

ZAŠTITA OKOLIŠA U ENERGETSKIM POSTROJENJIMA

Utjecaj energetskih postrojenja na okoliš proizlazi uslijed:

- emisije štetnih sastojaka putem dimnih plinova
- ispuštanja štetnih sastojaka putem otpadnih voda
- stvaranja otpada (kruti i tekući)

A) EMISIJA ŠTETNIH SASTOJAKA U DIMNIM PLINOVIMA

1. Ugljični oksidi
2. Sumporni oksidi
3. Dušični oksidi
4. Čestice

1. UGLJIČNI OKSID

- Ugljik (II)-oksid (CO)
 - Posljedica procesa nepotpuna izgaranja goriva.
 - Ovisi o : vrsti goriva, pripremi goriva za izgaranje, načinu izgaranja (vrsti ložišta), podešenosti uređaja za izgaranje.
 - Ovisno o vrsti goriva, načinu izgaranja i kapacitetu ložišta, dozvoljena emisija CO (mg/m^3) u izlaznim dimnim plinovima ograničena je zakonskom regulativom.

- **Ugljik (IV)-oksid (CO₂)**
 - Neizbježni produkt izgaranja fosilnih goriva.
 - Ne spada u klasične uzročnike onečišćenja okoliša.
 - Uzročnik efekta staklenika (globalna zatopljenja).
 - Protokolom svjetske konferencije u Kyotu uvedeno je ograničenje emisije CO₂ iz umjetnih izvora na razini pojedinih država.

2. **SUMPORNI OKSIDI**

- Više od 90 % S iz goriva emitira se u obliku SO₂. Dio SO₂ se u atmosferi, pod utjecajem raznih kemijskih i fotokemijskih reakcija, transformira u sulfate (SO₄).
- Preostali udjel S iz goriva emitira se u obliku SO₃ koji se u kontaktu s H₂O transformira u sulfate (SO₄).

Dozvoljena koncentracija štetnih sastojaka u atmosferi propisana ja zakonskom regulativom temeljem saznanja o njihovoj štetnosti.

Za SO₂ važi:

- Stroga granična vrijednost - dugotrajna (SGVZd)
60 µg/m³
- Stroga granična vrijednost - kratkotrajna (SGVZk)
150 µg/m³
- Tolerantna gornja vrijednost - dugotrajna (GVZd)
110 µg/m³
- Tolerantna gornja vrijednost - kratkotrajna (GVZk)
300 µg/m³

Ovisno o vrsti goriva, načinu izgaranja i kapacitetu ložišta, dozvoljena emisija SO₂ (mg/m³) u izlaznim dimnim plinovima ograničena je zakonskom regulativom.

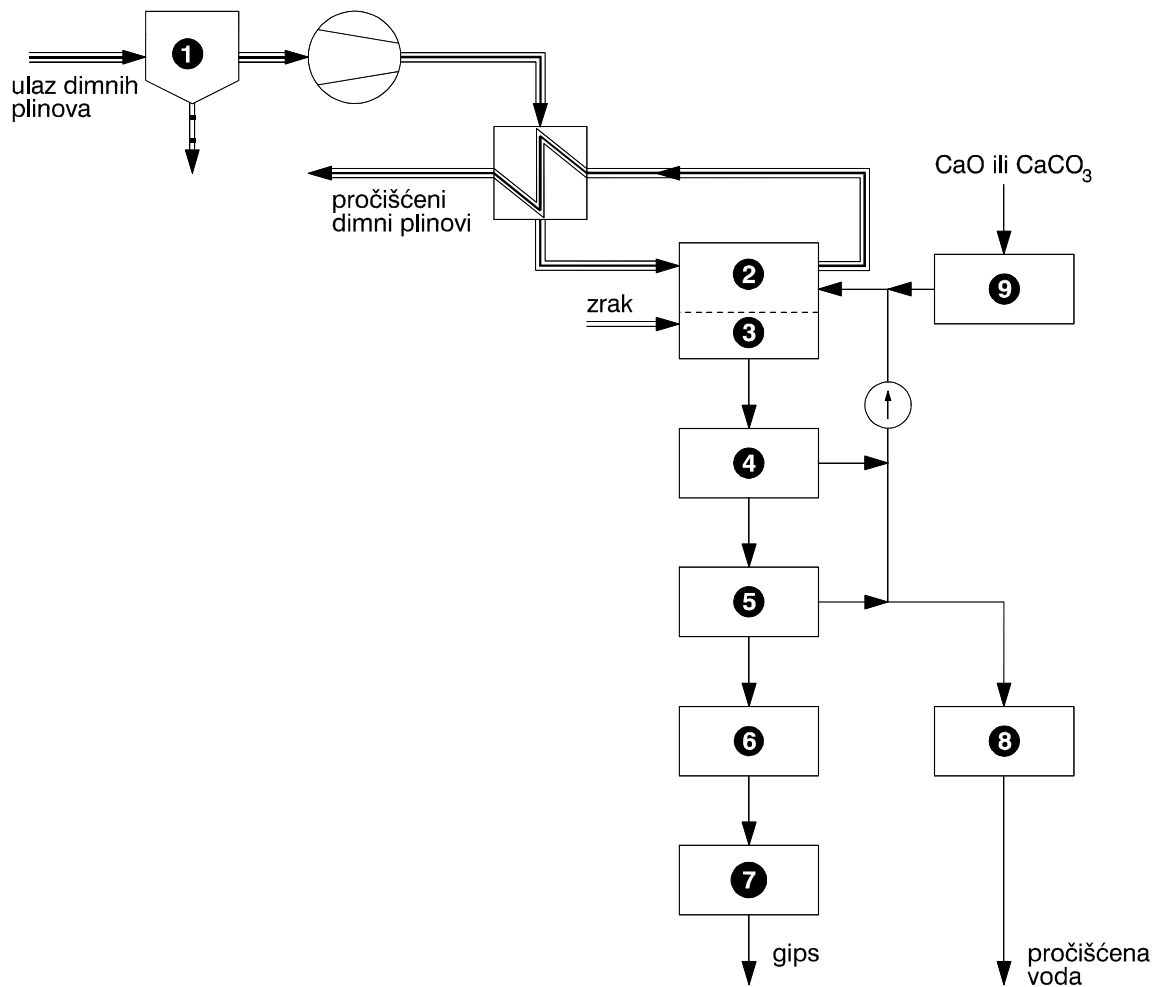
ODSUMPORIVANJE DIMNIH PLINOVA

- 1. Mokri proces**
- 2. Suhi proces**
- 3. Proces s alkalnim skrubiranjem**

❖ Mokri proces odsumporivanja

- **Temelji se apsorpciji SO₂ s vodenom suspenzijom vapna**
- **Sustav se sastoji od kolona (tornjeva) za protustrujno ovlaživanje dimnih plinova te od uređaja za regeneraciju i recirkulaciju vodene suspenzije apsorbirajućih kemikalija.**
- **Prednosti:**
 - **dobra učinkovitost odvajanja SO₂,**
 - **dodatno odvajanje lebdećih čestica.**
- **Nedostaci:**
 - **taloženje kamenca i sklonost začepljivanju,**
 - **značajan pad tlaka dimnih plinova (utrošak energije),**
 - **značajni investicijski i pogonski troškovi.**

Tehnološka shema mokra procesa odsumporivanja dimnih plinova



Legenda:

1-otprašivanje, 2-pranje plinova u apsorberu, 3-oksidacija Ca-sulfita, 4-zgušnjavanje, 5-filtriranje, 6-sušenje, 7-oplemenjivanje gipsa, 8-pročišćavanje vode, 9-spremanje vapnenačke suspenzije ili vapnena mlijeka

❖ Suhi proces odsumporivanja

- U principu je sličan mokrome procesu.
- Vodena suspenzija CaO ili MgO raspršuje se (atomizira) pomoću centrifugalnih raspršivača.
- Prednosti:
 - jednostavniji,
 - manji pogonski i investicijski troškovi.
- Nedostaci:
 - manja učinkovitost odvajanja SO₂ (cca 70%)

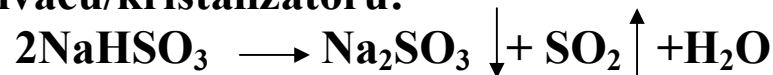
❖ Proces s alkalnim skrubiranjem

- Kao sredstvo za apsorpiranje SO₂ koristi se vodena otopina natrijeve lužine (NaOH), natrij-sulfita (NaSO₃) i amonijaka (NH₃).
- Najčešće se koristi tzv. rekuperativni proces "Wallman-Lord".
- Kemijske reakcije:

-u apsorberu:



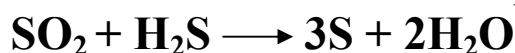
-u isparivaču/kristalizatoru:



-u kondenzatoru:

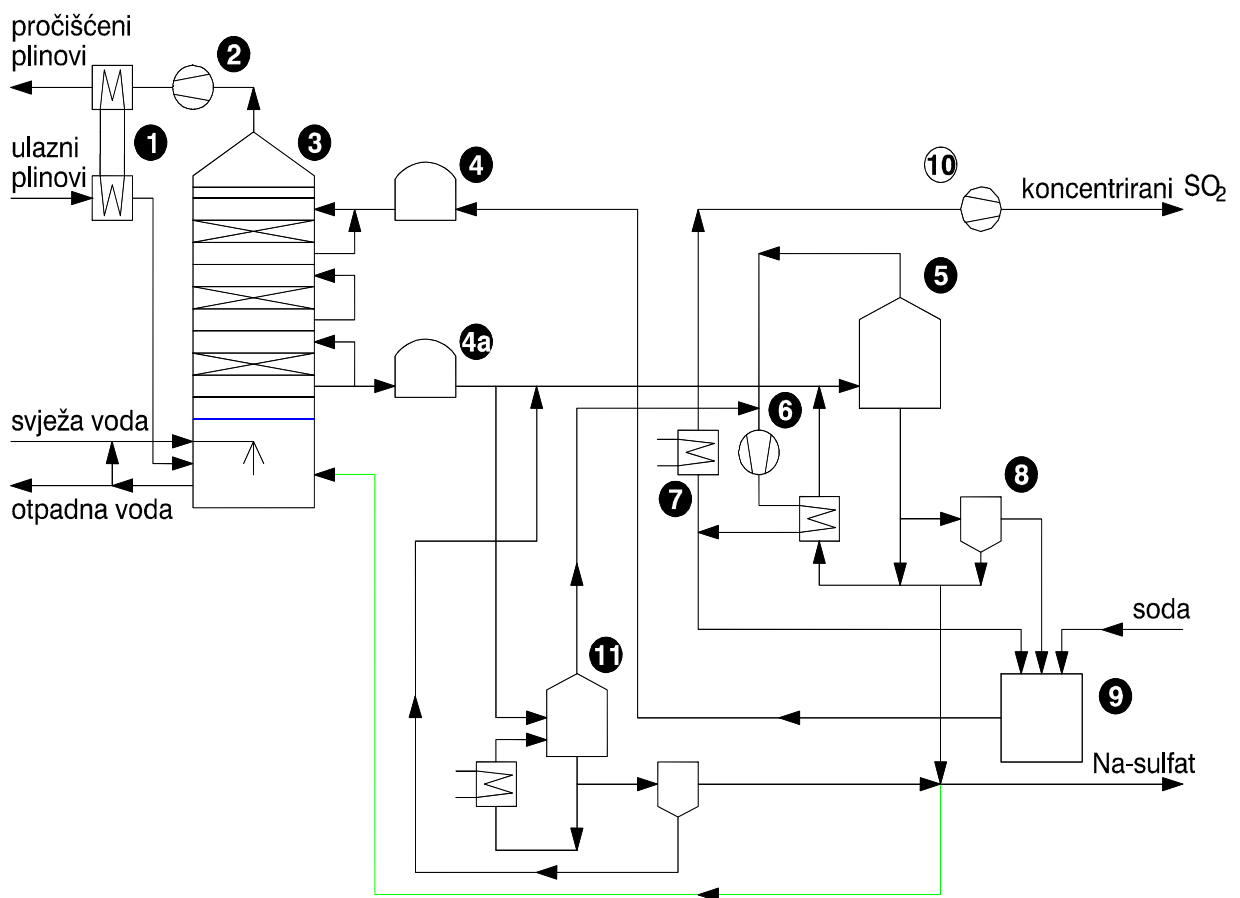
odvajanje H₂O od SO₂

-prema Claus-ovom procesu se uz dodavanje suporovodika (H₂S) iz SO₂ proizvodi elementarni sumpor (S):



- **Prednosti:**
 - nema problema od stvaranja taloga i čepjenja strujnih prolaza.

Tehološka shema Wellman-Lord-ova postupka odsumporivanja



Legenda:

1- izmjenjivač topline, 2-ventilator, 3-apsorber, 4-spremnik lužine, 4a-spremnik otopine Na-sulfita, 5-isparivač/kristalijator, 6-kompresor, 7-kondenzator, 8-centrifuga, 9-agitator, 10-kompresor za SO₂, 11-isparivač Na-sulfita

3. DUŠIČNI OKSIDI

Dušični oksidi (NO_x) u dimnim plinovima pojavjuju se kao:

- dušik (II)-oksid (NO)
- dušik (IV)-oksid (NO_2)

NO nastaje izgaranjem fosilnih goriva, a količina zavisi o:

- pretičku zraka za izgaranje,
- sadržaju N u gorivu,
- temperaturi plamena tijekom izgaranja.

NO u atmosferi vrlo brzo oksidira u NO_2 pod djelovanjem fotokemijskih efekata i sunčevih zraka uz prisutnost raznih organskih spojeva u zraku.

NO_2 je štetan za zdravlje (dišne organe).

Jedan je od uzročnika nastajanja kiselih kiša.

Granične koncentracije NO_2 u okolnome zraku:

- dozvoljena gornja vrijednost - dugotrajna (GVZd)
- $80\mu\text{g}/\text{m}^3$
- dozvoljena gornja vrijednost - kratkotrajna (GVZk)
- $300\mu/\text{m}^3$

Dozvoljena emisija NO_x iz energetskih objekata (ložišta) ovisi o vrsti goriva i kapacitetu ložišta, a propisana je zakonskom regulativom o dozvoljenim emisijama u okolinu.

NAČINI SMANJENJA EMISIJE NO_x

- 1. promjena vrste goriva**
- 2. promjena procesa izgaranja**
- 3. obrada dimnih plinova.**

❖ Promjena vrste goriva

Utjecaj vrste goriva na emisiju NO_x proizlazi iz:

- sadržaja N,
- temperature izgaranja,
- načina izgaranja,
- toplinskoga opterećenja ložišta.

Općenito je u praksi promjena vrste goriva vrlo ograničena i načešće se ne može provoditi za smanjenje emisije NO_x.

❖ Promjena procesa izgaranja

- Smanjenje pretička zraka za izgaranje
- Promjena načina dovodenja zraka za izgaranje
- Ostali utjecajni faktori

✚ Smanjenje pretička zraka za izgaranje

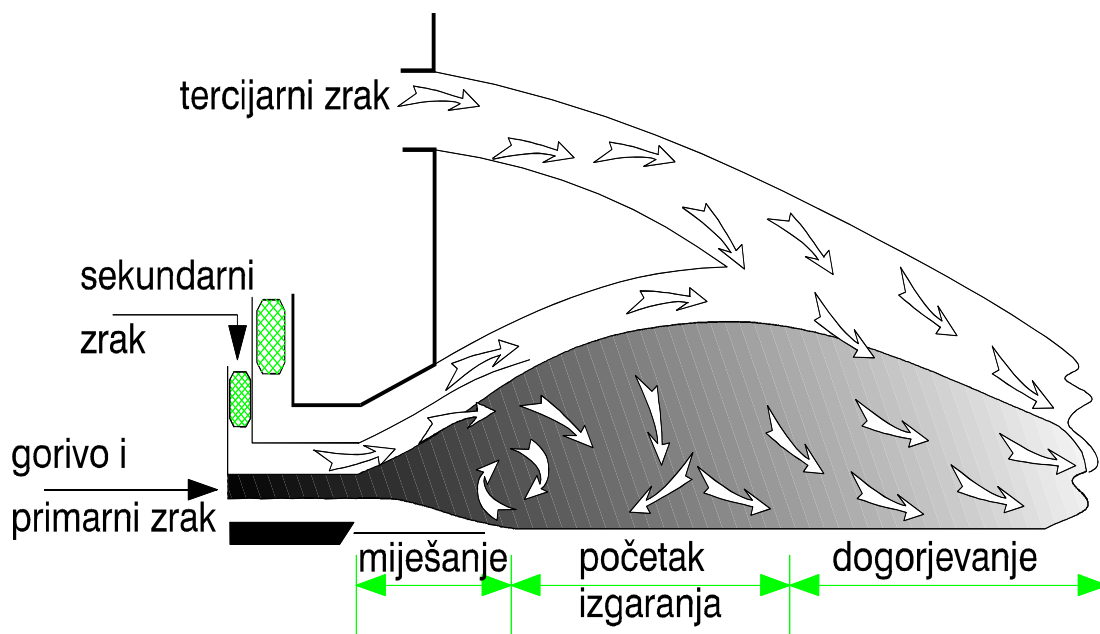
Smanjenje pretička zraka za izgaranje općenito djeluje na smanjene emisije NO_x iz ložišta.

✚ Promjena načina dovođenja zraka za izgaranje

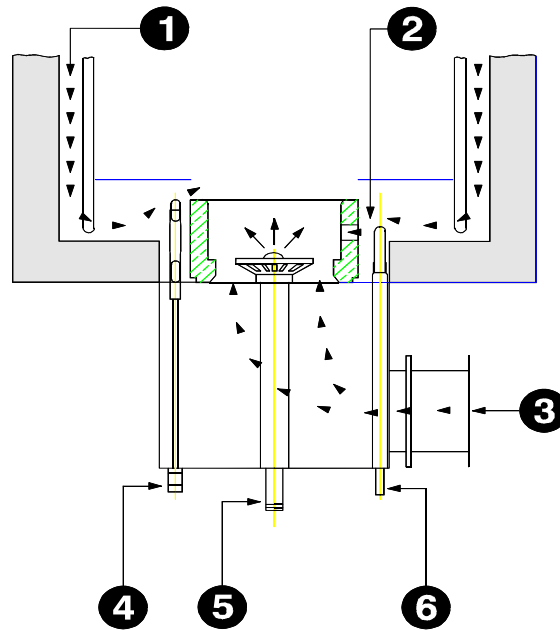
Ovaj se pristup temelji na stupnjevanom izgaranju u cilju smanjenja vršnih temperatura plamena i to:

- stupnjevanim dovođenjem zraka,
- stupnjevanim dovođenjem goriva,
- recirkulacijom dimnih plinova.

Princip rada plamenika sa stupnjevanim dovođenjem zraka



Plamenik sa stupnjevanim dovođenjem goriva i recirkulacijom dimnih plinova



Legenda:

1- ulaz dimnoga plina, 2-recirkulacija, 3-ulaz zraka, 4-ulaz sekundarnog goriva, 5-ulaz primarnog goriva, 6-ulaz pare

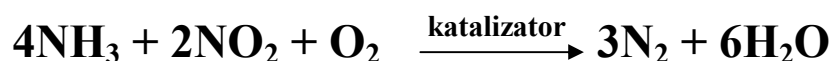
🚦 Ostali utjecajni faktori

Utjecaji	NO _x	CO, čestice
Smanjenje pretička zraka	smanjuje	povećava
Povišenje temperature u ložištu	povećava	smanjuje
Sniženje opterećenja ložišta	smanjuje	povećava
Kombinirano izgaranje	smanjuje	povećava
Stupnjevano dovođenje zraka	smanjuje	povećava
Stupnjevano dovođenje goriva	smanjuje	povećava
Recirkulacija dimnih plinova	smanjuje	povećava
Ubrizgavanje pare	smanjuje	smanjuje
Dodavanje katalizatora izgaranja	povećava	smanjuje

❖ Obrada dimnih plinova

Obrada dimnih plinova radi smanjenja emisije NO_x najčešće se kombinira s odsumporivanjem radi odstranjivanja SO_2 .

Najčešće se koristi selektivna katalitička redukcija NO_x s dodavanjem amonijaka (NH_3), pri čemu se zbivaju sljedeće osnovne reakcije:



4. NEIZGORENE ČESTICE

✚ Na količinu, veličinu i sastav neizgorenih čestica utječu:

- vrsta goriva,
- konstrukcija ložišta,
- pogonski uvjeti,
- učinkovitost uređaja za odstranjivanje (filtera).

✚ Sastojci neizgorenih čestica ugljena:

- ugljik (koks, čađa),
- pepeo (spojevi silicija, aluminijska, željeza),
- mogući tragovi klorida i žive.

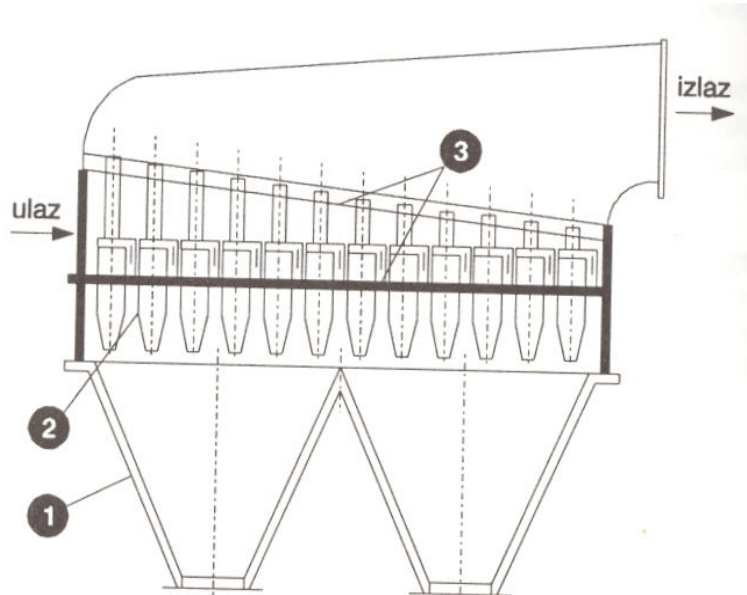
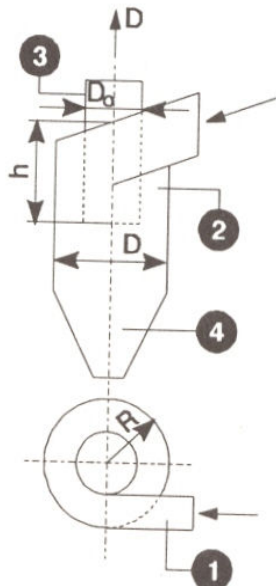
✚ Sastojci neizgorenih čestica loživih ulja:

- ugljik (koks, čađa),
- pepo (spojevi silicija, aluminijska, natrijska),
- metali (vanadij, željezo, bakar, nikalij)

✚ Uređaji za odvajanje neizgorenih (lebdećih) čestica:

1. mehanički odvajači,
2. skruberi,
3. vlaknasti (vraćasti) filtri,
4. elektrostatski filtri.

❖ Mehanički odvajači - cikloni

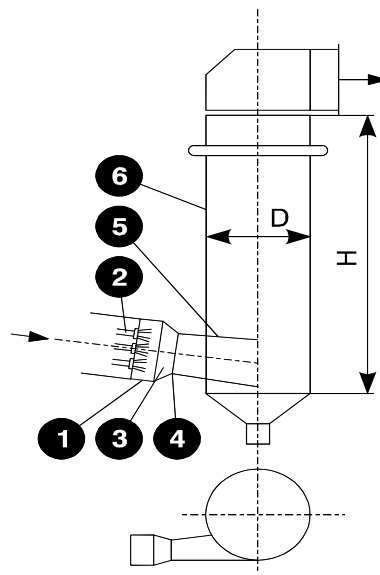


Legenda:

1-ulaz, 2-kućište ciklona,
3-izlaz, 4-konusni sabirnik

1-konusni sabirni, 2-ciklonski element,
3-pregradna ploča

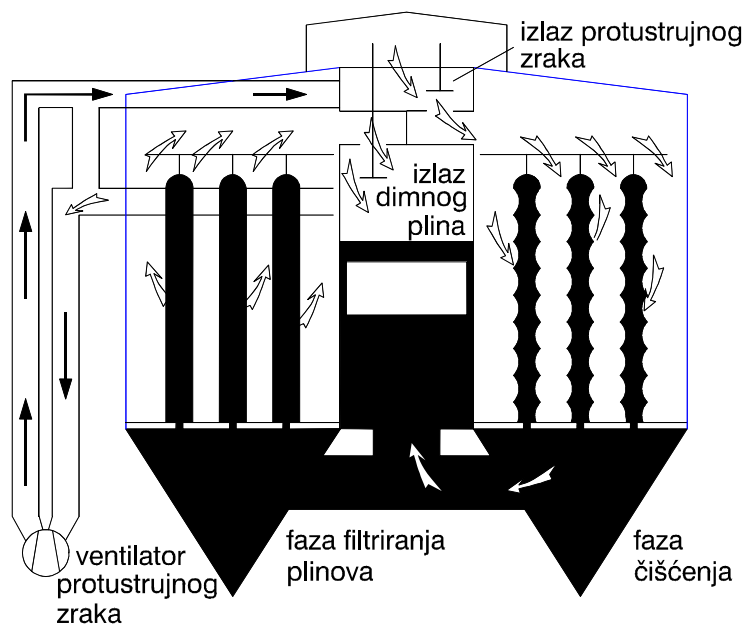
❖ Skruberi



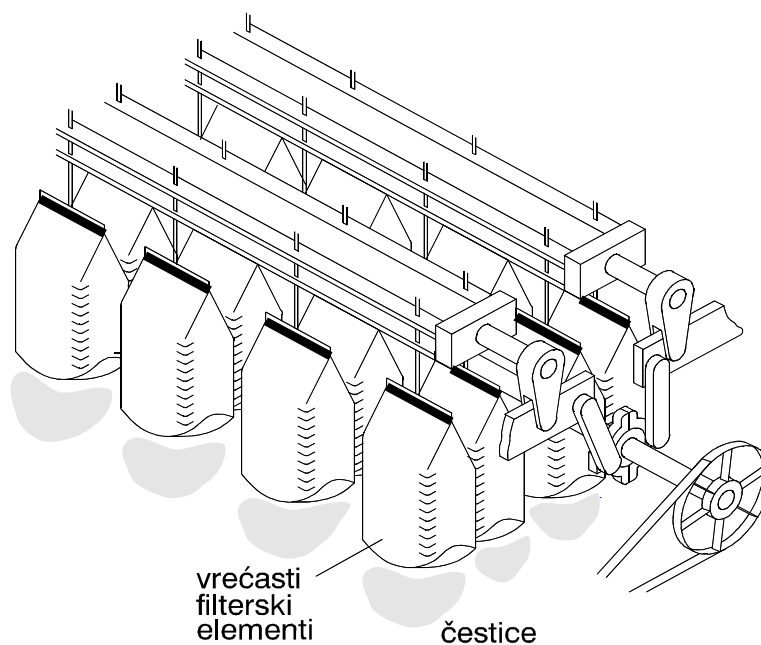
Legenda:

1- ulaz plina, 2- mlaznice za vodu, 3,4,5-dijelovi difuzora,6-kućište

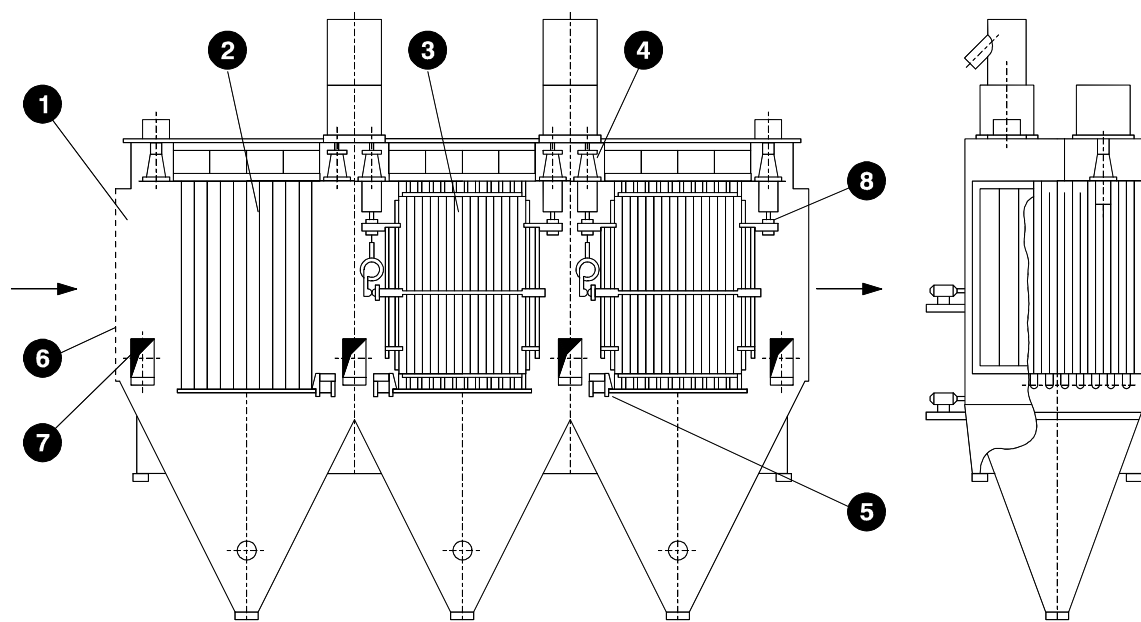
❖ Vlaknasti (vrećasti) filter



❖ Vrećasti filter s uređajem za otresanje



❖ Elektrostatski filter



Legenda:

1- kućište, 2-sabirne elektrode, 3-elektrode za pražnjenje, 4,5-uređaj za otresanje, 6-ulazna mreža, 7-sabirnik pepela, 8-izolator.

🌈 Princip djelovanja:

- visokonaponsko istosmjerno električno polje,
- (+) sabirne elektrode, (-) elektrode za pražnjenje,
- ionizacija čestica pod djelovanjem visokonaponskoga istosmjernog električnog polja (negativni naboj),
 - učinkovitost do 99% (99,5%).

🌈 Učinkovitost odvajanja

proporcionalna je s površinom sakupljanja i brzinom odvajanja

Brzina odvajanja:

$$v = \frac{2,95 \cdot 10^{-12} p \left(\frac{E}{s} \right)^2 d}{\mu} \quad (\text{m/s})$$

p - dielektrična konstanta (1,5 - 2,4)

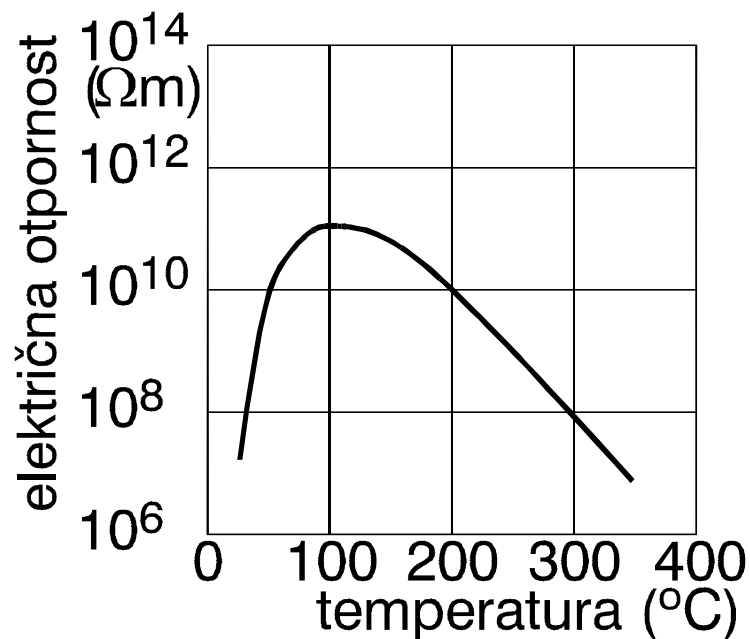
E (V) - napon električnoga polja

s (m) - razmak između elektroda

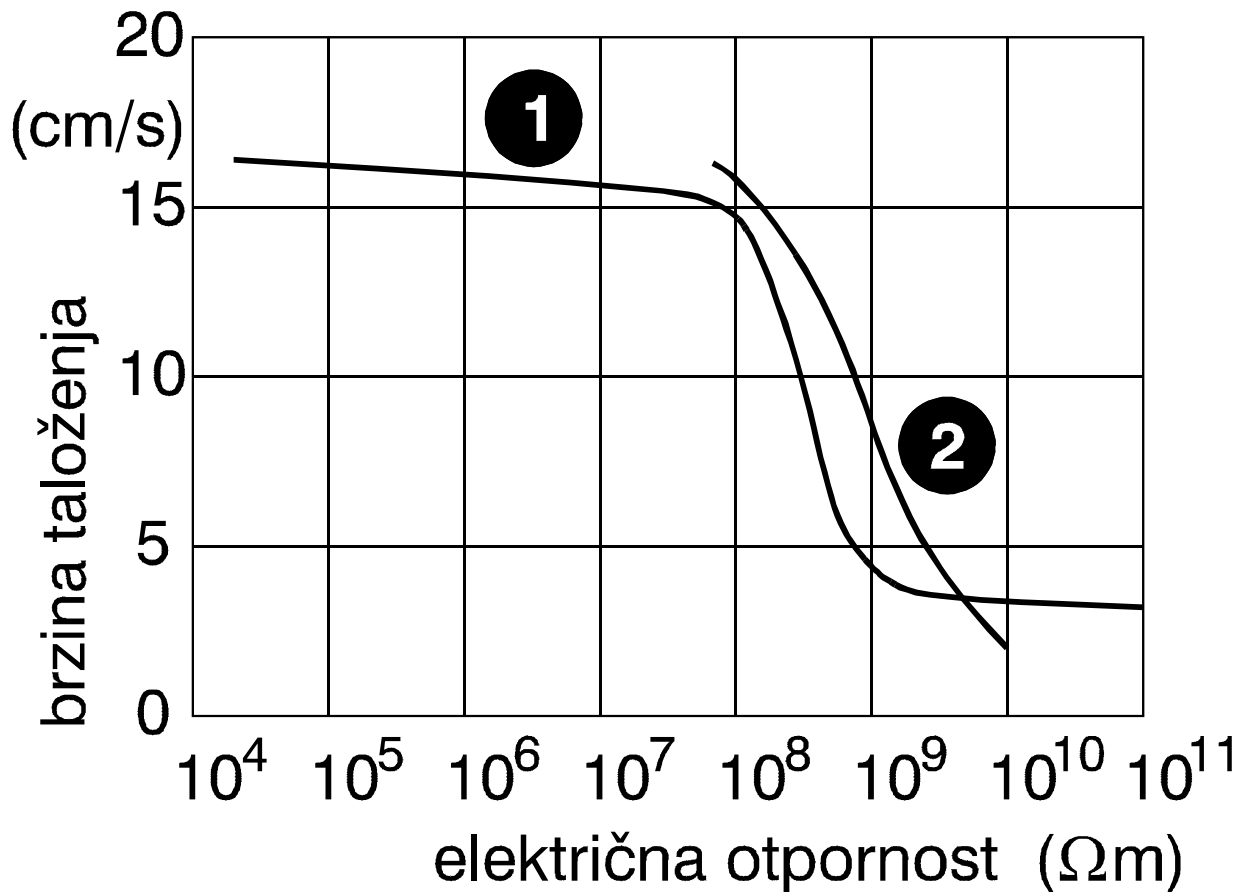
μ (kg/ms) - dinamička viskoznost plina

d (m) – srednji promjer čestica

Ovisnost električne otpornosti plina o temperaturi



Ovisnost brzine taloženja čestica o električnoj otpornosti



Brzina odvajanja čestica, odnosno učinkovitost elektrostatskih filtra pada s porastom njihove električne otpornosti iznad vrijednosti $10^8 \Omega\text{m}$, a električna otpornost pepela ugljena naglo raste sa smanjenjem sadržaja volatila i sumpora u ugljenu.

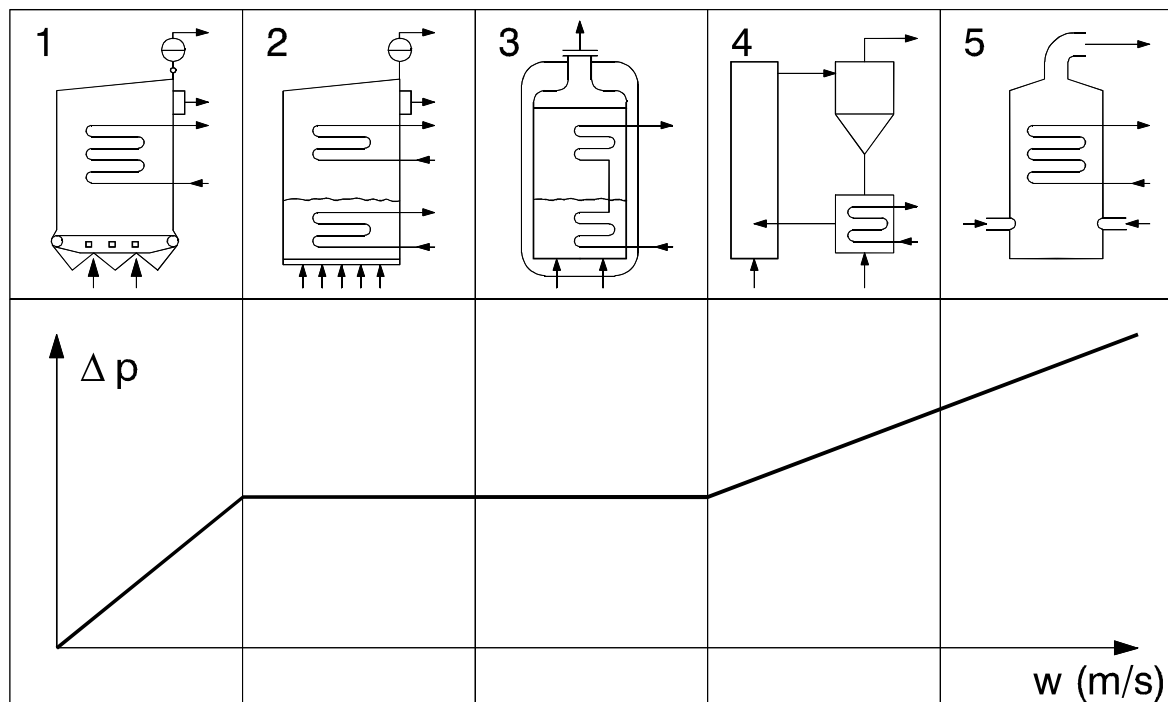
Iz toga proizlaze načini povećanja učinkovitosti elektrostatskih filtra:

- ugradnjom u području temperatura dimnih plinova između 350 do 400°C (ispred zagrijača zraka ili vode);*
- ovlaživanje plinova prije ulaza u filter.*

IZGARANJE U FLUIDIZIRANOM SLOJU

Izgaranje u fluidiziranome sloju karakterizirano je hidrodinamskim uvjetima pri kojim masa rastresita materijala u ložištu (gorivo, pepeo, sorbentne kemikalije) poprimaju osnovna svojstva fluidnoga ponašanja.

Vrste izgaranja u ložištima ovisno o brzini prostrujavanja



Legenda:

1 - izgaranje u stabilnome sloju

2 - izgaranje u mjehurastom fluidiziranome sloju

3 - izgaranje u tlačnom fluidiziranome sloju

4 - izgaranje u cirkulirajućem fluidiziranome sloju

5 - izgaranje u letu

Δp – pad tlaka kroz sloj goriva

w – brzina zraka kroz poprečni presjek sloja goriva

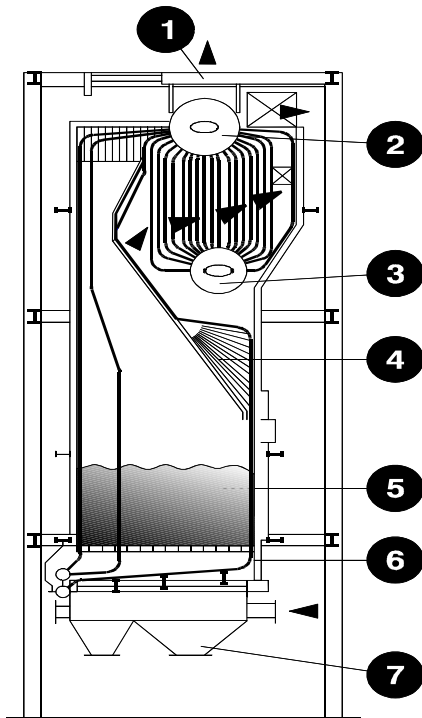
Ovisno o glavnim hidrodinamskim uvjetima (brzina strujanja, tlak) koji vladaju pri izgaranju, razlikuju se sljedeći tipovi ložišta s izgaranjem u fluidiziranome sloju:

- Ložište s mjehurastim fluidiziranim slojem
- Ložište s cirkulirajućim fluidiziranim slojem
- Ložište s fluidiziranim slojem i unutarnjom cirkulacijom
- Ložište s višestupnjevim fluidiziranim slojem
- Ložište s tlačnim fluidiziranim slojem.

Ekološke prednosti izgaranja u fluidiziranom sloju

- **Znatno manja emisija sumpornih oksida. Sorbentni materijal, odnosno vapnenac (CaCO_3) ili dolomit (MgO), intenzivno se miješa sa sumpornim spojevima u fluidiziranom sloju, pri čemu nastaje inertni materijal koji se iz ložišta odvaja zajedno s pepelom;**
- **Izgaranje se zbiva pri relativno niskim temperaturama (850 do $950\text{ }^\circ\text{C}$) zbog čega nastaju manje količine dušičnih oksida;**
- **Duže vrijeme zadržavanja u ložištu uz intenzivno miješanje sa zrakom, pa se uz ekološki povoljne uvjete mogu spaljivati razna ostatna (otpadna) goriva manje kvalitete.**

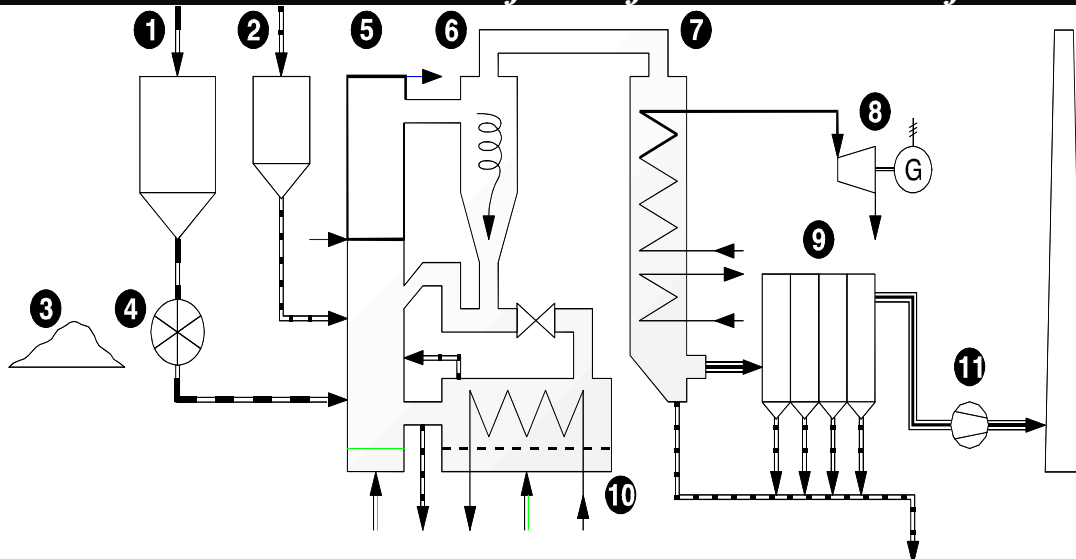
Ložište s mjehurastim fluidiziranim slojem



Legenda:

- 1- izlaz pare,
- 2- parni bubanj
- 3- vodeni bubanj
- 4- ekranske cijevi
- 5- fluidiziran sloj
- 6- sapnice za zrak
- 7- ulaz zraka

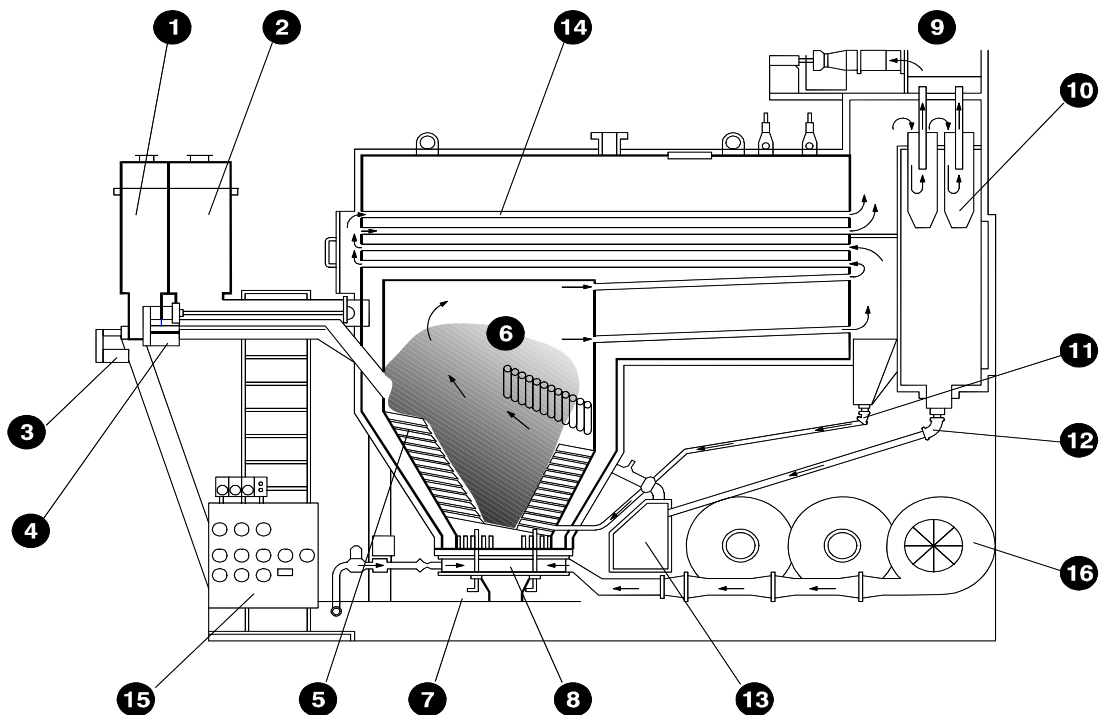
Ložište s cirkulirajućim fluidiziranim slojem



Legenda:

- 1-ulaz goriva,
- 2-ulaz sorbentna materijala,
- 3-skladište goriva,
- 4-mlin za gorivo,
- 5-ložište,
- 6-ciklon,
- 7-konvekcijske ogrjevne površine,
- 8-turbina,
- 9-elektrostatski filter,
- 10-izmjenjivač topline,
- 11-ventilator za dimne plinove

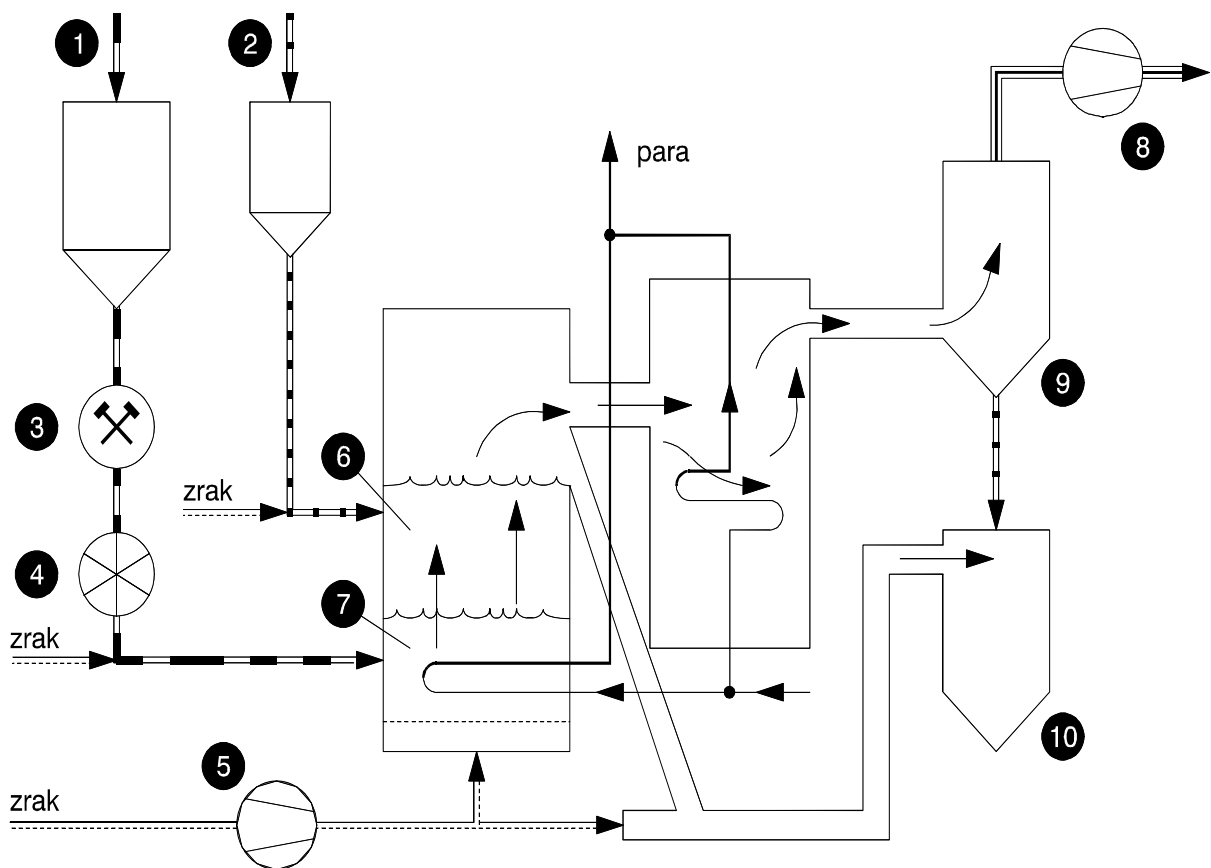
Ložište s fluidiziranim slojem i unutarnjom cirkulacijom



Legenda:

1-silos sorbentna materijala, 2- silos goriva, 3-dozator sorbentna materijala, 4-dozator goriva, 5-ispārivačke cijevi u ložištu, 6-fluidizirani sloj, 7-tekuće gorivo za potplau, 8-distributor goriva, 9-ventilator, 10-sabirnik čestica, 11-reirkulacija gorivih čestica, 12-odvajač pepela, 13-sabirnik pepela, 14-dimne isparivačke cijevi, 15-kontrolna ploča, 16-ventilator zraka

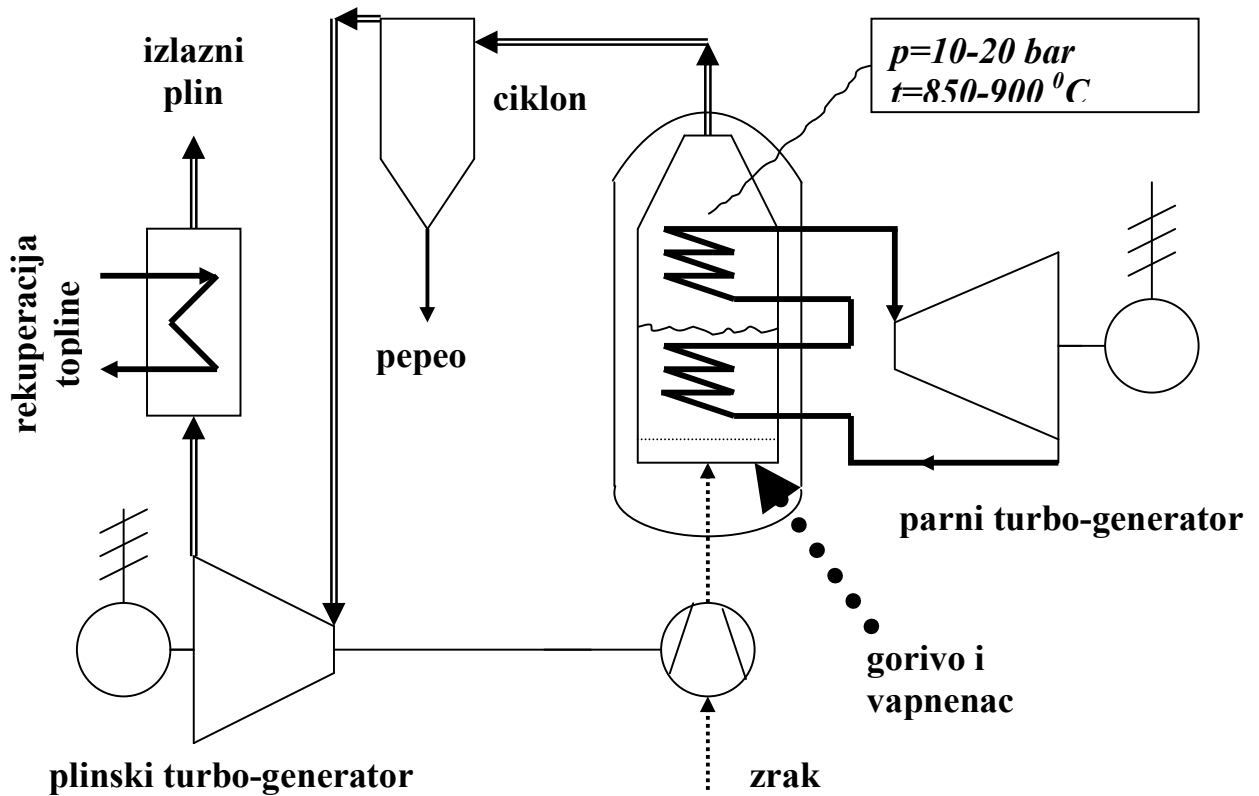
Ložište s višestupanjskim fluidiziranim slojem



Legenda:

1- dodavanje goriva, 2-dodavanje sorbentna materijala, 3-mlin za gorivo, 4-dozator goriva, 5-ventilator primarna zrak, 6-gornji fluidizirani sloj, 7-donji fluidizirani sloj, 8-ventilator, 9-odvajač čestica, 10-spremnik odvojenih čestica

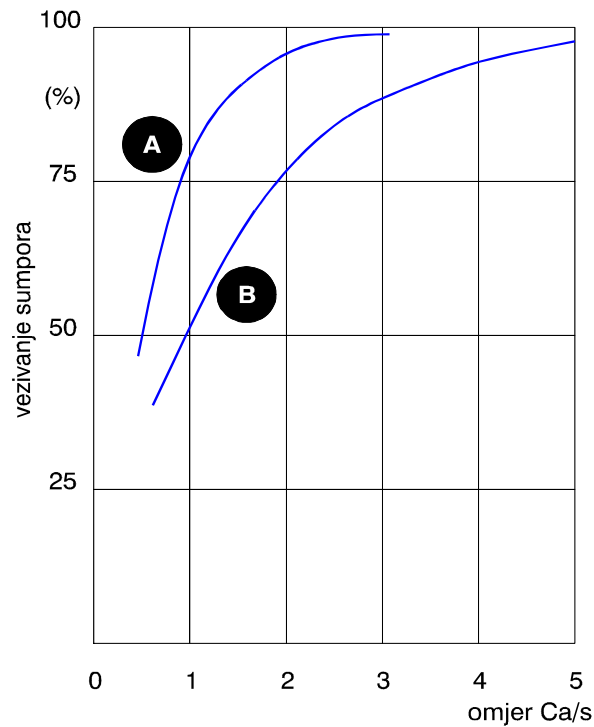
Ložište s tlačnim fluidiziranim slojem



Utjecajni pogonski parametri na emisiju iz ložišta s izgranjem u fluidiziranom sloju

- omjer kalcija (sorbentni materijal) i sumpora iz goriva
- visina sloja
- brzina fluidizacije
- veličina čestice i vrsta sorbentna materijala
- temperatura u fluidiziranome sloju
- tlak u fluidiziranome sloju

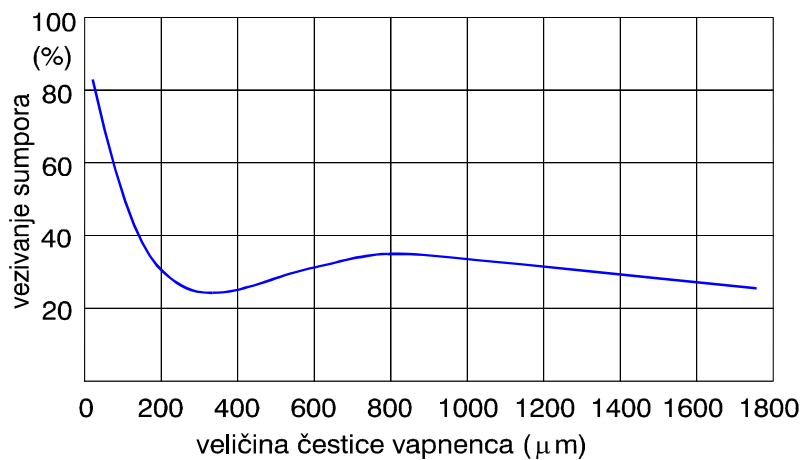
Utjecaj omjera Ca/S i vrste sorbentna materijala



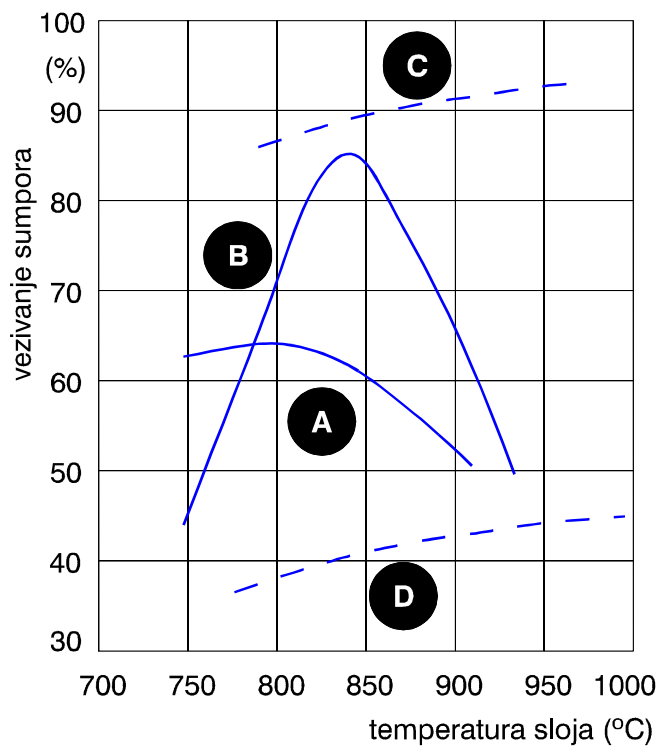
Legenda:

A-vapnenac u mjehurastom fluidiziranom sloju pod atmosferskim tlakom,
B-dolomit u tlačnom fluidiziranome sloju

Utjecaj veličine čestice sorbentna materijala



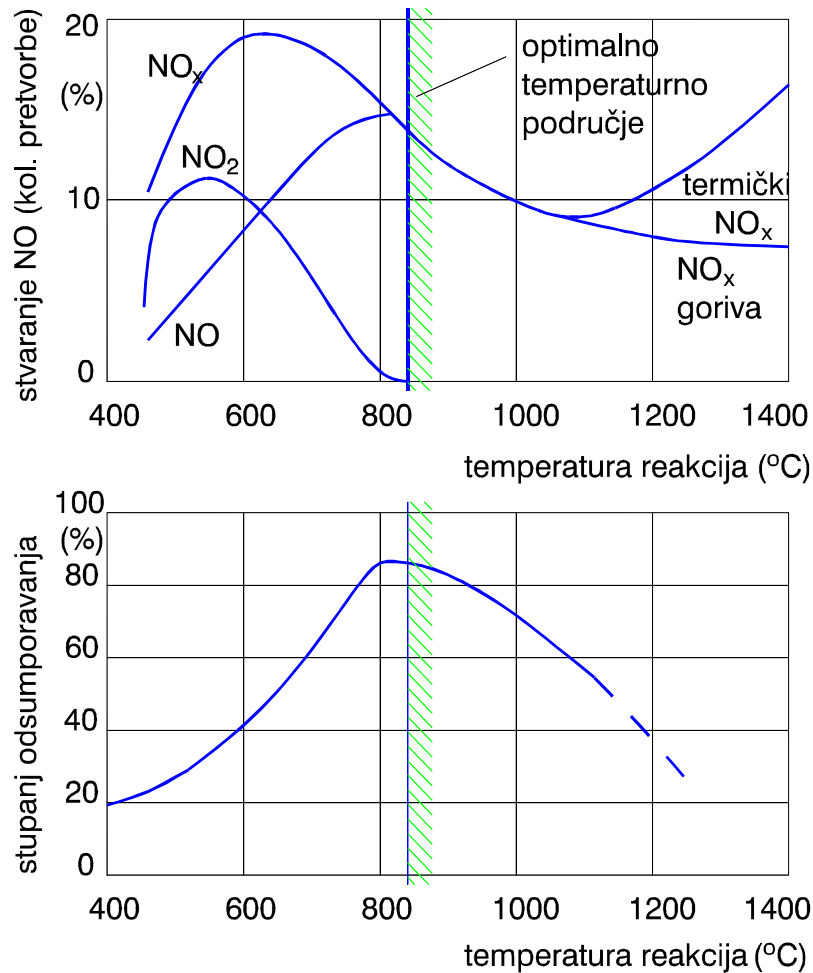
Utjecaj tlaka i temperature u fluidiziranome sloju ($Ca/S=2$)



Legenda:

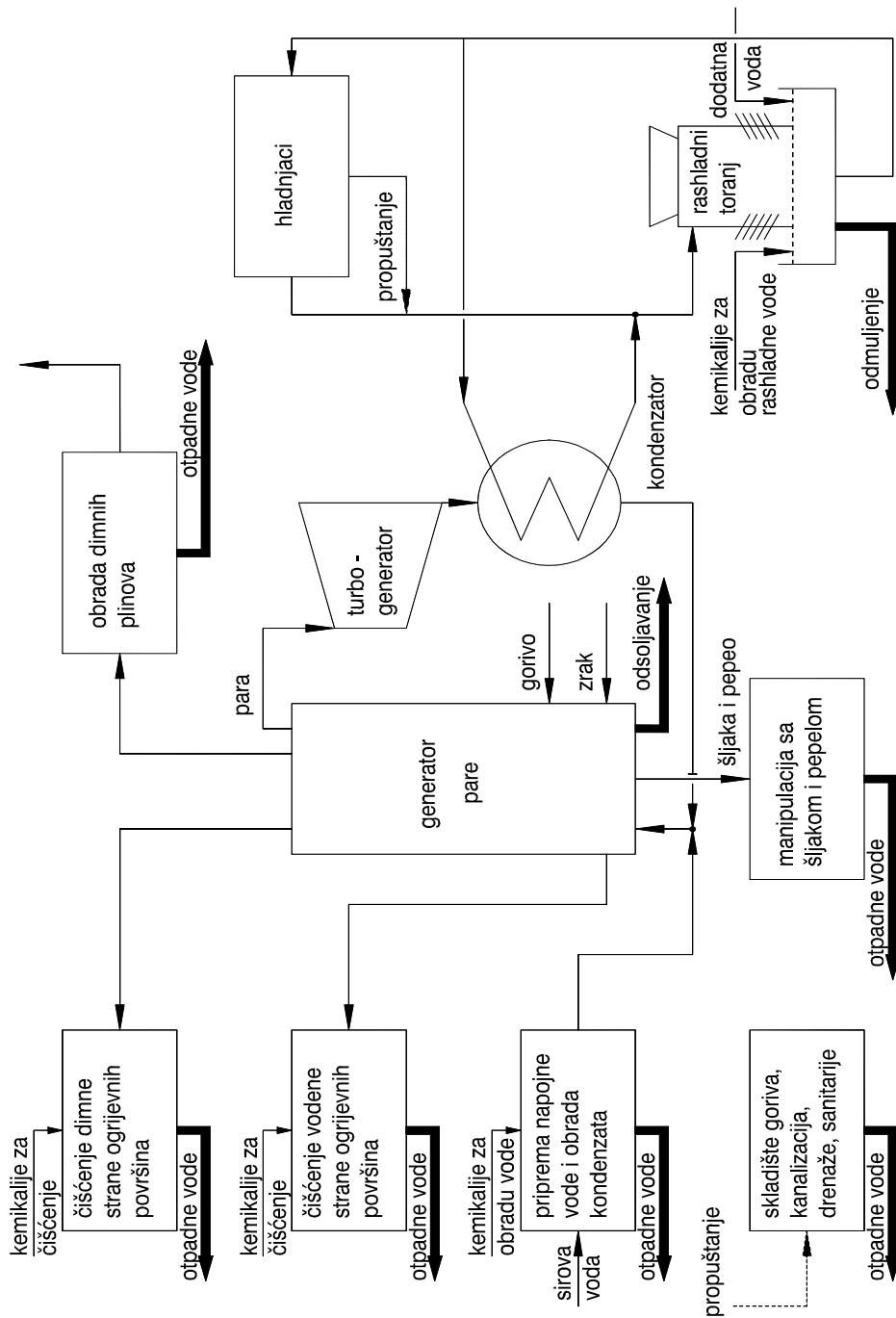
*A-dolomit, atmosferski tlak, B-vapnenac, atmosferski tlak,
C-dolomit, visoki tlak, D-vapnenac, visoki tlak*

Utjecaj temperature na emisiju NO_x i SO_x iz fluidizirana sloja



Optimalna radna temperatura u fluidiziranome sloju obzirom na emisiju SO_2 i NO_x je 850 do 950 °C.

B) ISPUŠTANJE ŠTETNIH SASTOJAKA IZ ENERGETSKIH POSTROJENJA PUTEM OTPADNIH VODA

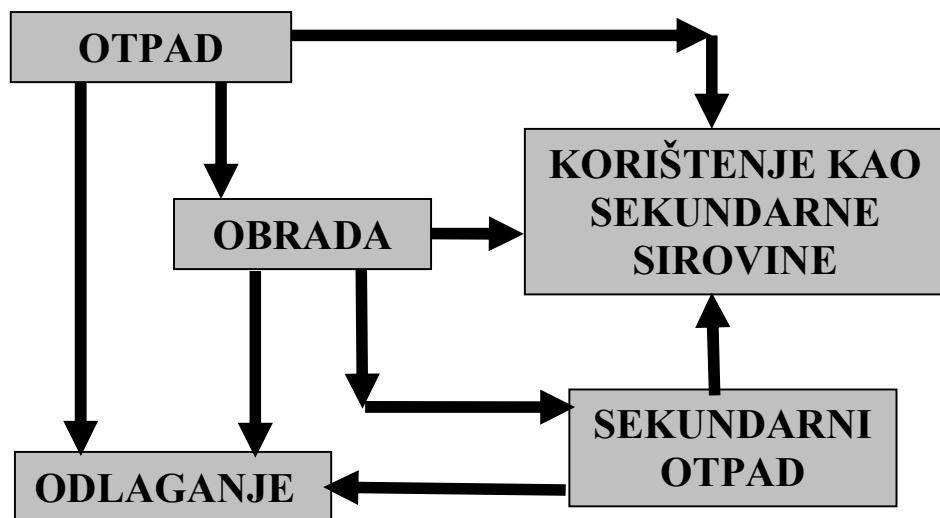


C) OTPAD IZ ENERGETSKIH POSTROJENJA

Glavne količine otpada u energetskim postrojenjima nastaje iz:

- pripreme i skladištenja goriva
 - muljni talog
 - zauljeni talog
- obrade pepela i dimnih plinova
 - šljaka
 - pepeo
 - gips
- iz procesa čišćenja i održavanja
 - materijal od čišćenja ogrjevnih površina s relativno velikim sadržajem teških metala (vanadij, natrij, nikalj, živa, arsen)
 - otpadni izolacijski materijal (azbest)
 - otpadna ulja od podmazivanja, transformatorska ulja i dr.

Osnovna shema zbrinjavanja otpada iz energetskih postrojenja



Primjer:

Tipična elektrana na ugljen, snage 500 MW_e, s procesom obrade dimnih plinova, godišnje stvara oko: 100.000 t pepela, 25.000 t šljake, 140.000 t ostataka od pročišćavanja dimnih plinova (gipsa).