

Szürkevizek koagulálószerrel, illetve oxidálószerrel történő kezelésének összehasonlítása

Comparison of greywater treatment processes with coagulating agent and oxidizer

Cs. UNGVÁRI¹, A. IZBÉKINÉ SZABOLCSIK², R. LÓS³, I. BODNÁR⁴

Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezetmérnöki Tanszék; 4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4.

¹csaba.ungvari31@gmail.com, ²szabolcsikandi@eng.unideb.hu, ³losrekaa@gmail.com, ⁴bodnari@eng.unideb.hu

Absztrakt. Kutatásunk során szintetikusán előállított szürkevizek változatos szűrőközegeken történő előkezelés utáni koagulálószerrel, illetve oxidálószerrel történő kezelési hatékonyságát tanulmányoztuk. A szürkevíz mintákat többféle vízminőségi paraméter ellenőrzése mellett jellemeztük. Ezen vizsgálatokat elvégeztük a kezeletlen, előkezelt, illetve a vas-klorid és hidrogén-peroxid vegyszerrel kezelt mintákon is. A vízminőségi paraméterek változásainak segítségével következtettünk a különböző kezelések hatékonyságára. A szürkevíz kezelés fontos és hatékony eszköze az édesvízkészletek ésszerűbb felhasználásának, mivel a kezelt ilyen típusú használt vizek alkalmasak lehetnek pl. WC öblítésre, illetve öntözésre. A felhasználásra való előkészítéseket biztosító kezelésekre több lehetőség is ismert szakirodalmi alapokon, ezek közül jelen tanulmányban két kezelési eljárás összehasonlítását végeztük el.

Abstract. In our research synthetically produced greywater samples were treated with oxidative and coagulating agents after pre-treatment them by filtration on various filters. We characterised the quality of greywater samples with several parameters. We investigated these parameters on the untreated, pre-treated, and treated samples as well. We evaluated the efficiency of the treatments by measuring the characteristic parameters. The greywater treatment is a very important and effective opportunity for the reasonable freshwater usage. This type of treated water can be suitable for toilet flushing or irrigation. There are a several methods known from the literatures to preparation the greywater samples to reuse. We compared two of these methods in this article.

1. Bevezetés

Napjainkban a folyamatosan fokozódó globális édesvízhiány miatt egyre szükségesebbé válik a készleteink ésszerűbb felhasználása. A vízigény folyamatos növekedése mellett a klímaváltozás okozta édesvíz források csökkenése is komoly probléma. Tovább súlyosbítja a helyzetet, hogy egyes édesvízlelőhelyek antropogén vagy természetes okból kifolyólag elszennyeződnek, és csak megfelelő tisztítási eljárásokat követően válnak felhasználhatóvá. Ezen probléma mérséklésére rengeteg törekvést tesznek a tudósok, illetve a szakemberek. Például a szennyezett vízforrások tisztításával, illetve a sós tengervíz sótartalmának eltávolításával újabb alternatív vízforráshoz juthatunk, azonban a vízhiány fokozódása nagyobb mértékű, mint ezen törekvések eredményei [1]. Hatékonyabb megoldás

az lenne, ha a felhasználás csökkenése menne végbe, erre egy lehetséges alternatíva a szürkevizek újrafelhasználása.

Szürkevíznek (greywater) nevezzük a háztartásban keletkező hulladékvizeket, amelyek fürdés, mosás, és konyhai tevékenységek közben keletkeznek, és ezen vizek nem tartalmazzák a WC öblítése során keletkezett szennyvizeket. Globális szinten nézve az egy főre vetítve az átlagos napi szennyvízkibocsátás 150-250 liter, amelyből a szürkevíz mennyisége 75-90%-ot jelent, attól függően, hogy például mennyire víztakarékos az épületbe telepített WC. Európában a keletkező szürkevíz mennyisége 35-150 liter/fő/nap között mozog [2]. Ha szürkevizet a vízöblítéses WC-knél használnánk, a napi vízfogyasztás 10-29%-al csökkenthető lenne [3]. Magyarországon az átlagos vízfogyasztás 100-110 liter/fő/nap, ami nagyobb városokban ennél több is lehet, kisebb városokban pedig 50-70 liter/fő/nap között alakul [4].

A nemzetközi szakirodalom alapján a szürkevizet a szennyezettség mértéke alapján két nagyobb csoportba sorolhatók. A kevésbé szennyezett típusát „light”, míg a szennyezettebb frakciót „dark” jelzővel említik. Az úgynevezett „light greywater” frakció a szürkevizet kevésbé szennyezett részét, például a fürdővizet jelenti. Ezek az alábbi tipikus szennyezőanyagokat tartalmazzák: szappanokból, tusfürdőkből, úgynevezett detergenset, emellett a bőrről, hajról és testről származó zsírokat [5]. A mosásból vagy mosogatásból származó „dark greywater” nagyobb koncentrációban tartalmaz kémiai anyagokat pl. a mosogató- illetve mosóporokból, fehérítőkől, zsírokból, olajokból, ruhafestékekből származó komponenseket és emellett pl. ruhákból nem lebomló szöveteket, továbbá ételmaradékokat [2]. Kutatócsoportunk korábbi, szisztematikus vizsgálatai alapján is megállapítást nyert, hogy ezen frakciók közül a fürdés, tisztálkodás során keletkező szürkevizet minőségi paraméterei állnak a legközelebb az ivóvíz minőséghez [4], illetve a háztartási szinten keletkező szürkevizet mennyiségi adatait megvizsgálva, megállapítható, hogy a keletkezett szürkevizet majdnem 50%-a fürdésből, zuhanyzásból származik, ezért ezen frakció kezelését tűztük ki célként (1. ábra).



1. ábra: Szürkevizet frakcióinak mennyiségi eloszlása [2]

A szakirodalmi adatok, illetve kutatócsoportunk tapasztalatai alapján ezen típusú szürkevizetnek az újrafelhasználásához is szükséges bizonyos vízkezelési módszerek alkalmazása [6], mivel egy egyszerű szűrés eljárás nem garantálja pl. az oldott vagy kolloidális méretű nem oldott szerves anyagoknak, detergensetnek, illetve biológiailag lebomló anyagoknak az eltávolítását. Az ilyen komponensek

visszatartására célszerű más kezelési eljárást is alkalmazni pl.: oxidatív kezeléseket, vagy a koagulálószerrel történő kezelést [2].

Az oxidációszerrel történő kezelés a vizeket fertőtleníti, illetve a detergens - és a szerves anyag tartalmat bizonyos mértékben bontja, de az oxidálószer alkalmazása előtt célszerű a vizeket előkezelni pl.: szűréssel. Ezért a kutatásunkban különböző típusú szűrőközegeken szűrt minták oxidálószerrel történő kezelését tanulmányoztuk és a kezelt és a kezelt minták minőségi vizsgálata alapján értékeltük a beavatkozások hatásfokát [7].

Kémiai eljárások közül az egyik leggyakoribb vízkezelő eljárás a koagulálás és flokkulálás. Ezek az eljárások segítenek eltávolítani a kolloid méretű részecskéket is a vizekből. A vizekben található, finoman eloszlott negatív töltésű részecskék taszítják egymást, így nagyon kis részecskéként maradnak meg a vizekben [6]. A koagulálás során vegyszerek adagolásával ezeknek a részecskéknek a töltését megváltoztatják, mely hatására azok irreverzibilisen összetapadnak, és ülepedhetővé, szűrhetővé válnak. A megfelelően végbemenő agglomerátum képződéshez intenzív kevertetés szükséges. Flokkulálás során könnyen ülepedhető pelyhek képződése a cél [2].

Szürkevizek felhasználásával kapcsolatban jelenleg hazánkban még nincs jogi szabályozás, nincs előírás a felhasznált szürkevíz minőségi paramétereit illetően. Azonban olyan országokban, ahol a szürkevizet újrafelhasználása már bevett gyakorlat és megalapozottan működik, már jogszabályok is elérhetőek erre vonatkozóan. Az Amerikai Egyesült Államokban és Németországban kidolgozott jogszabályok két fő vízminőségi paramétert jelölnek meg legfontosabbnak: a zavarosságot, illetve a szerves anyag tartalmat. Az Egyesült Államokban érvényben lévő szabályozás szerint a kezelt vagy újrafelhasználásra szánt szürkevizet esetében a zavarosság értéke átlagban 2 NTU lehet, maximumként pedig az 5 NTU értékű zavarosság van meghatározva. A szerves anyag tartalmat jellemző biológiai oxigénigény maximum értéke pedig 10 mg/l [6].

2. Anyag és módszer

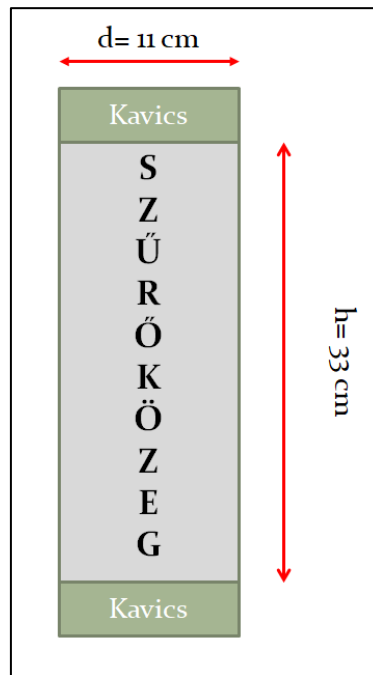
A kutatásunk során ivóvíz alapú szintetikus előállított - a háztartásokban keletkező fürdővizet jól jellemző - szürkevizet használtunk. Az így elkészített vízminták egyes összetevőkre vetített koncentrációja mindig közel egyenlő volt, mivel azokat a kutatócsoportunk korábbi vizsgálata alapján kidolgozott receptúra alapján mértük be.

A szintetikus fürdővíz készítésének receptúráját, illetve pontos összetételét jelen tanulmányban nem részletezzük, összetételét tekintve a szintetikus fürdővíz tartalmazott tusfürdőt, sampont, növényi olajat és növényi tápanyagot is.

A szintetikus szürkevíz jellemzésére a pH értéket, zavarosságot, fajlagos vezetőképességet, és biológiai oxigénigényt, mint vízminősítési paramétereket mértük. A minőségi vizsgálatainkat kontrollként a szintetikus szürkevíz alapjául szolgáló ivóvízmintákon is elvégeztük.

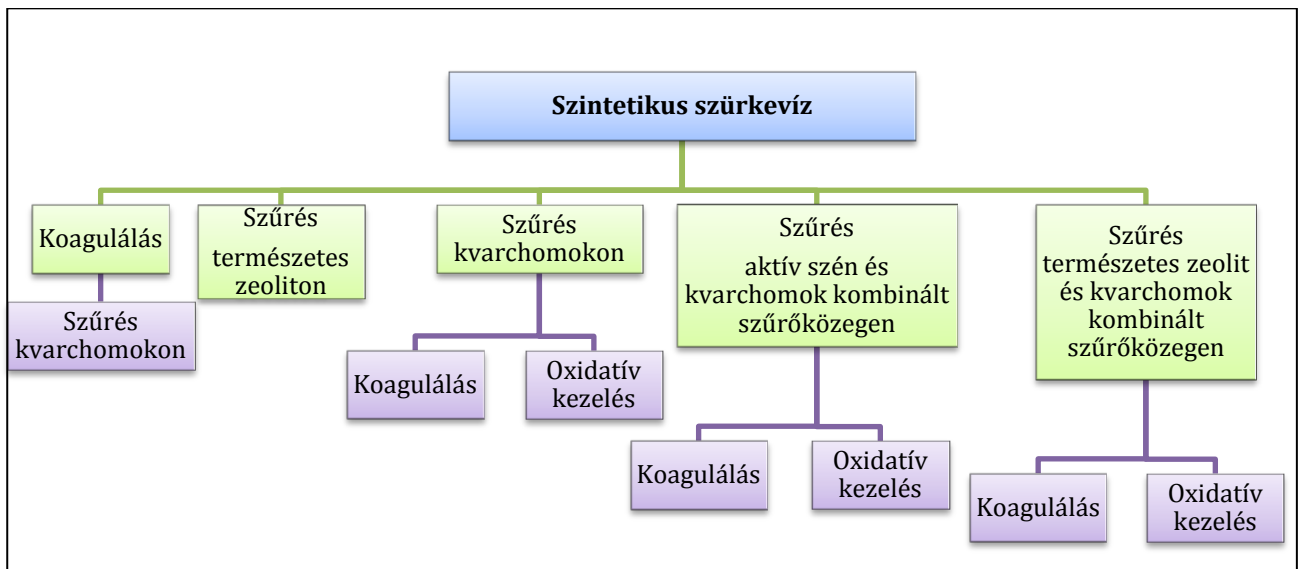
Az elkészített szintetikus fürdővízből előkezelés céljából 5-5 liter térfogatokat 4 féle szűrőközegegen engedünk át (természetes zeolit, kvarchomok, kombinált szűrőközegek (50%-50%) pedig az aktív szén+kvarchomok (50%-50%), természetes zeolit+kvarchomok (50%-50%), mind a két esetben úgy

épült fel a szűrő rendszer, hogy alul a kvarchomok és felette vagy az aktív szén, vagy a természetes zeolit), mely során mértük az átfolyási időt.



2. ábra: A szűrőrendszer sematikus ábrája

A 2. ábra az alkalmazott szűrőrendszer sematikus szerkezetét szemlélteti. Az átszűrt mintáknak, ezután a fentiekben említett minőségi paramétereit megmértük, majd oxidatív vagy koagulációs kezelésnek vetettük alá. Továbbá a szintetikus szűrkevizet koagulálószerrel kezeltük majd kvarchomok szűrőközegen szűrtük. Az alkalmazott kezelési eljárásokat a 3. ábra illusztrálja.



3. ábra: Az alkalmazott kezelési eljárások áttekintő illusztrálása

Ezt követően ismét megvizsgáltuk az említett alapparamétereket és azok változásából vontuk le következtetéseinket. Az oxidációs kísérleteket hidrogén-peroxiddal, a koagulációs vizsgálatokat

vas(III)-kloriddal végeztük. A hidrogén-peroxid esetében az alkalmazott optimális vegyszermennyiség 10 mmol/l, a vas(III)-klorid koagulálószer esetében pedig 260 mg/l volt.

3. Eredmények

A mérésorozatok alkalmával azonos összetételű, szintetikus előállított fürdővizet készítettünk 20 liter mennyiségben. A szintetikus előállított szűrkevízből azonos térfogatnyi részleteket mértünk ki és jutattuk a szűrőközegekre. Ahogyan a 3. ábra is szemlélteti a szűrési eljárásokat követően a mintákat (a természetes zeoliton szűrt minta kivételével) hidrogén-peroxiddal vagy vas(III)-kloriddal kezeltük. A természetes zeolit szűrőközegen történő szűrési eljárás – feltehetően a durva szemcseméret miatt - nem biztosított hatékony előkezelést, így ezeket a mintákat további kezelésnek nem vetettük alá.

Az 1. táblázatban összefoglaltuk azt, hogy az egyes minősítési paraméterek kapcsán milyen mértékű eltávolítási hatékonyságot tudunk elérni a különböző szűrőközegek használatával. A szűrési eljárások után a zavarosság értéke a vártnak megfelelően minden esetben csökkent (a csökkenést a táblázatban negatív előjel szemlélteti). A természetes zeolittal történő szűrés esetén átlagosan 48%-kal, a kvarchomok esetében 96%-kal, az aktív szén+kvarchomok szűrőközeg esetében 96%-kal, a természetes zeolit+kvarchomok szűrőközeg esetében 94%-kal. Ezen adatok alapján elmondható, hogy a természetes zeolittal történő szűrés kivételével az összes szűrési eljárás eltávolítja a zavarosságot okozó komponensek nagy részét.

A biológiai oxigénigény a szűrési eljárások során a zeoliton történő szűrés kivételével minden esetben csökkent. A természetes zeolit szűrőközeg esetében a növekedést véleményünk szerint a szűrőközeg szennyezettsége okozta. A többi szűrőközeg esetében a biológiai oxigénigény csökkenése átlagosan a kvarchomokon történő szűrés alkalmazásánál 29%, aktív szén+kvarchomok szűrőközeg esetében 51%, zeolit+kvarchomok szűrőközeg esetén 19% volt. A vezetőképesség értéke a nyers mintához képest nem változott nagymértékben egyik szűrési eljárás során sem, maximum néhány százalékos eltérés volt tapasztalható.

1. táblázat: Szűrési eljárások által előidézett változások

Szűrőközeg	Zeolit	Kvarchomok	Aktív szén + kvarchomok	Zeolit + kvarchomok
Mért jellemzők				
Zavarosság változása (%)	-48±12	-96±1	-96±1	-94±2
BOI ₅ változás (%)	72±45	-29±23	-51±15	-19±17
Fajlagos elektromos vezetőképesség változása (%)	+2±3	-8±2	-1±8	+3±4

Ahogyan a 3. ábra is szemlélteti a különböző szűrőközegeken szűrt szintetikus fürdővízmintát koagulálószerrel illetve oxidatív eljárással kezeltük tovább. Továbbá alkalmaztunk egy olyan kezelési műveletsort, ahol előbb vas(III)-klorid koagulálószerrel kezeltük a mintát, majd ülepítettük és utána kvarchomok szűrőközegen szűrtük. A különböző kombinált eljárások kezelési hatékonyságát szintén

megvizsgáltuk. A vegyszeres kezelések hatására bekövetkező változásokat a 2. táblázatban szemléltetjük.

2. táblázat: A kezelési eljárásokat követő változások

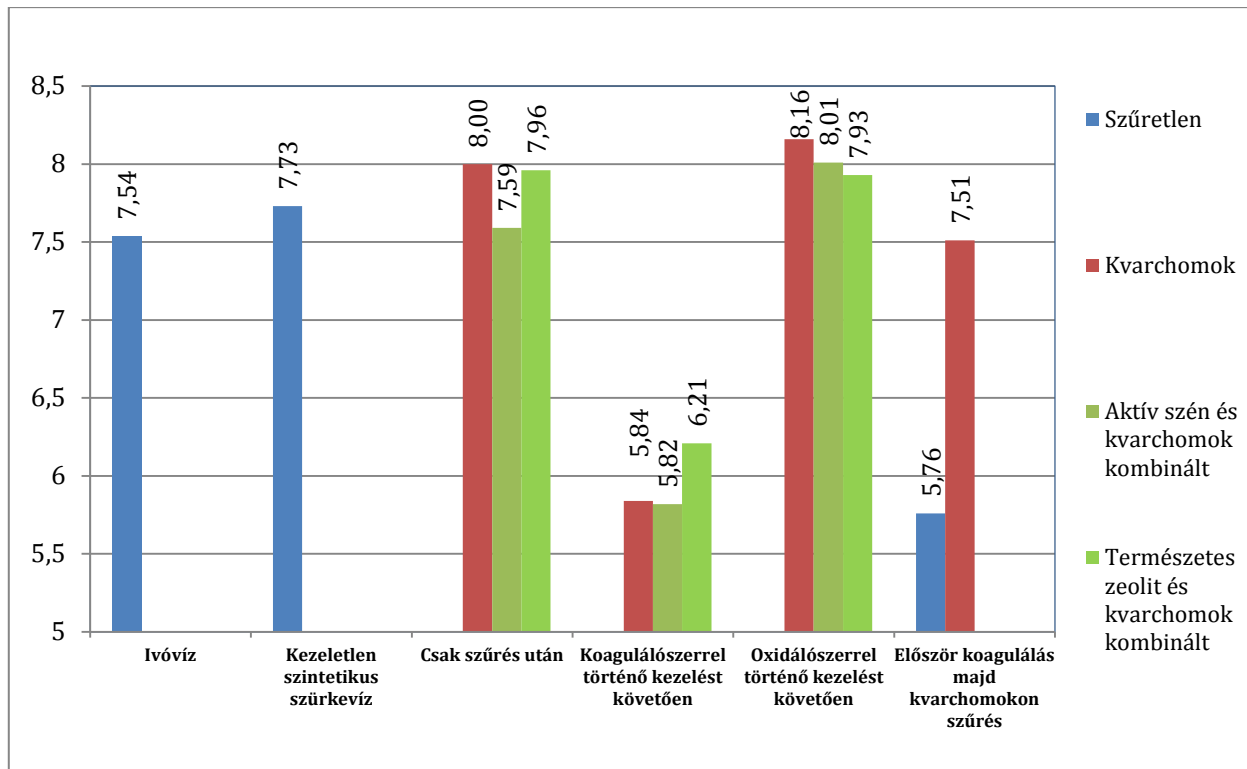
	10 mmol/l hidrogén-peroxiddal kezelt			260 mg/l Vas(III)-kloriddal kezelt			Vas(III)- kloriddal kezelt, majd szűrt
	Kvarc- homok	Aktív szén + kvarc- homok	Zeolit + kvarchomok	Kvarc- homok	Aktív szén + kvarchomok	Zeolit + kvarchomok	Kvarchomok
Zavarosság csökkenés (%)	96±1	96±1	94±2	94±2	92±1	93±2	96±3
BOI₅ csökkenés (%)	> 95	> 95	> 95	33±1	-	30±1	75±2
Vezetőképesség változása (%)	-4±2	-6±3	-3±3	+21±1	+23±1	+25±2	+21±1

A kapott eredmények kapcsán elmondhatjuk, hogy az oxidatív kezelés hatására a zavarosság értéke már gyakorlatilag nem változott a szűrési eljárások után mért értékekhez képest. Ezáltal megállapítható, hogy a szűrési eljárások során nagy hatásfokkal eltávolításra kerültek a zavarosságot okozó oldhatatlan komponensek. A biológiai oxigénigény értéke a hidrogén-peroxiddal történő kezelés során minden esetben 10 mg/l alá csökkent. A fajlagos elektromos vezetőképesség értékében a kezeletlen szintetikus mintához képest a változás a hidrogén-peroxiddal történő kezelés hatására nem volt jelentős egyik minta esetében sem, minden alkalommal 6%-on belül maradt a vezetőképesség értékének változása.

A szűrés majd koagulálószerrel történő kezelés hatására a zavarosság értékek kis mértékben emelkedtek, a kvarchomok, az aktív szén és kvarchomok kombinált- és a természetes zeolit és kvarchomok kombinált szűrőközegen szűrt mintákéhoz képest. Rendre 2, 4, 1%-ot növekedett a zavarosság értéke. Azonban abban az esetben, amikor először történt meg a koagulálás majd a szűrés, a zavarosság értékek hasonlóan alakultak, mint az előszűrt, majd oxidálószerrel kezelt mintáknál. A biológiai oxigénigényt a koagulálószerrel történő kezelés nem volt képes jelentős mértékben csökkenteni. A csökkenés mértéke a kvarchomok szűrőközegen történő szűrést követően 33%, míg a természetes zeolit és kvarchomok kombinál szűrőközeg 30% volt. Az aktív szén és kvarchomok kombinált szűrőközegen történő szűrést követően szűrt majd koagulált minta esetében mérési hiba történt és a kapott eredmény nem volt értékelhető.

A fajlagos elektromos vezetőképesség az oldat ionkoncentrációjától függ, minél nagyobb az iontartalma az adott oldatnak, annál nagyobb a vezetőképessége [8]. A fajlagos elektromos vezetőképesség a koagulációs kezelések hatására megnőtt, ez alapján megállapítható, hogy a reagensből ionok oldódtak a vízmintába, ami esetünkben klorid-iont jelent.

A minőségi vizsgálataink alkalmával mértünk a különböző mintatípusokban bekövetkező pH változásokat is, melynek eredményeit a 3. ábrán foglaltuk össze.



3. ábra: A pH értékek változása a kezelési eljárások hatására

A vizsgálatok alkalmával meghatározott pH értékek kapcsán elmondhatjuk, hogy a szintetikus szűrkevíz pH értéke - a szűrkevízben található detergensnek miatt - az ivóvízhez képest kismértékben növekedett. A különböző szűrőközegeken szűrt szintetikus fürdővíz pH értékeiben szintén egy kismértékű növekedés figyelhető meg, de ez nem szignifikáns. Láthatjuk azt is, hogy ha csak koagulálószerrel alkalmazunk, akkor a pH értékek 6 körüliek. Ez olyan mértékű pH csökkenést jelent, amely újrahazsnálat szempontjából kifogásolható lehet. Ezért csak koagulálást nem célszerű alkalmazni a szűrkevíz kezelésére. Ha a koaguláció után ülepített mintát szűrőközegeken szűrjük, akkor a minta kapott pH értéke az ivóvíz minta pH értékével közel azonos lesz. Az oxidálószerrel történő kezelés hatására a pH értékek növekedtek, de a növekedés mértéke nem olyan mértékű, hogy megakadályozza a kezelt szűrkevíz újrahazsnálatát. Ghunmi és munkatársai [9] összefoglalták a különböző szervezetek (USA-EPA, WHO) és országok (pl. Japán, Jordánia) ajánlásait a szűrkevíz újrahazsnálatára. Ezekben az ajánlásokban az újrahazsnálati céltól függően határoznak meg elvárt pH értéktartományokat. Például a kezelt szűrkevíz öntözési célú felhasználásakor az USA területén pH=6-9 az elvárás. A WHO ajánlása során, ha ivóvízként szeretnénk újrahazsnálni a kezelt szűrkevíz pH értéke 6,5-8,5 tartományban kell lennie, öntözés és autómósó víz esetén pH=6-9. Ha Japán területén szeretnénk öntözésre, vagy WC öblítésre használni a kezelt szűrkevizet, akkor ez a pH tartomány 5,8-8,6. Ezáltal megállapítható, hogy az oxidatív kezelés okozta 8 körüli pH érték a szűrkevíz újrahazsnálatát nem befolyásolja.

4. Összefoglalás

Vizsgálataink során szintetikus előállított és előszűrt háztartási szürkevizet kezeltük oxidálószerrel vagy koagulálószerrel. A kapott eredmények alapján elmondható, hogy az oxidálószerrel történő szürkevíz kezelés hasznos alternatíva lehet az újrafelhasználásra való előkészítés céljából, mivel a szűréssel történő előkezelés nagy hatékonysággal távolította el az oldatlan szennyezőket, míg az oxidatív kezelések minden esetben a fent említett határérték alá csökkentették a kezelt minták biológiailag bontható szerves anyag tartalmát reprezentáló BOI_5 értékeit. A koagulálószerrel történő kezelés szintén nagy hatásfokkal távolította el a szennyezőanyagokat a mintákból, azonban a biológiai oxigénigényt ezen műveletek nem csökkentették kellő mértékben. A pontosabb következtetések és összehasonlítások érdekében a jövőben újabb mérésorozatok elvégzését tervezzük.

A vizsgálataink során kapott eredmények alapján megállapítható, hogy kvarchomokból- vagy az aktív szén és kvarchomok kombinált szűrőközegből álló szűrőrendszerrel történő szűrés, majd ezt követően 10 mmol/l hidrogén-peroxiddal történő oxidatív kezelés bizonyult a leghatékonyabb kombinációnak a fürdővizek újrafelhasználásra történő kezeléseinek tekintetében.

5. Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Hivatkozások

- [1] *United Nations* 24 november 2014. [Online]. Available: <http://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.shtml>. [Hozzáférés dátuma: 22 október 2017].
- [2] D.M. Ghaitidak – K.D. Yadav (2013) *Characteristics and treatment of greywater—A review*. Environmental Science and Pollution Research. 20(5) pp. 2795-2809.
- [3] P. R. Schütze – E. M. Friedler (2103) *Modelling the effect on-site greywater reuse and low flush toilet on minicipal sewer system*. J. of Env. Manag.
- [4] F. Kalmár (szerk) (2014) *Fenntartható energetika*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- [5] M. Noah (2002) *Graywater use still a gray area*. Journal of environmental health. 64 (10) p. 22.
- [6] Y. Boyjoo – V. K. Pareek – M. Ang (2013) *A review of greywater characteristics and treatment processes*. Water Science and Technology. 67 (7) pp. 1403-1424.
- [7] J.Y.C. Leong – K.S. Oh – P.E. Poh – M.N. Chong (2017) *Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralised system for water recycling and reuse: A review*. Journal of cleaner production. 142 pp. 3014-3027.
- [8] I. Bodnár (2004-2017) *OKTATÁSI SEGÉDLET a Környezetmérnöki mérés technika, monitoring II. vagy Környezeti analízis II. c. tantárgyhoz kapcsolódó laboratóriumi gyakorlat feladataihoz*. DE-MK, Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék.
- [9] L.A. Ghunmi – G. Zeeman – M. Fayyad – J.B. van Lier (2011) *Grey water treatment systems: A review*. Critical reviews in environmental science and technology. 41(7) pp. 657-698.