

Talajszűrő biológiai lebontás-hatásfokának javítása zeolit töltet alkalmazásával

Palkó György – Oláh József
Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.

Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben bekövetkezett energiaár emelkedés, illetve a közvélemény hatására felmerült az igény az alacsony beruházási- és üzemköltségű, természetbarát szennyvíztisztító módszerek fejlesztésére.

A gyökérszűrő vagy gyökérmezős szennyvízkezelési módszernek ma már igen sok változata ismert, amelyekben a szennyvízkezelés rendszer-elemeivel (ülepítők, vegyszeres előkezelés) együtt is alkalmazzák.

A működő, illetve megépítés alatt álló telepekre jellemző, hogy zömük a 100 – 1000 lakos-egyenérték nagyságrendben működik. Főleg vidéken és kis településeken, gyakran szezonális igények kiszolgálása céljából alkalmazzák. A telepek fő célja a mechanikailag tisztított kommunális szennyvizek biológiai tisztítása.

A gyökérszűrő szennyvízkezelési módszert olyan szennyvízkezelési eljárásnak definiálhatjuk, amelynek lényege, hogy egy hidraulikailag jól meghatározott szűrő rétegben a magasabb-rendű növényzet, pl. nád gyökérzetével sűrűn átfont zóna jön létre, amelyen áthaladva a szennyvíz biológiai úton tisztítható. A gyökérszűrő módszer főbb ismérvei az alábbiak:

- A magasabb-rendű növényzet önmagában, anyagfelvételén keresztül a tisztítási folyamatban elhanyagolható szerepet játszik. A tisztítókapacitás döntő hányada a gyökérzet felületén kialakuló bakteriális biofilm működésének köszönhető. A gyökérzet javítja a szivárgást és a likacsos szerkezet következtében, javul az oxigén ellátás is.
- A szűrőanyag, mint a gyökérzet hordozó-közege csak korlátozott növényi-tápelem eltávolító kapacitással rendelkezik. A biológiai lebontást alapvetően a szűrőanyagon megtelepedett baktériumok végzik. Az ágyak alját inpermeábilis rétegből kell készíteni.

A gyökérmezős szennyvíztisztítók üzemelést illetően lehetnek vízszintes vagy függőleges átfolyásúak. A szűrőmezők szűrő anyaga általában kavics, homok, közúzalék, agyagásvány komponensek keveréke. A szűrő réteg mélysége: kb. 1,00 – 1,20 m érték között változik. Területigény: kb. 4-5 m²/leé. A gyökérszűrő szennyvízkezelés elsődleges célja a hetvenes években a szervesanyag eltávolítás volt. Ma már előrehaladott kutatások és kísérletek folynak nitrifikációval, denitrifikációval és foszfor-eltávolítással kapcsolatban is.

Fleit (1988) a szűrőmező méretezésére vonatkozó fontosabb szakirodalmi megállapításokat értékeli és kísérletek alapján vizsgálta a nádtelepítés hatékonyságát, szűrő rétegben a foszfor adszorpció, az oxigén koncentráció és a nitrifikáció változását.

Magyarországon 1400 lakosú Szügy községben működik gyökérszűrő szennyvíztisztító. A község teljes csatornázottsága esetében napi szennyvíz mennyisége 180 m³/nap. A szennyvíztelep technológiai működése: a csatorna-hálózat szennyvizét átemelő szivattyú nyomja a tisztító-telepre, ahol vegyszeradagolásra (alumíniumsulfát) is van lehetőség, majd a szennyvizet kétszintes ülepítőbe és ezt követően pedig a szűrőmezőre vezetik. A szűrőmező után a szennyvíz egy hektár területű nádas tóba kerül. A rendszer tisztítási hatásfoka BOI₅-re 86% és ammóniára vonatkoztatva 46 %. Szügy község szűrőmezős tisztítási tapasztalatait *Szilágyi* (1996) egy tanulmányban foglalja össze. Az üzemi tapasztalatok alapján a szerző javasolja, hogy a szűrőágyakat úgy célszerű kialakítani, hogy azok párhuzamosan, sorosan és az egyes ágyakat kiiktatva lehessen üzemeltetni. A szűrőágy anyagaként homok helyett finom közúzalék alkalmazását javasolja a szerző.

Born et al. (2000) zápor-tározó vizének tisztítására alulról felfelé-áramlású talajszűrőt használt. A lebegőanyag, KOI, NH₄-N, PO₄-P komponenseket illetően az eltávolítási hatások elérte a 90 %-ot. A talajszűrőtől 200 méter távolságban lakó házak voltak, de az ott lakók kellemetlen szaghatást nem tapasztaltak. *Engelmann et al.* (2003) a talajszűrős szennyvíztisztítás legnagyobb üzemi problémájának a szűrő eltömődését tekinti. A szerzők fontosnak tartják, hogy a tisztítandó szennyvíz lebegőanyag koncentrációját minél kisebb értéken tartsuk, mert ez garantálja a szűrő-mező hosszú idejű, zavartalan üzemét. A függőleges átfolyású szűrő terhelésére 20 – 25 g KOI/m² · d és a fajlagos felület igényre pedig 3,2 – 4,0 m²/leé értékek betartását javasolják. *Hench et al.* (2003) kommunális szennyvíz szűrőmezős tisztítását kémiai (pH, Kjeldahl-N, lebegő anyag, BOI₅, O₂) és biológiai (fecal coliform, enterococci, Salmonella, Yersina, Shigella) paraméterekkel kísérte nyomon. Egyértelműen bebizonyosodott, hogy a növényzettel benőtt szűrő esetében, mind a kémiai, mind a biológiai paraméterek jobbak voltak, mint a kontrollként használt tisztán szűrőanyaggal töltött ágyaknál. Különösen az elfolyó víz baktérium tartalma csökkent a növényzettel telepített szűrőágyak esetében.

Gray (2004) a náddal betelepített talajszűrőben lejátszódó tisztítási mechanizmusokat tárgyalja, mely szerint a lebegőanyag eltávolítását a szűrési, az oldott szennyeződést aerob biológiai, az ammónia eltávolítását pedig a nitrifikációs folyamat végzi. A fém ionok és a foszfor eltávolításában az adszorpciónak, a patogén csira szám csökkenés szűrésnek, leülepedésnek, UV sugárzásnak, és a gyökérzet által kibocsátott antibiotikumok pusztító hatásának tulajdonítható.

Obarska-Pempkowiak et al. (2005) különböző kialakítású talajszűrő megoldásokat vizsgáltak Lengyelországban. A mérések szerint a lebegőanyag terhelést 15 – 115 kg/ha · d értékek között kell tartani és a BOI₅ eltávolításra átlagosan 76 % várható. A nem megfelelő mechanikai előtisztítás esetében a szűrő eltömődésével kell számolni. A kombinált szűrő rendszerek (függőleges és vízszintes átfolyás) megbízhatóbb üzemelést biztosítanak, mint az egylépcsős szűrő rendszer. Itt már 86 %-os BOI₅ lebontást és 7,8 kgN/ ha · d eltávolítást is elérhetett érn.

Cooper et al. (2005) a vízszintes átfolyású, náddal borított talajszűrőnek a harmadik tisztítási fokozatként történő alkalmazását emeli ki. Hangsúlyozza, hogy az üzemelésnél az eltömődés, ebből következően a szűrő elárasztása, a víz szétosztása és az elgyomosodás számtalan üzem zavart okoz. *Cooper* (2005) egy másik közleményben a függőleges átfolyású szűrő oxigén ellátási viszonyait és a hidraulikai terhelés hatását tárgyalja. A lebontási hatások szempontjából az oxigén ellátás meghatározó. A jó minőségű elfolyó vizet 2 m²/leé fajlagos szűrő felülettel lehet biztosítani.

A <http://www.bodenfilter.de/englbofilter.htm#Seitenanfang> internetes (2006) hivatkozás, a talaj-szűrős tisztítás alapjairól, fontosabb méretezési elvekről jó áttekintést ad.

A cikkünkben ismertetésre kerülő *kísérleti munka* célját az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- A különböző eredetű szűrőanyagokon lejátszódó nitrifikáció hatásfokát kimérjük és az eredmények ismeretében javaslatot teszünk egy hatékonyabb szűrőanyag alkalmazására. Az egyes szűrőanyagok minősítésénél a nitrifikációs hatásfokot vettük alapul. A fenti célra nagy ammónia tartalmú iszapvizet használtunk.
- A leghatékonyabb szűrőanyagot vizsgáljuk az előlepített szennyvíz teljes biológiai (KOI és nitrogén vegyületek lebontása) tisztítását folyamatos szűrő üzemelés mellett.

A szűrőanyagok könnyebb összehasonlítása miatt a szűrő rétegekbe nem telepítettünk növényeket.

Kísérleti és mérési módszerek

Különböző eredetű szűrőanyagok összehasonlítása

Ammónia és KOI lebontási képesség alapján hatféle szűrőanyagot hasonlítottunk össze.

Kísérleteinknél az alábbi szűrőanyagokat vizsgáltuk: natur zeolit, gyöngy kavics, biolit, homok, gyöngy kavics + homok és zeolit + homok keveréket. A zeolit + homok és gyöngykavics + homok szűrőanyag keverékeknél a kétféle anyagra vonatkoztatva a keverés 1 : 1 tömeg arányban történt. A kiválasztott szűrőanyagokat és azok fontosabb jellemzőit az **1. táblázat**ban foglaltuk össze. Az alkalmazott szűrőanyagok közül csak a zeolit rendelkezett ammónia ioncserélő kapacitással és ennek az anyag viszonylag nagy volt a külső fajlagos felülete (12,0 m²/g). Az alkalmazott zeolit klinoptilolit tartalma 45 % volt. Egy szűrő hasznos térfogata 0,73 m³ és a felülete 0,63 m² volt.

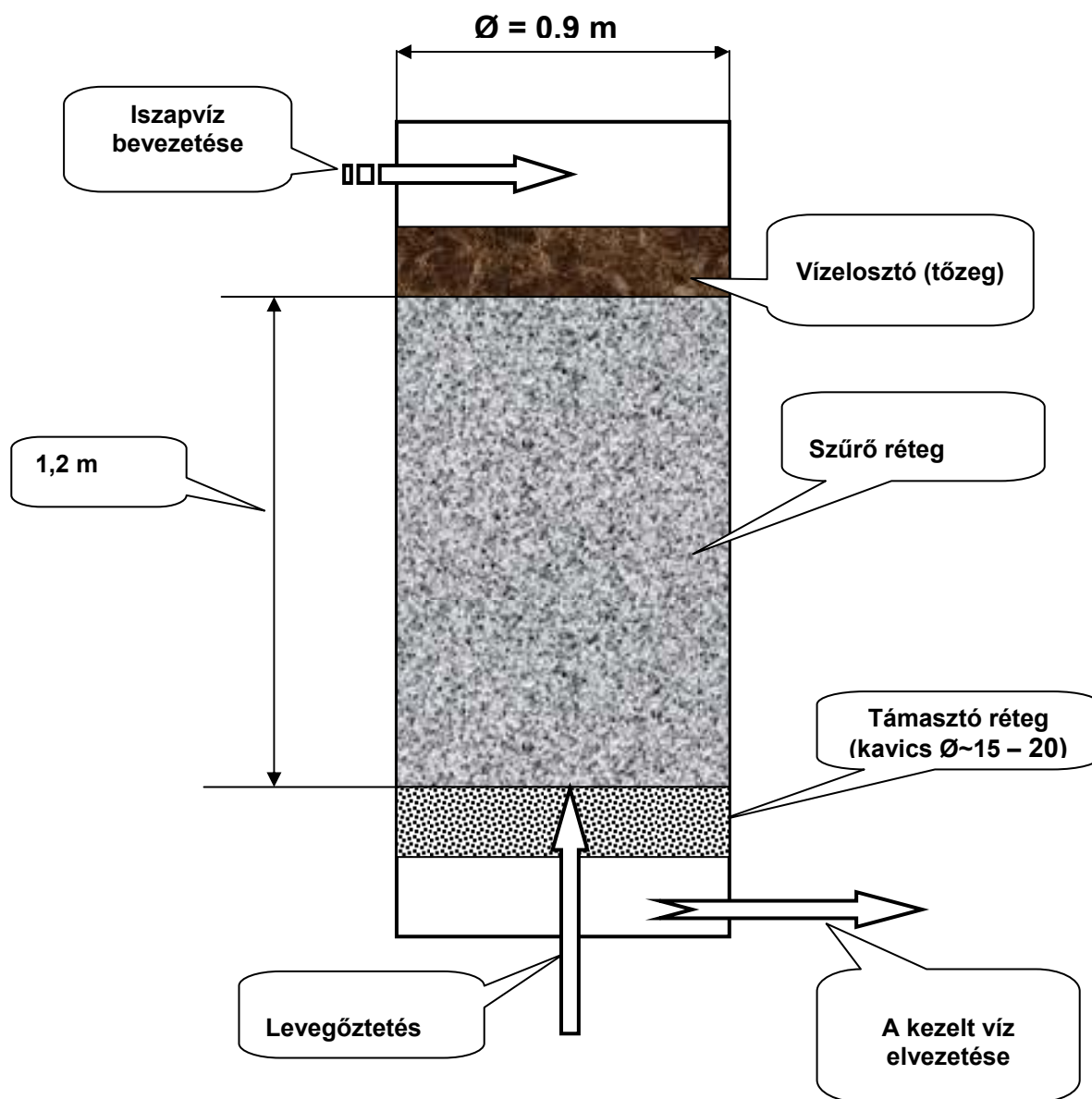
1.táblázat A szűrőanyagok fontosabb mutatói

Megnevezés	A részecske átmérője (mm)	Ammónia ioncserélő kapacitás (NH ₄ -N mg/g)	A megkötött baktérium mennyisége (g szervesa./g töltet)	Tömeg térfogat (kg/m ³)	Fajlagos felület (m ² /g)
Natur zeolit	5,0 – 6,0	10,0	0,028	1000	12,0
Gyöngy kavics	8,0	-	0,005	1900	-
Biolit (bio-szűrőanyag)	4,0 – 8,0	-	0,011	750	1,2
Homok	0,5 – 1,0	-	0,003	1700	-
Zeolit – homok keveréke	0,5 – 6,0	5,0	0,016	900	-
Gyöngy kavics – homok keveréke	0,5 – 8,0	-	0,004	1800	-

A kísérleti berendezés elvi vázlatát az **1. ábra** mutatja be. A felállított hat szűrőt az 1. táblázatban feltüntetett szűrőanyagokkal töltöttük fel és a kísérleti körülmény valamennyi szűrőnél azonos volt. A szűrőket nagy ammónia-N tartalmú (500 – 1800 mg/L) iszapvízzel terheltük. Az anaerob rothasztóból származó iszapvíz a KOI, BOI₅ és az ammónia-N paramétereket illetően szennyezettnek mondható. Az iszapvíz összetétele jelentős minőségi eltéréseket mutatott (**2. táblázat**). A szűrőre iszapvizet naponta két részletben tápláltuk. A víz egyenletes elosztását a szűrő töltetre helyezett 20 cm vastagságú tőzeg réteg biztosította. A kísérleti szűrőket az üzemi méretű nitrifikáló bioszűrőkről származó oltóiszappal oltottuk be, majd ezzel egy időben kis-terhelés mellett megkezdjük a szűrőkre a szennyvíz rávezetését is. A szűrők töltet anyagát hetente kétszer 10 perces időtartammal átlevegőztettük. A hat szűrő töltettel a kísérletek egy évig folytak.

Folyamatos szűrési kísérlet

A hat szűrőanyag összehasonlító vizsgálatát követően, a legjobb lebontási hatásfokot mutató szűrő-töltettel (zeolit) folyamatos rátáplálás mellett szennyvíztisztítási kísérleteket végeztünk. A folyamatos kísérletnél alkalmazott szűrő kialakítása és méretei az 1. ábrán bemutatott berendezéssel teljesen megegyezett. Üzemeltetésben annyi különbség volt csupán, hogy a folyamatos kísérleteknél a nap 24 óráján keresztül a szűrőre D-Pesti előülepített szennyvizet tápláltunk. A szűrő töltetet naponta kétszer 5 perc időtartamig légbefúvás mellett levegőztettük. A kísérlet időtartama fél év volt.



1. ábra Kísérleti szűrő-berendezés elvi sémája

A mérési eredmények ismertetése és értékelése

Különböző eredetű szűrőanyagok lebontási hatásfokának összehasonlítása

A befolyó csurgalék-víz ammónia-N tartalma 1156 és 1662 mg/L, a KOI koncentrációja 1608 és 2908 mg/l értékek között változott (2. táblázat). A változó csurgalék-víz minőség mellett az ammónia-N terhelést 13,6 és 120 $\text{NH}_4\text{-N g/m}^3\text{d}$ érték között állítottuk be. Ezek a terhelési értékek 3,4 és 68,8 m/év szűrő-vízborításnak felelt meg.

2. táblázat Az iszap víztelenítéséből származó iszapvíz összetétele

<i>Megnevezés</i>	<i>Mértékegység</i>	<i>Érték</i>
pH	(-)	7,8 – 8,5
Ammónia-N	(mg/L)	1156 – 1 662
KOI	(mg/L)	1608 – 2908
BOI ₅	(mg/L)	700 – 1 500
Összes lebegőanyag	(mg/L)	400 – 1 000
Szerves lebegőanyag	(mg/L)	200 - 500
Lúgosság (mint CaCO ₃)	(mg/L)	5 000 – 7 000
Összes illósav, mint ecetsav	(mg/L)	300 – 1 500

A hat darab szűrő-töltet közül a zeolit, zeolit + homok és a homok szűrési eredményeit a **3/1. – 3/3. táblázat**okban foglaltuk össze. A különböző szűrő anyagokra telepített biomassza az ammóniát és a KOI-t különböző hatásfokkal bontotta. Az ammóniát és a KOI-t a szűrőanyagok közül a zeolit és zeolit – homok kombinációjú szűrő-töltet bontotta a legnagyobb hatásfokkal. A legrosszabb ammónia és KOI lebontási eredményeket a homok szűrőnél mértük. A gyöngy kavics, gyöngykavics + homok és a biolit szűrőanyagok lebontási hatásfok értékei a zeolit és a homokszűrő eredményei közé esett.

3/1. táblázat A zeolit töltet szűrési eredményeinek összefoglalása

NH ₄ -N (mg/L)		KOI (mg/L)		Elfolyó NO ₃ -N	A szűrő terhelése		Hőmérséklet (°C)
Befolyó	Elfolyó	Befolyó	Elfolyó		(NH ₄ -N g/m ³ d)	Vízborítás (m/év)	
1 662	3 [99]	2 296	432 [81]	279	13,6	3,4	10 – 12
1 280	4,0 [99]	2 908	476 [83]	795	26,3	8,6	12 – 15
1 156	4 [99]	1 923	306 [84]	700	47,5	17,2	20 - 25
1 462	11 [99]	1 608	330 [79]	725	81,3	34	20 - 25
1 619	20 [98]	2 148	356 [83]	549	120	68,8	15 - 18

Megjegyzés: A []-ben feltüntetett számok az adott szennyező anyagok lebontási hatásfokát jelentik

3/2. táblázat A zeolit + homok töltet szűrési eredményeinek összefoglalása

NH ₄ -N (mg/L)		KOI (mg/L)		Elfolyó NO ₃ -N	A szűrő terhelése		Hőmérséklet (°C)
Befolyó	Elfolyó	Befolyó	Elfolyó		(NH ₄ -N g/m ³ d)	Vízborítás (m/év)	
1 662	10 [99]	2 296	631 [72]	286	13,6	3,4	10 – 12
1 280	12 [99]	2 908	729 [74]	818	26,3	8,6	12 – 15
1 156	19 [98]	1 923	441 [77]	736	47,5	17,2	20 - 25
1 462	71 [95]	1 608	417 [74]	594	81,3	34	20 - 25
1 619	96 [94]	2 148	441 [79]	500	120	68,8	15 - 18

3/3. táblázat A homok töltet szűrési eredményeinek összefoglalása

NH ₄ -N (mg/L)		KOI (mg/L)		Elfolyó NO ₃ -N	A szűrő terhelése		Hőmérséklet (°C)
Befolyó	Elfolyó	Befolyó	Elfolyó		(NH ₄ -N g/m ³ d)	Vízborítás (m/év)	
1 662	78 [95]	2 296	1176 [48]	166	13,6	3,4	10 – 12
1 280	103 [92]	2 908	1 617 [44]	387	26,3	8,6	12 – 15
1 156	219 [81]	1 923	1271 [33]	328	47,5	17,2	20 - 25
1 462	340 [76]	1 608	1 200 [25]	379	81,3	34	20 - 25
1 619	369 [72]	2 148	1 244 [42]	249	120	68,8	15 - 18

Egy - egy terhelési értékhez tartozó be- és elfolyó értékekből átlagot képeztünk és a táblázatok ezt az értéket, tartalmazzák.

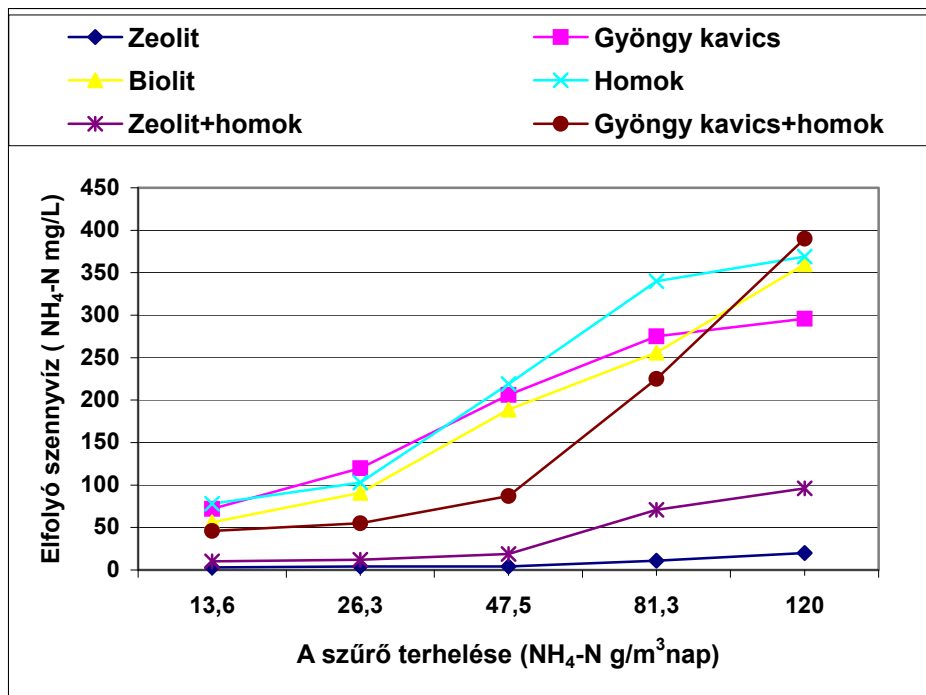
Az átlag-képzés ellenére a szűrőre táplált iszapvíz minősége változik és így az elfolyó, tisztított szennyvíz minősége is ingadozásokat mutat. A befolyó szennyvíz minőségének változása, következtében a szűrő-töltet a fajlagos terhelési (g NH₄-N/m³ d) és a szűrő vízborítási paramétert (m/év) hígítás alkalmazásával tudtuk összhangba hozni.

Valamennyi szűrő-anyag esetében a szűrőkről elfolyó ammónia és KOI értékeket a szűrő-terhelés függvényében a **2.** és a **3.ábra** mutatja be. A szűrőkről elfolyó KOI -és a befolyó KOI koncentráció kapcsolatát a **4.ábra** szemlélteti.

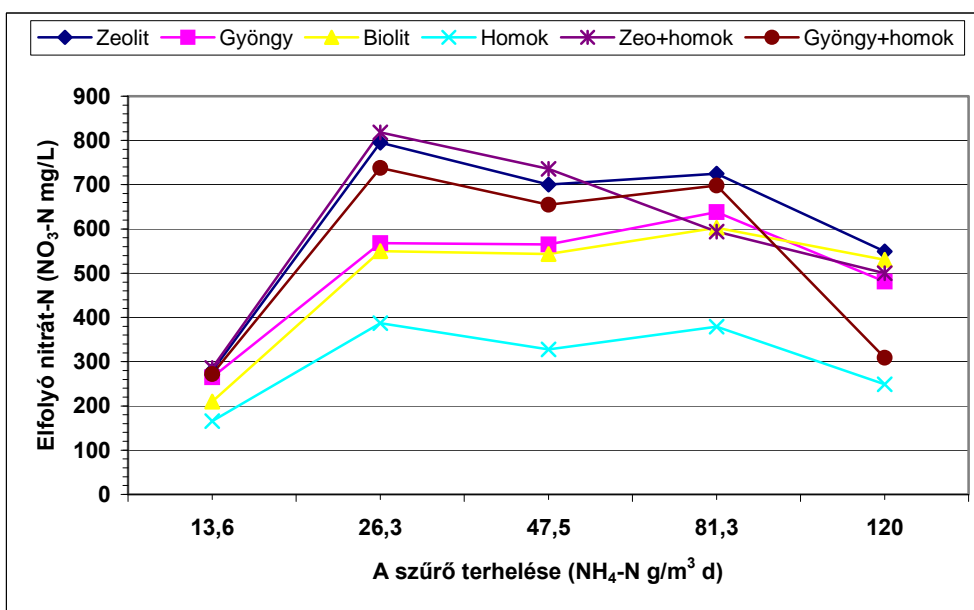
A **2. ábra** az elfolyó ammónia koncentrációt a szűrő ammónia terhelésének függvényében ábrázolja. A 47,5 g NH₄-N/m³ d szűrő-terhelést követően a biolit, homok, gyöngy kavics-töltetű szűrőkről elfolyó víz ammónia-N koncentrációja nagymértékben, míg a zeolit és a zeolit homok kombinációjú töltetanyagoknál a romlás messze nem volt ilyen mértékű. A 47,5 g NH₄-N/m³ d szűrő-terhelésig valamennyi szűrő 80 % hatásfok felett üzemelt. A szűrők terhelésének további növelésével (120 g NH₄-N/m³ d) a biolit, homok, gyöngy kavics, gyöngy kavics + homok szűrőtöltetek esetében az elfolyó szennyvíz ammónia koncentrációja 300 mg/L érték fölé növekedett. Ugyanakkor a zeolit és zeolit + homok töltet esetében az elfolyó víz NH₄-N koncentrációja 20 és 96 mg/L érték volt. A zeolit és a zeolit + homok szűrő-tölteteken az ammónia oxidációja még nagy terhelés esetében is jó hatásfokkal (> 90 %) végbement.

Az elfolyó nitrát koncentráció és a szűrő ammónia terhelésének kapcsolatát a **3. ábra** mutatja be. Az elfolyó nitrát koncentráció a 26, 3 g NH₄-N/m³ d terhelésig nőtt, majd a 81,3 g NH₄-N/m³ d terhelés értékig csak kismértékben csökkent, majd 120 g NH₄-N/m³ d terhelési értéknél egyértelműen csökkent az elfolyó víz nitrát tartalma. Feltehetően a nagy ammónia-terhelés miatt kialakuló nagy ammónia koncentráció gátolja a nitrifikációt és ennek következtében csökken a nitrát koncentráció. A kisebb ammónia-terhelésnél valamennyi szűrő elfolyó vizében a nitrát-N koncentráció 500 és 800 mg/L érték között ingadozott. A szűrőkről elfolyó vizekben nitritet nem lehetett kimutatni. A képződött nitrát-N és az eloxidált ammónia-N nincs egyensúlyban. A kisebb terheléseknél a nitrifikáció hatásfoka nagyobb, de a képződött nitrát-N az eloxidált ammónia-N -nek maximálisan csak a 60 % - a. Annak ellenére, hogy a szűrőkben nem mértünk oxigén hiányt, feltehetően denitrifikáció folyamat is végbement.

A kísérleteknél felhasznált anaerob rothasztóból származó iszapvíz KOI értéke 1600 – 2900 mg/L értékek között változott. Az anaerob rothasztó iszapvíze biológiailag nehezen bontható anyagokat tartalmaz. Ezt a megállapítást a szűrési kísérletek is egyértelműen igazolták, hiszen az elfolyó KOI értéke a legjobb biológiai lebontást biztosító zeolit töltet esetében sem esett 300 mg/L érték alá. A KOI lebontási hatásfok romlása nyilvánvalóan azzal magyarázható, hogy a terhelés növekedésével a szűrő hidraulikus tartózkodási ideje a kiindulási 120 nappól 12 nap értékre csökkent.



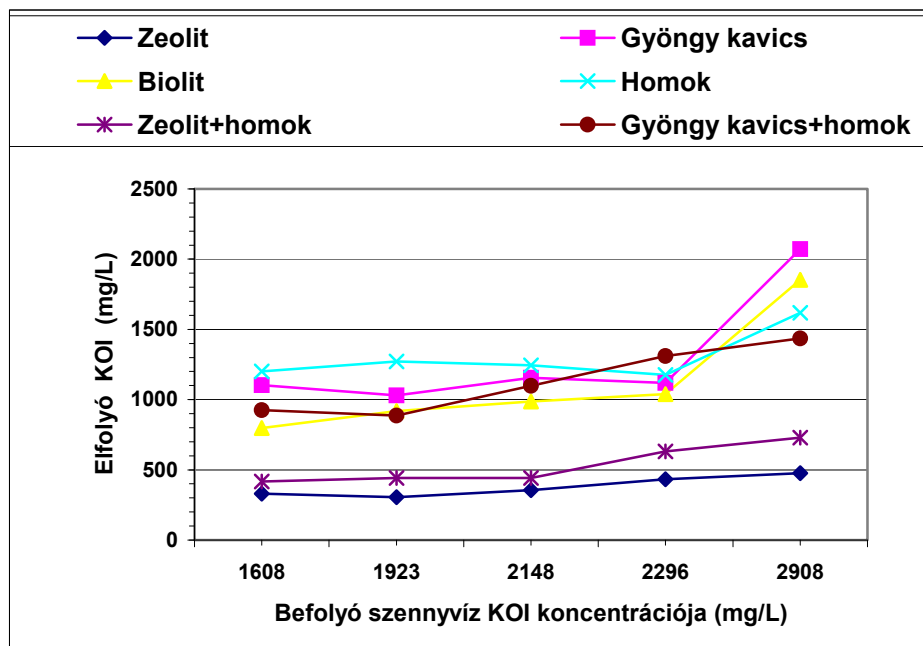
2. ábra Az elfolyó ammónia koncentráció és a szűrő ammónia terhelésének kapcsolata



3. ábra Az elfolyó nitrát koncentráció és a szűrő ammónia terhelésének kapcsolata

A lebontási hatások a befolyó szennyvíz KOI koncentrációjától is függ. Ezt az összefüggést a **4. ábra** mutatja be: a KOI értékének 1608 mg/L-ről 2296 mg/L-re történő növekedésével az elfolyó szennyvíz KOI értéke – a gyöngy kavics, biolit, gyöngy kavics + homok és a homok – szűrő töltetknél 1000 – 1200 mg/L érték között mozgott. Ugyanakkor a zeolit és a zeolit + homokszűrő anyagoknál az elfolyó víz KOI-ja 300 és 500 mg/L érték között változott. Tehát

a zeolit vagy zeolit kombinációjú szűrő töltetnél a KOI lebontás is lényegesen hatékonyabb volt, mint a más szűrő töltetnél.



4. ábra Az elfolyó KOI -és a befolyó KOI koncentráció kapcsolata

A vizsgált hatféle szűrőanyag közül a legjobb elfolyó vízminőséget a zeolit és zeolit + homokszűrő töltetek estében kaptuk. A zeolit alapú szűrőanyagok jó biológiai lebontási hatásfoka azzal magyarázható, hogy a zeolitnak nagy a fajlagos külső felülete ($12 \text{ m}^2/\text{g}$) és ez által a felületén lényegesen nagyobb mennyiségű (8 – 9-szeres) biomassza kötődik meg, mint a homok vagy a gyöngy kavics felületén. A zeolit ioncserélő kapacitása ($10 \text{ mgNH}_4\text{-N/g}$) szintén jelentősen javítja a nitrifikációt, mert az ioncsere révén megkötött ammónia a zeolit szemcsére rátelepült baktérium számára közvetlenül felhasználható és ez által gyorsul a nitrifikáció. Természetesen a zeolit nagy fajlagos felülete által megkötött hetreotróf baktériumok száma és a nagy fajlagos felületen lejátszódó biokémiai reakció a szénvegyületek lebontási sebességét is növeli.

A szűrő töltetet a kisebb terheléseknél ($13,6 - 47,5 \text{ g NH}_4\text{-N/m}^3\text{d}$) hetente egyszer, a nagyobb terheléseknél ($83,1 - 120 \text{ g NH}_4\text{-N/m}^3\text{d}$) pedig hetente kétszer 5 perc időtartamig átlevégtettük. Ezzel lehetett biztosítani, hogy a hézag térfogatban lévő oxigén koncentrációja nem esett $1,5 \text{ mg/dm}^3$ érték alá.

Folyamatos-üzemű kísérleti szűrés-eredmények értékelése

A folyamatos kísérletnél elő-ülepített D-Pesti szennyvizet használtunk. Az előülepített szennyvíz minőségi mutatóit a **4. táblázat** mutatja. A táblázat adatai alapján megállapíthatjuk, hogy a D-Pesti előülepített szennyvíz minősége jól egyezik a vidéki kisebb városok előülepített szennyvíz minőségével. A kis-településeknél, azonban a befolyó nyers szennyvíz ammónia tartalma ($\text{NH}_4\text{-N}$) nagyobb, sok esetben eléri a 100 mg/L értéket, sőt számos esetben még meg is haladja.

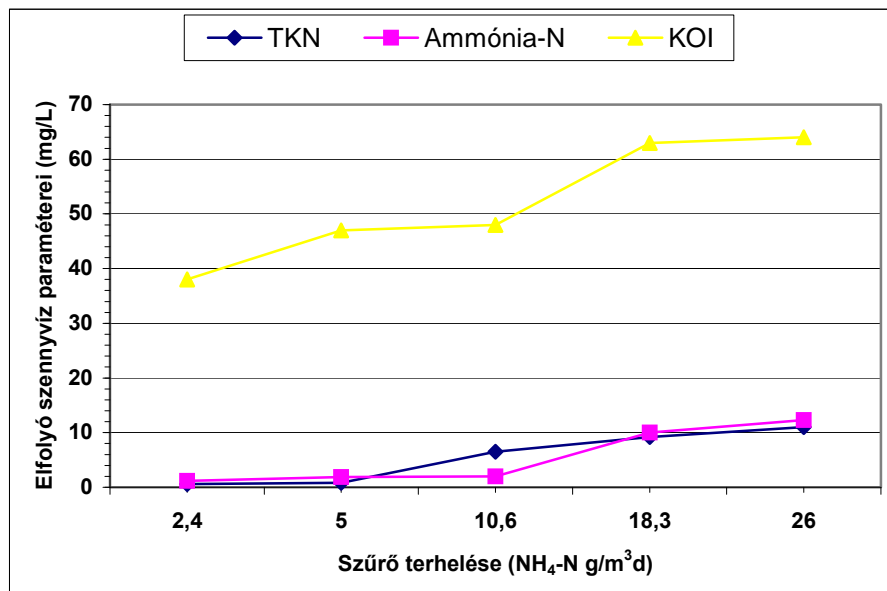
A folyamatos szűrés eredményeit az **5. táblázat**ban foglaltuk össze. A folyamatos táplálás mellett a szűrőt $2,4 - 26 \text{ NH}_4\text{-N g/m}^3\text{d}$ terhelési tartományban üzemeltettük, ez megfelelt $22,2 - 166,8 \text{ m}^3/\text{év}$ vízborításnak, illetve $19,0 - 2,5$ nap hidraulikus tartózkodási időnek. A befolyó elő-ülepített szennyvíz szűrt KOI értéke $160 - 281 \text{ mg/L}$, ammónia-N tartalma pedig $46 - 66$

4. táblázat Az elő-ülepített szennyvíz összetétele

Megnevezés	Mértékegység	Érték
pH	(-)	7,4 – 7,8
Ammónia-N	(mg/L)	50 – 70
TKN	(mg/L)	60 – 90
KOI (szűrt)	(mg/L)	130 – 300
BOI ₅	(mg/L)	80 – 160
Összes lebegőanyag	(mg/L)	100 – 150

mg/L érték tartományban változott. A befolyó szennyvíz lebegőanyag tartalma 95 – 120 mg/L, a pH értéke 7,2 – 7,6 között változott. A befolyó szennyvíz TKN (ammónia-N + szerves-N) tartalmának 80 – 90 %-át az ammónia képezte. Ez azt jelenti, hogy a szűrt nyers szennyvíz oldott frakciójának a szerves-N koncentrációja kicsiny. A hőmérséklet a kisebb terhelések esetében 21 – 22 °C, a nagyobb terheléseknél 13 – 14 °C volt. A nagyobb terheléseknél mért hatások csökkenést nemcsak a terhelés növekedése, hanem a hőmérséklet csökkenése is befolyásolta.

A 2,4 – 10,6 g NH₄-N /m³d terhelés tartományban az elfolyó, tisztított szennyvíz NH₄-N koncentrációja 1,2 – 2,0, a TKN tartalom 0,6 – 6,5 mg/L és a KOI (eredeti) 38 – 48 mg/L érték között változott. A szűrőről távozó lebegőanyag mennyisége is csekély 8 – 12 mg/L volt. Ez a vízminőség a legkényesebb befogadó vízminőségi követelményét is kielégíti. A nagyobb terheléseknél (18,3 – 26,0 g NH₄-N /m³ d) az elfolyó, tisztított szennyvíz minősége romlott, ez a terhelés-növekedésen túlmenően a hőmérséklet csökkenéssel (13 – 14 °C) is magyarázható. A nagyobb terhelési értékeknél az elfolyó vízben az NH₄-N 10 – 12,3 mg/L, a KOI 63 – 64 mg/L és a TKN koncentráció értéke 9,2 – 11 mg/L értékek között változott.



5. ábra Az elfolyó szennyvíz paraméterei és a szűrő terhelés kapcsolata

Az **5. ábra** a tisztított szennyvíz ammónia-N, KOI és TKN koncentrációjának változását szűrő-terhelés függvényében mutatja be. A tisztított szennyvíz minősége a terhelés növekedésével romlik, vagyis a vízminőséget jellemző valamennyi szennyező anyag koncentrációja növekszik.

Szűrőmező felületének számítása

Gray (2004) a talajszűrő szükséges felületének számítására az alábbi empirikus összefüggést adja meg:

$$F = \frac{Q (\ln C_o - \ln C_l)}{v_l} \quad (1)$$

Az (1) összefüggés alapján egy kis település (1000 lakos) szűrőmezős tisztítását az alábbi példán mutatjuk be: F a talajszűrő felülete (m^2), Q a befolyó szennyvíz mennyisége ($150 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$), C_o a befolyó (300 mg/L), a C_l az elfolyó (25 mg/L) szennyvíz BOI_5 koncentrációja és a v_l a BOI_5 lebontási sebessége ($0,1$). Ezekkel az adatokkal számított szűrő mező felületre (F) 3750 m^2 adódik. Ha az (1) összefüggést az ammónia eltvárolításra, vagyis nitrifikációra alkalmazzuk, akkor az alábbi adatokkal számolunk: $C_o = 100 \text{ NH}_4\text{-N mg/L}$, $C_l = 10 \text{ NH}_4\text{-N mg/L}$, $v_l = 0,07$ és a szűrő felületére (F) 4928 m^2 értéket kapunk. Ez a példa jól szemlélteti, hogy a szennyvíz ammónia oxidációja nem végezhető el a BOI_5 lebontásához szükséges szűrő felülettel. Nyilvánvaló, hogyha az ammónia eltávolításra méretezzük a szűrőt, akkor a szénvegyületek lebontása is messzemenően végbemegy, viszont ebben az esetben kb. 20%-kal nagyobb szűrő felülettel kell számolni. A gyakorlat azt mutatja, hogy a biztonság miatt egy lakos egyenértékre 5 m^2 szűrő felületet kell számolni. Az $5 \text{ m}^2/\text{leé}$ alapadattal méretezett zeolit töltetű szűrő esetében az ammónia teljes nitrifikációja és a teljes biológiai tisztítás is végbemegy.

Következtetések

A kísérleti eredmények alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

1. Az ammónia és KOI lebontási képesség alapján vizsgált natúr zeolit, gyöngy kavics, biolit, homok, gyöngy kavics + homok és zeolit + homok keverék szűrőanyagoknál a legjobb lebontási eredményt a natúr zeolit szűrőanyagnál mértük.
2. A zeolit alapú szűrőanyagok jó biológiai lebontási hatásfoka azzal magyarázható, hogy a zeolitnak nagy a fajlagos külső felülete ($12 \text{ m}^2/\text{g}$) és ez által a felületén lényegesen nagyobb mennyiségű ($8 - 9$ -szeres) biomassza kötődik meg, mint más szűrőanyagok felületén.
3. A zeolit ioncserélő kapacitása ($10 \text{ mgNH}_4\text{-N/g}$) szintén jelentősen javítja a nitrifikációt, mert az ioncsere révén megkötött ammónia a zeolit szemcsére rátelepült baktérium számára közvetlenül felhasználható és ez által gyorsul a nitrifikáció.
4. A vizsgált szűrő-anyagok esetében az oxigén ellátást a szűrő töltet gyakori ($5 - 10$ perc/nap) átlevégőztetése és a nagyobb szemcseméretű szűrőanyag által kialakított hézag térfogat együtt biztosította.
5. A legjobb lebontási hatásfokot mutató zeolit szűrő-töltettel folyamatos rátáplálás mellett végzett szennyvíztisztítási kísérletek azt mutatták, hogy
 - a $2,4 - 18,3 \text{ NH}_4\text{-N g/m}^3 \text{ d}$ szűrő terhelési tartományban és 18°C -on az ammónia oxidációja jó hatásfokkal ($> 90\%$) lejátszódik és az elfolyó, tisztított szennyvíz KOI értéke 50 mg/L érték alatt marad
 - a nagyobb terhelési értéknél ($> 18,3 \text{ NH}_4\text{-N g/m}^3\text{d}$) és alacsonyabb hőfokon (14°C) az elfolyó vízben az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja 10 mg/L , a KOI 65 mg/L és a TKN koncentráció értéke $9,2 - 11 \text{ mg/L}$ értékek között változott
 - az $5 \text{ m}^2/\text{leé}$ alapadattal méretezett zeolit töltetű szűrő esetében az ammónia teljes nitrifikációja és a teljes biológiai tisztítás is végbemegy.

Irodalomjegyzék

Fleit, E.(1988): Gyökérszűrés szennyvízkezelés. VITUKI jelentés, 3 – 20

Szilágyi, F. (1996): A szügyi gyökérszűrés szennyvíztisztító próbaüzemének értékelése, Környezetgazdálkodási Tanácsadó Management és Szolgáltató Kft., 36 – 42

Engelmann, U., Lützer, K., Müller, V. (2003): Erfahrungen beim Einsatz von Pflanzenkläranlagen in Sachsen. KA – Abwasser, Abfall (50), Nr. 3, 308 – 320

Obarska-Pempkowiak, H., Kowalik, P., Tuszyńska, A., Gajewska, M. (2005): Erfahrungen mit Betrieb von Pflanzenkläranlagen. KA – Abwasser, Abfall (52), Nr. 11, 1229 – 1235

Born, W., Lambert, B., Hohl, E., Frechen, F. B., Hassinger, R. (2000): Bodenfilterbecken zur weitergehenden Mischwasserbehandlung, KA – Abwasser, Abfall (47), Nr. 1, 81 – 91

Gray, N. F. (2004): Sub-surface flow treatment wetlands. In Biology of Wastewater Treatment, Imperial College Press, pp 687 – 695

Cooper, P.(2005): The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates. Water Science & Technology Vol 51, No 9, pp 81–90

Hench, K. R., Bissonnette, G.K., Sexstone, A.J., Coleman, J.G., Garbutt, K., Skousen, J.G. (2003): Fate of physical, chemical, and microbial contaminants in domestic wastewater following treatment by small constructed wetlands. Water Research, 37,(4), pp 921-927

About Constructed Wetlands. Construction and method of operation. Purification ability of constructed wetlands. Long-term operation. Internet:

<http://www.bodenfilter.de/englbofilter.htm#Seitenanfang>

Cooper, D., Griffin, P., Cooper, P. (2005): Factors affecting the longevity of sub-surface horizontal flow systems operating as tertiary treatment for sewage effluent, Water Science & Technology, Vol 51, No 9, pp 127–135 © IWA Publishing 2005

Összefoglalás

Kulcsszavak: talajszűrő, szűrőanyagok, natur zeolit, nitrifikáció, szűrő-terhelés

Hatféle szűrőanyagot hasonlítottunk össze ammónia és KOI lebontási képesség alapján. Kísérleteinknél az alábbi szűrőanyagokat vizsgáltuk: natur zeolit, gyöngy kavics, biolit, homok, gyöngy kavics + homok és zeolit + homok keveréket. A kiválasztott szűrőanyagok közül csak a zeolit rendelkezett ammónia ioncserélő kapacitással és ennek az anyagnak viszonylag nagy fajlagos felülete (12,0 m²/g) volt.

A 47,5 g NH₄-N/m³d szűrő-terhelésig valamennyi szűrő ammóniára nézve 80 % hatásfok felett üzemelt. A szűrők terhelésének további növelésével (120 g NH₄-N/m³ d) a biolit, homok, gyöngy kavics, gyöngy kavics + homok szűrőtöltetek esetében az elfolyó szennyvíz ammónia koncentrációja 300 mg/L érték fölé növekedett. Ugyanakkor a zeolit és zeolit + homok töltet esetében az elfolyó víz NH₄-N koncentrációja 20 és 96 mg/L érték volt. A zeolit és a zeolit + homok szűrő-tölteteken az ammónia oxidációja nagyon jó hatásfokkal (> 90 %) végbement. A vizsgált hatféle szűrőanyag közül a legjobb elfolyó vízminőséget a zeolit és zeolit + homok-szűrő töltetek estében kaptuk.

A hat szűrőanyag összehasonlító vizsgálatát követően, a legjobb lebontási hatásfokot mutató zeolit szűrő-töltettel folyamatos rátáplálás mellett szennyvíztisztítási kísérleteket is végeztünk. A 2,4 – 18,3 NH₄-N g/m³ d szűrő terhelési tartományban és 18°C-on az ammónia oxidációja jó hatásfokkal (> 90%) lejátszódik és az elfolyó, tisztított szennyvíz KOI értéke 50 mg/L érték alatt marad. A nagyobb terhelési értéknél (> 18,3 NH₄-N g/m³ d) az elfolyó vízben az NH₄-N koncentrációja 10 mg/L, a KOI 65 mg/L és a TKN koncentráció értéke 9,2 – 11 mg/L értékek között változott.

Az ammónia oxidációja nem játszódik le a BOI₅ lebontásához szükséges szűrő felületen. Ez a szűrő felület kicsiny az ammónia-N oxidációjához. Nyilvánvaló, hogyha az ammónia oxidációja miatt nagyobb szűrő felületet alkalmazunk, akkor a szénvegyületek lebontása is messzemenően végbemegy, viszont ebben az esetben lényegesen nagyobb szűrő felülettel kell számolni.

Abstract

Keywords: soil filter, filter media, natural zeolite, nitrification, filter load

Organic matter and ammonium removal efficiencies were compared in experimental units treating reject water with the application of six different filter media (natural zeolite, spherical shaped gravel, Biolite, sand, gravel-sand mixture and sand-zeolit mixture). Amongst the used materials, only the zeolite has ammonium ion exchanging property, furthermore zeolite has relatively large specific surface area (12,0 m²·g⁻¹).

Up to 47,5 g NH₄-N·m⁻³·d⁻¹ load, every filter media provided more than 80% ammonium conversion efficiencies. Further increase of ammonium load (to 120 g NH₄-N·m⁻³·d⁻¹) the treated water concentration exceeded 300 mg NH₄-N·L⁻¹ in the Biolite, sand, gravel and gravel+sand media. Meanwhile the zeolite and zeolite+sand media filters provided effluent ammonium concentrations of 20 mg·L⁻¹ and 96 mg·L⁻¹ respectively, which represents more than 90% nitrification efficiency. Amongst the six different types of filter media, the zeolite containing filter beds have given the best-treated water quality.

Experiments were performed in a continuously fed reactor with the filter media showing the highest organic matter removal efficiency. In the ammonium load range of 2,4-18,3 g NH₄-N·m⁻³·d⁻¹ and on 18 °C, the ammonium oxidation showed high efficiency (>90%) and the treated water contained organic matter in less, than 50 mg COD·L⁻¹. Higher loads (>18,3 g NH₄-N·m⁻³·d⁻¹) resulted in deterioration of the water quality: 10 mg NH₄-N·L⁻¹, 65 mg COD·L⁻¹ and 9,2-11 mg TKN·L⁻¹ concentrations were measured in the effluent water.

Ammonium oxidation was not observed in the filter designed for BOD₅ degradation because of the non-sufficient filter bed volume. Significant bed expansion would result in efficient ammonium oxidation and simultaneously it may obviously enhance organic matter removal efficiency, however significant filter bed volume enhancement would be necessary in this case.

5. táblázat Folyamatos rendszerű szűrési eredményeinek összefoglalása

Terhelés		Tartózkodási idő (nap)	NH ₄ -N (mg/L)		KOI (mg/L)		TKN (mg/L)		Elfolyó NO ₃ -N (mg/L)	Lebegő anyag (mg/L)		pH	Hőmérséklet (°C)
(gNH ₄ -N/m ³ d)	Vízborítás (m/év)		Befolyó	Elfolyó	Befolyó (szűrt)	Elfolyó (eredeti)	Befolyó (eredeti)	Elfolyó (eredeti)		Befolyó	Elfolyó		
2,4	22,2	19	46	1,2	160	38	55	0,6	95	95	12	7,2	21
5,0	69,5	10	51	1,9	151	47	59	0,8	66	110	15	7,6	22
10,6	83,4	5	54	2,0	234	48	62	6,5	32	120	8	7,4	18
18,3	125,0	3,3	62	10,0	245	63	75	9,2	21	80	20	7,3	13
26,0	166,8	2,5	66	12,3	281	64	78	11,0	20	125	6	7,3	14

