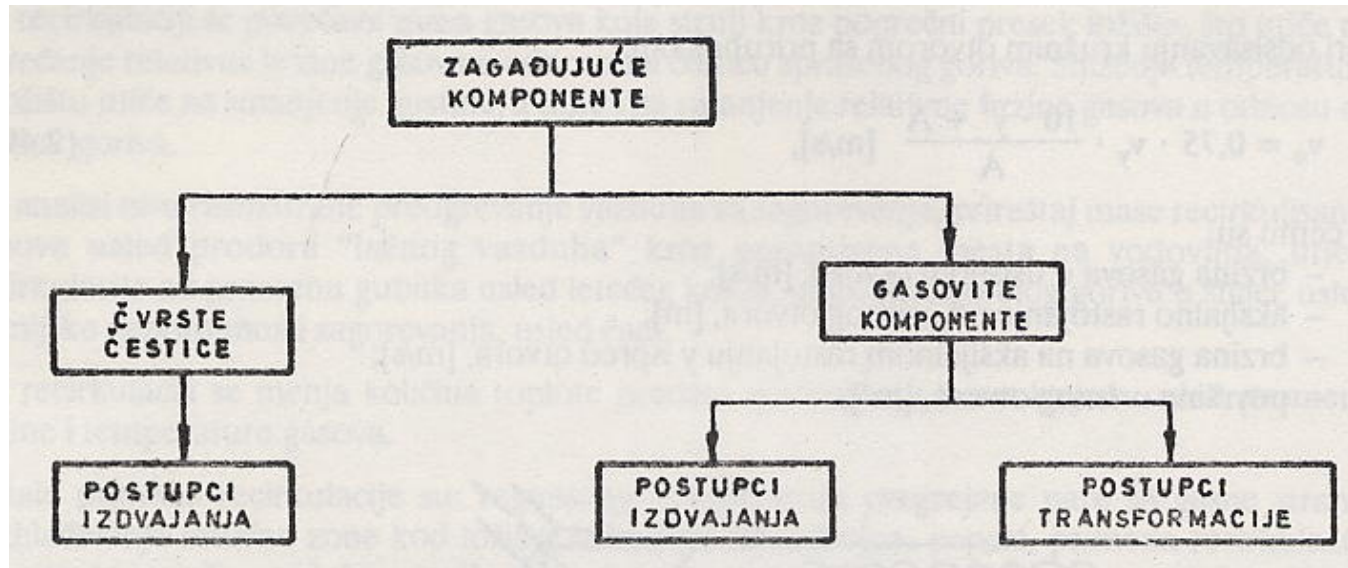


# PROCESI I OPREMA U ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE



Gasoviti heterogeni sistemi se sastoje iz dve ili više faza:

- fluid(gas) je spoljna noseća faza
- čvrsti ili tečni delići čine unutrašnju (nošenu) fazu

NASTAJANJE ČVRSTIH ČESTICA

- mehaničkim usitnjavanjem
- sagorevanjem komada goriva
- homogena i heterogena kondenzacija
- isparavanje kapljica

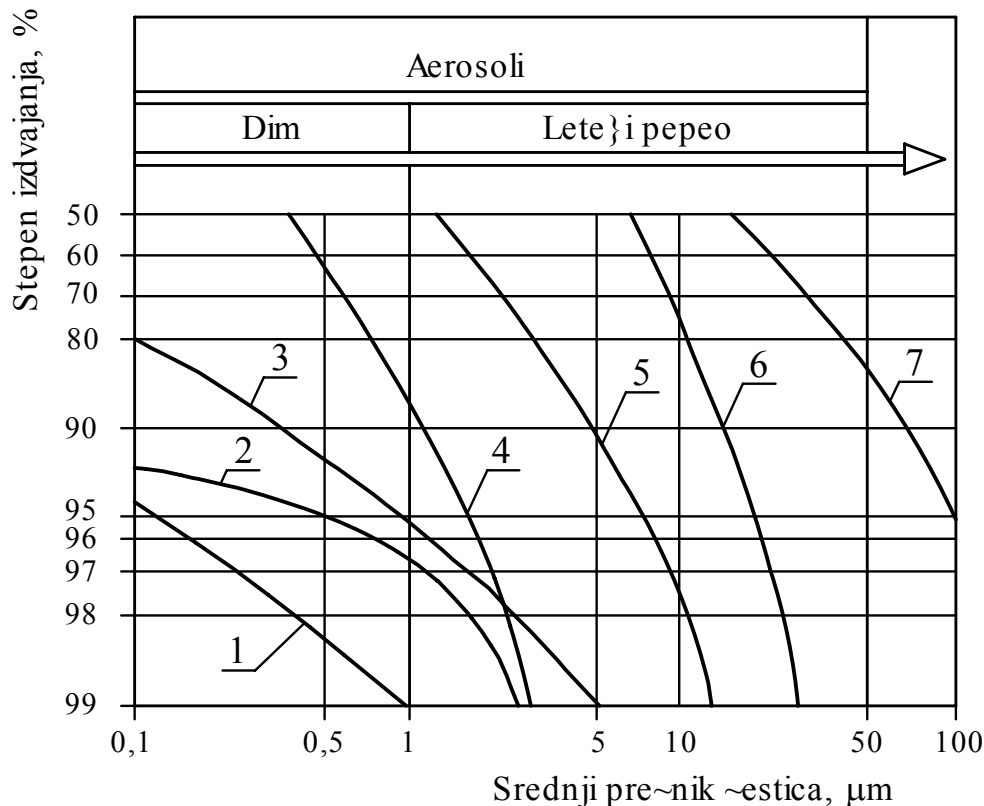
# Postupci i uređaji za prečišćavanje i recikliranje otpadnih gasova

- Generalno, na izbor opreme za prečišćavanje otpadnih gasova utiču:
- faktori životne sredine
- faktori projektovanja
- ekonomski faktor.
- ***Faktori životne sredine*** uključuju (1) lokaciju postrojenja koje su izvor polutanata i opreme za izdvajanje tih polutanata iz dimnih gasova, (2) raspoloživi prostor za smeštaj opreme, (3) uslove sredine, (4) raspoloživost potrebnih materijala (voda, aditivi, i sl.) i energije, kao i mogućnost instalacije dodatne opreme (tretman otpadnih voda i sl.), (5) maksimalno dopuštenu koncentraciju zagađujućih komponenata koja se sme ispustiti u okolinu, (6) estetske okolnosti (vidljivost, perjanica dimnjaka, ...), (7) uticaj postupaka prečišćavanja dimnih gasova na zagađivanje voda i tla, (8) uticaj postupaka prečišćavanja na nivo buke.
- ***Faktori projektovanja*** uključuju (1) karakteristike zagađivača (fizičke i hemijske karakteristike, koncentracija, oblik i raspodela u slučaju čvrstih čestica, hemijska reaktivnost, abrazivnost, toksičnost), (2) karakteristike struje gasova (npr. zapreminski protok, pritisak, temperatura, vlažnost, sastav, brzina, gustina, reaktivnost, sagorljivost, korozivnost, toksičnost, ...), (3) projektovane i radne karakteristike pojedinih delova sistema (uređaja) za prečišćavanje gasova (npr. dimenzije, masa, stepen izdvajanja u zavisnosti od dimenzija čestica, transport materije i/ili kapacitet razgradnje (u slučaju zagađivača u gasovitoj i parnoj fazi), pad pritiska, stepen sigurnosti (pouzdanosti), potrošnja energije, dopušteni temperaturni opseg, zahtevani stepen korisnosti, zahteve za održavanjem, mogućnosti prilagođavanja strožijim zakonskim normama od postojećih).
- ***Ekonomski faktori*** uključuju (1) investicione troškove (oprema, instalacija, projektovanje, i sl.), (2) pogonske troškove tokom radnog veka opreme (održavanje, amortizacija i sl.).
- Osnovni procesi, postupci i oprema koja se koristi za prečišćavanje dimnih gasova, i u pojedinim slučajevima, za recikliranje gasova dati su u tabeli 9.1.

# Tehnološki procesi i operacije za prečišćavanje i recikliranje otpadnih gasova

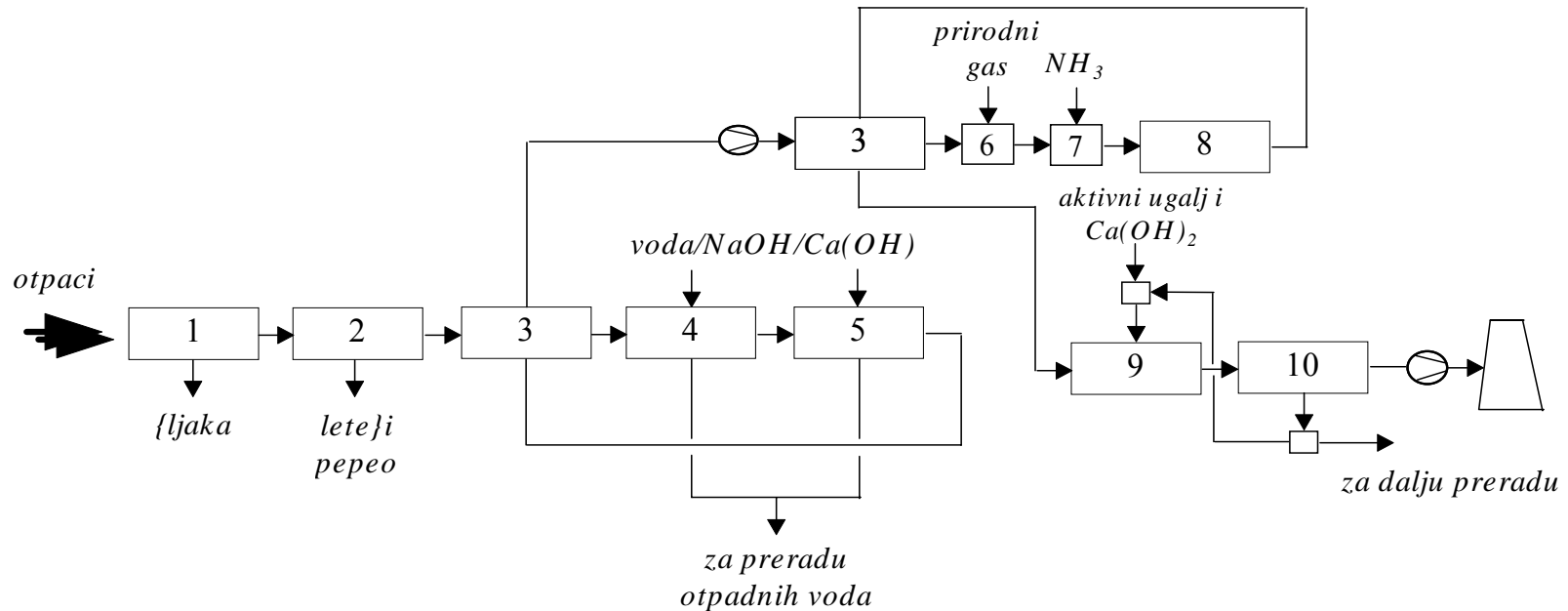
| Osnovni tehnološki procesi, operacije i uređaji |  |
|---|--|
| Procesi:  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Oksidacioni,</li><li>- Redukcioni,</li><li>- Neutralizacioni,</li><li>- Sagorevanje,</li><li>- Sorpcioni;</li></ul>  |
| Operacije:                                      | <ul style="list-style-type: none"><li>- Taloženje,</li><li>- Filtracija,</li><li>- Adsorpcija,</li><li>- Apsorpcija;</li></ul>   |
| Uređaji:  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Ciklonski uređaji (suvi centrifugalni kolektori),</li><li>- Taložne komore,</li><li>- Elektrostatički izdvajači,</li><li>- Platneni (tekstilni) filteri i filteri od vlakana,</li><li>- Mokri izdvajači (skruberi-apsorberi)<ul style="list-style-type: none"><li>• sprej komore,</li><li>• "Venturi" uređaji,</li><li>• kolone sa punjenjem,</li><li>• kolone sa podovima,</li></ul></li><li>- Komore za sagorevanje, dogorevanje i katalizu,</li><li>- Izdvajači sa čvrstom fazom (adsorberi).</li></ul> |

- Vlažno prečišćavanje gasova (pranje gasova) može se primeniti ako je tehnološkim procesom dozvoljeno vlaženje i hlađenje gasova i ako je koncentracija veoma sitnih čestica mala.
- Vlažni izdvajači (skruberi) mogu biti:
  - prazni, sa raspršivanjem tečnosti za pranje
  - sa punjenjem (šljunak, koks, Rašigovi prstenovi i sl.)
  - barbotažne i kaskadne kolone
  - strujni (ejektorski - Venturi).
- Efikasnost vlažnih izdvajača sa punjenjem i podovima, za čestice dimenzija oko 2  $\mu\text{m}$  je 99,6%, a za čestice do 0,1  $\mu\text{m}$  manje od 95%. Stepen izdvajanja praznih i Venturi izdvajača je 90-97,5%.
- Zavisnost stepena izdvajanja od dimenzija čestica za različite uređaje prikazana je na slici 15.2.50.



**Slika 15.2.50. Stepen izdvajanja konvencionalnih uređaja za izdvajanje čvrstih čestica**  
 1–elektrofilter visoke efikasnosti; 2–vrećasti filter;  
 3–elektrofilter srednje efikasnosti; 4–venturi skruber;  
 5–skruber; 6–baterija ciklona (multiciklon); 7–ciklon

- Šematski prikaz kompleksnog postrojenja za prečišćavanje dimnih gasova sastavljenog iz različitih uređaja za izdvajanje pojedinih zagađujućih komponenata dat je na slici 15.2.106.



**Slika 15.2.106. Tehnološka šema postrojenja za kompleksno prečišćavanje dimnih gasova**

1-ložište sa komorom za dogorevanje; 2-elektrostatički izdvajač čvrstih čestica; 3-izmenjivač toplote; 4-prvi stepen prečišćavanja dimnih gasova; 5- drugi stepen prečišćavanja dimnih gasova; 6-komora za dogrevanje; 7-priprema gasova za izdvajanje NOx; 8-katalizator za izdvajanje NOx; 9-uređaj za izdvajanje PCDD/F i teških metala; 10-vrećasti filter

Pozitivne strane primene taloznih komora:

- prosta konstrukcija
- neznatni eksploatacioni troškovi
- minimalni pad pritiska u širokom rasponu temperatura
- mogućnost izdvajanja jako abrazivnih materijala

Nedostaci su pre svega nizak stepen izdvajanja i veliki gabariti taložnika.

## INERCIJALNI ODVAJAČI PRAŠINE

Prečiščavanje se vrši usled inercijalnih sila, koje se javljaju usled nagle promene pravca strujanja gasne struje. Brzine gasa moraju biti reda veličine 10-15 m/s.

Odvajač sa žaluzinama

Osnovne prednosti su im:

- jednostavna konstrukcija
- kompaktonost i
- nepostojanje pokretnih delova



Stepen dobrote se može povećati ako se poveća obimna brzina ili se smanji poluprečnik obrtanja gasne struje. Za efikasnost rada ciklona povoljnije je smanjiti poluprečnik obrtanja gasne struje odnosno zamena ciklona za više manjih.

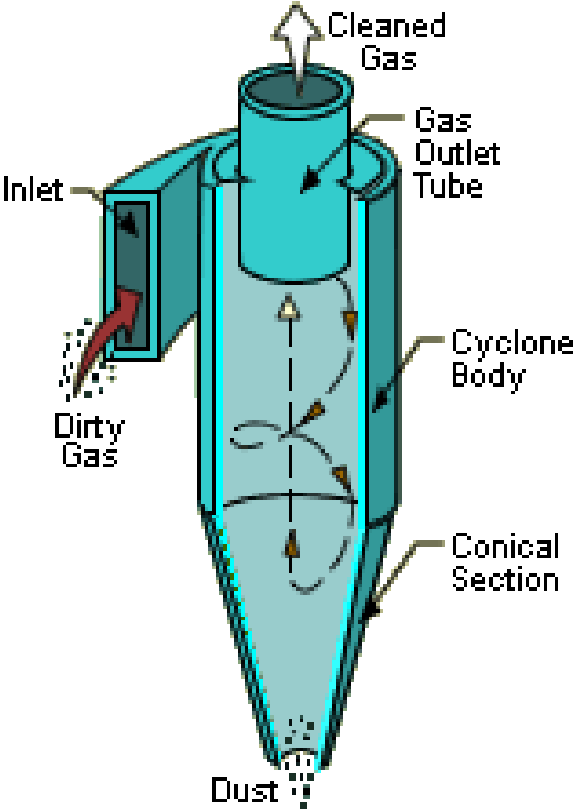
**Prednosti:**

- 1. Niski investicioni troškovi
- 2. Relativno jednostavna oprema
- 3. Relativno nizak radni pad pritiska (500-1500 Pa)
- 4. Radna temperatura i pritisak ograničeni samo konstrukcionim materijalom, a ne i uslovima rada
- 5. Suvi postupak izdvajanja i odlaganja izdvojenih komponenata
- 6. Ne zauzimaju veliki prostor

**Nedostaci:**

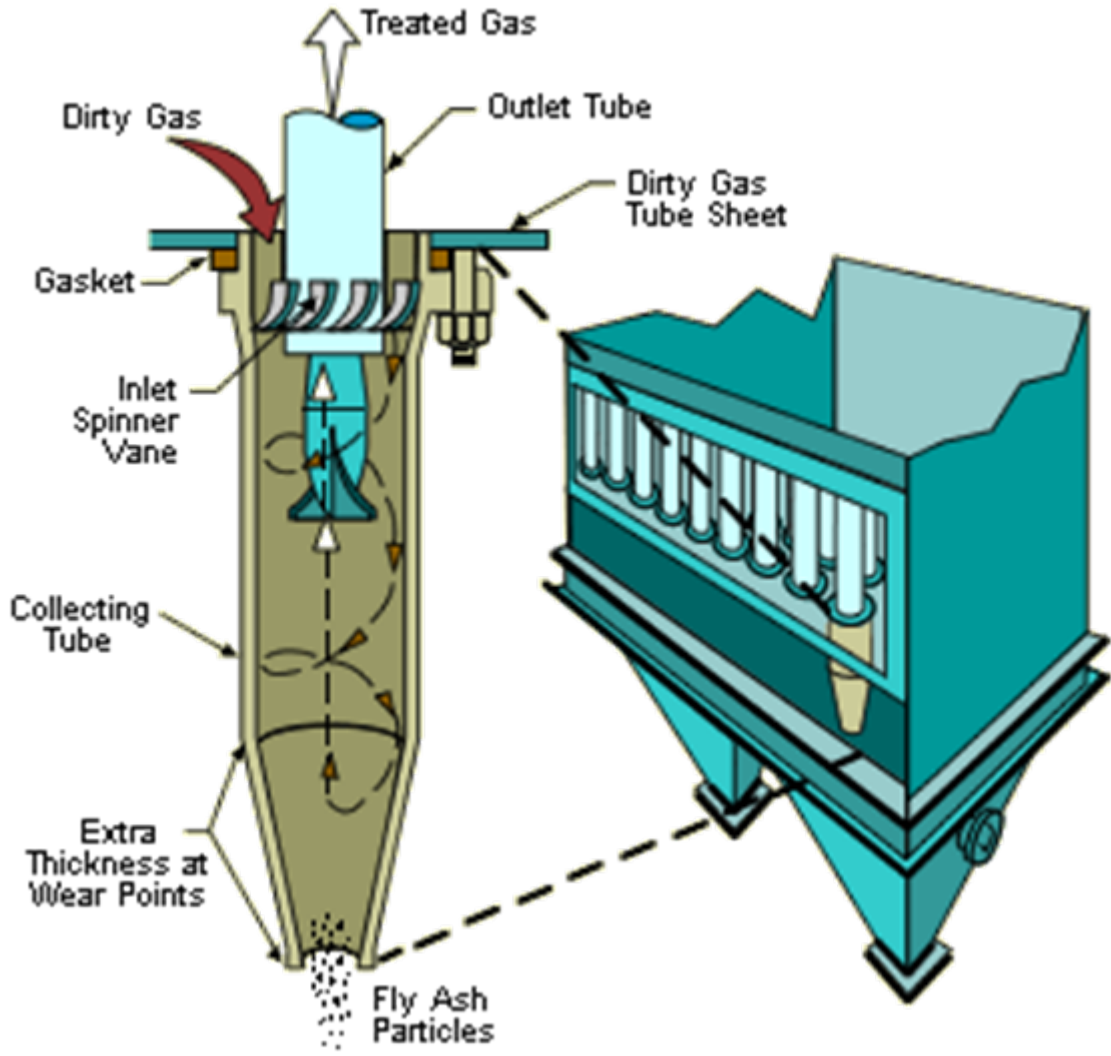
- 1. Relativno nizak stepen izdvajanja, posebno za čestice dimenzija ispod 10  $\mu\text{m}$
- 2. Nepogodni za rad sa lepljivim komponentama

**Figure 1. Top-Inlet Large-Diameter Cyclone**



U cilju povećanja stepena dobrote ciklona koriste se multicikloni:

**Figure 2. Small-Diameter Multi-Cyclone Collector**



# PREČIŠĆAVANJE GASOVA FILTRIRANJEM

Ostvaruje se propuštanjem gasovitih heterogenih sistema kroz porozni sloj materijala filtra, pri čemu su pore takvih dimenzija da ne mogu propustiti čvrste čestice. Koriste se:

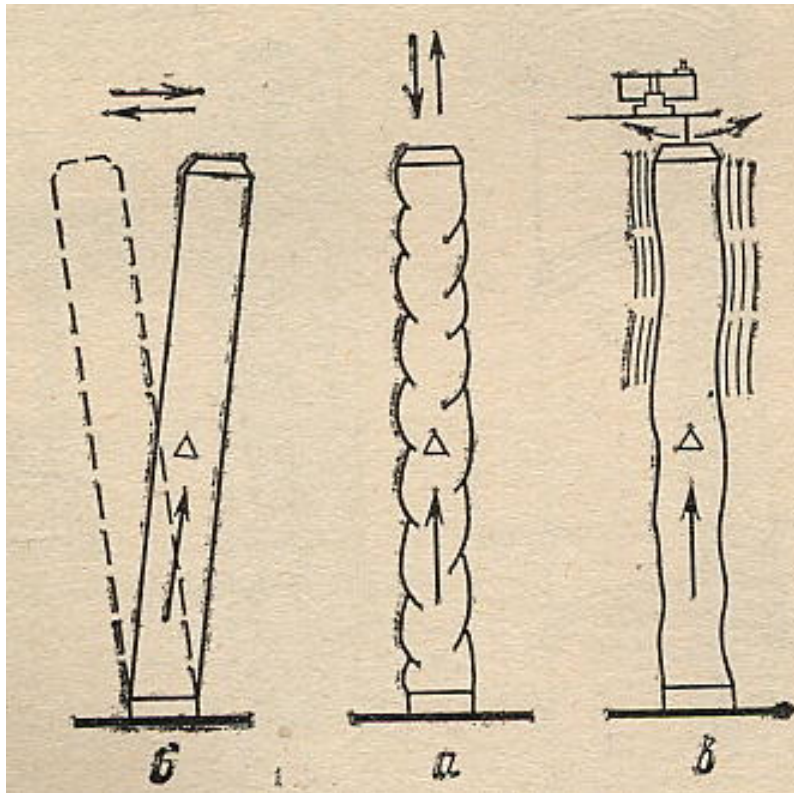
- **prirodni** (pamuk, vuna) i
- **veštački** (poliamidi, poliestri, poliakrilnitrili, polivinilhloridi, teflon) materijali.

Pri izdvajanju čvrste čestice u filtru postoji efekat inercije, zaustavljanja, difuzioni, elektrostatički i efekat propuštanja kroz sloj izdvojenih čvrstih čestica.

Kod primene filtara od raznih tkanina potrebno je voditi računa o temperaturi i vlažnosti gasa. U uređajima za filtriranje mogu se izdvojiti čestice prečnika ispod  $0.5\mu\text{m}$ , dok stepen izdvajanja može biti i preko 99%.

Izdvajanje nataloženog praha sa filtarskog materijala vrši se:

- **mehaničkim** (udar, zatezanje, vibracije),
- **pneumatskim** (pneumatsko ispiranje vazduhom, kratkotrajni udari vazduha) ili
- **kombinacijom** prethodna dva načina.



# ELEKTROFILTRI

Služe za elektrostatičko izdvajanje čestica, kod gasova temperatura do 400-450 °C. Primjenjuju se i u gasnim sredinama sa izraženom korozijom. Služe za izdvajanje čestica svih prečnika. Koncentracija čestica na ulazu može biti 50 g/m<sup>3</sup> i više.

Hidraulični otpori iznose 100-150 Pa, a potrošnja energije od 0.1 do 0.5 kWh po 1000 m<sup>3</sup> gasa.

Primjenjuju se za gasove u kojima se ne može stvoriti eksplozivna smeša.

# VLAŽNI PREČISTAČI OTPADNIH GASOVA OD ČESTICA

Kod vlažnih izdvajača izdvojena čvrsta čestica se vezuje za tečnost.

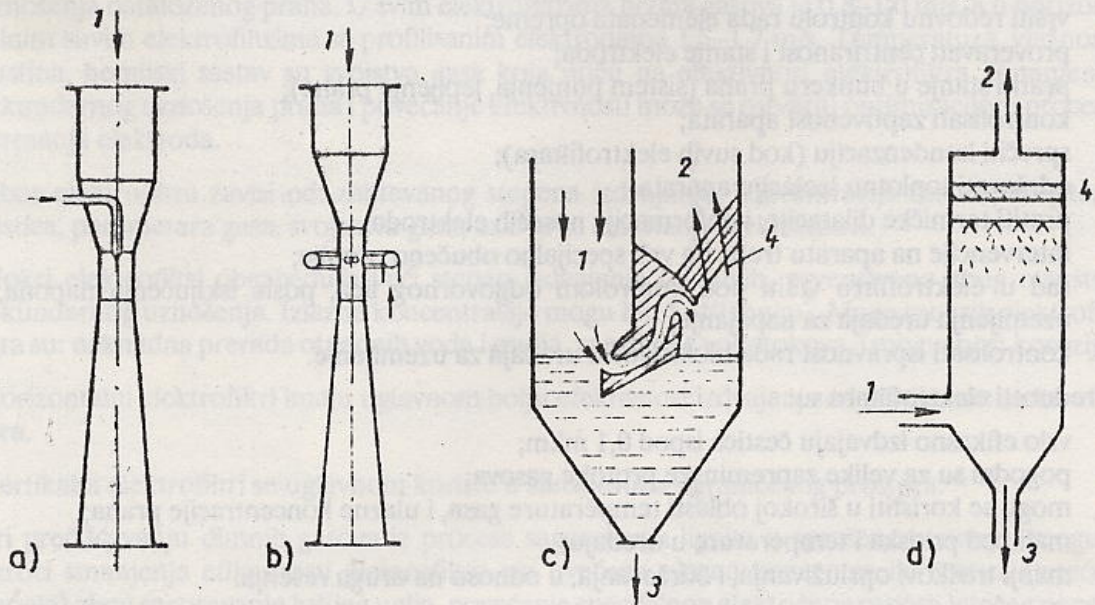
Izdvajanje praha može se ostvariti na više načina:

- gas (sa prahom) se uvodi u obliku mehurova kroz tečnost
- gas velikom brzinom nailazi na površinu tečnosti tako da se tečnost razdvaja na kapi, ili tanke slojeve
- tečnost se raspršuje i u obliku sitnih kapi se meša sa gasom i prahom

Uređaji u kojima se obavlja prečišćavanje gasova vlažnim postupkom nazivaju se skruberi. Postoji veliki broj različitih tipova vlažnih izdvajača. Glavni tipovi su:

- rotacioni vlažni izdvajači sa centrifugalnim raspršivanjem tečnosti
- Venturi i vrtložni izdvajači
- kolone sa raspršivanjem tečnosti

Svi vlažni izdvajači koriste kao svoj glavni mehanizam izdvajanja inerciju kapljica i čestica. Unutar izdvajača heterogena gasna smeša se dovodi u kontakt sa tečnim kapljicama, slojem tečnosti na ispuni ili mlazom vode sa površi.



Slika 2.52. Vlažni izdvajači čvrstih čestica

a) "Venturi" izdvajač sa aksijalnim dovodom tečnosti; b) "Venturi" izdvajač sa radijalnim dovodom tečnosti; c) vrtložni izdvajač; d) izdvajač (kolona) sa raspršivanjem tečnosti: 1 – neprečišćen gas; 2 – prečišćen gas; 3 – mešavina praha i tečnosti; 4 – izdvajač kapi tečnosti

Sposobnost vlažnog izdvajača zavisi pre svega od sledećih promenljivih:

- veličine (aerodinamički prečnik) čestice,
- brzine čestice i
- brzine kapljice, sloja i struje.

# Prednosti i nedostaci vlažnih izdvajača čvrstih čestica (skruberi)

|   |
|---|
| <b>Prednosti:</b>   |
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Ne predstavljaju dodatni izvor čvrstih čestica</li><li>2. Ne zauzimaju veliki prostor</li><li>3. Pogodni za izdvajanje čvrstih čestica i gasovitih zagađujućih komponenata (posebno lepljivih)</li><li>4. Pogodni za rad pri visokim temperaturama i visoko vlažnim gasovima</li><li>5. Niski investicioni troškovi (ako se ne zahtevaju dodatni uređaji za tretman otpadnih voda),</li><li>6. Pogodni za rad pri velikim pritiscima gasnih struja</li><li>7. Visok stepen izdvajanja finih čestica (ali, sa visokim padom pritiska)</li></ol> |
| <b>Nedostaci:</b>   |
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Često je potrebno dopunsko prečišćavanje otpadnih voda i taloga,</li><li>2. Izdvojeni materijali su u vlažnom stanju,</li><li>3. Povećana opasnost od korozije i smrzavanja,</li><li>4. Moguća neprozirna perjanica gasova iz dimnjaka i/ili ispuštanje kapljica u atmosferu,</li><li>5. Moguć visok pad pritiska i viša potrošnja energije,</li><li>6. Opasnost od stvrdnjavanja čvrstih čestica u kontaktu sa vodom,</li><li>7. Visoki eksploatacioni troškovi.</li></ol>  |



## Prednosti i nedostaci elektrostatičkih izdvajača čvrstih čestica

### Prednosti:

1. Veoma efikasni za izdvajanje čestica dimenzija ispod  $0,1 \mu\text{m}$  (pri relativno niskoj potrošnji energije od  $0,1-0,5 \text{ kWh}/1000 \text{ m}^3$  gasova),
2. Suvi postupak izdvajanja i odlaganja izdvojenih komponenata,
3. Mali pad pritiska (manje od  $150 \text{ Pa}$ ),
4. Projektovani za kontinualni rad sa minimalnim zahtevima za održavanjem,
5. Relativno niski eksploatacioni troškovi (u odnosu na druga rešenja),
6. Pogodni za rad pri visokim nadpritiscima (do  $10 \text{ bar}$ ) ili podpritiscima struje gasova,
7. Pogodni za rad pri visokim temperaturama (do  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ ),
8. Pogodni za rad pri velikim zapreminskim protocima gasova i velikim ulaznim koncentracijama čvrstih čestica ( $50 \text{ mg}/\text{m}^3$  i više);

### Nedostaci:

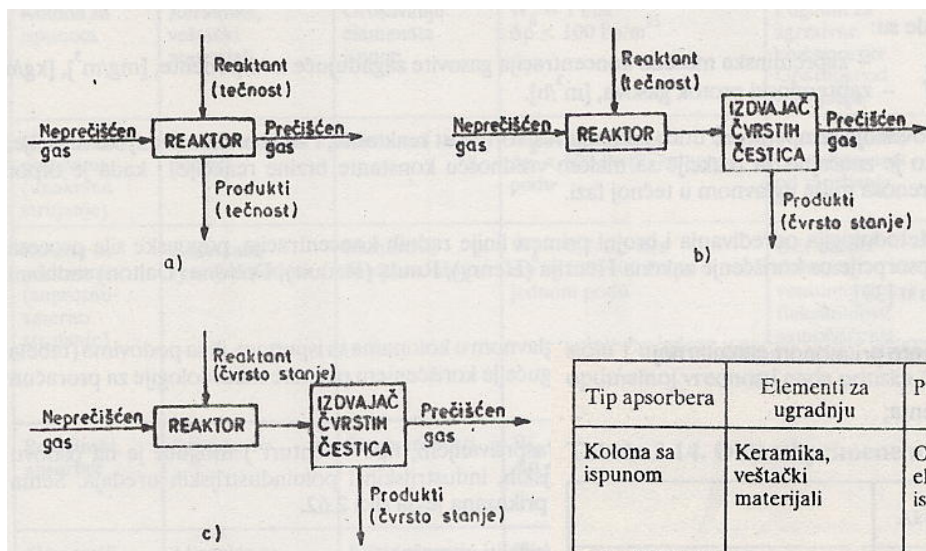
1. Visoki investicioni troškovi,
2. Veoma osetljivi na promene u gasnoj struji (promena zapreminskog protoka, temperature, sastava gasova i koncentracije čvrstih čestica),
3. Izvesni problemi u izdvajanju čestica zbog visokih ili niskih karakteristika otpora,
4. Zauzimaju dosta prostora,
5. Ne mogu se primeniti za eksplozivne gasove i čvrste čestice,
6. Zahtevaju posebne uslove zaštite na radu zbog visokih napona,
7. Tokom jonizacije gasova nastaje ozon,
8. Zahtevaju relativno visoko obučene radnike za rad pri eksploataciji i održavanju.

# Prednosti i nedostaci tekstilnih (vrećastih) filtera i filtera od vlakana

|   |
|---|
| <b>Prednosti:</b>   |
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Veoma visok stepen izdvajanja i krupnih i finih čestica (i submikronskih)</li><li>2. Relativno neosetljivi na promene u struji gasova (male promene u stepenu izdvajanja i padu pritiska sa velikim promenama koncentracije čvrstih čestica u struji gasova)</li><li>3. Moguća recirkulacija dimnih gasova (uštete u energiji)</li><li>4. Suvi postupak izdvajanja i odlaganja izdvojenih komponenata</li><li>5. Nema problema sa otpadnim vodama (suv proces), niti opasnosti od smrzavanja</li><li>6. Korozija obično nije problem (ako se ne ide ispod tačke rose)</li><li>7. Nema opasnosti od visokih napona, eksplozivnih i zapaljivih gasova (pri malim koncentracijama čvrstih čestica)</li><li>8. Koriste kvalitetna vlakna ili granule</li><li>9. Postoji veliki broj projektnih rešenja u zavisnosti od vrste postrojenja i gasova</li><li>10. Relativno jednostavni za rad i eksploataciju</li></ol>   |
| <b>Nedostaci:</b>   |
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Zbog granične temperature primene za većinu filterskih materijala (<math>\approx 290^{\circ}\text{C}</math>), zahteva se prethodno hlađenje gasova ili specijalna mineralna ili metalna vlakna, što značajno povećava investicione troškove</li><li>2. U nekim slučajevima neophodan je dodatni uređaj za izdvajanje</li><li>3. Mogućnost požara i eksplozija pri radu sa visokim koncentracijama čvrstih čestica u gasovima (<math>\approx 50 \text{ mg/m}^3</math>) i u slučaju čvrstih čestica koje imaju izrazitu sposobnost niskotemperaturske oksidacije,</li><li>4. Relativno visoki troškovi održavanja (zamena vreća i sl.)</li><li>5. Relativno kratak vek trajanja, posebno pri višim radnim temperaturama i pri radu sa kiselim ili baznim komponentama gasova</li><li>6. Filterski materijali su osetljivi na vlagu</li><li>7. Zahtevaju posebnu zaštitu na radu radnika na održavanju (oštećenja respirativnih organa)</li><li>8. Srednji pad pritiska pri radu (obično 1500-2500 Pa).</li></ol> |

# Metode prečiščavanja gasovitih komponentata

# Šeme procesa izdvajanja gasovitih zagađujućih komponenti



| Tip apsorbera                                  | Elementi za ugradnju          | Površina između faza         | Karakteristike   | Napomena   |
|--|-------------------------------|------------------------------|--|--|
| Kolona sa ispunom                              | Keramika, veštački materijali | Orošavanje elemenata is pune | $W_g \approx 1 \text{ m/s}^1$<br>$\Delta p < 100 \text{ Pa/m}^2$   | Pogodni za agresivne komponente. Opasnost od zaprljanja.   |
| Kolona sa podovima (unakrsno strujanje)        | Sitasti, ventilski podovi     | Mehurovi                     | $W_g \approx 0,8-1,5 \text{ m/s}$<br>$\Delta p < 500 \text{ Pa}$ po jednom podu  | Fleksibilnost u radu; opasnost od zaprljanja.  |
| Kolona sa podovima (suprotno-smerno strujanje) | Rešetkasti ventilski podovi   | Mehurovi, kapljice u sloju   | $W_g \approx 0,7-2,5 \text{ m/s}$<br>$\Delta p \approx 200-300 \text{ Pa}$ po jednom podu  | Bez ventila slaba, sa ventilima dobra fleksibilnost; samočišćenje poda; manji investicioni troškovi. |
| Površinski apsorber                            | Snop cevi                     | Struja tečnosti              | $W_g \approx 1-4 \text{ m/s}$<br>$\Delta p < 50 \text{ Pa/m}$  | Specijalni uslovi apsorpcije pri visokim temperaturama.  |
| "Venturi" apsorber                             | Mlaznice za tečnu fazu        | Kapi tečnosti                | Niskopritisni:<br>$W_g \approx 6-30 \text{ m/s}$<br>$\Delta p < 1500-3000 \text{ Pa}$<br>Visokopritisni:<br>$W_g \approx 100 \text{ m/s}$<br>$\Delta p$ do 2500 Pa | Potrebno je prilagođavanje zapreminskom protoku gasa.  |
| Apsorber sa raspršivanjem                      | Mlaznice za tečnu fazu        | Kapi tečnosti                | $W_g \approx 1-2 \text{ m/s}$<br>$\Delta p < 150-500 \text{ Pa}$   | Mala potrošnja sredstava za apsorpciju.  |

## Karakteristike uređaja za apsorpciju

## POSTUPCI ELIMINACIJE OTPADNIH GASOVA:

- APSORPCIJA
- ADSORPCIJA
- SAGOREVANJE

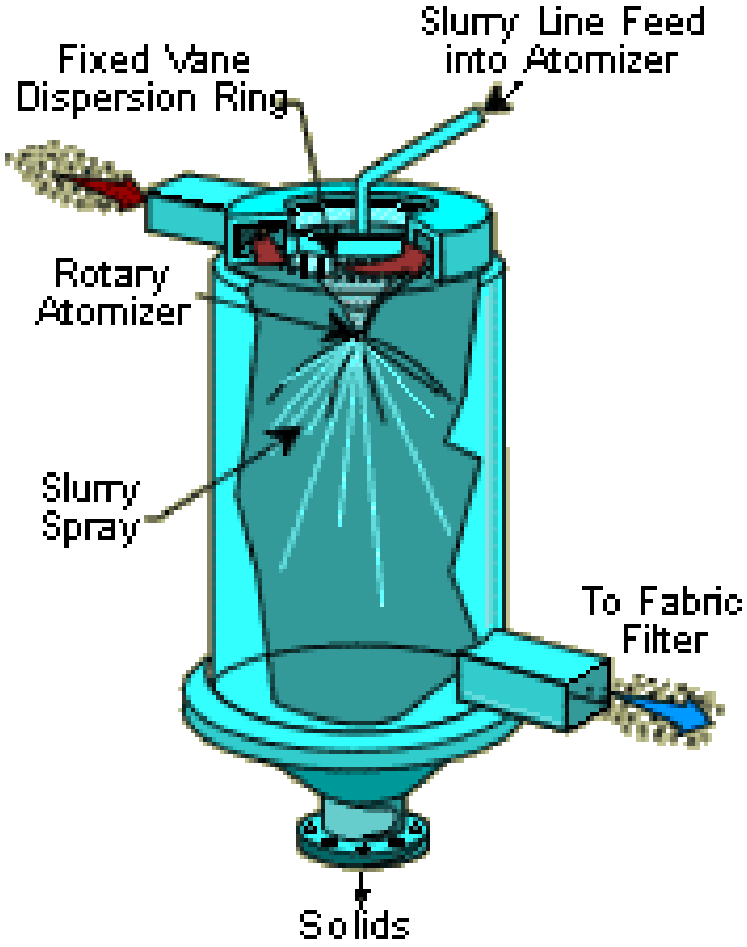
Apsorpcija je dovođenje u kontakt sa tečnošću smeše gasova sa ciljem da se jedna ili više komponenti iz smeše gasova rastvori u tečnosti.

Proces transporta materije:

- molekularnom i
- konvektivnom difuzijom

Suvi postupak apsorpcije sumpor-dioksida

**Figure 2. Spray Atomizer Dry Scrubber**



## Prednosti i nedostaci uređaja za apsorpciju (kolone sa podovima i punjenjem)

### **Prednosti:**

1. Relativno nizak pad pritiska
2. Za visoko korozivne uslove rada moguća izrada od stakla ili plastike,
3. Visoko efikasan transport materije iz faze u fazu,
4. Povećanjem visine i/ili promenom tipa ispune ili broja podova, može se povećati transfer materije bez dogradnje novih delova opreme
5. Relativno niski investicioni troškovi
6. Ne zauzimaju veliki prostor
7. Pogodni za izdvajanje čvrstih čestica i gasovitih komponenata

### **Nedostaci:**

1. Zahtevaju dodatni tretman otpadnih voda (ili neke druge apsorpcione tečnosti)
2. Nastali produkti su vlažni
3. Moguće začepljenje podova ili ispuna izdvojenim čvrstim česticama
4. Kada se koriste staklene ili plastične kolone i ispune/podovi nije moguć rad sa gasovima visoke temperature
5. Relativno visoki troškovi održavanja

## Poređenje kolona sa podovima i punjenjem

|   |
|---|
| <b>Kolone sa ispunama:</b>  |
| 1.Mali padovi pritisaka<br>2.Jednostavna i jeftina izgradnja<br>3.Pogodni za visoko penušave tečnosti   |
| <b>Kolone sa podovima:</b>  |
| 1.Malo osetljive na začepjenja<br>2.Lake konstrukcije<br>3.Mali problemi sa strujanjem gasova i tečnosti<br>4.Promene temperature gasove malo utiču na rad kolone |

- 1.Mali padovi pritisaka
- 2.Jednostavna i jeftina izgradnja
- 3.Pogodni za visoko penušave tečnosti

**Kolone sa podovima:**

- 1.Malo osetljive na začepjenja
- 2.Lake konstrukcije
- 3.Mali problemi sa strujanjem gasova i tečnosti
- 4.Promene temperature gasove malo utiču na rad kolone



# ADSORPCIJA

Adsorpcija je dovođenje u kontakt smeše gasova sa površinom čvrstog tela (adsorbentom) sa ciljem da se jedna ili više komponenti izdvoji i pređe u čvrstu fazu, odnosno to je prenos materije iz čvrste u gasnu fazu.

Procesi adsorpcije su u glavnom selektivni.

Prema debljini sloja nataloženih molekula, adsorpcija može biti monomolekularna i višeslojna.

Temperatura i koncentracija gasovite komponente utiče na stanje ravnoteže.

Adsorbenti se odlikuju velikom specifičnom površinom.

## Prednosti i nedostaci uređaja za adsorpciju

### **Prednosti:**

1. Mogućnost ponovnog korišćenja izdvojenih produkata i regeneracije sredstva za adsorpciju
2. Odlična kontrola i dobar rad pri naglim promenama tokom procesa
3. Nema dodatnih hemijskih problema
4. Mogućnost potpune automatizacije procesa
5. Mogućnost izdvajanja gasovih zagađujućih komponenata veoma malih ulaznih koncentracija

### **Nedostaci:**

1. Ponovno korišćenje izdvojenih produkata i regeneracija sredstva za adsorpciju zahteva skupe procese (termički procesi, ekstrakcija, ...)
2. Efikasnost sredstva za adsorpciju progresivno opada povećanjem broja ciklusa (sa vremenom)
3. Relativno visoki investicioni troškovi
4. Neophodno izdvajanje čvrstih čestica pre procesa adsorpcije zbog mogućnosti začepljavanja adsorpcionog sloja
5. U pojedinim slučajevima neophodno je hlađenje gasova i ispod normalnih radnih uslova
6. Potrebna para relativno visokog pritiska za izdvajanje (desorpciju) teških ugljovodonika

## Prednosti i nedostaci uređaja za sagorevanje gasova

### Prednosti:

1. Jednostavnost rada
2. Mogućnost iskorišćenja dobijene količine toplote (proizvodnja pare i sl.)
3. Mogućnost skoro kompletne razgradnje organskih zagađivača

### Nedostaci:

1. Relativno visoki eksploatacioni troškovi
2. Opasnost od eksplozije i izbijanja plamena
3. U slučaju katalitičkog sagorevanja mogućnost stvaranja otrovnih gasova
4. Nepotpuno sagorevanje dovodi do dodatnih problema u zagađivanju vazduha (CO i sl.)

## Prednosti i nedostaci uređaja za kondenzaciju

### Prednosti:

1. Izdvojene komponente mogu se ponovo koristiti (u slučaju indirektno kondenzacije)
2. Voda korišćena pri procesu indirektno kondenzacije (cevasti izmenjivači toplote) nije u kontaktu sa kontaminiranom gasnom strujom, i može se koristiti nakon hlađenja

### Nedostaci:

1. Relativno nizak stepen izdvajanja gasovitih komponenti
2. Neka sredstva za hlađenje su veoma skupa



Figure 4.27: Unit for direct-flame incineration with afterburner  
[65, Germany, 2002]