

**Emisija gasova prilikom
termičkog tretmana otpada**

**Sistemi za kontrolu emisije
gasova**



Produkti sagorevanja otpada

Štetne komponente iz produkata sagorevanja javljaju se kao posledica potpunog i nepotpunog sagorevanja.

Pri **potpunom sagorevanju** javljaju se: CO_2 , H_2O , SO_2 , NO_x .

Usled **nepotpunog sagorevanja** javljaju se CO , nesagoreli ugljovodonici i čađ.

Pri sagorevanju otpada, i opasnog i neopasnog, u produktima sagorevanja mogu naći i toksične materije i teški metali.



Koncentracija produkata sagorevanja otpada

Emisija	Koncentracija (mg/m ³)	Direktiva EU (mg/m ³)
Čvrste čestice	1000 – 5000	10
HCl	500 – 2000	10
HF	5 – 20	1
CO	5 – 50	50
SO _x	200 – 1000	50
NO _x	250 – 500	200
Cd	< 3	0,05
Hg	0,05 – 0,5	0,05
Ostali teški metali	< 50	0,5
Dioksini i furani (ngTEQ/m ³)	0,5 – 10	0,1



Azotni oksidi

Prepoznaju se dva osnovna izvora oksida azota prilikom sagorevanja:

- jedan je reakcija azota i kiseonika iz vazduha za sagorevanje, kada nastaju termički azotni oksidi,
- drugi je reakcija između kiseonika i organskog azota iz goriva, odnosno otpada, kada nastaju gorivi azotni oksidi.

Oksidi azota koji tako nastaju izazivaju stvaranje ozona i doprinose stvaranju aerosola nitrata (kapljica) koje izazivaju kisele kiše.



Sumpor dioksid

Stvara se sagorevanjem goriva, odnosno otpada koji sadrži sumpor.

Sumpor dioksid je iritant očiju, nosa i grla. U većim koncentracijama može izazivati bolesti ili smrt.

Oksidi sumpora su glavni izazivači kiselih kiša.



Ugljen monoksid

Nastaje prilikom nepotpunog sagorevanja.

Ugljen monoksid reaguje sa hemoglobinom iz krvi, stvarajući ugljenoksihemoglobin (HbCO), koji ljudski organizam meša sa oksihemoglobinom (HbO_2), koji prenosi kiseonik do tkiva. Manjak kiseonika izaziva glavobolju, mučninu, a u ekstremnim slučajevima i smrt.



Čvrste čestice

Nastaju tokom sagorevanja, kao posledica sastava goriva i nepotpunog sagorevanja. Emisija čvrstih čestica (letećeg pepela) sastoje se uglavnom od pepela, ali tu se mogu naći i mnogi toksični polutanti kao što su teški metali, dioksini i furani.

Sastav čvrstih čestica zavisi od više faktora:

- brzine dimnih gasova,
- temperature dimnih gasova,
- konstrukcije komore za sagorevanje,
- veličine i gustine čestica itd.

Veličina čestica kreće se od $< 1 \mu\text{m}$ do $75 \mu\text{m}$. Čvrste čestice utiču na vidljivost i na zdravlje ljudi. Čestice manje od $10 \mu\text{m}$ su opasne, jer se mogu udahnuti i dospeti duboko u pluća.

Teški metali

Čvrst otpad je vrlo heterogenog sastava. Metalni delovi se nalaze u sastavu nerazvrstanog otpada. Mnogi neškodljivi sastojci otpada, kao što su plastika, časopisi, ručne baterije sadrže metale.

Neki metali koji se nalaze u produktima sagorevanja su štetni po ljudsko zdravlje, kao što su: Cd, Cr, Hg i Pb. Nakon sagorevanja metali se u produktima sagorevanja mogu naći kao čvrste čestice ili kao isparenja.



Kiseli gasovi

Sagorevanje otpada koji sadrži fluor i hlor vodi do stvaranja kiselih gasova kao što su HF i HCl. Fluor se u tragovima nalazi u mnogim sastojcima otpada, a hlor se nalazi u plastici, prvenstveno u polivinilhloridu, polistirenima i polietilenima.

Sagorevanje otpada koji sadrži sumpor i azot takođe vodi do stvaranja kiselih gasova SO_3 i NO_2 .

Hlorovodonična i fluorna kiselina se nalaze u obliku aerosola u produktima sagorevanja, a oksidi sumpora i azota u obliku gasova koji sa vodenom parom iz vazduha stvaraju sumpornu i azotnu kiselinu.



Dioksini i furani

Danas se smatra da je dioksin najotrovnija supstanca koju je stvorio čovek.

Smrtonosna doza iznosi jedan milioniti deo grama po kilogramu telesne težine, a od strihina je otrovniji oko 500 puta.

Pod pojmom **dioksini obuhvaćeno** je:

- 135 različitih jedinjenja iz klase **PCDF**: polihlorovani dibenzofurani i
- 75 jedinjenja iz klase **PCDD**: polihlorovani dibenzo-p-dioksini.



Dioksini i furani

PCDD (dioksini) i PCDF (furani) su jedinjenja koja se ne pojavljuju u prirodi, već nastaju:

- kao neželjeni sporedni produkti u industrijskim procesima predrade i proizvodnje,
- tokom procesa sagorevanja gotovo svih organskih materija u prisustvu hlora ili njegovih organskih ili neorganskih,
- najveće emisije dioksina i furana nastaju pri sagorevanju ogrevnog drva u domaćinstvima,
- na katalitički aktivnim površinama ili spontano, pri temperaturama od 200 do 450° C.



Emisije dioksina i furana kao rezultat određenih procesa

Industrijski procesi	Emisija (gTEQ/god)
Insineracija komunalnog otpada	1437
Postrojenje za sinterovanje	1010
Sagorevanje ogrevnog drveta u domaćinstvima	945
Sagorevanje uglja u domaćinstvima	40
Zaštita drveta	381
Insineracija medicinskog otpada	816
Požari	380
Drumski transport	111
Proizvodnja metala	136



Toksičnost dioksina i furana

Prema današnjim saznanjima, najtoksičniji su dioksini i furani klase 2,3,7,8.

To su sva jedinjenja koja sadrže najmanje jedan hlorni atom na pozicijama 2,3,7 i 8.

Radi se o tačno 17 jedunjenja od svih 210 poznatih dibenzo-p-dioksina i dibenzofurana.



Razlozi za pojavu dioksina i furana

Emisija dioksina i furana je najkompleksniji problem prilikom termičkog tretmana otpada. Identifikovano je nekoliko mogućih razloga za pojavu dioksina i furana u produktima sagorevanja čvrstog otpada:

- a) dioksini i furani su prisutni u samom otpadu i nisu potpuno uklonjeni tokom sagorevanja,
- b) nastali su iz jedinjenja hlora koji se nalaze u samom otpadu,
- c) nastali su razaranjem ili stvaranjem nekih organskih supstanci u prisustvu hlora.



Uslovi za pojavu dioksina i furana

Dioksini i furani stvaraju se na temperaturama od 250 °C do 500 °C, a uništavaju se na temperaturama višim od 900 °C.

Uslovi sagorevanja pri kojima nastaju dioksini i furani su:

- niska temperatura sagorevanja,
- vlažan otpad,
- nedostatak ili prevelika količina kiseonika i
- nedovoljno vreme zadržavanja otpada u ložištu.



Mehanizam nastajanja

Mehanizam stvaranja dioksina i furana prilikom termičkih tretmana otpada još uvek nije potpuno razjašnjen. Po ranijim teorijama razlozi nastajanja dioksina i furana prilikom sagorevanja čvrstog otpada traženi su u sadržaju PVC-a u otpadu, koji sadrži 50 % hlora. Ali kasnije studije su pokazale da ukoliko su temperatura, kiseonik, turbulencija i vreme zadržavanja otpada u ložištu optimalni za uništavanje dioksina i furana, količina ovih jedinjenja u dimnim gasovima ne zavisi od količine PVC-a koji se nalazi u otpadu.



Delovanje dioksina

- Kancerogeno delovanje – delovanje u smislu tumorskog promotora. Tumorski promotori nisu toksični za genom, ali su u stanju da snažno utiču na pojačani rast spontano nastalih tumora
- Kod industrijskih radnika izloženih delovanju dioksina često se registruju tumori mekih tkiva, limfoni, kao i karcinom želuca.
- Delovanje na reproduksijske funkcije kao i na imunološki sistem.



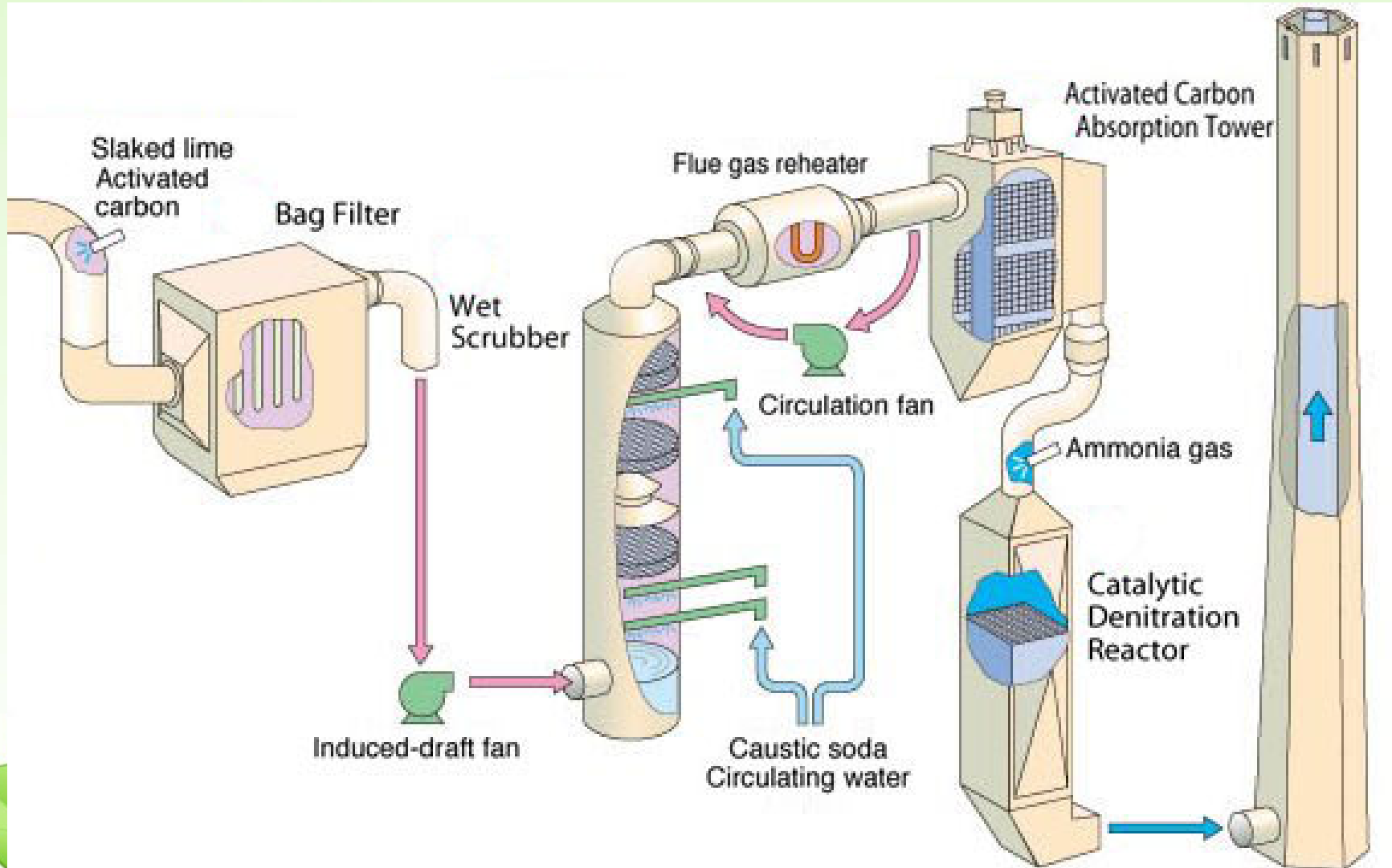
Sistemi za kontrolu emisije gasova

Osnovni elementi sistema za kontrolu emisije gasova:

- 1) Elektrostatički filter
- 2) Skruberi
- 3) Aktivni ugalj
- 4) Vrećasti filter
- 5) Uređaj za uklanjanje NO_x



Sistemi za kontrolu emisije gasova



Sistemi za kontrolu emisije gasova

Ovakvim sistemom za prečišćavanje, prvo se uklanjaju čestice elektrostatičkim filterom i pre-kolektorom, a zatim se kiseli gasovi uklanjaju skruberom koji koristi krečnjak kao apsorpciono sredstvo, koji može biti suvi i mokri.

Nakon skrubera, gasoviti produkti sagorevanja se propuštaju kroz aktivni ugalj,

Zatim sledi vrećasti filter radi uklanjanja sitnih čestica žive i dioksina i furana. i aktivni ugalj sa adsorbovanim polutantima.

Na kraju se oksidi azota uklanjaju u postrojenju za katalitičku redukciju pri čemu se dobija inertni azot.

Ovako prečišćenji produkti sagorevanja ispuštaju se u atmosferu.



Elektrostatički filter

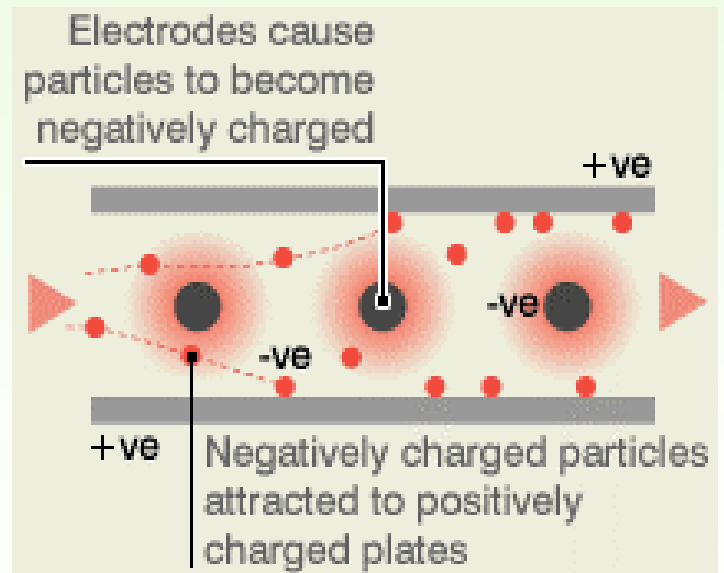
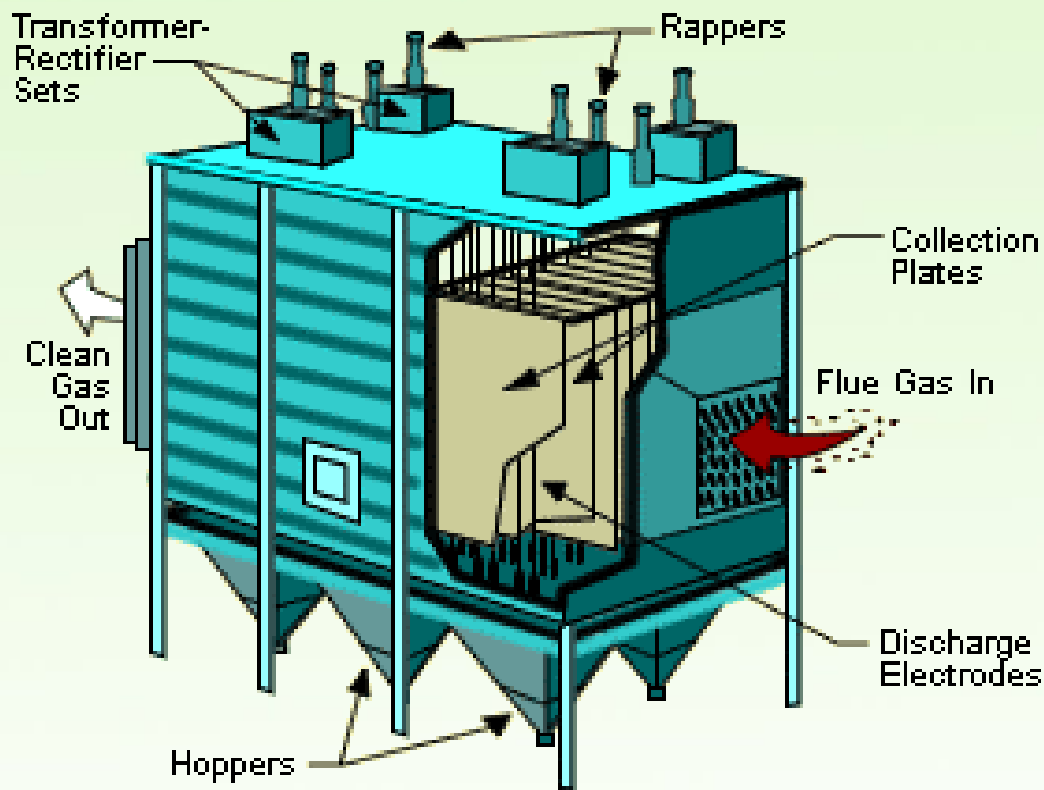
Elektrostatički filter je prvi element u sistemu za prečišćavanje produkata sagorevanja. Ovaj uređaj može da uklanja sitne čvrste čestice veličine $10 \mu\text{m}$ i manje.

Elektrostatički filter radi na principu elektrostatičkog privlačenja: pozitivne elektrode elektrostatičkog filtera su pod visokim naponom od 20.000 do 100.000 V, a čvrste čestice su negativno naelektrisane. Prolazeći pored elektroda, čvrste čestice bivaju privučene na elektrode, odakle se nakon toga uklanjaju vibriranjem elektroda.

Efikasnost elektrostatičkog filtera kreće se od 93% za vrlo sitne čestice ($2 \mu\text{m}$) do 99,8% za krupnije čestice ($10 \mu\text{m}$). Veličina tipičnog elektrostatičkog filtera iznosi oko 7m^3 .



Elektrostatički filter



Skruberi

Kiseli gasovi koji sa vodom stvaraju kiseline (sumpurnu i azotnu) izazivaju smanjenje vidljivosti, koroziju metala i stvaraju kisele kiše i maglu. Postoji nekoliko metoda za kontrolu emisije kiselih gasova:

- 1) izdvajanje otpada koji sadrži hlor i sumpor pre termičkog tretmana,
- 2) mokri skruberi,
- 3) suvi skruberi.

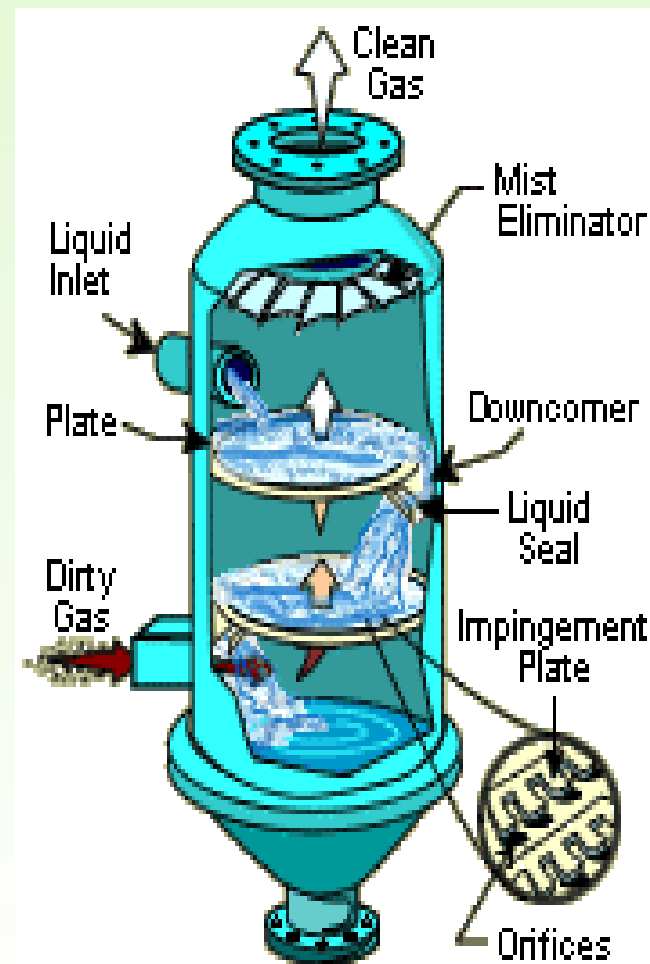


Mokri skruberi

Rade na sledećem principu: gasovi prolaze duž ose skrubera, kroz tanak film tečnosti ili raspršenu tešnost, koja obezbeđuje veliku površinu za reagovanje sa gasom. Najčešće se kao tečnost koristi alkalni rastvor, kao što je krečno mleko ili natrijum hidroksid.

Mokri skruber može takođe ukloniti i druge polutante kao što su čvrste čestice ili teške metale.

Efikasnost mokrih skrubera se kreće od 89 – 98% za HCl, 84 – 94% za HF i 55 – 79% za SO₂.

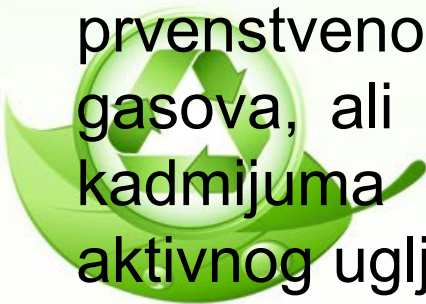


Suvi skruberi

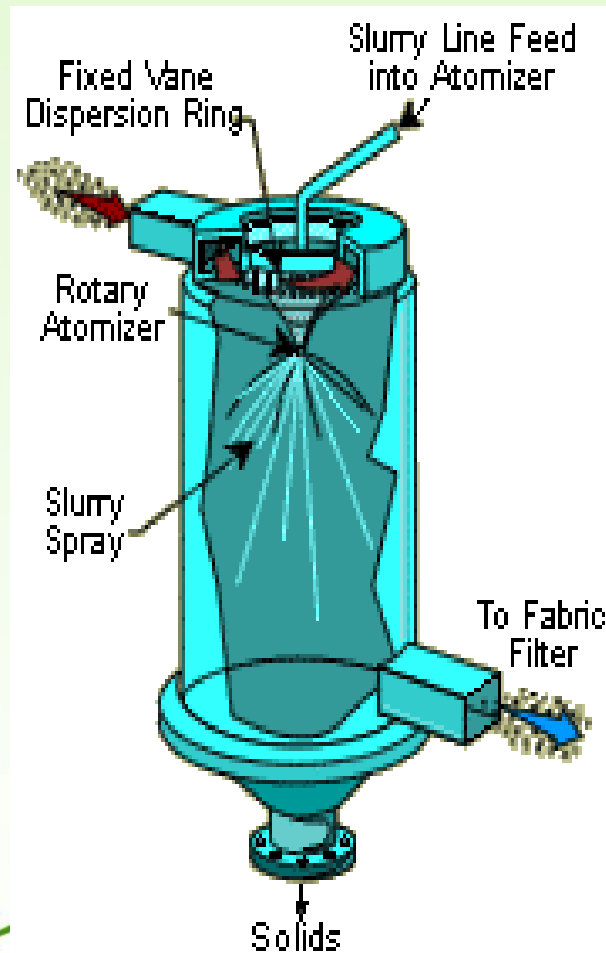
Glavni nedostatak mokrih skruberi je obiman tretman nastalih zagađenih otpadnih voda, što povećava troškove sistema. Zbog toga su razvijeni suvi i polusuvi skruberi.

Suvi skruberi rade na principu raspršivanja suvog praška npr. kalcijum hidroksida u tok gasa. Gas koji ulazi u skruber hladi se na 160 °C. Reakcija sa kiselim gasovima odvija se u suvoj fazi, pri čemu se stvara kalcijum hlorid i kalcijum sulfat, koji padaju na dno skruberi odakle se sakupljaju i šalju na dalju reciklažu.

Skruberi se koriste u kombinaciji sa filterima koji sakupljaju čestice stvorenih jedinjenja. Suvi skruberi prvenstveno služe za prečišćavanje gasova od kiselih gasova, ali mogu prečišćavati gasove i od teških metala, kadmijuma i žive, kao i od dioksina i to dodavanjem aktivnog uglja u kalcijum hidroksid.



Suvi skruberi



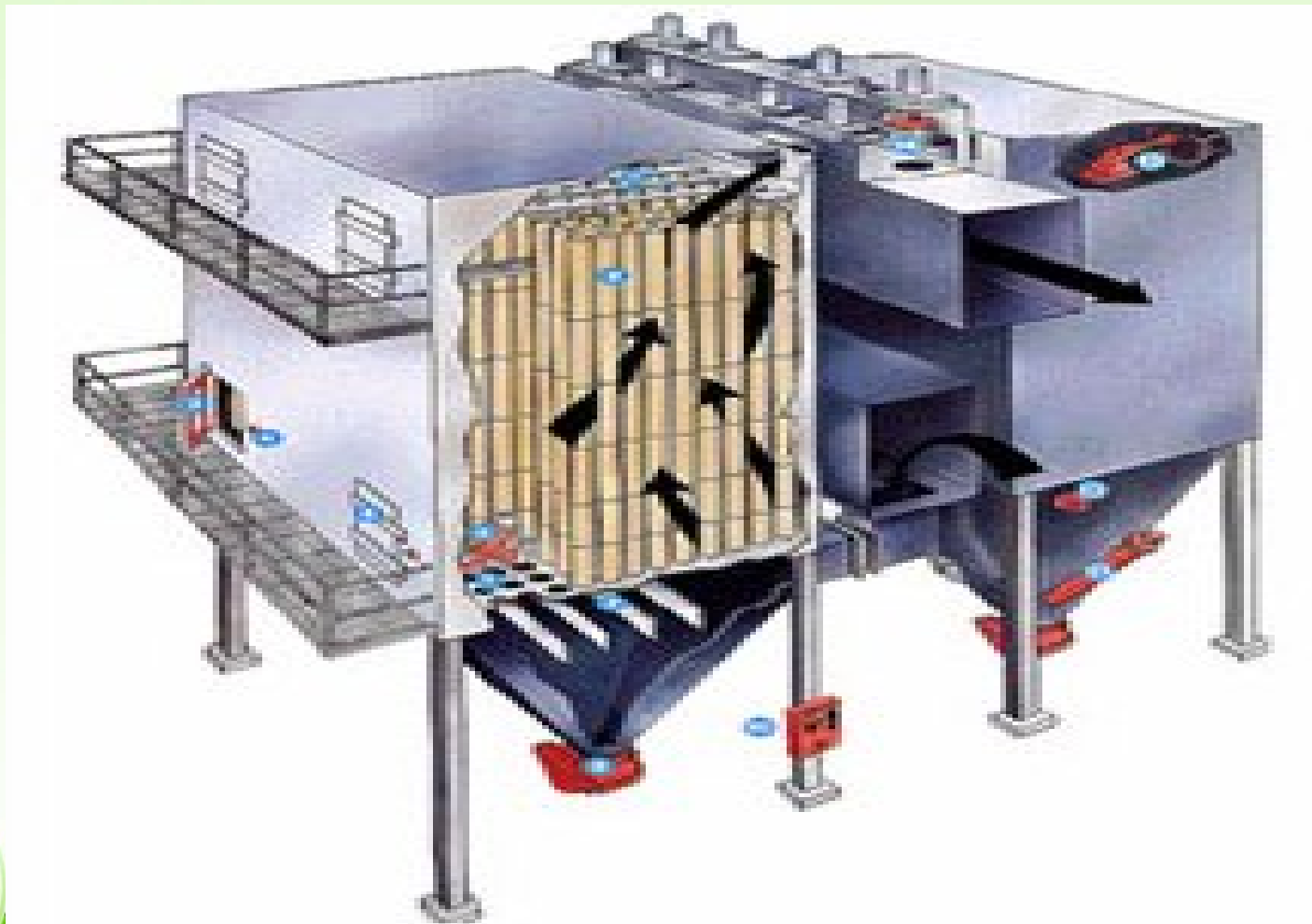
Vrećasti filteri

Vrećasti filteri sastoje se od serije izduženih, propustljivih platnenih vreća preko kojih protiče gas. Platno može biti sa tkanjem različite gustine. Broj vreća u filteru može se kretati i do 100.

Vrećasti filteri se koriste za finalno prečišćavanje gasova, za uklanjanje teških metala, kao i mikropolutanata – dioksina i furana. Njima se mogu uklanjati čvrste čestice veličine $< 1\mu\text{m}$. Takođe, platno može biti presvučeno aditivima radi adsorpcije ili absorpcije, a može biti i impregnirano katalizatorom radi prečišćavanja od organskih komponenata.



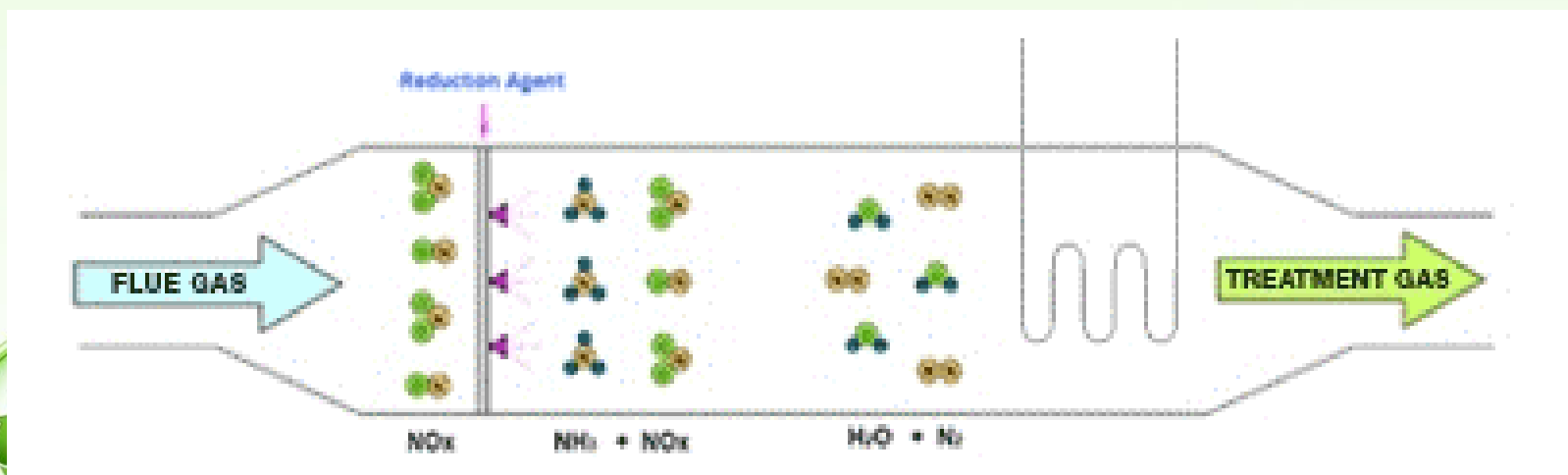
Vrećasti filteri



Uređaj za uklanjanje NO_x

Nekatalitičko uklanjanje NO_x – može se postići ubacivanjem amonijaka na temperaturama od 850 do 950 °C. Amonijak smanjuje NO_x , stvarajući N_2 i H_2O .

Na ostalim temperaturama sam amonijak nije efikasan, već se NO_x uklanja katalitičkim reakcijama uz prisustvo amonijaka.



Uređaj za uklanjanje NO_x

Katalitičko uklanjanje No_x – Kao katalizator se koristi paladijum, vanadijum oksid ili titanijum oksid. U prisustvu katalizatora, amonijak reaguje sa NO_x na nižim temperaturama, od 250 do 400 °C i stvara se N₂ i H₂O. Pošto se katalizator deaktivira teškim metalima, uređaj za uklanjanje NO_x se postavlja nakon vrećastih filtera.

