



**POSTROJENJA ZA
ODSUMPORAVANJE**



Postrojenja za odsumporavanje

Autor publikacije: Fadil Nadarević



RERI – Regulatorni institut za obnovljivu energiju i životnu sredinu
Dositejeva 30/3, 11 000 Beograd
Republika Srbija

<https://www.eri.org.rs>



Publikacija je izrađena u okviru projekta koji Regulatorni institut za obnovljivu energiju i životnu sredinu (RERI) sprovodi uz podršku Evropske fondacije za klimu (ECF). Za sadržinu ove publikacije isključivo je odgovoran Regulatorni institut za obnovljivu energiju i životnu sredinu (RERI) i ta sadržina nipošto ne izražava zvanične stavove Evropske fondacije za klimu.

februar 2023.

UVOD

U historiji civilizacije ne postoji industrijski proizvod koji je toliko značajan kao što je električna energija. Ne samo da je postao neophodan u svakodnevnom životu, nego je prerastao u uslov života i opstanka ljudi pa se čak predlaže da opskrba električnom energijom postane jedno od osnovnih ljudskih prava.

Svjedoci smo radikalnih promjena u energetsom sektoru u cijelom svijetu. U zapadnom svijetu desila se deregulacija (uklanjanje državnih monopola, utjecaja i regulacija) s razdvajanjem djelatnosti i stvaranjem konkurencije u proizvodnji električne energije, s liberalizacijom tržišta električne energije (otvoreno tržište s berzama električne energije) te s moćnim prenosnim mrežama, koje djeluju kao monopoli, a koje reguliraju nezavisni regulatori i, na kraju, povezivanje tržišta električne energije, prvo u regionalna, a zatim u jedinstveno panevropsko tržište električne energije.

Kao posljedica ratnog sukoba Ukrajine i Rusije u toku je globalno energetske prestrujavanje u kome Evropa nastoji da se oslobodi zavisnosti od uvoza ruskih energenata, naročito prirodnog gasa i nafte te postaje upitna sigurnost snabdijevanja zemalja Evropske unije sa dovoljnim količinama energenata

i električne energije u cjelini. Pitanje energetske bezbjednosti sve više postaje pitanje suvereniteta. Balkanske zemlje, a posebno Zapadni Balkan su u vrlo teškom i nezavidnom položaju, jer su već decenijama tehnološki i sirovinski energetske zavisne prvo od SSSR-a, a sada od Rusije i vrlo je teško u kratkom vremenu učiniti kvalitativne promjene koje bi tu zavisnost učinile manjom.

Ako se svemu ovome još dodaju i klimatske promjene, koje su prihvaćene kao činjenica i koje su, u početku, skoro stidljivo najavljivali, a sada se i kroz mehanizme Ujedinjenih Nacija pokreću aktivnosti koje imaju cilj da ublaže klimatske promjene i obezbijede održivost planete, postaje jasno da je definitivno prošlo vrijeme jeftine električne energije i prljavih i zagađujućih tehnologija. Pri tome je Pariski sporazum o klimatskim promjenama, i njegovo prihvatanje (opći pravno obavezujući globalni klimatski sporazum, potpisan 22. 4. 2016, koji je Evropska unija ratificirala 5. 10. 2016) definitivno trasirao put razvoja buduće energetike, jer će Evropska unija, posredstvom Energetske zajednice (EZ), svoje propise o klimatskim promjenama transponirati u nacionalna zakonodavstva svih evropskih zemalja.

Jedan od ključnih odgovora na navedene probleme je ENERGETSKA TRANZICIJA

nacionalnih energetske politika i prelazak na tehnologije koje ne emituju ugljendioksid. Pri tome, treba imati na umu da su sve dosadašnje energetske tranzicije, nezavisno od vrste goriva (drvo, uglj, nafta, plin...), bile bazirane na pogodnosti resursa, produktivnosti upotrebe resursa i stepenu ostvarenosti tehnološkog napretka (odnosno mogućnosti primjene konkretne tehnologije), kao i izbjegavanju nepovoljnih eksternih efekata. Sada u cijelom svijetu imamo bitno drugačiju situaciju, koja se značajno razlikuje od svih drugih, prethodnih (industrijsko-tehnoloških) tranzicija. Ovo je prva tranzicija koja je pokrenuta regulatornim poticajima i koja, za sada, nema primarni cilj koji se ogleda u povećanju profita elektroprivrednih kompanija ili u povećanju stepena korisnosti tehnološkog procesa proizvodnje struje, nego je glavni cilj DEKARBONIZACIJA energetskog sektora i smanjenje štetnog utjecaja produkata sagorijevanja fosilnih goriva.

Razvijene zemlje, gdje je proizvodni portfolio vrlo diversifikovan i koje imaju „kvalitetan miks“ različitih tehnoloških postupaka proizvodnje električne energije, ovaj problem će „relativno“ lakše riješiti, nego zemlje koje su se oslanjale isključivo na uglj lošijeg kvaliteta (treset, lignit i slabi mrki ugljenovi) ili bilo koju drugu vrstu energije gdje je proizvodni portfolio vrlo jednostavan. Stoga je na prostorima bivše Jugoslavije (prvenstveno u Srbiji, Bosni i Hercegovini, Crnoj Gori i Sjevernoj Makedoniji) situacija značajno komplikovanija. Ove zemlje raspolažu starim, najčešće lignitnim termoblokovima, građenim prije 40 i više godina, sa starim tehnologijama, bez izvršenih modernizacija, bez

postrojenja za odsumporavanje i denitrifikaciju i sa proizvodnim procesom koji nije usaglašen s novim ekološkim propisima i uslovima rada kakve diktira EU i Energetska zajednica. U ovim zemljama potrebno je paralelno obaviti tranziciju ka tehnologijama sa manjim utjecajima na životnu sredinu i diversifikaciju izvora u cilju poboljšanja održivosti i pouzdanosti.

Ovakvo stanje značajno podiže odgovornost kreatora nacionalnih energetske politika. To zahtijeva mnogo više znanja i prvenstveno odgovornosti stručnih ljudi na ključnim pozicijama energetskog sektora, koji se u posljednje vrijeme (u skoro svim državama Zapadnog Balkana) postavljaju po stranačkoj liniji (liniji podobnosti), a da se pri tome u potrebnoj mjeri ne uvažavaju stručni kriteriji.

Da proces nije nimalo jednostavan, često svjedoče kontradiktorne izjave raznih eksperata, kao i zablude, lutanja i česte promjene strategija i pravaca u mnogim zemljama. Mnogi službeni dokumenti vezani za razvoj energetike velikog broja zemalja, u posljednjih nekoliko godina, pretrpjeli su značajne promjene, jer i dalje kod određenog broja „važnih ljudi“ postoje shvatanja da električna energija nije roba i da ne podliježe tržišnim zakonitostima. Opće je mišljenje da se od postavljenih ciljeva, vezanih za klimatske promjene neće i ne smije odustati i svi koji realno razmišljaju već se uveliko pripremaju ili su već odradili značajan dio posla vezan za energetske tranziciju. Bilo bi krajnje vrijeme da se i na ovim prostorima, osim deklarativnih izjava, počnu povlačiti i konkretni potezi.

PROIZVODNJA UGLJA I PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Najveći proizvođači električne energije u 2021. godini su bili Kina sa 8.537 TWh, Sjedinjene Američke Države s 4.381 TWh, Indija s 1.669 TWh, Rusija 1.157 TWh, te Japan s 1.030 TWh.

Nakon blagog pada proizvodnje električne energije u svijetu u 2020. godini (zbog pandemije COVID 19) došlo je do porasta proizvodnje u 2021. godini te je ukupna proizvodnja iznosila 28.433 TWh. Najveći proizvođači električne energije u 2021. godini su bili Kina sa 8.537 TWh, SAD sa 4.381 TWh, Indija sa 1.669 TWh, Rusija sa 1.157 TWh, te Japan sa 1.030 TWh.

Najveći proizvođači električne energije u Evropi¹ su Njemačka s 584 TWh i Francuska s 555 TWh (Srbija proizvodi oko 35 do 45 TWh, a Bosna i Hercegovina oko 15 do 18 TWh).

Situacija u svijetu danas je takva da se najveći dio svjetske proizvodnje električne energije i dalje proizvodi iz fosilnih goriva, pri čemu u toj proizvodnji najveći dio proizvedene energije otpada na proizvodnju iz uglja.

Prema službenim podacima² svjetska proizvodnja uglja u 2021. godini iznosila je 7.943 miliona tona i porasla je za 5,7% u

odnosu na 2020. godinu (i time dostigla iznos nešto iznad nivoa prije pandemije 2019). Najveći proizvođači uglja u 2021. godini u svijetu su Kina sa 3.969 miliona tona (49,5% svjetske proizvodnje) a zatim slijede Indija sa 829 miliona tona, Indonezija sa 592 miliona tona te SAD sa 523 miliona tona i Australija sa 456 miliona tona.

Evropska proizvodnja uglja porasla je za 11,9% u 2021, i to zahvaljujući prvenstveno većoj potražnji za električnom energijom i visokim cijenama plina (porast proizvodnje uglja za 17,7% u Njemačkoj, 6,9% u Poljskoj i 15% u Turskoj).

Prema službenim podacima Eurocoala, u 2019. godini, 37% ukupne proizvodnje električne energije u cijelom svijetu baziralo se na proizvodnji iz uglja³.

Aktuelno energetske stanje svijeta je vrlo složeno. Broj stanovnika se neprekidno povećava i u posljednjih 40 godina stanovništvo Zemlje je udvostručeno, pri čemu intenzivnost upotrebe električne energije neprekidno raste. U 2001. godini svjetska proizvodnja električne energije u svijetu iznosila je 15500 TWh, a 20 godina kasnije, 2021, svjetska proizvodnja električne energije iznosila je skorodvostruko više (28.433 TWh).

¹ <https://yearbook.enerdata.net/register.html>

² <https://yearbook.enerdata.net. World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2022.>

³ <https://euracoal.eu/coal/coal-use-worldwide/>

ENERGENTI - GORIVO

Tehnološki proces proizvodnje električne energije u elektroenergetskom sistemu započinje osiguranjem dovoljnih količina primarnih oblika energije. Nastavlja se proizvodnjom, odnosno transformacijom drugih oblika energije u električnu energiju te prijenosom, odnosno distribucijom električne energije do mjesta potrošnje i njenom transformacijom u druge korisne oblike⁴.

Zalihe svjetskih energetske sirovina (primarnih oblika energije) za svaki energent su različite. Veće zalihe energenta upućuju i na veću raspoloživost energenta. Osim o zalihama, stvarna raspoloživost energenta zavisi i od cijene eksploatacije.

Gorivo je materija koja na povišenoj temperaturi pri spajanju s kiseonikom oslobađa, određenom brzinom, energiju molekularne veze u obliku toplotne energije koja se razmjenjuje s okolinom. Ova hemijska reakcija naziva se sagorijevanjem (oksidacijom) i obično je praćena plamenom.

Da bi se neka materija koristila kao gorivo postavljaju se i sljedeći dodatni uslovi: da se u prirodi nalazi u velikim količinama; da je jeftina; da je pogodna za transport i skladištenje; da se zapali na relativno niskoj

temperaturi i da sagorijeva u prisustvu kiseonika iz zraka, a da su gasoviti produkti i čvrsti ostaci sagorijevanja bezopasni.

Organska goriva prirodnog porijekla ili tzv. fosilna goriva u proteklom periodu predstavljala su najvažniji izvor za proizvodnju toplinske energije, koja je do sada bila osnov za proizvodnju električne energije.

Ugalj je najrasprostranjenije fosilno gorivo i najvažniji izvor primarne energije. Do sada je najvažnija primjena uglja bila sagorijevanje u termoelektranama, budući da se 65% svjetske proizvodnje uglja koristilo za proizvodnju električne energije.

Osnovni problem u korištenju uglja za proizvodnju električne energije je njegov utjecaj na okoliš i zagađenje životne sredine.

Termoenergetska postrojenja, pri sagorijevanju fosilnih goriva emituju u atmosferu produkte sagorijevanja energenata koji sadrže čvrste čestice (prašinu - kada je izvor energije ugalj) kao i okside sumpora, azota i ugljenika. Čak i ako se većina čestica, odnosno oksida sumpora i azota, odvaja od dimnih gasova u postrojenjima za prečišćavanje dimnih gasova, manji dio gasova (u zavisnosti od efikasnosti korištenih uređaja za prečišćavanje dimnih gasova) se ipak emituje u životnu sredinu i nanosi štetu ljudskom zdravlju te

⁴ F. Nadarević, *Doktorska disertacija: Međudjelovanje elektroenergetskog sustava i termoelektrana, Zagreb 2006.*

pogoršava uslove životne sredine. Neki od tih (emitovanih) gasova imaju direktan ili indirektan utjecaj na klimatske uslove i životnu sredinu, (kisele kiše, bolesti disajnih organa, stvaranje fotohemijskog smoga, oštećenja ozonskog omotača, pojava efekta staklene bašte i druge nuspojave) pa je njihova koncentracija u dimnim gasovima ograničena propisima. Najvažniji od ovih gasova su ugljendioksid CO₂, sumporni oksidi zajednički nazvani SO_x (najznačajniji je sumpor-dioksid SO₂) kao i azotni oksidi NO_x. (N₂O, NO i NO₂).

Prema svom agregatnom stanju, goriva se dijele na čvrsta, tečna i plinovita, a prema porijeklu mogu biti obnovljiva ili neobnovljiva, dok se prema stepenu prerade mogu podijeliti na sirova i prerađena.

Sirova čvrsta goriva su: drvo, treset, ugali i uljni škriljci, kao i razni ostaci industrije i seoskih domaćinstava (razne sjemenke, slama, suncokret, ostaci drugih poljoprivrednih kultura i sl), za koje se odnedavno u energetici koristi jedno ime - biomasa.

Prerađena čvrsta goriva uključuju proizvode procesa prerade uglja, kao što su koks, polukoks i razne vrste briketa ili

prerađevine nafte (naftni koks) ili različite vrste briketa ili peleta iz biomase, odnosno otpada.

Sirovo čvrsto gorivo sastoji se od ugljenika (C), vodonika (H₂), kiseonika (O₂), azota (N), sagorivog sumpora (Sg), mineralnih materija (A) i vlage (W). Sastav čvrstog goriva izražava se elementarnom analizom svih sastojaka u procentima po masi.⁵ Sastav goriva se može vidjeti na slici 1.

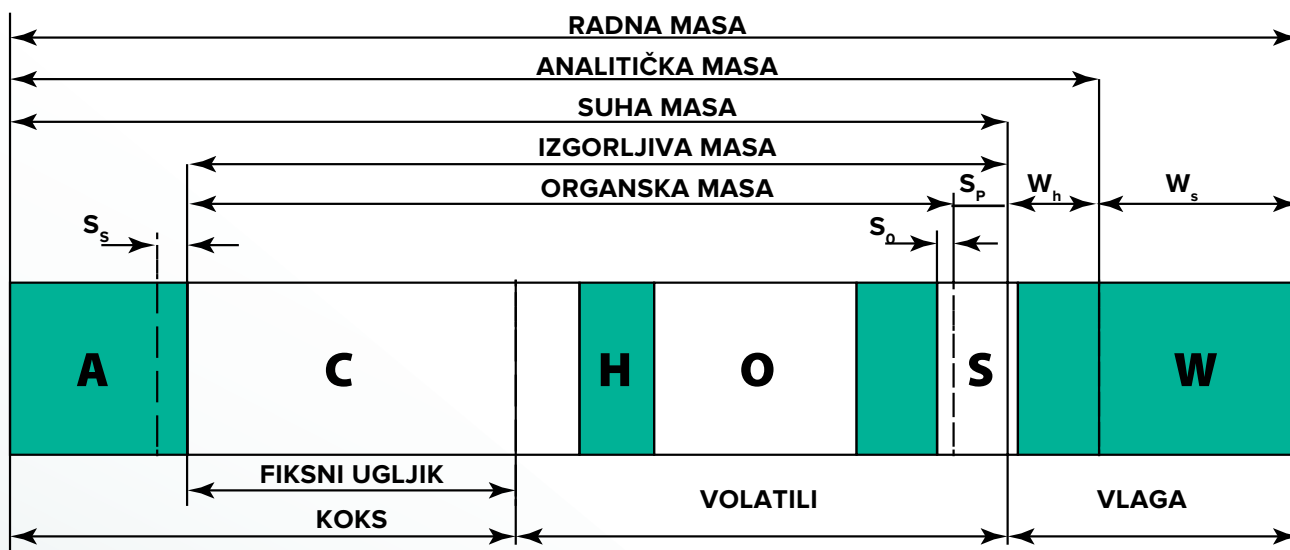
Gorivo koje dolazi na sagorijevanje u kotlovima ili pećima za izgaranje naziva se radnim gorivom i njegov sastav se može predstaviti kao

$$Cr + Hr + Or + Nr + Sgr + Ar + Wr = 100[\%]$$

Gorivo bez vlage i pepela predstavlja sagorljivu masu. Elementarni sastav izgorive mase goriva moguće je predstaviti kao:

$$Cg + Hg + Og + Ng + Sgg = 100[\%]$$

Navedeni elementi u gornjim „jednačinama“ ustvari su oni elementi koji bitno utječu na kvalitet sagorijevanja unutar kotla kao i na sve produkte sagorijevanja.



Slika 1. Struktura čvrstog goriva

⁵ LJ.Brkić, T. Živanović: Parni kotlovi, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu 2002. god.

Ugljenik (C) je jedan od glavnih sastojaka goriva i u njegov sastav ulazi u obliku složenih jedinjenja s kiseonikom, vodonikom i sumporom. Njegov sadržaj u organskoj masi goriva je od 50% kod drva, odnosno do 94% kod antracita. Pri potpunom izgaranju ugljenika stvara se ugljendioksid i oslobađa toplota od oko 33900 kJ/kg.

Vodonik (H) je, također, koristan sastojak goriva, jer po jedinici mase oslobađa oko 4 puta veću količinu toplote od ugljenika. Međutim, sadržaj vodonika u gorivu je mali te je i količina toplote koja se njegovim sagorijevanjem oslobađa mala. Samo po sebi razumije se da vodonik vezan s kiseonikom u vodu (vlagu) ne «ulazi» u sadržaj vodonika iz elementarne analize goriva.

Kiseonik (O) se smatra organskim balastom goriva budući da nije sagoriva materija. Vremenom „ulazi“ u reakcije „tije“ oksidacije sa sagorivim komponentama goriva, tako da pogoršava njegov kvalitet. Kisika ima manje u geološki starijim gorivima, dok ga u izgorivoj masi drveta ima približno do 42,5%.

Azot (N) se u gorivu, po pravilu, sadrži u malim količinama, ne učestvuje u sagorijevanju i prelazi u slobodnom stanju u produkte sagorijevanja. U poređenju sa sadržajem azota iz vazduha koji se dovodi u proces sagorijevanja, njegovo učešće u produktima sagorijevanja je zanemarivo. Međutim, azot iz goriva ima značajnu ulogu pri stvaranju azotnih oksida (NO_x) koji predstavljaju najštetniju komponentu produkata sagorijevanja sa gledišta zagađenja okoliša.

Sumpor (S) se u gorivu nalazi u tri oblika:

- organski (So): kada je vezan sa ugljenikom, vodonikom, kiseonikom i azotom u obliku složenih organskih jedinjenja,
- piritni (Sp): sjedinjen sa željezom i
- sulfatni (Ss): u obliku sulfata željeza, magnezijuma, kalcijuma i drugih.

Sumpor koji ulazi u sastav organskih jedinjenja i piritna može da sagorijeva, pri čemu se stvara sumpor-dioksid i oslobađa toplotna energija od oko 10500 kJ/kg. Ovaj sumpor se naziva sagorivim. Sumpor iz sulfatnih jedinjenja, zbog toga što se ona praktički ne razlažu, ne oslobađa toplotnu energiju pri sagorijevanju prelazi u šljaku i pepeo.

Pri određenim fizičko-hemijskim uslovima u gasnom traktu parnog kotla, sumpor-dioksid reoksidira u sumpor-trioksid koji predstavlja anhidrid sumporne kiseline, jer pri spajanju s vodom daje sumpornu kiselinu koja je, na temperaturama koje vladaju u gasnom traktu kotla, u parnoj fazi. Na temperaturama nižim od tačke rose sumporne kiseline dolazi do njenog kondenziranja na cijevima grijnih površina. U određenim koncentracijama u rastvoru s vodom, sumporna kiselina bitno djeluje na metal, izazivajući takozvanu niskotemperaturnu koroziju.

Dakle, bez obzira na to što se pri izgaranju oslobađa određena količina toplotne energije, sumpor je štetan sastojak goriva.

Pepeo (A) je čvrsti ostatak procesa sagorijevanja, a nastao je transformacijom mineralnih materija iz goriva. Mineralne materije predstavljaju balast u gorivu, jer njihovo prisustvo smanjuje sadržaj

sagorivih sastojaka goriva, smanjujući tako i njegovu toplinsku energetska vrijednost.

Pored toga, one otežavaju proces mljevenja uglja i pogoršavaju uslove paljenja uglja u ložištu. Poslije sagorijevanja, pepeo nastao od mineralnih materija, može da izazove šljakanje u sloju uglja i zašljaki- vanje grijnih površina. Čestice „letećeg“ pepela, nošene dimnim gasovima, abra- zivno djeluju na metal grijnih površina, smanjujući vijek njihovog trajanja.

Pepeo goriva koji ulazi u sastav masa je čvrsti ostatak dobijen poslije sagorijevanja specijalnog uzorka goriva pri tempera- turi od 800 oC. Pri sagorijevanju goriva, njegov mineralni dio „trpi“ niz transforma- cija i prelazi u pepeo čija količina ne zavisi samo od sadržaja i sastava mineralnih materija, nego i od uslova i načina sagori- jevanja goriva.

Pri žarenju goriva u laboratorijskoj peći, u mineralnom dijelu goriva se odvijaju slje- deći procesi:

- hidratizovani silikati, hidrati oksida željeza i gips gube kristaliziranu vodu,
- alkalije i hloridi isparavaju,
- karbonati i sulfati željeza i aluminija se razlažu i daju nova jedinjenja, a isto tako i sulfidi željeza i sumpor-trioksid.

Zbog ovih transformacija, masa i sastav pepela nikad nisu jednaki masi i sastavu početnih mineralnih materija, tako da je nepravilno govoriti o sadržaju pepela u uglju što je, inače, u praksi uobičajeno.⁷

Nesagorjeli dio goriva u uslovima ložišta sastoji se, općenito, od šljake i pepela. Šljaka je mineralni dio goriva koji je tran- sformisan tokom sagorijevanja u obliku

čvrstih rastopljenih ili sinterizovanih konglomerata. Pepeo fizički predsta- vlja praškasti ostatak sagorjelog goriva. Razlikuju se propad, odnosno, dio pepela koji zajedno sa šljakom pada u ložišni lijevak kotla i leteći pepeo, odnosno, najsitnije čestice koje sa sobom nose dimni gasovi.

U sastav pepela iz goriva ulaze uglavnom oksidi (silicijum-dioksid SiO₂, alumi- nijum-trioksid Al₂O₃, fero-oksidi FeO, magnetit Fe₂O₃, kalcijum-oksidi CaO, kalijum-oksidi K₂O, titan-dioksid TiO₂, fosfor-pentoksid P₂O₅, u manjoj mjeri sulfati kalcijum-sulfat CaSO₄, magnezi- jum-sulfat MgSO₄, sumpor-trioksid SO₃) i drugo. Pepeo iz ložišta i drugih gasnih kanala kotla se po svom hemijskom sastavu razlikuje od pepela poslije sago- rijevanja u laboratorijskim uslovima zbog utjecaja gasne sredine visoke tempe- rature, separacije u ložištu, pa i zbog rastvaranja ozida kotla koji je, također, mineralnog porijekla.

7 LJ.Brkić, T. Živanović: Parni kotlovi, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu 2002.god

ODSUMPORAVANJE

Šta je u principu odsumporavanje?

Tehnološki postupak kojim se, zajedno sa nizom dodatnih pratećih tehničkih mjera, nekom od poznatih metoda iz dimnih gasova, nastalih u postupku sagorijevanja fosilnih goriva, odstranjuje sumpor naziva se odsumporavanjem dimnih gasova.

Drugim riječima rečeno, odsumporavanje je vrlo sofisticirana skupa tehnologija, koja se koristi za uklanjanje SO₂ iz dimnih gasova i elektranafosilnagoriva i iz emisija drugih procesa koji emitiraju sumporne okside. Engleski naziv za ovaj postupak je „Flue-gas desulfurization“, a vrlo često u inženjerskoj terminologiji ova postrojenja se nazivaju i FGD postrojenja.

U komercijalnoj upotrebi, u svjetskoj praksi postoje mnoge tehnologije za kontrolu dimnih gasova i smanjenje emisija SO_x.

Izbor tehnologije za uklanjanje SO_x iz dimnih plinova je složen proces i isti zavisi od više faktora, prije svega o njenoj tržišnoj raspoloživosti, o stepenu efikasnosti uklanjanja SO_x, o vremenu potrebnom za izgradnju te o investicijskim troškovima i, konačno, o troškovima eksploatacije.

Ipak, za konačno donošenje odluke za izbor metode odsumporavanja i primijenjene tehnologije odsumporavanja

dominantnu ulogu igra vrsta i hemijski sastav upotrijebljenog goriva, način izgaranja upotrijebljenog goriva te jedinačina snage ložišta (količina dimnih plinova) i procentualni sadržaj sumpora u gorivu.

Termoenergetska postrojenja koja su izgrađena u svijetu u posljednjih 20 do 30 godina bila su u startu projektno riješena i opremljena sa postrojenjima za prečišćavanje dimnih plinova (prečišćavanje prašine, SO_x i NO_x). Devedesetih godina prošlog vijeka, većina evropskih termoelektrana koja nisu imala ugrađena postrojenja za odsumporavanja su modernizirana s naknadnom dogradnjom novih, visokoučinkovitih elektrofilterskih postrojenja kao i postrojenja za odsumporavanje i denitrifikaciju.

Nažalost, velika termoenergetska postrojenja na prostorima Zapadnog Balkana su davno izgrađena sa prosječnom starošću preko 40 godina i nemaju ugrađena postrojenja za odsumporavanje i denitrifikaciju. Devedesetih godina, zbog poznatih ratnih dešavanja, kada je cijela Evropa modernizirala svoje energetske objekte, Zapadni Balkan je propustio tu šansu i, sada, u pogledu zaštite okoliša ima daleko najlošije energetske objekte u Evropi i cijelom razvijenom svijetu.

Pristupanjem Energetskoj zajednici Jugoistočne Evrope⁸, te prihvatanjem Direktive o velikim ložištima, države Zapadnog Balkana su preuzele obavezu da smanje ukupne količine emitiranog SO_x u atmosferu.⁹ To podrazumijeva da će u određenom vremenskom intervalu dio starih, unaprijed definiranih proizvodnih termoenergetskih postrojenja-blokova, biti trajno obustavljeno („opt-out“ opcija), dok će preostali blokovi morati biti dodatno opremljeni sa postrojenjima za odsumporavanje i denitrifikaciju. Za stara velika postrojenja za sagorijevanje, koja nisu u mogućnosti da se usklade sa граниčnim vrijednostima emisija koje su utvrđene ovom Direktivom, predviđena je mogućnost izrade i provođenja nacionalnog plana za smanjenje emisija (NERP), kojim se, za period od 2018. do 2027. godine utvrđuju maksimalne godišnje količine zagađujućih materija (u tonama godišnje) koje je dozvoljeno emitovati iz ovih postrojenja. Nakon isteka perioda trajanja NERP-a stara velika postrojenja se moraju uskladiti sa strožijim kriterijima za ograničenje emisija iz Direktive o industrijskim emisijama.¹⁰

Razlozi primjene tehnologija za prečišćavanje dimnih gasova

Među stručnjacima svih struka postoji konsenzus da gradnja i pogon

8 Ugovor o uspostavi Energetske zajednice između EU i devet zemalja Jugoistočne Evrope, potpisan 25. oktobra 2005. godine. Ugovor stupio na snagu 1. jula 2006. godine

9 Direktiva 2001/80/EZ o ograničenju emisija određenih zagađujućih materija u vazduh iz velikih postrojenja za sagorijevanje, od 23. oktobra 2001. godine.

10 Odluka Ministarskog saveta Energetske zajednice D/2013/05/MC-EnC od 24. oktobra 2013 godine.

elektroenergetskih objekata ima nepovoljan utjecaj na prirodni okoliš i zdravlje ljudi (naravno da se to može reći i za druge objekte koje gradi čovjek bez obzira na to da li se radi o saobraćajnicama, industrijskim objektima ili stambenim naseljima).

Štetni polutanti u emisijama iz energetskih objekata s fosilnim gorivima su prvenstveno SO₂, NO_x, CO, krute čestice, O₃ i CO₂. Drugi štetni sastojci (kojih svakako ima) su u tragovima i nećemo ih, za sada, tretirati.

Utjecaj stakleničkih gasova na životnu okolinu (a posebno utjecaj CO₂) manifestuje se prvenstveno kroz povećanje srednje temperature zemljine atmosfere, a što se povezuje s klimatskim promjenama koje mogu izazvati (i već izazivaju) niz negativnih posljedica po cijelu planetu.

Glavni ekološki utjecaj SO₂ je posljedica hemijske reakcije sumpor-dioksida i vode u atmosferi, pri čemu nastaje sumporasta i sumporna kiselina. Bez objašnjavanja mehanizma nastanka navedenih kiselina (jer su hemijski procesi u atmosferi vrlo složeni i nisu do kraja razjašnjeni), bitno je naglasiti da je direktna posljedica ovih kiselina pojava kiselih kiša, koje vrlo štetno djeluju na biljni svijet, izgrađene objekte i zemljište. Štetu od kiselih kiša je vrlo teško kvantificirati, jer zavisi od vrste rastinja (posebno je osjetljivo crnogorično drveće), dužine trajanja utjecaja, ruža vjetrova, sadržaja vlage u vazduhu, itd. Djelovanje kiselih kiša na rastinje, zemljište i objekte je kumulativno tako da dužina perioda izloženosti može dovesti do dodatnih efekata u vidu smanjenja mehaničke stabilnosti zemljišta i stijena izloženih kiselim kišama u dužem periodu, koje pak mogu doprinijeti ubrzanoj eroziji i stvaranju klizišta.

Djelovanje kiselih kiša možemo ograničiti jedino propisivanjem „podnošljive“ koncentracije SO₂ u izlaznim dimnim gasovima termoenergetskih postrojenja. Prema tome, osnovni razlog izgradnje postrojenja za odsumporavanje je smanjenje koncentracije SO₂ u izlaznim dimnim gasovima koji se ispuštaju u atmosferu na nivo „podnošljive“ koncentracije SO₂ u atmosferi.

Nivo „podnošljivih koncentracija“ SO₂ propisan je sa više različitih direktiva EU pri čemu je za zemlje Zapadnog Balkana posebno važna Direktiva o velikim ložištima, a potom i Direktiva o industrijskim emisijama. Cilj Direktive o velikim ložištima je bio progresivno smanjenje ukupnih emisija iz postojećih elektrana i limitiranje emisija za nove elektrane.

Direktiva je utvrdila i granične vrijednosti emisija (SO₂, Nox, čvrste čestice) za nove elektrane, ali je, također, definirala i granične vrijednosti za postojeće elektrane, uz više mogućih opcija koje treba da rezultiraju značajnim smanjenjem emisija (investiranje i dostizanje GVE, izrada nacionalnog plana redukcije emisija, ograničenje preostalih sati rada i zaustavljanje blokova). Implementacija ove direktive za sve članice EZ-a bila je obavezna s rokom do 31. 12. 2017. godine. Nažalost, i danas ima zemalja Jugoistočne Evrope u kojima nije do kraja implementirana. U međuvremenu je izašao čitav niz novih direktiva i propisa koji su dodatno (s novim pojašnjenjima i obavezama) tretirali navedenu problematiku.

Ugovorom o Energetskoj zajednici predviđena je primjena Direktive o industrijskim emisijama 2010/75/EU za sve nove elektrane koje dobijaju upotrebnu dozvolu nakon 2018. godine, kao i sve operativne postojeće elektrane koje nastavljaju rad

poslije 2028. godine. Ova Direktiva uvodi krupne novine u politiku kontrole emisija i to:

- Uvodi se dinamički sistem određivanja graničnih emisija u skladu sa dinamikom razvoja najboljih raspoloživih tehnologija (Best Available Technology – BAT) koji se po ustaljenom mehanizmu podešava svakih nekoliko godina. Trenutno je važeća regulativa EU 2017/1442 kojom se uređuju granične vrijednosti emisija po sadašnjem stanju tehnologije. Svi su izgledi da će se do 2028. dalje usklađivati, odnosno, pooštavati granične vrijednosti emisija, tako da će važeće vrijednosti za 2028. biti strožije od postojećih.
- Uvodi se kategorija najniže efikasnosti elektrane kojom se utvrđuje najniži odnos energije goriva i električne energije isporučene na visokonaponsku mrežu, pri kojem se moraju ostvariti granične vrijednosti emisija.
- Uvodi se pojam elektrane u rezervnom radu kojim je omogućen rad do 1500 radnih sati godišnje, u prosjeku, tokom pet godina za elektranu koja ispunjava određene granične vrijednosti emisija, ali ne ispunjava uslov energetske efikasnosti.
- Uvode se granične vrijednosti za još neke vrste emisija kao što su ugljenmonoksid i druge.
- Uvode se metode mjerenja i kontrole emisija.
- Propisuje se uvećano učešće javnosti u postupcima dodjele dozvola i kontrole emisija u skladu sa Aarhuskom konvencijom.

Ovim sistemom se i dalje ne uvode ograničenja za radioaktivne elemente koji mogu činiti značajan dio suspendovanih, odnosno letećih čestica u izduvnom plinu, odnosno čestica prikupljenih u vodi koja je nusproizvod mokrog postupka odsumporavanja. Ova okolnost je relevantna imajući u vidu stepen prirodne radioaktivnosti

u lignitskim ugljenima na Balkanu. Bez obzira na činjenicu da nije neposredno regulisana, ova okolnost jako ograničava eventualnu upotrebu gipsa koji je nusproizvod mokrog postupka odsumporavanja, te se na taj način dalje uvećavaju troškovi primjene ovog postupka za postojeće elektrane na Balkanu.

TEHNOLOGIJE I POSTUPCI ODSUMPORAVANJA

Uporedni pregled graničnih vrijednosti je dat u tabeli na kraju teksta.

Postoji puno tehnologija koje služe za smanjenje emisije štetnih tvari u vazduh. Kada je u pitanju SO_x tada, generalno posmatrano, postoje tri načina za smanjenje emisije SO_x u atmosferu:

- Prvi način je korištenje goriva sa niskim sadržajem sumpora u uglju, što može uključiti i različite metode kao što su selektivno otkopavanje ili prethodna prerada uglja radi smanjenja sadržaja sumpora u gorivu.
- Drugi način je primjena savremenih tehnologija sagorijevanja uglja ili povećanjem stepena efikasnosti bloka (izgradnja blokova većih jediničnih snaga) ili korištenjem naprednih tehnologija sagorijevanja uglja (rasplinjavanje uglja, sagorijevanje u fluidiziranom sloju i slično...).
- Treći način je prečišćavanje dimnih gasova prije ispuštanja u atmosferu primjenom različitih tehnoloških rješenja.

Postupci za smanjivanje emisije SO₂ odsumporavanjem dimnih gasova mogu

se, u principu, podijeliti na dvije velike grupe i to na regenerativne postupke i neregenerativne postupke.

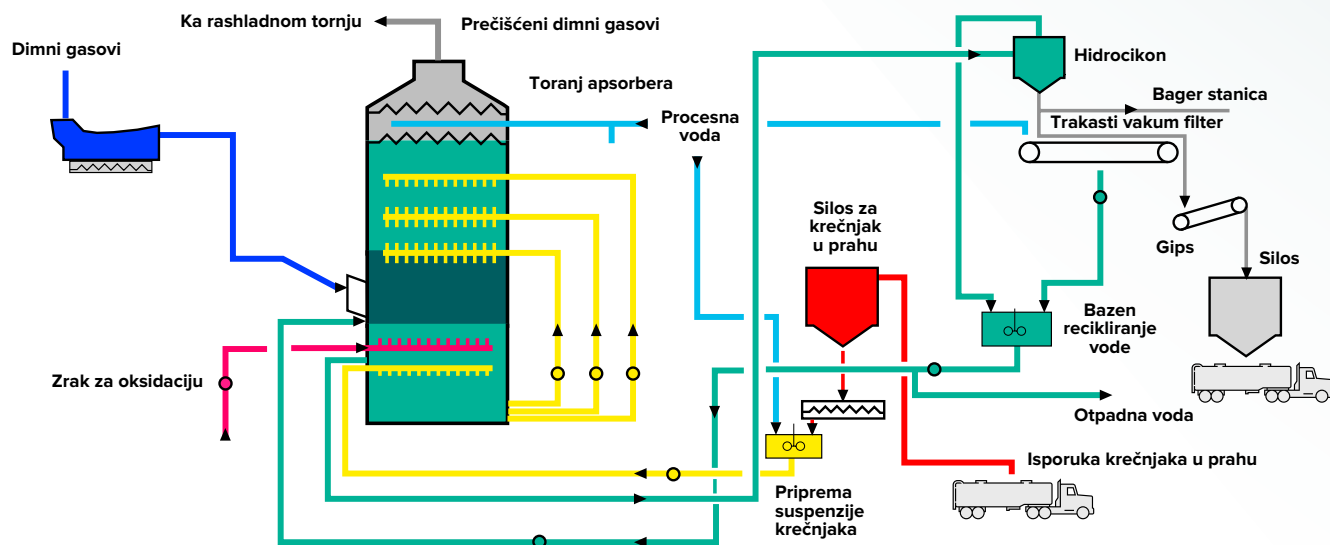
Kod regenerativnih postupaka dobija se SO₂ koji se dalje može koristiti za proizvodnju sumporne kiseline, elementarnog sumpora ili dobijanje tekućeg SO₂. Ovakvi uređaji se rijetko susreću i u manjini su, zbog toga što su u odnosu jako složeni i vrlo skupi.

Kod neregenerativnih postupaka postoji sporedni proizvod „produkt odsumporavanja“ koji se ili trajno odlaže na deponiju elektrane, ili se kao sirovina koristi u proizvodnji cementa ili gipsa, ali i u građevinskoj industriji kao podloga za izradu puteva.

Svi postupci za smanjenje emisija sumpor-dioksida (i regenerativni i neregenerativni) koji se obavljaju nakon završenog sagorijevanja uglja, baziraju se na fizičkim i/ili hemijskim reakcijama aktivne materije i oksida sumpora. U zavisnosti od dobivenog agregatnog stanja jedinjenja nastalog reakcijom aktivne materije i sumpor-dioksida postupci za smanjenje SO₂ u principu se dijele na:

- **mokre postupke odsumporavanja**
- **suhe postupke odsumporavanja**
- **polusuhe postupke odsumporavanja.**

Opšti koncept odsumporavanja sa vlažnim krečnjačkim postupkom



Najveći broj instaliranih postrojenja u svijetu su postrojenja s mokrim postupkom. U većini razvijenih zemalja to je bila najpopularnija tehnologija za uklanjanje SO₂, posebno u slučajevima kada se koristio ugalj sa većim sadržajem sumpora po jedinici energetske moći.

Dimni gasovi se na izlazu iz elektrostatičkog filtera, sistemom kanala dimnih gasova, usmjeravaju u veliko postrojenje (apsorber), gdje se u dimne gasove, sistemom cirkulacionih pumpi i cjevovoda ubrizgava vodena otopina (suspenzija), sa otprilike 10% rastvorenog kreča. To znači da se pripremljen prah krečnjaka ili negašenog kreča, pomiješan sa vodom i kao vodena suspenzija, pomoću pumpi ubacuje u apsorber i šalje do brizgaljki (mlaznica) koje su raspoređene u nekoliko redova i nekoliko nivoa. Koliko će u apsorberu biti redova i nivoa brizgaljki zavisi od veličine apsorbera, odnosno od količine dimnih plinova i sadržaja sumpora

u uglju. Najjednostavnije rečeno, mokri postupak odsumporavanja se zasniva na ispiranju dimnih gasova vodenom suspenzijom kreča ili krečnjaka (CaCO₃) u apsorpcionom reaktoru, tako što kalcij iz otopine kreča reagira sa SO₂ čime se dobiva kalcijev sulfat CaSO₄ i sulfid kreča CaSO₃ dok se ugljenik iz kreča emituje u vazduh u vidu ugljendioksida CO₂. Dodatno zasićenje kiseonikom, dovedenog posebnom linijom za oksidaciju, omogućava konverziju CaSO₃ u CaSO₄, koji po izdvajanju iz rastvora ide dalje na obradu (ispiranje isušavanje) nakon čega se konačno dobija gips (CaSO₄ + 2H₂O). Što god je veći sadržaj SO₂ u izduvnom gasu u smislu apsolutne količine, utoliko je potrebna veća količina kreča i vode pa se u procesu emituje i veća količina CO₂.

U procesu odsumporavanja dimnih plinova krečno-mokrim postupkom, iz dimnih plinova se dodatno uklanjaju jedinjenja HCl i HF, (hloridi i fluoridi) kao i dio finog „puder“ pepela koji uspije proći

kroz elektrostatički filter. Jedinjenja hlora i fluora ulaze u sastav otpada nastalog u procesu sušenja gipsa. Ovaj otpad se dalje predaje na hemijsku obradu u cilju izdvajanja teških metala.

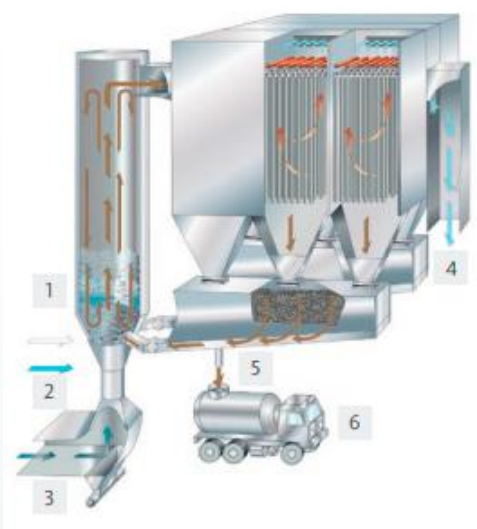
Što je sadržaj SO₂ u izduvnom plinu veći, utoliko je potrebna veća efikasnost procesa odsumprovanja, da bi preostali SO₂ u izduvnom gasu nakon odsumporavanja bio u propisanim granicama. Odsumporavanje dimnih plinova krečno-mokrim postupkom je najpoznatija među do sada poznatim visoko efikasnim metodama uklanjanja SO₂ iz dimnih plinova. Trenutno više od 90% postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova izgrađenih u svijetu radi na osnovu ove tehnike. Stepenn efikasnosti je najveći kod mokrog postupka i efikasnost odsumporavanja ovom metodom se kreće od 90% do preko 99%. Investiciono posmatrano, mokri postupak je značajno skuplji (oko 30%) nego postrojenja sa suhim ili polusuhim postupkom. Postupak zahtijeva i proporcionalno snabdijevanje krečom.

Kao posljedica prolaska dimnih gasova kroz apsorber te zbog rada mlaznica i ispiranja dimnih gasova, temperatura dimnih gasova na izlazu iz apsorbera pada do temperature oko 60-70°C, zbog čega je, ukoliko se želi ponovo koristiti originalni dimnjak, neophodno ponovno zagrijavanje dimnih gasova prije njihovog upuhivanja u dimnjak. Ovo dogrijavanje mora se obaviti do temperature iznad tačke rošenja na izlazu iz dimnjaka, a obavlja se dodatnim specijalnim zagrijačima ili, pak, korištenjem neke od poznatih regenerativnih metoda.

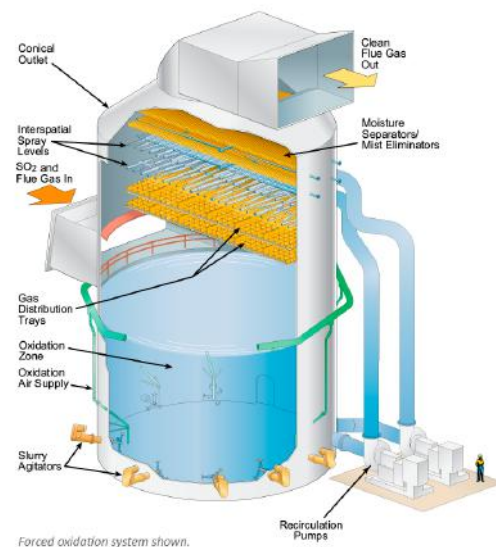
Moguća je i varijanta odvođenja dimnih plinova pomoću posebnog „mokrog dimnjaka“ ugrađenog na apsorberu, što dodatno poskupljuje investiciju. Problem tretmana dimnih gasova iza postrojenja zahtijeva svaki put analizu koja uzima u obzir lokalne uslove za konkretni objekat.

Postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova, koja rade po krečno-mokrom postupku, s obzirom na visoku efikasnost

Polusuha metoda odsumporavanja



Mokra metoda odsumporavanja



Slika 2. Opći izgled glavnih postrojenja (reaktora i apsorbera) za polusuho i mokro odsumporavanje

otklanjanja SO₂ i relativno nisku potrošnju sorbenta kao i mogućnost iskorištavanja otpadnog produkta (gipsa), našle su široku primjenu u najvećim elektranama najrazvijenijih zemalja (Njemačke, Japana i SAD-a).

U praksi je moguće susresti postrojenja za odsumporavanje na mokri postupak sa različitim modalitetima i podvarijantama pomoćnih sistema.

Veliki nedostatak ove tehnologije su značajne količine otpadnih voda koje zbog prisustva hlorida i fluorida zahtijevaju poseban tretman. Ozbiljan problem je i održavanje ovih postrojenja na duži vremenski period, jer zbog prisutne sumporne kiseline, eventualno oštećene gumirane ili plastificirane metalne površine bivaju izložene agresivnom djelovanju sumporne kiseline.

S obzirom na složenost tehnološkog postupka mokre metode odsumporavanja (u principu to je čitava jedna mala hemijska fabrika sa složenom tehnologijom koja zahtijeva ovladavanje vrlo sofisticiranim znanjima) na termoenergetskim objektima manje snage (teoretski i do 300MW) moguće je koristiti polusuho i suho odsumporavanje.

Polusuho odsumporavanje, koje je po zastupljenosti primjene na drugom mjestu u svijetu, podrazumijeva upotrebu suspenzije kreča za uklanjanje SO₂ iz dimnog plina. U toranj za raspršivanje (reaktor) dovodi se suspenzija (otopina) kalcijevog hidroksida (najčešće kreč pomiješan sa vodom). Suspenzija se raspršuje i ušpricava (blizu tačke zasićenja) direktno u dimne gasove. Dok isparavaju, kapljice reagiraju sa SO₂ u posudi (reaktoru) tvoreći CaSO₃ odnosno CaSO₄, s time da sva voda zbog povišene temperature dimnog plina (140 - 170 °C) u potpunosti

ispari prije nego što kapljice padnu na dno uređaja. Krupnije čestice letećeg pepela, CaSO₃ odnosno CaSO₄ i kreč koji nije sudjelovao u reakciji, padaju na dno uređaja, a sitnije čestice nošene strujom dimnih gasova odlaze u vrećasti filter, gdje se izdvajaju.

U odnosu na mokre postupke, polusuho odsumporavanje ima sljedeće prednosti:

- Značajno manji investicioni troškovi izgradnje postrojenja (u prosjeku su jeftiniji za oko 30%).
- Manja potrošnja energije jer je manja instalisana snaga postrojenja.
- Mnogo manje problema (skoro da ih nema) sa korozijom, jer nema stvaranja sumporne kiseline.
- Jednostavnije zbrinjavanje otpadnog mulja (otpad je u suhom stanju).
- Nema tretmana otpadnih voda jer se u postupku odsumporavanja ne stvaraju otpadne vode.
- Mnogo jednostavniji pogon i održavanje, jer je puno jednostavnija tehnologija s kojom pogonsko osoblje nema problema za potpuno ovladavanje u eksploataciji.

Nedostatci šire primjene tehnologije polusuhog odsumporavanja u odnosu na mokre postupke su:

- Ograničena primjena na blokove jedinične snage do 300MW (ložene sa kamenim ugljem) i blokove do 200MW (ložene sa lignitnim ugljem), odnosno ograničena primjena na blokove s

količinom dimnih plinova do 1 milion Nm³/h po jednom reaktoru i sadržajem sumpora u ekvivalentnom kamenom uglju do 2,5%. Drugim riječima, upitna je efikasnost postupka za kotlove koji na izlazu dimnih plinova iz elektrostatičkog filtera imaju emisiju SO_x veću od 6000mg/Nm³ izduvnog plina.

- U odnosu na mokri postupak, značajno su povećani troškovi eksploatacije zbog korištenja skupljeg sorbensa (koristi se kalcijum hidroksid, odnosno hidratizirano kreč Ca(OH)₂).
- Nema mogućnosti proizvodnje komercijalnog gipsa po EU standardima i cjelokupan ostatak odsumporavanja ima status nusproizvoda odsumporavanja.

Na osnovu gore izloženog može se zaključiti da je izbor tehnologije za uklanjanje SO_x iz dimnih plinova vrlo složen tehničko-tehnološki proces i da isti zavisi od više faktora. Za konačno donošenje odluke za izbor metode odsumporavanja i primijenjene tehnologije odsumporavanja potrebno je sveobuhvatno analizirati najvažnije faktore koji utječu na efikasnost postrojenja za odsumporavanja, a što se u prvom redu odnosi na:

- vrstu goriva i njegov hemijski sastav
- način izgaranja upotrebljenog goriva
- jediničnu snaga ložišta
- količinu dimnih gasova na izlazu iz kotla
- procentualni sadržaj sumpora u uglju, odnosno izduvnom plinu.

Fosilna goriva čiji su osnovni sastojci ugljenik i vodonik, sagorijevanjem, odnosno

oksidacijom oslobađaju toplotnu energiju. U procesu sagorijevanja fosilnih goriva (koji se odvija u parnim kotlovima ili ložištima gasnih elektrana) i dobivanja toplinske energije, razvijaju se gasovi među kojima je dominantan CO₂, vodena para, a zatim ovisno od sadržaja sumpora i temperature sagorijevanja i ostali gasovi kao što su sumpor-dioksid SO₂, i azotni oksidi NO i NO₂ (jednim imenom nazvani NO_x). Sagorijevanje fosilnih goriva je glavni izvor ugljendioksida koji sudjeluje sa 65% u ukupnim emisijama štetnih gasova sa efektom staklene bašte. Proizvodi sagorijevanja fosilnih goriva, nakon djelimičnog čišćenja, ispuštaju se u okoliš (atmosfera).

Višedecenijsko ispuštanje višemilionskih količina navedenih gasova a posebno ispuštanje CO₂ i njegovo apsolutno povećanje dovelo je do klimatskih promjena koje su postale jedan od najvećih globalnih problema i izazova današnjice, prvenstveno radi značajnog utjecaja kako na ekosistem i ljudsko zdravlje, tako i na široki spektar privrednih aktivnosti (industrija, poljoprivreda, saobraćaj, turizam...).

Neosporno je da se klimatski uslovi na zemlji mijenjaju. Usljed globalnog zagrijavanja, srednje godišnje temperature vazduha se povećavaju, a količine padavina se smanjuju. Globalno zagrijavanje atmosfere nastaje zbog apsorpcije infracrvenog zračenja isijanog sa zemljine površine od tzv. stakleničkih plinova, a čiji je najvažniji predstavnik CO₂, koji je opet najznačajniji produkt izgaranja fosilnih goriva. (Ukratko: efekt staklene bašte je rezultat interakcije Sunčevog zračenja i sloja Zemljine atmosfere koji se proteže do 100 km iznad površine Zemlje. Ovo zračenje se zatim pretvara u dugotalasnu toplotu (infracrvenu) i djelimično se vraća

u atmosferu, gdje dovodi do zagrijavanja gasova kao što su vodena para, ugljendioksid, metan, hlorofluorouglenici, oksidi azota i troposferski ozon. Kada se zagriju, ovi gasovi emituju infracrveno zračenje, koje se dijelom vraća na površinu Zemlje i zagrijava je. Zato se ovaj efekt, po analogiji sa staklom koje sprječava da toplota izađe iz staklenika, naziva efektom „staklene bašte“.

Posmatrano globalno, na svjetskom nivou emisije stakleničkih plinova, raščlanjena prema ekonomskim aktivnostima koje dovode do njihove proizvodnje, dolaze iz sljedećih djelatnosti¹¹ u omjerima:

1. 35 % od proizvodnje električne energije (spaljivanje uglja, nafte i gasa za proizvodnju el. energije i topline)
2. 21 % od industrijske proizvodnje (emisije iz procesa hemijske, metalurške i mineralne transformacije koje nisu povezane sa potrošnjom energije)
3. 13% od saobraćaja (emisije gasova staklene bašte iz ovog sektora prvenstveno uključuju fosilna goriva koja se sagorijevaju za drumski, željeznički, zračni i pomorski transport)
4. 24% od poljoprivrednih aktivnosti (emisije stakleničkih plinova iz ovog sektora uglavnom potječu od poljoprivrede (umjetna gnojiva za uzgoj usjeva i stoke) i krčenja šuma)
5. 7% ostali emiteri (domaćinstva, šumski požari, erupcije vulkana, itd).

Za sada nije moguće sasvim tačno izračunati ili izmjeriti doprinos pojedinog plina na staklenički efekt zato što je precizna izrada ukupnog bilansa CO₂ u atmosferi dosta

¹¹ <https://www.epa.gov>.

komplikovna. Ako bi htjeli pojednostaviti izradu ukupnog bilansa tada možemo reći da u ukupnom bilansu učestvuju dva prirodna ciklusa: ciklus vegetacije i ciklus okeana. Na njih se dodatno superponiraju antropogeni utjecaji koji se uglavnom svode na sagorijevanje fosilnih goriva i uništavanje šumskih površina.¹² Na prva dva faktora nije moguće utjecati, a ako želimo dobro svojim potomcima, onda druga dva faktora moramo staviti pod kontrolu.

Treba još znati i sljedeće činjenice: za razliku od SO₂ i NO_x, ugljendioksid CO₂ je „nemoguće“ odstraniti iz dimnih plinova klasične termoelektrane ili ga razgraditi na njegove sastavne elemente u okvirima prihvatljivih troškova. Naime, upravo proces oksidacije ugljika je proces koji oslobađa nama potrebnu energiju pa bi razgradnjom ugljendioksida trebalo uložiti istu energiju koju smo dobili procesom oksidacije ugljika. Stoga, praktična primjena raznih studija o mogućnostima odlaganja CO₂, npr. u dubinama okeana ili u napuštenim rudnicima (CCS tehnologije) nije prihvatljiva ne samo s ekonomskog, nego i s energetskeg pa čak i ekološkog aspekta. Stoga kada govorimo o koracima za smanjenje emisija CO₂ uglavnom mislimo na zamjenu fosilnih goriva (prvenstveno uglja) s drugim energentima¹³.

Klimatske promjene: Protokoli od Kyota, preko Dohe, do Pariza

¹² D. Feretid, Ž. Tomšid, „ELEKTRANE I OKOLIŠ, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta Zagreb, 2000.

¹³ D. Feretid, Ž. Tomšid, „ELEKTRANE I OKOLIŠ, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta Zagreb, 2000

Podaci Svjetske meteorološke organizacije ukazuju da od vremena industrijske revolucije, srednje godišnje temperature zraka rastu pa je tako posljednje desetljeće (od 2010. do 2019.) najtoplije zabilježeno razdoblje, a od 20 najtoplijih godina njih 19 je zabilježeno nakon 2000. godine. Prema podacima Službe za klimatske promjene Copernicus, 2020. godina je najtoplija godina koja je zabilježena u Evropi. Većina stručnjaka uzrok vidi u većoj emisiji stakleničkih plinova (GHG), koja je posljedica ljudskih aktivnosti. Prosječna temperatura na svjetskoj razini danas je viša za 0,94-1,03 °C **nego krajem 19-og vijeka**¹⁴. Porast od 2 °C u odnosu na temperaturu iz predindustrijskog doba naučnici uzimaju za graničnu vrijednost nakon koje postoji veći rizik opasnih i potencijalno katastrofalnih posljedica. Te posljedice na neki način već osjećamo, jer je prisutno povećanje ekstremnih vremenskih događaja (olujna nevremena, toplinski udari, suše, poplave). Prema prognostičkim scenarijima, ti će se trendovi nastaviti i u narednom razdoblju pa se sve jasnije pokazuje potreba za hitnom i efikasnom primjenom neodložnih mjera na globalnom nivou, s krajnjim ciljem umanjenja već prisutnih posljedica klimatskih promjena.

Prema podacima **Evropske agencije za okoliš**¹⁵, Evropska unija je treći najveći izvor stakleničkih plinova na svijetu, odmah nakon Kine i SAD-a. Uočavajući problematiku koju donose posljedice globalnog zagrijavanja, razvijene zemlje EU, zajedno sa UN-om, donijele su različite obavezujuće mjere koje utječu na smanjenje emisija gasova sa efektom staklene bašte. Počelo je Konvencijom

Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama iz 1992. kada se htjelo ograničiti rast globalne temperature, a nastavilo se usvajanjem Kyoto protokola. Nakon toga slijedi klimatski samit u Kopenhagenu, potom usvajanje "Doha protokola" i konačno Pariski protokol sa definiranim razdobljem nakon 2020. godine pa sve do 2050. godine.

Kao lider u ovoj oblasti istakla se Evropska unija sa svojim Evropskim zelenim dogovorom, dokumentom koji previđa da ovaj kontinent postane klimatski neutralan do 2050. godine. Danas, nakon toliko intenzivne aktivnosti, možemo reći da se napori Evropske unije isplate. U 2008. godini postavljeni cilj bio je do 2020. smanjiti emisiju za 20 posto u usporedbi s razinama zabilježenim 1990. godine. Fantastična i ohrabrujuća vijest: do 2019. ukupne emisije su smanjenje za više **od 28%**¹⁶.

Generalno, može se reći da novopostavljeno postrojenje za odsumporavanje dimnih gasova doprinosi dodatnom povećanju emisije ugljendioksida u atmosferu u procentima od -1 - 3)% od postojeće emisije ugljendioksida koja je rezultat oksidacije goriva. Da li će to biti 1%, 1,5% ili 3% zavisi od vrste energenta (lignit, mrki, kameni ugalj) i količine goriva (opterećenja bloka) kao i sadržaja sumpora u gorivu.

Sa ugljem niže kalorične vrijednosti u procesu sagorijevanja uglja proizvodi se više ugljendioksida (npr. lignitni ugljevi kalorične moći od 7.000 do 10.000KJ/kg proizvode oko 1,1 do 1,4 kg ugljendioksida po proizvedenom kWh električne energije. Mrki ugljevi kalorične moći od 14.000 do 18.000KJ/kg proizvode 0,6 do 0,8kg ugljendioksida po proizvedenom kWh električne energije itd...).

14 <https://ec.europa.eu/clime>

15 <https://eea.europa.eu/hr>

16 <https://ec.europa.eu/clime>

Veći sadržaj sumpora u uglju u procesu odsumporavanja zahtijeva veću količinu apsorbenta (krečnjaka ili krečnog vapna) koje u hemijskoj reakciji sa sumporom dodatno proizvodi i ugljendioksid.

Kako smo se mi, na Zapadnom Balkanu, snašli u svemu ovome?

Potpisali smo i prihvatili sve dokumente Evropske unije i Energetske zajednice, od pristupanja Energetskoj zajednici 2006. godine do posljednje Sofijske deklaracije (10. 11. 2020.) o Zelenoj agendi za Zapadni Balkan (Green Deal) kojom smo se obavezali na niz konkretnih akcija, uključujući definisanje energetske i klimatskih ciljeva do 2030, u skladu sa pravnim okvirom Energetske zajednice i pravnom tekovinom EU, uvođenje takse na emisije ugljendioksida i uvođenje tržišnih modela za poticanje obnovljivih izvora energije, kao i postupno ukidanje subvencija za ugalj sa krajnjim ciljem dostizanja klimatske neutralnosti do 2050. godine. Pri tome, značajan dio pravne stečevine Evropske unije nismo transponirali u naša zakonodavstva, iako smo to prihvatili i obavezali se na to. Rokovi su davno istekli i imamo počesto nerazumijevanje u kontaktima s Energetskom zajednicom. Pri tome ima i stvari u kojima smo u pravu, ali zbog kvaliteta ukupnog pregovaranja i načina na koji to radimo, objektivno promatrano, ispada da smo mi ti kod kojih je stalno upaljeno žuto svjetlo.

Na kraju, kada govorimo o problemima termoenergetskih postrojenja na Zapadnom Balkanu, treba reći da osim neriješenih problema emisija stakleničkih plinova, prvenstveno CO₂ i nepostojanja

postrojenja za odsumporavanje i denitrifikaciju dimnih gasova, ozbiljan problem u našim elektranama predstavlja i problem deponovanja produkata sagorijevanja uglja kao i vrlo složena problematika tretmana otpadnih voda.

Voda kao prirodni resurs se u značajnoj količini koristi u termoenergetskim procesima za različite namjene kao što su: radni fluid parnih kotlova i turbina, fluid u blokovskom rashladnom sistemu i sistemu tehničkog hlađenja, kao nosilac toplotne energije za sisteme daljinskog grijanja i tehnološke pare, zatim kao transportni fluid, npr. u hidrauličkom transportu šljake i pepela na deponiju. Snabdijevanje termoenergetskog objekta sirovom vodom vrši se iz velikih vodenih akumulacija (rijeka i jezera) i ista se odgovarajućim cjevovodima doprema do sabirnih bazena sirove vode, gdje se obavlja hemijski tretman vode prije njenog korištenja u elektrani.

Otpadne vode su, uglavnom, otpadne vode iz procesa odsumporavanja dimnih gasova kao i ostale otpadne vode (tehnološke vode nastale pripremom kotlovske vode, atmosferske vode, kanalizacione otpadne vode, kao i vode sa deponija uglja i vode sa postrojenja za odpepeljivanje i odšljakivanje).

Otpadne vode iz procesa odsumporavanja dimnih plinova

U vlažnom postupku odsumporavanja dimnih plinova koristi se velika količina vode u procesu rada apsorbera i pripreme suspenzije krečnjaka. Najveći dio ove vode kruži u zatvorenom sistemu (procesna voda), ali jedan dio vode se odvaja kako bi se pH i ostali parametri držali u zadatom obimu.

Usljed „ispiranja“ sumpornih oksida iz dimnog plina u postupku odsumporavanja, kiseline sadržane u gasovima (HCl, HF) se rastvaraju, što otpadnu tehnološku vodu čini kiselom i sa sadržajem rastvorenih metala (Hg, Cd, Fe, As, Zn i Mn). Pored toga, rastvorene soli, prvenstveno hloridi i fluoridi, porijeklom iz uglja koji se sagorijeva u termoelektrani, kao i fine inertne čestice iz suspenzije krečnjaka, imaju tendenciju akumulacije u reakcionom bazenu apsorbera.

Ukoliko se ne drži pod kontrolom, koncentracija hlorida može dostići nivo, koji utječe na smanjenje stepena otklanjanja sumpor-dioksida i može izazvati koroziju unutrašnjih elemenata apsorbera. Kako bi se koncentracije rastvorenih soli održavale ispod zahtjevanih vrijednosti, dio procesne suspenzije mora se redovno uklanjati iz procesa.

Ukupna potrošnja vode na bloku kao i bilans potrebnih količina vode u postrojenju za odsumporavanje mokrim postupkom, a time i ukupne količine otpadnih voda iz procesa odsumporavanja, koje treba posebno tretirati, su rezultat konkretnog proračuna za dati blok, odnosno konkretno odabrani apsorber.

Postrojenja za tretman otpadnih voda su neophodna i bez njih proces tretmana otpada u elektranama nije zaokružen. Ona su, investiciono i eksploataciono vrlo skupa, zahtjevna i složena, jer otpadne vode odsumporavanja između ostalog sadrže i hloride i fluoride čija je eliminacija u otpadnim vodama vrlo zahtjevna. S obzirom na minimalne kazne u praksi, u slučaju da postrojenja ne rade te imajući na umu vrlo visoke troškove izgradnje, održavanja i eksploatacije ovih postrojenja, neke kompanije svjesno (pod

različitim izgovorima, a u cilju ostvarivanja veće zarade) ova postrojenja ne eksploatišu u skladu s zakonskom regulativom.

Ostale otpadne vode

Osim otpadne vode iz procesa odsumporavanja dimnih plinova, unutar elektrane moraju se tretirati i ostale otpadne tehnološke vode (otpadne vode nastale na postrojenjima hemijske pripreme vode gdje se industrijska voda, tzv. „sirova voda“, prerađuje u „kotlovsku vodu“), kao i atmosferske otpadne vode koje u obliku atmosferskih padavina - kiše, snijega i leda, dopijevaju na površine u okviru lokacije postrojenja ODG, kao i na ostale tehnološke površine elektrane.

Ove vode mogu biti zagađene u zavisnosti od mjesta nastanka i materija koje se tokom padavina spiraju sa tih površina, pa se kao takve ne mogu upustiti u prirodni recipijent bez prethodnog tretmana.

Uobičajeno je da se ove vode, zajedno sa sanitarnim otpadnim vodama elektrane, posebnom infrastrukturom mrežom priključe na postojeću kanalizacijsku mrežu elektrane te nakon toga odvedu na posebna biološka postrojenja za tretman sanitarnih otpadnih voda (npr. postrojenja tipa BIOROTOR - Rotating Biological Contactor) za cijelu termoelektanu.

Zašto kasnimo u implementaciji preuzetih obaveza?

Svjedoci smo radikalnih promjena u energetske sektoru u cijelom svijetu. Globalizacija, liberalizacija, deregulacija, dekarbonizacija i sl, sve su to pojmovi kojih

do skoro nije bilo u energetici na ovim prostorima. Danas je tržište električne energije mjesto na kome se određuje cijena električne energije. Svjedoci smo da je to 2022. godine, u drugom kvartalu na nivou 300 do 400€/MWh što do sada nije bilo zabilježeno. Pitanje je šta će biti s cijenama u III i IV kvartalu? Jesmo li spremni da izdvajamo toliki novac (i imamo li ih) za uvoz električne energije?

Ne upuštajući se u tumačenje suštinskog pitanja – čiji su ovo interesi – moramo konstatirati da nemamo izbora i da smo prinuđeni da uradimo isto što su uradili i drugi. Prema NERP-u smo morali pripremiti naša postrojenja za rad u novim uslovima i ugraditi postrojenja za odsumporavanja i denitrifikaciju. Morali smo urediti naše deponije pepela i završiti tretmane otpadnih voda i sve u skladu sa propisima i normama kako to nalaže EU i Energetska zajednica. Morali smo ranije usaglasiti naše zakonodavstvo u oblasti energetike i omogućiti lakši pristup mreži svima koji bi željeli da u procesu dekarbonizacije sudjeluju „u solaru“ i „u vjetru“. Vrlo malo smo od toga uradili. Ima više razloga zašto je to tako, a osnovni su sljedeći:

- Znanje, stručnost i visoka profesionalnost su osobine koje moraju biti osnova uspješnog menadžmenta u elektroprivrednim kompanijama, pri čemu kod izabranih zvaničnika „moralni kompas“ mora biti stalno prisutan.¹⁷ Zanemarujući ovaj kriterij, mi smo najčešće na najodgovornija mjesta postavljali stranački podobne, a prema znanju nestručne ljude koji nisu mogli i nisu znali odgovoriti na pristigle izazove;
- Dogradnja postrojenja odsumporavanja i postrojenja denitrifikacije na naše stare blokove je vrlo izazovan i zahtjevan posao, finansijski vrlo skup (a pri tome ne donosi direktnu ekonomsku dobit elektrani), vremenski dugotrajan i tehnički vrlo složen, tako da u nedostatku pravne regulative koja bi kažnjavala preuzetu, a neizvršenu obavezu, tada „aktuelni menadžment“ nije ni htio da se upušta u takve „rizike“. Najčešće se to svodilo na konstataciju: „Ne diraj, to nije moguće, to nije potrebno“, i slično. Stoga su današnji rudnici uglja u stanju u kakvom jesu, jer niko nije htio da vrši otkrivku i priprema rudnike „za sutra“;
- Izgrađena postrojenja odsumporavanja kada su u pogonu, dodatno finansijski opterećuju elektranu i zbog toga što se ne plaća kazna za njihov nerad, ona najčešće i ne rade. Postrojenje za odsumporavanje bloka od 300MW povećava vlastitu potrošnju za oko 11MW, što znači da je za toliko manje predate energije u sistem. Kada taj blok radi u kontinuitetu tada bi postrojenja za odsumporavanje za 24 sata potrošila $24h \times 11MW = 264MWh$. Prema današnjim cijenama, od oko 350€/MWh, to je $264 \times 350 = 92,400€$ dnevno ili preko 30 miliona eura godišnje. Iz ovog primjera je lako zaključiti zašto ova postrojenja u našim uslovima, i kada se izgrade, najčešće ne rade;
- Osim povećanja vlastite potrošnje, povećat će se troškovi poslovanja, zbog troškova materijala za proces odsumporavanja te troškova održavanja;
- Povećat će se emisija CO₂ po jedinici proizvedene energije i to: (1) usljed smanjenja proizvodnje po toni uglja

17 Dragan Nedeljković ENERGOPORTAL,
<https://www.energoportal.info>

i (2) usljed dodatne emisije CO₂ iz kreča koji se koristi u ovom postupku. Ovo povećanje se može procijeniti na 6-7% što je značajno uvećanje emisija u ukupnim nacionalnim bilansima CO₂. Naprimjer, ukoliko termoelektrane čine oko 50% nacionalnih emisija, dogradnja sistema za odsumporavanje kod tih elektrana uvećava nacionalne emisije za 3-4%. Imajući u vidu da se sve zemlje obavezuju na smanjenje emisija CO₂, ovakvo uvećanje znatno otežava izvršenje obaveza iz UNFCCC-ovog Pariskog ugovora;

- Ukoliko se mora koristiti postojeći dimnjak, uvećanje sopstvene potrošnje energije u elektrani se još udvostručava, a tako i povećanje emisija CO₂ po jedinici proizvedene korisne energije;
- Povećat će se troškovi amortizacije;
- Smanjuje se pouzdanost elektrane usljed uvećanja kompleksnosti objekta;
- U slučaju nemogućnosti komercijalne prodaje gipsa, ubrzano će se popunjavati deponije za odlaganje produkata sagorijevanja.

Prema tome, izbor pravih i sposobnih kadrova, izrada pravne regulativa sa značajnim pojačavanjem mjera odgovornosti te poslovanje prema principima „društveno-odgovorne firme“ je u ovom trenutku mjera koju treba poduzeti kako bi izgrađena postrojenja odsumporavanja stvarno i bila u pogonu i obavljala funkcije za koje su i predviđena.

Uvećanje sopstvene potrošnje energije u elektrani smanjuje neto energetske efikasnosti elektrane znatno ispod zatečenog nivoa energetske efikasnosti, koji je sada

između 30 i 34%. Smanjenje efikasnosti za 3-7% implicira neto efikasnost od ispod 30%, što je znatno ispod minimalnog nivoa propisanog Direktivom 2010/75/EU o industrijskim emisijama (IED Direktiva) i pratećom regulativom (vidi tabelu). Shodno tome, nijedna elektrana na Balkanu ne može redovno sprovoditi aktivnosti u skladu sa zahtevima IED Direktive od 2028. godine pa nadalje. Najviše se može postići radom elektrana u režimu rezervne elektrane. U tom slučaju se ukupni fiksni troškovi elektrane i pripadajućeg rudnika moraju pokriti radom od svega 1500 sati godišnje – četiri puta manje od sadašnjeg prosjeka radnih sati.

Drugim riječima, uvećani troškovi se moraju pokriti umanjnim prihodima.

Proizvođačima električne energije iz fosilnih goriva postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova su veliki trošak (investiciono i eksploataciono). Izgradnja postrojenja za odsumporavanje puno košta (blok 200MW približno 70 - 90 miliona eura), ali ona stvaraju značajne troškove i prilikom rada (treba svaki sat rada obezbjediti 30 do 50 tona sorbenta u zavisnosti od tehnologije odsumporavanja i sadržaja sumpora u uglju) i održavanja i značajno umanjuju ukupni stepen korisnog dejstva termobloka (zato što povećavaju vlastitu potrošnju električne energije za 2-4% od instalisane snage bloka). Sve ove stavke bitno utječu ne ekonomsko poslovanje kompanije i na izbor poslovnih odluka pa je stoga očekivano da postoje i „društveno neodgovorne kompanije“ koje pokušavaju da neprovođenjem predviđenih mjera zaštite okoliša ostvare određenu finansijsku dobit.

Treba posebno imati u vidu da je investicija u postrojenje za odsumporavanje de facto investicija u objekat za proizvodnju energije iz uglja. Kao takva, ova investicija podliježe restrikcijama iz Ugovora zemalja OECD o eksportnom kreditiranju, odnosno različitim restrikcijama koje su uvele međunarodne finansijske institucije. Investicija se može izvesti ili iz sopstvenih sredstava ili korištenjem kredita koji potiču izvan zemalja OECD-a. Korištenje

ovakvih kredita ne mora biti u skladu sa najboljom praksom u smislu izbora najbolje raspoložive tehnologije i/ili javnih nabavki. Upotreba sopstvenih sredstava zahtijeva posebnu pažnju sa stanovišta oportunitetnih troškova, imajući u vidu da sopstveni kapital upotrijebljen za legitimnu investiciju u, naprimjer, obnovljive izvore energije, gdje povoljni krediti mogu biti na raspolaganju, ostvaruje višestruko uvećane prinose na investiciju.

	GVE prema IED Direktivi za postojeće elektrane*	GVE prema IED Direktivi za nove elektrane**	GVE prema IED Direktivi za elektrane sa ograničenjem rada do 1500 sati godišnje***	GVE prema LCPD Direktivi****
SO₂	≤ 130 mg/Nm ³	10–75mg/Nm ³	220 mg/Nm ³	400 mg/Nm ³
NO_x	≤ 85-150(175)*mg/Nm ³	65 – 85mg/Nm ³	340 mg/Nm ³	500 mg/Nm ³
CO	≤ 100 mg/Nm ³	< 5–100mg/Nm ³	do 140 mg/Nm ³	?
Praškaste materije	≤ 10mg/Nm ³	2–5mg/Nm ³	2-12 mg/Nm ³ Godišnji prosjek	50 mg/Nm ³
HCl	≤ 5mg/Nm ³	1–3mg/Nm ³	20 mg/Nm ³	?
HF	≤ 3mg/Nm ³	< 1–2mg/Nm ³	7 mg/Nm ³	?
Hg	≤ 7μg/Nm ³	< 1–4μg/Nm ³	1-7 mg/Nm ³	?
Neto električna efikasnost	31,5* – 39,5%	36,5* – 40%	Bez ograničenja	Bez ograničenja
	Napomena: ova niža efikasnost se primjenjuje samo za objekte koji imaju otežano hlađenje usljed geografskih okolnosti.			

Tabela: Usporedne granične vrijednosti emisija

Izvor podataka: RERI

* Granične vrijednosti emisija prema NDT (BAT) zaključcima EU 2017/1442, juli 2017, prema Direktivi 2010/75/EU za postojeće elektrane

** Granične vrijednosti emisija prema NDT (BAT) zaključci EU 2017/1442, juli 2017, prema Direktivi 2010/75/EU za nove elektrane tj. elektrane koje se rekonstruišu poslije iskorštene „opt-out“ derogacije od 20.000 sati rada

*** Granične vrijednosti emisija prema NDT (BAT) zaključci EU 2017/1442, juli 2017, prema Direktivi 2010/75/EU za elektrane sa ograničenjem rada do 1500 sati godišnje u prosjeku tokom 5 godina

**** Granične vrijednosti emisija prema Direktivi o Velikim Ložistima (LCPD) EU 2001/80/EC