

Biológiai véggáz kezelés (A bioszűrő elve és gyakorlata)

Bevezetés

A biológiai szűrők (bioszűrők) porózus töltött ágyas mikroba rendszerek, amelyek szilárd közegen kifejlesztett ill. arra telepített mikroorganizmusokat tartalmaznak. A szilárd közeg (az ún. szűrőközeg) lehet: talaj, komposzt, tőzeg, fakéreg vagy ezek keveréke, de lehet az előzőekben felsorolt szerves anyagok és inert anyagok keveréke is. Működési alapelve: a szennyező komponens biológiai oxidációval történő lebontása a bioszűrő felületére telepített mikroorganizmusok segítségével. A szűrőközeget és a rajta élő mikrobakultúrát vékony folyadékfilm veszi körül, melyen a gázok átbuborékolnak (átdiffundálnak), s a biológiailag lebontható komponenseket kevésbé veszélyes vagy gyakran teljesen veszélytelen anyagokká alakítják át a mikroorganizmusok.

A mikroorganizmusok sokféle változatban állnak rendelkezésre, így szinte minden szerves szennyező anyag átalakítható segítségükkel. Tehát nagy valószínűséggel minden szennyező anyaghoz megtalálhatjuk a megfelelő mikroorganizmust, mely a körülményekhez való alkalmazkodás (akklimatizálódás) után képes lesz az adott anyag átalakításához.

Környezetvédelmi szempontból a bioszűrők minden más megoldást megelőznek, energiafogyasztásuk kicsi, nem keletkezik káros melléktermék, a melléktermékek nem halmozódnak fel a szűrőközegben (talajban), a bioszűrő anyaga használat után sem veszélyes hulladék, s talaj feltöltésekben is felhasználható. Ezért a következő évtizedekben jelentős előrelépést prognosztizálnak ezen vitathatatlanul környezetbarát eljárásnak.

Elméleti alapok

A bioreakció alapvetően a következő összefüggéssel adható meg:

átalakítandó anyagok + oxigén → sejtanyag (biomassza) + szén-dioxid + víz

vagyis a mikroorganizmusok oxidálják a szerves vegyületeket, s ezzel saját sejtanyagot (biomasszát), széndioxidot és vizet állítanak elő. Az oxidáció nem igényel járulékos energiát vagy vegyszert. Az átalakítás tehát a szilárd szemcse felületén kialakuló folyadékfilmben (biofilmben) megy végbe, s így a biológiai véggáz kezelés alapvetően két lépésből áll:

a szennyező komponens abszorpciója a folyadékfázisban és adszorpciója a felületen,
a vegyület biológiai lebontása a filmben a mikroorganizmusok segítségével,

melyet követően a szén-dioxidot el kell távolítani a biofilmből, anyagátadással. A biofilmben bejutó komponensek adszorbeálódhatnak a szilárd anyag felületén, s ekkor az adszorpciót követően megy végbe a biológiai lebontás. A hagyományos abszorpció ill. adszorpció alkalmazásakor általában elengedhetetlen az abszorbens ill. az adszorbens regenerálása, hiszen szorpciós felvételi kapacitásuk véges, s így előbb-utóbb telítődnek. A biológiai lebontásban a regenerálást lényegében a mikroorganizmusok hajtják végre folyamatosan, hiszen biológiailag átalakítják a megkötött anyagot más, kevésbé veszélyes vagy teljesen veszélytelen anyaggá, s a deszorpció elmarad. Az átalakításhoz szükséges oxigént a levegő diszpergálásával vihetjük be a **bioszuspenzióba** (víz, baktériumok, szennyező anyagok és levegő buborékok keveréke).

A szennyező komponens gyors abszorpciója alapvető feltétele a bioszűrésnek, s ez már önmagában is biztosíthatja a jó hatásfokot. Alapkövetelmény az is, hogy ne keletkezzen a folyamatot gátló melléktermék (inhibíció).

A bioszűrőket alapvetően szerves illékony komponensek kezelésére ajánlják, de egyes mikroorganizmusok illékony szerves vegyületek (VIC) lebontására is alkalmasak, s ezek kalcium sókat képeznek.

A mikroorganizmusok alkalmazásával kapcsolatban meg kell említeni az adaptáció (akklimatizálódás) szükségességét, mely időszak alatt hatékonyságuk folyamatosan növekedve eléri a tartósan fenntartható szintet. Ezen időszak alatt a mikroorganizmus alkalmazkodik az enzimhez, a rendelkezésre álló szubsztrátum lebontásának mechanizmusához, s a jelenlévő mikroba kultúrában értelemszerűen azok a törzsek szaporodnak el, melyek könnyebben képesek „elfogyasztani” a megcélzott vegyület(ke)t. Ezt gyakran azzal az időtartammal mérik, mely alatt a lebontás hatásfoka (konverzió) 95 %-ot vagy ennél nagyobb értéket ér el. Az adaptáció igénye és mértéke függ a tápanyagtól (szubsztráttól), a szennyezőanyag koncentrációjától, a szűrőközegtől, az üzemeltetéstől és a környezeti körülményektől, de meggyorsítható levegőztetéssel, az optimális nedvességtartalom és hőmérséklet fenntartásával. Az adaptáció időtartama könnyen lebontható komponensekre 10 nap körüli, nehezen lebomló komponensekre értelemszerűen (lényegesen) hosszabb, mely alkalmas mikroba kultúrával való „beoltással” rövidíthető. A teljesség érdekében meg kell jegyezni, hogy ennél lényegesen rövidebb alkalmazkodási időszakot is tapasztaltak (néhány órát).

Szűrőanyagok

Az alkalmas szűrőanyagok megválasztása a bioszűrők alkalmazásának alapfeltétele, s a következő fontosabb követelményeknek kell eleget tenniük:

- optimális mikrobiológiai környezet (tápanyag, nedvesség, pH, szénforrás);
- minél nagyobb fajlagos felület és szorpciós kapacitás;
- megfelelő szilárdság, porlódás mentesség, minél kisebb tömörödés;
- nagy nedvességfelvevő és nedvesség megtartó képesség;
- kis nyomásveszteség;
- minél kisebb halmazsűrűség,

melyek között értelemszerűen kapcsolatok vannak.

Bioszűrőként az anyagok széles skálája használható, de leggyakrabban természetes szerves anyagokat alkalmaznak, mint talaj, komposzt (fakéreg őrleményből, falombból, kommunális szennyvízkezelők iszapjából), tőzeg. A szerves anyagok eleve tartalmazzák a mikroorganizmusokat (kb. 1 milliárd mikroba/gramm ill. más módon 1 m³ szerves szűrőanyag 10 millió szemcsét, s minden egyes szemcse százezer mikroorganizmust tartalmaz) és ezek tápanyagát (sókat és nyomelemeket), bár egyes esetekben szükséges lehet kiegészítés. Alkalmazhatók szerves anyagok is, mint diatomaföld (kovaföld), aktív szén, timföld, porózus anyag, szilícium-dioxid és mészkő keveréke, melyeket alkalmazás előtt be kell oltani a mikroorganizmusokkal és a megfelelő tápanyaggal (pl. eleven iszappal). Szerves anyagoknál (pl. komposzt) is megpróbálták a hatékonyságot növelni beoltással, de csak az akklimatizáció lett rövidebb, ha az adott szennyezőhöz már eleve alkalmazkodott mikroorganizmust használtak.

A bioszűrő anyagok kapillárisos-pórusos rendszerek, nagy fajlagos felülettel. Tehát lényegében az adszorpcióhoz hasonló mechanizmusok működnek a folyamatban. A talaj ill. a komposzt porozitása 40-50 ill. 50-80 %, fajlagos felületük 1-100 m²/g tartományban

változhat, mely a faszénre vonatkozó értékek nagyságrendjében van. Összehasonlításként az aktív szénre vonatkozó értékek: 50-60 % ill. 1000-1500 m²/g; itt meg kell jegyezni, hogy az aktív szén kapillárisainak-pórusainak csak az a belső felületrésze hatásos a bioszűrőben, ahova a mikroorganizmusok méretük révén beférnek, vagyis a fajlagos felület növekedésének arányában nem növekszik az aktív szén hatékonysága). Ebből adódóan a komposzt és a talaj adszorpciós megkötő képessége viszonylag kicsi, de az oxidáció révén e szorpciós kapacitás folyamatosan regenerálódik (tehát megújul) és ezért a biológiai művelet hatékony. A szűrőrétegben gyakran több anyag keverékét alkalmazzák, ill. lehetséges inert anyag bekeverése is (nyomásesés csökkentése ill. az élettartam növelése céljából). A szűrőréteg általában 0.5-1.5 m vastagságú. A szerves bioszűrő anyagokat a mikroorganizmusok lebontják (öregedés, ásványosodás), ezért a művelet típusától függően bizonyos idő után meg kell újítani a réteget (általában 3-5 év után). Működés közben a réteg tömörödik, ezért időszakonként szükséges a réteg átforgatása (általában 2-3 év után), mellyel a hatékonyság átmenetileg növelhető és a nyomásvesztés szinten tartható. A réteg hatásosságának javítása céljából a szűrőrétegbe legfeljebb 40-60 térfogat %-ban keverhetők nagy fajtérfogatú anyagok (mint pl. faforgács, perlit, vermikulit, polisztirol golyók), a porozitás növelése, a tömörödés csökkentése, a gázelosztás egyenletességének javítása, lényegében a csatornásodás elkerülése és a nyomásvesztés csökkentése érdekében. Ha a terhelés időben nagyon egyenetlen, kiegyenlítésére aktív szenet kevernek a rétegbe, nagyobb szorpciós felvételi képessége miatt (egyes esetekben szükségessé válhat a bioszűrő elé egy aktív szentes adszorber beépítése). A nyomásesés csökkentése érdekében ajánlatos a réteget legalább 60 tömeg %-ban 4-5 mm feletti szemcsékből képezni. Alkalmazás előtt ajánlatos kísérletek elvégzése.

Szerves anyagok esetén a levegő nedvességtartalma kedvező a mikroorganizmusok számára, amíg a szerves anyagok szorpciós felvevő képességét csökkenti, s versengés alakulhat ki a nedvesség és a szennyező komponensek között. A szerves (természetes) anyagok további előnye, hogy áraik nagyságrenddel kisebbek a szintetikus anyagok árainál.

Az elhasznált szűrőanyag - a bioszűrő megfelelő üzemeltetése esetén - trágyaként mezőgazdasági célokra felhasználható vagy kommunális hulladéklerakóban elhelyezhető.

Mikroorganizmusok, üzemi körülmények (hőmérséklet, nedvességtartalom, pH)

Alapvetően kétfajta mikroorganizmus alkalmazható a káros anyagok átalakítására: az autotróf és a heterotróf baktériumok (az eddigiekben minden esetben a természetben előfordult, s nem mesterségesen kitenyésztett mikroorganizmusokat alkalmaztak). Az **autotróf baktériumok** szerves szén és nitrogén nélkül képesek növekedésre (fejlődésre), melyhez energiát az ammónia, a kénhidrogén, a kén vagy vasII ion oxidációjával nyernek. A növekedéshez szükséges szenet a szén-dioxidból kapják (az ún. Calvin-ciklus révén). E baktériumok különösen szerves anyagok lebontására alkalmasak, de növekedési sebességük nagyon lassú (lassú az energia átalakítás), ezért műszakilag (a kivételes esetektől eltekintve) nem nyertek alkalmazást. A **heterotróf baktériumok** a növekedésükhöz szükséges energiát szerves komponensek oxidálásával nyerik. Tehát számunkra (az itt tárgyalt célokra) sokkal fontosabbak és szerves anyagok átalakítására igazán jól alkalmazhatók, bár a komponenshez rendelt optimális működési körülmények meghatározása nem egyszerű, de lényegesen gyorsabbak az autotróf baktériumoknál. Működésükhöz oxigén szükséges (l. az elméleti alapoknál), s ennek beviteli sebessége gyakran az egész folyamat korlátja.

A lezajló biokémiai folyamat összetett, s az anyagátadás folyamatát alapvetően az áramlási viszonyok határozzák meg (az oxigén transzport a mikroorganizmushoz, majd a termék eltvárolása onnan), de a kémiai reakció jelentősen függ a hőmérséklettől, melyet a

tapasztalat szerint az Arrhenius-egyenlettel írhatunk le. A hőmérséklet azonban azért is fontos, mivel a baktériumok érzékenyek a hőmérséklet hatására, s az optimális hőmérséklet-tartomány általában rendkívül szűk. A különböző baktériumokra a különböző hőmérséklet-tartományok az alábbiak:

Baktérium típus	Hőmérséklet-tartomány, °C		
	Minimum	Optimum	Maximum
Pszichrofil			
Obligát	-5 - +5	15-18	19-22
Fakultatív	- 5 - +5	25-30	30-35
Mezofil	10-15	20-45	35-47
Termofil	40-45	55-75	60-80

E tartományok betartása üzemelés során fontos, mivel a minimum alatt ill. a maximum felett néhány °C-szal a baktériumok elpusztulhatnak.

A bioszűrő réteg üzemi hőmérsékletét alapvetően a belépő gázelegy hőmérséklete határozza meg. A bioszűrők többségében a mezofil (közepes hőigényű) és kisebb mértékben a termofil (hőkedvelő) baktériumokat használják, üzemelésre a 25-35 °C hőmérséklet tartományt, optimális értéként 35-37 °C értékeket javasolnak. A szennyező komponens nagyobb belépő koncentrációjánál a felszabaduló hőhatás (a kémiai reakció exoterm) esetleg túlmelegedést idézhet elő, ezért szükséges lehet a halmaz visszahűtése. Ekkor célszerű a belépő gázelegyet pl. vízbepermetezéssel hűteni, mellyel a nedvességtartalom növekszik, s ez előnyös is a mikroorganizmusok számára. A visszahűtés gazdaságos lehet friss levegő bekeverésével is. Hőcserélő alkalmazását nem javasolják mindaddig, amíg a gáz hőmérséklete 10-15 °C alá nem csökken. A hőmérséklet igen fontos üzemi paraméter, kis hőmérsékletnél csökken a mikrobiológiai folyamatok sebessége, de ezt ellensúlyozhatja a megnövekedett szorpciós kapacitás. A nagy hőmérsékletek hatása ezzel ellentétes, s legnagyobb megengedhető hőmérsékletként általában 55 °C-t említene. Általánosan elfogadott a mikroorganizmusok érzékenysége a hőmérsékletváltozásra, de ugyanakkor mindkét irányban megfigyelték a mikroorganizmusok egy időszak utáni regenerálódását, rugalmasságát.

A szűrőanyag optimális nedvességtartalmának folyamatos fenntartása a bioszűrők üzemeltetésének fontos kérdése, mivel a nedvesség jelenléte szükséges a mikroorganizmusok anyagcseréje (metabolizmus) szempontjából. Általánosan elfogadott, hogy a szűrőréteg optimális nedvességtartalma 40-60 tömeg % (ez a pórusokban mintegy 90-95 % relatív nedvességtartalomnak felel meg). Az átáramló gázáram (mely rendszerint telítetlen) szárítja a szűrőréteget, s ezért a nedvesség utánpótlása szükséges, melynek módszerei lehetnek: a belépő gázáram nedvesítése (pl. permetezéssel, gőzbevezetéssel), a szűrőrétegre közvetlen vízbetáplálás vagy ezek kombinációja. A túlzott nedvességbevitel sem előnyös, mivel az elfolyó szennyvíz az egyetlen környezetszennyező anyag (BOI értéke több ezer is lehet, és tartalmazhatja a lebontandó szennyező komponenseket). Permetezésre 5-15 kg/h a javasolt érték, 1000 m³/h gáz térfogatáramra. Az elfolyó víz rendszerint visszavezethető a rendszerbe, de leiszapolás általában szükséges. A biológiai oxidáció exoterm folyamat, így nagyobb belépő koncentrációnál számítani kell némi vízvesztésre (elpárolgás) és ennek pótlására is.

A következőkben röviden összefoglaljuk a túlzottan nedves ill. a száraz szűrőközeg által okozott problémákat:

túlnedvesített szűrőközeg esetén:

- a szűrőréteg pórusait víz tölti meg, növelve a nyomásvesztést, csökkentve a hatásfokot;
- romlik az oxigén átadás a biofilmben, mivel csökken a levegő és a víz érintkezési felülete;
- anaerob zónák jöhetnek létre, mely csökkenti a biológiai lebontást;
- a tápanyag (nutriens) kimosódik a szűrőközegeből;

- nagy mennyiségű, alacsony pH-jú elcsorgás keletkezik.

száraz szűrőközeg által okozott problémák:

- aktivitásukat veszítik a mikroorganizmusok;
- a szűrőközeg összenyomódik, repedezés jelentkezik, s csökken a tartózkodási idő;
- a hidrofób szűrőközeget (pl. komposzt) nehéz újra nedvesíteni.

A szűrőréteg optimális nedvességtartalmának fenntartására a következő lehetőségeink vannak:

- a belépő gázfázis nedvesítése annak érdekében, hogy a legkisebbre csökkentsük nedvesség-felvételi (szárítási) képességét a szűrőrétegben (pl. nedvesítés töltelékes toronyban vagy Venturi mosóban, ill. gázáramba történő közvetlen bepermetezéssel);

- a szűrőréteg közvetlen nedvesítése permetezéssel vagy
- a fenti két lehetőség egyidejű alkalmazása.

A szűrőréteg megfelelő nedvességtartalmának fenntartása gondos tervezést és mérést igényel, minthogy a nem megfelelő nedvesítés működési problémákat okoz (csatornásodás, kellemetlen szagok keletkezése). Ennek elkerülésére a bioszűrőket gyakran automatikus permetező rendszerrel látják el.

A szűrőréteg optimális pH-jának fenntartása ugyancsak fontos a bioszűrés ill. a növekedés szempontjából. A legtöbb mikroorganizmus számára az optimális pH tartomány 7-8, s ennek folyamatos ellenőrzése ajánlatos. Egyes komponensek lebontásakor savas vegyületek keletkezhetnek (pl. kén-hidrogén, ammónia és nitrogén tartalmú szerves anyagok, halogénezett szénhidrogének, melyek kénsav, salétomsav és sósav keletkezéséhez vezetnek), s ilyenkor a savasodást pl. mészkő, márga, zúzott kagylóhéj stb. sztöchiometriailag szükséges mértékű adagolásával akadályozzák meg. Savasodás léphet fel akkor is, ha a bioszűrőt szerves komponensekkel túlterheljük, mivel ezek bomlásának melléktermékei gyakran szerves savak. Ez csökkenti az ágy pH-ját, mely gátolja a mikroorganizmusokat és működési zavarokhoz vezet (pl. ezt etilalkohol esetén megfigyelték, melynek bomlási termékei rendre acetaldehid, ecetsav, majd etil-acetát, s túlterhelésnél a bomlás gyors és a közbülső termékek felhalmozódhatnak; ennek megszüntetésére nátrium-bikarbonát oldatot adagoltak a permetező vízbe). A savasodás legdrámaibb következménye a hatásfokromlás, de ezen kívül természetesen más kellemetlen hatása is van (az alkatrészek korróziója).

A bioszűrőben a mikroorganizmusok a szűrőrétegre rögzítettek, ebből adódóan szaporodásuk és elhalásuk között egyensúly alakul ki, s az elhalt mikrobák részleges tápanyagforrásként szolgálnak.

Alkalmazás

Az adszorpció és az oxidáció sebessége a komponensek biológiai lebonthatóságától és reakció képességétől függ. Általában jól lebontható vegyületek az alkoholok, az éterek, az aldehidek, a ketonok, továbbá a monociklikus (egyciklusos) aromás vegyületek. A lebomlási sebesség természetesen a szűrőközeg, a hőmérséklet, a nyomás, a mikroorganizmus és az anyagcsere-folyamat (metabolizmus) függvénye. Egyes nitrogént vagy ként tartalmazó szerves vegyületek, mint pl. az aminok, szulfidok, ugyancsak jó hatásfokkal bonthatók le mikroorganizmusok közreműködésével. Klórt tartalmazó vegyületek bomlási sebessége jelentősen kisebb. A következő táblázat egy összefoglalót mutat az eddigi tapasztalatok alapján a biológiai lebomlás lehetőségére:

gyorsan lebomló vegyületek	közepesen lebomló vegyületek	lassan lebomló vegyületek
aldehidek	benzol	CFC-k
alkoholok	fenolok	dioxán
butadién	hexán	triklór-etán
etil-benzol	metilén-klorid	triklór-etilén
észterek	metil-etil-ke-ton (MET)	perklór-etilén
éterek	szén-kéneg	
formaldehid	toluol	
ketonok	xilol	
szerves savak		

A táblázatba foglalt adatokkal jó összhangban van a tapasztalat, mely szerint bioszűrőssel - az alkalmazkodási periódus után - a szag komponensek igen jó (általában 95-99 % feletti) hatásfokkal távolíthatók el, de szerves komponensekre is elérheti ezeket az értékeket (toluol, xilol, etanol, butil-aldehyd, etil-acetát), melyhez a megkívánt tartózkodási idő biztosítása elengedhetetlen. Ilyen hatásfok értékeket csak a jól oldódó és biológiailag könnyen lebontható komponensekre kaphatunk.

A bioszűrők általában nagy gáztérfogatok és kis koncentrációk esetén alkalmazhatók gazdaságosan. Az irodalom

10-2000 m² üres keresztmetszet

1000-120000 m³/h feldolgozott gáz térfogatáram

általában 3000-5000 ppm belépő koncentráció

a szűrőanyag térfogategységében 10-160 g/h feldolgozott szennyezőanyag

tartományban javasolja alkalmazását, de ettől eltérő nagyobb értékekre is találunk alkalmazást (pl. belépő koncentráció 50 g/m³). A bioszűrőket kezdetben főleg szag komponensekre alkalmazták, de az elmúlt évek tapasztalatai szerint a véggázok biológiai kezelése is igen gyorsan terjed, melynek legfőbb oka az, hogy viszonylag egyszerű és olcsó berendezésekkel valósítható meg. Eddigi legfőbb alkalmazási területei a vágóhidak, az állattartó telepek, a komposztáló egységek környezetének védelme, s a legfontosabb eltávolítandó anyagok: etilalkohol, merkaptán, fenol, krezol, indol, zsírsavak, aldehidek, ketonok, szénsav, szén-diszulfid (szénkéneg), ammónia és aminok.

A bioszűrők alkalmazásának különleges területe a kommunális szennyvíztisztítók emissziójának csökkentése, mivel ezek jelentősen eltérnek az ipari kibocsátásoktól, ugyanis a komponensek nagy számban és kis koncentrációban fordulnak elő, s jellemző az igen nagymértékű időbeli változás. A vizsgálatok szerint a koncentráció leggyakrabban 50 ppb-től 10 ppm-ig terjed, s a komponensek lehetnek biológiailag könnyen bomló szerves vegyületek, biológiailag nehezen bomló halogénezett szénhidrogének (pl. triklór-etilén, triklór-metán), kén-hidrogén és szaganyagok. Itt tehát felléphet a komponensek kölcsönhatása, mely a vizsgálatok szerint kisebb koncentrációknál jelentősebb, másrészt egyes komponensek lebontásához szükséges lehet más komponensek jelenléte. A vizsgálatok szerint a szerves vegyületek lebontása 80 % feletti hatásfokkal valósul meg, a CFC-k lebontása ellentmondásos volt, s 0 %-tól 60 %-ig terjedt, a kén-hidrogén és a szaganyagok lebontása szintén nagyon jó hatásfokkal ment végbe. A bioszűrő képes jól alkalmazkodni a változó körülményekhez.

A bioszűrők szerves komponensek eltávolítására versenyeznek a nagy hőmérsékletű égetéssel, melynek műveleti ideje másodpercekben mérhető, igen gyors és hatásfoka legalább 99 %. Ehhez nagy energiamennyiség szükséges és jelentős a környezet terhelése is (széndioxid és nitrogén-oxidok kibocsátása). Ezek alkalmazásához általában nagyobb koncentráció (néhány ezer ppm) szükséges, különben pótlólagos tüzelésről kell gondoskodni, ami költségnövekedéssel jár. Katalizátor és/vagy hővisszanyerés csökkenti ugyan az üzemeltetési költségeket,

esetleg a környezeti kibocsátást is, de lényegesen megnöveli a beruházási költségeket (l. részletesebben a kémiai véggáz kezelésnél).

A kémiai abszorpció ugyancsak alkalmazható, a művelet ideje percekben mérhető. A gyors kémiai reakcióhoz energia és vegyszerek szükségesek, a bioszűrőkben megvalósuló lassúbb reakció nagyobb térfogatot igényel, de nincs szükség külön energia ill. vegyszer bevezetésére.

Az aktív szén adszorpció ugyancsak alkalmazható a bioszűrők által eltávolítható komponensekre, különösen ha a regenerálás is megoldott, mely a komponens visszanyerésével járhat (VOC komponensek). E művelet is elsősorban kisebb koncentrációkra gazdaságos. Rosszul adszorbeálódó komponensek (pl. metilén-klorid) kezelése nagyobb költséggel járhat. Elsősorban ilyen esetekben előfordulhat az is, hogy a gázáramban jelen lévő komponensek „versenyeznek” egymással, vagyis a könnyebben adszorbeálódók (pl. vízgőz, mely gyakran jelen van) csökkentik a kevésbé adszorbeálódók megkötését (adszorpciós kiszorítás lép fel).

A hűtés ugyancsak szóba jöhető eljárás, különösen nagy koncentrációjú és tiszta gázáramokra, mivel ellenkező esetben nagyméretű ventilátor (esetleg kompresszor) válhat szükségessé.

Az eddigi tapasztalatok és gazdasági megfontolások tehát azt támasztják alá, hogy a bioszűrők elsősorban biológiailag könnyen lebomló kisebb koncentrációjú komponensek eltávolítására alkalmazhatók. Alkalmazása nem tanácsos pl. nagy koncentrációban jelen lévő szerves vagy biológiailag nehezen lebomló vegyületekre (mint pl. a klórozott szerves anyagok).

Bioszűrők jellemzése

A bioszűrők jellemzésére öt mennyiséget vezettek be, melyek definícióját és a mai gyakorlatban szokásos értékeit a következő táblázatban foglaltuk össze:

Jellemző	számítási összefüggés	egység	tipikus változási tartomány
tartózkodási idő	a készülék térfogatának és a gáz térfogatáramának hányadosa	s	15-60
gáz térfogati terhelés	a gáz térfogatáramának és a készülék keresztmetszetének hányadosa	m^3/m^2 h	50-200
tömegterhelés	a belépő szennyező tömegáramának és a készülék térfogatának hányadosa	g/m^3h	10-160
lebontási képesség	az elbontott szennyező tömegáramának és a készülék térfogatának hányadosa	g/m^3h	10-160
hatásfok	a belépő és a kilépő szennyező tömegáramok hányadosa	%	95-99

A fentiekhez a következő megjegyzéseket kell hozzáfűzni:

- a kémiai tartózkodási idő (reakcióidő) nagyobb, mint a gázfázis tartózkodási ideje, hiszen a reakció a biofilmben megy végbe;
- a gáz térfogati (vagy felületi) terhelés lényegében az üres keresztmetszetre vonatkoztatott (lineáris) sebesség, amit gyakran m/h ill. m/s mértékegységben adnak meg, s növelése csökkenti a tartózkodási időt és fordítva;
- a tömegterhelés átlagos érték, holott a szennyezett gáz belépő keresztmetszetéhez közelebb elhelyezkedő mikroorganizmusok értelemszerűen több anyagot bontanak le (mivel a nagyobb hajtóerő következtében többet is kapnak), mint a kilépő keresztmetszet közelében találhatók;
- a lebontási kapacitás ugyancsak átlagos érték, s hasonló megjegyzéseket tehetünk vele kapcsolatban, mint a tömegterhelésre;
- a hatásfok a leggyakrabban használt mennyiség a bioszűrők jellemzésére, s a hatásfokokat leginkább ez érdekli.

Üzemeltetési kérdések

Rendszerint szükséges a kilépő gázfázis koncentrációjának folyamatos mérése (legalább is az adaptációs szakaszban), hiszen a hatóságok részére gyakran igazolni kell az előírások teljesítését. Ehhez a szűrőpróba szerű ellenőrzések (különösen az adaptációs szakaszban) igen félrevezetőek lehetnek. Ennek érdekében a kilépő gázfázis összes szén tartalmának (TOC) mérése szükséges, s melyre láng ionizációs mérő (FID) vagy foto-ionizációs mérő (PID) alkalmazható. Kétcsatornás mérővel lehetőség van a belépő és a kilépő gáz koncentrációjának egyidejű ellenőrzésére. Többkomponensű szennyező jelenléte esetén pontatlanságok adódhatnak, s ilyenkor elengedhetetlen a műszer hitelesítése szűrőpróba mintákkal. Zárt bioszűrőkre e mérések végzése általában nem probléma, nyitott berendezésekre rendszerint 1 m² felületű mozgatható mérőtetőt helyeznek el a szűrőágy fölé, melynek helyét változtatják, s ezzel biztosítják a megbízható adatok mérését.

Összefoglalás

Gázok biológiai kezelése - előnyei és egyes iparilag fejlett országokban viszonylag gyors terjedése ellenére - ma nem eléggé elfogadott és alkalmazott, annak ellenére, hogy pl. a biológiai szennyvízkezelés vagy a biológiai talajjavítás (melioráció) igen régóta és széles körben alkalmazott eljárás. A gázok lényegesen gyorsabban bomlanak le, mint a folyadékok vagy a szilárd anyagok, a bioszűrés nem szennyezi a talajt, mivel kicsi a tömegsebesség és az oxigén nagy feleslegben van jelen, tehát környezetbarát eljárás. A szennyezett gázok biológiai kezelése a világ legtöbb részén új technológia, alkalmazási lehetőségét mégis ritkán veszik tekintetbe, mely főleg a kémiai kezelés (kémiai oxidáció, termikus ill. katalitikus égetés) ill. az abszorpció és az adszorpció elterjedtsége miatt van. A bioszűrés lényegében a természetben megvalósuló eljárás mesterséges adaptációja. Ugyanis szerves illékony vegyületek igen régóta vannak a légkörben, melyek kiülepednek és adszorbeálódnak a növények és a talaj felületére, ahol elbomlanak. Ez azonban nem eléggé hatékony, lényegében a nem megfelelő érintkezés és a viszonylagosan lassú kémiai reakció miatt, mely viszont a bioszűrőkben kiküszöbölhető, a kedvezőbb működési körülmények megteremtésével.

Világviszonylatban a bioszűrők elterjedését becsülik, ennek érdekében tartottuk szükségesnek elméleti kérdéseit és gyakorlati alkalmazási lehetőségeit bemutatni. A fejlődés e területen is folyik, s elsősorban a feladatoknak jobban megfelelő mikroorganizmusok fejlesztése és a működésükhöz szükséges körülmények megteremtése a cél (különösen a lassan bomló komponensekre), hiszen csak így csökkenthető a szükséges felület. Várható a kedvezőbb és hosszabb élettartamú szűrőközegek fejlesztése is, mivel ezzel a működési és fenntartási költségek csökkenthetők, de előrelépés szükséges a berendezések irányításában is. Természetesen nem állítható - mint egyetlen más módszer esetében sem -, hogy univerzális megoldás minden szennyezési problémára. Tehát a többi berendezéssel, lehetőséggel ill. módszerrel együtt kell figyelembe venni a gázáramokat szennyező különféle komponensek eltávolításához, s gazdaságossági ill. környezetvédelmi szempontok szerint kell dönteni.

Összefoglalva a bioszűrő alkalmazásának

előnyei: kis energiaszükséglet, alacsony üzemeltetési (működtetési) költség, kis karbantartási igény, egyszerű konstrukció, nagy rugalmasság (sokféle komponens),

hátrányai: nagy helyszükséglet, korlátozott alkalmazási lehetőség: viszonylag kis szennyező koncentráció, klórozott szennyezők csak nyomokban lehetnek, kis tartalék kapacitás a terhelésváltozásra, a mikroorganizmus biológiai adaptációja szükséges az adott szennyezőhöz,

s igazán környezetbarát eljárás.