub> (npr. prema Uredbi o kvaliteti tekućih naftnih goriva, najveća dopuštena masena koncentracija sumpora u loživom ulju je 1%).

### **Uklanjanje sumpora iz fosilnih goriva (odsumporavanje goriva)**

Prilikom primjene ugljena kao goriva, jedna od primarnih mjera za smanjenje emisija SO<sub>x</sub> je odsumporavanje ugljena primjenom odgovarajućih postupka oplemenjivanja (postupci pranja, dvostupanjska flotacija u koloni, gravitacijska koncentracija, elektrostatička separacija, primjena teškotekućinskih ciklona i dr.), čime se iz ugljena uklanja znatan dio pirita (33-92 %), a ujedno i pepela (20-88 %), ovisno o veličini čestica ugljena i jalovine te primijenjenom postupku (Salopek, 1993., Salopek et al., 1994., Edgar, 1983., Wang et al., 2005.). Upotreba oplemenjenog ugljena kao goriva smanjuje emisije SO<sub>x</sub>, gubitke topline, troškove pogona i održavanja, troškove transporta ugljena i potreban prostor za odlaganje otpadnih tvari nakon izgaranja (šljaka, pepeo i sporedni proizvodi odsumporavanja). Oplemenjeni ugljen, osim sniženog sadržaja sumpora, ima i veću ogrjevnu vrijednost. Oko 30-70 % ukupnog sumpora u ugljenu nalazi se u anorganskom obliku, pretežno u obliku piri-

ta koji se relativno lako može ukloniti nekim od navedenih fizikalnih postupaka. Ostali sumpor u ugljenu koji je prisutan u organskom obliku ne može se ukloniti fizikalnim postupcima. S obzirom da su kemijski postupci odsumporavanja ugljena vrlo skupi (Cooper, Alley, 2014.), potrebno je kao mjere za dodatno smanjenje emisija SO<sub>x</sub> uzeti u obzir promjenu načina izgaranja goriva i odsumporavanje dimnih plinova.

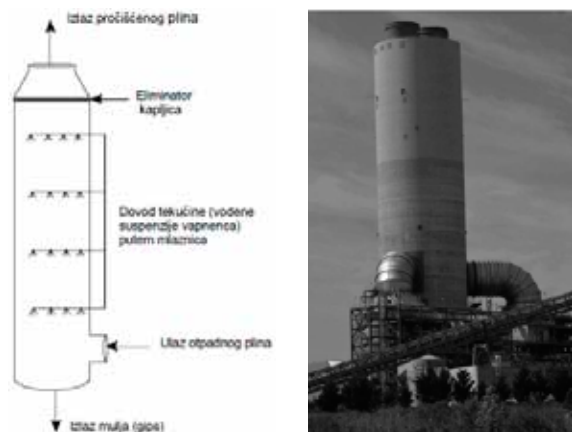
### **Promjena načina izgaranja goriva**

Prijelazom s klasičnog načina izgaranja ugljena na izgaranje ugljena u fluidiziranom sloju uz dodatak vapnenca kao adsorbensa (LCP-BREF, 2006., Zheng, Yan, 2013., Salopek, 1993.), suspaljivanjem tekućeg i plinskog goriva i drugim promjenama ili poboljšanjima tehnologije s ciljem povećanja učinkovitosti postiže se manja potrošnja goriva i ujedno emisija onečišćujućih tvari.

### **Uklanjanje SO<sub>2</sub> iz dimnih plinova (odsumporavanje dimnih plinova)**

Odsumporavanje dimnih plinova iz ložišta obično se ostvaruje mokrim postupkom čišćenja, a rjeđe suhim ili polusuhim postupkom. U tu svrhu primjenjuju se različiti tipovi mokrih i suhih kolektora (engl. *scrubbers*) u kojima se istovremeno uklanjaju i čestice i plinovite onečišćujuće tvari iz dimnog plina (Cooper, Alley, 2014., Ramachandran et al., 1999., Dullien, 1989., Schnelle, Brown, 2002., Edgar, 1983., Wang et al., 2005., Nolan, 2000.). Na slici 4 (Schnelle, Brown, 2002., G.G. Allen..., 2016.) prikazan je najjednostavniji i najčešće primjenjivan tip mokrog kolektora - toranj (kolona) s raspršivanjem tekućine, s najmanjom potrošnjom energije. U općem slučaju, dimni plin iz ložišta ulazi odozdo sa strane u uređaj i struji prema gore, pri čemu onečišćujuće tvari dolaze u kontakt s kapljicama fino raspršene tekućine (vodene suspenzije vapnenca ili vapna) koja se ušpricava putem mlaznica s više razina. Raspršena suspenzija vapnenca u kontaktu sa SO<sub>2</sub> prelazi u kalcijev sulfat (CaSO<sub>3</sub>), a zatim oksidacijom uz dodavanje zraka u gips (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) koji se kao mulj taloži na dnu kolektora. Pročišćeni plin izlazi kroz

odvod na gornjem dijelu uređaja. Nastali mulj se pumpama odvodi na trajno odlagalište ili nakon zgušnjavanja, filtracije i aglomeracije skladišti i prodaje (zajedno s pepelom izdvojenim u EST-u ili vrećastom filtru), npr. proizvođačima cementa kao sekundarna sirovina. Zbog visokih troškova, mokri postupci odsumporavanja dimnih plinova ne smatraju se NRT-om za postrojenja toplinske snage manje od 100 MW (*LCP-BREF, 2006.*).



Slika 4. Postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova – toranj s raspršivanjem tekućine

Figure 4. Flue-gas desulphurisation plant – spray tower

Polusuhi postupci, koji su po zastupljenosti primjene na drugom mjestu, obično uključuju upotrebu suspenzije vapna za uklanjanje  $\text{SO}_2$  iz dimnog plina. Suspenzija se raspršuje u koloni gdje  $\text{SO}_2$  reagira s vapnom tvoreći  $\text{CaSO}_3$  odnosno  $\text{CaSO}_4$ , s time da sva voda zbog povišene temperature dimnog plina ( $140\text{--}170\text{ }^\circ\text{C}$ ) u potpunosti ispari prije nego što kapljice padnu na dno uređaja. Na dno uređaja padaju krupnije suhe čestice, a sitnije nošene strujom plina odlaze u vrećasti filter ili EST gdje se izdvajaju. Prednosti u odnosu na mokre postupke općenito su: manji kapitalni i pogonski troškovi za postrojenja toplinske snage manje od 300 MW, manja potrošnja energije, nema problema s korozijom i zbrinjavanjem otpadnog mulja (otpad je u suhom stanju), a nedostatak povećanje pogonskih troškova zbog korištenja skupljeg sorbensa (vapna) i nešto manja učinkovitost izdvajanja (*LCP-BREF, 2006., Gaikwad, 2002.*). Suhi postupci odsumporavanja, direktnim ubrizgavanjem suhog sorbensa u ložište ili u odvod dimnog plina prije

ulaza u EST ili filter, upotrebljavaju se uglavnom u postrojenjima toplinske snage manje od 300 MW. U prvom slučaju kao sorbens se upotrebljava fino samljeveni vapnenac ili dolomit, a u drugom hidratizirano vapno ili natrijev bikarbonat.

Općenito su primarne mjere za smanjenje emisija  $\text{SO}_x$  i  $\text{NO}_x$ , kao što su prijelaz na nisko-sumporna goriva i primjena plamenika s niskom emisijom  $\text{NO}_x$ , jeftinije od sekundarnih (manji investicijski troškovi kod uvođenja primarnih mjera), njihovom primjenom smanjuje se potreba za složenijim sekundarnim mjerama (ugradnjom skupih sustava za uklanjanje  $\text{NO}_x$  i/ili  $\text{SO}_x$  iz dimnih plinova), potrošnja goriva, količina onečišćujućih tvari koje je potrebno izdvojiti iz dimnih plinova i količina nastalog tehnološkog otpada (npr. otpadnog pepela i šljake pri izgaranju ugljena i otpadnog mulja koji nastaje kao sporedni proizvod mokrog postupka odsumporavanja dimnih plinova). U vezi s tim, manji su pogonski troškovi, tj. troškovi zbrinjavanja nastalog otpada. U praksi, pogotovo kod velikih termoenergetskih postrojenja (nazivne toplinske snage veće od 100 MW); (*LCP-BREF, 2006.*), obično nisu dovoljne samo primarne mjere i u tom slučaju se primjenjuje kombinacija primarnih i sekundarnih mjera kako bi se postiglo potrebno smanjenje emisija.

## Smanjenje emisije $\text{NO}_x$

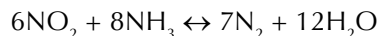
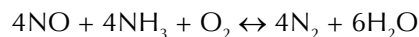
### Promjena načina izgaranja goriva

NRT za smanjenje emisija  $\text{NO}_x$  podrazumijeva kombinaciju različitih primarnih mjera kao što su optimiranje procesa izgaranja (mali suvišak zraka, stupnjevani dovod goriva i zraka, recirkulacija dimnih plinova, itd.), primjena plamenika s niskom emisijom  $\text{NO}_x$ , izgaranja u fluidiziranom sloju i drugih promjena/poboljšanja tehnologije izgaranja (*LCP-BREF, 2006., Cooper, Alley, 2014., Ramachandran et al., 1999., Dullien, 1989., Schnelle, Brown, 2002.*). Tim mjerama se, ovisno o vrsti i kvaliteti goriva te izvedbi ložišta i plamenika, može postići bitno smanjenje nastajanja  $\text{NO}_x$  pri izgaranju (Tablica 3).

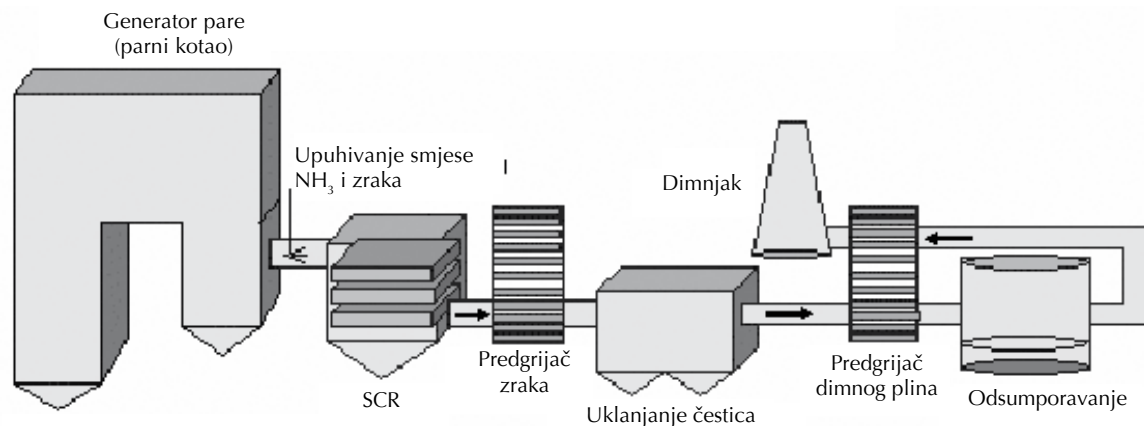
### Uklanjanje NO<sub>x</sub> iz dimnih plinova

Kada se potrebno smanjenje emisija NO<sub>x</sub> ne postiže samo primarnim mjerama, kao sekundarna mjera primjenjuju se procesi selektivne katalitičke redukcije (SCR) i selektivne nekatalitičke redukcije (SNCR) za uklanjanje NO<sub>x</sub> iz izlaznih plinova ložišta (*LCP-BREF, 2006., Cooper, Alley, 2014., Schnelle, Brown, 2002.*). U procesu SNCR-a, reducens (obično amonijak, rjeđe urea) raspršuje se direktno u prostor ložišta i reagira s dušikovim oksidima pri temperaturi između 850 °C i 1100 °C ovisno o korištenom reducensu, a proizvod reakcije su dušik i vodena para. U procesu SCR-a upotrebljava se katalizator čiju aktivnu komponentu čine oksidi metala (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, WO<sub>3</sub>, MoO<sub>3</sub>), zeoliti ili aktivni ugljen i koji omogućava redukciju NO<sub>x</sub> u N<sub>2</sub> pri znatno nižim temperaturama (obično od 170 do 510 °C, ovisno o aktivnoj komponenti). Amonijak pomiješan sa zrakom raspršuje se u tok otpadnog plina u odvodnom kanalu prije katalizatora (slika 5); (*LCP-BREF, 2006.*). Prolaskom smjese plinova

kroz katalizator amonijak reagira s NO<sub>x</sub> pri čemu dolazi do redukcije u N<sub>2</sub>:



Prednost SCR-a u odnosu na SNCR je visoka učinkovitost (uklanja i do 95 % NO<sub>x</sub>) i niža temperatura potrebna za reakciju, dok je nedostatak znatno veći ukupni trošak zbog upotrebe katalizatora. Potencijalni problemi kod SNCR-a su nepotpuno miješanje amonijaka i dimnog plina te neodgovarajuća regulacija temperature (pri pre niskim temperaturama NH<sub>3</sub> koji ne odreagira s NO<sub>x</sub> prisutan je u izlaznom plinu, a pri previsokim NH<sub>3</sub> oksidira u NO<sub>x</sub>). SCR u kombinaciji s primarnim mjerama je NRT za uklanjanje NO<sub>x</sub> iz dimnih plinova velikih termoenergetskih postrojenja, dok se SNCR može smatrati NRT-om u slučaju postrojenja loženih ugljenom toplinske snage manje od 100 MW i gdje su postojeće emisije NO<sub>x</sub> relativno niske.



Slika 5. Sustav za pročišćavanje dimnih plinova iz ložišta termoenergetskog postrojenja: uklanjanje NO<sub>x</sub> iz dimnog plina u SCR uređaju te daljnje pročišćavanje izdvajanjem lebdećeg pepela u elektrostatičkom taložniku i odsumporavanjem u mokrom kolektoru

Figure 5. Flue-gas cleaning system: NO<sub>x</sub> removal in SCR unit and further flue-gas cleaning in an electrostatic precipitator and a wet scrubber

Osim prethodno navedenih, postoje i drugi postupci za uklanjanje  $\text{NO}_x$  i  $\text{SO}_2$  iz otpadnih plinova, kao što su kombinirani postupci (npr.  $\text{NO}_x\text{SO}$  i  $\text{SNOX}$  proces) kojima se ujedno uklanjaju i  $\text{NO}_x$  i  $\text{SO}_2$  iz dimnih plinova i koji su razvijeni s ciljem zamjene kombinacije konvencionalnih mokrih postupaka odsumporavanja i SCR/SNCR (*LCP-BREF, 2006., Bolli et al., 1993., Borio, Kingston, 1993., van Velzen, 1991., Caua et al., 2015.*). U određenim slučajevima gdje je to tehnički i ekonomski opravdano, ti se postupci također mogu smatrati NRT-om.

U svrhu postizanja željenog učinka čišćenja, sustav za pročišćavanje dimnih plinova često se sastoji od više uređaja, npr. vrećastih filtara ili EST-a za uklanjanje krutih čestica, mokrih ili suhih kolektora za odsumporavanje dimnih plinova i uređaja za selektivnu katalitičku ili nekatalitičku redukciju za uklanjanje  $\text{NO}_x$ . Na slici 5 prikazan je sustav za pročišćavanje dimnog plina sa smještajem uređaja za SCR između parnog kotla i EST-a. U većini slučajeva ovakav raspored uređaja predstavlja ekonomično rješenje i u praksi je najčešće primjenjivan. S obzirom da je temperatura dimnog plina na izlazu iz kotla obično između 300 i 450 °C, nije potrebno njegovo zagrijavanje prije SCR-a. Nedostatak je mogućnost začepljenja pora katalizatora, npr. lebdećim pepelom iz dimnog plina, kao i deaktivacije katalizatora djelovanjem štetnih sastojaka iz dimnog plina (npr. As, Sb, P i Cr) što rezultira manje učinkovitom redukcijom  $\text{NO}_x$  i povećanim koncentracijama neodreagiranog  $\text{NH}_3$  u izlaznom plinu. Ovi nedostaci izbjegnuti su kod rasporeda s EST ili vrećastim filtrom odnosno mokrim kolektorom postavljenim prije uređaja za SCR, ali u tom slučaju neophodno je zagrijavanje dimnog plina prije SCR-a na radnu temperaturu katalizatora, što znatno povećava investicijske i pogonske troškove.

Odabir optimalnog sustava za pročišćavanje dimnih plinova ovisi o nizu čimbenika: ukupnom protoku, temperaturi i vlažnosti pročišćavanog dimnog plina, koncentraciji onečišćujućih tvari u dimnom plinu, veličini, gustoći i obliku krutih čestica, kemijskim svojstvima čestica i plinova, traženju učinkovitosti čišćenja, padu tlaka,

kapacitetu, dimenzijama, troškovima nabave, pogona i održavanja uređaja i dr. Investicijski, pogonski i troškovi održavanja sustava za pročišćavanje dimnih plinova su visoki. Ovisno o navedenim čimbenicima, kapitalni troškovi npr. mokrih postupaka odsumporavanja kreću se od 35 do 50 eura/kW, a pogonski troškovi i troškovi održavanja od 0,2 do 0,3 eura/kWh, odnosno od 750 do 1150 eura po toni uklonjenog  $\text{SO}_2$ . U slučaju naknadne ugradnje uređaja za SCR, učinkovitosti uklanjanja  $\text{NO}_x$  između 60 i 90 %, kapitalni troškovi se kreću od 50 do 100 eura/kW, s time da su troškovi po kW manji što je veće termoenergetsko postrojenje i manja tražena učinkovitost uklanjanja  $\text{NO}_x$ , dok pogonski troškovi najviše ovise o vijeku trajanja katalizatora, potrošnji reducensa i potrošnji energije za zagrijavanje dimnog plina (*LCP-BREF, 2006., Cooper, Alley, 2014.*).

### Smanjenje emisije CO

CO nastaje nepotpunim izgaranjem tvari koje sadrže ugljik, kao posljedica preniskih temperatura izgaranja, prekratkog vremena zadržavanja u zoni izgaranja i/ili neučinkovitog miješanja goriva i zraka. Emisija CO najveća je iz postrojenja loženih ugljenom zbog težeg postizanja optimalne smjese gorivo-zrak i time potpunog izgaranja. Smanjenja emisija CO postiže se odgovarajućom konstrukcijom, regulacijom, nadzorom i održavanjem sustava izgaranja s ciljem potpunog izgaranja goriva (*LCP-BREF, 2006.*).

### Smanjenje emisije $\text{CO}_2$

#### *Povećanje učinkovitosti tehnologije izgaranja fosilnih goriva*

Primarna mjera za smanjenje emisija  $\text{CO}_2$  je povećanje učinkovitosti tehnologije izgaranja fosilnih goriva čime se smanjuje potrošnja goriva, a ujedno i emisija  $\text{CO}_2$ . To uključuje različite opcije, kao što su rekonstrukcija ili zamjena postojećih kotlova, turbina i pumpi, proizvodnja pare natkritičnih vrijednosti temperature i tlaka, korištenje otpadne topline, ugradnja učinkovitih sustava za nadzor procesa izgaranja i dr. Proizvodnja električne i korisne toplinske energije u jednom procesu (kogeneracija) jedna je od najvažnijih opcija za povećanje energetske

učinkovitosti kod planiranja novih termoenergetskih postrojenja te se smatra bitnim NRT-om za smanjenje emisije CO<sub>2</sub>. Potrošnja energije može biti smanjena i do 50 % u odnosu na odvojenu proizvodnju električne i toplinske energije (*LCP-BREF, 2006.*). Prema tome, kogeneraciju bi trebalo planirati umjesto postrojenja koje proizvodi isključivo toplinsku odnosno električnu energiju gdje je god to ekonomski opravdano s obzirom na potrebe lokalnog područja za toplinskom energijom.

### **Hvatanje i geološko skladištenje CO<sub>2</sub> iz termoenergetskih pogona**

Sekundarna mjera za smanjenje emisija CO<sub>2</sub> je njegovo izdvajanje iz dimnih plinova i odlaganje. Ako za to postoje tehnički, ekonomski i normativni uvjeti, na lokaciji termoenergetskog postrojenja moguće je planirati postrojenje za hvatanje CO<sub>2</sub>. Koncept hvatanja i geološkog skladištenja CO<sub>2</sub> sastoji se u izgradnji sustava za izdvajanje CO<sub>2</sub> (prije ili poslije izgaranja goriva ili tzv. Oxyfuel tehnologija), njegovog transporta i trajnog skladištenja u odgovarajuće podzemne geološke formacije. Hvatanje CO<sub>2</sub> prije izgaranja goriva u termoenergetskom uređaju (turbini) obavlja se obično u sklopu kombiniranog plinsko-parnog toplinskog ciklusa s integriranim rasplinjavanjem ugljena (*IGCC - Integrated Gasification Combined Cycle*), a hvatanje poslije izgaranja goriva izdvajanjem CO<sub>2</sub> iz dimnih plinova izgaranja obično apsorpcijom u mokrim separacijskim uređajima (tornjevima) s ispunom (*Cooper, Alley, 2014., IPCC Special Report..., 2005., Jurić, Tot, 2008., Cormos, 2012., Davison, 2007.*). Treća mogućnost hvatanja CO<sub>2</sub> je primjena tzv. Oxyfuel tehnologije, gdje se CO<sub>2</sub> izdvaja iz dimnog plina nakon izgaranja fosilnih goriva u struji skoro čistog kisika (95-99 %) umjesto u struji zraka (*IPCC Special Report..., 2005., Zheng et al., 2015.*). Takvo izgaranje rezultira dimnim plinovima bez dušika i s visokom koncentracijom CO<sub>2</sub> (> 80 vol. %), što olakšava njegovo izdvajanje.

Tehnologija hvatanja i geološkog skladištenja CO<sub>2</sub> je u ranoj fazi razvoja i očekuje se njezina komercijalna raspoloživost u budućnosti, ali u

skladu s VTU RDNRT-om zasad se još ne smatra NRT-om. Prema Direktivi 2010/75/EU, okolišna dozvola ne uključuje GVE za izravne emisije CO<sub>2</sub> i drugih stakleničkih plinova iz postrojenja, osim ako je to potrebno kako bi se spriječilo značajno lokalno onečišćenje. Međutim, prema istoj direktivi, operateri svih uređaja za loženje izlazne električne snage jednake ili veće od 300 MW, za koje je originalna građevinska dozvola ili originalna dozvola za rad izdana nakon stupanja na snagu Direktive 2009/31/EZ o geološkom skladištenju ugljikovog dioksida, obvezni su procijeniti jesu li zadovoljeni sljedeći uvjeti (Directive 2010/75/EU):

- da postoje odgovarajuće lokacije za skladištenje,
- da je transport do tih lokacija tehnički i ekonomski izvediv,
- da je tehnički i ekonomski izvediva dopunja postrojenja za hvatanje CO<sub>2</sub>.

Ako su navedeni uvjeti zadovoljeni, nadležno tijelo treba osigurati odgovarajući prostor na lokaciji postrojenja za opremu potrebnu za hvatanje i komprimiranje izdvojenog CO<sub>2</sub>.

## **ZAKLJUČAK**

Za termoenergetska postrojenja nazivne toplinske snage jednake ili veće od 50 MW potrebno je u postupku ishođenja okolišne dozvole utvrditi usklađenost postrojenja sa zahtjevima Direktive 2010/75/EU odnosno hrvatskih propisa u koje su prenesene njezine odredbe. Prijedlog mjera za usklađivanje sa zahtjevima Direktive proizlazi iz značajki tehnološkog procesa i lokacije postrojenja, a donosi se na temelju usporedbe postojećih (planiranih) mjera i postupaka sa zahtjevima za NRT prema VTU RDNRT-u, te usporedbe postojećih (planiranih) vrijednosti emisija onečišćujućih tvari iz postrojenja s minimalnim obvezujućim GVE propisanim Direktivom i s rasponima vrijednosti emisija dostižnih primjenom NRT-a (NRT-GVE) definiranim u VTU RDNRT. Ishođenje okolišne dozvole, koja je preduvjet za nastavak rada postojećih i jedan od preduvjeta za ishođenje uporabne dozvole u

slučaju izgradnje novih i rekonstrukcije postojećih velikih termoenergetskih postrojenja, zasniva se na zadovoljenju tih vrijednosti.

Odabir odgovarajućih NRT-a i ugradnja u postojeće postrojenje s ciljem usklađivanja sa zahtjevima Direktive i RDNRT-a na koje se ona poziva predstavlja tehnički složen zadatak koji zahtijeva detaljna mjerenja i analize za pojedino postrojenje (uključujući analizu koristi i troškova). Od mogućih mjera za smanjenje emisija u zrak, prioritet treba dati mjerama u vezi sa samim uzrokom (vrsta i sastav goriva, način izgaranja) s ciljem sprečavanja da uopće dođe do stvaranja onečišćujućih tvari odnosno da njihova koncentracija u otpadnim plinovima bude minimalna. Ako se primarnim mjerama - kao što su korištenje goriva sa zanemarivim ili niskim sadržajem sumpora (< 1 %), primjena plamenika s niskom emisijom NO<sub>x</sub>, općenito optimalna konstrukcija, regulacija, nadzor i održavanje sustava izgaranja - ne postiže smanjenje emisija na vrijednosti ispod propisanih GVE, u obzir treba uzeti i skuplje (sekundarne) mjere kao što je ugradnja uređaja za odsumporavanje dimnih plinova i/ili uređaja za selektivnu katalitičku ili nekatalitičku redukciju. Zbog postizanja željenog smanjenja emisija onečišćujućih tvari, često je potrebno primijeniti kombinaciju primarnih i sekundarnih mjera.

## LITERATURA

Babačić, M., Begović, M.: Utjecaj Direktive o industrijskim emisijama na rad postrojenja TE-TO Zagreb. Referat, 11. savjetovanje HRO CI-GRE, Cavtat, 2013.

Babačić, M., Tarnik, T.: Rješenja o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša (okolišne dozvole) za termoenergetska postrojenja HEP-a - "Bliži se kraj postupaka". *HEP Vjesnik*, 281/321, 2015., 16-17.

Baćun, D., Matešić, M., Jelić Muck, V., Pavić-Rogošić, L., Varlec, D.: *Okolišna dozvola – kratki vodič za javnost*. 2. dopunjeno izdanje, ODRAZ i HR PSOR, Zagreb, 2014.

Bogdan, Ž., Živković, S. A., Dokmanović, V., Merić, J.: Tehnologije čistog ugljena u strategiji

razvoja elektroenergetskog sustava. *Energija*, 56, 2007., 4, 398-431.

Bolli, R.E., Woods, M.C., Madden, D.R., Corfman, D.W.: NOXSO: A No-Waste Emission Control Technology. In: *Processing and Utilization of High-Sulfur Coals*, V. Parekh, B.K., Groppo, J.G. (editors), Elsevier, Amsterdam, 1993., 437-449.

Borio, D.C., Kingston, W.H.: Efficient and Cost-Effective NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> Removal from Flue Gases with the SNOX Process. In: *Processing and Utilization of High-Sulfur Coals*, V. Parekh, B.K., Groppo, J.G. (editors), Elsevier, Amsterdam, 1993., 451-465.

Caua, G., Tolaa, V., Bassano, C.: Performance evaluation of high-sulphur coal-fired USC plant integrated with SNOX and CO<sub>2</sub> capture sections. *Applied Thermal Engineering*, 74, 2015., 136-145.

Cooper, C.D., Alley, F.C.: *Air Pollution Control - A Design Approach*. 4th ed. Waveland Press, Inc., Long Grove, Illinois, 2014.

Cormos, C.C.: Integrated assessment of IGCC power generation technology with carbon capture and storage (CCS). *Energy*, 42, 2012., 434-445.

Ćurković, D.: *Utjecaj direktive o industrijskim emisijama na postrojenje TE-TO Zagreb*. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2015.

Davison, J.: Performance and costs of power plants with capture and storage of CO<sub>2</sub>. *Energy*, 32, 2007., 1163-1176.

*Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions*. Official Journal of the European Union, L 334, 2010, dostupno na: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=HR>, pristupljeno: 20.9.2016.

Dullien, F. A. L.: *Introduction to Industrial Gas Cleaning*. Academic Press, Inc., San Diego, 1989.

Edgar, F.T.: *Coal Processing and Pollution Control*. Gulf Publishing Company, Houston, 1983.

G. G. Allen *Steam Station*. dostupno na: <http://mapio.net/o/1050236/>, pristupljeno: 10.10.2016.

Gaikwad, R.: *Dry Flue Gas Desulfurization Technology Evaluation. Project No. 11311-000*, Sargent & Lundy LLC, Chicago, 2002.

Gates, D.M.: *Energy and Ecology*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, 1985.

Goić, R.: *Opća energetika - Energetika i okoliš*. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, dostupno na: <http://marjan.fesb.hr/~rgoic/oe/p4.pdf>, pristupljeno: 5.10.2016.

HEP: *Okolišne dozvole*. HEP d.d., 2016., dostupno na: <http://www.hep.hr/okolis/okolisne-dozvole/154>, pristupljeno: 24.9.2016.

LCP-BREF: *Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants*. European Commission, 2006, dostupno na: [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lcp\\_bref\\_0706.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lcp_bref_0706.pdf), pristupljeno: 20.9.2016.

*IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Prepared by Working Group III of the IPCC, Cambridge University Press, New York, 2005.

Jurić, Ž., Tot, M.: Tehnologije za izdvajanje i skladištenje CO<sub>2</sub> iz perspektive smanjenja emisije stakleničkih plinova u Hrvatskoj. *Zbornik radova znanstveno-stručnog skupa Tehnologije zaštite zraka*, 21.-24.9.2008., Tuheljske toplice, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb, 2008.

Nolan, P.S.: Flue Gas Desulfurization Technologies for Coal-Fired Power Plants. *Coal-Tech 2000 International Conference*, Jakarta, 2000, dostupno na: <http://www.babcock.com/library/Documents/br-1709.pdf>, pristupljeno: 10.10.2016.

*Pravilnik o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora*, N.N., br. 129/12., 97/13.

*Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda*, N.N., br. 80/13., 43/14., 27/15., 3/16.

Ramachandran, G., Reist, P.K., Liu, D.H.F., Chuang, K.T., Sanger, A.R. Air Pollution - Pollutants: Minimization and Control. In: *Environmental Engineer's Handbook*. Liu, D.H.F., Liptak, B.G. (editors), CRC Press LLC, Boca Raton, 1999.

Salopek, B.: Energija iz ugljena i okoliš. U: *Zbornik radova simpozija "Doprinos rudarstva energetici Hrvatske"*, 3.12.1993., RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1993., 235-246.

Salopek, B., Krasić, D., Mikulić, A.: Novi postupci čišćenja plinova termoelektrana loženih ugljenom. U: *Zbornik radova kongresa "Energija i zaštita okoliša"*, Opatija, 1994., 209-216.

Schnelle, K.B., Brown, C.A.: *Air Pollution Control Technology Handbook*. CRC Press LLC, Boca Raton, 2002.

*Smjernice za NRT - Procjena NRT-a i određivanje GVE*. MZOIP, Projekt CARDS 2004., dostupno na: [http://www.mzoip.hr/doc/odredivanje\\_granicnih\\_vrijednosti\\_emisija\\_1.pdf](http://www.mzoip.hr/doc/odredivanje_granicnih_vrijednosti_emisija_1.pdf), pristupljeno: 24.9.2016.

Theodore, L.: *Air Pollution Control Equipment Calculations*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2008.

*Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora*, N.N., br. 117/12., 90/14.

*Uredba o kvaliteti tekućih naftnih goriva*, N.N., br. 113/13., 76/14., 56/15.

*Uredba o okolišnoj dozvoli*, N.N., br. 8/14.

Vallero, D.A.: *Fundamentals of Air Pollution*. 4th ed. Academic Press, Oxford, 2008.

van Velzen, D.: *Sulphur Dioxide and Nitrogen Oxides in Industrial Waste Gases: Emission, Legislation and Abatement*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1991.

*Zakon o zaštiti okoliša*, N.N., br. 80/13., 78/15.

*Zakon o zaštiti zraka*, N.N., br. 130/11., 47/14.



Zheng, L., Yan, J.: Thermal coal utilization. In: *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*, Vol. 2 - Coal utilisation. Dave Osborne (editor), Woodhead Publishing Limited., Cambridge, 2013., 237-266.

Zheng, Z., Liu, Z., Xiang, J., Zhang, L., Zhang, S., Luo, C., Zhao, Y.: Fundamental and Technical Challenges for a Compatible Design Scheme

of Oxyfuel Combustion Technology. *Engineering*, 1, 2015., 1, 139–149.

Wang, L.K., Williford, C., Chen, W.Y.: Desulfurization and Emissions Control. In: *Advanced Air And Noise Pollution Control*. Wang, L.K., Pereira, N.C., Hung, Y.T. (editors), Humana Press, Totowa, NJ, 2005., 35-95.

### **COMPLIANCE OF LARGE COMBUSTION PLANTS WITH THE EU DIRECTIVE ON INDUSTRIAL EMISSIONS**

*SUMMARY: Combustion plants are a significant source of gas and particulate emissions and process waste generation. In order to ensure integrated prevention and control of environmental pollution, the EU Directive 2010/75/EC on industrial emissions lays down the requirements concerning environmental protection that all combustion plants with a total rated thermal input of 50 MW or more must fulfill to be granted an operating license (environmental permit). These requirements include the use of best available techniques (BAT) and other measures to prevent or, where that is not practicable, to reduce the emissions of pollutants or energy into air, water and soil. The measures necessary to achieve compliance with the requirements of Directive are proposed on the basis of a comparison of pollutant emissions from combustion plant with the emission limit values set in the Directive. The paper deals with the conditions laid down in the Directive 2010/75/EU and the possibilities of large combustion plants compliance with these conditions.*

**Key words:** *Directive 2010/75/EU, combustion plants, emissions, best available techniques, environmental permit*

*Professional paper  
Received: 2016-11-02  
Accepted: 2017-03-06*