

## Biofilm rendszerek alkalmazása a szennyvíztisztításban

<sup>1</sup>Oláh József - <sup>2</sup>Princz Péter - <sup>3</sup>Kucsák Mónika - <sup>4</sup>Gyulavári Imre

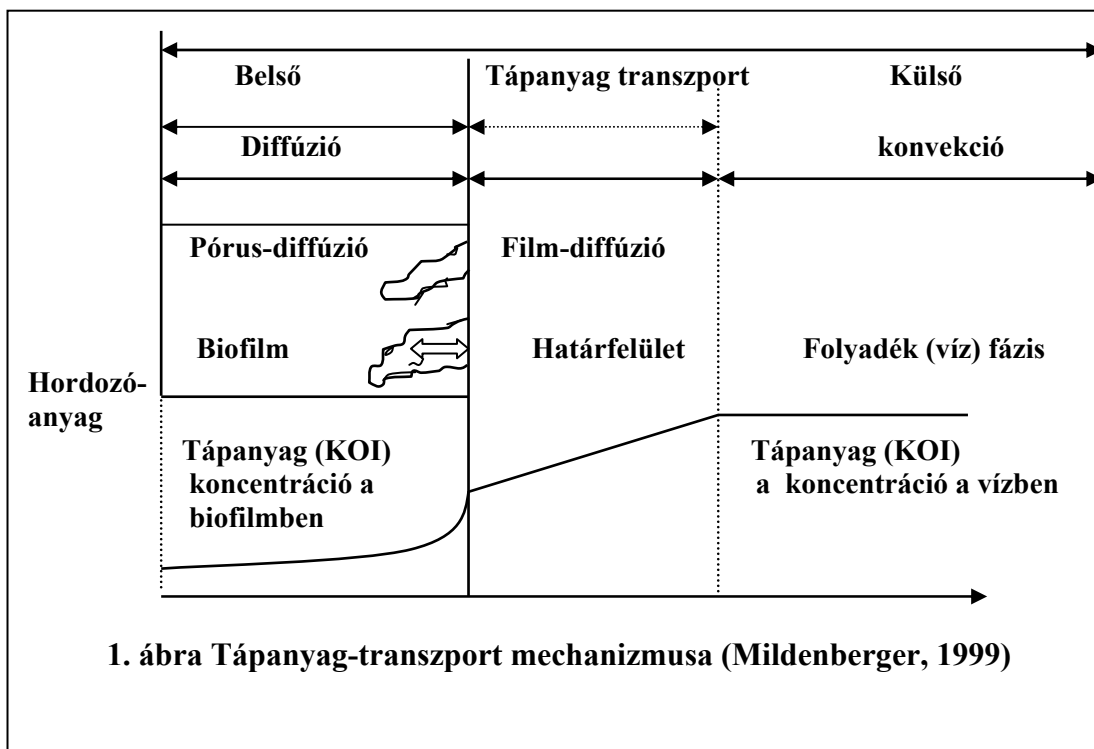
### 1. Bevezetés

A biológiai szennyvíztisztításban a csepegtető- és forgó tárcsás csepegtető testek alkalmazása már régóta ismert. A biofilm rendszerek tovább fejlesztésében áttörésnek tekinthető a bioszűrők, mozgó áramló biotöltetek és az eleven iszapos rendszerbe adagolt szuszpenzió jellegű hordozóanyag örlemények (aktív szén, antracit, zeolit stb.) alkalmazása. Valamennyi hordozóanyag felületén megtelepedett baktériumok biofilmet képez és a hordozóanyagok felületén lejátszódó biológiai folyamatok azonosak.

Közleményünkben a hagyományos eleveniszapos eljáráshoz legegyszerűbben kapcsolható rögzített filmes és a porszerű hordozóanyaggal elért konkrét eredményekkel foglalkozunk.

### 2. Biofilm rendszer tápanyag hasznosítási mechanizmusa

*Biofilm* rendszerben a biomassa vékony rétegben (20 – 1000  $\mu\text{m}$ ) nagy fajlagos felületű, rögzített vagy mozgó, áramló hordozó anyagokra telepítve (fixálva) végzi a szubsztrát (BOI<sub>5</sub>, KOI) lebontását. A tápanyag transzport egyszerűsített mechanizmusát az 1. ábra mutatja be.



<sup>1</sup> Fővárosi Csatornázási Művek Rt.

<sup>2</sup> NATO Science for Peace project, igazgató

<sup>3</sup> Ph. D. hallgató, Szent István Egyetem, Gödöllő

<sup>4</sup> GYULAVÁRI CONSULTING Kft.

Tápanyag-hasznosítás mechanizmusa (*Shigehisa Iwai és Takane Kitao 1994*):

- Az irreverzibilis módon biopolimerek által a hordozóanyaghoz és egymáshoz kötött sejtek a vízben lévő oldott tápanyagokat lebontva szaporodnak és a sejtanyag termékek a tisztított szennyvízzel távoznak.
- A sejtek felületéhez adszorbeálódott egyéb lebegő szervesanyagok és a biofilm növekedése következtében a biofilm egy része leválik és a tisztított, szennyvízzel távozik, majd a biofilm megújulása az a.) pontban vázoltak alapján megkezdődik.

Meghatározóak a diffúziós folyamatok. Kétirányú diffúzió: oxigén és a szubsztrát a biofilmbe, metabolikus termékek (anyagcsere termékek és széldioxid) a biofilmből a tisztított, szennyvízbe diffundálnak (*Öllös és Szilágyi, 1996*).

Rögzített biomasszával működő legfontosabb aerob eljárásokat az *1. táblázatban* foglaltuk össze.

### 1. táblázat Hordozó-anyagra rögzített biomasszával működő legfontosabb aerob eljárások összefoglalása

<i>Biofilm rendszer megnevezése</i>	<i>Áramlás iránya, rátáplálás</i>	<i>Hordozóanyag megnevezése</i>	<i>Levegőztetés</i>	<i>Iszapeltávolítás</i>
Csepegtetőtest	Lefelé, permetezés	Zúzott kő, törmelék, láva-salak, műanyag töltet	Passzív	Passzív iszap leszakadás
Merülő csepegtetőtest	Elkevert reaktor	Korongok, hengeres testek	Passzív	Passzív iszap leszakadás
Bemerülő bioszűrő, rögzített ágy	Szennyvíz és a levegő egyen vagy ellenáramban	Nagy fajlagos felületű szemcsés és strukturált anyagok	Aktív légbefúvás	Aktív öblítéssel
Áramló töltetű bio-ágy	Elkevert reaktor	Szemcsés és nagy fajlagos felületű, strukturált anyagok	Aktív légbefúvás	Aktív öblítéssel. Utóülepítés
Áramló, fluid ágy	Felfelé, egyenáramban	Nagy fajlagos felületű, strukturált anyagok	Aktív légbefúvás	Aktív öblítéssel. Utóülepítés
Eleveniszap és hordozóanyagra telepített biomassza kombinációja	Elkevert reaktor	Szemcsés és nagy fajlagos felületű, strukturált anyagok	Aktív légbefúvás	Utóülepítés
A levegőztető medencébe rögzített-filmes egységek	Elkevert reaktor vagy kaszkádos elrendezés	Nagy fajlagos felületű műanyag lemez kötegek	Aktív légbefúvás	Utóülepítés

### 3. A hordozóanyag töltet jellemzése

A hordozóanyag kiválasztásának főbb szempontjai, hogy a töltet vagy az adalék anyag nagy fajlagos felületű ( $> 200 \text{ m}^2/\text{m}^3$  vagy  $40 \text{ m}^2/\text{g}$ ), kémiaailag és biológiailag ellenálló, ioncserélő, adszorpciós, lebegőanyag megkötő kapacitással rendelkezzen. Az anyag megválasztásánál

törekedni kell arra, hogy ne legyen a víz és az anyag között nagy sűrűségbeli különbség (*Brandt és Hegemann, 2001*).

A fenti szempontokat a szinterezett üveg, zeolit, mordenit és vulkáni tufa, égetett agyag, aktívszén, barnaszén és a műanyag származékok elégítik ki.

#### 4. Rögzített-filmes egységek beépítése az eleveniszapos medencékbe

A levegőztető medence iszapkoncentrációjának növelése és nitrifikáció hatásfokának javítása érdekében az eleveniszapos medencébe biofilm kialakítására alkalmas rögzített hordozókat építenek be. Gyakran porózus műanyag hab kockákat helyeznek a levegőztetőbe, annak 10 – 30%-át kitöltve. A biofilm kialakulása eredményeképpen a biomasza koncentráció a medencében így jelentősen növelhető. A rögzítés következtében a biomasza jelentős része a levegőztetőben marad és így az utóülepítő nem lesz túlterhelt. Az eleveniszapos medencékben rögzített filmes megoldásoknak sokféle változata ismeretes. A teljesség igénye nélkül megemlítjük a FLEXIPAK® eljárást (*Gyulavári, 2001*), amely kaszkád módon egymáshoz kapcsolt ún. biocellákból és egy utóülepítő egységből áll. Ipari szennyvizek előtisztítása esetén nem használnak utóülepítőt és így az iszap recirkuláció és az iszapkezelés is elmarad. Kommunális szennyvizek igényes tisztításánál az utóülepítő és az iszap recirkuláció követelménynek tekinthető.

A biofilmet biztosító TURBOPAK® modul-elemek vákuumformázott, hatszög keresztmetszetű csatornákkal ellátott téglatestet képeznek. A csatornák falán a tápanyag, levegő-ellátás és megfelelő hőmérsékleti viszonyok esetén biológiai hártya alakul ki, amely hatékony tisztítást tesz lehetővé. A kontakt-elem minden csatornája tulajdonképpen egy-egy mamutszivattyús jellegű csatorna. A kontakt-elemekeken keresztül történő, erőteljes függőleges áramoltatás révén a szennyvíz-elegy többszörösen, például 50 – 100-szor érintkezésbe kerül az aktív biofilmmel.

A rögzített-filmes FLEXIPAK® eljárás konkrét megvalósítására vonatkozóan a 2. táblázatban egy konzervgyári és egy fehérje-feldolgozó ipari szennyvíz közcsatornai bevezetés előtti előkezelési eredményeit mutatjuk be. Az eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a tömény ipari szennyvizek (KOI > 5 000 mg/l) előkezelésre a rögzített-filmes technológia eredményesen használható.

2. táblázat A rögzített-filmes FLEXIPAK® eljárás tisztítási eredményei

A kezelt szennyvíz típusának megnevezése	Beépített biofilm (modul) felület (m <sup>2</sup> )	A kezelt szennyvíz mennyisége (m <sup>3</sup> /nap)	Befolyó szennyvíz KOI koncentrációja (mg/l)	Elfolyó, tisztított szennyvíz KOI koncentrációja (mg/l)
Székesfehérvár FEVITA Rt. • <i>Konzervgyári</i>	71 900	2 400	5 000 – 9 000	500 – 1 500
Sopronhorpács PLUTÓ Állat-eledelgyártó Kft. • <i>Fehérje feldolgozó</i>	3 700	50	~ 11 000	1 000

#### 5. Porformájú, örölt készítmények adagolása az eleveniszapos medencébe

##### 5.1 Aktívszén és egyéb szén származékok adagolása a levegőztetőbe.

A biológiailag nehezen bontható ipari szennyvizek biológiai tisztítási hatásfokának emelése céljából régóta ismeretes az aktívszén adagolás (*Meidl, 1990*). Az aktívszén port az előülepített szennyvízhez, a levegőztető medence előtt adagolják. Az aktívszén

koncentrációját a befolyó szennyvízre vonatkoztatva 50 – 300 mg/l értékek között tartják. Az aktív szén adagolás nagyon hatékony klórozott benzol, nitro-toluol és klór fenol származékok eltávolításánál. Pl. 100 mg/l aktív szén adagolás esetében a befolyó szennyvíz 1640 µg/l dinitro-toluol koncentrációját az elfolyó, tisztított szennyvízben 1,7 µg/l-re, a kontroll eleveniszapos egységnél pedig 950 µg/l értékre lehetett csökkenteni. Az aktív szén az adszorpciós kapacitásán túlmenően jelentős szerepet játszik még a baktériumok megkötésében is, és az eleveniszapos medencében hordozó anyagként funkcionál.

*Felgener és Faber (1992)* 2 g/l barnaszén kokszt adagoltak az eleveniszapos medencébe a lebontási hatásfok 25 %-kal nőtt. A 300 µg/l klórozott szénhidrogén koncentráció az elfolyó, tisztított szennyvízben 50 µg/l érték alá csökkent. A jó eltávolítási eredmény egyrészt az adszorpciónak, másrészt a lebontási aktivitás növekedésének tulajdonítható. A barnaszénpor adagolás hatására az iszap ülepedése javult és a szénpor adagolás kedvezően hatott a víztelenített iszap elégetésénél is.

## 5.2 Porformájú aktivált zeolit adagolása a levegőztetőbe

Az alábbiakban „*NATO Science for Peace project*”(2001) keretében kialakított ZeoRap® technológia szobi szennyvíztelepen végzett próbaüzemi vizsgálatairól számolunk be. A porszerű zeolit örlemény fontosabb jellemzői: zeolit tartalom 61 %, szemcse méret <110 µm, ioncserélő kapacitás 1,47 meq/g, az anyag fajlagos külső felülete 60 m<sup>2</sup>/g. A porszerű örleményt az eleveniszap lebegőanyag koncentrációjára vonatkoztatva 5 %-os koncentrációban adagolták. Az adagolás közvetlenül a levegőztetőbe történt. A telep tisztító kapacitása 1 000 m<sup>3</sup>/nap. A telep két párhuzamos tisztító sorból áll, melyeknek tisztító kapacitása 500 - 500 m<sup>3</sup>/nap. Az egyik tisztító sorba aktivált zeolitot adagoltak, a másik tisztító sor a kontroll (vegyszer nélküli) szerepét töltötte be. A telepre érkező kommunális és élelmiszeripari (gyümölcs feldolgozó, szörp) szennyvizek szennyezés koncentrációja magas (> 1000 mg KOI/l) és ennek következtében a nyári és az őszi hónapokban az elfolyó, tisztított szennyvíz KOI koncentrációja nem elégti ki a határértéket (75 mgKOI/l).

ZeoRap® technológia próbaüzemi mérés eredményeit a 3. táblázat mutatja be. Az aktivált zeolitot 5 %-os koncentrációban (lebegőanyagra vonatkoztatva) adagolták a levegőztetőbe. A zeolitos és a kontroll elfolyó, tisztított szennyvizek minőségét összehasonlítva jól látható, hogy a zeolitos sorról elfolyó szennyvíz minősége (KOI, BOI<sub>5</sub>, lebegőanyag) lényegesen jobb, mint a kontroll sor elfolyó vize. A próbaüzem ideje alatt a zeolitos tisztító sorról elfolyó víz a határértéket kielégítette. A zeolit adagolás következtében nemcsak az elfolyó víz minősége javult, hanem az iszap-ülepedést jellemző iszapindex értéke is. A zeolitos soron az iszapindex 84 – 109 ml/g, a kontroll soron pedig 105 – 132 ml/g értékek között változott.

A zeolit aktiválása elősegítette a baktériumoknak a zeolit szemcséken történő gyors megkötődését, ennek következtében jól ülepedő „flokkok” alakulnak ki. A hordozóanyag nagy, fajlagos felületén külső beavatkozással olyan kémiai kötések hozunk létre, amelyek elősegítik a baktériumoknak a hordozó anyag szemcsére történő gyors feltelepítését. A zeolit hordozóanyagon történő megkötődés következtében a heterotróf (szénvegyületek lebontása, denitrifikálók) és az autotróf (nitrifikáló) baktériumok a fajlagos szaporodási és ezzel arányosan a szubsztrát lebontási sebessége növekszik. A fenti folyamat eredménye képen javul az elfolyó, tisztított szennyvíz minősége, azaz a tisztított szennyvíz KOI és az ammónia, szerves -N koncentrációja csökken.

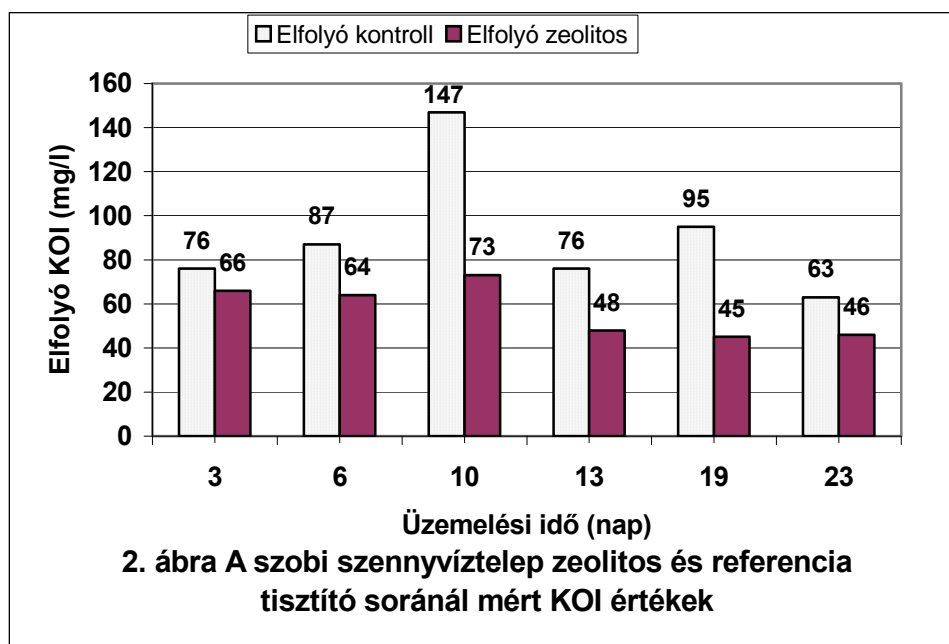
Nem egyszerűen az eleveniszapos folyamat intenzifikálásáról van szó, hanem adszorptív-ioncsere képességgel (18 mgNH<sub>4</sub>/g<sub>zeolit</sub>) és nagy fajlagos felülettel bíró zeolit tulajdonságát kihasználva egy nagy biológiai aktivitású, diszperz hordozó anyag rendszer alakul ki, amely a szennyvíz biológiai lebontását nagyon hatékonyan végzi. A hordozó anyag baktérium

rendszer az eleveniszapos medencében lebegő, diszperz eleveniszapos pehely szerkezetet megtartja.

**3. táblázat ZeoRap® technológia próbaüzemi mérés eredményeinek összefoglalása.**  
(Szobi szennyvíz telep: 5 % zeolit adagolás)

Mintavétel ideje	Szennyvíz típusa	KOI (mg/l)	BOI <sub>5</sub> (mg/l)	NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	Lebegőanyag (mg/l)
2001. 03. 30.	Befolyó	1 355	345	30,0	260
	Elfolyó zeolitos	66	31	1,3	36
	Elfolyó kontroll	76	39	1,6	38
2001. 04. 02.	Befolyó	667	199	32,0	400
	Elfolyó zeolitos	64	25	2,1	60
	Elfolyó kontroll	87	32	3,0	80
2001. 04. 05.	Befolyó	786	338	24,8	265
	Elfolyó zeolitos	73	21	0,9	42
	Elfolyó kontroll	147	45	1,1	110
2001. 04. 09.	Befolyó	1 407	349	83,0	405
	Elfolyó zeolitos	48	20	0,7	28
	Elfolyó kontroll	76	31	1,6	42
2001. 04. 12.	Befolyó	1 293	302	35,6	356
	Elfolyó zeolitos	45	16	0,9	32
	Elfolyó kontroll	95	23	2,1	56
2001. 04. 18.	Befolyó	877	289	24,1	280
	Elfolyó zeolitos	46	21	0,8	31
	Elfolyó kontroll	63	29	0,9	42

A szobi szennyvíztelep zeolitos és a referencia (kontroll) tisztító soráról elfolyó, tisztított szennyvizek KOI értékeit a 2. ábrán tüntettük fel. Az ábra alapján megállapítható, hogy a zeolitos tisztító sor elfolyó szennyvizének minősége lényegesen jobb, mint a kontroll sor elfolyó, tisztított szennyvize.



## 6. Az eleveniszapos és a biofilm rendszerek összehasonlítása

Az eleveniszapos, a rögzített fixfilmes és a porformájú, örölt készítmények hatására kialakuló biofilm rendszereket összehasonlítva megállapíthatjuk:

- A rögzített fixfilmes rendszer és a porformájú, örölt készítmények adagolása a hagyományos eleveniszapos egységekkel könnyen összekapcsolható. Az ismertetett két biofilm rendszer az eleveniszapos tisztításban alkalmazott reaktor típusoknál (kaszád és elkevert típusú) egyaránt alkalmazható
- Igényesebb tisztítás (élő-vizes befogadóba) esetében az eleveniszapos tisztításhoz hasonlóan az utóülepítő nem hagyható el. A rögzített fixfilmes biofilm eljárásnál előtisztítás (közcsatornai szennyvíz minőség kielégítése) esetében az utóülepítés egyes esetekben elhagyható.
- A rögzített fixfilmes és a poradagolású biofilm rendszereknél mechanikai elő-tisztítást jelentő rács és homokfogó berendezések alkalmazása, hasonlóan az eleveniszapos tisztítási technológiához alap követelménynek tekinthető. Más elő-tisztító berendezések, mint például zsírfogó és előülepítő berendezések kiépítése csak nagyobb szennyvíztelepek esetében indokolt.
- A rögzített fixfilmes és a poradagolású biofilm rendszereknél kevert populációnak megfelelő baktérium kultúra alakul ki.
- Az említett két tisztítási technológia a szervesanyag (szén-vegyületek) és tápanyag (N formák eltávolítása) eltávolításra egyaránt alkalmas.
- Az oldott oxigén koncentrációt a hagyományos eleveniszapos tisztításnál szokásos értéken (1 - 3 mgO<sub>2</sub>/l) kell tartani, hogy megfelelő tisztítási hatások biztosítható legyen.

## 7. Biofilm eljárások alkalmazásának előnyei

Az általunk ismertetett biofilm eljárások előnyeit az alábbiakban foglalhatjuk össze:

### *FLEXIPAK® eljárás*

- A levegőztető medencébe történő beépítéssel a tisztító kapacitás 50 – 100 %- kal növelhető
- A fajlagos fölös-iszap képződés kisebb (0,3 – 0,5 kg/kg lebontott BOI), mint a hagyományos eleveniszapos rendszerben (0,6 – 0,9 kg/kg lebontott BOI)
- Megnö az iszapkor. Ez jól hasznosítható a nitrifikációnál.
- Terhelési lökésekre és alul terhelésre sem érzékeny a rendszer
- FLEXIPAK® eljárás olyan tömény ipari szennyvizek előkezelésére is alkalmas, amelyek más rendszerekkel nem kezelhetők

### *ZeoRap® eljárás*

- A ZeoRap® eljárás jól illeszthető a hagyományos eleveniszapos rendszerhez
- Megnö a nitrifikáció sebessége (2x – 3x)
- Megnö a szerves szénvegyületek lebontási sebessége (15 – 20%)
- Az aktivált zeolit adagolás hatására a szétesett diszperz iszap pelyhek flokkulációja fel gyorsítható. Ezzel a módszerrel az elfolyó, tisztított szennyvíz minősége jelentősen javítható.
- Az iszap víztelenítésnél kb. 10 – 15 %- os polielektrolit megtakarítással számolhatunk.
- A szennyvíziszap végső mezőgazdasági elhelyezése során az a zeolit, mint értékes talaj-javító és „környezet barát” anyag nagyon előnyös.

## Összefoglalás

A rögzített-filmes FLEXIPAK® eljárás konkrét megvalósítására vonatkozóan egy konzervgyári és egy fehérje-feldolgozó ipari szennyvíz közcsatornai bevezetés előtti előkezelési eredményeit mutattuk be. Az eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a tömény ipari szennyvizek (KOI > 5 000 mg/l) előkezelésre a rögzített-filmes technológia eredményesen használható.

A szobi szennyvíztelepen a ZeoRap® technológia alapján porszerű, aktivált zeolit őrleményt az eleveniszap lebegőanyag koncentrációjára vonatkoztatva 5 %-os koncentrációban adagolták.

A gyümölcs feldolgozási szezonban a zeolitos és a kontroll elfolyó, tisztított szennyvizek átlagos minősége jelentősen különbözött egymástól: a zeolitos sorról elfolyó szennyvíz átlagos KOI értéke 57, a kontroll sor elfolyó vizének KOI értéke 91 mg/l volt. A zeolit adagolás következtében nemcsak az elfolyó víz minősége javult, hanem az iszap-üledést jellemző iszapindex értéke is. A zeolitos soron az iszapindex 84 – 109 ml/g, a kontroll soron pedig 105 – 132 ml/g értékek között változott.

## Irodalomjegyzék

**Brandt, D. – Hegemann, W.** (2001): Leistungsvergleich verschiedener Trägermaterialien. Wasser.Abwasser (gwf), 142, Nr. 9, 627 – 633

**Felgener, G. – Faber, W.** (1992): Braunkohlenkoks als Hilfsmittel zur Schlamm Verbesserung, Adsorption organischer Schadstoffe und als Konditionierungsmittel bei einer Schlammverbrennung. awt. Abwassertechnik. Heft 2, 35 – 39

**Gyulavári, I.** (2001): Ipari szennyvizek előtisztításának új lehetősége Gyulavári-Flexipak ® rendszerrel. Magyar Hidrológiai Társaság, XIX. Országos Vándor Gyűlés I. kötet, 184 – 191.

**Meidl, J. A.** (1990): PACT® System for Industrial Wastewater Treatment. In: Physical/Chemical Processes. Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster. Basel, 177 - 191

**Mildenberger, M.** (1999): Die Grenzschicht beeinflusst die Abbaurate immobiler Mikroorganismen. Wasser.Abwasser (gwf), 140, Nr. 4, 286 –292

„NATO Science for Peace project” keretében készített jelentés (2001): Szennyvizek biológiai bonthatóságának javítása modifikált zeolitok alkalmazásával. Élő Bolygó Kft. Szerződés szám: OMFB-02467/2000

**Öllös, G. – Szilágyi, M.** (1996): Bioszűrés a szennyvíztisztításban. Csatornamű Információ, 1996/3, 4 – 12.

**Shigehisa Iwai – Takane Kitao** (1994): Wastewater Treatment with Microbial Films. Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster. Basel., 1 – 12, 63 - 81