

# A LEVEGŐ SZERVES SZENNYEZŐANYAGAINAK BIOLÓGIAI LEBONTÁSA

Dr. Takács János  
*egyetemi docens, Ph.D.*  
*Miskolci Egyetem*

## 1. BEVEZETÉS

Az ipar, elsősorban a vegyipar és a különböző vegyi anyagokat felhasználó iparágak a termelésük során nagymértékben bocsátanak ki a természetes levegő összetételétől idegen anyagot (szennyező anyagot), ill. az üzem környezetében a kibocsátás jelentős mértékben megváltoztathatja az élőlények (köztük az ember) számára is oly fontos levegő összetételét.

E szennyezők között megemlíthetjük a CO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>; NO<sub>x</sub> szilárd levegő szennyező anyagokat, nehézfém gőzöket és idetartoznak még az illékony szerves vegyületek is, mint például a BTX vegyületek. Hatásukra az élőlények (növények, állatok, emberek) megbetegedhetnek (mértéke függ a ható anyagtól, annak koncentrációjától, az élőlény ellenálló-képességétől), de károsító hatást gyakorol az élettelen környezetre is.

Az élővilág, az élet minőségének fenntartása, az élettelen dolgok, javak megőrzése megkívánja a szennyező anyag emisszió koncentrációjának csökkentését, amely technológiai fegyelem mellett a szennyezett levegő megfelelő tisztításával érhető el. Célszerű meghatározni azokat a szétbontási paramétereket, azok feltételeit, melyek az optimális vagy ahhoz közeli mértékű szennyezőanyag ártalmatlanítást eredményezhetik.

## 2. LEVEGŐTISZTÍTÁSI ELJÁRÁSOK [1; 2]

Elsősorban az antropogén eredetű (ipari égetők, ipari folyamatok, közlekedés, kis vállalkozások, házi tüzelés, állattartás) levegő szennyezés emisszió-koncentrációjának csökkentése az alábbi eljárások valamelyikével, vagy némelyek együttes alkalmazásával lehetséges:

- fizikai, ill. fizikai-kémiai,
  - kémiai;
  - termikus;
  - biológiai eljárások.
- A *fizikai, ill. fizikai-kémiai eljárások* közé tartoznak a porleválasztási, az adszorpciós, valamint a kondenzációs eljárások.
- *Kémiai eljárásokon* alapulnak a gázmosók, melyeknél a szennyező anyag vízben (vagy más oldószerben) abszorbeálódik, vagy kémiai reakció révén a vízbe beoldódik.
- A *termikus eljárások* során a szennyező anyag valamilyen oxidáló vagy redukáló közegű, alacsony, vagy magasabb hőmérsékletű termikus kezelés közben széttroncsolódik.

### 2.1. A szennyezett levegő biológiai tisztításának elve

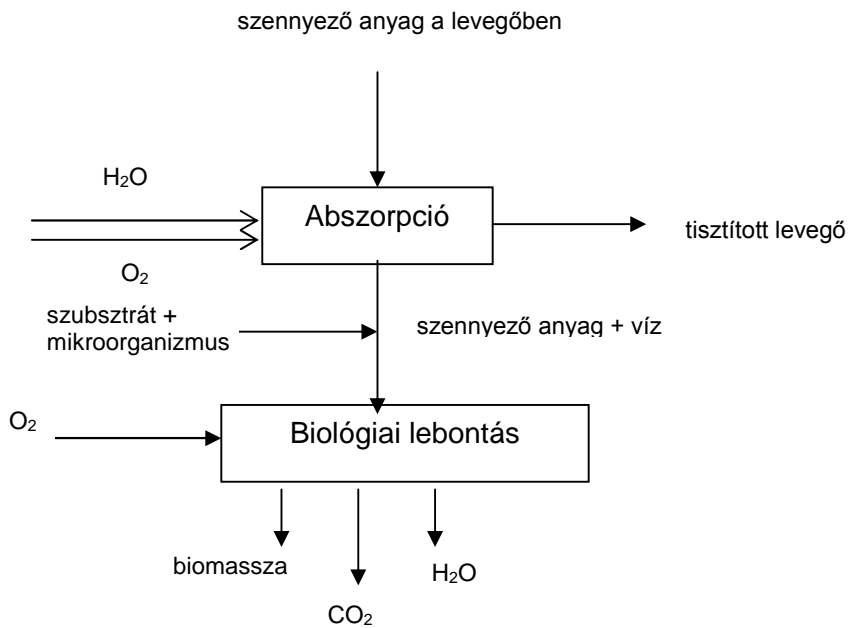
A biológiai levegőtisztítás során a levegőben lévő szerves, vízben oldható és biológiailag bontható anyagokat mikroorganizmusok lebontják, vagyis ártalmatlanítják, miközben, nem mérgező mellékterméket állítanak elő.

A lebontás azonban nem gázfázisban, hanem csak folyadékfázisban megy végbe. Így a szennyezett levegőt szilárd és/vagy folyadék közegen, közegben telepített mikroorganizmusokkal tisztíthatjuk meg.

A gázban lévő szennyező anyag a folyadékkal történő keveredése közben a vízben oldódik, majd az aerob mikroorganizmusok az eminkatalitikus reakciót végrehajtják. A folyamat végeredményeként széndioxid (CO<sub>2</sub>) és víz (H<sub>2</sub>O) keletkezik.

A biológiai levegőtisztítási eljárások között megkülönböztethető:

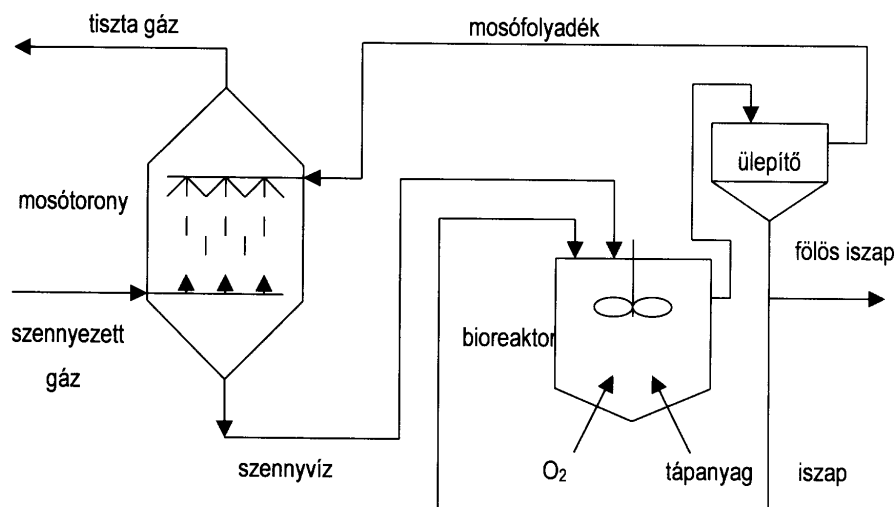
- biomasási eljárások;
- biomembrán-reaktoros eljárás;
- bioszűrési eljárások.



1. ábra: A biológiai levegőtisztítás sémája

### 2.1.1. A biomasási eljárás

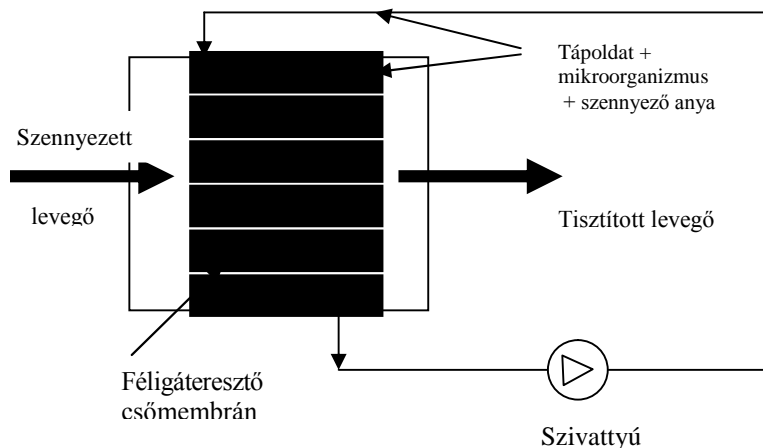
Ennél az eljárásnál a levegőben lévő szennyező anyagot egy abszorpciós folyamat segítségével a levegőből vízben oldjuk és a keletkezett *szennyvizet* biológiailag tisztítjuk (2. ábra).



2. ábra: A biomasás sémája eleveniszapos bioreaktorral

### 2.1.2. A biomembrános eljárás

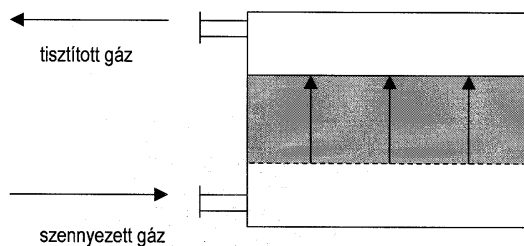
A biomembrános eljárásnál a tisztítandó szennyezett levegőt egy féligáteresztő membrán alkotta csőrendszeren vezetik át, melynek külső felületén található a mikroorganizmusok. A szerves szennyező anyag a membrán belső falához jut, majd átdiffundál a mikroorganizmusokhoz, amelyek tápoldatban szuszpendált állapotban találhatóak. E mikroorganizmusok végzik a szerves anyag lebontását (3. ábra).



3. ábra: A biomembrános eljárás sémája

### 2.1.3. A bioszűrési eljárás

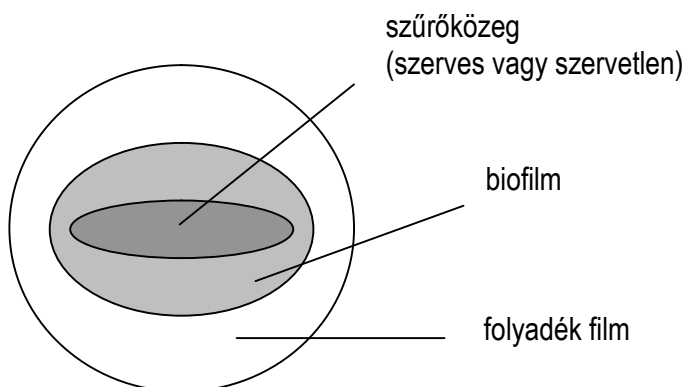
A legismertebb és leggyakoribb eljárás a levegőt szennyező szerves anyagok lebontására. A biofilter egy szilárdágyas reaktor, amelyben egy aránylag nagy porozitású szilárd halmaz található. A mikroorganizmusok ennek a szilárd halmaznak a szemcséire telepednek meg. A tisztítandó levegő ezen a közegen áramlik és eközben a szennyező anyag a mikroorganizmusok által lebontódik (4. ábra).



4. ábra: A bioszűrési eljárás sémája

### 3. A BIOSZŰRÉS ELMÉLETI ALAPJAI [1; 2]

A bioreaktor belsejét kitöltő szűrőközeg, ill. mikroorganizmusokat hordozó közeg szerves és/vagy szervetlen szilárd szemcsés anyag, amelynek felületén a mikroorganizmusok biofilm formájában megtelepednek. A biofilmet a nagy nedvességtartalmú tisztító levegőből lecsapódó vízfilm vesz körül (5. ábra).



5. ábra: A bioszűrő részecskéinek sematikus felépítése

A káros anyagot és az oxigént a gázfázisból a vízfilm felveszi (abszorpció). Ezek diffúzió révén eljutnak a mikroorganizmusokig, amelyek asszimilálják, ill. lebontják,  $\text{CO}_2$ -vé és  $\text{H}_2\text{O}$ -vá átalakítva.

#### 3.1. A szűrőközeg főbb jellemzői

A kifejlesztett első bioszűrők töltete, szűrőközege különböző komposzt, illetve tőzeg volt. Később durvább szemcseméretű csarab, faháncs, fagyökér, faforgács alkalmazása került előtérbe.

Célszerű a „kétféle” közeget keverni, azaz a komposztot, tőzeget faforgáccsal lazítani (kb. 60-40 % arányban), mivel ezáltal jelentősen csökkenthető az ágy nyomásvesztése, és megtartható annak biológiai aktivitása is.

A kívánt mértékű lebontás biztosítása a szűrőközeg megfelelő jellemzőinek betartását igényli. Ezek az alábbiak:

### ***A szűrőközeg nedvességtartalma***

A bioszűrő működésénél a folyadék-film jelenléte nélkülözhetetlen, hisz a szennyezőanyag lebontásának első lépését a szennyezőanyag folyadék fázisban történő oldódása jelenti. Ehhez a megfelelő nedvességtartalmat (40-60 %) a szűrőágyban biztosítani kell. Alacsonyabb nedvességtartalom esetén a lebontás hatásossága erősen romlik.

### ***A biofilm***

A biofilm a bioszűrő tölteten képződik, víz és különböző mikroorganizmusok alkotják. A lebontás szempontjából előnyös, ha a biofilm a mikroorganizmusokat csak monorétegben tartalmazza. A mikroorganizmusok immobilis voltának következményeképpen:

- az immobilizáció hatására a szennyezőanyag és az O<sub>2</sub> transzportja a biofilmben csak diffúzió révén történhet;
- a hátráltatott diffúzió csökkenti a keletkező végtermékek (CO<sub>2</sub>) elszállítását, és így hatása van a pH-érték alakulására is;
- a biofilmben a mikroorganizmusok mobilitása nagyon kismértékű, más helyre csak egy-egy levált mikroorganizmus rész juthat a levegőáramlás által.

## **3.2. A lebontást végző mikroorganizmusok**

A levegőben lévő, majd a vízben abszorbeálódott szerves vegyületek lebontására sokféle mikroorganizmus alkalmas. Ezek között található baktériumok, gombák, élesztőgombák, tehát sok esetben heterogén összetételű kultúra alkalmazása előnyös. Speciális esetekben a szerves szennyezőanyag leépítéséhez azonban csak tiszta törzsek alkalmazhatók.

A baktériumok fejlődését, így a szennyező anyag lebontását is az alábbi tényezők befolyásolják:

- a) tápanyag mennyisége,
- b) hőmérséklet,
- c) nedvességtartalom,
- d) pH érték,

de hatással van a rendelkezésre álló oxigén-mennyiség, a mikroorganizmus környezetében kialakuló ozmotikus nyomás, az anyagcsere termékek transzportja is, valamint a lebontó baktériumok fiziológiai aktivitása és a populáció száma is jelentős szerepet játszik. Optimális körülmények között a populáció száma nagyobb mint 10<sup>6</sup> db/g.

### 3.3. A bioszűrés során bekövetkező biolebontás eljárás technikai alapjai

A bioszűrőben komplex és nagyszámú fizikai és kémiai folyamatok játszódnak le, melyek között makro- és mikrofolyamatok különböztethetők meg.

Ezek közé tartoznak az oxigén és a szennyező anyag gázfázisban valamint a vízfázisban való áramlása a mikroorganizmusokhoz, azok diffúziója, majd a lebontása és a lebontás termékének (CO<sub>2</sub>, ill. gázhalmazállapotú kénvegyületek) vízközegből a gázfázisba történő szállítása.

Ezeket a folyamatokat befolyásoló tényezők:

- **áramlási viszonyok**; azaz a levegő bevezetésének, a szűrőágyon történő átáramlásának sebessége;
- **ad- és abszorpció**; a biokémiai lebontást figyelembe véve a két folyamat közül az abszorpciónak van nagyobb jelentősége. Az abszorpciót, azaz a gáz molekulák beoldódását a vízbe a gáz összetétele, gáz és víz hőmérséklet, valamint a nyomásviszonyok határozzák meg Henry-Dalton törvénynek megfelelően;
- **diffúzió**; a biofilterben lejátszódó lebontás alapja a szennyező anyag gázfázisból a biofilmbe való hatásos átbecsátása, amely diffúzió segítségével történik meg. A diffúzió hajtóereje a koncentráció-gradiens. Az anyagáramot ez esetre a Fick-törvény írja le:

$$\dot{n}_i = \frac{-Ddc}{dx} \quad (1)$$

azaz az  $\dot{n}_i$ ... anyagáram arányos a D diffúzió együtthatójával és a dc koncentráció gradienssel  $\frac{dc}{dx}$ .

Összeségében a bioszűrés alatt érvényesülő anyagátbocsátási rendszere a következő: az első lépésben a káros anyag a turbulens gázáramból diffundál a lamináris határrétegbe, majd abszorpcióval a folyadék fázisba jut. A vízfázison belül konvektív diffúzió révén a határrétegbe jut. Innen az oldott szennyezőanyag átdiffundál a biofilm-határrétegbe, majd a biológiai lebontás következik. A lebontás végtermékeként keletkező gázszerű termékek CO<sub>2</sub> és esetlegesen a kénvegyületek, ugyanezt a folyamatot teszik meg ellentétes irányban.

A lebontást az eljárástechnikai paraméterekkel befolyásolhatjuk, úgy mint:

- a tartózkodási idő növelése;
- a biológiai aktivitás fokozása;
- a diffúzió optimálása;
- a koncentrációs viszonyok alkalmas megválasztása;
- a szennyezőanyag oldhatóságának javítása, stb. révén.

### 3.4. A bioszűrő-reaktorok típusai

A bioszűrőt úgy kell megépíteni, hogy a kítűzött feladatot teljesíteni tudja, építészetileg optimálisan üzemeltethető legyen.

Természetes, hogy az építési formák az első szűrő bevezetése óta egy fejlődésen mentek keresztül, és egyre újabb, a feltételeket jobban kielégítő konstrukció jelent meg.

Az első bioszűrő egy *felületi szűrő* volt talajba építve, melynek vastagsága 0,5-1,5 m között volt. A fejlesztés során a *felületi szűrőt szegmensekre bontva* építették meg, mely biztosította az üzemelés alatti karbantarthatóságot. A bioszűrés helyigényét csökkentve alakították ki a nagy *magasságú szűrőt*, majd az *emeletes szűrőt*, melynél több szűrőréteget helyeztek el egymás felett.

A *konténer-szűrő* kis méretű, szállítható kivitelű szűrő, a helyi igényeknek megfelelően egymás mellett, felett elhelyezhetők.

A 80-as évek elején mint új konstrukció jelent meg a *torony szűrő*, és az utóbbi időszakban fejlesztették ki az úgynevezett *Rotor-bioszűrőt*. A biológiai lebontást egy forgódobba töltött szűrőközegen adszorbeálódott mikroorganizmusok végzik lassú forgás közben.

A bioszűrők lehetnek nyitott, vagy zárt rendszerűek.

### 3.5. A bioszűrő alkalmazhatósága

A bioszűrők alkalmazhatóságát a különböző levegőt szennyező anyagra megvalósított berendezések és laboratóriumi kísérletek bizonyították. Ezek az anyagok a következők:

- alifás szénhidrogének;
- aromás szénhidrogének;
- oxigén tartalmú vegyületek;
- kéntartalmú vegyületek;
- nitrogén tartalmú vegyületek;
- halogénezett szénhidrogének;
- és néhány anorganikus vegyület.



## 4. A MISKOLCI EGYETEM ELJÁRÁSTECHNIKAI TANSZÉKÉN VÉGZETT KÍSÉRLETEK

### 4.1. A kísérleti berendezés kialakulása

Düsseldorfi Főiskolán végzett kísérletek eredményeiből az alábbi következtetésekhez jutottunk, melyeket kísérleteink során igyekeztünk figyelembe venni:

- a kísérleti bioszűrő berendezés megfelelő feltételek mellett alkalmas a toluol lebontására,
- a legfontosabb befolyásoló körülmények a szűrőközeg pH-ja (pH = 6-8); nedvességtartalma (40-60 %); a benne lévő baktérium szám (több  $10^6$ /g); a szennyezett levegő hőmérséklete (22-25 °C) és szennyezőanyag koncentrációja,
- az elvégzett kísérletek szerint az átlagos lebontási fok 75 %.

A Tanszéki bioszűrő állomást a Düsseldorfi Szakfőiskola Kémiai technológiai és Bioeljárás-technikai Intézeti német kollégák segítségével építettük ki. Megterveztük, a szükséges berendezéseket legyártottuk, ill. beszereztük, és összeállítottuk a technológiai kört, amelyben a BTX-vegyületek biológiai lebonthatóságát vizsgáltuk a düsseldorfi kollegák eredményeinek ismeretében [3; 4].

#### – *A bioszűrőgeometriai adatai*

A bioszűrő reaktor  $0,25 \text{ m}^2$  keresztmetszetű, az oldal élei 0,5-0,5 m. A magasságát (1,3 m) úgy alakítottuk ki, hogy a szűrőközeg magassága 1 m legyen.

A szűrőberendezés rozsdamentes acél lemezből készült, a lemez vastagsága 3 mm. Különböző helyeken megerősítéseket helyeztünk el, hogy a töltet hatására minél kisebb mértékben deformálódjon.

#### – *A szűrőtöltet*

A bioszűrő-töltet anyagául növényi komposztot választottunk, melyet 20 mm alatti fahánccsal kevertünk 60 : 40 %-os arányban. A mikroorganizmus tartalma  $10^5$ /g. Mivel a töltet anyag szerves anyag volt, amely a baktériumok számára tápanyag forrásul is szolgált, tápanyag oldat bekeverésére, ill. folyamatos hozzáadására nem volt szükség.

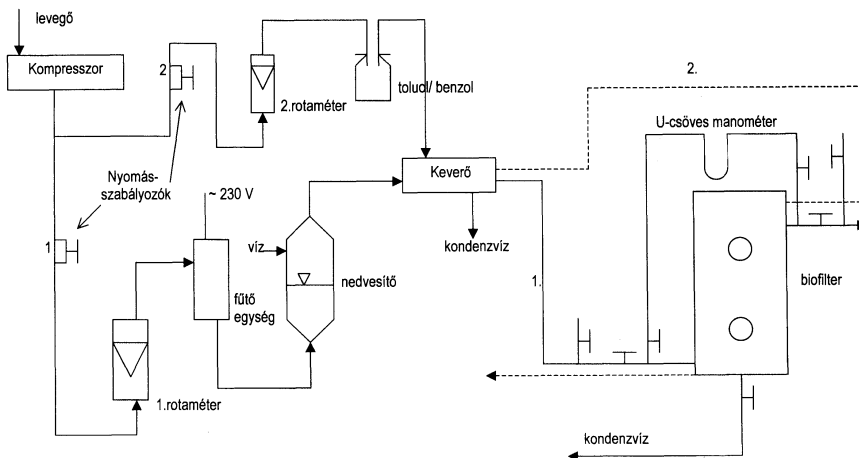
– *A bioszűrési technológia összeállítása és a különböző eszközök, berendezések főbb jellemzői*

A technológiát úgy alakítottuk ki, hogy mesterségesen előállított szennyezett levegő optimális lebontását megvalósíthassuk. A technológia sémáját a 6. ábra mutatja.

A szükséges levegő mennyiséget egy *kompresszor* (8 bar, 18,5 kW) segítségével sűrített levegőből biztosította. A sűrített levegőből *két nyomás szabályozó* segítségével előállítottunk egy 10 m<sup>3</sup>/h és egy kisebb, 10-200 l/h térfogatáramú kört.

A főáramú nyomásszabályozó (0-16 bar) segítségével a levegő térfogatáramát egy 5-25 m<sup>3</sup> méréshatárú *rotaméterrel* állítottuk be úgy, hogy az átáramló légáram 10 m<sup>3</sup>/h legyen. Az első kísérletek, ill. a hideg idő beállta után a körbe következő elemként egy *fűtőt* építettünk be (1,8 kW fűtőteljesítményű), mellyel 40 °C fölé emeltük a levegő hőmérsékletét.

Ezt követi a *levegő nedvesítő* (nedvességtartalom 93-99 %), majd a fő- és mellékáramú levegő összekeverése. A keverőbe a főáramot tengelyirányú, míg a mellékáram centrifugálisan vezetjük be. Ezekután a szennyezett levegő a *bioszűrőbe* jut, ahol a levegő hőmérséklete 23-25 °C.



6. ábra: Az Eljárás-technikai Tanszéken megépített bioszűrési eljárás sémája

A mellékáramú levegő feladata a szennyező anyagok főáramba juttatása. A koncentráció változtatás miatt ennek térfogatáramát *rotaméter* és *nyomásszabályozó* segítségével 10-200 l/h állítottuk be.

Ezt a légáramot vezettük be egy 1 liter űrtartalmú *üvegedénybe*. Az edény alján volt a szennyező anyag, amely könnyen illanva a légáramba került, és így létrehoztuk a szennyezett levegőt (tömény), amelyet a *keverőben* hígítottunk a 10 m<sup>3</sup>/h főárammal.

## 4.2. A vizsgált szennyező anyagok legfontosabb tulajdonságai [3]

A kísérletekhez modell szennyezett levegőt állítottunk elő toluol ill. benzol levegőbe való bekeverése révén. E BTX vegyületek legfontosabb jellemzői a következők (1. táblázat):

1. táblázat: A BTX vegyületek néhány jellemző adata

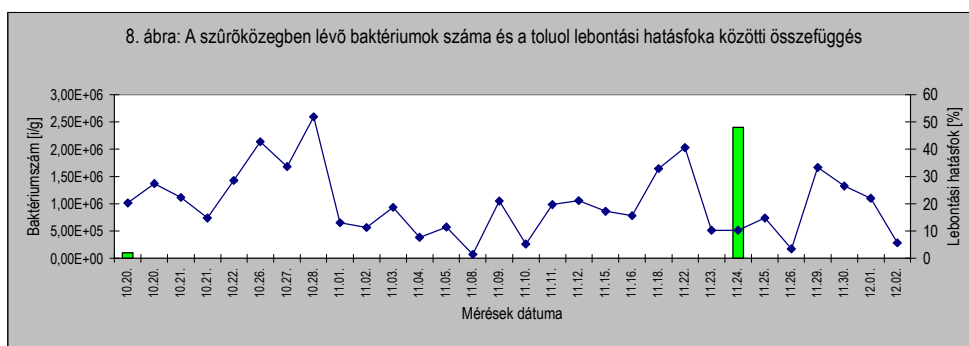
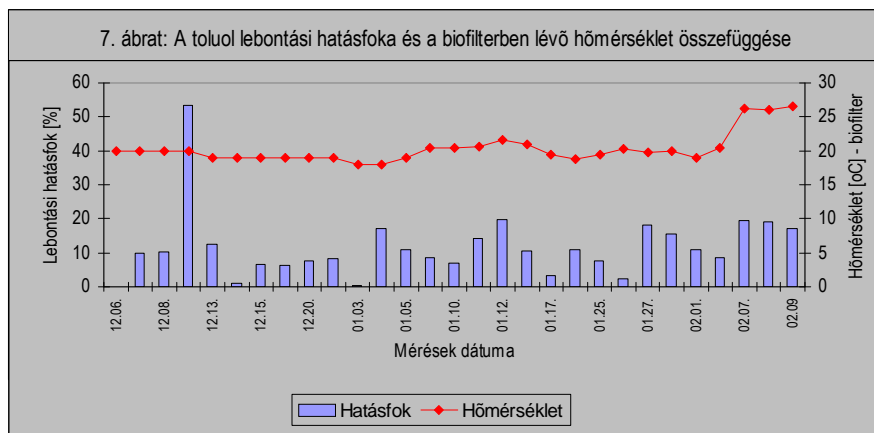
Anyag	Képlet	Mol.tömeg [g/mol]	Sűrűség [g/cm <sup>3</sup> ]	Olv. hőm. [°C]	Forr. pont	MAK érték [ppm]
Toluol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92,15	0,866	- 95	111	100
Benzol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,11	0,879	5,5	80,1	-
Xilol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,16	0,88	-	137-140	100

## 4.3. A kísérletek menete, vizsgált paraméterek

Naponta vettünk mintákat a nyers és tisztított levegőből, melyet a TVK RT. központi laboratóriumába eljuttattunk, ahol a toluol és benzol tartalmakat meghatározták.

A laboratóriumi bioszűrő beüzemelését toluollal szennyezett levegő tisztításával kezdtük (7.-8. ábrák). Kezdeti időszakban a mikroorganizmus szám 10<sup>5</sup> nagyságrendű volt. A kísérletek első szakaszában a baktériumok adaptálódnak, kiválasztódnak a szennyező anyagnak megfelelően. Mindezt figyelembe véve a kezdeti időszakban a 14-52 %-os lebontási hatások jó értéknek fogadható el.

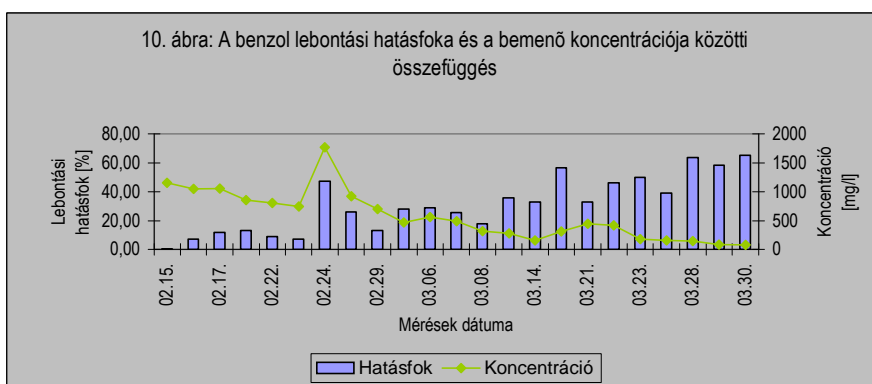
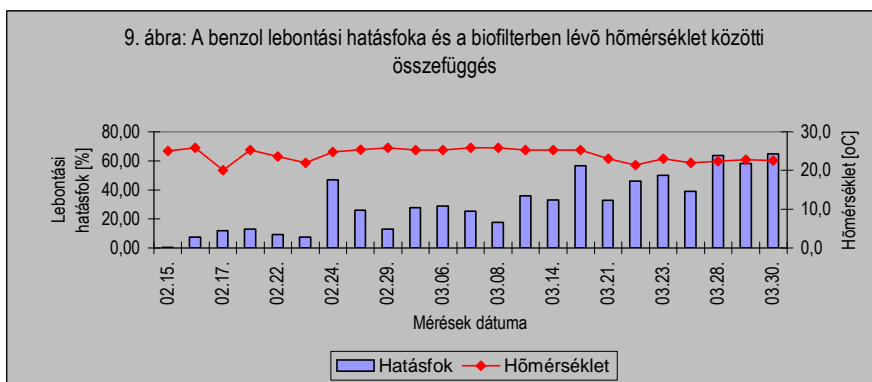
Ezt a kb. 10 napos időtartamot követő időszakaszt az aránylag nagy mikroorganizmus szám ( $10^6$  nagyságrend) mellett az alacsony és ingadozó lebontási hatások jellemezte. Oka a komposzt alacsony nedvességtartalma (20-25 %) volt, amelyhez hozzájárult még a levegő aránylag kis páratartalma (~ 60 %). Az alacsony nedvességtartalom következménye a mikroorganizmusok pusztulása. A levegő hőmérsékletének túlzott mértékű csökkenése miatt kevés nedvesség került be a szűrőközegbe (nincs kondenzáció), és a mikroorganizmus nagymértékben lecsökkent. Az említett okok miatt egy levegő elektromos előmelegítőt építettünk be a technológiai körbe. Következményként a szennyezett levegő páratartalma megnőtt.



Az eredmények alakulásától függetlenül, néhány kedvező eredmény és a düsseldorfi kísérletek eredményeit figyelembe véve, a toluolos kísérletekről átálltunk a benzol lebontásának vizsgálatára.

E kísérletek eredményeit a 9. és a 10. ábra mutatja be.

A kezdeti kis lebontási hatások oka elsősorban a baktériumok adaptálódása, másrészt az alacsony nedvességtartalom a szűrőközegben.



A következő fázisban a lebontási hatások némi emelkedése következett be, de ennek mértéke még mindig nem volt elegendő. Ezt javítandó, megváltoztattuk a szűrőközegben a levegőáramlás irányát úgy, hogy a bevezetés a szűrő tetején történt, míg a tisztított levegő elvezetésére a szűrő alján került sor.

A levegő áramlási irányának megváltoztatása hatására a szűrőben megnőtt a szűrőközeg nedvességtartalma és feltehetően a mikroorganizmus. Ennek a megállapításnak az alapja az, hogy a benzol leválasztásának hatásfoka megnőtt 30-46 %-ra, majd 60 % körüli értékre emelkedett.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakirodalom és a kapott kísérleti eredményeket vizsgálva, az első és a legfontosabb tapasztalat az, hogy a toluol, és a benzol a megfelelő üzemi paraméterek mellett bioszűrési eljárással a szennyezett levegőből jó eredménnyel leválasztható, és jó hatásfokkal lebontható. Megfelelő reaktorban, optimális feltételek mellett a lebontási hatásfok 80-90 % közötti mértékűre várható. Ezen paraméterek a következők:

- a szennyezett levegő páratartalma: 95-99 %
- a szennyezett levegő hőmérséklete: 20-25 °C
- a szűrőközeg nedvességtartalma: 40-60 %
- megfelelő baktériumszám a szűrőközegben, ill. annak szemcséinek felületén min.  $10^6$ /g
- szennyezett levegő megfelelő tartózkodási ideje a szűrőközegben, minimum 70 s
- ezeken kívül befolyásoló tényezők még a komposzt minősége (összetétele, szemcseméret)
- a levegőben a szennyező anyagok koncentrációja
- az anyagátbocsátású jellemzőitől.

Az elvégzett kísérletek eredményei alapján javaslatot tettünk a TVK RT.-nek a Központi Szennyvíztisztító Telepükön az előlevegőztetésnél keletkező kb. 20-30 mg/l koncentrációjú BTX vegyülettel szennyezett levegő bioszűrővel történő tisztítására, amit a TVK RT megvalósított.

Az eredményeket figyelembe véve, a kutatást célszerű továbbfolytatni, melynek célja lehet az anyagátadás intenzitásának, valamint a szennyező anyag koncentráció változásának hatásvizsgálata a bioszűrési folyamatra.

## IRODALOM

- [1] Olaf Decreßin: Biofilter: Modellbildung, Verifikation und Simulation. TC-Schriftenreihe Band 2 FIT-Verlag, Paderborn, 1997.
- [2] Karl Schwister: Taschenbuch der Verfahrenstechnik. Fachbuchverlag Leipzig, Carl Hansel Verlag, 2001
- [3] Thorsten Werstfahl: Konzeption und Konstruktion einer Biofiltermodellanlage sowie Untersuchungen zum Abbauverhalten von Schadstoffbelasteter Abluft. Diplomater, Fachschule Düsseldorf, 1999.
- [4] Kálmán Dóra: BTX vegyületekkel szennyezett levegő tisztíthatóságának vizsgálata biofilter segítségével. Diplomater, Miskolci Egyetem, 2000.