

SZAKDOLGOZAT

RADICS ZOLTÁN

Hulladékkezelési és -hasznosítási szakmérnöki szak

Gödöllő

2023



Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Hulladékkezelési és -hasznosítási szakmérnöki szak

**KŐOLAJIPARI TECHNOLÓGIÁBÓL SZÁRMAZÓ SZILÁRD
PORKIBOCSÁTÁS CSÖKKENTÉSE**

Belső konzulens:	Dr. Géczi Gábor Egyetemi docens
Külső konzulens:	Petrényi Gabriella Szenior vezető tervező
Készítette:	Radics Zoltán F86D69 levelező tagozat
Intézet:	Környezettudományi intézet

Gödöllő

2023

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	4
2.	Szakirodalmi áttekintés.....	5
2.1	A katalitikus krakkolás technológiája	5
2.2	Jogszabályok ismertetése	7
2.3	A gáztisztítás lehetséges módjai és berendezései	8
2.3.1	Erőhatáson alapuló berendezések	11
2.3.2	Centrifugális erőn alapuló porleválasztók	13
2.3.3	Elektrosztatikus porleválasztók	14
2.3.4	Nedves porleválasztók	16
2.3.5	Szűrő típusú porleválasztók.....	18
3.	Anyag és módszer.....	20
3.1	FCC üzemben alkalmazott porleválasztási technológiák	20
3.2	Elektrosztatikus porleválasztó	21
3.3	A mérés folyamata	24
4.	Eredmények.....	26
5.	Következtetések és javaslatok	33
6.	Összefoglalás	34
	IRODALOMJEGYZÉK	35

1. BEVEZETÉS

A környezeti levegő mindig is tartalmazott szennyező anyagokat és vízgőzt, hiszen a természeti folyamatok hatására (erdőtűz, vulkánkitörés, porvihar stb.) lokálisan a levegőbe kerültek. Ha a szennyezettség mértéke arányban van a természetes öntisztulási folyamattal, akkor az élővilág életminőségét nem veszélyezteti. Az ipari forradalom hatására az iparvidékek környékén szemmel láthatóan és érezhetően megnövekedett a környezeti levegő szennyezőanyag tartalma. Ez azt bizonyítja, hogy az emberi tevékenység képes a természetes öntisztulási folyamat egyensúlyát felborítani. Mivel az élővilág elengedhetetlen eleme a levegő, többek között az emberi anyagcsere legfontosabb összetevője, így érdekünk a levegő védelme.

Az utóbbi évtizedekben tudományosan is vizsgáljuk a levegő összetételét, az élővilág és a levegő kapcsolatát. A rendelkezésre álló adatok és tapasztalatok alapján a levegő tisztaságának védelme érdekében a különböző államok és szervezetek környezetvédelmi szabályrendszereket hoztak létre. Mivel a légszennyezés nem áll meg az országhatárokon, így fontos az ilyen rendeletek, intézkedések betartása és ezek folyamatos ellenőrzése.

Az ipar fejlődésével a modern technológiai folyamatok melléktermékeként egyre finomabb és kisebb méretű szennyezőanyagok keletkeznek, amik hatása is egyre agresszívabb a környezetre és az emberi szervezetre is, ezért a jogszabályi előírások és rendeletek egyre jobban szigorodnak. A megfelelő technológia és berendezés kiválasztása egyre nagyobb kihívás elé állítja a szakembereket, hiszen a környezetvédelmi előírások mellett gazdaságilag is meg kell felelni.

Ipari példán keresztül szeretném bemutatni egy működő olajipari technológia porleválasztási kihívását a változó rendeletek megfelelőségének érdekében. Röviden ismertetem az ipari technológiát, aminek melléktermékeként füstgáz keletkezik. Összegyűjtöttem a porleválasztás gyakorlatban elterjedt módszereit és berendezéseit. A kormányrendelet poremissziós határértékének szigorodása miatt fejleszteni kellett az üzem füstgáztisztítási rendszerét olyan technológiával, ami hosszú távon képes biztosítani a határérték alatti porkibocsátást. Ennek a problémának a megoldását szeretném ismertetni egy konkrét olajipari létesítmény példáján.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

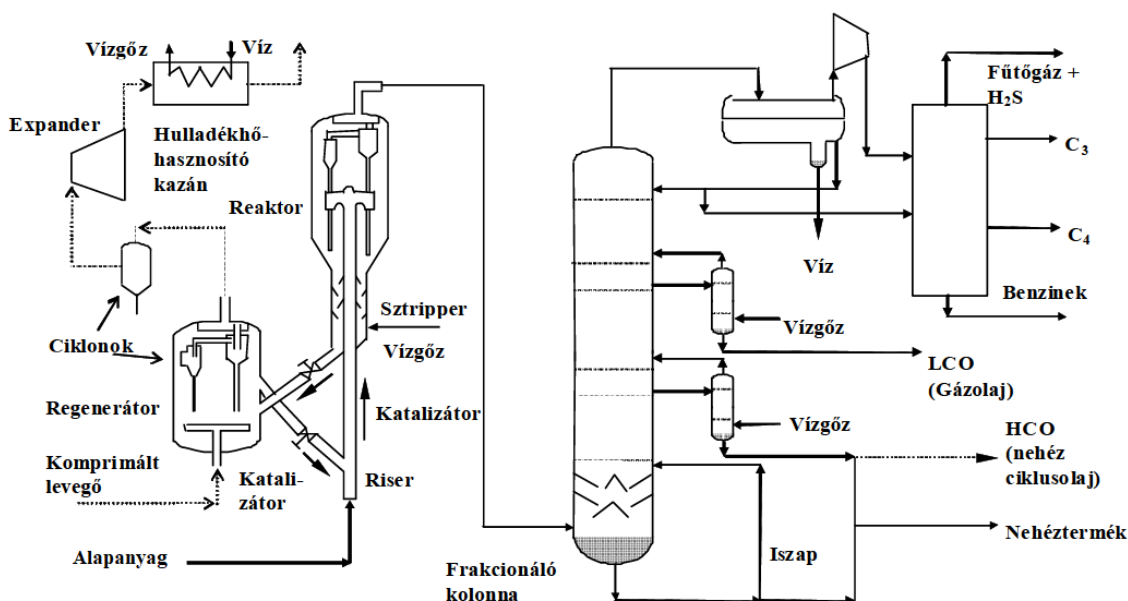
2.1 A katalitikus krakkolás technológiája

Katalitikus krakkolás eredményeként megváltozik a kőolaj frakció-összetétele, amit úgy érnek el, hogy a nagyobb molekulatömegű szénhidrogének C-C kötéseit felszakítják. A nagyobb szénatom számú, kevésbé értékes szénhidrogének (pl. fűtőolajok) helyett, kisebb szénatom számú, értékesebb terméket (pl. propilént, benzint) kapunk céltermékként. A kapott kisebb molekulatömegű komponensek viszonylag nagyobb hidrogéntartalmát az alapanyag egy részének nagyobb molekulatömegű, hidrogénben szegényebb folyékony terméké és koksszá való átalakítása fedezi. Krakkolással jelentősen megnövelhető a kőolajból nyerhető könnyű termékek mennyisége, mint például a motorbenzin-, és diesel-gázolaj komponensek [1].

Krakk-folyamatokon a szénhidrogének C-C kötéseinek hasítását (cracking) és az annak következtében létrejövő átalakulásokat értjük. A technológia során 5 fő reakció játszódik le (termikus és katalitikus krakk; hidrogén transzfer; polimerizáció; dehidrogénezés), amelyek meghatározzák a termékek hozamát, összetételét (olefinitás, aromástartalom), minőségét (oktánszám, cetánindex). A termikus krakkolással szemben a katalitikus krakkolás eltolja a szelektivitást a folyékony termékek felé, kevesebb gáztermék keletkezése mellett.

Egy FCC (Fluid Catalytic Cracking) üzem a következő üzemegységekből áll:

- Reaktor-regeneráló blokk
- Füstgáz rendszer
- Termékszétválasztó egység
- Gáz-koncentráló és tisztító rendszer



1. ábra: FCC technológia egyszerűsített folyamatábrája [2]

A katalitikus krakkolás folyamat legfontosabb része a reaktor-regenerátor blokk, ahol a nehéz alapanyag krakkolása történik. A reakcióból nyert termék lehet fűtőgáz, vagy akár az alapanyagnál nehezebb olaj is. A krakk reakciók során kokszt rakódik le, aminek leégetésével biztosítani lehet a katalizátor folyamatos regenerálását. Továbbá biztosítja a folyamat rendkívüli hőigényét. A reaktort, amiben a krakk folyamat zajlik, „riser”-nek („hosszú felszálló csőnek”) hívják. A riser-ben a kémiai reakciók néhány másodperc alatt mennek végbe 480-540°C-on, 2-3,5 bar túlnyomáson, 6-7 : 1 katalizátor : alapanyag tömegarányban. Ahhoz, hogy a kémiai átalakulás megtörténjen, az alapanyagot és a forró katalizátort a reaktoron keresztül kell áramoltatni. A katalizátor a regenerátorból visszahulló és az újonnan bevezetett katalizátor szemcsékből áll össze. A fluidizált ágyat a forró katalizátorszemcsék felületén történő gyors párolgás, a kémiai reakcióban keletkező könnyebb komponensek felfelé irányuló mozgás és az alapanyag mozgási energiája tartja fenn. A riser feletti részben történik a termékelegy és a katalizátor elválasztása. A termékelegy a ciklonrendszeren keresztül a frakcionálóba, majd a gázkoncentráló egységbe jut. Ezalatt a katalizátor a felületére rátapadt szénhidrogének eltávolítására szolgáló kigőzölő szakaszon át, a regeneráló egységbe kerül. Ott a katalizátor felületéről fluid állapotban leégetik a rátapadt kokszt levegő befúvatással. Ezáltal a kisméretű szemcsék egyenletesen felmelegszenek, majd lehullva visszajutnak a reakciótér alsó részébe. Az égéskor keletkező forró füstgázokat a ciklonrendszeren keresztül az energiavisszanyerő expanderhez és a hőhasznosító gőzfejlesztőbe vezetik [2].

2.2 Jogszabályok ismertetése

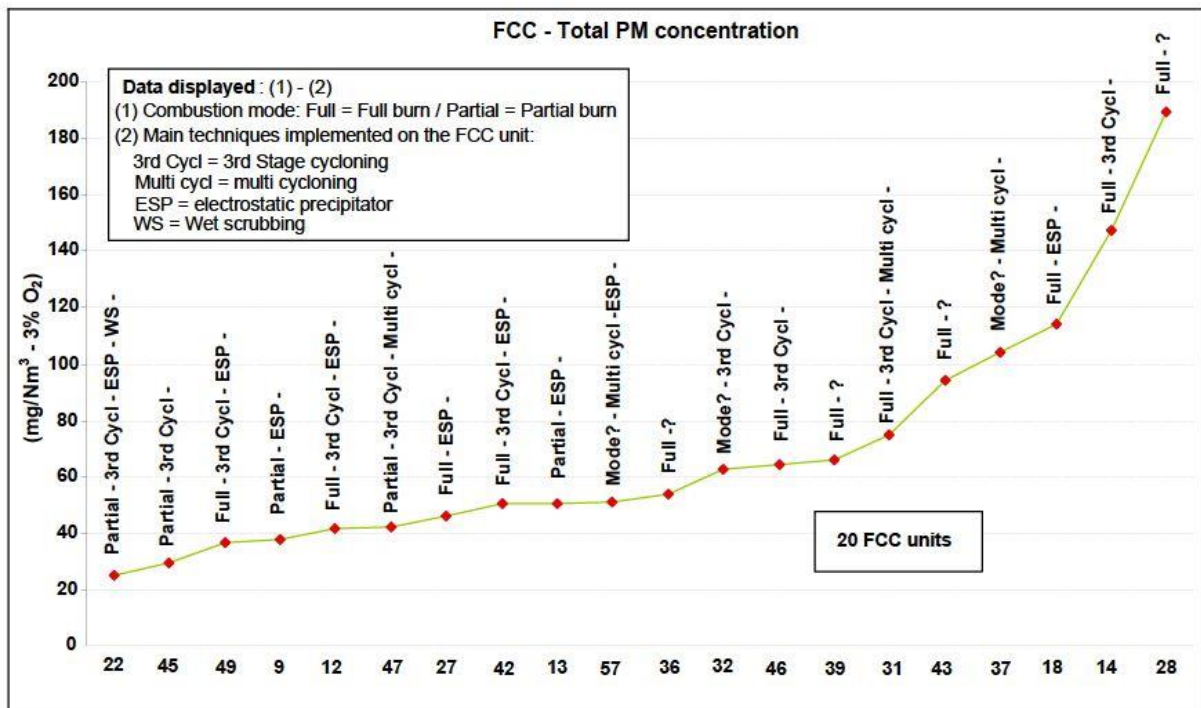
Egy vegyipari létesítménynek sokféle jogszabályi előírásnak és rendeletnek kell megfelelni a környezet és emberi biztonság érdekében. Ilyen létesítmények tervezése és üzemeltetése során is be kell tartani az előírtakat. Az általam vizsgált olajfinomítói FCC technológia levegővédelmi szempontból kritikus része a füstgázrendszer, a szabadba történő kibocsátási forrása miatt.

A vegyiparban használt általános hulladékgáztisztító és -kezelő rendszerekre vonatkozóan elérhető legjobb technikákkal (BAT) kapcsolatos következtetéseket az európai bizottság 2022/2427 végrehajtási határozata tartalmazza. Új és meglévő üzemek esetében is az útmutatóban felsorolt technológiák, technikák alapján kell kiválasztani a legmegfelelőbbet, figyelembe véve a költséghatékonyságot és a megvalósíthatóságot. A benne található elérhető legjobb technikák alkalmazásra kerültek az FCC üzemben. Néhány megvalósított példa a levegőbe történő irányított kibocsátások csökkentésére szolgáló technikák közül [3]:

- ciklonok
- elektrosztatikus porleválasztó
- optimalizált égés
- katalitikus oxidáció optimalizálása.

A környezetvédelmi 4/2011. (I. 14.) VM rendelet 6. sz. melléklete többek között kimondja, hogy a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértéke, ha a légszennyező anyag tömegárama 0,5 kg/h felett van és száraz, fizikai normál körülmények ($T=273,15\text{ K}$, $p=101,3\text{ kPa}$) mellett történik a mintavételi mérés, akkor nem lépheti túl az 50 mg/m^3 értéket. Emiatt a technológia fejlesztésére volt szükség, hogy tartósan a kormányrendeletben foglalt határérték alatt lehessen tartani a porkibocsátási értéket [4].

A 2-es ábrán látható 20 különböző európai FCC technológiai üzem éves átlagos porkibocsátása 2007-ben.



2. ábra: FCC üzemek éves átlagos porkibocsátása [5]

A vízszintes tengelyen a különböző üzemek sorszáma található, a függőleges tengelyen pedig a kibocsátási érték. A legtöbb üzemnél fel van tüntetve, hogy milyen szeparátorokat alkalmaznak. Ebből látszik az, hogy az elektrosztatikus porleválasztó szeparátorokkal rendelkező üzemek éves átlagos porkibocsátása 50 mg/m^3 alatt van. Az általam vizsgált FCC üzem porkibocsátási értéke összhangban van a 2. ábrában feltüntetett, harmadik fokozatú szeparátorokkal rendelkező üzemekkel. Gyakorlati példa alapján is látszik, hogy csak ciklon szeparátorokkal, nem lehet tartani az 50 mg/m^3 porkibocsátási határértéket.

4/2011. (I. 14.) VM rendeletben foglalt határérték teljesítéséhez, figyelembe véve az akkori elérhető legjobb technikák elvet és gazdasági szempontokat, valamint a hasonló FCC technológiával rendelkező európai üzemeket, elektrosztatikus porleválasztó egység beépítésére került sor a gőzfejlesztő füstgázhűtő egység után.

2.3 A gáztisztítás lehetséges módjai és berendezései

A levegőben vagy gázban (esetleg gőzben) jelen levő kisméretű szilárd vagy folyékony szennyeződések leválasztását gáztisztításnak vagy porleválasztásnak nevezzük. Azt a berendezést, ami ezt a célt szolgálja, gáztisztítónak vagy porleválasztónak nevezzük.

A legtöbb esetben, ha gáztisztításról beszélünk, akkor a szilárd szennyezőanyag eltávolítására, vagyis portalanításra gondolunk. A por kifejezés jelenthet egy egyedi szilárd szemcsét, a

levegőben található szilárd szennyeződést vagy olyan halmazt, ami különböző sűrűségű és alakú egyedi szilárd szemcsékből áll [6].

Portalanítási fokkal tudjuk jellemezni a portalanítás hatásosságát. Kétféle portalanítási fokot különböztetünk meg. Az abszolút portalanítási fok megmutatja, hogy a teljes porterhelésből mennyit tud leválasztani a porleválasztó készülék. A relatív portalanítási fok vagy más néven frakcióhatásfok megadja, hogy a teljes pormennyiségből hány százalékot tud leválasztani a berendezés adott szemcsenagyság-frakcióban. A porleválasztó készülékek ellenállása is fontos paraméter, ami megmutatja, hogy mekkora a gázbelépés és kilépés közötti összes nyomáskülönbség [6].

A porleválasztó gépek méretezését ettől sokkal több összetevő befolyásolja, hiszen a műszaki megfelelésség mellett a gazdaságosság is döntő szempont. Az ipari gyakorlatban a legoptimálisabb porleválasztó készülék kiválasztása az adott szennyeződés leválasztására függ az alábbi paramétereiktől:

- az előírt emisszió értékétől, mg/m^3 -ben
- a por anyaga, szemcseméret-eloszlásától
- a por egyéb fizikai és kémiai tulajdonságától
- elszívandó gázmennyiség térfogatáramától Nm^3/h -ban
- a levegő-por keverék hőmérsékletétől
- a légáramban jelen levő más szennyeződéstől (pl. festékszempcsék, olajköd)
- a légáramban jelen lévő vízgőz mennyiségétől
- a leválasztott por vagy zagy kiürítési módjától és ezek utókezelésétől
- veszélyes hulladék keletkezésének kezelésétől
- telepítésre rendelkezésre álló helytől
- üzembiztonságtól, manuális kezelési igénytől
- robbanás- és tűzveszélyességi besorolástól
- beüzemelési, üzemeltetési, energiafelhasználás költségétől.

A levegőből a szilárd szennyezőanyagok kiválasztására a por fizikai és kémiai tulajdonságát (pl. a porszemcsék mozgási tehetetlenségét, geometriai méretét, statikus feltöltődését, nedvesíthetőségét stb.) fel lehet használni.

Az iparban az alábbi porleválasztó berendezések terjedtek el:

Erőhatáson alapuló

Szűrő típusú

Mechanikus

Ipari porleválasztók

- gravitációs erő
- tehetetlenségi erő
- centrifugális erő
- ütközéses
- rotációs

- zsákos
- tömlős
- patronos
- táskás
- forgódobos

Elektrosztatikus

Gyertyaszűrők

- száraz gyűjtőelektrodás
- nedves gyűjtőelektrodás

- porózus kerámia
- fémszálas

Nedvesítéses

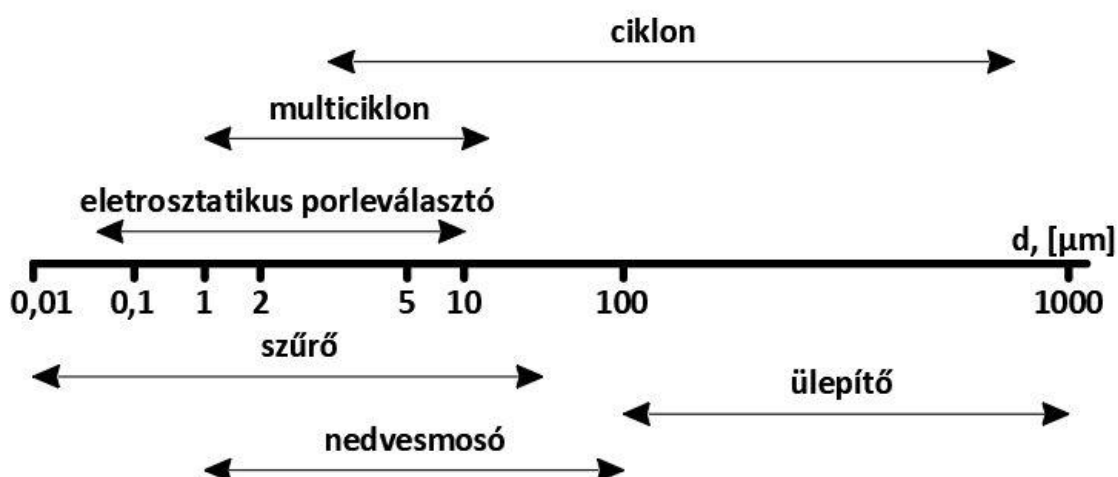
Szemcsés ágyszűrők

- töltet nélküli
- töltettel ellátott
- porlasztásos
- terelőlemezes

- homok, kavics
- szűrőperlit

Rostágyas szűrő

A különböző porleválasztó berendezések ezen elvek valamelyike alapján végzi adott szemcseméret tartományban a leválasztást.



3. ábra: Porleválasztók alkalmazhatósága szemcseátmérő függvényében

Általánosságban elmondható a berendezésekről, hogy nem csak egyféle erőhatás segítségével végzi a porleválasztást, hanem kombináltan két, vagy többféle erőhatás működésével (pl. a szűrő típusú porleválasztók a szemcsékre ható gravitációs és tehetetlenségi erőket is kihasználják). Sokszor építenek kombinált leválasztási elveken működő leválasztókat is, mint pl. nedves ciklon, ciklon szűrőpatronnal stb.

2.3.1 Erőhatáson alapuló berendezések

A mechanikai tisztítás során a tehetetlenségi erőt használják fel; a leválasztást leggyakrabban az ütköztetés és az áramlási irány megtörése segíti elő. Az áramló gázt hirtelen irányváltoztatásra kényszerítik, amit a nagyobb tömegű szilárd részecske képtelen követni, ezért kisodródik vagy ütközik a készülék egyes részein, ami így a porgyűjtőbe jut [7].

2.3.1.1 Gravitációs elven működő berendezések

Felépítésüket és működésüket tekintve a legegyszerűbb porleválasztó berendezések, amelyeknél a légáram a nagy keresztmetszet-növekedés miatt hirtelen lassulást szenved, ami miatt kiesik a por a légáramból. A kiüledő szemcsék mérethatára erősen függ a fellépő sebességek és turbulenciák nagyságától, amit a berendezés geometriai mérete határoz meg. A berendezés leválasztó kamratérében a helyi légsebesség 1-3 m/s. Nagyobb sebesség nem ajánlott a már kiüledett por felkavarodásának veszélye miatt. Tapadásra nagyon hajlamos porfajtáknál az elemi szemcsék összetapadásával létrejövő agglomerátumok nagyobb mértékben kiülednek, növelve az előzetesen várható portalanítási hatásfokot, de nehezítve a bunkerből való porleengedést. Ezen berendezések porleválasztási hatásfoka alacsony. Az 50 μm alatti porszemcsék leválasztása gazdaságilag már nem éri meg a leválasztó berendezés nagysága miatt.

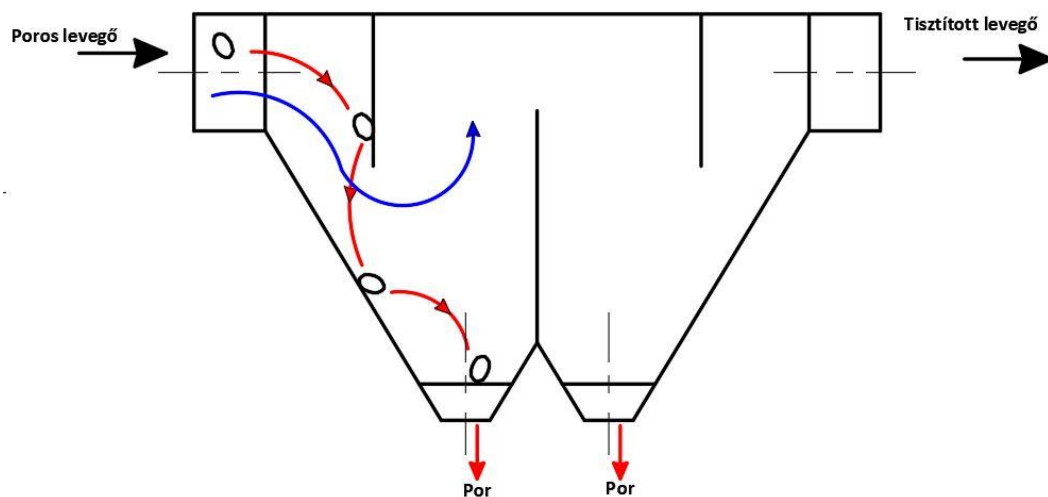
Terelő-ütköző lemezek beépítésével a készülék portalanítási hatásfoka növelhető, valamint bizonyos szintű szemcseosztályozás is létre jön. Az ilyen berendezésekkel a mai technológiai és környezetvédelmi előírásoknak megfelelő emisszió-értékek nem érhetőek el, ezért általában csak előleválasztóként alkalmazzák őket egy jobb porleválasztási hatásfokú szűrő előtt. A kamratérbe sűrűn egymás mellé függesztett láncok szikrafogóként funkcionálnak, mivel az ütköztetés során a szikrák hőenergiájának egy részét a lánc anyaga veszi át, így a gyújtási veszély csökkenthető.

Előnye, hogy gyakorlatilag nincs kopó alkatrész, alacsony légellenállás. Hátránya az alacsony portalanítási hatásfok, nagy méretek.

2.3.1.2 Ütközéssel, irányváltással működő berendezések

Írányváltásos, zsalsu porleválasztó készülékekben a poros levegő arányát különböző módszerekkel - mint pl. terelőlapátok beépítésével vagy a szűrőház belső szerkezetének különböző kialakításával - hirtelen megváltoztatják, amely iránytörést a porszemcsék egy része mozgási tehetetlensége miatt képtelen követni. A terelőlapátok elrendezésének köszönhetően, a légáramból folyamatosan kiváló porszemcsék a berendezés porgyűjtőjében gyűlnek össze. Az optimális leválasztás érdekében sok berendezésnél állítható típusúak a terelőlapátok. Ezen készülékek portalanítási hatásfoka szintén alacsony, ezért főként előleválasztóként működtethetők. A leválasztási hatásfok általában itt is magasabb az agglomerálódásra hajlamos poroknál.

Előnye a kevés kopó alkatrész, alacsony (de a porkamráénál magasabb) légellenállás, porkamráénál kisebb geometriai méretek. Hátránya az alacsony portalanítási hatásfok.



4. ábra: Ütközéssel porleválasztó kamra

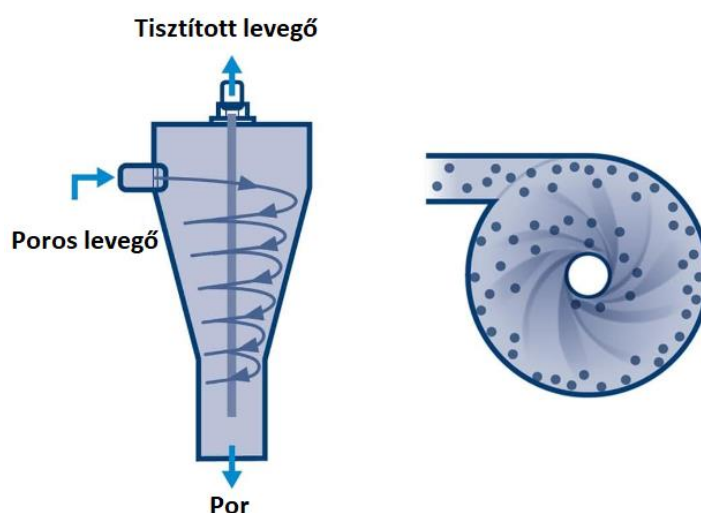
2.3.1.3 Rotációs mozgáson alapuló leválasztók

A porszemcsék a légárammal együtt felgyorsulva egy rotációs mozgást végző terelőlapát-soron keresztül haladnak át, az erős iránytörést szenvedő légáram hatására leválnak, és összegyűlnek egy megfelelően kiképzett leválasztó ház gyűjtőterében. Ha a berendezés úgy van kialakítva, hogy a forgó terelőlapát-sor ventilátorfunkciót is betölti, akkor nincs szükség külön megszívó egységre. A leválasztási hatásfok erősen függ a forgó lapátsor kialakításától, fordulatszámától és a por fizikai tulajdonságaitól. Manapság már egyre ritkábban alkalmaznak ilyen berendezéseket az iparban.

Előnye, hogy kedvező geometriai méretekkel rendelkeznek és a forgórész egyben ventilátor funkciót is betölthet, közepes légellenállású. Hátránya az alacsony portalanítási hatásfok és az erősen kopó alkatrészek.

2.3.2 Centrifugális erőn alapuló porleválasztók

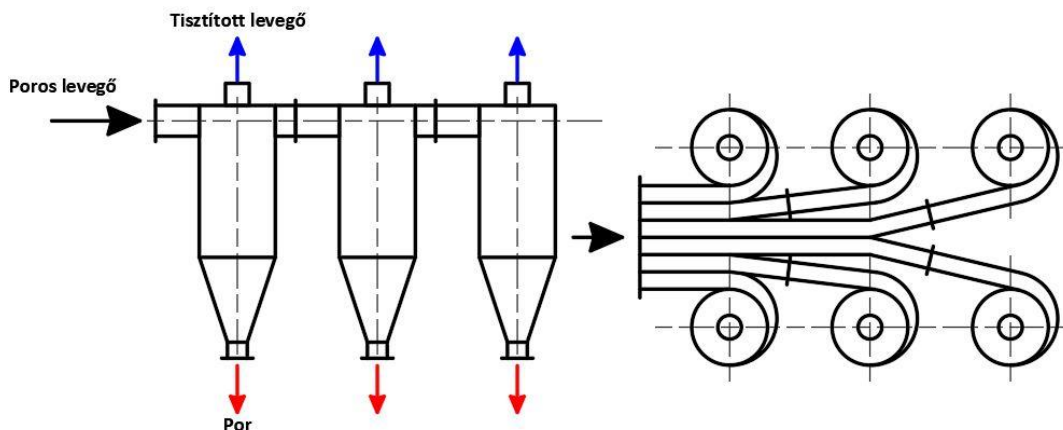
A ciklon típusú berendezések kialakítása miatt a légáram spirál-, ill. csavarformájú pályán folyamatos irányváltoztatásra kényszerül, aminek eredményeként létrejön a porleválasztás. A készülékbe vagy az egyes örvénycsövekbe tangenciális irányban beáramló nagy sebességű poros levegőből a porszemcsék folyamatosan a külső fal felé sodródnak és ütköznek, ami hatására a sebességük lecsökken, így a gravitáció miatt a készülék porgyűjtőjébe esnek.



5. ábra: Ciklon porleválasztási elve [http1]

A belépési sebesség növelésével és a levegő fordulási sugarának csökkentésével növelhető a leválasztási hatásfok. Figyelembe kell venni, hogy a paraméterek változtatásával hihetetlenül megnövekedhet a koptatási hatás és a készülék ellenállása. Ezt a hatást figyelembe véve három csoportba sorolható berendezés típusok terjedtek el: ciklonok vagy egyszerű ciklonok; multiciklonok, vagy ciklontelepek; örvénycsöves leválasztók. Egyszerű ciklonoknak azokat nevezzük, amik a porleválasztáskor csak egyetlen készüléket használnak. A ciklontest átmérője általában 0,6-3,0 m között mozog. Jellemzően csak az 50 μm átmérőtől nagyobb porszemcséket választják le 80% fölötti hatásfokkal.

Multiciklonnak nevezzük azokat a leválasztó berendezéseket, ahol több kisméretű ciklontest párhuzamosan kapcsolódik egymáshoz. A ciklontestek átmérője általában 0,2-0,8 m között van, legalább kettő, maximum tizenkettő készülék van sorba kapcsolva. A 20 μm jellemző méretűnél nagyobb porszemcséket 80% fölötti hatásfokkal választják le.



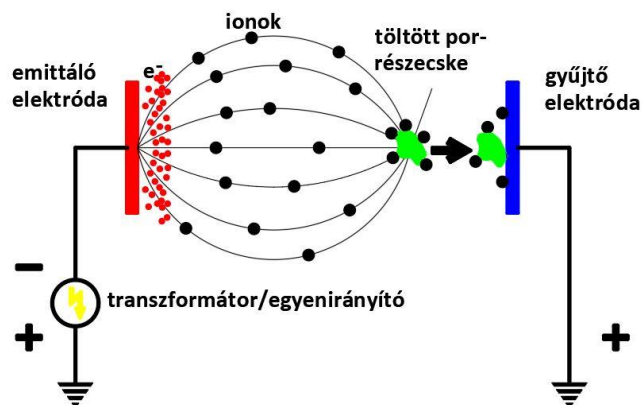
6. ábra: Multiciklon porleválasztási elve

Az örvénycsöves leválasztók működési elve hasonló a multiciklonokéhoz, csupán abban különböznek, hogy az egyes leválasztó elemek nem külön-külön, hanem a jellemzően 0,2 m átmérőjű örvénycsöveket sűrűn egymás mellett helyezkednek el, közös szűrőházba. Jó hatásfokkal választja le nehéz porok esetén a $10\ \mu\text{m}$ jellemző méretűnél kisebb porszemcséket is. Az ipari gyakorlatban széleskörű elterjedésüket a magas eltömődési veszély akadályozta meg.

A ciklon típusú berendezések előnye a megfelelő telepítési méretek; közepes, illetve jó leválasztási hatásfok; viszonylag alacsony előállítási költségek. Hátrányuk a nagy kopásveszély; kis szemcseméretű poroknál nem megfelelő leválasztási hatásfok; az örvénycsöveknél magas eltömődési veszély.

2.3.3 Elektrosztatikus porleválasztók

Az elektrosztatikus porleválasztó kihasználja, hogy a legtöbb por elektromosan polarizálható és a levegőben lebegve az ellentétes pólusú felület felé kényszeríthető, ahol elektromos töltésük kisütése után leválasztható. Mivel a porszemcsék polarizálhatósága független azok méretétől, ezért akár 0,1 mm szemcseméret esetén is 99,9% hatásfokkal működik a leválasztás, ha a berendezés belsejében az egyéb áramlástechnikai viszonyok ideálisak. Olyan gázáramban, ahol egyszerre vannak jelen szilárd és cseppfolyós halmazállapotú szemcsék, előnyös lehet az elektrosztatikus leválasztók használata, mivel képesek mindkét szennyezőanyagfajta leválasztására.



7. ábra: Elektrosztatikus porleválasztó működési elve

A nagyfeszültségű egyenáramú áramforrás negatív pólusát az emittáló-elektrodán hozzák létre, a pozitív pólust pedig a porgyűjtő elektródán, amik között villamos tér keletkezik. Egy küszöbfeszültség túllépése után koronajelenség lép fel, a gázionok a villamos térerő hatására felgyorsulnak és ütköznek a semleges gázmolekulákkal, majd újabb fázisok és szabad elektronok keletkeznek. A negatív töltésű ionok megindulnak a pozitív töltésű gyűjtőelektrodák felé. Ott a porszemcsék elveszítik elektromos töltésüket, és a gravitációs erő következtében a porgyűjtőbe hullanak [8].

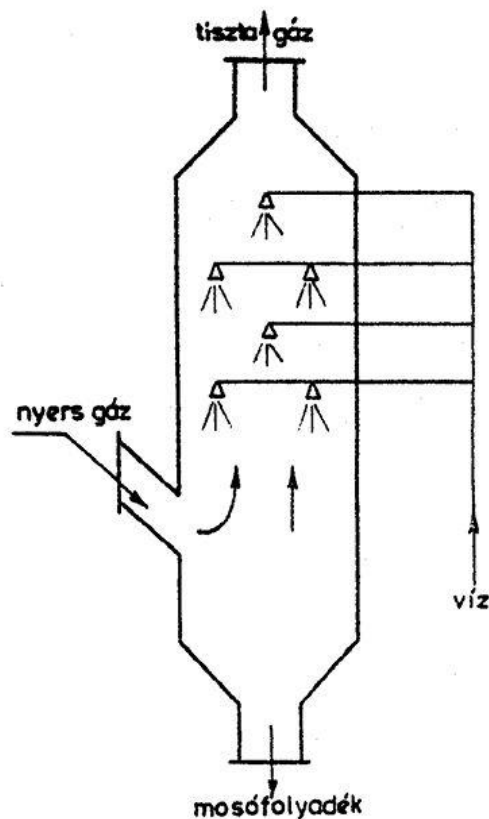
A gyűjtőelektrodák felülete lehet száraz vagy nedves, alakjukat tekintve pedig sík lemezes vagy hengeres (újabban profilozott és lyukasztott is). A berendezés jó működését száraz gyűjtőelektrodáknál a por fajlagos elektromos ellenállása befolyásolhatja, ugyanis alacsony ellenállás esetén a por könnyen elveszíti töltését, és a légáram hatására visszakerül a szűrőházba. Nagy fajlagos ellenállás esetén viszont a gyűjtőelektrodára tapadt por szigetelőréteget hozhat létre, ami nagyon lerontja a leválasztási hatásfokot, ezért a száraz gyűjtőelektrodás berendezés a közepes fajlagos ellenállású porok leválasztására ideális. Tervezéskor számolni kell azzal a tulajdonsággal, hogy a porok fajlagos ellenállása a hőmérséklet függvényében nagymértékben változhat.

Előnye a jó leválasztási hatásfok kis szemcseméretű poroknál is; alacsony légellenállás; kis kopásveszély; magas hőmérsékleten (általában 4-500 °C-ig) is használható. Hátránya a magas beruházási költségek és a nagy helyigény. Túl kicsi vagy túl nagy fajlagos ellenállású poroknál a száraz eljárás nem működik. A nedves gyűjtőelektrodás berendezésnél zagykezelési problémák és fagyásveszély léphetnek fel. Tűz- vagy robbanásveszélyes poroknál nem alkalmazható.

2.3.4 Nedves porleválasztók

A nedves porleválasztó berendezésekben a gázáramban lévő szemcséket ütköztetjük a bevezetett mosófolyadék részecskéivel. Attól függően, hogy a mosófolyadék folyadékfilm vagy cseppformában van jelen, az ütköztetés után a porszemcsék vagy behatolnak a folyadékfilmbe, vagy rátapadnak a jelenlévő folyadékcseppekre. A porszemcsék tömege és mérete a felvett mosófolyadékkal megnő, valamint egymáshoz is tapadva nagyobb agglomerátumokat képeznek. Ez után már sokkal egyszerűbb leválasztani őket gravitációs vagy ütköztetési módszerrel.

Többféle módon lehet a mosófolyadékot bejuttatni a mosótornyokba. Négyféle módszert különböztetünk meg: permetezési, porlasztási, forgó permetezési (rotációs) vagy nedvesített töltetes. Permetezésnél vagy porlasztásnál általában a szennyezett levegő áramlási irányával szemben a teljes áramlási keresztmetszetet egyenletesen lefedő permetet hozunk létre (akár egymás után több síkban is), ahol a szennyeződés szemcséi a mosófolyadék cseppjeivel ütköznek, egymáshoz tapadnak, és együtt lehullnak a zagyterbe. A célunk az, hogy a mosófolyadék minél többször érintkezzen a porszemcsékkel, ezért célszerű létrehozni több különböző nedvesített töltetréteget, ahol a szennyezett levegőnek át kell haladnia. A perforált tartósíkra helyezett töltetet kémiai hatásoknak ellenálló anyagból készült (pl. műanyag, kerámia stb.) gömbökből, gyűrűkből, rácsokból, bonyolult formájú térbeli alakzatokból épül fel. Leválasztáskor nem csak a vízfilmmel való összetapadás, hanem a tehetetlenségi erőn alapuló leválasztás is érvényesül, ami növeli a leválasztási hatásfokot.



8. ábra: Porlasztásos mosótorony működési elve [9]

Az örvényes mosóknál a nagy sebességgel (10-20 m/s) bevezetett szennyezett gáz ütközik a folyadékfelszínnel. Az ütközés hatására a folyadékfelszínről a szennyeződés cseppeket ragad el, majd a leválasztó-tér cseppleválasztójában gyűlnek össze.

A Venturi-elven működő mosóberendezésekben a porszemcsék extrém nagy sebességgel ütköznek a mosófolyadék cseppjeivel. A konfúzból, torokból és diffúzból álló Venturi-csőön áthaladó szennyezett levegő sebessége a legszűkebb keresztmetszetenél, a toroknál elérheti a 160 m/s-os sebességet is.

A torok előtt befecskendezett mosófolyadék ködszerűen szétporlik a nagy sebességkülönbség miatt, a porszemcsékkel nagy fázisfelületen igen intenzív keveredést hozva létre. A torok utáni diffúzorban a gázáram lassulása miatt a finom szemcsék nagyobb cseppekké állnak össze, amelyeket már egy második leválasztó berendezésben (pl. ciklon, ütközéses leválasztó stb.) könnyebb leválasztani.

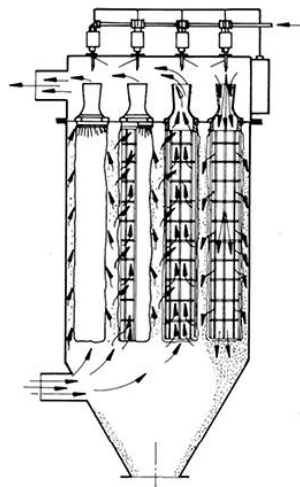
A nedves porleválasztó berendezés előnye a kedvező beruházási költségek; kis kopásveszély; tűz- vagy robbanásveszélyes poroknál is jól alkalmazható. Hátránya a zagykeletkezés; néhány típusnál eltömődés-veszély; a leválasztási hatások a berendezés energiaigényével együtt nő.

2.3.5 Szűrő típusú porleválasztók

A szűréskor a szennyezett gáz valamilyen porózus szűrőrétegen keresztül kerül átáramoltatásra, ahol a porszemcsék a szűrőközeg felületén feltapadnak. A szűrőanyag rétegében rendezetlenül elhelyezkedő, elágazó, üres pórus csatornácskák vannak, amelyek átmérője változó. A szűrőanyag pórusméretétől kisebb szemcsék át tudnak hatolni a szűrőközegen, a nagyobbak viszont fennakadnak. A leválasztás hatásfokát a szűrő szálanyagához való hozzátapadás is befolyásolja, amelyben a tehetetlenségi erők, a gázmolekulák hőmozgása miatti diffúziós hatások és az elektrosztatikus vonzóerők játszanak szerepet. Ezen erők együttes hatásának köszönhetően a szűrőanyag jellemző pórusátmérőjétől kisebb méretű szemcséket is le lehet választani.

2.1.5.1 Ipari zsákos porszűrők

Az ipari zsákos szűrőberendezések elvi felépítése a 9. ábrán látható. A berendezés három fő szerkezeti egységből áll: a szűrőházból, a tisztagáz-térből és a porgyűjtő tartályból. A tisztagáz-térhez kapcsolódik a zsáktisztító rendszer, a porbunkerhez a leválasztott port kiadagoló szerkezet.



9. ábra: Zsákos porszűrő működési elve [8]

Első leválasztási lépcsőben a beáramló poros gázból a berendezésbe való belépéskor már a légáram lassulása által kiválnak a nagyobb szemcsék, és a porgyűjtőbe hullnak. A légáram tovább halad a szűrőanyagon át a szűrőtömlők belsejébe, onnan a tisztagáz-térbe. A szennyezőanyag szemcséi a szűrőanyag felületén feltapadva leválnak. A szűrőzsákokra feltapadt port el lehet távolítani segéd ventilátorral létrehozott ellenáramú levegővel; belső depressziót kihasználva atmoszférikus nyomású levegővel; mechanikus módszerrel, mint ütögetés, kopogtatás, rázás.

Előnye a nagyon széles alkalmazási terület; a jelenlegi szigorú emissziós előírásoknak is megfelelő porkibocsátás; nagy bemenő porterhelés is lehetséges; tűz- vagy robbanásveszélyes poroknál is alkalmazható; közepes energiafelhasználás. Hátránya a magas beruházási költség.

2.1.5.2 Szűrőpatronos porleválasztó berendezések

A szűrőpatronos porleválasztó berendezések felépítése és működése megegyezik a zsákos szűrőberendezésekével, a különbség csupán az, hogy a szűrőanyag nem zsák vagy tömlő alakú formában, hanem a gépjárművek levegőszűrőjéhez hasonló felépítésű patronformában van jelen. A hajtogatott patronforma felépítésnek köszönhetően a patron anyaga önmagában, gyakran merevítő elem nélkül is képes a formáját tartani, valamint ugyanakkora térbe több szűrőfelület építhető be, mint a tömlő alakú szűrőknél.

Előnye a jelenlegi szigorú emissziós előírásoknak is megfelelő porkibocsátás; kisebb építési méret, mint a zsákos szűrőknél; tűz- vagy robbanásveszélyes poroknál is alkalmazható; közepes energiafelhasználás. Előnye magas beruházási költség; tapadásra hajlamos poroknál korlátozott alkalmazhatóság; általában 140 °C hőfok felett nem használhatók.

2.1.5.3 Gyertyaszűrő porleválasztó berendezések

A gyertyaszűrő porleválasztó berendezések belül üreges gyertyaformájú szűrőbetétek, amelyek az alapanyag merevsége és szilárdsága miatt öntartók, anyagukat tekintve készülnek zsugorfémekből, habgumiból, pórusos kerámiákból, illetve műanyagból. Kiválóan ellenállnak a vegyi hatásnak és a magas hőmérsékletnek is ezek a szűrőanyagok, de a szűrőfelülethez viszonyítva csak kis mennyiségű por leválasztására alkalmasak. A szűrőanyag előállításánál alkalmazott gyártástechnológia lehetővé teszi igen kis pórusméretek kialakítását is, ezért már a nagyon kis szemcseméretű, 0,1-0,4 µm méretű szilárd szennyező anyagokat és ködszerű folyadékcseppeket is jó hatásfokkal választják le.

Előnye a magas hőmérsékleten is hosszú élettartam; kedvező beruházási költség; kis mérete. Hátránya, hogy a szűrőanyag nehezen tisztítható; csak alacsony porterhelésnél alkalmazható; magas ellenállás és energiafelhasználás jellemzi.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

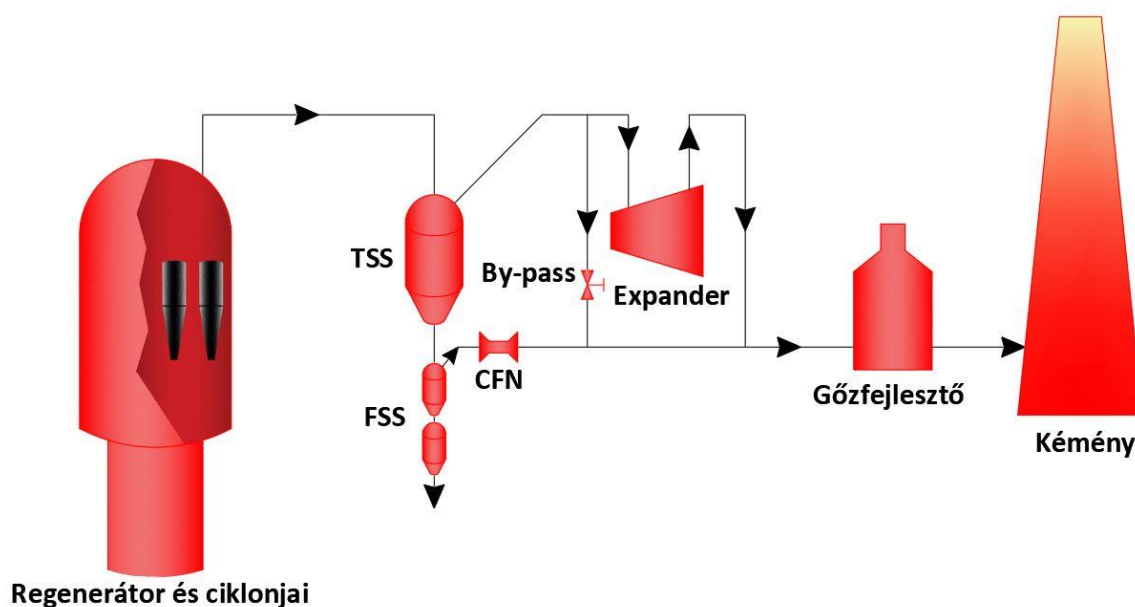
3.1 FCC üzemben alkalmazott porleválasztási technológiák

A katalitikus technológiák esetében a katalizátor-regenerálás folyamatosan történik, ezért az üzemelés során a katalizátor folyton mozgásban van. A mozgás hatására a katalizátor szemcsék folyamatosan egymásnak ütköznek és súrlódnak a készülékek falaival, ami következtében a szemcsék morzsolódnak. A töredezés következtében a hordozógáz magával viszi a technológia más részébe.

Ahhoz, hogy a reakciót minél pontosabban lehessen szabályozni és a környezetvédelmi előírásoknak is meg lehessen felelni, minél gyorsabban és hatékonyabban kell szétválasztani a katalizátortól a reakcióterméket és a füstgázt. Ezt különféle porleválasztási technológiákkal lehet elérni.

A füstgáz rendszernek két alapvető feladata van:

- a forró füstgáz energiájának visszanyerése;
- megtisztítani a füstgázt az elhordott katalizátor szemcséktől.



10. ábra: Az FCC üzem füstgázrendszere ESP telepítése előtt

A katalizátor veszteség és a környezeti terhelés csökkentése érdekében két lépcsős ciklonokat használnak a finompor leválasztására a regenerátorban. A nehezebb katalizátor részecskék visszajutnak a fluid-ágyba, a könnyebb részecskék tovább áramlanak a gázzal a harmadik fokozatú leválasztó egységbe (TSS, Third Stage Separator).



11. ábra: Regenerátorban alkalmazott ciklonok [10]

A füstgáz energia visszanyerésére a legjobb megoldás a turbó expander, amit közvetlenül a forró füstgáz hajt. Ahhoz, hogy az expander lapátjait ne tegye tönkre a füstgázban lévő finom katalizátorpor, további katalizátor szeparátor alkalmazása szükséges, amelyet a regenerátoron kívül helyeznek el. A gáz keresztülhalad a nagyszámú, kisméretű örvénycsővön, majd a tetején kiáramolva halad tovább az expanderhez a tisztított füstgáz. A harmadik fokozatú szeparátor kónuszos alsó részébe lehullott katalizátorport, kis mennyiségű lefűjt füstgázzal a negyedik fokozatú ciklonszeparátorba vezetik (FSS, Fourth Stage Separator). A negyedik fokozatú ciklonszeparátor felső része ciklonként üzemel, alsó része pedig katalizátorpor tárolóként funkcionál. A ciklonszeparátor tetején távozó füstgáz a kritikus áramlási fűvőkán (CFN, Critical Flow Nozzle) keresztül jut vissza a füstgáz áramba. A kritikus áramlási fűvőka önszabályozó módon állítja be a szeparátor nyomását. Az energia visszanyerő turbina a rendelkezésre álló nyomási energia és a termikus energia egy részét alakítja át mozgási energiává, amivel a légfűvő motor/generátorát hajtja, ami szolgáltatja a technológiai levegőt a koks leégetéséhez. Energia többlet esetén ugyanazon tengellyel összekapcsolt generátor/motor egységgel elektromos áram is termelhető. A termikus energia további hasznosítása érdekében gőzfejlesztő füstgázhűtőt alkalmaznak az expander után, amivel közép nyomású gőzt lehet előállítani.

3.2 Elektrosztatikus porleválasztó

A kéményen kilépő füstgáz átlagos portartalma $93\text{--}173\text{ mg/m}^3$ között változott. Ez az emissziós érték egészen a 4/2011. (I. 14.) VM rendeletig elfogadható érték volt. Annak érdekében, hogy

a kormányrendeletben meghatározott határérték alatt lehessen tartani a poremissziót, elektrosztatikus porleválasztó berendezés beépítésére került sor a gőzfejlesztő egység után.



12. ábra: Elektrosztatikus porleválasztó [11]

A porleválasztó berendezés fő részei:

- 3 porleválasztó kamra, amelyben elhelyezkednek az emittáló és gyűjtő elektródok és ahol a porleválasztás megtörténik;
- 3 transzformátor-egyenirányító berendezés, amik a nagyfeszültséget biztosítják;
- elektródaház, ami elszigeteli a porleválasztó kamrákat a környezettől;
- mágneses rázó rendszer, ami az elektródákat és a belépő kúpot tartja tisztán;
- szellőztető levegő rendszer, ami az elektródaházban lévő szigeteléseket védi a portól.

A porleválasztó kamrák alatti gyűjtőtartályok kívül esnek a füstgáz áramától, ezért fűteni kell őket, hogy elkerüljék a füstgáz kondenzációját. A kondenzátum nedvesíti a port, és emiatt ráragad a tartály falára, vagy dugulást okoz a porszállító rendszerben. Ennek kiküszöbölésére a tartály falának hőmérsékletét a füstgáz harmatpontja fölé kell tartani. A tartályokban lévő port a lehető legkisebb szinten kell tartani a dugulás elkerülése érdekében, illetve hogy a felgyülemelő por ne érje el az emittáló elektródákat. A pornak a porszállító rendszerbe való könnyebb juttatására a gyűjtőtartályokon vibrátor kalapácsos rázó rendszert alkalmaznak. A vibrációt

műszerlevegő szakaszos rányitásával gerjesztik. Amennyiben a kilépő füstgáz portartalma az ESP normál működése mellett magasabb, mint az előírásban szereplő 50 mg/m^3 , akkor el kell indítani az NH_3 adagolást az ESP belépő füstgázba. Az ammónia hatására a füstgáz vezetőképessége nő, így az ESP-ben a leválasztás hatásfoka javul.

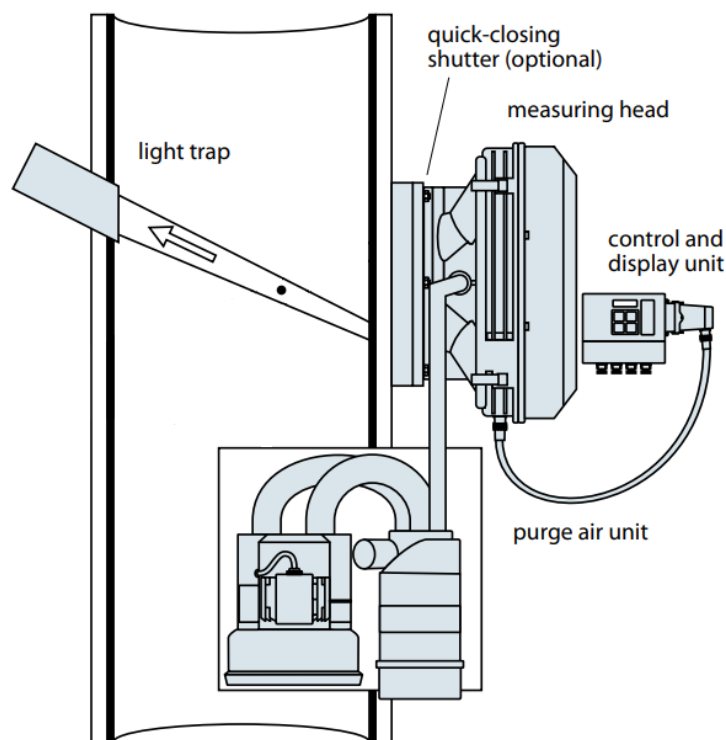
Mind a három transzformátor egyenirányító egységben egy-egy tirisztor szabályzó modul vezérli és szabályozza az áramot és a feszültségét oly módon, hogy az elektrosztatikus porleválasztó berendezés a megengedett határokon belül minél magasabb feszültségen üzemeljen. A transzformátor egyenirányító teljesítmény szabályozása az áram megugrások érzékelése alapján állítható be. Az áram lökések akkor fordulnak elő, amikor az elektródák és az elektrosztatikus porleválasztó berendezés között szikrák és korona kisülések alakulnak ki. Az elektrosztatikus porleválasztó berendezés optimális feszültsége éppen az átívelési határ alatt van. Mivel az optimális feszültséget nem lehet kiszámítani, a szabályozó működési elve az, hogy fokozatosan növeli a mező feszültségét addig, amíg áramlökést nem érzékel. Az áramlökés érzékelés alapján a szabályozó a mező feszültségét automatikusan egy fokozattal lejjebb szabályozza azért, hogy megszüntesse a fennálló áramlökést. Amikor az áramlökés megszűnik, a szabályozó újra elkezdi növelni a mező feszültségét addig, amíg az új áram lökés érzékelése be nem következik. A nagyfeszültségű töltés fenntartása érdekében az emittáló elektróda és szerkezetei teljes mértékben szigeteltek a földtől és a gyűjtő elektródától. Ennek megvalósításához a keretet, a függesztést és a mágneses rázó rendszer összes kapcsolatát szigeteléssel kell ellátni, illetve a pozitív és a negatív elektróda között megfelelő szabad távolságot kell fenntartani. Minden porleválasztó egységben a gyűjtőelektródákkal párhuzamos gázcsatornák vannak kialakítva, hogy biztosítva legyen az egyenletes áramlás, ami jó hatással van a berendezés teljesítményére. A másik előnye ennek a kialakításnak, hogy rázás során a porszemcsék nem tudnak visszakerülni a gázáramba.

Általában az elektrosztatikus porleválasztók esetében elmondható, hogy nem alakul ki tűzveszélyes szituáció, ha a füstgáz oxigénkoncentrációja kisebb, mint 4%. Nagyobb oxigénszint esetén fennáll a veszélye, ezért üzemelés alatt tilos kinyitni a füstgáz vezeték nyílásait; indításkor meg kell győződni róla, hogy minden ajtó és nyílászáró zárva van; az elektródához szellőztető rendszerét a gázáramhoz kell igazítani.

A tűz- és robbanásveszély elkerülése érdekében a füstgáz szénhidrogén- és szénmonoxid-tartalmát minimalizálni kell. A legegyszerűbben úgy lehet ezt elérni, hogy a gyűjtőtartályokat minél gyakrabban kell üríteni, illetve gyűjtő és emittáló elektródok tisztítási mechanizmusát folyamatosan ellenőrizni.

3.3 A mérés folyamata

Az ESP berendezésbe belépő füstgáz portartalmát DURAG D-R 300-40 típusú mérőműszer méri és digitálisan mutatja. A mérőműszer 10 percenként megméri a füstgázhűtő hővisszanyerőből érkező füstgáz portartalmát, amit mg/m^3 -ben ad meg. Az elektrosztatikus porleválasztó után is van egy mérőműszer, ami a kilépő tisztított füstgáz portartalmát méri mg/m^3 -ben, szintén 10 perces periódusonként. A mérőműszerek típusát tekintve úgynevezett opacitás mérő műszerek, vagyis a keresztül áramló közeg átlátszatlanságának a mérésével tudnak következtetni a portartalom mértékére.



13. ábra: DURAG D-R 300-40 típusú mérőműszer [12]

A mérőműszer szórt fény módszerrel működik. A halogén lámpa modulált fénye megvilágítja a porszemcséket a vizsgált térfogatban. A részecskékről visszavert szórt fényt detektálja és értékeli a műszer. Annak érdekében, hogy a fényforrással szemben lévő felületről ne érkezzen vissza fény, azt egy úgynevezett fénycsapda fogja fel, így csak a porszemcsékről visszavert fényt méri a műszer.

A mérőműszer $150 \text{ mg}/\text{m}^3$ értékig tud pontos mérést adni, $50\text{-}300 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű közeg esetén. A mérés közvetlenül történik, vagyis a füstgázt nem kell külön mérőkamrába vezetni.

Az optikai és elektronikai alkatrészek szigetelve vannak, füstgáz nem tud bejutni a műszerbe [12].

Az ESP készülékbe belépő füstgázvezetéken 2 db egymástól 90 fokra elhelyezett 100 mm-es átmérőjű csonkra szerelt tolózárak szolgálnak manuális mintavételi helyként, ahonnan laborelemzés céljából lehet mintákat venni.

A 2022-es év teljes füstgáz portartalom mérési adatát vizsgáltam. A kezelhetőség érdekében minden egész órában mért adatot vettem számításba, ami 8760 db (24×365) mérési adat az ESP-ből kilépő és 8760 db mérési adat az ESP-be belépő csonkon. Az adatoknak vettem a napi átlagát, hónapokra lebontva. Mivel átlagot vettem, ezért minden olyan mérési adatot, ahol 0 mg/m^3 volt a portartalom, nem vettem figyelembe, mert a kiértékelést torzította volna. Ez akkor fordult elő, mikor az éves nagyüzemi leállás alkalmával a teljes technológiai folyamatot megállították a karbantartási, felújítási munkálatok miatt, vagy a mérőműszer meghibásodott.

4. EREDMÉNYEK

A kapott átlagokat napi szinten ábrázoltam vonaldiagramban. Zöld színnel a kilépő portartalom napi átlagok láthatók, kék színnel pedig az elektrosztatikus berendezésbe belépő portartalom napi átlaga. Sárga vízszintes vonal a 4/2011. (I. 14.) VM rendeletben meghatározott 50 mg/m^3 határértéket jelöli.

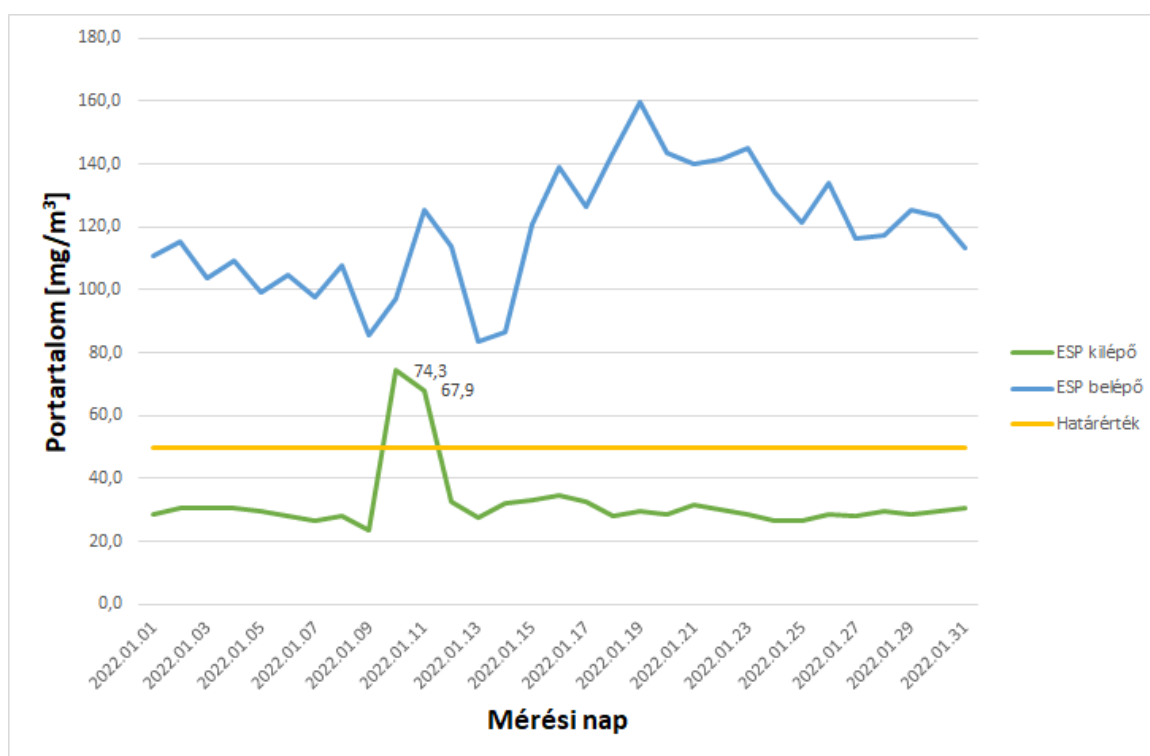
Az elektrosztatikus porleválasztó berendezésbe belépő füstgáz éves átlag portartalma:

- $79,7 \text{ mg/m}^3$

Az elektrosztatikus porleválasztó berendezésből kilépő, már tisztított, füstgáz éves átlag portartalma:

- $23,3 \text{ mg/m}^3$

A következő diagramokon 2022 első negyed évének füstgáz portartalom napi átlagai láthatóak.



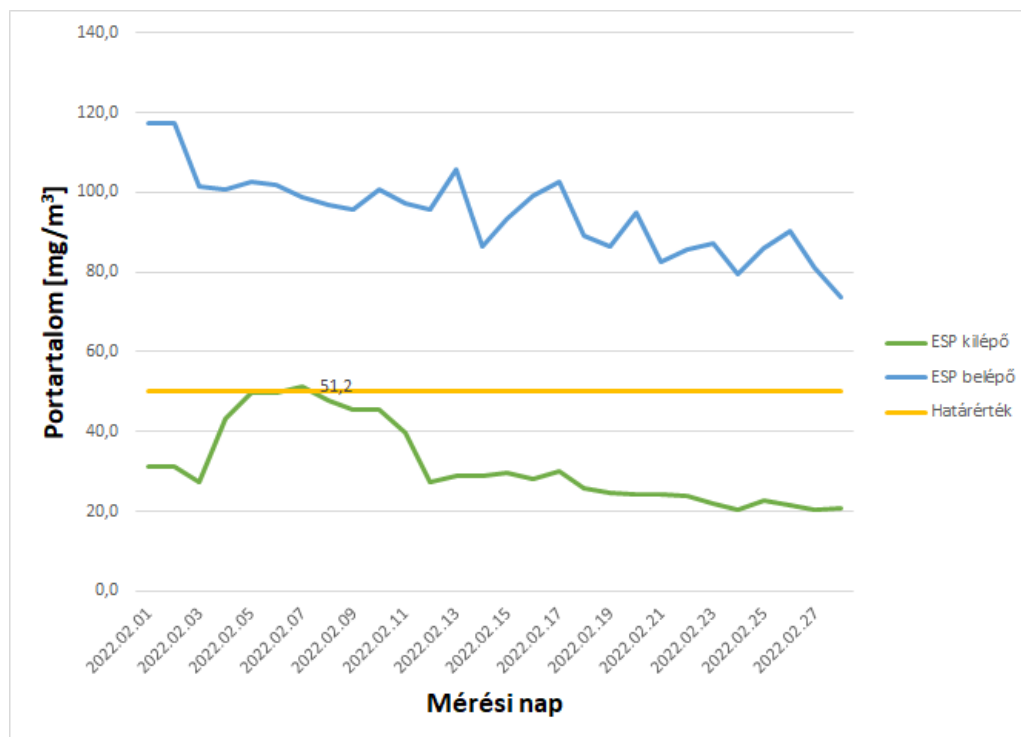
14. ábra: 2022 januárban mért füstgáz portartalom napi átlagai

Látható a 14. ábrán, hogy januárban két alkalommal is határérték feletti portartalmat mértek az ESP berendezés kilépő csomkján. Január 10-én 48,6%-kal lépte túl, 11-én pedig 35,8%-kal lépte túl az 50 mg/m^3 határértéket. Az összes többi napon jóval a határérték alatti átlaggal tudott dolgozni az elektrosztatikus porleválasztó berendezés. A leválasztási hatásfokkal szemléltetném, hogy a berendezés a bevezetett portartalomból mennyit tudott leválasztani.

Januárban az átlagos belépő portartalom $118,8 \text{ mg/m}^3$, a kilépő portartalom pedig $32,2 \text{ mg/m}^3$ volt. Ezek alapján a berendezés leválasztási hatásfoka januárra nézve:

$$\eta = \left(\frac{118,8 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} - 32,2 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}}{118,8 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}} \right) * 100 = 72,9\%$$

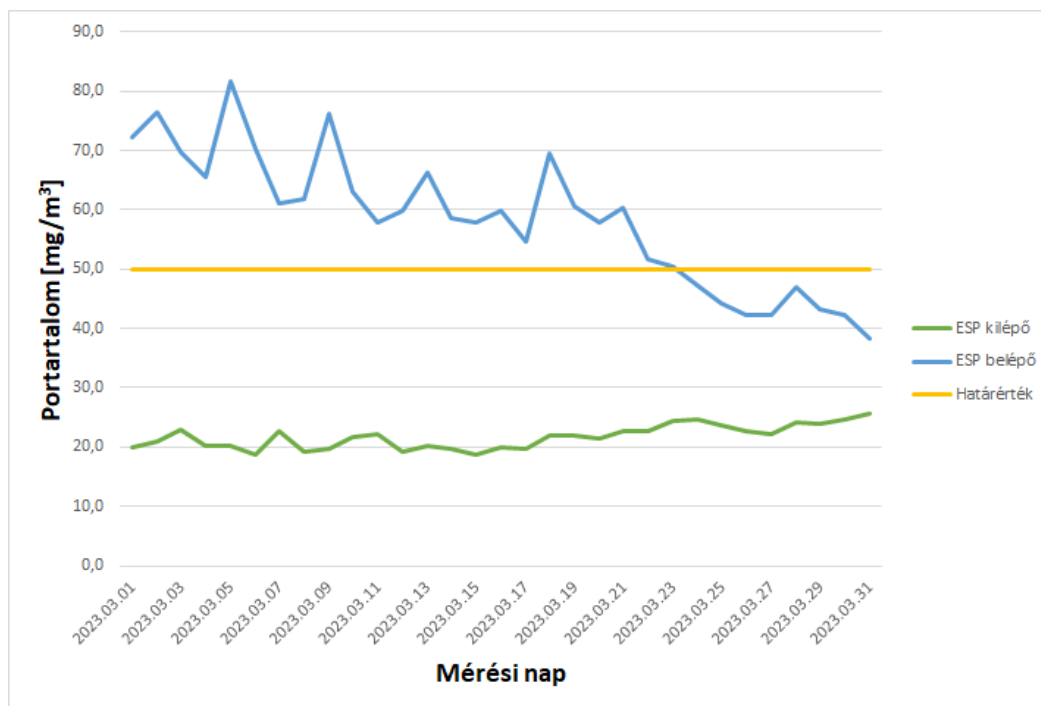
A következő diagramon a februári mérési eredmények láthatóak. Csökkenés figyelhető meg a belépő portartalom értékekben.



15. ábra: 2022 februárban mért füstgáz portartalom napi átlagai

Látható, hogy februárban csak egy nap lépte át minimálisan a határértéket 2,4%-kal, azonban másik három nap is a határérték közelében volt a portartalom. Februárban az átlagos belépő portartalom $94,6 \text{ mg/m}^3$, a kilépő portartalom pedig $31,7 \text{ mg/m}^3$ volt. Ezek alapján a februári leválasztási hatásfok $\eta=66,6\%$ volt.

Márciusban folytatódott a belépő portartalom csökkenése olyannyira, hogy elektrosztatikus porleválasztóba lépéskor már a határérték alatt volt nyolc egymást követő napon keresztül.



16. ábra: 2022 márciusban mért füstgáz portartalom napi átlagai

Persze, ha ez a csökkenés hosszú távon tartható lenne, akkor az elektrosztatikus porleválasztó jogosultságát veszthetné, azonban az adatok alapján ez az állapot nem tartható fent. Előfordulhat, amikor a belépő csompon mért napi átlagos portartalom határérték alatt van. Ezt okozhatja a céltermék gyártás csökkentése, befolyásolja a ciklonok állapota (pl. belépési sebesség) és a katalizátor fajtája (attríciós tulajdonságai).

Márciusban az átlagos belépő portartalom $58,4 \text{ mg/m}^3$, a kilépő portartalom pedig $21,7 \text{ mg/m}^3$ volt. Ezek alapján a márciusi leválasztási hatásfok $\eta=62,8\%$ volt. Látható, hogy ha a belépő portartalom csökken, akkor a leválasztási hatásfok is csökkenni fog, mivel nincs egyenes arányosság a belépő és kilépő portartalom között.

Éves leválasztási hatásfokot nézve:

$$\eta_{ESP2022} = \left(\frac{79,7 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} - 23,3 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}}{79,7 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}} \right) * 100 = 70,8\%$$

Megjegyezném, hogy az ESP lényege nem a 100%-os leválasztási hatásfok, hanem a füstgáz portartalmának 50 mg/m^3 alá szorítása.

Amikor határérték átlépést tapasztalunk napi átlag tekintetében, az nem jelenti azt, hogy a berendezés rossz, hiszen az ESP készülék üzemzavarain kívül, a krakkolási technológiában jelentkező változás (hőmérséklet, térfogatáram, füstgáz összetétel, stb.) is befolyásolja a

berendezés működését. A mérési érték nagyban függ maga a mérőműszer állapotától is. Ezen típusú opacitás mérőket üzemmenet alatt nagyon körülményes tisztítani, amikben azonban a por le tud rakódni, ezzel megnövelve a portartalom mérés értékeit.

Az alábbi táblázat tartalmazza a 2022. évben minden olyan napi átlagos portartalom értéket, ami meghaladta az 50 mg/m³ határértéket.

1. táblázat: Határértéket meghaladó átlagos napi portartalom értékek

Dátum	Portartalom [mg/m ³]	Dátum	Portartalom [mg/m ³]
01.10	74,3	08.20	55,6
01.11	67,9	09.01	64,6
02.07	51,2	09.02	69,3
04.29	55,6	09.03	67,2
04.30	55,8	09.04	65,2
05.01	61,3	09.05	63,1
05.02	54,5	09.06	61,0
05.03	57,6	09.07	59,0
05.04	61,7	09.08	56,9
05.05	56,7	09.09	54,8
05.06	62,0	09.10	52,8
05.10	61,4	09.11	50,7

A táblázatból látszik, hogy szeptemberi hónapban több egymást követő nap is a megengedett határérték felett voltak a napi átlagok. Ezt az időszakot jobban megvizsgálva, egy táblázatban összegyűjtöttem a belépő csokon mért portartalom értékeket a kéményben mért értékekkel. A kéményen, az alsó ajtó magasságában két, egymásra merőlegesen elhelyezett DN100-as csok helyezkedik el, dupla szerelvényezéssel a környezetvédelmi izokinetikus pormérések elvégzése céljából.

2. táblázat: Átlagos napi portartalom értékek 09.01 és 09.11 között

Dátum	ESP belépő csonkján mért portartalom [mg/m³]	ESP kilépő csonkján mért portartalom [mg/m³]	Kéményben mért portartalom [mg/m³]
09.01	82,1	64,6	32,1
09.02	88,3	69,3	35,9
09.03	89,1	67,2	29,0
09.04	75,7	65,2	26,7
09.05	77,2	63,1	27,4
09.06	73,6	61,0	27,7
09.07	73,9	59,0	28,0
09.08	75,5	56,9	26,7
09.09	70,3	54,8	28,8
09.10	78,4	52,8	27,6
09.11	80,0	50,7	25,1

Az adatokból látszik, hogy nagy eltérés van a kéményben mért és az ESP kilépő csonkján mért portartalom értékek között, aminek nem szabadna előfordulnia, hiszen az elektrosztatikus porleválasztó és a kémény között semmiféle porleválasztási berendezés nem található. Az üzemeltetési szakemberek elmondása alapján a kéménynél mért portartalom a határérték alatt volt, így nem kellett a hatóság felé jelenteni az esetet. Mivel az elektrosztatikus porleválasztó berendezés a jelzőberendezések alapján problémamentesen működött, így az eltérés okát a mérőberendezésben kezdték keresni. Megállapították, hogy eltömődés miatt növekedett meg a portartalom értéke. A karbantartási folyamat végeztével a mérőműszer már helyes adatokat közölt.

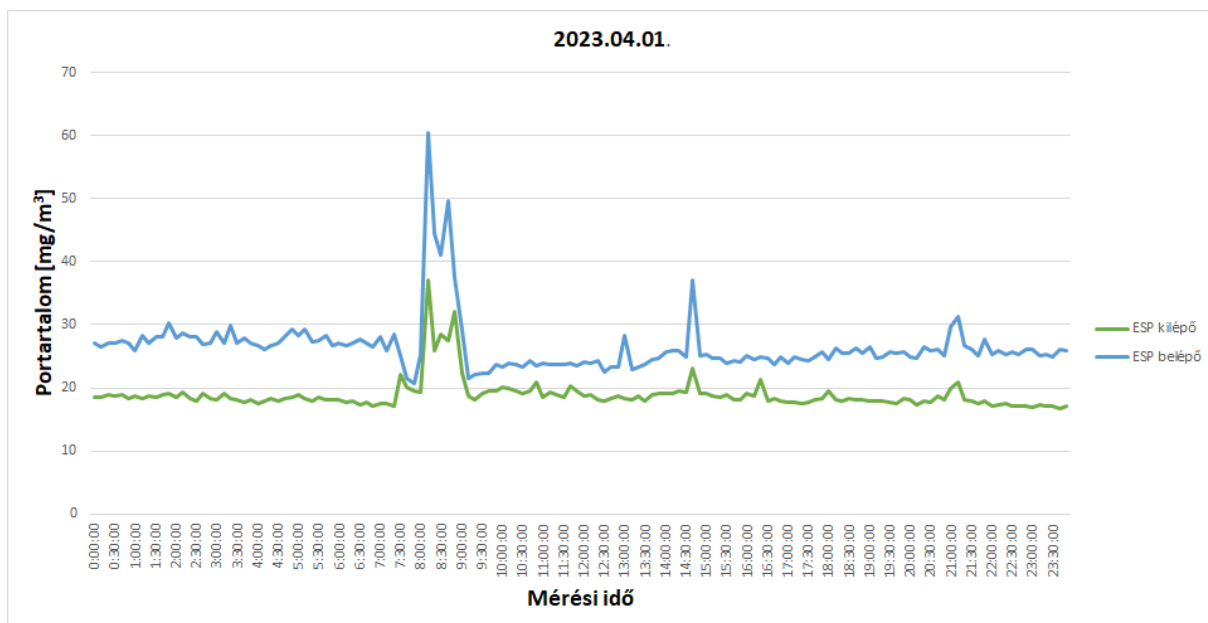
A másik látványos időszak május elején volt, ahol szintén egymást követő napokon keresztül volt határérték feletti kibocsátás. Ezt az ESP készülék rázó rendszerének meghibásodása okozta, aminek kijavítása szintén napokba telt. A rázó rendszer feladata a porgyűjtő elektródák

és a belépő áramlás elosztó lemezek tisztítása. A rendszer elektromágneses kalapácsokat tartalmaz. Ezek az elektróda szerkezetet rázzák azért, hogy a port eltávolítsák. A pontosan tervezett porleválasztók teljesítménye nagyban függ az elektródák tisztaságától. Ritka, kis intenzitású rázás esetén nem lesz kielégítő az elektródák tisztasága, míg a túl gyakori, nagy intenzitású rázás az elektródák mechanikai károsodásához vezethet. Mindkét probléma a teljesítmény csökkenését okozhatja. A mágneses rázó szabályzó rendszer szabályozza a porleválasztóra telepített rázófejek szekvenciáját, ciklusidejét, intenzitását és frekvenciáját. Egy elektronikai hiba miatt ez a szabályzó rendszer rosszul állította be a rázás frekvenciáját, így több por tapadt az elektródákra, ami teljesítmény csökkenést okozott, ezért lépte túl a kibocsátási határértéket az ESP berendezés.

Minden olyan esetet, amikor a napi átlagos porkibocsátás érték a megengedett 50 mg/m^3 határértéke felett van, jelenteni kell a hatóság felé. Mivel ezek az értékek nem voltak elég magasak, hogy másmilyen környezetvédelmi intézkedést kelljen végrehajtani, így a hatóság informálása, és a kibocsátási érték határérték alá csökkentésének intézkedése mellett nem kellett leállítani a technológiai folyamatot.

A 2022-es év 69 napjáról nincs releváns napi átlag adatom. Ebben a 69 kimaradt mérési napban benne van az üzemleállás okozta mérés-kiesés, illetve a mérőműszer meghibásodásából adódó mérés-kiesés. A műszer regisztráló egységének cseréje alatt egy helyettesítő egységet építettek be, amiről nem kaptam mérési adatot. 296 napról viszont van értékelhető eredményem, ezt összevetve a 13 darab határérték túllépéssel (ebbe már a szeptemberi műszer eltömődés miatt mért hibás értékek nincsenek beleszámolva), elmondható, hogy az elektrosztatikus porleválasztó, amikor üzemelt, 95,6%-ban határérték alatt tudta leválasztani a port, ha az átlagos napi értékeket veszem figyelembe. A 13 db határérték túllépés mértékét tekintve nem volt olyan mértékű, hogy a hatóság informálásán kívül más intézkedést igényelt volna. Tartósan magas porkibocsátási érték esetén (ha a napi átlag a határérték 200%-a egymást követő napokon) a technológiai folyamatot meg kell állítani. Nagyon magas portartalom értéknél a hatóság tájékoztatja a környező településen élőket a légszennyezés mértékéről (hasonlóan, mint a szmogriadó téli időszakban nagyvárosokban), illetve az üzemi területen folytatott munkavégzést is csak bizonyos intézkedések betartása mellett lehet folytatni. A biztonsági intézkedéseknek köszönhetően erre még nem került sor.

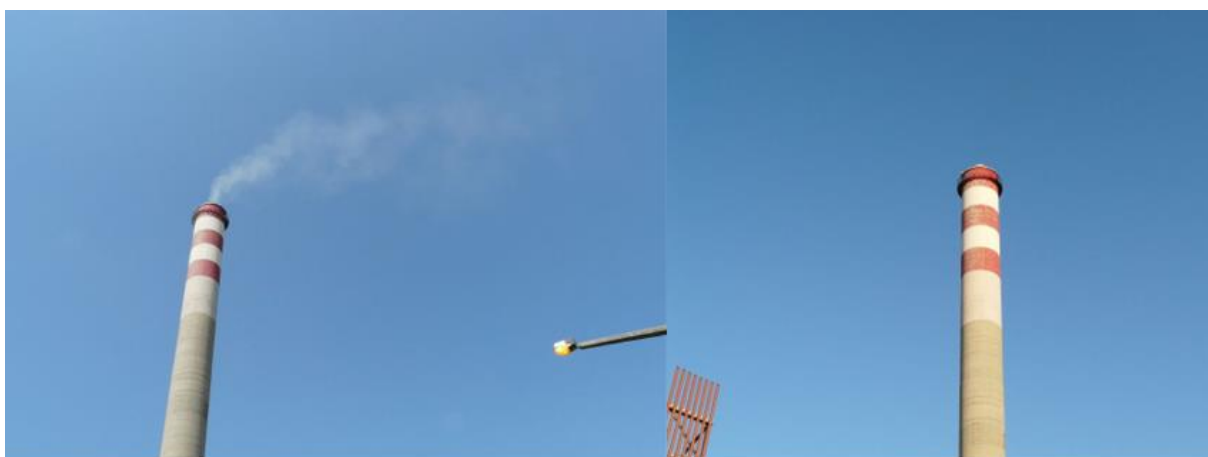
A következő ábrán idén, 2023.04.01-jén 10 percenként mért porkibocsátási értékek láthatók.



17. ábra: 24 órás 10 percenkénti porkibocsátási mérési sorozat

Vannak olyan napok, amikor a reggeli órákban nagyobb kiugrás mérhető a többi adathoz képest. Ez annak köszönhető, hogy ilyenkor az expander lapátokat gőzzel takarítják meg a rátapadt katalizátor portól, amit ha nem tesznek meg, hosszú távon hatásfok csökkenéshez, erózióhoz vezethet. Ilyenkor látható, hogy megnövekszik mind a belépő, mind a kilépő portartalom.

Az elektrosztatikus porleválasztót elhagyó füstgázt egy 100 méter magas vasbeton kéményen keresztül bocsátják ki a szabadba. Az adatok mellett a 18. ábrán is látszik a különbség a kémény tetején az elektrosztatikus porleválasztó hatása.



18. ábra Kéményen távozó tisztított füstgáz az ESP berendezés beépítése előtt (bal oldalt) és után (jobb oldalt) [11]

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

FCC üzemek alkalmazásában bevált finom por tisztítási technológia az elektrosztatikus porleválasztás, normál üzemállapotok mellett a kormányrendeletben foglalt 50 mg/m^3 határérték alatt képes tartani a szilárd porkibocsátás mértékét. A bemutatott adatok alapján azonban látható, hogy a működési ciklusai és a leválasztási teljesítménye miatt az alkalmazása nem biztos, hogy más ipari problémánál megoldás jelent.

Mivel egy rendkívül összetett és bonyolult technológiai folyamat végén helyezkedik el, ezért az ezt megelőző berendezések állapota és a technológiai folyamatok hirtelen változása befolyásolja a porleválasztás hatékonyságát. Ezen felül láthatóvá vált, hogy maga a mérő műszerek állapota is adhat hibás adatot.

A Fővárosi Hulladékhasznosító Mű 2004-ig alkalmazott elektrosztatikus porleválasztót, azonban a leválasztási hatásfok kevésnek bizonyult, ezért ott más technológiával váltották ki. A Mátrai Erőműben a füstgáz tisztítást a mai napig elektrosztatikus porleválasztók végzik, amelyek a pernye 99,5-99,7 %-át le tudják választani [13].

A finom por leválasztására egy másik ipari gyakorlatban elterjedt berendezés a nedves gázmosó, ami hatékony technológia, ha a gázszennyezők (NO_x , SO_x) eltávolítása is feladat. A hátránya a nagy mennyiségű vízfelhasználás és bonyolult vízkezelés, majd az így keletkezett 50% víztartalmú zagy keletkezése, ami rendkívül megnöveli az üzemeltetési költségeket. A 2000-es évek elején próbálkoztak a gyertyás szűrőkkel is, amiben pórusos anyagból készült nagyszámú szűrőbetét szűrte a füstgázt. Minimális segédenergiával lehetett üzemeltetni, kis helyet foglalt és rendkívül jól szűrte a füstgázt. 10 mg/m^3 alá is képes volt csökkenteni a portartalmat, azonban a nyomásingadozás és a teljes szűrőbetét 4-8 évente való lecserélése miatt jobb választásnak bizonyult az elektrosztatikus porleválasztás.

Ahhoz, hogy az ESP készülék továbbra is teljesítse a kormányrendeletben foglalt porleválasztási határértéket, elengedhetetlen, hogy a rendszeres karbantartási munkálatokkal vizsgálják és javítsák az ESP készüléken kívül a ciklonokat is, hiszen az előleválasztási folyamatok hatékonysága hatással van az egész porleválasztási rendszerre. A mérőműszerek gyakoribb tisztítása is megoldás arra, hogy minimalizálják a hibás eredmények kiküszöbölését.

A porleválasztás hatékonyságának növelésére érdemes lehet megfontolni a nedves gázmosó vagy a gyertyás szűrő beépítését az ESP után és a kémény közé.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Szakedolgozatom készítése során egy ipari kőolajfeldolgozó technológia füstgáztisztítási rendszerét vizsgáltam. A szigorodott kormányrendelet miatt a füstgáztisztítási rendszer egy elektrosztatikus porleválasztó berendezéssel bővült, ami jelen üzemi állapotok alapján a legtöbb esetben a meghatározott határérték alatt tudja tartani a szilárd poremissziót. A portartalmat több helyen is mérik, a reprezentatív vizsgálat szempontjából fontosnak tartottam az elektrosztatikus porleválasztóba belépő füstgáz portartalmát és az onnan közvetlenül kilépő tisztított füstgáz portartalmát is vizsgálni. A portartalom mérést opacitás mérő műszerek végzik, amik a keresztül áramló közeg átlátszatlanságának a mérésével tudnak következtetni a portartalom mértékére. A mérőműszerek minden órában megméri a portartalmat, ami digitálisan megjelenik és tárolásra kerül az adott programban. Szakedolgozatomban a teljes 2022-es évben mért portartalom értékeket vizsgáltam az ESP belépő és kilépő csomópontjain. Az óránként mért adatokból napi átlagokat vontam, majd diagramon ábrázoltam az első negyed év eredményeit hónapokra lebontva. Első három hónap mérési eredményei alapján leválasztási hatásfokot számoltam, illetve az egész évre vonatkoztatott leválasztási hatásfokot is meghatároztam. Éves szinten összeszedtem minden olyan adatot, amikor a napi átlag meghaladta az 50 mg/m^3 határértéket. Megvizsgáltam az okait és körülményeit, amik miatt növekedett portartalom lett mérve az ESP berendezés kilépő csomópontján. Ezek alapján elmondható, hogy porleválasztási technológiát minden porleválasztó berendezés (ESP, ciklonok) állapota, a technológiában bekövetkezett változás (hőmérséklet, katalizátor szemcsék tulajdonsága, stb.), és maga a mérő műszerek állapota befolyásolja. Mivel a határértékek túllépése nem volt jelentős mértékű, így nem kellett a technológiai folyamatot megállítani, további környezetvédelmi intézkedéseket tenni. Összességében az elektrosztatikus porleválasztó egy éves üzemciklusát tekintve, normál üzemi körülmények során, 95,6%-ban a határérték alatt tudta leválasztani a port, napi átlagot tekintve.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Széchy G. (2003) – Bevezetés a kőolajfeldolgozás technológiájába, Budapest, 50.
- [2] Hancsók J. (1999) – Korszerű motor- és sugárhajtómű üzemanyagok, II. Dízelgázolajok, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 226-227.
- [3] A BIZOTTSÁG (EU) 2022/2427 VÉGREHAJTÁSI HATÁROZATA
- [4] 4/2011. (I. 14.) VM rendelet
- [5] P. Barthe, M. Chaugny, S. Roudier, L. Delgado Sancho (2015) - Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control), 168.
- [6] Fejes G., Tarján G. (1973) - Vegyipari gépek és műveletek, Tankönyvkiadó, Budapest, 385-387.
- [7] A. G. Kaszatkín (1976) – Alapműveletek, gépek és készülékek a vegyiparban, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 247-248.
- [8] Fonyó Zs., Fábry Gy. (2004) – Vegyipari művelettani alapismeretek, Nemzeti Tankönyvkiadó RT. Budapest, 102. ,113.
- [9] Radnainé Dr. Gyöngyös Zs. (2011) – Levegőtisztaság-védelem, Pannon Egyetem, Környezetmérnöki Tudástár 11. kötet, Veszprém, 154.
- [10] Bubálik M. (2011) – Porleválasztás, MOL Nyrt. Műszakos oktatási rendszer-oktatási modulok
- [11] Tóth A. (2010)- Az FCC-blokk üzemeinek bemutatása, PPT diasorozat, Százhalombatta
- [12] DURAG Dust Concentration Meter D-R 300-40, Datasheet
- [13] Heves Megyei Kormányhivatal Egri Járási Hivatal Agrárügyi és Környezetvédelmi Főosztály Környezetvédelmi és Természetvédelmi Osztály (2019) – 14765-13/2013. számú egységes környezethasználati engedélyt módosítása, Közlemény
- [http1] <http://www.nikuniamerica.com/filtration/vdf> [letöltve: 2023.02.11]

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Radics Zoltán
A Hallgató Neptun kódja: F86D69
A dolgozat címe: Kőolajipari technológiából származó szilárd porkibocsátás csökkentése
A megjelenés éve: 2023
A konzulens tanszék neve: Környezettudományi Intézet

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

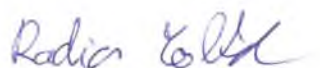
Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2023.04.28.


Hallgató aláírása

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A Radics Zoltán (név) (hallgató Neptun azonosítója: F86D69) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem²

Kelt: 2023.04.26.



Dr. Géczi Gábor
Belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.