Tehnike pročišćavanja krutih čestica iz otpadnih plinova

Mlinarić, Franko

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Metallurgy / Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:115:950725

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-26**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU METALURŠKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF METALLURGY
SISAK

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Franko Mlinarić

ZAVRŠNI RAD

Sisak, rujan 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Franko Mlinarić

TEHNIKE PROČIŠĆAVANJA KRUTIH ČESTICA IZ OTPADNIH PLINOVA

ZAVRŠNI RAD

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Tamara Holjevac Grgurić

Članovi Povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Brnardić - predsjednik
Izv. prof. dr. sc. Tamara Holjevac Grgurić – član
Izv. prof. dr. sc. Stjepan Kožuh – član
Doc. dr. sc. Tahir Sofilić – zamjenski član

Sisak, rujan 2017.

Zahvaljujem svima koji su svojim savjetima i prijedlozima pridonijeli izradi ovog rada.

Posebno zahvaljujem mojoj voditeljici izv.prof.dr.sc. Tamari Holjevac Grgurić na strpljenu,pomoći i vodstvu pri izradi ovog završnog rada. Također, hvala svim kolegama i prijateljima,a najveće hvala mojoj obitelji i djevojci na razumijevanju i podršci tokom studiranja.

TEHNIKE PROČIŠĆAVANJA KRUTIH ČESTICA IZ OTPADNIH PLINOVA

SAŽETAK

Razvoj čovječanstva doveo je do intenzivnog tehnološkog razvoja, povećanja produktivnosti i proizvodnje novih vrsta proizvoda i usluga, što ima za posljedicu povećanje onečišćenja zraka, vode i tla. Stoga je tema očuvanja okoliša, kontrole onečišćenja te pokušaji smanjenja koncentracije onečišćujućih tvari ključna u posljednjih desetak godina. U tom smislu donesena je zakonska regulativa te preporuke o graničnim vrijednostima koncentracija onečišćujućih tvari u okolišu, kao i preporuke za implementaciju najbolje raspoloživih tehnika u industrijskim procesima. U ovom radu dan je prikaz osnovnih izvora onečišćenja zraka te tehnike pročišćavanja krutih čestica iz otpadnih plinova tehnoloških procesa.

Ključne riječi: onečišćenje zraka, krute čestice, separatori, otpadni plinovi

TECHNIQUES FOR PARTICLE PURIFICATION FROM WASTE GASES

SUMMARY

Intensive technological development increased productivity of new products and services, what results in increased air, water and soil pollution. Therefore, the environmental theme, pollution control and attempts to reduce concentrations of pollutants have been crucial in the last decade. Consenquently, legislation as well as recommendations on the limit values of pollutant concentrations in air and best available techniques have been harmonized. In this paper, basic sources of air pollution as well as techniques for particle purfication from waste gases were presented.

Keywords: air pollution, particles, separators, waste gases

1. UVOD 1
2. TEORIJSKI DIO 2
2.1. Izvori onečišćujućih tvari u zraku 2
2.2. Onečišćenja zraka izazvana industrijskim procesima 4
2.3. Tehnike pročišćivanja otpadnih plinova 4
2.3.1. Tehnike pročišćavanja otpadnih plinova od krutih čestica 5
2.3.1.1. Gravitacijski separatori 5
2.3.1.2. Centrifugalni separatori 9
2.3.1.3. Elektrostatički separatori 12
2.3.1.4. Filtri 16
3. Primjer korištenja separatora krutih čestica u industrijskom postrojenju 18
3.1. Emisije u zrak 23
4. ZAKLJUČAK 24
5. LITERATURA 25

1. UVOD

Onečišćenje zraka podrazumjeva prisutnost jedne ili više nepoželjnih tvari u zraku, i to u koncentracijama koje mogu biti štetne za čovjeka i njegovu okolinu. [1-3] Onečišćenje zraka je problem na globalnoj razini, s obzirom da ne utječe samo na zdravlje ljudi već i na globalno zagrijavanje, razaranje ozonskog omotača, pojavu kiselih kiša, onečišćenje tla te biljne i životinjske vrste.

Upravo stoga je vrlo važno pratiti štetne utjecaje u zraku te se usmjeriti na provođenje tehnika za njihovo smanjenje. Izvori onečišćujućih tvari u zraku mogu biti prirodni ili antropogeni. Prirodni izvori su erupcije vulkana, šumski požari, oluje te potresi, dok antropogenim izvorima smatramo industrijska postrojenja, transport, energane, itd.

Ubrzani tehnološki razvoj te porast kapaciteta proizvodnje, kao i značajan porast prometa posljednjih decenija, doveli su do toga da ukoliko se nastavi zagađivati okoliš dosadašnjim tempom, doći će do uništenja prirode globalnih razmjera te do izrazitih klimatskih promjena. Očuvanje okoliša je, kao posljedica toga, postala jedna od prioritetnih tema u EU i na svjetskoj razini te je donesena zakonska regulativa u svakoj zemlji članici EU u skladu sa preporukama Direktive o industrijskim emisijama 2010/75/EU Europskog parlamenta i Vijeća. Direktiva uključuje također i zahtjev da se okolišne dozvole za industrijske subjekte temelje na primjeni najboljih raspoloživih tehnika (*NRT*) koje su utvrđene Zakonom o zaštiti okoliša, a definirane su Referentnim dokumentom (BREF). Najbolje raspoložive tehnike podrazumijevaju sve tehnike, tehnologiju, planiranje, izgradnju, održavanje, rad i zatvaranje pogona, koje su primjenjive u praksi pod prihvatljivim tehničkim i ekonomskim uvjetima te su najučinkovitije u postizanju najvišeg stupnja zaštite okoliša kao cjeline. [4] Zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj koja definira mjere vezane uz onečišćenje zraka nadalje je dana Zakonom o zaštiti zraka (NN 130/11, 47/14), Pravilnikom o praćenju kvalitete zraka (NN 3/13) te drugim uredbama.

U ovom radu dan je naglasak na tehnike pročišćavanja otpadnih plinova iz industrijskih postrojenja, osobito na odvajanje krutih čestica iz struje plina prije ispuštanja u atmosferu, s ciljem smanjenja onečišćenja zraka.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Izvori onečišćujućih tvari u zraku

Izvori onečišćenja zraka predstavljaju proces ili objekt koji pod određenim utjecajem emitira onečišćujuće tvari u atmosferu. Najčešće se radi o plinovima, ugljikovim oksidima, dušikovim oksidima, sumpornim oksidima, ugljikovodicima te krutim česticama. [5-7]

Izvore onečišćujućih tvari možemo dijeliti s obzirom na:

- vrstu izvora onečišćenja
- raspored
- vrstu onečišćenja
- vremensko trajanje onečišćenja

Prema vrsti razlikujemo prirodne i antropogene izvore onečišćenja. Prirodni izvori su oni koji se dešavaju uslijed nekih prirodnih procesa, dok su antropogeni nastali kao posljedica neke ljudske aktivnosti. [8]

Prirodni izvori su:

- dim, pepeo i plinovi nastali tijekom šumskih požara
- vulkanske čestice, plinovi i pepeo
- prirodna radioaktivnost mikroorganizmi
- pješčane oluje
- prirodna isparavanja
- aerosol
- alkalna i slana jezera

Antropogeni izvori su:

- elektrane(termoelektrane, nuklearne elektrane)
- industrijska i poljoprivredna postrojenja
- automobili i ostala prijevozna sredstva
- izgaranje fosilnih goriva
- zaprašivanje, itd.

Prema rasporedu izvore zagađenja zraka možemo podijeliti na individualne, linijske i površinske. [1,8,9]

Individualnim izvorima smatraju se svi oni čiji je uzrok jedan mali zasebni izvor. Dakle, ne podrazumjevaju se industrijska zagađenja, poput tvornica ili pogona, već izvori kao što su paljenje smeća, osobna vozila, itd. Takav vid onečišćenja predstavlja jače zagađenje od pojedinačnog industrijskog.

Linijskim izvorima smatraju prometnice sa svojom bližom okolinom. Pruge, ceste, brze ceste, autoceste i dr. Količina onečišćenja ovisi o gustoći i jačini prometa.

Površinski izvori su pak izvori veliki industrijski pogoni i industrijske zone koje uključuju i određenu cestovnu infrastrukturu, vozila i svih ostalih sastavnica koje čine takvu jednu zonu i povezuju ju sa okolnim mjestima.

Prema vrsti onečišćenja izvori se dijele na plinove, čestice i aerosoli. [1,8,9]

Plinovi koji onečišćuju amtosferu su komponente koje ne čine standardan sastav atmosfere, kao i svi oni plinovi čija povećana koncentracija narušuje prirodnu ravnotežu. Uglavnom se radi o SO_x, NO_X, CO_2, NH_3, itd. Isto tako, ti plinovi, pod kemijskim utjecajima u zraku ili atmosferi mogu se pretvoriti u neki drugi štetni spoj te tako stvoriti novi vid onečišćenja.

Čestice podrazumjevaju čvrstu dispergiranu fazu veličine 0,001-500 μm. Radi se o oksidima metala, solima kiselina i lužina, virusima, čađi i dr. Razlikujemo lebdeće čestice, suspendirane čestice i grube čestice. Veličine su do 10 μm (prašina, dim, smog, magla, čađa, itd.)

Aerosoli su tvari u tekućem stanju, raspršene u atmosferi.

S obzirom na vremensko trajanje izvori onečišćenja mogu biti trajni i povremeni.

Trajni izvori su većinom elektrane ili industrijski pogoni koji kontinuirano i kroz duži vremenski period svojim radom štetno djeluju na okoliš.

Povremeni izvori su oni koji se dešavaju izvanredno i ne ponavljaju se, primjerice nesreće tipa oštećenja nuklearke, havarija u industrijskim pogonima, havarije pri transportu, itd.).

2.2. Onečišćenja zraka izazvana industrijskim procesima

Industrijski izvori onečišćenja su stacionarni te emitiraju uglavnom određeni sastav onečišćujućih tvari, ovisno o procesu proizvodnje. Uzroci industrijskih onečišćenja su neplanirani industrijski rast, neučinkovito zbrinjavanje otpada, korištenje zastarjelih tehnologija te uporaba velikih količina sirovina i energije pri proizvodnji.

S ciljem praćenja onečišćenja vrši se kontrola onečišćenja, kako bi se utvrdila razina onečišćenja. U tom smislu svaka država članica EU ima zakonsku regulativu u skladu sa Direktivom o industrijskim emisijama Europskog parlamenta i Vijeća, te usklađene zakone i pravilnike. RH su doneseni Zakon o zaštiti okoliša (NN 80/13, 153/13); Zakon o zaštiti zraka (NN 130/11, 47/14) te Pravilnik o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora te druge uredbe i propisi.

Zakonskom regulativom definirana je maksimalno dopuštena koncentracija (MDK) toksičnih tvari u atmosferi, koje ne uzrokuju oštećenje zdravlja ljudi, kao i granične vrijednosti (GV) toksičnih tvari koje se ne smiju prijeći u definiranom vremenskom razdoblju. Granična vrijednost emisije podrazumjeva najvišu dozvoljenu razinu koncentracije štetnih i opasnih tvari na samom mjestu izvora onečišćenja. Granična vrijednost imisije definira najvišu razinu koncentracije onečišćujućih tvari u zraku. Kako bi se redovito pratile koncentracije osnovnih onečišćujućih tvari u zraku, provodi se monitoring te redovito uzorkovanje i laboratorijska mjerenja.

2.3. Tehnike pročišćivanja otpadnih plinova

Pri procesima u industrijskim postrojenjima nastaju otpadni plinovi, koji se prije ispuštanja u atmosferu nastoje pročistiti u što većoj mjeri, kako bi se smanjila emisija onečišćujućih tvari u atmosferu. Pročišćavanje otpadnih plinova provodi se određenim tehnikama, ovisno o procesu te vrsti onečišćujućih tvari. Preporuke najbolje raspoloživih tehnika (NRT) za pojedine industrijske grane dane su referentnim dokumentom (BREF).

Smanjenje zagađenosti otpadnih plinova iz industrijskih izvora može se provesti:

1) korištenjem obnovljivih izvora energije umjesto fosilnih goriva u procesima industrijske proizvodnje
2) poboljšanjem karakteristika ulaznih sirovina
3) unaprjeđenjem industrijskog procesa na način smanjenja ispuštanja otpadnih plinova u okolinu
4) recikliranjem ili prevođenjem u nus-produkte
5) pročišćavanjem otpadnih plinova

Tehnike za pročišćavanje otpadnih plinova dijele se na fizikalne i kemijsko-fizikalne tehnike.

Tehnike odvajanja štetnih plinova prije ispuštanja u atmosferu su:

- toplinsko i katalitičko sagorijevanje
- apsorpcija
- adsorpcija

2.3.1. Tehnike pročišćavanja otpadnih plinova od krutih čestica

Uređaji za pročišćavanje otpadnih plinova od krutih čestica mogu se podijeliti s obzirom na princip rada na [1, 10]:

1. gravitacijske separatore
2. centrifugalne separatore
3. elektrostatičke separatore
4. filtre

2.3.1.1. Gravitacijski separatori

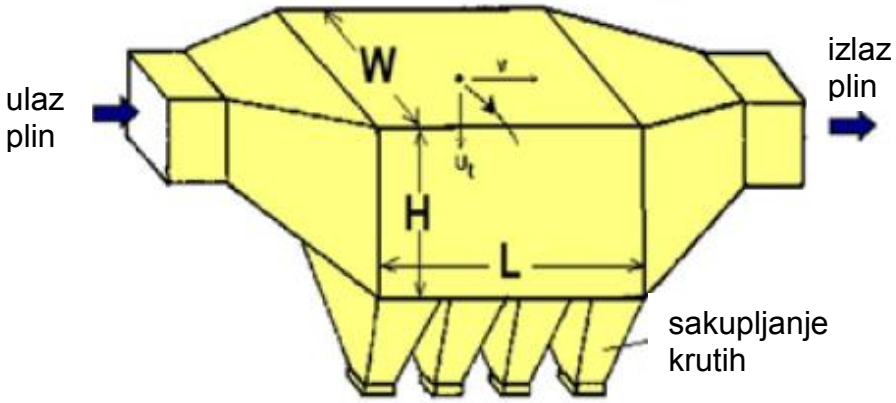
Gravitacijski separatori rade na principu odvajanja krutih čestica iz plina uslijed djelovanja sile teže. Dva su osnovna tipa separatora: taložne komore i inercijski separatori.

Taložne komore

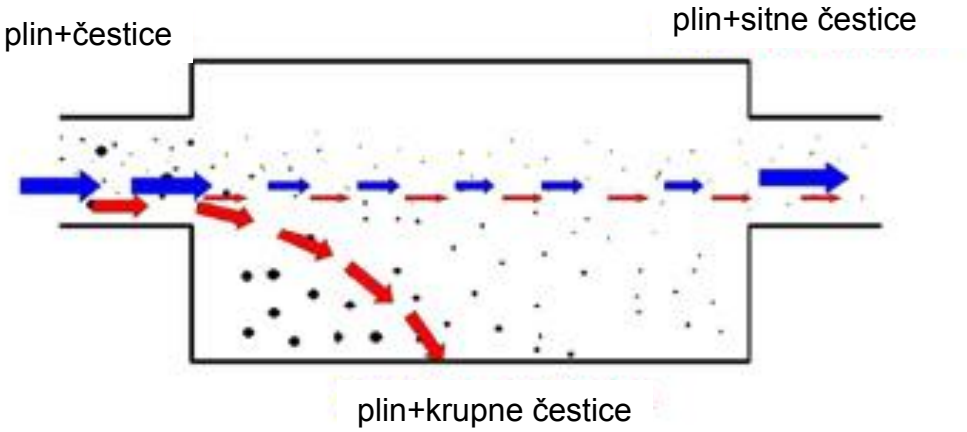
U taložne komore (slika 1) plin se uvodi određenom brzinom strujanja te se uslijed djelovanja sile teže čestice talože na dno komore. Krupne čestice talože se brže, dok se sitne čestice zajedno s plinom odvode iz komore (slika 2). Najmanja veličina čestica koja se može odvojiti sa 100 % efikasnošću dana je relacijom (1):

$$\frac{H}{u} = \frac{L}{v} \qquad (1)$$

Najmanja veličina čestica koja će se 100% istaložiti prijeđe svojom brzinom taloženja $u_t$visinu komore H, za vrijeme dok je struja zraka prenese na dužinu L, brzinom v.



Slika 1. Taložna komora [1]

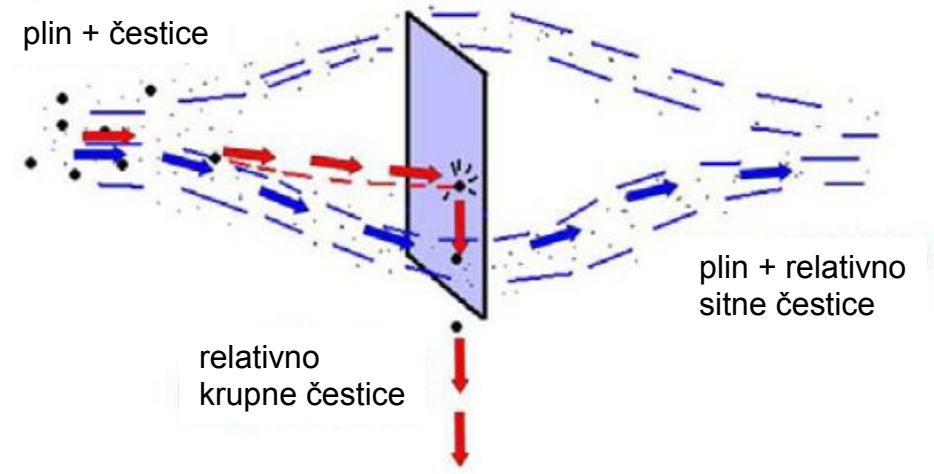


Slika 2. Taloženje krupnijih čestica uslijed sile teže [6]

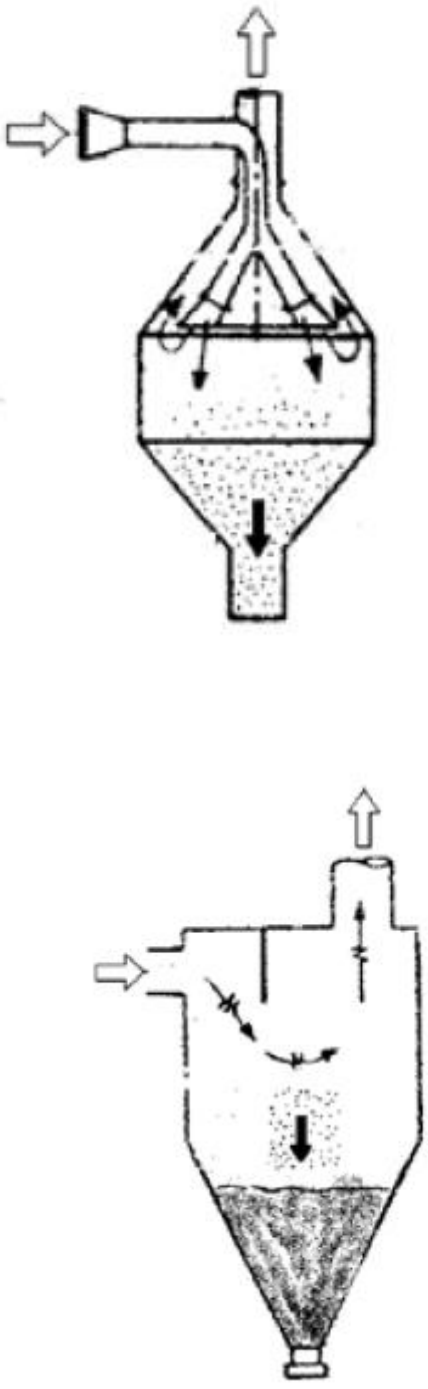
Brzina strujanja plina kroz komoru najčešće iznosi 3 m/s, kako ne bi došlo do uzburkavanja nataloženih čestica, čime bi se one ponovo vratile u struju plina. Djelotvornost same komore definirana je duljinom same komore, koja može u industrijskim subjektima iznositi i do 10 m. U taložnim komorama uspješno se odvajaju čestice veličine do 50 μm. Ovi se separatori uglavnom u industrijskim postrojenima koriste kao pred-pročistači u kombinaciji sa drugim separatorima koji mogu odvajati čestice veličine manje od 50 μm. Ponekada se u taložne komore dodaju pregrade kako bi se smanjila udaljenost koju čestice prolaze pri taloženju, i na taj način povećala efikasnost separatora.

Inercijski separatori

Inercijski separatori su uređaji u kojima se krute čestice odvajaju iz struje otpadnog plina uslijed nemogučnošću da slijede u potpunosti struju plina radi tromosti. Čestice nošene inercijskom silom struje zajedno s tokom plina, dok ne udare u vertikalnu prepreku unutar separatora (slika 3). Krupnije čestice zbog svoje veće mase, uslijed sudara s preprekom gube svu kinetičku energiju te se uslijed djelovanja sile teže talože. Otpadni plin, zajedno sa sitnim česticama zaobilaze prepreku i nastavljaju prolaz kroz uređaj. Različite izvedbe uređaja su prikazane na slici 4.



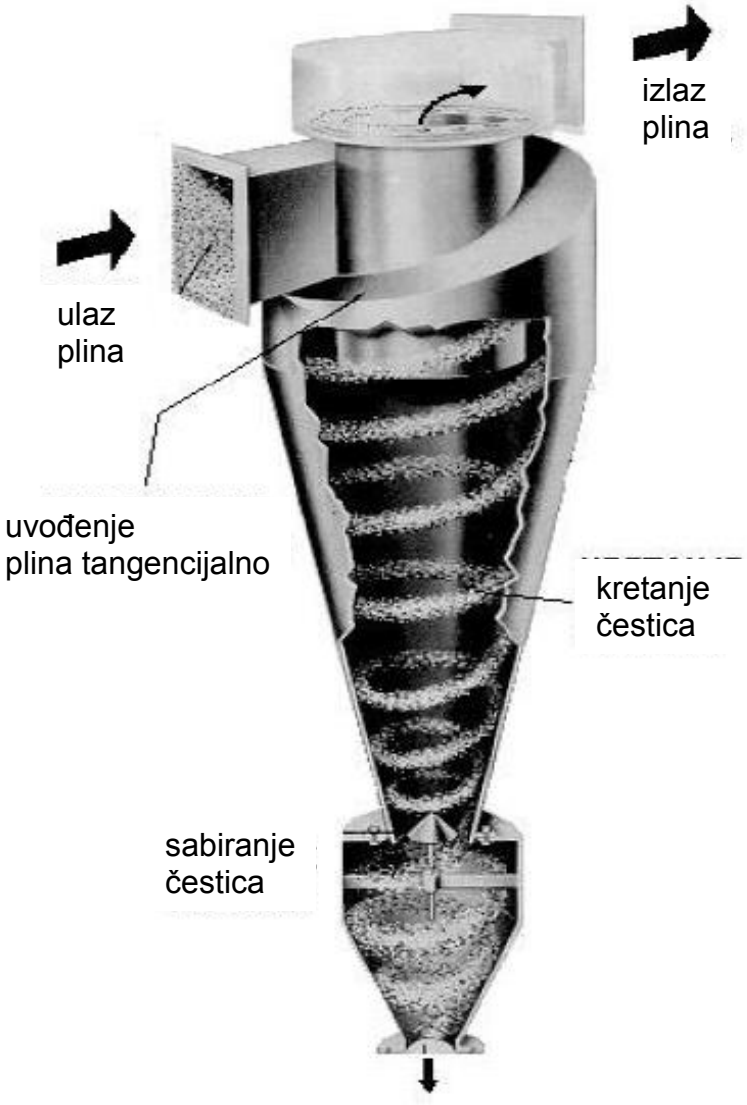
Slika 3. Inercijski separator [6]



Slika 4. Različite izvedbe inercijskih separatora [1]

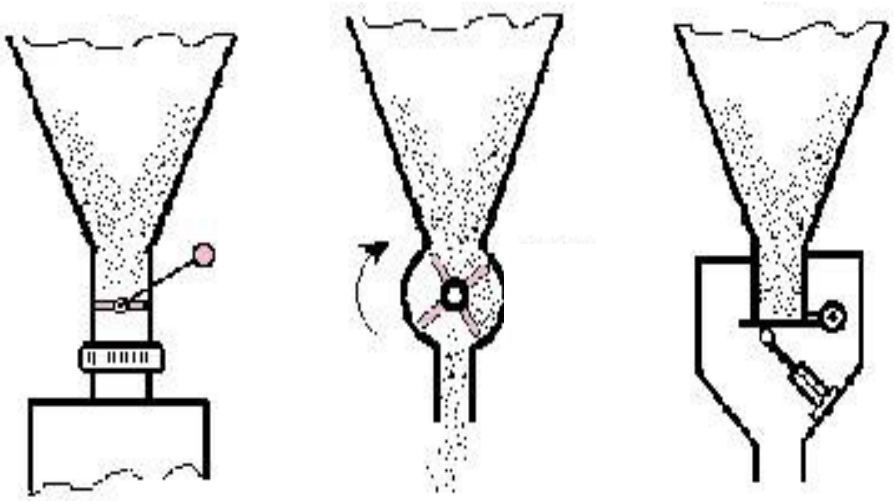
2.3.1.2. Centrifugalni separatori

Centrifugalni separatori odvajaju krute čestice iz struje otpadnog plina uslijed djelovanja centrifugalne sile. Najčešće upotrebljavani centrufugalni separatori u industrijskim procesima su tzv. cikloni (slika 5).



Slika 5. Tangencijalni ciklon [6]

Cikloni su uređaji konusnog oblika. Otpadni plin uvodi se u ciklon tangencijalno te plin počinje cirkulirati unutar ciklona. Unutar ciklona, djelovanjem centrifugalne sile uslijed strujanja plina, krute čestice se odvajaju, udaraju u stijenku ciklona te gube kinetičku energiju i padaju na dno ciklona, u tzv, sabirnik. Pri vrhu ciklona odvajaju se krupnije čestice, a pri dnu sitnije, s obzirom na veću brzinu strujanja otpadnog plina pri dnu ciklona. Pročišćeni plin diže se prema vrhu ciklona kroz cijev koja prolazi središtem ciklona, i ispušta iz uređaja u atmosferu ili na dalje pročišćavanje. Krute čestice se odvode iz sabirnika kontinuirano ili diskontinuirano (slika 6).



a) b) c)

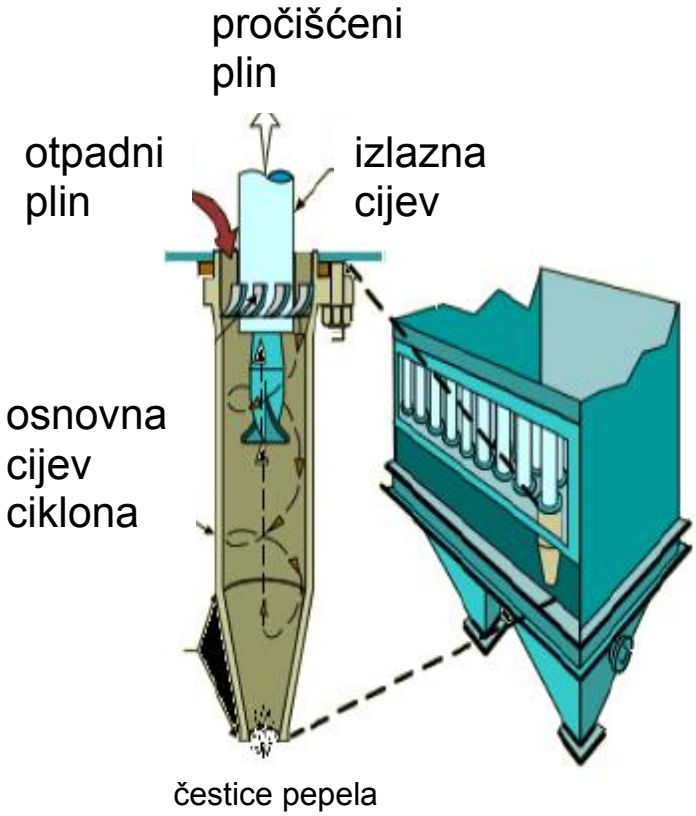
Slika 6. Izvedbe sabirnika: a) leptirasti ventil, b) automatski ventil, c) rotacijski mehanizam [1]

Leptirasti ventil (slika 6a) otvara se ručno povremeno te se krute čestice izdvajaju iz sabirnika ciklona. Na slici 6b prikazano je automatsko otvaranje ventila sabirnika, nakon što se postigne određena masa nataloženih čestica, dok se rotacijskim mehanizmom omogućuje kontinuirano odvođenje krutih čestica iz ciklona (slika 6c).

Kako bi se povećala učinkovitost ciklona, spajaju se više ciklona, i to do nekoliko stotina ciklona u multicikon (slika 7).

Osim tangencijalnih ciklona postoji i druga izvedba ciklona, aksijalni cikloni (slika 8.). Za razliku od tangencijalnih, kod aksijalnih ciklona se plin uvodi od gore, kroz statičke lopatice, koje se nalaze na vrhu ciklona i koje usmjeravaju strujanje otpadnog plina kroz ciklon.

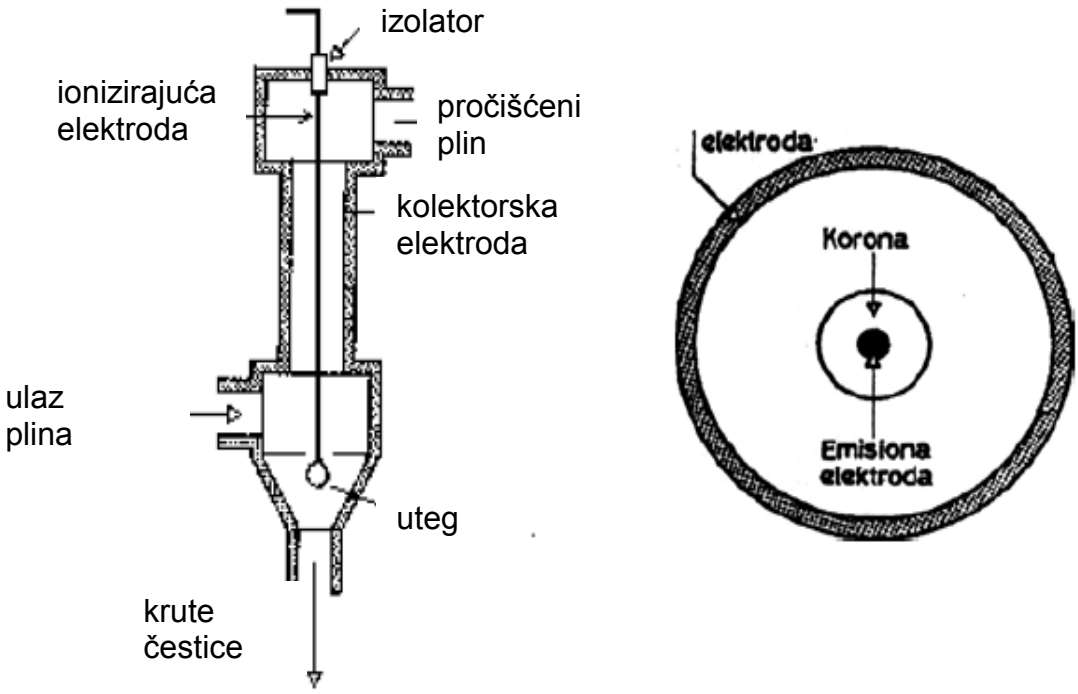
Slika 7. Multiciklon [11]



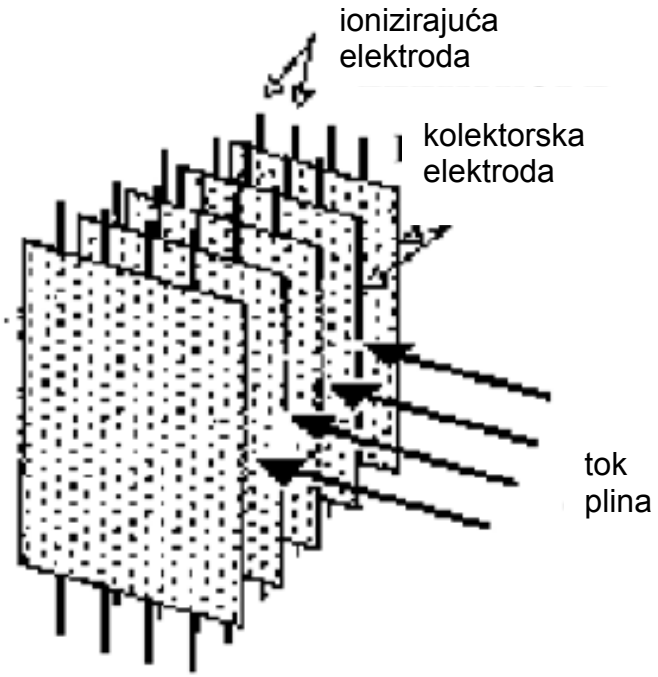
Slika 8. Aksijalni ciklon [12]

2.3.1.3. Elektrostatički separatori

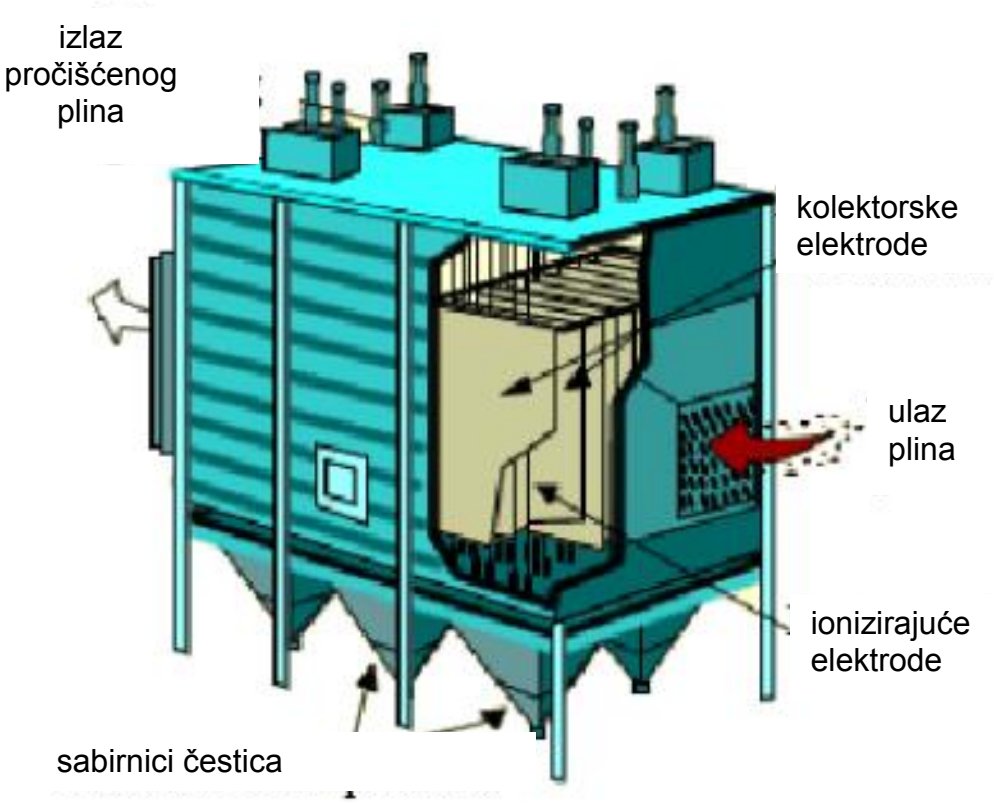
Elektrostatički separatori rade na principu odvajanja krutih čestica iz struje otpadnog plina uslijed ionizranja plina i nabijanja čestica pri prolazu kroz električno polje (slika 9). [13] Električno polje se stvara između dviju elektroda. Jedna elektroda je ionizirajuća elektroda, dok je druga elektroda kolektorska elektroda, na kojoj se sakupljaju nakupljene krute čestice. Do ionizacije plina dolazi kada gradijent jačine električnog polja oko elektrode prijeđe graničnu vrijednost, ovisno o naponu, obliku i rasporedu elektroda. Nastali ioni se kreću pod utjecajem jakog električnog polja brzinom od 40-50 m/s te sudarima prenose i nabijaju krute čestice u ulaznoj struji plina. Izvedba elektrostatičkih separatora može biti cilindrična ili sustav paralelnih ploča. Između ploča nalazi se određen broj visećih žica koje predstavljaju ionizirajuće elektrode, dok su ploče kolektorske elektrode (slike 10,11). Ploče se nalaze uglavnom na udaljenosti od 25 cm.



Slika 9. Shematski prikaz elektrostatičkog separatora [1]



Slika 10. Shematski prikaz pločastog elektrostatičkog separatora [1]



Slika 11. Elektrostatički separator s paralelnim pločama [6]

Postupak odvajanja čestica u elektrostatičkim separatorima odvija se u slijedećim koracima:

- uspostavljanje električnog polja
- stvaranje električnog naboja
- prijenos električnog naboja na čvrste čestice
- gibanje nabijenih čvrstih čestica u električnom polju prema kolektorskoj elektrodi
- adhezija nabijenih krutih čestica po površini kolektorske elektrode
- uklanjanje sloja krutih čestica s elektrode
- sabiranje krutih čestica u sabirniku
- uklanjanje čestica iz sabirnika

Uređaji mogu biti jednostepeni ili dvostepeni. Kod jednostepenih uređaja ionizirajuća elektroda i kolektor su jedna cjelina, dok kod dvostepenih uređaja plin se ionizira u jednom stupnju, a čestice sakupljaju na kolektorskoj elektrodi u drugom stupnju.

Prednosti separatora su:

- Djelotvornost do 99,9 %
- Izlazna koncentracija plina manja od 1 mg/m3
- Uklanja čestice od 500 μm
- Pogodni za veće količine otpadnog plina
- Radna temperatura do 600 °C
- Mali pad tlaka
- Kontinuirani rad

Nedostaci separatora su:

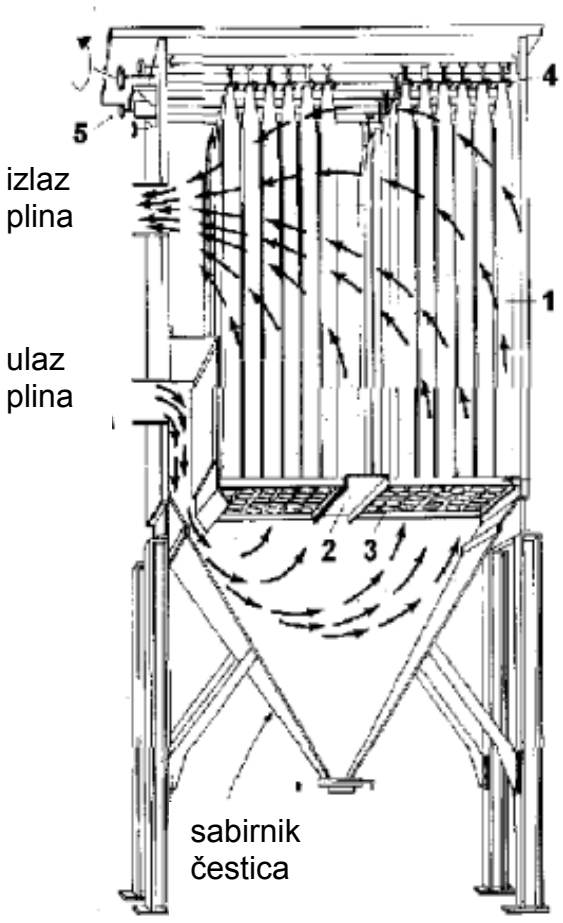
- Zauzimaju veliku površinu
- Veliki troškovi investicija
- Ograničena primjena za eksplozivne i zapaljive aerosole
- Nemogućnost predviđanja koeficijenta odvajanja

2.3.1.4. Filtri

Filtriranje je proces kod koje dolazi do odvajanja krutih čestica iz otpadnog plina prolaskom kroz filtrirajući medij na kojem se one talože. Najčešće se koriste filteri sa poroznim cijevima, vrećasti filteri i filteri sa pregradom od filtrirajućeg materijala.

Vrećasti filtri

Kod vrećastih filtra se na kostur od žice stavlja vreća koja je u stvari filtracijsko sredstvo na koje se s vremenom formira filterski kolač od krutih čestica (slike 12,13). Materijali za filtriranje mogu biti pamuk, vuna, staklena vuna i dr., a njihov odabir ovisi o temperaturi, karakteristikama plina i čestica, razini vlage u prostoru i plinu. Veličina pora filterskog sredstva definira i veličinu čestica koja se odvaja.



Slika 12. Shematski prikaz vrećastog filtra [1]

Slika 13. Fotografija industrijskog vrećastog filtra [14]

Učinkovitost vrećastog filtra je vrlo visoka, gotovo 99 %. Nedostatak je jedino potreba za redovitim skidanjem filtarskog kolača sa tkanine, kako bi se osigurala daljnja učinkovitost. S obzirom na način odvajanja kolača s filtra razlikujemo vrećaste filtre sa otresanjem pomoću povratnog toka, filtre s mlaznicama, filtre s mehaničkim otresanjem, itd.

Filterski kolač je moguće skinuti sa filterskog medija jednostavnim mehaničkim otresanjem, pri čemu čestice padaju u sabirnik čestica. Kod filtra sa otresanjem pomoću povratnog toka s vremena na vrijeme se propušta struja zraka pomoću ventilatora, kojom se skida filterski kolač. Razlikujemo filtre s diskontinuiranim kontinuiranim otresanjem filterskog kolača.

3. Primjer korištenja separatora krutih čestica u industrijskom postrojenju

Primjer je postrojenje BE-TO Velika Gorica na biomasu u izvedbi s parnim kotlom, kondenzacijsko-oduzimnom parnom turbinom te vršnim kotlovskim postrojenjem. [15] Korištenje biomase u proizvodnji električne energije i topline svrstava ovo postrojenje u obnovljive izvore energije (OIE) te stoga ima poseban status u energetskom sustavu. Europska direktiva o poticanju upotrebe energije iz obnovljivih izvora1 propisuje zemljama članicama EU obvezu korištenja određenog postotka OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije.

Osnovne karakteristike postrojenja su:

a) Elektrana pokriva temeljni dio dijagrama potrošnje u trajanju od 8.000 sati godišnje s nazivnom snagom, te proizvodi i električnu energiju i toplinu za potrebe grijanja.

b) Održavanje graničnih vrijednosti emisije u zrak je prema odgovarajućoj europskoj praksi tj. u skladu s direktivom o emisijama iz industrijskih postrojenja.

c) Odsumporavanje dimnih plinova koji nastaju izgaranjem drvne sječke nije potrebno jer je sadržaj sumpora u gorivu dovoljno nizak da se zadovoljavaju strogi zahtjevi EU direktive o emisijama iz industrijskih postrojenja.

d) Odvajanje krutih čestica iz dimnih plinova koji nastaju izgaranjem drvne sječke provodi se suvremenim vrećastim filtrima s vrlo visokom učinkovitošću (99,95%).

e) Rashladni sustav realizirat se s vlažno-suhim rashladnim tornjevima recirkulacijskog tipa čime se isključuje vidljiv izlaz kondenzirane vodene pare na izlazu iz procesnih tornjeva.

f) Odvođenje očišćenih dimnih plinova koji nastaju izgaranjem drvne sječke realizira se preko dimnjaka visine oko 70 metara.

g) Proizvodnja pare realizira se u parnom kotlu s izgaranjem u atmosferskom cirkulirajućem fluidiziranom sloju (*Atmospheric Circulating Fluidized Bed, ACFB*) s jednim međupregrijanjem pare, sa stupnjem korisnog djelovanja od 90%.

i) Karakteristika ACFB sustava je niska temperatura izgaranja te dvostupanjski dovod zraka za izgaranje pa je proizvodnja dušikovih oksida (NOx) vrlo niska i nije potreban posebni uređaj za sniženje emisije.

Tablica 1. Osnovni podaci o postrojenju

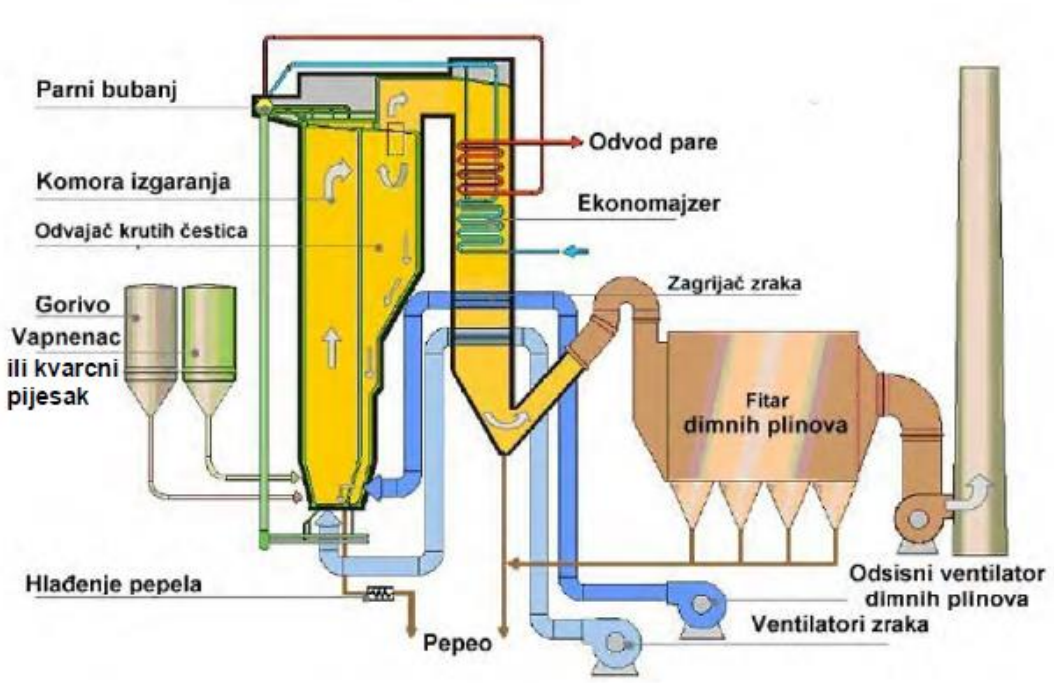
Bruto snaga na generatoru u kondenzacijskom radu, MW	22,5
Bruto snaga na generatoru u oduzimnom radu, MW odnosno MJ/s	16,4
Snaga oduzete topline za potrebe grijanja, MW	35,4
Ukupna korisna snaga u zimskom razdoblju, MW	51,8
Ukupna toplinska snaga postrojenja unesena gorivom, MW	65,8
PODACI O KOTLU	
Tip kotla	AFBC
Količina pare, t/h	70
Tlak pregrijane pare, bar	124
Temperatura izlazne pare, °C	522
Stupanj djelovanja kotla, %	90
PODACI O REFERENTNOJ BIOMASI	
Proračunska ogrjevna vrijednost, kJ/kg	9.000
Vlaga, %	33,1
Pepeo, %	2,33
Ugljik, %	31,58
Vodik, %	3,75
Sumpor, %	0,012
Dušik, %	0,30
Kisik, %	29,0
RASHLADNI SUSTAV	
Prosječna temperatura rashladne vode na ulazu/izlazu u/iz kondenzatora (ljeti), °C	30/40
Prosječna temperatura rashladne vode na ulazu u kondenzator (zimi), °C	16/18,5
Temperatura kondenzacije (ljeti), °C	43,4
Temperatura kondenzacije (zimi), °C	27,7
Tlak kondenzacije ljeti, bar	0,088
Tlak kondenzacije zimi, bar	0,037
Stupanj djelovanja elektrane, u kondenzacijskom radu, bruto, %	34,2
Stupanj djelovanja elektrane u oduzimnom radu, bruto, %	78,7

Tehnologija izgaranja kotlovskog postrojenja u BE-TO tvornici je izgaranje u atmosferskom cirkulirajućem fluidiziranom sloju. Pri izgaranju nastaju veće količine krutih čestica koje se moraju odvojiti prije ispuštanja.

U fluidiziranom sloju plina nastaju krute čestice goriva, pepela i inertnog materijala te se vrtložno gibaju u sloju zraka koji se upuhuje s donje strane ložišta brzinom od približno 5 m/s. U gorivo se dodaje kvarcni pijesak ili vapnenac koji popunjava prostor između čestica goriva čime se osigurava homogena fluidizacija. Kontinuiranim turbulentnim gibanjem čestica postiže se skoro potpuno izgaranje goriva pri relativno niskim temperaturama u odnosu na klasične tehnologije (izgaranje prašine). Veće čestice se izdvajaju iz dimnih plinova u vodom hlađenom separatoru i vraćaju natrag u gorivi sloj kroz bočnu komoru odvojenu razdjelnim zidom. Finije čestice letećeg pepela nošene su dimnim plinovima kroz konvekcijski dio kotla, a potom u sustav za pročišćavanje dimnih plinova s vrećastim impulsnim filtrom. Koncentracija čestica na ispustu dimnih plinova u atmosferu je manja od 20 mg/Nm^3.

Temperatura izgaranja u kotlu s cirkulirajućim fluidiziranim slojem je 850 do 900°C, a uvjetovana je optimalnom temperaturom za postizanje minimalnih emisija dušikovih oksida, NO_X. Zbog relativno niske temperature izgaranja emisija NO_X je manja i do 60% u usporedbi s emisijama klasičnih tehnologija izgaranja. Emisija NO_X još se dodatno smanjuje primjenom stupnjevitog dovođenja zraka u ložište. To znači da se u donjem dijelu sloja izgaranje odvija u reducirajućim uvjetima, a to dovodi do stvaranja dušika N_2, umjesto dušik (II) oksida, NO, kao što se dešava u oksidacijskim uvjetima. Kotlovsko postrojenje postiže vrijednosti emisije NOX manje od 250 mg/Nm^3, što predstavlja graničnu vrijednosti definiranu Direktivom o industrijskim emisijama 2010/75/EU i Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN 117/12).

Vrijednost emisije sumporovih oksida je vrlo mala (oko 60 mg/Nm3) zbog niskog sadržaja sumpora u gorivu, a može se još dodatno smanjiti za 30-50 posto dodavanjem u fluidizirani sloj praha vapnenca. Emisije CO, ostalih ugljikovodika i neizgorenog ugljika vrlo su niske zbog turbulencija unutar fluidiziranog sloja i separatora te dovoljnog vremena zadržavanja goriva u kotlu.



Slika 14. Shematski prikaz izgaranja u kotlovskom postrojenju u BE-TO Velika Gorica [15]

Sustav dimnih plinova

Dimni plinovi nastali u ložištu prvo prolaze kroz ciklon, gdje se odvajaju veće čestice pepela i neizgorenog goriva te vraćaju u ložište kroz pregradu, a finiji leteći pepeo se odnosi kroz konvekcijski dio kotla do sustava u kojem se leteći pepeo uklanja iz dimnih plinova vrećastim filtrom. Dimni plinovi prolaze kroz filtar kotla s pomoću odsisnog ventilatora dimnih plinova nakon čega se ispuštaju u atmosferu kroz dimnjak. U dimnim plinovima analiziraju se O_2, CO, NOx i SO_2 kako bi se utvrdila učinkovitost izgaranja i koncentracijske emisije onečišćujućih tvari. Kisik u dimnim plinovima se obično održava na oko 6,0% vol., kako bi se osiguralo pravilno izgaranje.

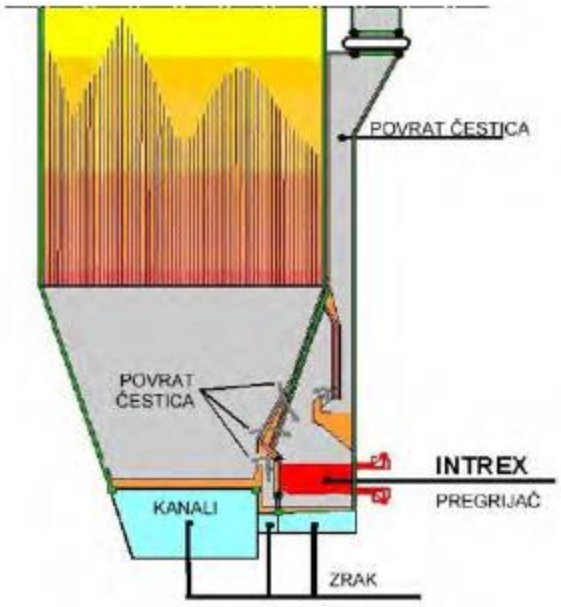
Ciklon

Po izlasku iz ložišta, a prije ulaska u konvektivni dio kotla, dimni plinovi prolaze kroz ciklonski odvajač grubih čestica, gdje se odvajaju grube čestice smjese goriva i pepela. Odvojene grube čestice se kroz pregradu vraćaju natrag u ložište, dok fine čestice nošene dimnim plinovima odlaze u konvektivni dio kotla. Odvajač se sastoji od membranskih stijena koji su sa unutrašnje strane obloženi tankim slojem ozida od toplinske izolacije otporne na habanje. Pepeo i neizgorene čestice izdvojene u odvajaču padaju niz cijevi te kroz pregradu ulaze u komoru izgaranja. Pregrada sprječava povratni protok dimnih plinova u ložište.

Smjesa čestica u kanalu pregrade fluidizira se zrakom iz mlaznice koje se nalaze na dnu kanala.

Konvekcijski dio kotla

Nakon izlaska iz ciklona, dimni plinovi prolaze kroz horizontalni spojni kanal i ulaze u konvekcijski dio kotla. U horizontalnom spojnom kanalu smještena su dva pregrijača za pregrijavanje zasićene vodene pare koja dolazi iz bubnja kotla. Pregrijači su ovješeni na vodom hlađenim ovjesnim cijevima koji su dio ekonomajzera. Na dnu komore izgaranja predviđen je pregrijač koji koristi toplinu grubih čestica iz odvajača (slika 15). Nakon pregrijača dimni plinovi ulaze u ekonomajzer. To je cijevna struktura u obliku petlje u kojoj dimni plinovi s vanjske strane struje od vrha prema dolje, dok napojna voda struji suprotno od smjera strujanja dimnih plinova. Ekonomajzer je ovješen pomoću čeličnih ovjesa koji su pričvršćeni na cijevne vješalice..



Slika 15. Pregrijač na dnu komore izgaranja [15]

3.1. Emisije u zrak

BE-TO postrojenje pripada skupini postrojenja koje prema *Uredbi o postupku utvrđivanja objedinjenih uvjeta zaštite okoliša (NN 114/08)* i odredbama europske *Direktive o industrijskim emisijama 2010/75/EU* podliježe slijedećim graničnim vrijednostima emisija u zrak:

- dušikovi oksidi (NOx) ≤ 250 mg/Nm^3
- sumporovi oksidi izraženi kao SO_2 ≤ 200 mg/Nm^3
- čestice ≤ 20 mg/Nm^3.

Prašina i čestice

Izgaranjem drvne sječke nastaje šljaka i pepeo. Šljaka i grubi pepeo izdvajaju se iz kotla i vijčanim transporterom se odvodi do silosa. Fine čestice pepela odnose se iz kotla otpadnim (dimnim) plinovima izgaranja do vrećastih filtara, gdje se one izdvajaju iz struje dimnih plinova i odvode u silos. U očišćenim dimnim plinovima koncentracija čestica na ispustu u okoliš nije veća od granične vrijednosti koja iznosi 20 mg/Nm^3.

Emisije plinova

Dominantne emisije plinova u zrak prilikom izgaranja drvne sječke u kotlu su dušikovi oksidi (NOx) i sumpor dioksid (SO_2). Onečišćujuće tvari kao što su teški metali, halogeni spojevi, neizgorenii ugljikovodici, nemetanski hlapljivi organski spojevi (NMVOC), dioksini i furani emitiraju se u znatno manjim količinama. Emisije ugljikova monoksida (CO), ostalih ugljikovodika i neizgorenog ugljika relativno su niske zbog turbulencija unutar fluidiziranog sloja i separatora te dovoljnog vremena zadržavanja goriva u kotlu.

Sumporovi oksidi

Emisija sumporovih oksida javlja se kao rezultat prisutnosti sumpora u gorivu. Prilikom izgaranja većina sumporova oksida je proizvedena u obliku sumporova dioksida (SO_2), a do 3% sumpora može oksidirati u sumpor(VI) oksid (SO_3) uz prisutnost metala u gorivu, koji djeluje kao katalizator. S obzirom na mali udio sumpora u drvnoj sječki emisija sumporovih oksida iznosi 60 mg/Nm^3 i znatno je ispod granične vrijednosti od 200 mg/Nm^3.

Dušikovi oksidi

Tijekom izgaranja nastaju dušikovi oksidi u oblicima dušikovog (II) oksida (NO), dušikovog (IV) oksida (NO_2) i dušikovog (I) oksida (N_2O).

Formiranje NOx vođeno je kroz tri osnovna mehanizma:
- termički NOx kao rezultat reakcije između kisika i dušika iz zraka,
- gorivi NOx je formiran iz dušika sadržanog u gorivu i
- NOx formiran konverzijom molekularnog dušika u fronti plamena, uz prisustvo posrednih ugljikovodičnih spojeva.

Koncentracija NOx u otpadnim plinovima koji se ispuštaju u okoliš nije veća od granične vrijednosti koja iznosi 250 mg/Nm^3.

4. ZAKLJUČAK

Svjesni nemar prema prirodi i svemu onom što ona donosi dovodi do lošije kvalitete života i povećanje mogućnosti oboljenja od raznih bolesti. Kvaliteta zraka ne utječe samo na zdravlje i prirodu direktno, već dovodi do globalnih problema kao što su klimatske promjene, uništenje ozona i stvaranje ozonskih rupa koji dovode do jakog prodora sunčanih zraka i kiselih kiša koje uništavaju prašume i oblike prirodnog i životinjskog svijeta.

Stoga je potrebno industrijska postrojenja prilagoditi novim tehnologijama koje omogućuju stvaranje manjih koncentracija onečišćujućih tvari, ako i implementirati uređaje za pročišćavanje otpadnih plinova kako bi se smanjile emisije štetnih tvari u atmosferu. Odabir odgovarajućeg separatora plinova ili krutih čestica ovisi o samom tehnološkom procesu, vrsti onečišćujuće tvari, njenoj koncentraciji te ekonomskim čimbenicima.

5. LITERATURA

[1] S. M. Šerbula, Ž. Grbavčić, Zagađenje i zaštita vazuha, Tehnički fakultet u Boru, 2011.

[2] T. Sofilić, Z. Špirić, Opasne tvari u okolišu, Metalurški fakultet, Sisak, 2016.

[3] R. W. Boubel, Donald L. Fox, D. Bruce Turner and Arthur C. Stern: "Fundamnetals of air pollution" – 3th ed., Elsevier, USA, 1992.

[4] http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ (18.09.2017.)

[5] D.H.F. Liu, G.P. Liptak, Air Pollution, CRC Press LLC, USA, 2000.

[6] T.H. Grgurić, Onečišćenje i zaštita zraka, predavanja, Metalurški fakultet

[7] B. Čalaga, Uklanjanje SO_2 iz dimnih plinova brodskih motora pranjem morskom vodom, Diplomski rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016.

[8] I. Brnardić, Onečišćenje i zaštita zraka, predavanja, Metalurški fakultet

[9] D. Vallero, Fundamentals of Air Pollution, Academic Press, Oxford, 2014.

[10] B. Varma, Air Pollution Control Equipment, Springer-Verlag, Berlin, 1981.

[11] https://www.google.hr/search?biw=1920&bih=971&tbm=isch&sa=1&q=multicyclone (18.09.2017.)

[12] https://www.google.hr/search?biw=1920&bih=971&tbm=isch&sa=1&q=multicyclone&oq=multicyclone&gs_l=psy (18.09.2017.)

[13] L. Brands, Electrostatic Separation, Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2000.

[14] http://www.camfil.us/Products/High-Efficiency-Bag-Filters/ (18.09.2017.)

[15] Tehničko-tehnološko rješenje postrojenja BO-TO u Velikoj Gorici, Ekoenerg do.o., 2012.

ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI:

Ime i prezime: Franko Mlinarić
Datum i mjesto rođenja: 13. rujan 1993., Sisak
Adresa: Andrije Hebranga 30, Sisak Caprag
Telefon: 099/410 9845
E-mail: mlinaric.franko@gmail.com

OBRAZOVANJE:

2000.-2008. –Osnovna škola „Braće Bobetka“ Sisak
2008.-2012. –Tehnička škola Sisak, ekološki tehničar
2012.-2017. –Metalurški fakultet Sisak, preddiplomski sveučilišni studij Metalurgija, smjer Industrijska ekologija

OSOBNE VJEŠTINE:

Strani jezik: engleski jezik – aktivno poznavanje u govoru i pismu
Računalne vještine: osnove rada na računalu, poznavanje rada u MS Office-u