

Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával (DEnzero)
TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0041

DEnzero

2014/2.

Debrecen 2013. január 1. – 2014. december 31.



Víz/szennyvíz hasznosítás munkacsoport

Bevezetés

A növekvő vízigény, a kevés csapadék okozta vízhiány, illetve gazdasági és környezeti okok hatására az utóbbi évtizedekben egyre több kutató foglalkozik a szürkevíz (greywater, GW) újrahasznosításával.

Egyes kutatások szerint a napi vízfelhasználás 60-70%-a alakul át hasznosítható szürkevízzé. Ebbe beletartoznak a mosó- és mosogatógépekből, kézi mosogatásból kikerülő, illetve a fürdőszobai kézmosókból, fürdőkádakból, zuhanyzókból származó szennyvizek, nem tartoznak bele azonban a WC öblítésekből származó úgynevezett fekete vizek. A naponta termelődő szürkevíz akár a 90-120 l/fő mennyiséget is meghaladhatja.

Ahhoz, hogy meg tudjuk határozni a szürkevíz hasznosításának potenciális lehetőségeit, elengedhetetlen, hogy tisztában legyünk az egyes szürkevíz források fizikai, kémiai és mikrobiológiai paramétereivel. Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a szürkevízben lévő mikroorganizmusok egy része patogén kórokozó, így a kezeletlen szürkevíz újrahasznosítása egészségügyi kockázatot jelenthet. Mindezek mellett, a szürkevíz nagy mennyiségű lebegőanyagot is tartalmaz,

mely az egészségügyi kockázat mellett, esztétikailag sem kedvező. A vízben lévő lebegőanyagok kolloid méretű hányada egyszerű szűréssel, ülepitéssel nem távolítható el, koaguláló és/vagy derítőszerre van szükség ahhoz, hogy stabilitásukat megszüntetve aggregátumok keletkezzenek, így mechanikailag eltávolíthatóvá váljanak a szennyezett vizekből.

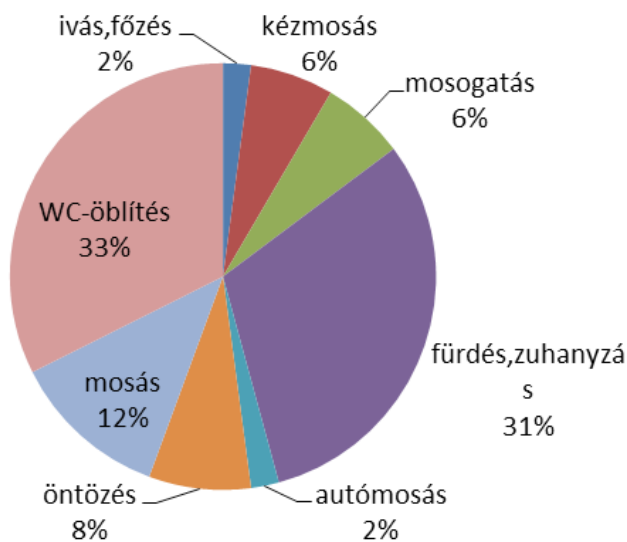
Vizsgálataink célja többek között a fent említett két vízminőségi paraméter részletes tanulmányozása:

I. Célul tűztük ki egyrészt a különböző szürkevíz források mikrobiológiai minőségének meghatározását.

II. Célul tűztük ki továbbá a szürkevíz derítése során végbemenő koagulálási és flokkulálási részfolyamatok vizsgálatát. A vizsgálat alapja a zeta-potenciál mérés, mely segítséget nyújthat ahhoz, hogy pontosan meghatározzuk egy adott szennyezettséggel rendelkező szürkevíz derítőszer igényét.

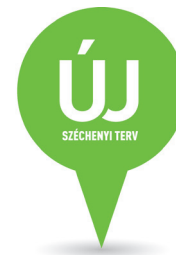
Szürkevíz források hasznosítása

A napi elhasznált ivóvíz felhasználásának megoszlása alapján (1. ábra) elmondható, hogy több mint 40%-a WC-öblítésre és öntözésre fordítódik.



1. ábra: Napi vízhasználat (l)

[forrás:<http://www.asio.cz/fr/192.greywater-and-rainwater-recovery-in-buildings>]



A szakirodalomban közölt adatok alapján a szürkevíz elsődleges felhasználása a WC öblítésére irányul, mely a lakáson belüli vízigényt akár 30%-kal is csökkentheti. Ezen kívül még számos más alkalmazása lehetséges: parkok, golfpályák, temetők, iskolák, óvodák füves területeinek öntözése, járműmosás, tűzvédelem, betongyártás, illetve a vizes élőhelyek megőrzése.

Vizsgálataink során az Északkelet-magyarországi régió szürkevizének mikrobiológiai minőségét és zeta-potenciálját elemeztük és vizsgáltuk a zeta-potenciál változását derítőszer (FeCl₃) adagolásának hatására.

I. Mikrobák a szürkevizekben

A szürkevizekkel kapcsolatban egyik legnagyobb problémát a mikrobiális terheltség okozza. A különböző

forrásból származó szürkevízben jelenlévő anyagok jelentősen eltérhetnek, az életmódtól, szokásoktól, használt berendezésektől és a háztartási termékektől függően. Míg a fürdővíz főként tisztálkodási szereket, bőrrészecskéket, haját, nyomokban vizelet vagy fekáliamaradványokat tartalmazhat, a mosásból eredő vízben nagy mennyiségű vegyszer, oldószer, tenzid, felületaktív anyag található. Fehérnemű és pelenkamossás esetén a fürdővíz mellett a mosásból származó víz is tartalmazhat fekália eredetű szennyeződéseket. A konyhai szürkevíz pedig elsősorban ételmaradékokat, olajokat, zsírokat és mosogatószert tartalmazhat.

Világszerte eltérőek a mikrobiológiai szabványok a szürkevíz városi újrahasznosítására vonatkozóan az USEPA szigorú irányelveitől, Németország kevésbé szigorú irányelvein át a szabványok teljes hiányáig az Egyesült Királyságban (1. táblázat).

Városi víz újrahasznosítási szabványok/irányelvek	Vízminőség	Mikrobiológiai minőség (CFU/100 ml)
USEPA (2004)^a	BOI ₅ <10 mg/l Zavarosság ≤ 2 NTU pH 6-9	Fekális koliformok, életképes kórokozók: nem detektálható
USA, Kalifornia^a	Zavarosság=2 NTU átlagosan (maximum 5 NTU)	Összes koliform= 2,2 átlagosan (maximum 23/30 nap)
Németország^b	BOI ₇ <5 mg/l	Összes koliform <10000 fekális koliform <1000 <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <100

^a USEPA, 2004, ^b Nolde, 1999

1. táblázat: Városi víz újrahasznosítására vonatkozó nemzetközi szabványok/irányelvek

Mikrobiológiai terheltség meghatározása

A mikrobiológiai gyorsteszt alkalmazása főként az élelmiszeriparban terjedt el, mivel az általános mikrobiológiai vizsgálatok gyakran több napot is igénybe vesznek, és ezalatt az adott élelmiszert már el is fogyasztják, így az eredmény utólag csak a minőség szerinti átvételi ár megállapítására használható.

A humán gyógyászatban a mikrobiológiai gyorsteszt alkalmazásával lerövidül az az idő, ami alatt felismerik a kórokozó típusát, ez elősegíti az azonnali specifikus antibiotikum-terápia megkezdését és csökkenti a felesleges antibiotikum-fogyasztást.

A tesztek nagy előnye, hogy gyorsak, bizonyos tesztek már 24 óra után leolvashatók, emellett könnyen használhatóak, nem szükséges mikrobiológiai labor az alkalmazásukhoz. Hátrányuk viszont, hogy a tesztek eredménye csak becslés érték, nem lehet a kórokozók számát pontosan meghatározni.

A mikrobiológiai terheltség meghatározását Hygiene Monitor gyorsteszttekkel végeztük. Méréseink során két kombinált gyorstesztet alkalmaztunk. Az egyik segítségével a koliform baktériumok számát és a TTC összcsíraszámot, a másik teszttel pedig az E.coli kolóniákat és a koliform baktériumok számát határoztuk meg.

Az egyes teszteknel az inkubációs idő 24 és 72 óra volt, eközben 18, 24, 48 és 72 óra elteltével ellenőriztük a mintákat, az inkubációs hőmérséklet mindkét vizsgálat során 35 °C volt.

A vízmintákat különböző lakóhelytípusokból (családi ház, sorház, panellakás, kollégium) vettük 2013 tavaszán és nyarán. A mintavétel merítéses módszerrel történt, melynek során mintegy 0,5-0,7 liter mintát gyűjtöttünk minden mintavételi helyen az egyes szürkevíz forrásokból. Annak érdekében, hogy a minták minősége, összetétele ne változzon a mintavételtől a vizsgálat elvégzéséig eltelt idő alatt,

a minták 4 °C alatt voltak tárolva. A mintavételt követő 24 órán belül történt a minták analitikai vizsgálata.

Szürkevíz minták mikrobiológiai vizsgálata

Az 2. táblázat alapján megállapítható, hogy az összcsíraszám értéke minden mintában 5 lgCFU/ml feletti, az egyes minták összcsíraszama között statisztikailag kimutatható eltérést nem tapasztalunk. Az összcsíraszám a mosóvizekben volt a legmagasabb, 5,9 logCFU/ml.

	Koliform_24 (lgCFU/ml)	Koliform_72 (lgCFU/ml)	E.Coli_24 (lgCFU/ml)	Összcsíraszám_72 (lgCFU/ml)
Csapvíz	0,9	0,9	0,0	2,6
Fürdővíz	5,3	4,7	2,5	5,6
Mosóvíz	4,7	4,9	0,2	5,9
Mosogatóvíz	4,0	3,9	0,4	5,1
Szürkevíz átlag	4,6	4,5	1,0	5,5

2. táblázat: Szürkevíz és csapvíz minták mikrobiológiai minősége

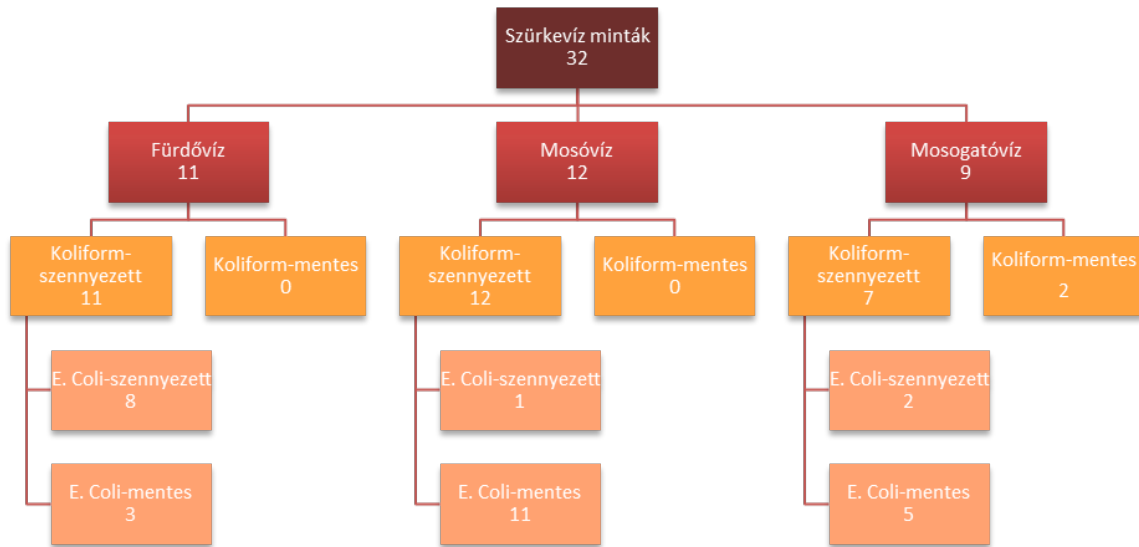
A koliform baktériumok száma a fürdő- és a mosóvizekben volt a legnagyobb, 5 lgCFU/ml körüli érték. A mosogatóvízben a koliformok száma alacsonyabb, 4 lgCFU/ml. Ahol magas az összcsíraszám, ott a koliformok száma is magas volt, ez viszont az E. coli baktérium esetében nem mondható el.

Az E. coli baktérium mindhárom szürkevíz típusban kimutatható, mennyisége a fürdővizekben a legmagasabb, 2,5 lgCFU/ml, ami főként fekális eredetű szennyezettségre utal. A 11 fürdővíz mintából háromban nem volt kimutatható az E. coli jelenléte. Ezen kívül megtalálható kis mennyiségben a mosóvízben, 0,2 lgCFU/ml, illetve a mosogatóvízben is, 0,4 lgCFU/ml. A mosóvízbe valószínűleg fehérnemű mosása során kerül be. Meglepő, hogy a mosogatóvízben is találtunk E. coli szennyeződést. Feltételezhető, hogy kézről került bele, ami felhívja a figyelmet arra, hogy

a mosogatásból származó szürkevizekben is vizsgálni kell az E. coli jelenlétét.

Az alábbi adatok alapján tehát megállapítható, hogy a szürkevizekben az összcsíraszám átlaga 5,5 lgCFU/ml, a koliform baktériumok száma 4,5 lgCFU/ml, az E.coli baktérium mennyisége 1 lgCFU/ml volt.

Összességében elmondható, hogy a 11 fürdővíz-minta mindegyikében detektálható volt koliformszennyezés, ezen belül 8 mintában E.coli baktériumot is találtunk (2. ábra). A mosógépből származó szürkevizek esetében a vizsgált 12 minta mindegyike tartalmazott koliform baktériumot, ezek közül csak egy mintában volt kimutatható E. coli szennyezés. A mosogatóvizek mikrobiális terheltsége rendkívül változó volt. A 9 mintából 2 mintában koliform baktérium nem volt kimutatható, míg 2 mosogatóvízben E. coli szennyeződés is volt.



2. ábra: Szűrkevíz minták szennyezettségének eloszlása

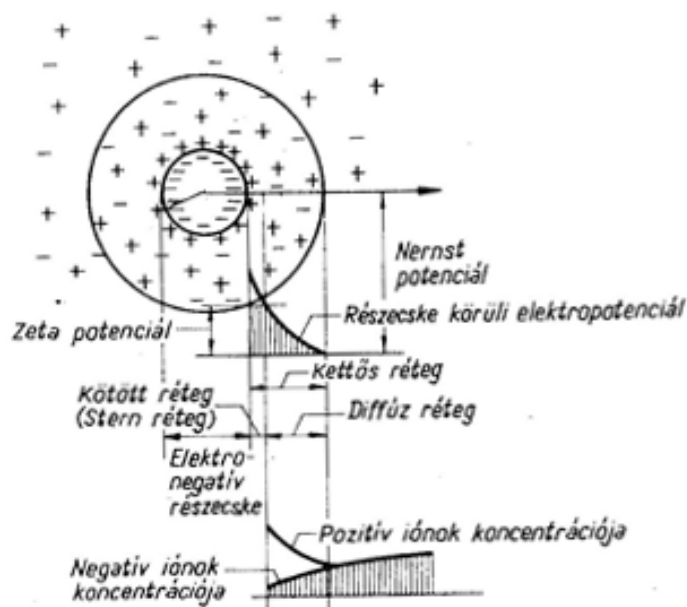
II. A Zeta-potenciál mérés kapcsolódása a szűrkevíz vizsgálathoz, újrahasznosításhoz

A kolloidok stabilitása a pelyhesedéssel szembeni ellenálló képesség. Stabil kolloidok (hónapok alatt is csak kismértékben pelyhesednek) pl. proteinek, keményítők, detergensok. Instabil kolloidok pl. fém oxidok, agyagásványok, mikroorganizmusok. A derítés célja az instabil kolloidok leválasztása.

Vizes szuszpenzióban a kolloidok felülete negatív töltésű, mivel felületi energiájuk révén főleg anionokat

adszorbeálnak. A negatív töltésű kolloid felület így csak kationok vonzására képes. A kolloidok taszítják egymást. A zeta-potenciál [mV] értelmezése az 3. ábrán látható; értéke például ásványi anyagokra -13 mV, algák esetén -8 mV.

A koaguláció feltétele, hogy a kolloidok közötti taszító erő minimális szintű legyen. Cél a 0 mV zeta-potenciál elérése, vagyis az az állapot melyben a van der Waals erők és a kémiai kötőerők az uralkodóak. Erre a célra kémiai derítőszereket használunk.



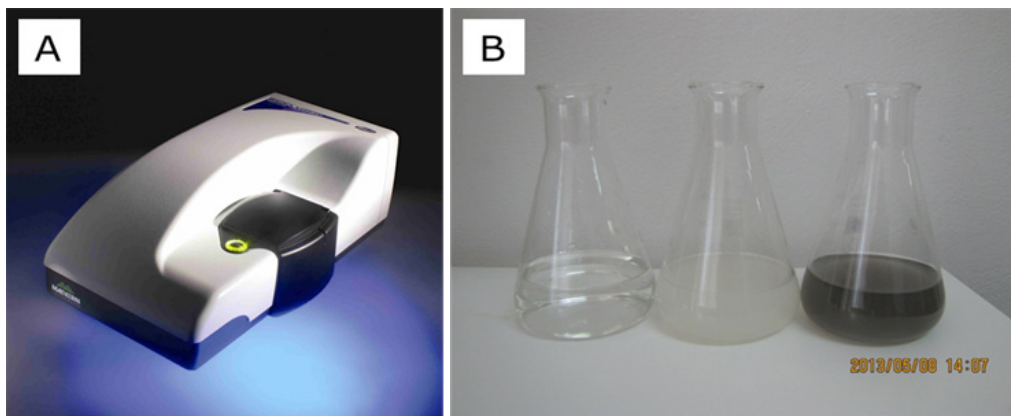
3. ábra Az elektromos kettős réteg és a zeta-potenciál értelmezése

Szűrkevíz Zeta-potenciáljának vizsgálata

A zeta-potenciál mérését a Malvern Instrument által gyártott Zetasizer NanoZ típusú készülékkel (4. ábra „A” képe) végeztük.

Minden méréshez szűrkevíz mintákat használtunk, melyeket hűtve (+4 oC) tároltunk. A különböző eredetű

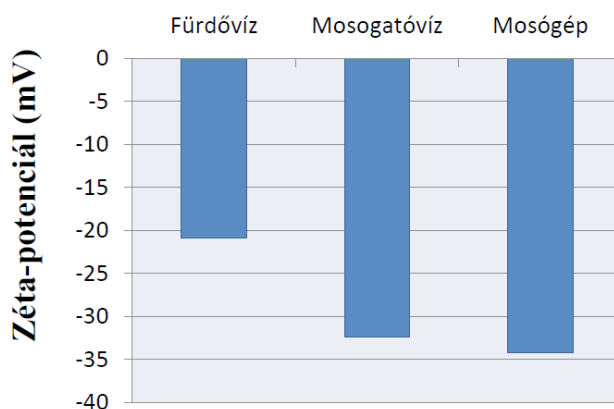
mintákat külön osztályba soroltuk, csoportokat alkotva a mosógépből, mosogatásból és fürdésből származó szűrkevizeket. A 4.”B” ábrán egy fürdésből és egy erősen szennyezett mosóvízből vett szűrkevíz minta, valamint a referenciaként használt csapvíz minta fényképe látható.



4. ábra (A) Zetasizer NanoZ típusú készülék; (B) csapvíz és szűrkevíz-minták (balról jobbra: referencia csapvíz, fürdővíz, mosóvíz)

A 5. ábrán látható a különböző eredetű szűrkevíz-minták zeta-potenciál átlaga. Megjegyzendő azonban, hogy az átlagértékek esetenként nagyban eltértek egy-egy minta zeta-potenciáljától. Fürdővizeknél például -29,00 mV és -5,28 mV közötti zeta-potenciált, mosogatóvizeknél -46,10 mV-tól -22,00 mV-ig terjedő

zeta-potenciál értékeket, a mosógépből származó szűrkevizek esetén pedig -53,00 mV és -23,4 mV közötti értékeket kaptunk. Az eredmények egyértelműen alátámasztják, hogy a minta eredete meghatározza a minőségét.



5. ábra Zeta-potenciál [mV] alakulása különböző szűrkevizeknél

A 5. ábrán megfigyelhető továbbá, hogy a fürdővizek zeta-potenciál átlaga a legkisebb (abszolút értéket tekintve), ezt követi a mosógépből származó, majd a mosogatásból származó szűrkevizek átlagos zeta-potenciál értéke. Az eredmények többnyire annak tulajdoníthatóak, hogy

fürdésnél nem kerül annyi kolloid méretű részecske a vízbe, mint mosogatásnál, amely során a zsírok és olajok a felületaktív anyagoknak köszönhetően kolloid állapotban kerülnek a vízbe.

Koagulálás, flokkulálás vizsgálata

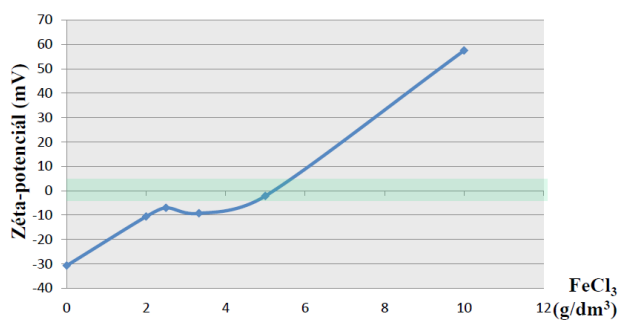
Kísérleteink során derítőszerként vas(III)-kloridot alkalmaztunk, melyet különböző koncentrációjú oldat

formájában adagoltunk az adott szürkevíz mintához. Az alkalmazott derítőszer adagolásának körülményeit, illetve a felhasznált derítőszer koncentrációit és mennyiségeit a 3. táblázatban foglaltuk össze.

Alkalmazott derítőszer: FeCl ₃ -oldat	
Koncentrációja (g/dm ³)	2,00; 3,33; 5,00; 10,00
Adagolt mennyiség (ml)	5
Keverési idő (s)	30
Keverési sebesség (fokozat)	4
Üledési idő (min)	5

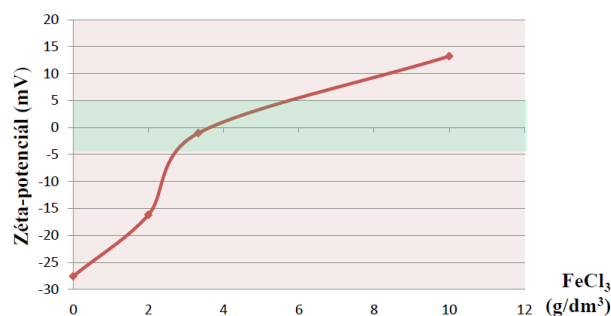
3. táblázat A koagulálás és flokkulálás vizsgálatának kísérleti körülményei

A mérések kivitelezésénél a szürkevíz-mintákból mérésenként 100 cm³-es részleteket használtunk, ezekhez adagoltuk a derítőszert és a derítőszer adagolásával egy időben keverést indítottunk be ARE Heating Magnetic Stirrer típusú mágneses keverő segítségével. A keverési sebességet úgy választottuk meg, hogy megfelelő elegyedést biztosítson (4-es keverési fokozat, 30 másodperc időtartam). A zeta-potenciál méréshez 45 ml kezelt vízmintát mértünk ki, majd 5 perc üledési idő után a folyadékoszlop 2/3-ad magasságából vettünk minden méréshez mintát.



A fürdésből származó szürkevíz-minták közül két különböző forrásból származó vízmintát vizsgáltunk. Az 1. minta zeta-potenciálja derítőszer hozzáadása nélkül

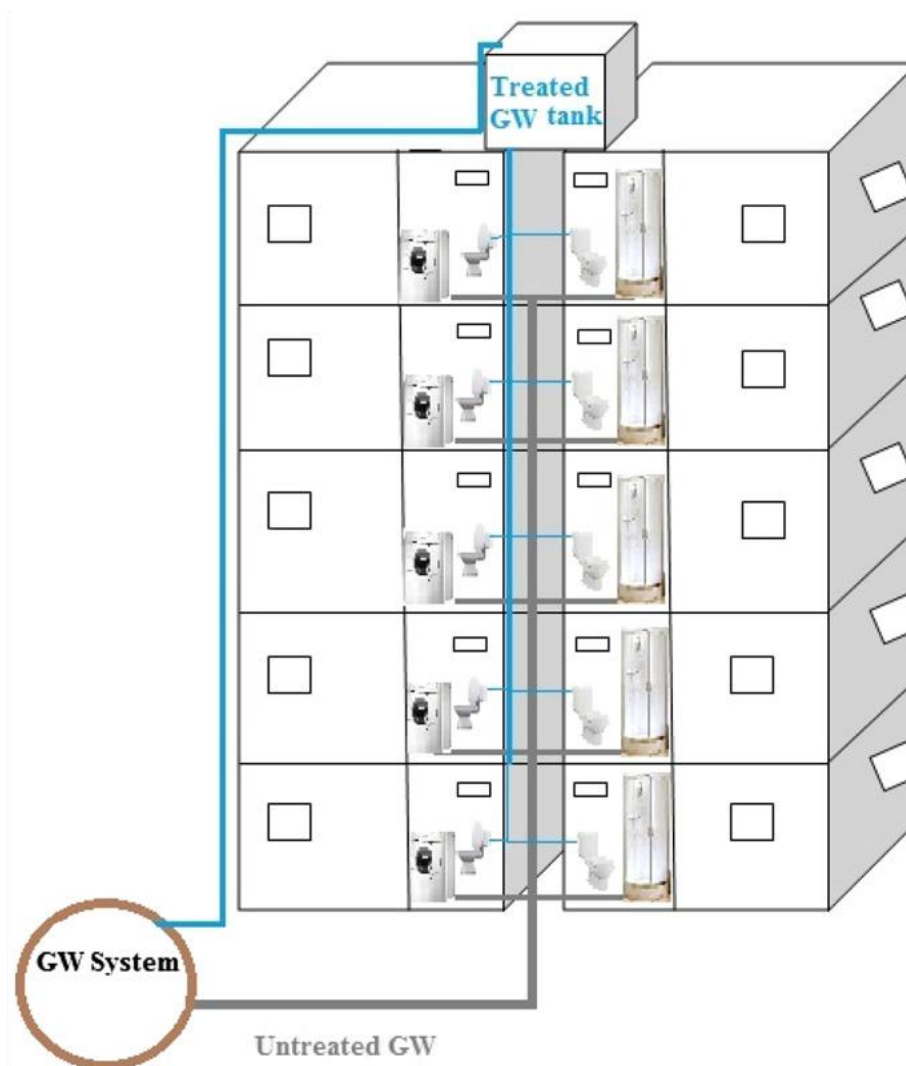
-30,7 mV; 2. mintáé: -27,6 mV. A zeta-potenciál változását a derítőszer koncentrációjának függvényében a 6. ábra mutatja. A diagramokon a zöld szín jelzi azt a tartományt (a zeta-potenciál érték +/-5 mV közé esik), amely megfelelő ahhoz, hogy a vízmintából a kolloid méretű szennyeződés flokkulálódjon. A megfelelőnek mondható zeta-potenciál értéket az 1. számú minta esetén az 5,00 g/dm³ koncentrációjú FeCl₃-oldat adagolásakor értük el (6. ábra bal oldali diagram).



6. ábra Zeta-potenciál [mV] változása különböző koncentrációjú, 5 ml térfogatú FeCl₃-oldatok adagolásakor (1. minta és 2. minta)

A 2. számú vízminta zeta-potenciáljának változását a koagulációszer koncentrációjának függvényében a 6. ábra jobb oldali diagramja szemlélteti. Megfigyelhető, hogy a 3,33 g/dm³ koncentrációjú 5 ml térfogatú FeCl₃-oldat a szürkevíz minta zeta-potenciáljának megfelelő

mértékű redukálását eredményezte. A kísérlet során, ebben az esetben a mérhető zeta-potenciál már -1,04 mV értéket mutatott, amely a koagulációhoz szükséges zeta-potenciál intervallumon belüli.



Szürkevíz gyűjtési és hasznosítási rendszer sematikus ábrája

Forrás: K.A. Mourad et al.: *Journal of Environmental Management* 92 (2011) 2447-2453

A borítókép forrása: <http://science.howstuffworks.com>

A munkacsoport tagjai:

Dr. Bodnár Ildikó, főiskolai tanár, munkacsoport vezető

Prof. Dr. Jolánkai Géza, egyetemi tanár

Dr. Boros Norbert, főiskolai docens

Keczáné Dr. Üveges Andrea, főiskolai docens

Fórián Sándor, adjunktus

Kocsis Dénes, tanársegéd

Fehérné Baranyai Edina, Ph.D. hallgató

Izbékiné Szabolcsik Andrea, Ph.D. hallgató

Szoboszlai Andrea, vegyésztechnikus