

BIOFILTEREKKEL KAPCSOLATOS TAPASZTALATOK A SZENNYVÍZTISZTÍTÁSBAN

Mérnyei Judit

Sieker, C. – Barjenbruch, M. „Experience with Biofilters in Wastewater Treatment” (Rehm, H. J. and Reed G.: Biotechnology, V. 11a. p. 366-371) című cikke alapján

1. Bevezetés

A biofilterek a szennyvíztisztításnak olyan eszközei, melyek mind az oldott komponensek biológiai lebontását, mind a lebegőanyagok eltávolítását elvégzik. A szén- és nitrogén szennyezők eltávolítására vonatkozó képességüket bizonyították, méghozzá magas lebontási arány elérésével. A gyakorlatban meglehetősen változatos a biofilterek teljesítménye. Ez a fejezet a biofilterekkel a szennyvíztisztítás terén szerzett tapasztalatokat összegezi és bemutatja, mi mindenre lehet azokat hasznosítani.

Az utóbbi években, a szennyvíztisztításra vonatkozó egyre fokozódó követelmények, különösen a nitrogén-eltávolítási igény tekintetében, eredményezték a biofilmes technológiák fejlődését. A '80-as évek elején Franciaországban kombinálták először a szűrést a biofilm technológiával úgy, hogy meghatározó biológiai lépcsőként levegőztetett homokszűrést alkalmaztak a KOI eltávolítására. 1986-ban, második lépcsőnek egy száraz homokszűrőt építettek a rendszerbe, hogy a KOI-eltávolítás még hatékonyabb legyen. Később a biofiltereket kombinálták a tisztítás további javítására (utólagos nitrifikáció és denitrifikáció). A tudomány jelenlegi állása, s a gyakorlati tapasztalatok alapján a biofiltereket a kommunális szennyvíztisztításban fő biológiai lépcsőként is használják, a szennyvíz teljes nitrifikációját és denitrifikációját is biztosítva. Az első ilyen üzemeket Cergy-ben, Franciaországban építették ki 1992-ben (ROGALLA és társai, 1994).

A biofilterek előnye elsősorban a jó tisztítási hatások és az, hogy nem kell esetükben másodlagos tisztítás. Ez a szükséges tisztítótérfogat, valamint a helyigény jelentős csökkenését eredményezi. Mindez akkor különösen kedvező, ha kevés hely áll rendelkezésre, és drága a föld, vagy valamiért nehéz az építkezés, netán a tisztítási módot egy már meglévővel kell integrálni.

2. Elméleti háttér

A biofilterek biofilm rendszerek alapján osztályozhatók. A biofilm teljesítménye a diffúziós ellenállástól függ, amely valamennyi tápanyag biofilmbe történő bejutásának a meghatározója (HARREMOES, 1978). A klasszikus elmélet szerint a szennyezők eltávolítási hatásokának az a komponens a limitálója, amely a legnehezebben jut be a biofilmbe. A különböző komponensek aránya és a biofilm vastagsága határozza meg az elérhető eltávolítási hatásfokot.

Ez a „biofilm elmélet” csak részben magyarázza az anyagtranszport biofilterekre gyakorolt hatását. A porózus közeget át történő áramlás során gyakran alakulnak ki hidraulikus csatornák, melyek stagnáló helyeket eredményeznek (zárt, zsákutcás pórusok). Ezeknél „védett” tereknél az anyag áramlása lassúbb és következőképpen lassul a biofilm tápanyagellátása is. A biofilterekkel elérhető maximális eltávolítási hatásfok tehát erősen függ az ilyen stagnáló terek nagyságától, részarányától.

A levegő beviteli intenzitás és folyadék áramlási sebesség változásának a rövid idejű hatását a nitrifikációra TSCHUI és társai dokumentálták (1994.). A tanulmány bemutatja, hogy a nitrifikáció mértéke nő a víz áramlási sebességének növekedésével. A növekedés különösen 4 és 6 m/h között jelentős. A levegőbeviteli-sebesség tesztek a laboratóriumi vizsgálatokban azt mutatták, hogy a biológiai aktivitás arányosan növekszik a levegőbeviteli-sebesség növekedésével 30 m/h-ig és felette is a szerves tápanyag ellátottság függvényében. A nagyobb aktivitás nagyobb áramlási és levegőbeviteli-sebességnél tulajdonképpen a filterben kialakuló erősebb turbulenciával magyarázható. A turbulencia növelése csökkenti a stagnáló területeket és javítja a biomassza oxigénellátását. Ez hat a leginkább az O_2 által korlátolt nitrifikációra.

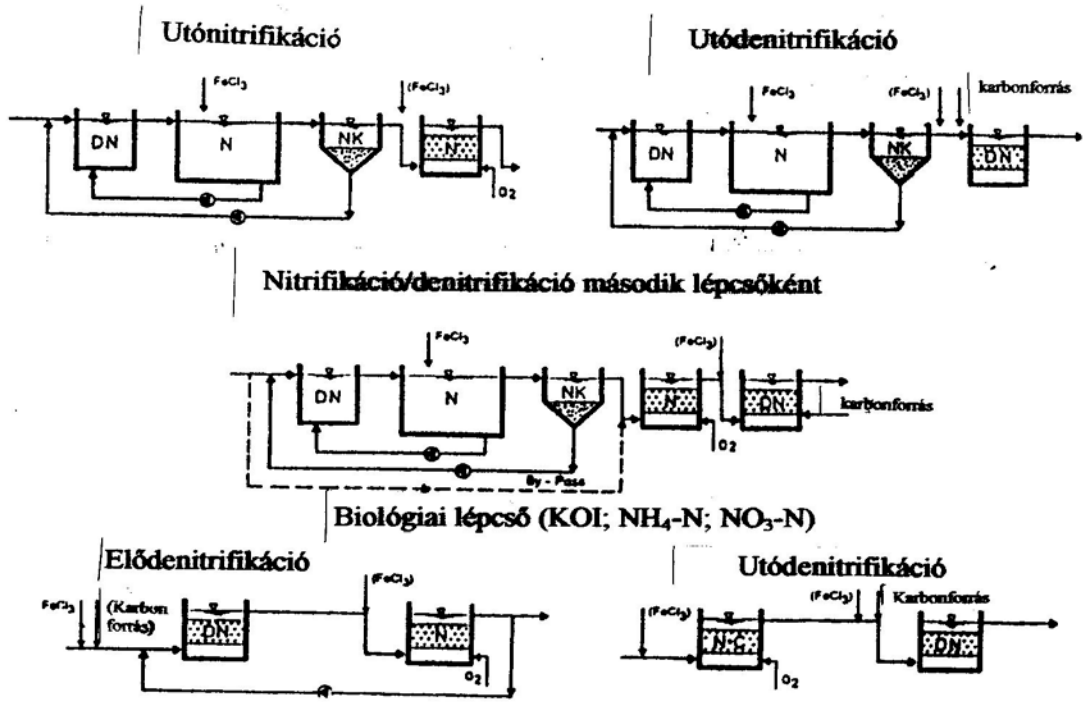
3. A biofilterek működési módja és lehetséges alkalmazásai

A biofilterek vagy a szerves anyag biodegradációjára, vagy denitrifikációra, vagy nitrifikációra alkalmazhatók. Biológiai foszforeltávolítást eddig csak kísérletileg tanulmányozták biofilterekkel (GONCALVES 1994.). Ezért esetükben a foszfort jelenleg vegyszeresen távolítják el.

A szennyvíz darabos (partikuláris) komponensei, lebegő szilárd anyagai, melyek vagy eredendően érkeznek a szennyvízzel, vagy a biológiai szaporodás, bioflokuláció útján keletkeznek, a szűrőanyag felületéhez tapadva képeznek biofilmet. A biológiai fölösizap leginkább a fizikai folyamatok miatt marad a szűrőanyagon, vagy annak belső tereiben. Általában 2-8 mm átmérőjű szemcsés anyagot szűrő-hordozó anyagot használnak a kialakításuknál. Az elfolyó víz 5 mg/l alatti összes lebegőanyag koncentrációja, mely hagyományos gravitációs szűrővel elérhető, a biofilterrel nem garantálható.

A biofiltereket ma már széles körben alkalmazzák. Nagyon rugalmasak a felhasználhatóság tekintetében, könnyen beépíthetők az eleveniszapos szennyvíztisztítási eljárásokba is az 1. Ábrán vázolt sokrétű céllal.

- Utónitrifikációra, lebegőanyag eltávolítással kombinálva, flokkulációs csapadékképzéssel,
- utódenitrifikációra, lebegőanyag eltávolítással kombinálva, flokkulációs csapadékképzéssel,
- fő biológiai lépcsőként (KOI-eltávolítás és/vagy nitrifikáció és/vagy denitrifikáció) kombinálva a lebegőanyag eltávolítással.



1. ábra: A biofilterek alkalmazási lehetőségei

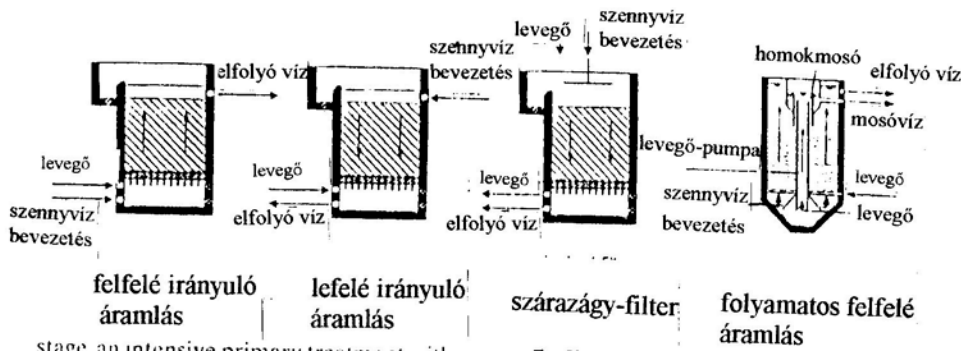
4. A biofilterek alapfolyamatai és működési körülményei

A biofiltereket általában egyszerű reaktorként építik ki, befolyó és elfolyó csővezetékekkel. Tartalmaznak különböző alkatrészeket, szűrőket, szűrőanyagot és a filtermosáshoz kapcsolódó berendezéseket. A biofilterek folyamattechnológiáját több módon lehet bemutatni.

Az 1. táblázat átfogó képet ad arról, hogyan lehet különbséget tenni a különböző technológiák között. A 2. ábra néhány gyakori biofilter rendszert mutat be.

1. táblázat: A biofilter rendszerek folyamatainak módjai

Áramlási irány	Bevitt irány	levegő	Áramlás típusa a pórusokban	Anyag sűrűsége	Filtermosás
Lefelé áramló	Egyenáramú		Elárasztott	Lebegő $q < 1,0 \text{ g/cm}^3$	Folyamatos
Felfelé áramló	Ellenáramú		Száraz ágyas filter	Nem lebegő $q > 1,0 \text{ g/cm}^3$	Szakaszos



2. ábra: A gyakori biofilterek

A biofilterek lebegőanyagoktól részben tisztított, előkezelt szennyvizet igényelnek. A Tisztítandó szennyvíz nagy lebegőanyag koncentrációja esetükben eltömődéshez vezet, ami a tápanyag fokozódó egyenetlen áramlását, eloszlását okozza, amivel a visszamosás gyakorisága így szükségszerűen növekszik. A biofilterekre érkező szennyvíz lebegőanyag koncentrációját 50-70 mg/l alatt kell tartani stabil üzemeltetéshez. Amikor a biofiltereket teljes biológiai légsőként alkalmazzák, egy intenzív elsődleges tisztítás szükséges, csapadékképzéssel (flokulációval) és az első ülepítő medencét lamella szeparátorral is el kell látni a szűrő lebegőanyag terhelésének a csökkentésére.

A szakaszosan üzemeltetett biofiltereket gyakrabban kell tisztítani, hogy a dugulást elhárítsák. A visszamosott iszapot általában az első lépcsőre vezetik vissza. Ha a biofiltert utókezelésre használják, akkor ez a száraz időszakra jellemző befolyó terhelésnek általában az 5-15 %-át tisztítja csak. A száraz időszakra jellemző biológiai terhelés 30-40 %-ig növelhető azonban a szűrő terhelése, ha a biofiltert teljes tisztítási lépcsőként üzemeltetik. Az iszap nagy része általában azon rövid idő alatt keletkezik, míg a mosás zajlik. Ez az iszap maximális hidraulikus terheléshez vezet a fogadó tisztítási lépcsőben, illetőleg az első ülepítő medencében. Ezért célszerű egy iszaptároló medence is ilyenkor.

5. Tervezés és működés

A különböző közleményekben található információk meglehetősen változatosak a biofilterekkel megvalósítható térfogati terhelések tekintetében. A 2. táblázat bemutatja azokat a fajlagos térfogati terheléseket, melyeket a biofilterek tervezéséhez támpontul adnak a különböző közlemények.

Eltávolítandó komponens	Eltávolítandó mért komponens	Max. térfogati terhelés ($\text{kg m}^{-3} \text{d}^{-1}$)	Tervezett terhelés ($\text{kg m}^{-3} \text{d}^{-1}$)
Szerves anyag	BOI ₅	4-7	3-5
	KOI	7-10	5-8
Ammónium-N	NH ₄ -N	0,1-1,5 (max. 2,0)	0,4-0,8
Nitrát-N	NO _x -N	0,8-4,0 (max. 5,0)	0,7-1,2

2. táblázat: A biofilterek tervezéséhez javasolt fajlagos térfogati terhelések

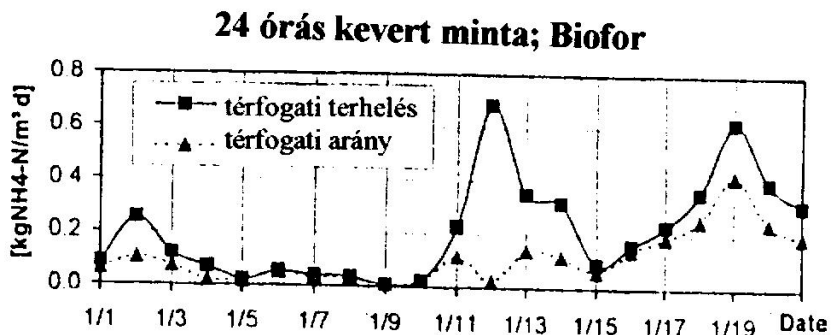
A nitrifikáló üzemek számára előírt követelmények teljesíthetősége olyan paraméterektől függ, mint a KOI- terhelés és a levegőztetés körülményei. A főbb paraméterek, melyek a biofilterekben a lebontást befolyásolják, a következők:

- szerkezeti jellemzők, pl. alkalmazott szűrő anyaga és a levegő, valamint a víz elosztási rendszere,
- működtetési körülmények, pl. a mosás kialakítása, alkalmazott levegőbeviteli- és áramlási sebesség és a biofilter terhelése,
- befolyó szennyvíz koncentrációk, pl. a nagy lebegőanyag-terhelés, nagy szerves anyag terhelés, tápanyag-ellátottság, KOI:N arány, befolyó szennyvízáram ingadozása, hőmérséklet,
- biofilter alkalmazási területe, pl. teljes biológiai kezelés, utókezelés.

6. A nitrifikáció lehetősége, mértéke biológiai szűrőknél

A legtöbb biofilter, amit elsődlegesen az oldott szerves anyag eltávolítására terveztek, képes nitrifikációra is megfelelően kis relatív terhelés és jó oxigénellátottság esetén. A nitrifikáció mértéke a biofilterek nagy szerves anyag terhelésénél általában sokkal alacsonyabb a harmadlagos kezelési eljárásokénál, ahol a KOI koncentrációja a befolyó vízben sokkal kisebb. CANLER-nek és PERRET-nek (1993) sikerült elérni a $0,36 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ fajlagos térfogati $\text{NH}_4\text{-N}$ eltávolítási kapacitást egy olyan üzemben, ahol a C:N aránya kb. 10 volt. A Biostyr-rendszerekkel, VEDRY és társai (1994) $1,7\text{-}1,8 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ $\text{NH}_4\text{-N}$ eltávolítási értéket értek el, 19°C hőmérsékletnél. Hasonló értékeket mértek TSCHUI és társai (1994) is próbaüzemelésük során. Ők a Biocarbon és Biostyr-rendszerek között különbséget tapasztaltak $0,7\pm 0,1$ valamint $1,5\pm 0,2 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ maximális térfogati $\text{NH}_4\text{-N}$ eltávolítási fajlagosokkal 10°C -os hőmérsékletnél.

A vélemények arról, hogyan reagálhat a harmadfokú fokozatú nitrifikációs lépcső a befolyó szennyvíz terhelésének a maximumára hosszú idejű ammóniahiány után, nagyon megoszlanak. A harmadik fokozatú nitrifikációs egységben a befolyó $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja hosszú ideig nagyon alacsony lehet, mert az ammónia erőteljesen nitrifikálódik az előző biológiai lépcsőben. Logikus következmény, hogy a lebontás, a biofilm elvékonyodása (lemosódás) miatt az aktív nitrifikálók koncentrációja a rendszerben erősen csökkenhet és következésképpen a nitrifikáló kapacitás is csökken. Ilyen körülmények között az $\text{NH}_4\text{-N}$ terhelés ugrásszerű növekedése nagyobb ammónium koncentrációt okozhat az elfolyó vízben. A 3. ábra egy olyan biofilter működési eredményeit ($A = 3,504 \text{ m}^2$) mutatja, melyet utónitrifikációra használtak.



2. ábra: A hosszú ideig tartó ammónium-hiány nitrifikációra gyakorolt hatása

Az ábrán látható, hogy néhány napig a szűrő nagyon kis terhelést kapott ($0,03 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1} \text{ NH}_4\text{-N}$ alattit). Azután a terhelés hirtelen $0,7 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1} \text{ NH}_4\text{-N}$ értékig növekedett. Habár rendes körülmények között a $0,7 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1} \text{ NH}_4\text{-N}$ eltávolítási kapacitás könnyen elérhető nitrifikáló biofilterekkel, ebben az esetben a csúcsterhelésnél elért nitrifikáló kapacitás csak $0,2 \text{ kg NH}_4\text{-N m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ lett. 4 napba telt, míg a nitrifikáló kapacitás regenerálódott, visszaállt korábbi értékére ($0,4 \text{ kg NH}_4\text{-N m}^{-3} \text{ d}^{-1}$).

7. Denitrifikációs arány

A biofilterekben a denitrifikációt vagy a folyamat elejére, vagy a végére lehet tenni. Az elérhető mértékét a rendelkezésre álló szerves tápanyag-forrás típusa, a C:N arány és a befolyó szennyvíz oxigénterhelése (például nagy oxigénkoncentráció a recirkulációs áramban) befolyásolja. A 3. táblázat áttekintést nyújt a biofilterek denitrifikációs kapacitásáról.

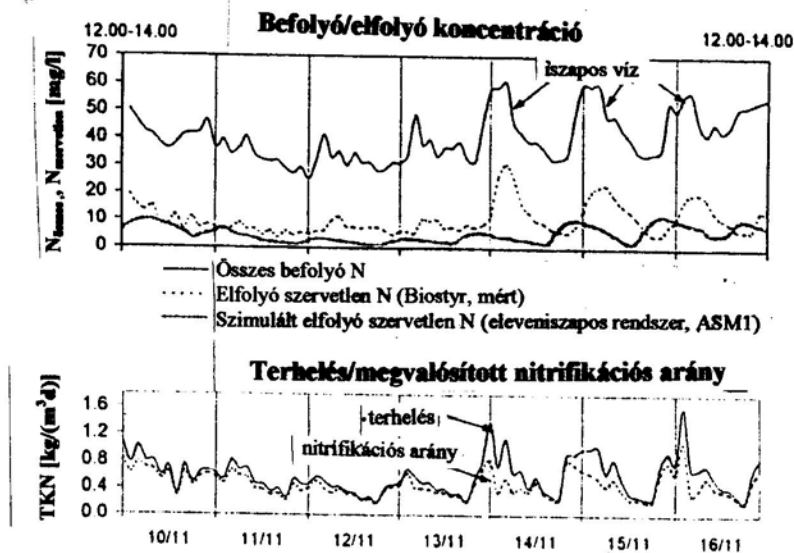
3. táblázat: A biofilterek denitrifikációs képessége

Áram	v_F^a (m/h)	Szubsztrát	KOI:N	Koncentráció Befolyó Előfolyó (mg/l NO ₃ -N)		$r_{\text{NO}_3\text{-N}}^b$ (kg/m ³ d)	Referencia
Alacsony	4,5	metanol	<3,8	6-25	2-10	-	Wilderer és társai (1994)
Alacsony	7,5	metanol	4,1	20	0,2-0,4	1,96	Kraft (1994) ^c
Magas	-	metanol	-	-	-	2,5	Strohmeier(1994)
Magas	3-5	Nyers szennyvíz	5,2	-	12	1,0	Rogalla és társai (1992)
Magas	6,6	metanol	>5,0	10,5	1	1,0	Koopmann és társai (1990) ^c
Magas	4,6	Acetol 100	6,1	21,9	7,9	0,8	Barjenbruch (1997)

^a a szűrő hidraulikus terhelése; ^b denitrifikáció mértéke; ^c próbaiüzem

8. Hidraulikus tartózkodási idő, áramlási sémák, és a biofilterek dinamikai viselkedése

A biofilterekkel elérhető nagy térfogati sebességek miatt a filterek sokkal kisebb terjedelműek, mint az eleveniszapos rendszerek. Egy adott tisztítási határfokig a biofilterek „levegőztetési” térfogata egyharmada az eleveniszapos rendszerének (SMITH és HARDY, 1992). Így a tartózkodási idő rövid, s a szűrő térfogata kicsi. A kis térfogat, illetőleg hidraulikus tartózkodási idő kis pufferhatást biztosít csak a lökészerű terhelésingadozásokkal szemben. A szűrő anyaga általában mintegy 40 % porozitású. A stagnáló terek és az áramlás csatornásodása miatt a tényleges porozitási érték csak 25-30 %. Mindemellett a biológiai szűrőkben dugószerű áramlási kép alakul ki, az áramlási irányra nézve viszonylagosan kis keresztirányú keveredéssel. Ez tovább csökkenti a bioszűrő pufferkapacitását. Az eleveniszapos rendszerekkel összehasonlítva, a biofilterekben a pufferkapacitás ezért nagyon kicsi. A befolyó szennyvíz-maximumokat csak a filter biológiai aktivitásának növelésével lehet kompenzálni. Nyborgban a Biostyr-rendszerrel vizsgálatokat végeztek annak érdekében, hogy pontosítsák, hogyan viselkednek a biofilterek ingadozó terhelés esetén. A telep nyers és tisztított vízének a mérési adatai a 4. ábrán láthatók.



4. ábra: A nyborgi Biostyr-rendszerű telepen végzett tisztítás eredményei (2 óra, vegyes minta, 12 °C) egy fiktív eleveniszapos rendszer szimulációjára eredményeivel összehasonlítva.

A kiugró befolyó szennyvíz maximumokat a hétköznapiak során az iszaprecirkuláció okozta. A tapasztalati eredmények azt mutatták, hogy ha a Biostyr-filter terhelése meghaladta a $0,7 \text{ kg TKN m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ értéket, akkor ez már ugrásszerűen rontotta az elfolyó víz minőségét. Az elfolyó vízben a csúcsok alakja nagyon hasonló a befolyóéhoz. A Biostyr-filter csak enyhe tompítást okozott. Az eleveniszapos tisztítást fiktív rendszer szimulációjával vizsgálták az ASM 1 modellt felhasználva. Ilyen módon hasonlították össze a Biostyr-filter dinamikai viselkedését az eleveniszapos rendszerével. Az eleveniszapos eljárásnál sokkal kisebb és szélesebb elfolyó csúcsokat kaptak 20 órás átlagos hidraulikus tartózkodási idő esetén.

9. Következtetések

A biofilterek a gyakorlatban bizonyították jó szerves anyag eltávolító és ammónium oxidáló képességüket. Jó térfogati kapacitással egyidejűleg a lebegő részek kellő mértékű eltávolítására is képesek, de a többcélú használatuknak azért van határa. Az elérhető lebontási határfok típusonként eltérő lehet, számos olyan tényezőtől függően, mint a működési körülmények, vagy a levegőbevitel és a folyadékáramlás sebessége. A nagy fajlagos levegőbevitel és folyadék áramlási sebesség pozitívan hat a filter biológiai kapacitására, viszont ellenkező hatású a szűrőkapacitásra.

Azokban az országokban, melyekben a tisztított elfolyó vízre vonatkozó határértékek nem a napi átlagminták, hanem véletlenszerű pontminták alapján érvényesek, a tisztító dinamikai viselkedése kritikus. A szűkös méretezés, egy utolsó (kiegyenlítő) medence hiánya, és a kialakuló dugószerű áramlás eredményeként az ingadozó nyersvíz hozamnál és szennyezettségénél a bioszűrők a lökészerű terheléseket nehezen pufferozzák, vagy kompenzálják. Ilyen esetben a bioszűrő aktivitásának növelésével lehet a helyzetet valamelyest ellensúlyozni. Amint a terhelés meghaladja a lebontó, vagy nitrifikáló kapacitást, a koncentrációcsúcs áttör a szűrőn, esetlegesen határérték feletti koncentrációt okozva a tisztított elfolyó vízben. Ez azt jelenti, hogy a bioszűrők méretezése és működtetése nagyon fontos a tisztítás tervezett, vagy megkívánt határfokának a biztosításához.

10. Irodalomjegyzék

- BARJENBUCH, M. (1997), Leistungsfähigkeit und Kosten von Filtern in der kommunalen Abwasserreinigung. *Veröffentlichung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover 97.*
- BARJENBUCH, M., SEYFIED, C.F.(1995), Experiences gained with biologically intensified filtration in Germany, *Proc. FILTECH Conf.*, pp.191-202. Karlsruhe
- CANLER, J.P., PERRET, J.M. (1993), Biological aerated filters assessment of the process based on 12 sewage treatment plants. *EWPCA - Proc. Spec. Conf. Biofilm Reactors*, Paris.