

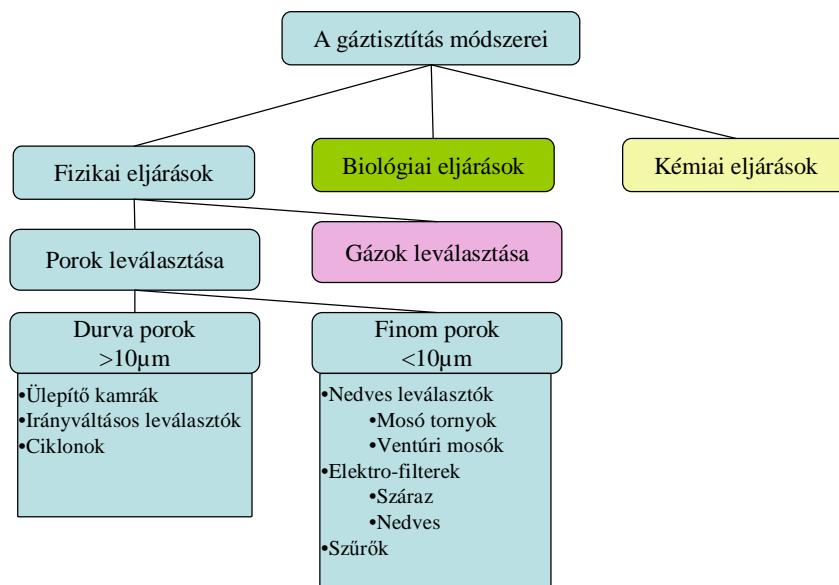


Levegővédelem (NGB KM012 1)

Szilárd légszennyezők leválasztása

2011-2012-es tanév I. félév

Előadó: Lautner Péter





Porméretek összehasonlító adatai

Méret μm	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^4
Rugós és sugár sávok	Gamma és RTG sugárak			Ibolyántúli fény	Látható fény	Infravörös hősugarak			
						Hertz-féle elektromágneses hullámok			
Por finomsága	Molekulák	Füetszemcsék		Legfinomabb porok		Finom porok	Durva porok		
	Valóságos oldatok		Dohányfüst	Barna füst					
Jellemző anyagok	Azbeszt szálak		Hamu	Cementpor			Esző cseppek		
	Atmoszférikus porok			Festékszóró kök			Tulajrészek		
	Szénpor			Turkógáz, por					
							Baktériumok		
Mérlet-meghatározás	Molekulasúly-meghatározás	Elektron mikroszkóp			Fénymikroszkóp	Szévelés	Százas		
					Ülepítés				
Porleválasztók alkalmazási területe				Elektrofiltrek					
				Szóvszűrők					
							Nedves mosó		
							Dumintegrátor		
						Multiciklon			
						Porkamra			



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

A porok áramlástechnikai törvényszerűségei, a lebegés és az ülepedés viszonyai, az atmoszférába jutó szilárd szennyezők mozgása, a porszórás jellege, valamint a porleválasztó berendezések működési feltétele és leválasztási hatásfoka nagymértékben függ a por szemcseösszetételétől. Az iparban alkalmazott porleválasztó berendezések méretezések, típusainak megválasztásakor a különböző mérethatárok közé eső részecskék arányának ismerete alapvetően fontos [2.6.].

A természetben előforduló, nem osztályozott porok mind lebegő, mind ülepedett állapotban polidiszperz – különböző méretű szemcsékből álló – rendszert alkotnak, amelyben a szemcsék mérete a legkisebbtől a legnagyobbig folyamatosan változik. A porszemcsék rendkívül nagy száma miatt a különböző méretek előfordulásának gyakorisága a nagy számok törvényszerűségének, a statisztikus valószínűségszámítás törvényeinek felel meg, azaz a szemcseeloszlást matematikai egyenlettel vagy grafikusán jellemezve folytonos görbét kapunk. Ennek hangsúlyozása során egy adott méretintervallumba tartozó részecskék, az ún. frakció mennyiségét szakaszosan tudjuk csak mérni, de mindig figyelembe kell vennünk, hogy a részecskék mérete nem ugrásszerűen, hanem folytonosan változik.



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

A kolloid finomságú porok a részecskék nagy fajlagos felületi energiája következtében labilis képződmények, melyek tulajdonságait a hordozó gázközeg – levegő, füstgáz, vegyipari hulladékgáz stb. – jellemzői is erősen befolyásolják. Az eredetileg különálló primér részecskéket felületi erők – adhézió, elektromos vonzás, higroszkóposság stb. – és az ezekkel szemben működő diszpergáló hatások különböző méretű és stabilitású szekunder képződményekké alakítják. Különösen erősek ezek a hatások a $60\ \mu\text{m}$ -nél kisebb méretű részecskék esetében. Ez megnehezíti a finom porok valódi szemcseméreteinek pontos meghatározását.

Magát a primér részecskéket jellemző szemcseméretet is csak gömb alakú szemcsék esetén lehet egyértelműen megadni. A lemez, tű, fonál stb. alakú részecskék esetében csak az ülepedésből számítható egyenértékű átmérőt tudjuk meghatározni. A továbbiakban a szemcsenagyság alatt ezért minden esetben az ekvivalens szemcseátmérőt értjük.



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

Tömeg, felület és szemcseszám szerinti eloszlást különböztetünk meg. Egészségügyi porvédelem szempontjából a szemcseszám megoszlás, vegyipari katalitikus technológiák esetén a felület, az ipari porleválasztó berendezések működtetéséhez pedig a tömeg szerinti szemcseösszetétel ismerete a lényeges. Ezért a továbbiakban csak ez utóbbival foglalkozunk részletesebben.

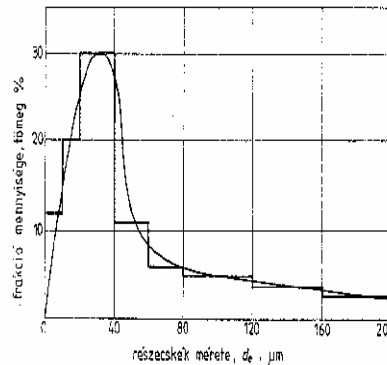
Legegyszerűbb esetben a tömeg szerinti szemcseösszetételt táblázatosan adják meg, vagy méretintervallumok, vagy pedig egy-egy meghatározott méretnél nagyobb szemcsék részaránya szerint.



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

A táblázatoknál szemléletesebben, és több következtetés levonására alkalmasak a grafikus szemcsészet görbék.

Az egyes szemcseméret határok közé eső szemcsék tömegének százalékos arányát mutatja a mellékelt hisztogram (lépcsőzetes görbe). A frakcióhatárok közéértékeit összekötve egy folyamatos görbét kapunk.



2.1. ábra.
Por frakcióösszetételének ábrázolása lépcsős és folyamatos görbével



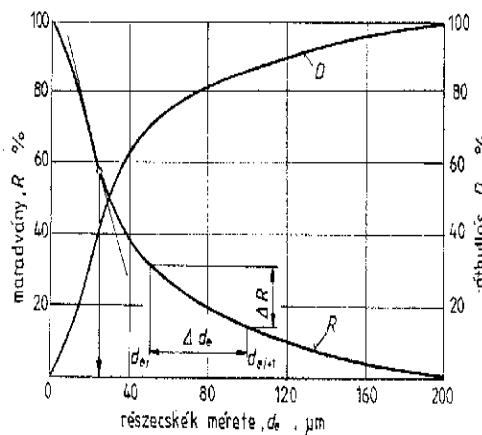
Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

A szemcsészet eloszlás ábrázolására a leggyakrabban az úgynevezett maradvány görbét (R) használjuk, amely kumulatív. Az mutatja, hogy egy adott szítméreten mennyi a fennmaradó részecskék tömege a teljes tömeg százalékában kifejezve.

Az áthullási görbe (D) az alábbi összefüggés alapján számítható:

$$D + R = 100\%$$

A görbe segítségével meghatározható két tetszőleges szemcseméret közötti tartomány ($d_{e,i} - d_{e,i+1}$) tömegszázalékos mennyisége (ΔR) kiszámítható



2.2. ábra.

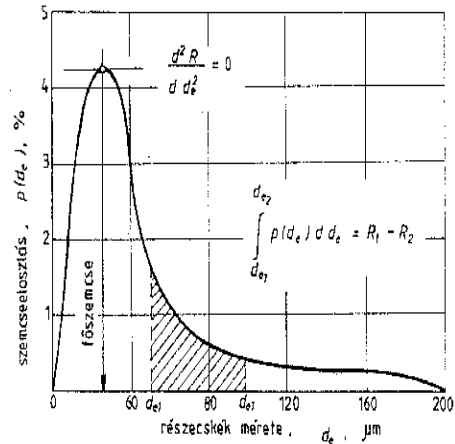
Porhalmaz maradvány (R) és áthullás (D) görbéje



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

Az R maradványgörbéből az előbbieket szerint szerkeszthető a porhalmaz szemcseeloszlás görbéje (gyakorisági görbe).

A görbéről leolvasható a leggyakoribb szemcse mérete, melyet főszemcse méretnek nevezünk.



2.3. ábra.
Porhalmaz szemcseeloszlási görbéje



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

- A porok szemcse összetételének mérési módszerei:
 - Szitálás
 - Szérelés (60-5 μm)
 - Szedimentálás
 - Impaktoros meghatározás
 - Lézeres szemcseösszetétel meghatározás



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

- **Részecskék mozgása gravitációs erőterben**

A részecskékre két ellentétes irányú erő a **gravitáció** és a **közegellenállás** hat.

A részecskék körüli áramlási ellenállás a közeg sebességváltozásából adódó **dinamikus** és a viszkozitásból adódó **súrlódási** ellenállás

A süllyedési sebesség függ a közeg áramlási jellemzőitől (Re szám) más módon számítható lamináris ($Re < 0,1$) átmeneti ($0,1 < Re < 1000$) és turbulens ($1000 < Re$) tartományban.

lamináris ($Re < 0,1$)	súrlódás a döntő a dinamikus elhanyagolható
turbulens ($1000 < Re$)	dinamikus a döntő a súrlódás elhanyagolható
átmeneti ($0,1 < Re < 1000$)	mindkét hatást figyelembe kell venni

A $0,1 \mu\text{m}$ -nél kisebb részecskék kaotikus (Brown-féle) mozgást végeznek, (lebegésben maradnak)



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

- **Részecskék mozgása centrifugális erőterben**

Centrifugális erőterben a részecskére a centrifugális erő

$$F_c = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad \text{kgm/s}^2$$

és az elmozdulással szemben ható súrlódási erő ($2/21$)

$$F_s = w_r \cdot 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \quad \text{kgm/s}^2$$

hat. Az összefüggésekben:

- m – a részecske tömege, kg;
- R – a részecske távolsága a forgási középponttól, m;
- ω – a forgás szögsebessége, 1/s;
- w_r – a részecske sugár irányú sebessége, m/s;
- η – a diszperziós közeg dinamikus viszkozitása, kg/ms, (pa · s);
- d – a részecske átmérője, m.



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

Ha a részecskét gömb alakúnak tételezzük fel, akkor ρ_r sűrűség esetén a tömege:

$$m = \frac{d^3 \cdot \pi}{6} \cdot \rho_r \quad \text{kg.}$$

A szögsebességet a w_t érintő irányú sebességgel kifejezve:

$$\omega = \frac{w_t}{R} \quad \text{1/s.}$$

A fentieket behelyettesítve a (2/27)-be a centrifugális erő:

$$F_c = \frac{d^3 \cdot \pi}{6} \cdot \rho_r \cdot \frac{w_t^2}{R}.$$

A részecske sugár irányú sebessége akkor állandósul, ha

$$F_c = F_s,$$



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

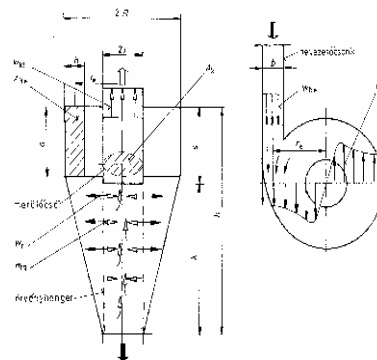
$$F_c = F_s,$$

$$\frac{d^3 \cdot \pi}{6} \cdot \rho_r \cdot \frac{w_t^2}{R} = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot w_r.$$

Ebből a sugárirányú sebesség:

$$w_r = \frac{d^2 \cdot \rho_r \cdot w_t^2}{18 \cdot R \cdot \eta} \quad \text{m/s,}$$

A képlet az R sugárhoz tartozó érintővel a ciklonba w_t sebességgel belépő részecskének a ciklon fala felé irányuló sebességét w_r adja.





Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

• Részecskék mozgása elektromos erőterben

Elektromos töltéssel rendelkező részecske a töltésével ellentétes elektróda felé mozog. Az elektródák között kialakuló sebesség az elektrosztatikus erőtől és a súrlódási ellenállástól függ.

Az elektrosztatikus erő nagysága:

$$F_E = E \cdot Q \quad \text{kgm/s}^2$$

ahol:

- E – a villamos térerősség, V/m;
 Q – részecske villamos töltése, As.

A töltés nagysága az E térerősségtől, a részecske d átmérőjétől és anyagának ϵ permittivitásától függ:

$$Q = \frac{E \cdot \epsilon \cdot d^2}{4} \quad \text{As.}$$



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

- A **permittivitás** annak a mértéke, hogy egy közeg mennyire áll ellen a rá ható elektromos térrel szemben.
- Más szavakkal, a permittivitás megmutatja milyen mértékben hat egy **elektromos tér** a közegre, a **dielektrikumra**.
- A permittivitást az anyag azon képessége határozza meg, hogy az mennyire képes polarizálni a tér hatására, és így csökkenteni a teljes elektromos teret az anyagon belül.
- Úgy is mondhatjuk, hogy a permittivitás megmutatja az anyag képességét az elektromos mező átadására.
- A permittivitás közvetlenül kapcsolódik az **elektromos szuszceptibilitáshoz**, amely azt mutatja meg, hogy milyen könnyen polarizálja a dielektrikumot az elektromos tér.



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

$$Q = \frac{E \cdot \varepsilon \cdot d^2}{4} \quad \text{As.}$$

$$F_E = E \cdot Q \quad \text{kgm/s}^2$$

$$F_E = \frac{E^2 \cdot \varepsilon \cdot d^2}{4} \quad \text{kgm/s}^2.$$

Az egyenletes w sebesség az F_E és az $F_s = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot w$ súrlódási erő egyenlősége esetén alakul ki:

$$\frac{E^2 \cdot \varepsilon \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot w.$$

Ahonnan a részecske sebessége az elektróda irányába:

$$w = \frac{E^2 \cdot \varepsilon \cdot d}{12 \cdot \pi \cdot \eta} \quad \text{m/s.}$$



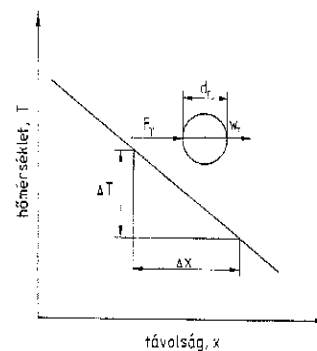
Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

- Részecskék mozgása hőmérséklet gradiens hatására**

Tyndall, Rayleigh, Aitken megfigyelései szerint a szilárd részecskék a hőmérséklet gradienssel rendelkező térben a melegebb helyről a hidegebb helyre vándorolnak.

Ez a **termodiffúzió**nak vagy **termoforézis**nek nevezett jelenséget a kinetikus gázelmélet alapján magyarázhatjuk.

A gömb alakú részecske bal oldalára magasabb hőmérséklet miatt a gázmolekulák nagyobb sebességgel ütköznek mint a jobb oldali hidegebb felületnek.





Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

- **Részecskék mozgása hőmérséklet gradiens hatására**

$$F_T = - \left(\frac{9\pi \cdot d_r \cdot \mu^2}{2\rho_g T} \left[\frac{\lambda_g}{2(\lambda_g + \lambda_r)} \right] \frac{\Delta T}{\Delta x} \right)$$

d_r - részecske egyenértékű átmérője;
 μ - gáz viszkozitása;
 ρ_g - gáz sűrűsége;
 λ_g, λ_r - a gáz és a részecske hővezetőképessége;
 w_T - a részecske áramlási sebessége a melegebb helyről a hidegebb felé;
 $\Delta T/\Delta x = \text{grad } T$ - a hőmérséklet gradiens;
 T - a vizsgált térrész átlagos hőmérséklete.

Az összefüggésben a negatív a hőmérséklet gradienssel ellentétes irányú erőt jelzi.

A gömb felületén jelentkező surlódási erőt a **Stokes** egyenlet írja le.

$$F_s = 3\pi \cdot d_r \cdot \mu \cdot w_T$$



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

- A két egymással ellentétes erő akkor hoz létre egyenes vonalú egyenletes mozgást amikor nagyságuk azonos és irányuk ellentétes.

$$F_T = F_s$$

A fenti képletbe behelyettesítve

$$- \left(\frac{9\pi \cdot d_r \cdot \mu^2}{2\rho_g T} \left[\frac{\lambda_g}{2(\lambda_g + \lambda_r)} \right] \frac{\Delta T}{\Delta x} \right) = 3\pi d_r \mu w_T$$

A részecske áramlási sebessége a hidegebb oldal irányába

$$w_T = \left(\frac{3\mu\lambda_g}{4\rho_g T(\lambda_g + \lambda_r)} \right) \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



Szilárd légszennyező anyagok leválasztó eljárásai és berendezései

Az ipari porleválasztás

A porszemcséknek a vívógázból való leválását olyan erők idézik elő, amelyek hatására a vívógázhoz képest a porszemcsék relatív elmozdulása következik be. A különböző porleválasztó berendezéseken fellépő hatások: a nehézségi erő, a centrifugális erő, a villamos erő, diffúzió, szűrők rácshatása.

A porleválasztó berendezés leválasztási teljesítménye attól függ, hogy ezek az erők a gázáramban levő porszemcsékre milyen mértékben hatnak. Ezeknek az erőknek a jellemzésére a terhelési szorzó ($n = w^2/rg$) fogalmát vezették be. Ez kifejezi, hogy a szemcsékre a nehézségi erő hányszorosa hat.

Az iparban előforduló nagy térfogatú és nagy portartalmú gázok tisztítására

- száraz mechanikus leválasztókat,
 - nedves mosókat,
 - elektrosztatikus gáztisztítókat és
 - szűrőbetétes porleválasztókat
- használnak a leggyakrabban.

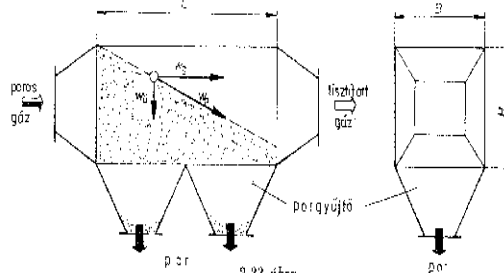


Porkamrák

A porleválasztás legegyszerűbb berendezései a nehézségi erő kihasználásával működő porzsákok és porkamrák.

A méretezés alapelve, hogy az áramlási sebesség alacsonyabb legyen mint az ülepedési sebesség, és semmiképpen sem következhet be a már leülepedett részecskék elragadása (max 3 m/s)

Legtöbbször csak más leválasztók előtt előleválasztóként alkalmazzák a következő fokozat tehermentesítésére.



2.33. ábrn.
Porkamra vázlat

A porkamrában a porleválasztáshoz szükséges időtartamot a kamra legfelső szintjén belépő részecskék leülepedésének feltételéből lehet kiszámítani:

$$t = \frac{H}{w_s} = \frac{H \cdot B \cdot L}{V_g} = \frac{L}{w_g} \quad (2/32)$$

ahol:

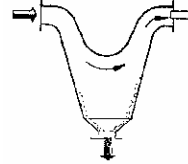
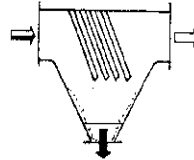
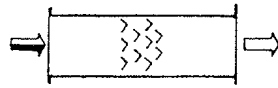
- t – a leválasztási időtartam, s;
- w_s – az ülepedési sebesség, m/s;
- w_g – a gáz áramlási sebessége, m/s;
- V_g – a gáz térfogatárama, m³/s;
- H, B, L – a porkamra magassága, szélessége, hossza, m.

A porkamra összeporleválasztási hatásfoka:

$$\eta_o = \frac{L \cdot w_s}{H \cdot w_g} \cdot 100 \quad \% \quad (2/36)$$



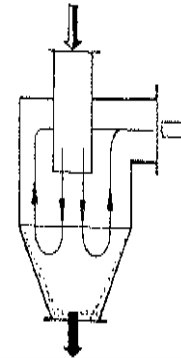
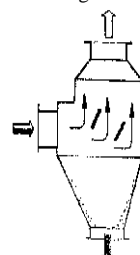
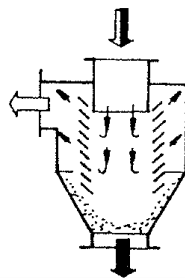
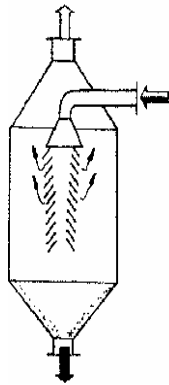
Írányváltásos porleválasztók



A $60\ \mu\text{m}$ -nél kisebb szemcsék leválasztásához túl nagy kamrákat kellene építeni, ezért ütközéses leválasztókat használnak

A por a gázáram éles irányváltoztatásaikor válik ki a rövid ideig fellépő centrifugális erő hatására.

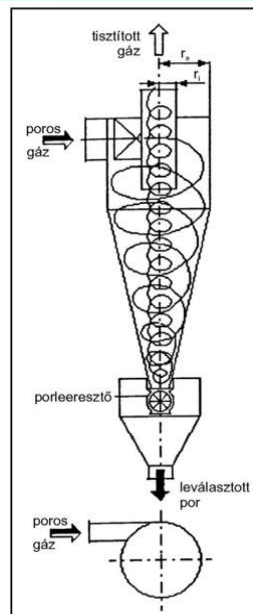
Fő csoportjai a megosztott- és az osztatlan gázáramú készülék



Ciklonok

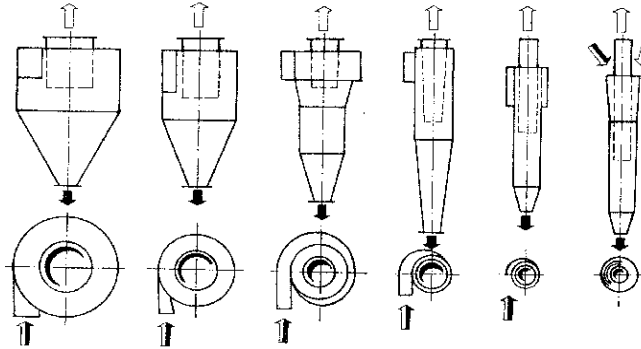
A porleválasztás legismertebb készülékei a ciklonok, melyekben mozgó alkatrészek felhasználása nélkül létrehozott centrifugális erő segítségével választják ki a szemcséket a hordozó közegből.

- Fő részei:
 - Gázbevezető csomók
 - Hengeres rész
 - Kúpos rész
 - Gázkivezető cső (merülő cső)
 - Porokivezető nyílás
 - Portartály
- A merülő cső átmérőjével azonos méretű képzeletbeli henger az **örvényhenger**, melynek a felületén 50%-os valószínűséggel válnak ki az úgynevezett **határszemcsék**.





Ciklonok



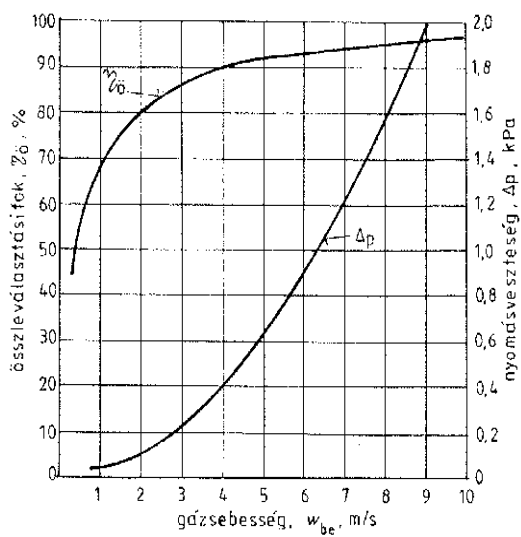
$$H = \frac{h}{r}$$

A teljes magasságarány segít a ciklonok kiválasztásában.

Mínél nagyobb H értéke annál kisebb a határszemcse



Ciklonok



Ciklonban a gázsebesség növekedésének függvényében növekszik az összleválasztási hatások és a nyomásvesztés is.



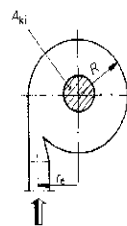
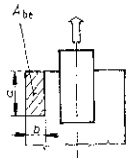
Ciklonok

Ciklonokba a gáz bevezetésére három megoldás terjedt el.

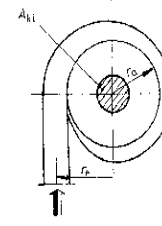
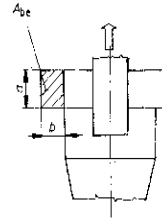
Az axiális bevezetésnél a merülőcső körül henger-szimmetrikusan elhelyezett perdítő elemek készítik a gázt forgó mozgásra.

Örvénycsőeknek is nevezzük a karsú, axiális ciklonokat.

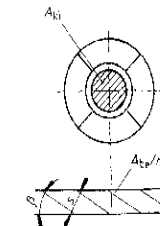
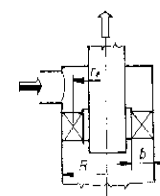
a.) tangenciális



b.) spirális



c.) axiális



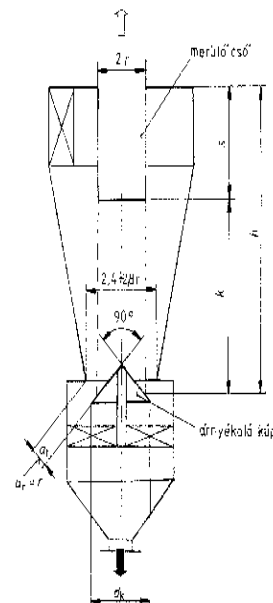
Ciklonok

Ciklonok üzemeltetésénél kiemelt figyelmet kell fordítani a hamislevégő betörések elkerülésére. Nagy gondot kell fordítani a gáz be és elvezetésén túl a por elvezetés gáztömör megoldására.

Hamislevégő betörés akár 25%-al is csökkentheti a ciklon hatásfokát.

A porelvezetésnél egy jól méretezett árnyékoló kúp akár 10-20%-os hatásfok növekedést is hozhat.

A ciklonok belső felületének simaságára is oda kell figyelni, mert bármilyen áramlást zavaró hiba (hegesztési varrat, benyúló tömítés, felületi egyenetlenség) is a leválasztást rontja.

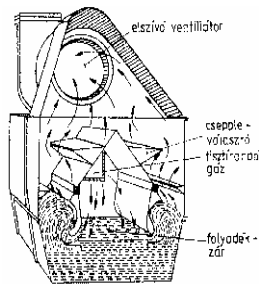




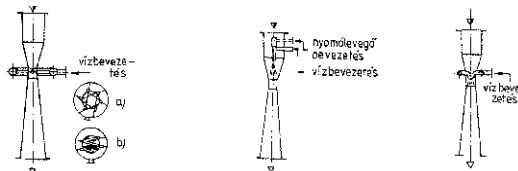
Nedves mechanikus leválasztók

A különböző gázmosó berendezések (abszorberek) sajátosságainak és a gázban diszpergált szilárd részecskék, aeroszolok tulajdonságainak függvényében eltérő hatásokkal kötik meg a porokat.

Általában kombinált eljárásként kerülnek használatra, mert csak szilárd légszennyezők leválasztására elsődlegesen a száraz eljárások használatosak (nem jelenik meg a folyadék, iszap mint kezelendő közeg) kivéve, ha a poros gáz száraz tisztítása robbanásveszélyes lenne.



Ilyen a már ismert ROTO-CLONE berendezés és a VENTURI mosók.



Nedves mechanikus leválasztók

A porrészecskéknek a gázból mosófolyadékkal történő leválasztásának legfontosabb folyamatai:

- A gázban lévő részecskék nedves felülethez/közeghez való juttatása (energia bázisú leválasztók)
- A szemcsék befogása a mosó folyadékba és a részecskék kiülepítése
- A poros közeg (folyadék) eltávolítása a leválasztóból

A betétes mosótornyok a feltapadás, tömődés veszélye miatt nem alkalmasak por leválasztására.

A habkolonnák sem használatosak, mert a por üzemviteli problémákat okoz.

Az 1µm-nél kisebb részecskék leválasztására a nedves leválasztók közül a Venturi mosók a legalkalmasabbak.

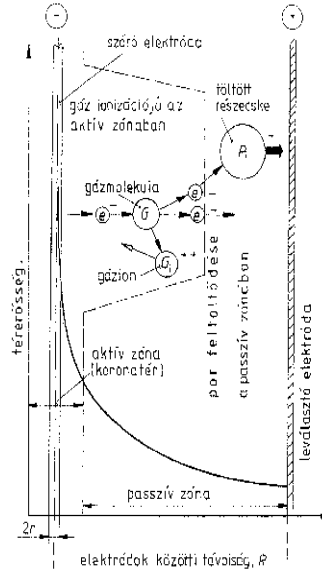


Elektrosztatikus leválasztók

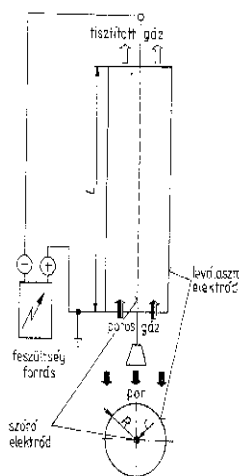
Az elektromos leválasztók működése azon alapszik, hogy a töltéssel rendelkező részecskék az ellentétes polaritású elektróda felé vándorolnak.

A leválasztás során végbemenő folyamatok:

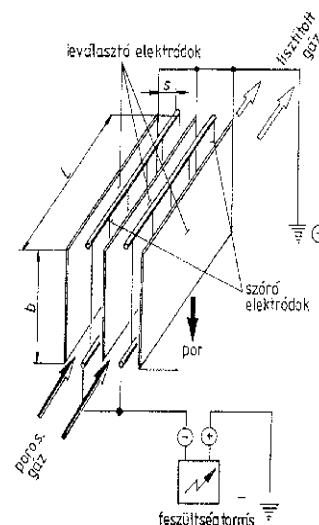
- Gázionok képződése a **szóró-elektrodánál** (korona kisülés)
- A szilárd részecskék feltöltődése a gázrészecskékkel való ütközéskor
- A töltéssel rendelkező összetevők (gáz, por) vándorlása az ellentétes polaritású **leválasztó elektróda** felé
- Töltéscserelődés az elektróda felületén, porfeltapadás
- Az elektródára feltapadt por eltávolítása



Elektrosztatikus leválasztók

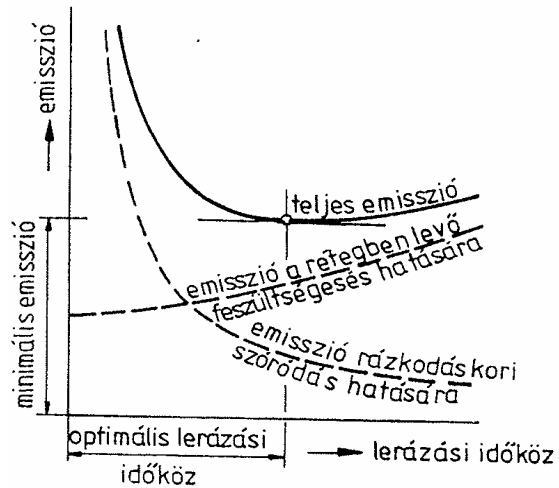
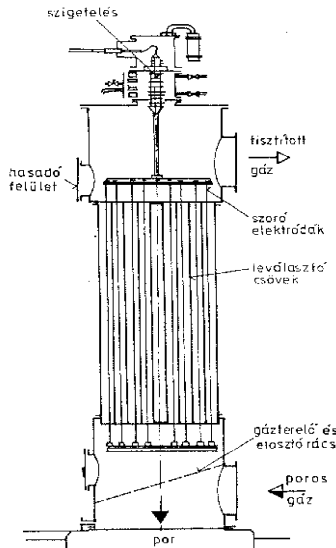


Csöves és kamrás elektromos leválasztók vázlata látható a képeken

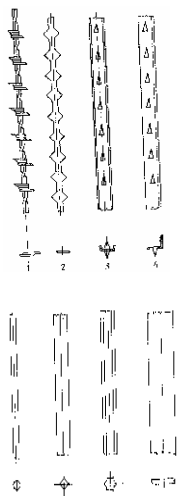




Elektrosztatikus leválasztók

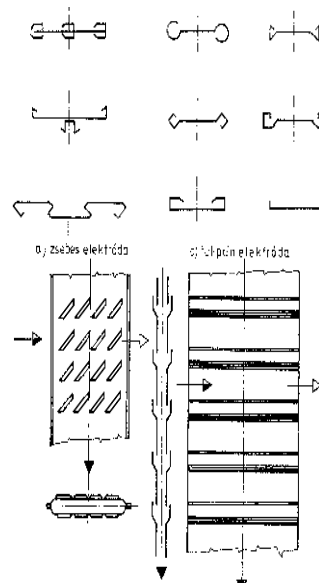


Elektrosztatikus leválasztók



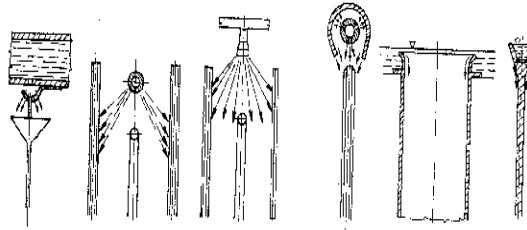
A szóró elektróda vékony huzalból (nagy térerő létrehozása), a leválasztó elektróda nagy görbületi sugarú csőből, zártprofilból vagy sík lemezből készül.

A megfelelő működés érdekében az elektródák felületét rendszeresen tisztítani kell, a por eltávolítása céljából.





A nedves villamos leválasztóban a por eltávolítására a leválasztóelektrodákra vizet permeteznek és a lefolyó vízfilm a porszemcséket lemossa a leválasztóelektrodáról, kiszállítja a leválasztótérből (2.58. ábra). A nedves leválasztás hátránya, hogy a gázhőmérsékletnek alacsonynak kell lennie (kb. 80 C) és korrózióálló szerkezeti anyagból kell készíteni a berendezést. A vízfelhasználás többletköltséget okoz.



2.58. ábra.

Nedves elektromos porleválasztók elektrodái lemosásának megoldásai

A nedves porleválasztást olyankor alkalmazzák, amikor rendkívül nagy leválasztási hatásfokra törekvésnek vagy pedig a por ellenállása kedvezőtlen a leválasztóberendezés üzemeltetése szempontjából (nagyon nagy vagy nagyon kicsi).

A nedves villamos leválasztó működése nem függ a por fajlagos ellenállásától, porvisszaáramlás nem rontja a leválasztási hatásfokot.



Porleválasztás szűréssel

• A porszűrés fizikai alapjai.

Ahhoz, hogy a vívőgázban diszpergált szilár, aeroszol részecskék leváljanak egy szűrőközeg felületén különböző erők együttes hatására van szükség, ezek a következők:

- A tehetetlenségi erő az elemi szál körüláramlásakor, részecske befogása, impakt (beekelődés) hatás
- Molekuláris diffúzió, a gázmolekulák hőmozgása miatt
- Villamos erő, ha a szemcsének vagy a szűrőközegnek töltése van
- Hálós hatás, a szűrőanyag pórusmérete kisebb mint a szemcseméret



Porleválasztás szűréssel

- **Szűrőanyagok és tulajdonságaik**

A szűrőanyagok készülhetnek :

- természetes (állati vagy növényi eredetű) anyagokból:
 - gyapjú, gyapot, len, kender,
- ásványi anyagokból:
 - ásványgyapot
- mesterségesen előállított szervesanyagokból
 - üveg és fémszálak
- mesterségesen előállított szervesanyagokból:
 - PVC, poliészter, PTFE, ...
- mesterségesen előállított kombinált szerkezetek:
 - szilikon és/vagy grafit réteggel bevont üvegszál, égésgátló bevonatok,...



Porleválasztás szűréssel

- **Szűrőanyagok és tulajdonságaik**

A szűrőanyagok felépítése :

- Szűrőszövetek:
 - Fonalak, vágott szálak szövési eljárással
- Tűzött filcek:
 - Rostszálak nemezeléssel
- Szendvics szerkezetek
 - rostszálak közé szűrőszövet (tartó) és együtt nemezelik



Porleválasztás szűréssel

Jellemzők	Üvegszál	SZÜRŐANYAGOK									
		Természetes szájakból					Műszájakból				
		Egyipü	Egyapot	poli(vinil- klorid) PVC, PvCl, Vr- nylon	alfás polia- mid Nylon, Perlon, Phylon, Danulon	aromás poliamid Nomex	polihetil- nitril Redon, Draalon, Orlon	poliészter Diolen, Trevira, Farylene, Dacron	polipropi- lén Hostalen, MeraKlon	poli(tetra- fluor-etilén Hostaflon, Vilon, Gafilon, Teflon	
Sűrűség, kg/m ³ · 10 ⁻³	2,54	1,32	1,47 ... 1,50	1,80 ... 1,44	1,13 ... 1,15	1,38 ... 1,41	1,17	1,38	0,91	2,1 ... 2,3	
Törési nyílás, %	3 ... 4	25 ... 35	7 ... 10	12 ... 25	25 ... 45	–	30 ... 40	40 ... 55	–	10 ... 25	
Nedvességfelvétel 20°C-on és 65% relatív levegőnedvesség esetében, %	0	10 ... 15	8 ... 9	0	4 ... 4,5	4,5 ... 5	1,3 ... 2	0,4	0,01 ... 0,1	0	
Nedves szilárdság a száraz szilárdság %-ában	–	85	110	100	90	–	90 ... 95	93 ... 97	–	100	
Dezradás, %	0	50 ... 70	50 ... 80	1	10 ... 14	–	7	3 ... 4	–	0	
Hőmérséklet-állóság – tartósság, °C – max. °C	250 350	80 ... 90 100	75 ... 85 95	40 ... 50 65	75 ... 85 95	220 260	125 150	140 160	95 120	200 250	
Elváltások hőmérséklet-emelkedéskor	300°C felett szilárdság- csökkenés, 675°C-nál lágyl. 850°C felett olvad	100°C felett törékeny	120°C-on sárgulni kezd	70 ... 100°C között lágyl., 150°C felett olvad	150°C-on sárgul, 160°C felett lágyl., 215°C-nál olvad	180°C felett szilárdság- csökkenés	260°C-on lágyl.	100°C felett hid- rolízisve- sség, 260°C felett olvad	140°C felett lágyl., 160°C felett olvad	325°C felett lágyl., 400°C felett olvad	
Fajlagos villamos ellenállás, Ω · cm	10 ¹⁵	5 · 10 ⁸	7 · 10 ⁸	10 ¹⁵	4,1 · 10 ¹⁰	10 ¹¹ 8 · 10 ¹³	5 · 10 ⁸	10 ⁸	10 ¹⁶ ... 10 ¹⁸	10 ¹⁶	



Porleválasztás szűréssel

•Fajlagos felületi terhelés

Az időegység alatt tisztítandó gáz térfogatának és a szűrőközeg felületének hányadosa.

Nevezik szűrőarányának és szűrési sebességnek is.

$$U_f = \frac{V}{A_f} \quad \text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h},$$

ahol:

- U_f – a szűrő felületi terhelése, m/h;
- V – a gáz térfogatárama, m³/h;
- A_f – a szűrőanyag felülete, m².



Porleválasztás szűréssel

•Szűrők áramlási ellenállása

A szűrőberendezéseken kialakuló nyomásesés két fő összetevője a **tiszta szűrőanyag** és a **lerakódott porréteg** ellenállása.

A ritkább szövésű **szűrők** áramlási **ellenállása** kisebb mint a sűrű szövésűeké, mivel az áramlási sebesség általában alamináris tartományban van ezért az ellenállás a gáz mennyiségétől függ és mértéke egyenesen **arányos a szűrési sebességgel**.

A levált **porréteg és a szűrő együttes ellenállását** meghatározó tényezők:

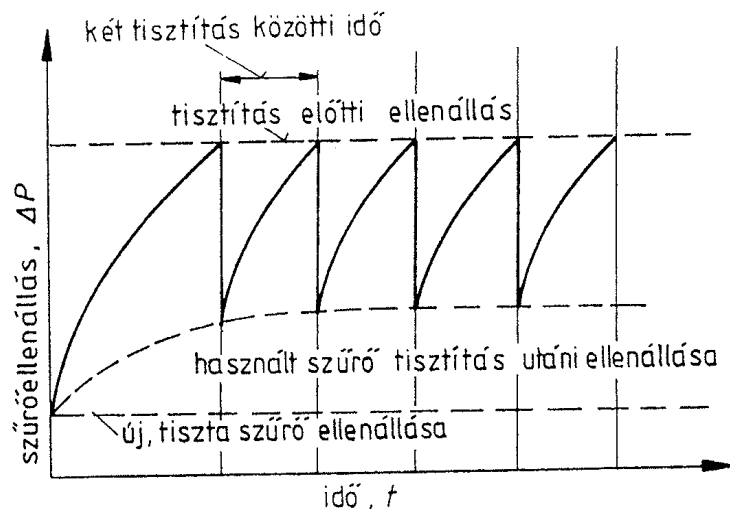
- Szűrőréteg felületi terhelése
- A szűrőanyag szabad térfogata
- Vívógáz tulajdonságai (sűrűség, viszkozitás, nedvességtartalom..)
- A por koncentrációja a gázban, vagy a porterhelés mértéke
- A por jellemzői (szemcseméret, méreteloszlás, morfológia, fizikai/kémiai tul.)

Az ellenállásból adódó nyomásesés a berendezés gazdaságos üzemeltetése szempontjából meghatározó.



Porleválasztás szűréssel

•Szűrők áramlási ellenállása





Porleválasztás szűréssel

•Szűrők tisztítása

A szűrőszövetek felújításához (porréteg eltávolítás) általában a portartalmú gáz hozzávezetését meg kell szüntetni. Folyamatos gázáram esetén a szűrőteret meg kell osztani, és egy-egy kamra kikapcsolásával oldható meg a tisztítás.

A tisztítás történhet mechanikus vagy pneumatikus módszerrel. A kialakítás függ a szűrő és a por valamint a vívőgáz tulajdonságaitól.

Végezhető poreltávolítás nagy intenzitású és alacsony frekvenciájú hanghullámokkal is. (140 dB 370 Hz < 110dB 13 Hz ezerszeres hangnyomás csökkenés ráadásul a hallhatósági határ alatt)

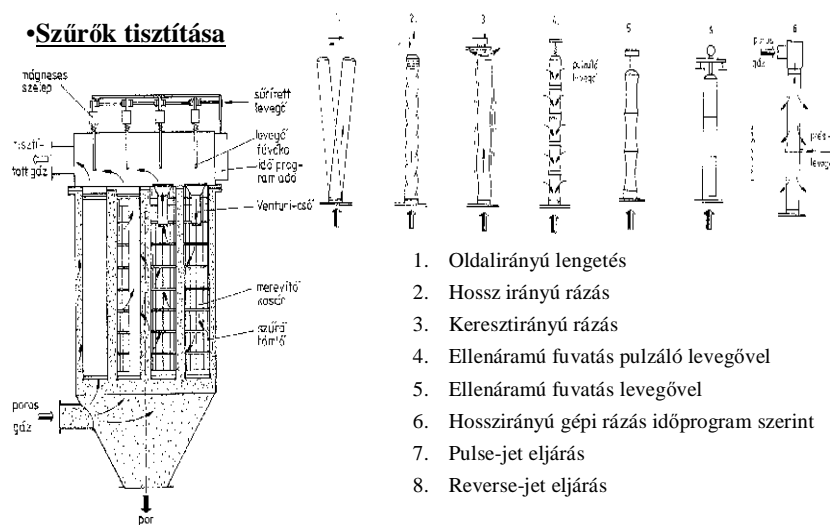
Pulse-jet eljárás nagynyomású ellenáramú levegő bevezetése (nincs leállás)

Reserve-jet eljárás folyamatos poreltávolítás a tömlőt körülvevő és folytonosan mozgó fuvókákkal (nincs leállás)



Porleválasztás szűréssel

•Szűrők tisztítása





Porleválasztás szűréssel

•Szűrők összleválasztási hatásfoka

A porleválasztás hatásfokát meghatározó fő tényezők:

- A por tulajdonságai (átmérő, alak, sűrűség, szemcseméret-eloszlás)
- A vivőgáz tulajdonságai (szűrési sebesség, nyomás hőmérséklet)
- A szűrőréteg tulajdonságai (rostátmérő, porozitás, vastagság)

Az összleválasztási hatásfok azt fejezi ki, hogy a tisztítandó gáz portartalmából mennyi válik le a készülékben a nagyon jó hatásfokkal üzemelő berendezések esetén kényelmetlen a sok tizedes használata, ott bevezették a penetrációval (áthatolás) való jellemzést.

$$\eta_s = 100 \frac{m_1}{m_s} = 100 \cdot \frac{m_1}{m_t + m_1} = 100 \cdot \frac{m_s - m_t}{m_s} = \left(1 - \frac{m_t}{m_s}\right) 100 \% \quad P_t = 100 - \eta_s, \%$$

ahol:

- η_s - az összleválasztási fok, %;
- m_1 - a leválasztott por tömege, kg;
- m_s - a szennyezett gázáramban levő por tömege, kg;
- m_t - a tisztított gázáramban levő por tömege, kg.



Porleválasztás szűréssel

•Szűrők méretezési elvei

A méretezés során az ez idáig megismert szempontokon (vivőgáz, por, leválasztó tulajdonságainak ismerete) túl kiemelt jelentősége van a kapcsolódó **technológia** ismeretének.

A leválasztási műveletnek a technológián belüli szerepe, helye szükséges működési módja (szakaszos/folyamatos) teljesítménye szabja meg a teljesítményigényt és működési módot.

Ezt követően lehet kiválasztani a berendezés típusát a felhasználásra kerülő leválasztó anyagot, a tisztítási módszert....

Amennyiben lehetséges célszerű kísérleti berendezésen (modell kísérlet) hosszabb idejű leválasztási kísérleteket végezni, ha a rendelkezésre álló irodalmi adatok nem teljes körűek az adott feladat tekintetében.

A konkrét üzemi feladatokhoz a porleválasztók előnyeit és hátrányait az emissziós normákat és a beruházási, üzemeltetési költségeket is mérlegelve lehet kiválasztani a megfelelő eljárást.



Porleválasztás szűréssel

•Szűrők kialakítása

- A szűrőréteg kialakítása szerint
 - Tömlős (zsák)
 - Táskás (felületi)
 - Gyertya
 - Szemcsés rétegű (nyugvó vagy bolygatott ágyas)
- Poreltávolítás módszere szerint
 - Rázott
 - Kisnyomású levegővel tisztított
 - Nagynyomású pulzáló levegővel tisztított (pulse-jet)
 - Ellenáramú levegőnyomással tisztított (reverse-jet)
- A szennyezett gáz bevezetési módja szerint
 - Szívott
 - Nyomott

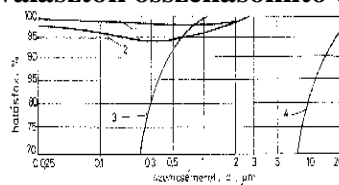


Porleválasztók összehasonlító értékelése

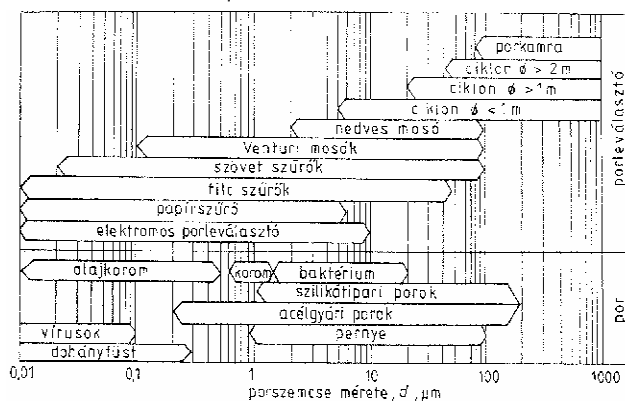
A porleválasztók
frakció portalanítási
hatásfokát

illetve

az alkalmazhatósági
tartományait
szemléltetik az
ábrák



- 1.Filc szűrők
- 2.Elektrofilterek
- 3.Ventúri mosó
- 4.Ciklon





Porlevásztók összehasonlító értékelése

• A különböző berendezések előnyei és hátrányai:

Száraz mechanikus

- Előnyei:
 - Folyamatos üzemi működéssel alkalmasak száraz és nedves porok leválasztására
 - Széles hőmérséklet tartományban üzemeltethetők (megfelelő béléssel akár 1000 °C fölött is)
 - Nem érzékenyek a gázáram változó porkoncentrációjára
- Hátrányai
 - Nem alkalmas 5 µm-nél kisebb szemcsék leválasztására
 - Gázhalmazállapotú szennyezőket nem tudja leválasztani
 - Leválasztási hatásfokukat erősen befolyásolja a gáz térfogatárama



Porlevásztók összehasonlító értékelése

• A különböző berendezések előnyei és hátrányai:

Nedves mosók

- Előnyei:
 - Gáz és szilárd szennyezők egyidejű leválasztása
 - Tűz és robbanás veszélyes gázok tisztítására is alkalmas
 - Nagy hőmérsékletű gázok hűtésére és tisztítására is jók
 - Alkalmas 5 µm-nél kisebb szemcsék leválasztására
 - Nedves gázok esetén sem változik az áramlási ellenállásuk
 - Széles tartományban változhat a gáz térfogatárama
 - Nem érzékeny a porkoncentráció lökészerű változásaira
- Hátrányai
 - Jó leválasztási hatásfokhoz nagy nyomásesést kell létrehozni
 - A nedves közeg miatt korróziós és eróziós hatások is felléphetnek
 - Külön víz és zagykezelő berendezést igényelnek (magasabb beruházási és üzemeltetési költségek)



Porlevásztók összehasonlító értékelése

• A különböző berendezések előnyei és hátrányai:

Elektrosztatikus porlevásztók

- Előnyei:
 - Alkalmas 0,1 μm -nél kisebb szemcsék leválasztására
 - Üzem közben alacsony a nyomásváltozásuk
 - Alacsony az üzemeltetési költség
 - Magas hőmérsékleten is jól üzemeltethetők
 - A gáz kén-dioxid tartalma javítja a leválasztási hatásfokot
 - Nedves elektróda tisztításnál alkalmasak gáz összetevők megkötésére is
- Hátrányai
 - Érzékenyek a működés közbeni nyomás és térfogatáram változásokra
 - Magas beruházási költségek
 - A por fajlagos elektromos ellenállásának változása erősen kihat a leválasztási hatásfokra és az üzemeltetési költségre.
 - Tapadásra, cementálódásra hajlamos porok leválasztására nem alkalmasak



Porlevásztók összehasonlító értékelése

• A különböző berendezések előnyei és hátrányai:

Porszűrők

- Előnyei:
 - Alkalmas 0,1 μm -nél kisebb szemcsék jó hatásfokú leválasztására
 - Nem érzékeny a porkoncentráció lökésszerű változásaira
 - Leválasztási hatásfokuk kevésbé függ a szemcseösszetételtől
 - Viszonylag kicsi az áramlási ellenállásuk
- Hátrányai
 - Viszonylag kis hőmérséklettartományban alkalmazhatók csak üzembiztosan
 - Magas nedvességtartalom esetén hajlamosak a szűrőközeg elnedvesedésére, eltömődnek.