

Koagulálószeres alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata háztartási szürkevíz frakció esetén

Investigation of the Application of Coagulants in case of Domestic Greywater Fraction

Murguly Zsófia,¹ Bodnár Ildikó²

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország

¹ murgulyzsofia999@gmail.com

² bodnari@eng.unideb.hu

Abstract

During our research work, we examined the removal of contaminants from synthetically produced bathing waters using different coagulants and studied the efficiency and the mechanism of coagulation-flocculation processes in detail. In our work, we performed experiments with two different types of coagulants (iron(III) chloride and polyelectrolyte) and compared their efficiencies. The zeta potential and its change were monitored as a qualifying parameter while other water quality parameters were also analyzed. In our experiments, a newly acquired flocculator device was also used to study the coagulation-flocculation processes of larger volume samples. The main goal of our research is to promote the sustainable management of drinking water quality and to study the bathing water reuse possibilities.

Keywords: *synthetic greywater, iron(III) chloride, polyelectrolyte, reuse.*

Összefoglalás

Kutatómunkánk során a szintetikusan előállított fürdővizek esetében vizsgáltuk a szennyezőanyagok eltávolítását különböző koagulálószeresek segítségével, és részletesen tanulmányoztuk a kicsapási-pelyhesítési kezelés mechanizmusát, határfokát. Munkánk során két különböző típusú kezelőszerrel [vas(III)-kloriddal és egy polielektrolit típusú kezelőszerrel] végeztünk kísérleteket, és ezek határfokát hasonlítottuk össze. Minősítő paraméterként elsősorban az ún. zéta-potenciált és annak változását követtük nyomon a többi vízminőségi paraméter analízisével. Kísérleteinkben egy újonnan beszerzett, ún. flokkulátort is használtunk a nagyobb térfogatú minták kicsapási-pelyhesítési folyamatainak tanulmányozására. Kutatásunk kiemelt célja a fenntartható vízgazdálkodás elősegítése, az elhasznált fürdővíz újrahasznosítási lehetőségeinek vizsgálata, kísérleti tanulmányozása, modellezése.

Kulcsszavak: *szintetikus fürdővíz, vas(III)-klorid, polielektrolit, újrahasználat.*

1. Bevezetés

Az Európai Víz Charta első pontja alapján „Víz nélkül nincs élet!”, azaz a víz mint életközeg létfontosságú. Napjainkban globális problémát jelent a megfelelő mennyiségű és minőségű ivóvíz biztosítása. A Föld lakosságának egy része sajnos nem jut hozzá a szükséges napi ivóvízmennyiségéhez. Fontos tehát, hogy megfelelően gazdál-

kodjunk a vízzel, óvjuk eme éltető kincset, pl. az éghajlatváltozás viszontagságaival szemben. A háztartásokban a különféle tevékenységek – például a mosogatás, zuhanyozás, mosás, takarítás – során keletkező, úgynevezett szürkevíz frakció hatékony alternatív forrás lehet, elsősorban ivóvízminőséget nem igénylő tevékenységekre, például WC-öblítésre vagy akár öntözésre.

2. Általánosságban a szűrkevízről

Az elmúlt évtizedekben – elsősorban a fejlődő országokban – a figyelem középpontjába került a szűrkevíz-hasznosítás, mint a vízhiány egyik kezelési megoldása, azóta ennek a frakciónak a hasznosítása napjainkban világviszonylatban is dinamikusan fejlődik. A szűrkevíz a háztartásokban keletkező használt víz, amely mosogatásból, fürdésből, mosásból, zuhanyzásból, kézmosásból és felmosásból származik. Vagyis az a szennyvíz, amely a háztartásban keletkezik, és nem tartalmazza a WC öblítésére használt vizet. A szakirodalom a szűrkevíz frakciókat két nagy csoportba sorolja: nagy szennyezőanyag-tartalmú és kis szennyezőanyag-tartalmú szűrkevíz frakciókat megnevezve. Ez utóbbi csoporthoz főként a fürdőszobai és kézmosásból származó szűrkevizek tartoznak. Ezek főként szappant, sampont, testápolási termékeket tartalmaznak, valamint a tisztálkodási folyamat során az emberi bőrről és hajról leoldódó zsírokat, olajokat vagy akár széklet- és vizeletnyomokat is [1–3].

Magyarországon jelenleg az egy főre jutó napi vízfogyasztás 97,8–100 L/fő körül alakul [4]. Ennek következtében elmondható, hogy általában a háztartásokból származó szűrkevíz a teljes szennyvíz-áram kb. 65–70%-a. Továbbá a kevésbé terhelt frakció a teljes szűrkevíz mennyiség 50%-át is jelentheti. Mindezek alapján a nevezett frakciók újrahasználatában nagy potenciál rejlik. Általánosságban elmondható, hogy a zuhanyzási, fürdési és kézmosási tevékenységből keletkezik tehát a legtöbb szűrkevíz, hiszen az ember szinte minden nap tisztálkodik valamilyen formában. Természetesen ennek jellemzői és mennyisége szintén több tényezőtől függ [3].

Kutatómunkánk e szűrkevízfrakció potenciális hasznosítására fókuszál, mely során kémiai vízkezeléssel igyekeztünk a főbb szennyezők mennyiségét csökkenteni. Koagulálószerként vas(III)-kloridot és egy polielektrolit típusú kezelőszert vizsgáltunk. Tanulmányoztuk a két kezelőszerszert hatásfokát, illetve egy ún. flokkulátor berendezés segítségével hatékonyan követtük a pelyhesedési folyamatokat.

3. Anyag és módszertan

A szűrkevízminták vizsgálatait a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezetmérnöki Tanszékéhez tartozó vízminőségvédelmi laboratóriumban végeztük el. A tanszéki kutatócsoport vizsgálati eredményei alapján egy állandó összetételű, ivóvízalapú, szintetikus fürdővizet készítettünk

modellvízként. Célunk az volt, hogy a tisztálkodási folyamat révén az ivóvíz minőségű vízbe jutó komponensek adagolásával modellezzük a fürdővízfrakciót, és tanulmányozzuk a hozzáadott különböző koagulálószer hatását. Minden vizsgálat sorozatnál frissen elkészített, azonos összetételű, szintetikus fürdővizet használtunk.

A minták összetételének jellemzésére elsősorban ún. nem specifikus fizikai és kémiai paraméterek meghatározását végeztük el. A mérések a pH, a zéta-potenciál, a fajlagos elektromos vezetőképesség, a zavarosság, a biológiai oxigénigény (BOI₅), az összes szerves széntartalom (T/DOC) és ANA-detergenstartalom meghatározására fókuszáltak. A pH méréséhez WTW Sentix 41-3 pH-mérő elektródát, a zéta-potenciálhoz, illetve a fajlagos villamos vezetőképességhez a Zetasizer Nano Z készüléket, a BOI₅ esetén Oxi-Top IS 12 manometrikus mérőüvegeket, az összes szerves széntartalom mérésére pedig Shimadzu TOC-VCN típusú készüléket használtunk. Az ANA-detergenstartalom meghatározására az ISO 2271:1989 szabványt alkalmaztuk [5–7].

A fürdővíz négy alkotó (tusfürdő, sampon, kukoricacsíra-olaj és növényi tápanyag-koncentrátum) felhasználásával készült, 40 °C-os ivóvízben feloldva. A koagulálás során kezdetben kezelőszereként vas(III)-kloridot használtunk, melyet 25 g/l-es törzsoldat formájában, különböző térfogatban adagoltunk a vízmintákhoz. 100 ml-es részleteket pipettáztunk ki főzőpohárba a szűrkevízből. A kezelés célja a nem ülepedhető, kolloid részecskék eltávolítása, továbbá az oldott szennyezők oldatlanná alakítása volt. Folyamatosan mértük az ún. zéta-potenciál változását, és a mért értékek alapján megállapítottuk az optimális vegyszermennyiséget 0±5 mV közötti zéta-potenciál elérésével. A mérési folyamatok során minden mintarészlet esetében 5 perc gyors keverést alkalmaztunk, mely elősegítette a koagulálószer hatékony elkeveredését 300 1/min fordulatszámon. Majd ezt követően 25–50 1/min fordulatszámon 15 perc lassú keverést használtunk a pelyhesítési folyamatok támogatására. Az ezt követő 10–15 perces ülepedési idő alkalmazásával hatékony elválasztást valósítottunk meg, a felsőbb, tisztább folyadék rétegből vett minta zéta-potenciál-értékét követtük.

Kutatómunkánk során egy másik kezelőszerszert is végeztünk vizsgálatokat; ez egy ún. polielektrolit (ACEFLOC 80902) alapú kezelőszerszer volt. Az előzőekben kifejtett kezelőszerszerhez hasonlóan a vízmintákhoz különböző térfogat egységekben adagoltuk, 1 g/l törzsoldat formájában. Az optimá-

lis vegyszerdózis megállapítására a szintetikusan előállított szűrkevízmintából szintén 100 ml-es térfogatrészeteket kezeltünk.

4. Következtetések

4.1. A szűrkevíz minőségi jellemzői

Az anyag és módszer fejezetben megadott metódus alapján állítottuk össze a szintetikus szűrkevízmintákat 4 alkotóból (tusfürdőből, samponból, kukoricacsira-olajból és növényi tápanyagforrásból). A munkánk során az így nyert modellvíz minőségi adatait összehasonlítottuk a szakirodalomban elérhető és a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezetmérnöki Tanszékén működő Víz/szennyvízhasznosítás Kutatócsoport vizsgálatainak eredményével. A csoport korábban részletesen elemezte az Észak-Alföldi Régió háztartásaiban keletkezett szűrkevizet és azok minőségi és mennyiségi paramétereit. 30 különböző háztartást jelöltek ki a vizsgálatokra, melyek között szerepeltek lakások, sorházi lakások és családi házak. Ennek a kutatásnak és még számos külföldi szakirodalomnak a felhasználásával tudtuk lehatárolni a vizsgálandó frakció, a fürdővízminták minőségi jellemzőit [8].

Az 1. táblázat tartalmazza a fürdővizekre mint szűrkevizekre a nemzetközi szakirodalomban elérhető minőségi paramétereket, a kutatócsoport által meghatározott adatokat, valamint az általunk mért nyers szűrkevízminták vizsgálati eredményeit.

1. táblázat. Fürdővizek minőségének összehasonlítása

Paraméterek	Nemzetközi adatok [3]	Hazai adatok [8]	Saját adatok
pH	7,3–7,5	6,73–7,95	7,82±0,29
Fajlagos elektromos vezetőképesség (mS/cm)	0,014–0,89	0,412–0,610	1,21±0,563
Zéta-potenciál (mV)	–	0,00–(–33,00)	–17,01±0,32
Zavarosság NTU	84,8–375,0	2,3–84,0	21,49±15,28
BOI ₅ (mg/L)	40,2–424	6,67–253,3	100,67±8,14
DOC (mg/L)	–	7,71–87,76	65,80±25,09
ANA-detergens (mg/L)	14,9–61*	0,01–4,18*	14,25±6,12

*MBAS-paraméter, mely nagyon hasonló az ANA-értékekhez, de más mérési megoldással méri

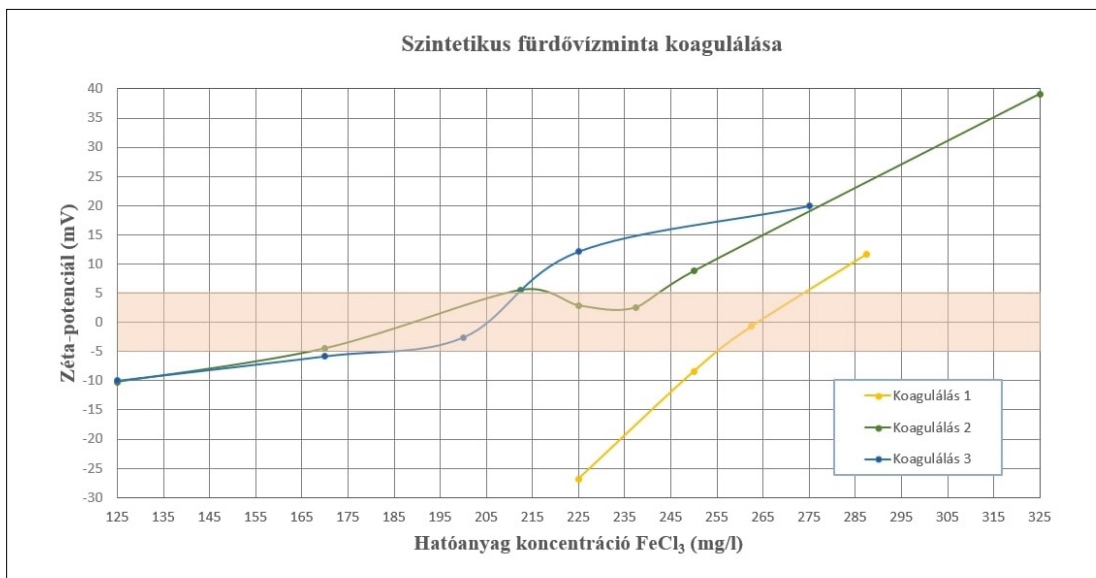
A vizsgálatainkhoz készített, szintetikus fürdővíz összetétele nagyon hasonló a valós fürdővízmintákéhoz. A modell fürdővíz pH-értéke megegyezik a régióban mért valós fürdővízadatokkal. A fajlagos elektromos vezetőképesség és a zéta-potenciál-értékek adott esetben mutatnak eltéréseket, az esetlegesen nagyobb értékeket okozhatja a különböző ionok jelenléte, amelyek megtalálhatók a más márkájú samponban vagy a tusfürdőben. Változó szennyeződések, elhalt hámsejtek, hajszálak befolyásolhatják a BOI₅-, TOC-, illetve a zavarosság-értékeket.

4.2. A vas(III)-kloriddal végzett kezelések értékelése

A 2. táblázat a vas-kloriddal végzett három párhuzamos kezelési sorozat eredményeit mutatja, valamint a koaguláció eredményességének bemutatására az 1. ábra alapján az adagolt vegyszermennyiség függvényében ábrázoltuk a zéta-potenciál változását.

2. táblázat. Vas(III)-kloriddal való kezelés 100 ml-es fürdővízminta-részeteken

	Kezelőszert, törszoldatból adott térfogat (ml)	pH	Fajl. el. vezetőképesség (mS/cm)	Zéta-potenciál (mV)	SD/Zéta-potenciál	Zavarosság (NTU)
1.	0,90	6,39	0,98	–8,38	0,295	9,07
	1,00	6,09	1,01	–0,70	0,156	7,67
	1,05	5,64	1,05	11,70	0,058	9,61
	1,15	5,81	1,05	12,10	0,407	19,45
2.	0,50	6,47	0,96	–10,2	0,416	4,75
	0,70	6,06	0,99	–4,56	0,133	3,09
	0,85	5,77	1,04	5,54	0,111	4,94
	0,90	5,55	1,03	2,91	0,745	5,33
	0,95	5,59	1,02	2,55	0,182	4,63
	1,00	5,43	1,06	8,76	0,322	5,25
3.	1,30	3,33	1,31	39,10	0,140	64,76
	0,50	6,48	0,95	–10,0	0,494	5,11
	0,70	6,09	0,99	–5,82	0,444	16,24
	0,80	6,02	0,98	–2,60	0,193	5,82
	0,90	5,44	1,04	12,10	0,404	7,51
	1,10	5,11	1,02	19,90	0,808	18,54



1. ábra. Optimális vegyszermennyiség meghatározása vas(III)-klorid esetén

Megállapítottuk, hogy a vas-klorid hatékony kezelőszer, mely alkalmazása során az optimális kezelőszer-mennyiség 170–213 mg/l között mozogott. Így értük el a kívánt 0 ± 5 mV zéta-potenciál-értéket. A kezelési folyamat során a pehelyképződés intenzív volt, a lassú keverési lépés alkalmazása segítette a hatékony pehelyképződési folyamatokat, a szennyeződések jobb ülepedési tulajdonságait. A zéta-potenciál-mérés igazolta, hogy a nagyon negatív kiindulási érték a kicsapatási-pelyhesítési folyamatban pozitív irányba mozdult el. Az ideálisnak tekinthető 0 ± 5 mV tartományban pedig a vizsgált rendszer igazoltan destabilis lesz, azaz a szennyezőanyagok kiülepedhetők, eltávolíthatóak a vízmintából. A vizsgált oldatok pH-ja a hozzáadott vegyszer mennyiségétől függően változott: ahogy nőtt a vegyszerdózis, úgy csökkent az oldat pH-ja. A zavarosságértékek szintén csökkenő tendenciát mutattak, ahogy közeledtünk az optimális tartomány felé, hiszen ha megfelelő mennyiségű koagulálószer van egy adott szűrkevízmintában, a szükséges ülepedési idő használatával, vizuálisan is tisztult, kezelt vizet kapunk. Az elektromosvezetőképesség a kezelőszer túladagolásával arányosan növekedett, hasonlóan a zavarosság értékéhez.

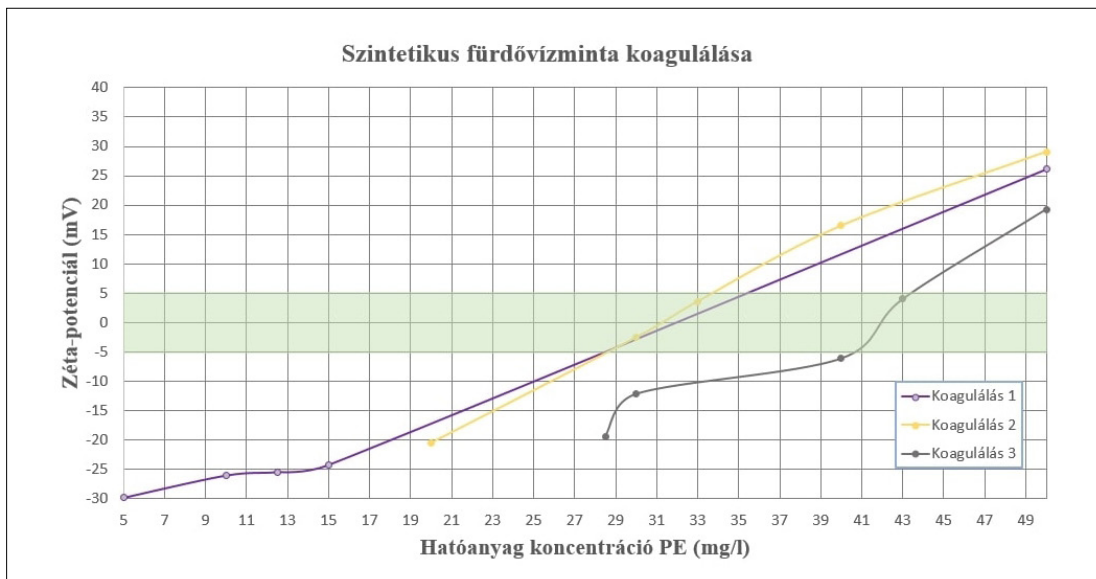
4.3. Polielektrolit típusú kezelőszerrel végzett kezelések értékelése

A **3. táblázat**ban összefoglaltuk, hogy milyen mérési eredményeket kaptunk az elvégzett 3 párhuzamos kezelési sorozat alapján.

3. táblázat. Polielektrolittal való koaguláció 100 ml-es mintarészleteken

	Kezelőszer, törzsoldatból adott térfogat (ml)	pH	Fajl. el. vezetőképesség (mS/cm)	Zéta-potenciál (mV)	SD/Zéta-potenciál	Zavarosság (NTU)
1.	0,50	8,35	0,85	-29,90	0,985	31,95
	1,00	8,43	0,84	-26,10	0,252	23,59
	1,25	8,40	0,86	-25,50	0,919	21,83
	1,50	8,39	0,86	-24,30	0,436	13,91
	5,00	8,36	0,78	26,10	0,819	31,50
2.	2,00	8,34	0,85	-20,50	0,651	31,72
	3,00	8,31	0,83	-2,52	0,267	61,99
	3,30	8,25	0,80	3,60	1,500	71,30
	4,00	8,30	0,78	16,50	0,656	66,13
	5,00	8,31	0,81	29,10	0,379	79,73
3.	2,85	8,19	0,84	-19,40	0,351	8,87
	3,00	8,01	0,84	-12,20	0,100	10,22
	4,00	8,28	0,85	-6,15	0,648	4,26
	4,30	8,35	0,86	3,98	0,260	3,33
	5,00	8,28	0,88	19,30	0,889	94,97

Megállapítottuk, hogy a polielektrolit típusú kezelőszer alkalmazása során az optimális dózis



2. ábra. Optimális vegyszermennyiség polielektrolit törzsoldatból

33–43 mg/l között mozgott, azaz ebből a kezelőszerebről lényegesen kevesebb szükséges 1 liter szintetikus fürdővíz eredményes kezeléséhez. Ennél a kísérletsorozatnál is intenzív és látványos volt a pehelyképződés, valamint a lassú kevertetés alkalmazása a hatékonyabb pehelyképződést, majd a jobb ülephetőséget segítette. A 2. ábra az optimális polielektrolit (PE) mennyiség alakulását szemlélteti a zéta-potenciál-értékek függvényében.

A kezelőszere adagolásának további előnye, hogy nem tolja el a pH-t a savas tartományba. A zavarosságértékek az optimális tartományhoz közeledve csökkentek. A vezetőképességi adatok a kezelőszere túladagolásával arányosan sem növekedtek kiugró mértékben, hasonlóan a zavarosság értékéhez. Azaz ez a kezelőszere jó alapja lehet később nagyobb térfogatú szűrkevízminták kezelésének. Mindezek alapján célszerű a kezelés körülményeinek további tanulmányozása.

4.4. Léptéknövelés, utókezelés, a minőségi mutatók alakulása

Kiseb térfogatban a kezelendő víz 100 ml-es részletein, mágneses keverővel segítve határoztuk meg az optimális vegyszermennyiségeket, míg nagyobb léptékben egy flokkulátor berendezés volt segítségünkre. Léptéknövelés során, kezdetben 500 ml-es mintarészlettel dolgoztunk. A kivett vizsgálandó mintarészleteket 300 1/min fordulaton kevertettük a szükséges többszörös dózissal, mindkét vegyszer esetében.

Megállapítottuk, hogy nagyobb térfogatban is jól teljesítettek a kezelőszerek, a korábban megállapított optimum elegendő volt a hatékony szennyezőanyag-eltávolításhoz, azaz a léptéknövelés alapján is jól kezelhető a vizsgált szűrkevízfrakció. Kísérleteink során teszteltük a koagulációs-flokkulációs körülményeket is, és megállapítottuk, hogy a vegyszerbekeverést követően egy adott ideig történő lassú kevertetés egyértelműen javítja a nagyobb flokkulumok képződését, így célszerű ennek az alkalmazása a jobb minőségű kezelt víz előállítására.

Az 500 ml-es mintákra vonatkozó tapasztalatok alapján 1, 2, 3, és 4 liter mintán is elvégeztük a kísérleteinket. Nagyobb térfogatú minták esetén a kémiai kezelést követően egyszerű kvarchomok szűrőn áramoltattuk át a mintát, a kiüledett szennyezők eltávolítására. Mindezek alapján a 4–5. táblázatokban összegezzük a kezeletlen és a koagulációs-szűrési megoldásokkal kezelt vízminták minőségi jellemzőiben lévő eltéréseket, jellemezve így a kezelési hatásfokokat.

A táblázatok jól szemléltetik, hogy bár néhány jellemzőben eltérő adatokat produkált a két kezelőszere, de a szűrési utókezelést használva, gyakorlatilag hasonló minőségű kezelt vizet kaptunk. A BOI_5 -, illetve a DOC-értékek, valamint a kezelt vízre vonatkozó zavarosságadatok csökkenő értékei igazolják a hatékony kezelést, mely a nemzeti minőségi ajánlásoknak is megfelel.

4. táblázat. Vas-kloriddal kezelt, valamint szűrt minták vízminőségi jellemzői

FeCl ₃	Nyers minta	Kezelt minta	Szűrt minta
pH	8,04	5,26	7,22
Fajlagos elektromos vezetőképesség (mS/cm)	0,853	1,07	0,672
Zéta-potenciál (mV)	-25,56	-4,76	-12,35
Zavarosság NTU	10,02	3,93	0,20
BOI ₅ (mg/l)	150	35	6
DOC (mg/l)	47,67	27,82	4,43

5. táblázat. Polielektrolittal kezelt, valamint szűrt minták vízminőségi jellemzői

PE	Nyers minta	Kezelt minta	Szűrt minta
pH	7,92	8,15	7,83
Fajlagos elektromos vezetőképesség (mS/cm)	0,946	0,925	0,754
Zéta-potenciál (mV)	-30,50	4,38	-4,57
Zavarosság NTU	54,05	6,33	0,17
BOI ₅ (mg/l)	195	30	1,5
DOC (mg/l)	48,31	25,85	3,44

5. Összefoglalás

Megállapítottuk, hogy a szürkevizek kezelésére mindkét kezelőszer eredményesen használható. A vas-klorid olcsó és hatékony kezelőszer, de alkalmazása csökkenti a kezelt víz pH-ját, ami későbbi közömbösítést kívánhat meg. A polielektrolit típusú kezelőszer kisebb dózisban is hatékony, nem csökkenti a minta pH-értékét, de a kezelőszer beszerzési költsége alapján drágább megoldás. Mindezek alapján a fenntartható vízgazdálkodás támogatására célszerű tovább vizsgálni a kezelési lehetőségeket és azok esetleges újabb kombinációit.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Kalmár F.: *Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2014.
- [2] Szabolcsik A., Bodnár I.: *A háztartásokban keletkező szürkevizek anion tartalmának meghatározása ionkromatográf segítségével*. Debreceni Műszaki Közlemények, Debrecen, 2014. [letöltve: 2021. október 18.]
https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/212000/file_up_szabolcsik.pdf?sequence=1

- [3] Dilip M. Ghaitidak & Kunwar D. Yadav: „Characteristics and treatment of greywater – A review. Environmental Science and Pollution Research, 20/5. (2013) 2795–2809.
<https://doi.org/10.1007/s11356-013-1533-0>
- [4] Magyar Víziközmű Szövetség: Tájékoztató adat átlagfogyasztásról. 2019.
https://www.maviz.org/tajekoztato_adat_atlagfogyasztasrol
- [5] Bodnár Il.: *Vízgazdálkodás- és vízminőség védelem*. II. c. tantárgy oktatási segédlete. Környezetmérnöki Tanszék, DE-MK, Debrecen, 2018.
- [6] Bodnár I.: *Oktatási segédlet a Környezetmérnöki mérés technika és monitoring II. című tantárgy laboratóriumi gyakorlatához nappali és levelező tagozatos, környezetmérnök szakos hallgatók számára*. DE-MK, Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék, 2004–2015.
- [7] ISO 2271:1989 szabvány: Felületaktív anyagok – Detergensok – Az anion aktív anyagok meghatározása kézi vagy mechanikus közvetlen kétfázisú titrálási eljárással, 1989.
- [8] Bodnar I., Szabolcsik A., Baranyai E., Uveges A., Boros N.: *Qualitative Characterization of the Household Greywater in Northern Great Plain Region of Hungary*. Environmental Engineering and Management Journal, 13/11. (2014) 2717–2724.