

Debreceni Egyetem  
Műszaki Kar  
Környezet- és Vegyészmérnöki tanszék



## **Szürkevíz minták mikrobiológiai vizsgálata gyorstesztetekkel**

Készítette: **Petrányi Andrea**  
**harmadéves környezetmérnök BSc szakos hallgató**

Belső konzulens: Dr. Boros Norbert

Tanszékvezető: Dr. Bodnár Ildikó

Debrecen  
2013.

## Tartalomjegyzék

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 1. Bevezetés, célkitűzések .....                       | 3  |
| 2. Szakirodalmi áttekintés .....                       | 4  |
| 2.1. Szürkevíz források hasznosítása.....              | 4  |
| 2.2. Mikrobák a szürkevizekben .....                   | 6  |
| 2.2.1. Enterobacteriaceae .....                        | 8  |
| 2.2.2. Enterococcus .....                              | 10 |
| 2.2.3. Staphylococcus aureus .....                     | 10 |
| 2.2.4. Pseudomonas aeruginosa.....                     | 10 |
| 2.2.5. Vírusok .....                                   | 11 |
| 2.3. Mikrobiológiai vizsgálati módszerek .....         | 12 |
| 2.3.1. Mikroszkópos (morfológiai) vizsgálat .....      | 12 |
| 2.3.2. Tenyésztés táptalajon .....                     | 13 |
| 2.3.3. Biokémiai vizsgálatok .....                     | 14 |
| 2.3.4. Szerológiai vizsgálatok .....                   | 15 |
| 2.3.5. Antibiotikum-érzékenységi vizsgálatok .....     | 15 |
| 2.4. Mikrobiológiai gyorsesztek.....                   | 15 |
| 2.4.1. Envirocheck® Contact Slides .....               | 16 |
| 2.4.2. RIDA®COUNT .....                                | 16 |
| 2.4.3. Compact Dry gyorsesztek.....                    | 17 |
| 2.4.4. Hygene Monitor.....                             | 18 |
| 2.5. Szürkevíz kezelése .....                          | 19 |
| 3. Anyag és módszer .....                              | 21 |
| 3.1. Mintavétel.....                                   | 21 |
| 3.2. Szerves anyag tartalom mérése .....               | 21 |
| 3.3. Általános kémiai paraméterek mérése.....          | 21 |
| 3.4. Mikrobiológiai terheltség meghatározása .....     | 22 |
| 4. Eredmények.....                                     | 23 |
| 4.1. Szürkevíz minták mikrobiológiai vizsgálata .....  | 23 |
| 4.2. Szürkevíz minták általános kémiai vizsgálata..... | 26 |
| 4.3. Szerves anyag tartalom.....                       | 26 |
| 5. Következtetések, javaslatok .....                   | 28 |
| 6. Összefoglalás.....                                  | 30 |
| 7. Köszönetnyilvánítás .....                           | 31 |
| 8. Irodalomjegyzék.....                                | 32 |
| 9. Ábrajegyzék .....                                   | 35 |

## 1. Bevezetés, célkitűzések

Az emberiség számára alapvető lételem a víz, amelyet életünk számos területén használunk: ivóvízként, élelmiszerek alapanyagainak termesztésekor és a terméké alakításakor egyaránt, a víz emellett a természetes környezet része és megőrzése kiemelt környezetvédelmi feladat. Szabályozza a bioszféra hőmérsékletét, számos biokémiai folyamat oldószere, és nem utolsósorban szervezetünk 70%-át alkotja.

Azonban tudatában kell lennünk annak, hogy napjaink környezetvédelmi problémái, úgymint a globális felmelegedés, vízkészleteink rohamos csökkenése, illetve a vízminőségromlás hatására a víz egyre korlátozottabb mennyiségben van jelen a Földön. Ezek a problémák elsősorban a szárazabb területeken jelentkeznek kiemelkedően. Ezen globális problémákon kívül a népességnövekedés is egyre nagyobb terhet ró a vízellátásra, a lakosságnak egyénenként azonban nagyon kevés lehetősége van a víz megőrzésére.

A kutatók világszerte egyre több módszerrel próbálják az ivóvíz felhasználást csökkenteni, melyre potenciális megoldást nyújthat többek között a szürkevíz újrafelhasználása.

Ahhoz, hogy meg tudjuk határozni, a szürkevíz felhasználásának 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.

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 öblítésekéből származó úgynevezett fekete vizek. A naponta termelődő szürkevíz akár a 90-120 l/fő mennyiséget is meghaladhatja.

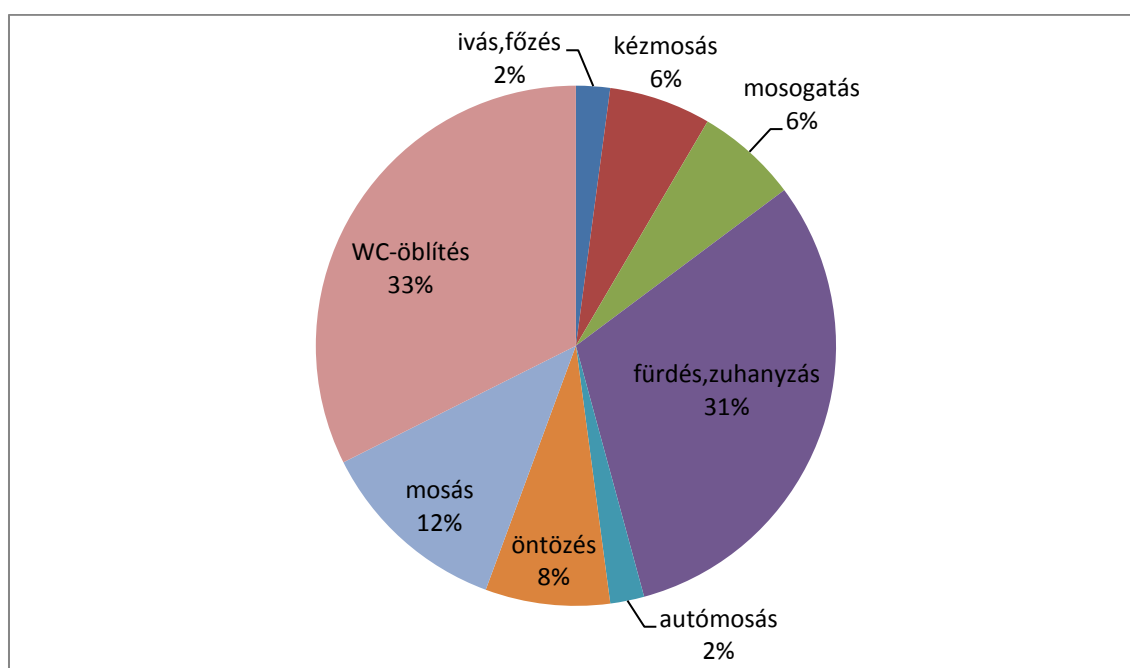
Vizsgálataim célja a különböző szürkevíz források mikrobiológiai minőségének, illetve a vízminták szerves anyag tartalmának és mikrobiológiai jellemzőik közötti összefüggések meghatározása volt. Emellett vizsgáltam a mikrobiológiai gyorsesztek alkalmazhatóságát szürkevíz minták összcsíraszámának, koliform baktériumok és *Escherichia coli* baktériumok számának meghatározására.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.1. Szürkevíz források hasznosítása

A növekvő vízigény, a kevés csapadék okozta vízhiány, illetve gazdasági és környezeti okok hatására az utóbbi évtizedekben egyre több kutató foglalkozik a szürkevíz újrahasznosításával [1].

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 [2]. Ezen kívül még számos más alkalmazása lehetséges: parkok, golfpályák, temetők, iskolák, óvodák füves területeinek öntözése [3], járműmosás, tűzvédelem, betongyártás [4], légkondicionálás [5], illetve a vizes élőhelyek megőrzésére [6].

Az újrahasznosított rendszerekből származó víznek meg kell felelni bizonyos kritériumoknak: higiéniai biztonság, esztétika, környezeti tolerancia, technológiai és ökológiai megvalósíthatóság [7].

Az Európai Unión belül az újrahasznosított vízre vonatkozó irányelvek alapján történik az újrahasznosítási kritériumok irányítása, ezt egészítik ki a mikrobiológiai paraméterekkel (*Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*, *Legionella*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*) [8].

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).

1. táblázat: Városi víz újrahasznosítására vonatkozó nemzetközi szabványok/irányelvek (forrás:[9])<sup>1</sup>

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

<sup>a</sup> USEPA, 2004, <sup>b</sup> Nolde, 1999

A szerves eredetű szennyezés rendkívül változó lehet a különböző szürkevizekben, de a BOI értéke általában 50-300 mg/l közé esik [10]. A KOI/BOI aránya (2. táblázat) mind a szürkevizek, mind a szennyvíz esetén 3 körüli érték. Ezzel szemben a kezelt vízben a KOI/BOI arány 3-10, ami arra enged következtetni, hogy a szürkevíz több biológiailag le nem bomló anyagot tartalmaz, mint a szennyvíz [11]. Ez alátámasztja a szürkevíz biológiai kezeléseinek korlátozását és támogatja a nem biológiai úton történő kezelések vizsgálatát.

A DOC eredmények a vegyes szürkevízben  $12 \pm 4$  mg/l, ami megegyezik az ivóvíz forrás értékével.

<sup>1</sup> A táblázatban szereplő adatokat Winward et al. cikkéből (2008) vettem át, e jelölt irodalmak az irodalomjegyzékben külön nincsenek feltüntetve.

2. táblázat: Szürkevíz és szennyvíz minták általános paramétereinek összehasonlítása  
(forrás:[12])

| Paraméterek      | Szürkevíz |           | Szennyvíz |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
|                  | Vegyes    | Fürdővíz  |           |
| BOI (mg/l)       | 39 ± 17   | 166 ± 37  | 110-450   |
| KOI (mg/l)       | 144 ± 63  | 575 ± 98  | 250-800   |
| KOI/BOI          | 3,7 ± 1,2 | 3,5 ± 0,4 | 1-3       |
| DOC (mg/l)       | 12 ± 4    | 56 ± 7    | 80-260    |
| Zavarosság (NTU) | 35 ± 16   | 42 ± 9    | na        |
| pH               | 6,6-7,6   | 7,3-7,8   | na        |

## 2.2. Mikrobák a szürkevizekben

A szürkevizekkel kapcsolatban az 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 [1]. 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 pelenkamosás esetén a fürdővíz mellett a mosásból származó víz is tartalmazhat fekália eredetű szennyeződéseket. A konyhai szürkevíz pedig elsősorban ételmaradékokat, olajat, zsírt és mosogatószer tartalmazhat.

Az előbbieket alapján elmondható, hogy a szürkevíz tartalmazhat *E. coli* baktériumokat [13], illetve bélbaktériumokat [14] és humán-egészségügyi szempontból kockázatos lehet az ilyen jellegű szürkevíz kezelés nélküli vagy nem megfelelően kezelt és fertőtlenített [9] újrahasznosítása. O'Toole et al. (2012) kutatásai során megállapította, hogy az általa vizsgált szürkevíz minták 14%-a tartalmazott patogén *E. coli* szennyeződést [13]. A vízben megjelenő *E. coli* és más enterobaktériumok fekális szennyeződésre, *Salmonella* vagy enterovírusok jelenlétére utalhatnak. Azonban a szürkevíz szennyezettségének megállapításához nem biztos, hogy elegendő csak a mikrobaszámot vizsgálni [14].

Ottoson és Stenström (2003) felhívja a figyelmet arra, hogy az indikátorbaktériumok mennyisége alapján túlbecsülhetik a fekális szennyeződés mértékét és ezáltal a kórokozók veszélyét is. Ennek kiküszöbölésére számos kutatásban alkalmaznak kémiai vegyületeket, mint például a coprostanolt [15].

Mivel a WC-öblítésből származó szennyvizet nem soroljuk szürkevíz források közé, ezért a ténylegesen szürkevíz forrásból származó vizek fekális eredetű szennyezése elvileg

elhanyagolható lenne. Vannak azonban olyan tevékenységek, például széklettel szennyezett ruhaneműk (fehérnemű, pelenka) mosása, gyermekgondozás vagy zuhanyzás, melyek során bekerülhet a szürkevízbe fekális szennyeződés [14]. Kézi mosogatás során esetenként bélbaktériumok (pl. *Salmonella*) is bekerülhetnek a szürkevízbe [16].

A szürkevízben lévő könnyen lebomló szerves anyag, szintén kedvez a bélbaktériumok növekedésének, például a fekális indikátorokénak is [17].

Számos tanulmány számolt be nagy mennyiségű fekális eredetű indikátorbaktériumokról, ami a szürkevíz források jelentős fekális szennyeződésére utal (3. táblázat).

3. táblázat: Indikátor baktériumok a szürkevíz mintákban (lgCFU/100 ml)<sup>2</sup>  
(forrás [14])

| Szürkevíz forrás                       | Összes koliform | Termotoleráns koliform | <i>E.coli</i> | <i>Fekális enterococcus</i> |
|----------------------------------------|-----------------|------------------------|---------------|-----------------------------|
| Fürdő, kézmosó <sup>a</sup>            |                 |                        | 4,4           | 1,0-5,4                     |
| Mosás <sup>b</sup>                     | 3,4-5,5         | 2,0-3,0                |               | 1,4-3,4                     |
| Zuhanyzó, kézmosó <sup>b</sup>         | 2,7-7,4         | 2,2-3,5                |               | 1,9-3,4                     |
| Szürkevíz <sup>c</sup>                 | 7,9             | 5,8                    |               | 2,4                         |
| Zuhanyzó, fürdő <sup>d</sup>           | 1,8-3,9         | 0-3,7                  |               | 0-4,8                       |
| Mosóvíz <sup>d</sup>                   | 1,9-5,9         | 1,0-4,2                |               | 1,5-3,9                     |
| Öblítővíz <sup>d</sup>                 | 2,3-5,2         | 0-5,4                  |               | 0-6,1                       |
| Szürkevíz <sup>e</sup>                 | 7,2-8,8         |                        |               |                             |
| Kézmosó, konyhai mosogató <sup>f</sup> |                 | 5,0                    |               | 4,6                         |
| Szürkevíz <sup>g</sup>                 |                 | 5,2-7,0                | 3,2-5,1       |                             |
| Szürkevíz, 79% fürdő <sup>h</sup>      | 7,4             | 4,3-6,9                |               |                             |
| Konyhai mosogató <sup>i</sup>          |                 | 7,6                    | 7,4           | 7,7                         |
| Szürkevíz <sup>i</sup>                 |                 | 5,8                    | 5,4           | 4,6                         |

<sup>a</sup> Albrechtsen, 1998, <sup>b</sup> Christova-Boal et al., 1996, <sup>c</sup> Casanova et al., 2001, <sup>d</sup> Faechem et al., 1983, <sup>e</sup> Gerba et al., 1995, <sup>f</sup> Gunther, 2000, <sup>g</sup> Lindgren et al., 1998, <sup>h</sup> Rose et al., 1991, <sup>i</sup> Swedish EPA, 1995

<sup>2</sup> A táblázatban szereplő adatokat Ottoson és Stenström cikkéből (2003) vettem át, e jelölt irodalmak az irodalomjegyzékben külön nincsenek feltüntetve.

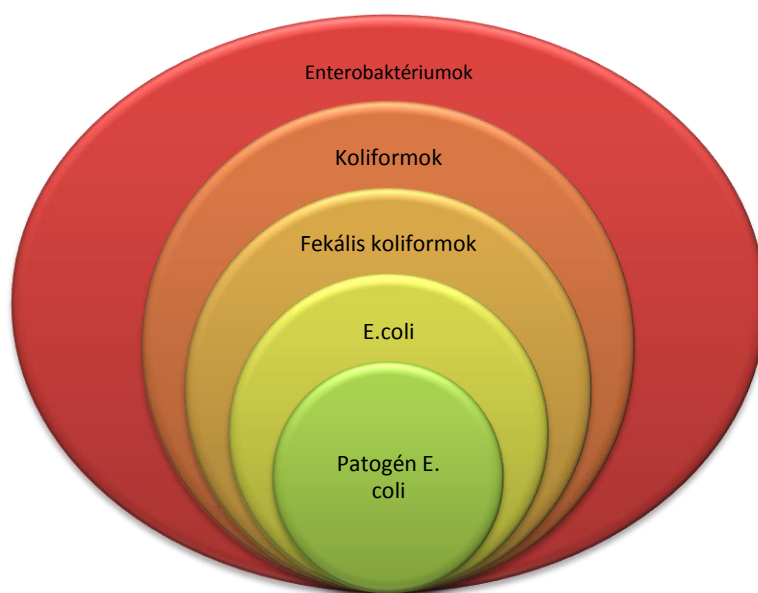
### 2.2.1. Enterobacteriaceae

Az enterobaktériumok Gram-negatív, 1-5 µm nagyságú pálcika alakú glükózbontó baktériumok. Az elnevezésük onnan származik, hogy a család néhány tagja (például az *E. coli*, *Klebsiella*) a természetes bélflóra része.

A bélflóra tartalmaz rendszertanilag nem ide sorolható fajokat is (például anaerobok, Gram-pozitív coccusok), illetve az enterobaktériumok közt olyan fajok is megtalálhatók, melyek kizárólag kóros körülmények között szaporodnak el az emberi szervezetben (pl. *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia*). Lévén Gram-negatív baktériumok, sejtfaluk lényeges alkotórésze az LPS (lipopoliszacharid) molekula, mely magába foglalja az O antigént, illetve a lipid A-t, azaz endotoxint is.

A család tagjai fakultatív anaerobok, azaz aerob és anaerob körülmények között egyaránt tenyészthetők. A családon belül a fajok biokémiai tulajdonságaik, illetve antigénjeik alapján különböztethetők meg (2. ábra).

Jelentősebb nemzetségek: *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia* (ezen belül az *E. coli*), *Hafnia*, *Klebsiella*, *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia*. [18, 24, 25]



2. ábra: Enterobaktériumok családja

#### Koliform baktériumok

Fakultatív anaerob, Gram-negatív, nem spórás pálcikák, melyek sav és gázképződés mellett bontják a laktózt 48 óra alatt 35 °C-on. Számos koliform baktérium megtalálható természetes körülmények között az élőlényekben, a talajban és a vízben is.

A koliform baktériumokat számos víz- és élelmiszervizsgálatnál indikátor organizmusként használják már a 20. század eleje óta. Az indikátor organizmusok olyan élőlények, melyek jelzik a potenciális patogének jelenlétét vagy a romlást okozó mikroorganizmusokat. Koliform baktériumok vizsgálata elengedhetetlen a tejiparban, a palackozott víz és az ivóvíz rendszerekben. Bizonyos esetekben, az élelmiszeripar egyéb területein is alkalmazzák.

A koliform baktériumokon belül megkülönböztetünk fekális koliformokat, melyek 44,5-45,5 °C-on bontják a laktózt. A fekáliás eredetű szennyezések kimutatására, ezért ezen baktériumok vizsgálata a legmegfelelőbb. [26, 27]

### **Escherichia coli**

Az *E. coli* baktérium a legtöbbet tanulmányozott mikroorganizmus. A természetes bélflóra jellegzetes tagja, visszaszorítja más kórokozó baktériumok elszaporodását a szervezetben. Vannak azonban patogén törzsei is (pl. a K5 típusba tartozó törzsek), melyek exotoxint termelnek, és emésztőrendszeri zavarokat okoznak. Nem szaporodnak jelentősen, de képes hetekig megélni a vízben, ezért hasznos a fekáliás eredetű szennyeződések indikálására, ezen kívül a patogén bélbaktériumok index mikroorganizmusa is. Ha a megengedettnél nagyobb számban vannak jelen, akkor fokozottan kell számolni kórokozó mikrobák jelenétével is. A többi fekális koliformtól abban különbözik, hogy nem tartalmaz ureáz enzimet, azonban  $\beta$ -glükoronidázt igen.[18, 19, 20, 22, 26]

A Cornell Egyetem kutatásai szerint a fekális eredetű szennyezés indikátorának a következő kritériumoknak kell megfelelni [27]:

- a) a bélrendszer specifikus organizmusa
- b) megfelelő mennyiségben legyen jelen ahhoz, hogy könnyen kimutatható legyen a víz/élelmiszerminta hígítása során
- c) magas túlélési ráta a vizsgált termékben
- d) könnyen kimutatható még nagyon kis számban is.

### **Shigella**

A *Shigella* törzs tagjai valójában olyan *E. coli* törzsek, melyek néhány biokémiai tulajdonságban térnek el a faj többi izolátumától, illetve jellegzetes betegségkókozó képességgel rendelkeznek. A bakteriális vérhas betegséget e fajok okozzák.

Biokémiaiilag szinte inaktívak, a *S. sonnei* kivételével laktóz-negatívak. A shigellák fertőző dózisa rendkívül alacsony, ennek következtében a vérhas tipikus „piszkos kéz” betegség, azaz

könnyen terjed emberről emberre közvetlenül, de a tárgyak vagy legyek is fontos terjesztői. [24, 25]

### **Salmonella**

A *Salmonella* törzs tagjai igen elterjedtek a természetben, mint élősködő patogének. Számos állatfaj hordozza őket, gyakran tünetek nélkül. Laktóz-negatívak, és a kén-tartalmú aminosavakból képesek kén-hidrogént előállítani. A *S. typhi* okozza a hastífuszt. A fertőzés általában szájon át, fertőzött élelmiszerrel történik. [19, 24, 25]

#### **2.2.2. Enterococcus**

Gram-pozitív fakultatív anaerob mikroorganizmusok, azaz képesek sejtlegzésre mind oxigénben gazdag és szegény környezetben. Hőrezisztensek, mivel elviselik a 60 °C-ot 30 percig. Elsősorban a normál bélflóra tagjaiként fordulnak elő. Jelentőségüket a különböző környezeti hatásokkal szembeni ellenálló képességük és nagyfokú antibiotikum-rezisztenciájuk magyarázza. Okozhatnak húgyúti fertőzéseket, fekélyes fertőzéseket, ételben elszaporodva pedig ételmérgezést. [24, 25]

#### **2.2.3. Staphylococcus aureus**

Gram-pozitív gennykeltő baktériumok, a *Staphylococcaceae* baktériumcsalád igen fontos tagjai. Melegvérű állatok és az ember bőrén, nyálkahártyáján fordulnak elő, innen kerülhetnek be a mosó-, fürdő-, és mosogatóvizekbe. A cukorból savat képeznek gáz nélkül. A fizikai és kémiai hatásokkal szemben rezisztensebbek, mint a többi spóra nélküli mikroba. Az általuk termelt különböző enzimek okozzák patogenitásukat, melyek közül a koaguláz enzim a legfontosabb. [19, 22, 24, 25]

#### **2.2.4. Pseudomonas aeruginosa**

Nem fermentáló Gram-negatív pálcika alakú baktériumok, melyek vizekben, növényekben, állatokban és az emberi szervezetben egyaránt előfordulnak. Nedves környezetben minimális tápanyagforrás mellett képesek hosszú ideig túlélni és korlátozottan szaporodni. Metabolikus alkalmazkodóképességük rendkívüli, a tápanyagok és a növekedési hőmérséklet tekintetében nincsenek nagy igényeik, gyakorlatilag mindenütt megélnek. Számos antibiotikummal szemben is ellenállóak. Humánpatogének, az immunrendszer legyengülésekor sebek gennyesedését és húgyúti fertőzéseket okoznak. [19, 22, 24, 25]

### 2.2.5. Vírusok

A bélsárral a baktériumok mellett vírusok is bekerülhetnek a szürkevízbe. Humánpatológiai szempontból három RNS-vírus vizsgálatának van jelentősége: enterovírus, rotavírus és norovírus, melyek gastroenteritis (bélgyulladás) megbetegedést okozhatnak az embernél.

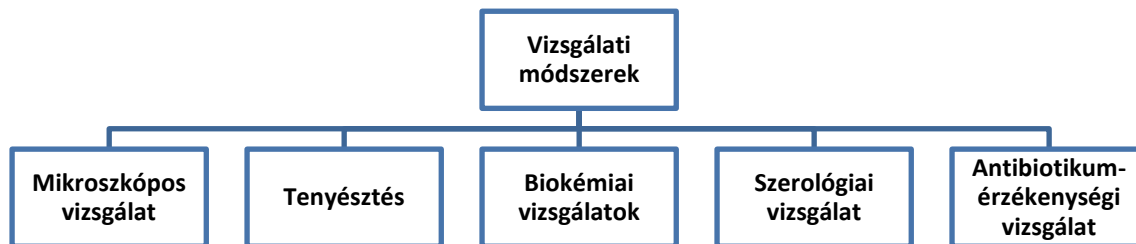
Az enterovírusok nem enterális betegségeket okoznak, ugyanakkor ezúton terjednek, a bélben szaporodnak és megjelennek a székletben, mely meghatározó a terjesztésükben. Kizárólag emberi kórokozók, terjedésüknek kedvez a zsúfoltság, illetve a rossz higiéniai körülmények. Viszonylag rezisztensek, folyóvizekben akár hónapokig is fertőzőképesek maradnak.

A rotavírusok nagy jelentőséggel bírnak a gyermekkori vírusos gastroenteritisben. A vékonybélbolyhok sejtjeit fertőzik meg és az így elpusztult sejtek leválása és szétesése révén jutnak a székletbe is nagy mennyiségben.

A norovírus a *Caliciviridae* család nemzetsége. A rotavírushoz hasonlóan a vékonybélbolyhok sejtjeit károsítják. Ezt a típust nem lehet tenyésztéssel vizsgálni, helyette genetikai alapú a kimutatása a székletmintából. [24, 25]

### 2.3. Mikrobiológiai vizsgálati módszerek

A mikrobiológiai vizsgálatok célja a kórokozók kimutatása, megkülönböztetünk minőségi és mennyiségi vizsgálatokat (3. ábra). Minőségi vizsgálattal a mikroba faji hovatartozását határozhatjuk meg (pl. Gram-festés), mennyiségi vizsgálattal pedig a mikrobák számát adhatjuk meg  $1\text{ cm}^3$ , illetve 1g mennyiségű anyagban vagy egységnyi felületen.[18, 28]



3. ábra: Mikrobiológiai vizsgálati módszerek csoportosítása

#### 2.3.1. Mikroszkópos (morfológiai) vizsgálat

A mikroszkópos vizsgálatok segítségével a mikroorganizmusok alakját, nagyságát és struktúráját tudjuk meghatározni. A mintát fénymikroszkóppal vagy elektronmikroszkóppal vizsgálhatjuk. A 250 nm-nél kisebb vírusokat már csak az elektronmikroszkóp segítségével lehet meghatározni. [21, 28]

A mikroszkópos vizsgálatokon belül megkülönböztetünk:

1. **Natív vizsgálatokat**, melyek során a gombák, protozoonok és férgek élő állapotban vizsgálhatók. Ezáltal megfigyelhető a baktériumok mozgása, alakja, szaporodása.[28]
2. A **festett kenetek** vizsgálata alkalmas baktériumok, gombák kimutatására. Az eljárás lényege, hogy a vizsgálati anyagból szuszpenziót készítünk, és azt tárgylemezen kiszárítjuk. Így a fehérjék koagulálódnak és a kenet rögzül a felülethez. Ezután egyszerű vagy összetett festéssel történik a mikroorganizmusok vizsgálata. Legfontosabb festési módszer a Gram-festés, mellyel alapvetően két nagy csoportra oszthatóak a sejtfallal rendelkező baktériumok, Gram-pozitívokra és Gram-negatívokra. A különbség a sejtfal kémiai szerkezetén alapul. Az eljárás során a Gram-pozitív baktériumok sötétlilára, míg a Gram-negatívok pirosra festődnek.[24, 28]

3. **Tápanyag-igény** vizsgálata: Baktériumonként eltérő, hogy milyen tápanyagokat képes felvenni, illetve melyek esszenciálisak. A streptococcusok például csak vér és/vagy savó jelenlétében tenyészthetők.
4. **Növekedési faktorok iránti igény** vizsgálata: A növekedési faktorok a baktériumok fejlődését befolyásolják, amelyek iránti igény baktériumfajonként változik. Egyes növekedési faktorok esszenciálisak, mások stimuláló hatásúak, azaz hiányuk nem gátolja a baktérium fejlődését [38]. A faktor-igény vizsgálata dajka- próbával vagy faktor-korongokkal történhet.
5. **Mozgás** vizsgálata: A natív módszer mellett jól alkalmazható egy félfolyékony táptalajt tartalmazó cső melyet, ha a tenyésztéssel beoltunk, 24 órás inkubálás után vizsgálhatóak a mikrobák. Aktív mozgás esetén diffúz zavarosodást láthatunk (pl. *E. coli*), azonban ha a szúrcsatorna mentén történik a szaporodás, akkor nem mozog (pl. *Klebsiella*).
6. **Pigmentképzés** vizsgálata: Bizonyos baktériumok jellemző színű festékanyagot termelnek. A pigment vízdékonyságából meghatározható az adott telep. Számos külső tényező befolyásolja a pigmentképzést, így speciális táptalajokat szükséges alkalmazni.
7. **Hemolízis** vizsgálata: Egyes baktériumok képesek az állati vagy emberi vér sejtjeit károsító enzimeket kiválasztani. Ezt a jelenséget véres táptalajon vizsgálják a telepek körül megjelenő színváltozás vagy feltisztulás alapján.
8. **Növekedés gátlásán alapuló módszerek:** Olyan minták esetében, melyekben várhatóan sok mikroorganizmus van szelektív táptalajokat (pl. *eozin-metilénkék agar*, *Salmonella-Shigella agar*) alkalmaznak. Ezen táptalajok visszaszorítják a nem kívánt mikroorganizmusok növekedését. [28]

### 2.3.2. Tenyésztés táptalajon

A leghagyományosabb kimutatási eljárás, melynek során a mikroorganizmust laboratóriumi körülmények között megsokszorozzuk. A tenyésztés táptalajon megy végbe. A táptalajoknak biztosítani kell a baktérium életfolyamataihoz szükséges anyagokat, mint például víz, szén, nitrogén, különböző ásványi anyagok. Ezen kívül biztosítani kell a megfelelő külső körülményeket, melyek a szaporítás számára optimálisak (megfelelő hőmérséklet, aerob vagy anaerob viszonyok, szaporodáshoz szükséges idő, illetve sterilitás). A tenyésztés történhet orvosi vagy ipari célból. Orvosi célból akkor, ha a beteg váladékát közvetlenül mikroszkóposan nem lehet vizsgálni, ha a natív vagy festett módszerrel nem ismerhető fel

vagy nem különíthető el megfelelően a baktérium, illetve ha oltóanyag-termelés készítése a cél.[21, 28, 29, 30]

### 2.3.3. Biokémiai vizsgálatok

A biokémiai vizsgálatok segítségével egyes enzimek meglétét vagy hiányát lehet megállapítani, vagy az anyagcsere jellegét, illetve jellemző végtermékeit lehet kimutatni. A standard biokémiai reakciók közül némelyiket rendszeres rutinvizsgálatokban használnak, míg másokat, csak ha az előzőek nem elegendőek a meghatározáshoz.

- a. **Szénhidrátok bontásának vizsgálata:** szénhidrátok bontásakor sav, gáz vagy mindkettő keletkezhet. Savképződés kimutatására pH-indikátort adnak a táptalajhoz, a gázképződés pedig a táptalajban elhelyezett Durham-csőben fogható fel.
- b. **Metilvörös reakció:** a glükózból vagy dextrózból történő fokozott savképzés kimutatására használják.
- c. **ONPG-reakció** segítségével kimutathatók a laktózt gyengén bontó baktériumok laktáz tartalma.
- d. **Aminosav-dezamináz próba:** a proteusok más baktériumoktól való gyors elkülönítésére alkalmazzák.
- e. **Nitrátredukció vizsgálata:** egyes baktériumok a légzésük során a nitrátot nitritté redukálják, ezt a folyamatot vizsgálják a táptalaj színváltozása segítségével.
- f. **Indolképződés kimutatása:** egyes baktériumok (például *E.coli*) a fehérjékben lévő triptofánból képesek indolt képezni, amit a táptalaj színváltozása jelez.
- g. **Ureázreakció kimutatása:** az ureáztermelő baktériumok bontják a karbamidot és lúgosítják a táptalajt.
- h. **Oxidázreakció kimutatása:** segíti a Gram-negatív baktériumok elkülönítését, mivel a baktériumok zöme olyan anyagot termel, mely oxigén jelenlétében a reagens színváltozását eredményezi.
- i. **Katalázreakció kimutatása:** a hidrogén-peroxidot bontó kataláz jelenlétét lehet kimutatni, amit a hidrogén-peroxid bontása során felszabaduló oxigén keltette pezsgés jelez (pl. *Staphylococcus aureus*).
- j. **Kén-hidrogén-képzés kimutatása:** egyes baktériumok kén-hidrogént termelnek, mely ólom-vagy vas-sóval szulfidot képez, amitől a táptalaj megfeketedik. [21]

### **2.3.4. Szerológiai vizsgálatok**

A mikroorganizmusok a szervezetbe jutva ellenanyagok termelődését váltják ki. Az antigén és ellenanyag reakciójának vizsgálatát nevezzük szerológiai vizsgálatnak. Nagy jelentőséggel bírnak egyrészt a fertőző betegségek megállapításában másrészt a kórokozók identifikálásában. Ismert specifikus ellenanyagokat tartalmazó immunsavók birtokában meghatározható a keresett antigén és ismert specifikus antigének segítségével a nekik megfelelő ellenanyagok jelenlétét vagy mennyiségét határozhatjuk meg. Számos módszert dolgoztak ki ezek meghatározására, például cső-agglutináció, flokkuláció, közömbösítési próbák, gátlási próbák, stb. [21, 28]

### **2.3.5. Antibiotikum-érzékenységi vizsgálatok**

Az antibiotikum-érzékenység meghatározása azért szükséges, mert még napjainkban sem rendelkezünk olyan antibiotikummal, amely valamennyi mikrobára egyaránt hatékony. Ezen kívül gyakran alakul ki egyes baktériumok esetében antibiotikum-rezisztencia. Az antibiotikum-érzékenység meghatározásakor azt a legkisebb antibiotikum-mennyiséget keresik, amely 1 ml térfogatú oldatban megakadályozza a baktérium szaporodását vagy el is öli azt. [21, 28]

A módszereket három csoportra lehet osztani:

- 1) Hígítási módszerek
- 2) Diffúziós módszerek
- 3) E-TEST<sup>®</sup> alkalmazása

## ***2.4. Mikrobiológiai gyors tesztek***

A mikrobiológiai gyors tesztek 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 gyors tesztek 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 becült érték, nem lehet a kórokozók számát pontosan meghatározni.[31]

#### 2.4.1. Envirocheck® Contact Slides

Ezen lemezek jól alkalmazhatók felületek és folyadékok mikrobiológiai higiéniai állapotának ellenőrzésére. Vizsgálható vele az össztelepszám, a fertőtlenítések hatékonysága, koliform és az *E. coli* baktériumok, illetve enterobaktériumok száma. A lemez mindkét oldalát teljesen be kell nedvesíteni a vizsgálathoz, majd a csőbe visszahelyezve teljesen le kell zárni. Az inkubálás 24-48 óráig 35-37 °C-on történik. Végül az eredmények a teszthez csatolt sűrűségi skála segítségével értékelhetők. [32]



1. kép: Envirocheck® Contact Slides gyorsesztek (forrás: [32])

#### 2.4.2. RIDA®COUNT

A tesztlemezek a mikroorganizmusok kvantitatív meghatározására alkalmasak főként élelmiszerekben és felületeken. A RIDA®COUNT lemezben lévő hordozó rétegen szelektív táptalaj található. A szelektív táptalaj át van vonva egy olyan szövetrel, amely biztosítja a mintaoldat azonnali, maradék nélküli felszívódását és eloszlását. Ezen kívül egy fedőfólia biztosítja a tesztfelület kontaminálódásának elkerülését. Minden teszt optimális inkubációs hőmérséklete 35 °C.

RIDA®COUNT tesztek segítségével megfelelő táptalajon meghatározható a minták összecsíraszama, a bennük található enterobaktériumok, koliform baktériumok, *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, illetve *Salmonella* baktériumok száma. A kiértékelés a tesztlemez felületén kitenyésztett telepek megszámlálásával történik, az eredmények értékelése határérték alapján történik. [33]



2. kép: RIDA®COUNT gyorsesztek (forrás: [33])

#### 2.4.3. Compact Dry gyorsesztek

Compact Dry tesztek dehidratált, száraz táptalajok, melyek különböző mikroorganizmusok kimutatására alkalmasak folyékony és szilárd mintákból. A szilárd minták esetén homogenizálás szükséges, vízminták vizsgálata pedig membrán szűrővel történő minta előkészítést igényel. A tenyésztés 48 óra alatt 35°C-on történik. A tesztek segítségével adott táptalajon a minták összcsíraszám, az enterobaktériumok, koliform baktériumok, *Enterococcus*, *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, illetve *Salmonella* baktériumok száma határozható meg. [34]



3. kép: Compact Dry összcsíraszám meghatározó gyorseszte (forrás: [34])

#### 2.4.4. Hygene Monitor

A Hygene Monitor gyorseszteket (TRANSIA GmbH, Germany) főként az élelmiszeriparban használják a mikroorganizmusok számának meghatározására (4. táblázat).

4. táblázat: Hygene Monitorral meghatározható mikroorganizmusok (forrás: [35])

| Táptalaj                   | Inkubációs hőmérséklet (°C) | Eredmények leolvasása (óra) |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Összcsíraszám              | 30-37                       | 48                          |
| Koliform                   | 30-37                       | 24                          |
| Enterobaktérium            | 30-37                       | 24                          |
| Tejsavbaktérium            | 30                          | 48                          |
| Élesztő- és penészgombák   | 25-30                       | 120                         |
| Staphylococcus baktériumok | 37                          | 36                          |
| ALOA Listeria              | 37                          | 48                          |
| CHROMagar Salmonella       | 37                          | 24                          |
| CHROMagar E.coli           | 30-37                       | 24                          |
| CHROMagar E.coli, Koliform | 30-37                       | 24                          |
| CHROMagar S. aureus        | 37                          | 24                          |

A rendszer egy lecsavarható kupakú hengerből és duplaoldalú műanyag alátétből áll, amely a mikrobák két táptalajon történő egyidejű vizsgálatát teszi lehetővé. A tesztek alkalmasak levegőből, felületről vagy folyadékból történő elemzésre egyaránt. [35]



4. kép: Hygene monitor gyorsesztek

## **2.5. Szürkevíz kezelése**

Általánosan elmondható, hogy a szürkevizek nem használhatók fel kezelés nélkül. Az adott szürkevízre jellemző mikrobiológiai paraméterek meghatározzák, hogy milyen technológiára van szükség a tisztításhoz.

A legmegfelelőbb technológia kiválasztása függ az üzemmérettől, a kezelt szürkevíz végső felhasználásától, társadalmi-gazdasági tényezőktől (költséghatékonyság), illetve regionális szokásoktól és gyakorlatoktól [36].

A szürkevizek kezelésére egyre több technológiát fejlesztenek ki, beleértve a természetes kezelési rendszereket, alapvető durva szűrést, kémiai, fizikai-kémiai és biológiai folyamatokat [10]. Ezen kezelési módszereknek elég erőteljesnek kell lenni, hogy képesek legyenek különböző szerves anyag tartalmú és eltérő kórokozó mikroorganizmusokat tartalmazó szürkevizeket kezelni, hogy a kezelt víz megfeleljen az előírásokban megfogalmazott követelményeknek [9].

### **1. Két-lépcsős rendszer**

A durva szűrés és fertőtlenítés a leggyakrabban alkalmazott technológiák közé tartozik. Az általános eljárás kevés időt vesz igénybe, mivel a szürkevíz kémiai természete változatlan marad, csak minimális kezelést követelnek meg. A durva szűrő általában egy fém szűrőt jelent, a fertőtlenítést pedig klór és bróm segítségével érik el [36].

### **2. Fizikai és fizikai-kémiai rendszerek**

A szürkevíz fizikai kezelésére kifejlesztett fizikai eljárás jellemzően a mélységi szűrés, amely homokon vagy membránon alapul, az utóbbit általában megfelelő előkezeléssel együtt alkalmazzák. Az újabb fizikai-kémiai eljárások már tartalmaznak koagulációt és oxidációt is.

A fizikai folyamatok jelentős víztisztítást valósítanak meg. Mint ilyenek, meglehetősen hatékonyan csökkentik a szürkevíz szerves szennyezőanyag terhelését elsősorban az újrahasznosítás céljából, ami bizonyos mértékig társul a zavarosság csökkenésével is. Így a tisztított víz esztétikai minősége nő és a durva szűrős rendszerek fertőtlenítési problémái jelentősen javulnak. [10]

### **3. Biológiai rendszerek**

A szűrés önmagában azonban nem elegendő a szerves anyag szennyezés olyan mértékű csökkentéséhez, ami megelőzi az újranövekedést az elosztórendszerekben. A biológiai kezelés

szükséges a biodegradálható anyagok eltávolítása céljából, főként az olyan helyeken, ahol nagy elosztórendszerek vannak, mint például hotelekben.

A biológiai és fizikai kezelés összekapcsolása jelenik meg a membrán bioreaktorok (MBR) és a „biologically aerated filters” (BAF) esetén, melyek kiváló minőségű efluenst eredményeznek [10].

### **3. Anyag és módszer**

#### ***3.1. Mintavétel***

A vízmintákat különböző lakóhelytípusokból (családi ház, sorház, panellakás, kollégium) vettem 2013 tavaszán és nyarán. A mintavétel merítéses módszerrel történt, melynek során mintegy 0,5-0,7 liter mintát gyűjtöttem minden mintavételi helyen az egyes szűrkevíz forrásokból. A mintatároló edényeket a mintával először átöblítettem, ezután történt a tényleges mintavétel. Az edényeket megfelelő jelöléssel láttam el, ami tartalmazta a mintavétel helyét, idejét, illetve a szűrkevíz forrását. 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.

#### ***3.2. Szerves anyag tartalom mérése***

A szűrkevíz minták szerves anyag tartalmának megállapítása BOI<sub>5</sub> (biológiai oxigénigény) és DOC (dissolved organic carbon) mérésével történt. A BOI-érték a vízminta szerves anyag tartalmának meghatározott idő alatt és meghatározott hőmérsékleten történő mikrobiális lebontásához elfogyasztott oxigén mennyisége. A biológiai oxigénigény mérése 5 napos inkubációs idővel történt. A mérés OxiTop IS 12 manometrikus BOI-mérő készülék segítségével történt, az eredményeket az egyes mérőfejekről a megfelelő gomb megnyomásával olvashatjuk le.

A DOC-érték az oldott és kolloidális méretű szerves anyag tartalomra utal. A DOC meghatározását Shimadzu TOC-V<sub>CPN</sub> összes szerves széntartalom mérő készülék segítségével végeztem el. A mintákat a vizsgálatok előtt 0,45 µm pórusméretű membránszűrőn leszűrtem, majd ultratiszta vízzel hígítottam. [23, 37]

#### ***3.3. Általános kémiai paraméterek mérése***

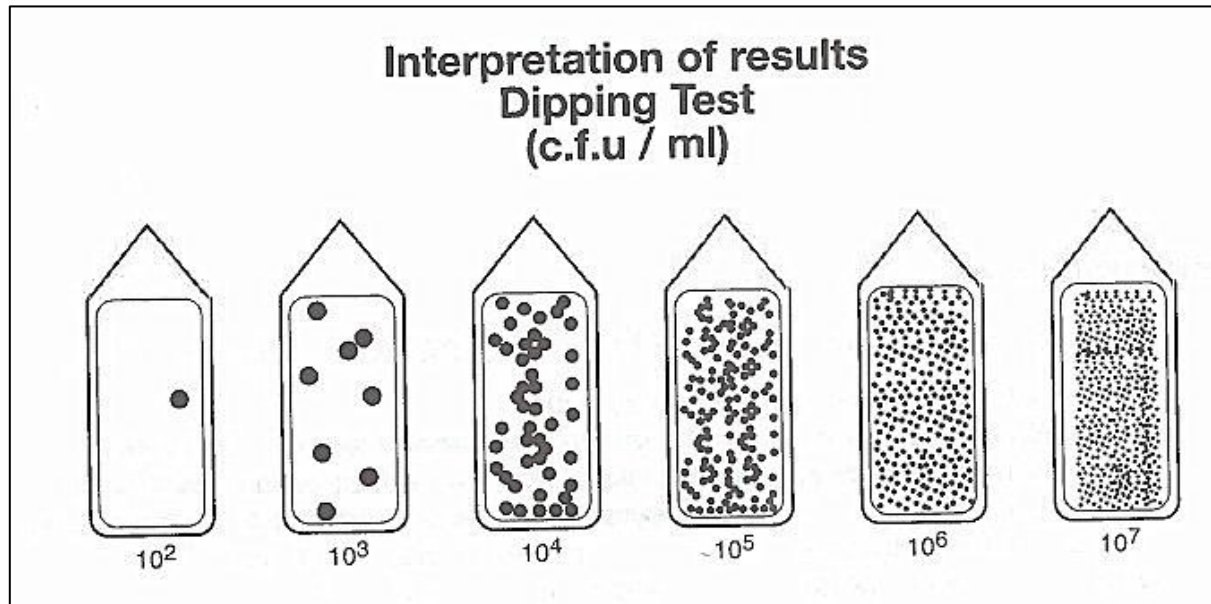
A méréseket Multi Line P4 mérőbőrönd segítségével végeztem el. A készülék egy elektroanalitikai mérőbőrönd, amely egyszerre több paraméter meghatározását teszi lehetővé adott vízminta vizsgálatakor: pH, oldott oxigén tartalom, vezetőképesség, oldott sótartalom, redoxi potenciál, hőmérséklet.

Ezen kívül mértem még a szürkevíz minták zavarosságát is. A zavarosság meghatározásával információt szerezhettünk a víz zavarosságát előidéző lebegő anyagokra nézve. A lebegő részecskék által szórt fény intenzitását határozzuk meg, amely NTU (Nephelometric Turbidity Unit) egységekben adja meg a minta zavarosságát. A zavarosság meghatározása Turb 555-IR készülék segítségével történt. [23, 37]

### **3.4. Mikrobiológiai terheltség meghatározása**

A mikrobiológiai terheltség meghatározását Hygene Monitor gyorsesztekkel végeztem. Méréseim során két kombinált gyorsesztest alkalmaztam. Az egyik segítségével a koliform baktériumok számát és a TTC összcsíraszámot, a másik teszttel pedig az *E.coli* kolóniákat és a koliform baktériumok számát határoztam meg.

Az egyes teszteknel az inkubációs idő 24 és 72 óra volt, eközben 18, 24, 48 és 72 óra elteltével ellenőriztem a mintákat, az inkubációs hőmérséklet mindkét vizsgálat során 37 °C volt. Az eredmények leolvasása a teszthez tartozó segédlet alapján történt (4. ábra). A kapott eredményeket lgCFU/ml egységben adtam meg.



4. ábra: Eredmények értékelését segítő ábra (forrás:[35])

## 4. Eredmények

Vizsgálataim során az Északkelet-Magyarországi régió szürkevizeinek mikrobiológiai minőségét elemeztem. Mintáimat háztartások fürdővizéből, mosógépeiből, mosogatógépeiből, illetve kézi mosogatásból vettem, referenciaként pedig csapvizet használtam. Összesen 43 szürkevíz mintát (15 fürdővíz, 15 mosóvíz, és 13 mosogatóvíz) és 9 csapvíz mintát vizsgáltam. A csapvíz minták ugyanazon forrásokból származnak, mint a szürkevíz minták.

### 4.1. Szürkevíz minták mikrobiológiai vizsgálata

Az 5. táblázat alapján megállapítható, hogy az összcsíraszám értéke minden mintában 5 lgCFU/ml feletti, az egyes minták összcsíraszámuk között statisztikailag kimutatható eltérést nem tapasztaltam. Az összcsíraszám a mosóvizekben volt a legmagasabb, 5,9 lgCFU/ml. A koliform számot kétféle táptalajon vizsgáltam, az egyiket 24 óráig, a másikat pedig 72 óráig. A kapott eredmények között jelentős különbséget nem tapasztaltam, a megjelenő különbségek oka lehet az eltérő inkubációs idő.

5. táblázat: Szürkevíz és csapvíz minták mikrobiológiai minősége

|                 | Koliform_24<br>(lgCFU/ml) | Koliform_72<br>(lgCFU/ml) | E.Coli_24<br>(lgCFU/ml) | Összcsíraszám_72<br>(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                            |

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 találtam *E. coli* szennyeződést. Feltételezhető, hogy kézzől 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 átlaga 4,5 lgCFU/ml, az *E.coli* baktérium átlagmennyisége 1,0 lgCFU/ml volt.

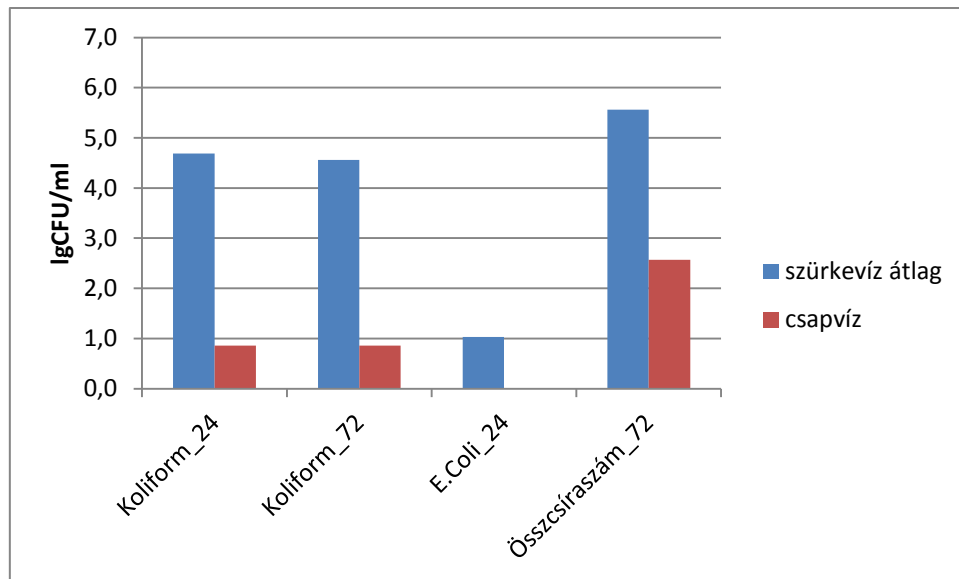
A mikrobiológiai vizsgálatok során 18, 24, 48 és 72 óra elteltével ellenőriztük a tesztek. A 6. táblázatban jól látható, hogy az első ellenőrzés után az eredmények jelentős mértékben nem változtak. Az *E. coli* baktériumok vizsgálata során megfigyelhető, hogy a mintákban már 18 órás ellenőrzéskor kimutatható volt és értéke utána nem változott.

Nagyobb változás a csapvíz összcsíraszámában figyelhető meg, 48 óra elteltével értéke még csak 1,7, míg 72 óra elteltével már 2,6 lgCFU/ml volt.

6. táblázat: Mikrobiológiai minőség változása a tenyésztés alatt

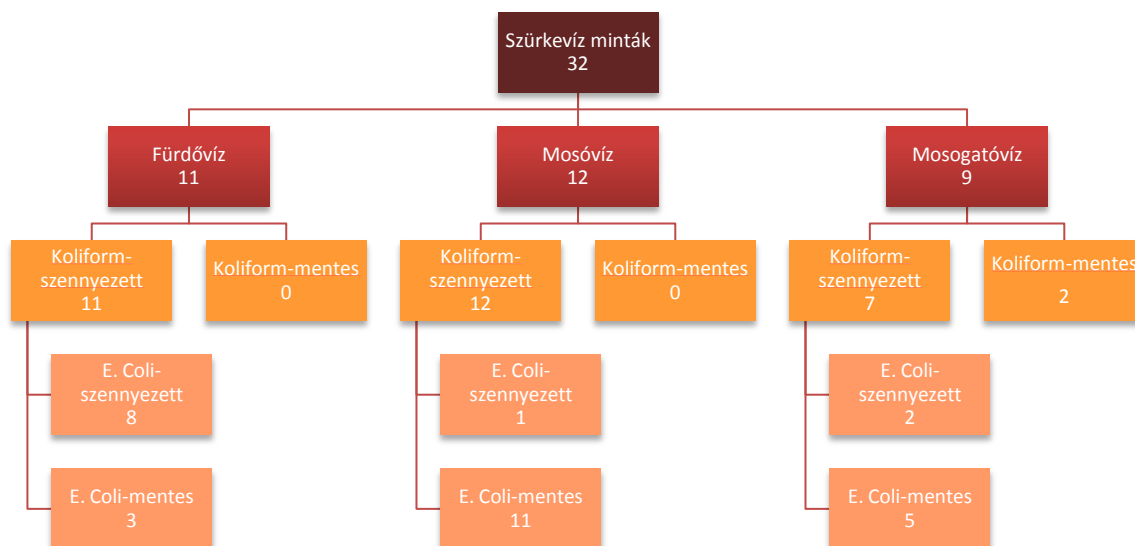
| Típus       | Koliform_24 |      | Koliform_72 |      | E.coli_24 |      | Összcsíraszám_72 |      |
|-------------|-------------|------|-------------|------|-----------|------|------------------|------|
|             | 18 h        | 24 h | 18 h        | 72 h | 18 h      | 24 h | 48 h             | 72 h |
| Fürdővíz    | 4,9         | 5,3  | 4,6         | 4,7  | 2,3       | 2,5  | 5,1              | 5,6  |
| Mosóvíz     | 4,5         | 4,7  | 4,0         | 4,9  | 0,2       | 0,2  | 5,6              | 5,9  |
| Mosogatóvíz | 3,9         | 4,0  | 3,6         | 3,9  | 0,4       | 0,4  | 4,6              | 5,1  |
| Csapvíz     | 0,7         | 0,9  | 0,0         | 0,9  | 0,0       | 0,0  | 1,7              | 2,6  |

Az 5. ábrán megfigyelhető, hogy a csapvíz minták kis mértékben tartalmaznak koliform baktériumokat, 0,9 lgCFU/ml mennyiségben. Ahogy az elvárás is az ivóvíz-előállításnál, *E. coli* nem volt kimutatható a csapvíz mintákból.



5. ábra: Szürkevíz és csapvíz minták mikrobiális terheltségének összehasonlítása

Összességében tehát elmondható, hogy a 11 fürdővízminta mindegyikében detektálható volt koliform-szennyezés, ezen belül 8 mintában *E.coli* baktériumot is kimutattam (6. 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.



6. ábra: Szürkevíz minták szennyezettségének eloszlása

## 4.2. Szürkevíz minták általános kémiai vizsgálata

A 7. táblázatban látható, hogy a szürkevizek kémhatása átlagosan 7,7, tehát enyhén lúgos, amit a mosó- és mosogatószeres okoznak. A zavarosság értéke a szürkevizekben 360 NTU, ezen belül a mosogatóvizekben a legmagasabb, 672 NTU.

A mosó- és mosogatóvizekben a sótartalom kiemelkedően magas, 0,7 és 0,4 g/l, amit a mosó- és mosogatószeres magas sótartalma okoz. Mivel annál nagyobb a vezetőképesség, minél több a vízben lévő sók, savak és lúgok mennyisége, így nem meglepő, hogy a vezetőképességük is igen magas, 1744 és 1238  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

7. táblázat: Szürkevíz és csapvíz kémiai paraméterei

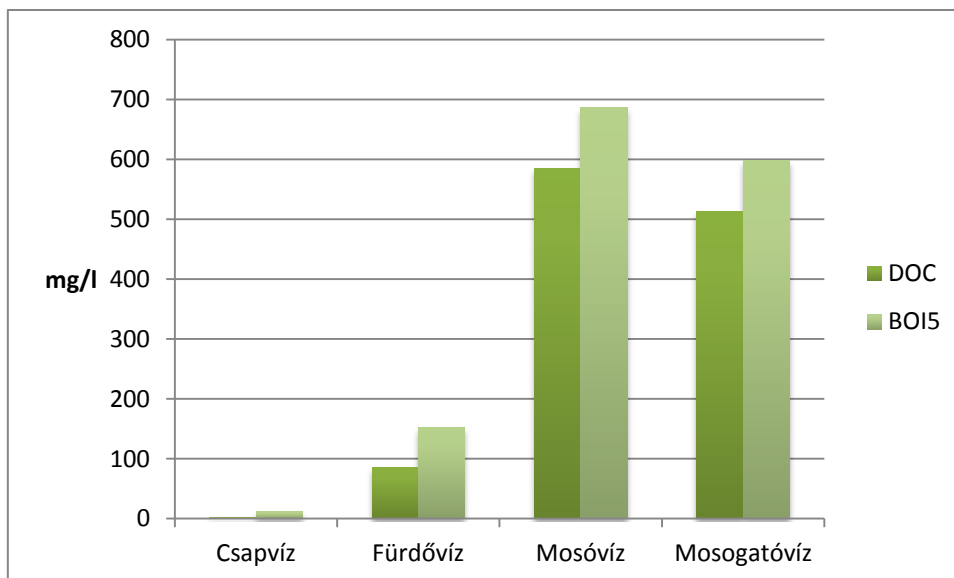
|                 | pH  | Zavarosság<br>(NTU) | redoxi<br>feszültség<br>(mV) | Vezetőképesség<br>( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | sótartalom<br>(g/l) | DOC<br>(mg/l) | BOI <sub>5</sub><br>(mg/l) |
|-----------------|-----|---------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|---------------|----------------------------|
| csapvíz         | 7,5 | 0,3                 | -26,7                        | 563,6                                         | 0,0                 | 2,9           | 12,2                       |
| fürdővíz        | 7,5 | 75,7                | -31,0                        | 654,5                                         | 0,1                 | 85,5          | 152,3                      |
| mosóvíz         | 7,9 | 333,3               | -51,0                        | 1744,1                                        | 0,7                 | 585,5         | 686,7                      |
| mosogatóvíz     | 7,8 | 672,1               | -45,9                        | 1238,2                                        | 0,4                 | 513,4         | 598,2                      |
| Szürkevíz átlag | 7,7 | 360,3               | -42,6                        | 1212,3                                        | 0,4                 | 394,8         | 479,1                      |

## 4.3. Szerves anyag tartalom

A 43 szürkevíz mintában a BOI eredmények átlaga közel 500 mg/l, a DOC-átlag közel 400 mg/l.

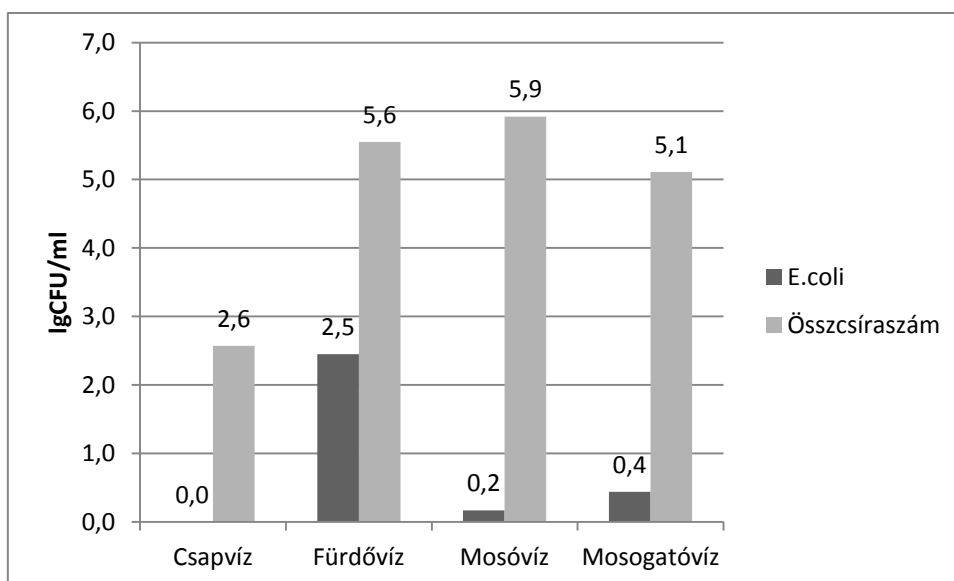
A 7. ábrán jól látható, hogy a minták biológiai oxigénigénye és oldott szerves széntartalma nagy hasonlóságot mutat, ami érthető is, hisz mindkét paraméter a minta szerves anyag tartalmára utal.

A minták szórása viszont rendkívül nagy, míg a fürdővizekben az oldott szerves széntartalom 86 mg/l, addig a mosóvizekben 586 mg/l, a mosogatóvizekben, pedig 513 mg/l.



7. ábra: Biológiai oxigénigény és oldott szerves széntartalom az egyes szűrkevíz mintákban

A mosó- illetve mosogatóvizeknél volt a legmagasabb a szerves anyag tartalom, BOI eredményük 687 és 598 mg/l. Ezen szűrkevíz típusokban magas összcsíraszám volt kimutatható, 5,9 és 5,1 lgCFU/ml (8. ábra). Ugyanez azonban nem mondható el a fürdővizekről, melyek összcsíraszámuk szintén 5 lgCFU/ml feletti, azonban a szerves anyag tartalma jóval alacsonyabb, BOI értékük csak 100 mg/l körül volt. Az alacsony szerves anyag tartalom tehát nem feltétlenül jelenti azt, hogy alacsony a mikrobiális terheltsége a vizsgált mintának.



8. ábra: Összcsíraszám és *E. coli* baktérium mennyisége a szűrkevízben

## 5. Következtetések, javaslatok

Eredményeim alapján megállapítható, hogy a mosó- és mosogatóvíz tulajdonságaik alapján számos paraméter tekintetében nagy hasonlóságot mutat. Mindkét minta összcsíraszám 5 lgCFU/ml feletti, *E. coli* terheltségük 0,2 és 0,4 lgCFU/ml. Általános kémiai paramétereik közül kiemelném a pH-t, mely a mosóvizekben átlagosan 7,9 a mosogatóvizekben pedig 7,8. Ezen kívül DOC értékük is hasonló, 500-600 mg/l közötti.

A fürdővíz több szempontból is eltér a másik két szürkevíz forrástól. Szerves anyag tartalma lényegesen kisebb (100 mg/l körüli), mint a mosó- és mosogatóvíz mintáknak. Ugyanakkor az *E. coli* baktérium jelenléte a fürdővizekben a legjelentősebb (2,5 lgCFU/ml). Ezáltal elmondható, hogy a fürdésből eredő szürkevíz egészségügyi szempontból potenciális veszélyforrást jelenthet.

A csapvíz minták is tartalmaztak mikroorganizmusokat, a minták összcsíraszám 2,6 lgCFU/ml volt, illetve kis mennyiségben koliform baktériumok is jelen voltak, de *E. coli* szennyeződés egyetlen mintában sem volt kimutatható.

Az eredmények azt mutatják, hogy a fürdővíz kevésbé szennyezett mind kémiai és biológiai szempontból, így e szürkevíz forrásból származó víznek a kezelése és újrafelhasználásra való alkalmasságát lényegesen egyszerűbb eljárásokat kíván, mint a mosó, illetve mosogatóvízből származó szürkevizeké.

Ahhoz, hogy még pontosabban össze lehessen hasonlítani az egyes szürkevíz minták vizsgált paramétereit, mindenképpen szükséges a mintavételről több háttér információt gyűjteni. Vizsgálataim során a beérkezett szürkevíz mintákat három fő kategóriába soroltam: fürdés, mosás, mosogatás. Az eredmények alapján látszik, hogy az egyes kategóriákba tartozó minták eredményei között nagy eltérések vannak, ezért szükség lenne arra, hogy e három fő kategórián belül alkategóriákba tudjuk sorolni a mintákat.

Ennek megvalósításához azonban további információkra van szükség a minták eredetét illetően. Fürdővíz esetén tudnunk kell, hogy a minta kézmosásból, tusolásból, vagy kádban való fürdésből származott, hogy milyen tisztálkodási szereket használtak, illetve hogy kisgyermek vagy felnőtt fürdött-e. Mosásból származó víz esetén meg kellene határozni, hogy milyen jellegű ruhanemű (fehérenemű, erősen szennyezett ruhanemű, pelenka) volt mosva, ehhez milyen mosószert használtak, hogy használnak-e öblítőt, illetve hogy milyen hőfokon és milyen programmal történt a mosás. A mosogatóvizek esetén kézi vagy gépi mosogatásból történt a mintavétel, a mosogatás milyen hőfokon, milyen alkalmazott tisztítószer segítségével történt, illetve hogy az edények ételmaradékkal milyen mértékben voltak szennyezettek.

A mikrobiológiai tesztekkel végzett vizsgálatok tapasztalatai alapján megállapítható, hogy az általam használt tesztek könnyen használhatóak és alkalmasak mikrobiális szennyezettség kimutatására. A tesztek eredményei alapján nagyságrendileg értékelhető az egyes forrásokból származó szürkevíz minták terheltsége. Az előbb említett előnyök mellett azonban tisztában kell lennünk azzal, hogy ezen tesztek eredményeinek a megbízhatósága korlátozott és mindenképpen szükséges a mikrobák hagyományos táptalajon való tenyésztése is.

## 6. Összefoglalás

Az utóbbi években megnőtt az érdeklődés a szürkevíz újrahasznosítása iránt, mivel igen sok területen okoz problémát a kevés csapadék és az általános vízhiány. Számos kutató foglalkozik a szürkevíz újrahasznosításának lehetőségével, illetve a megfelelő kezelési technológia kidolgozásával. Ugyanakkor a szürkevíz paraméterei rendkívül eltérőek lehetnek, még az azonos forrásból származó minták esetében is.

Vizsgálataim során az Északkelet-Magyarországi régió szürkevizeinek mikrobiológiai minőségét elemeztem. A mikrobiológiai vizsgálatokon kívül mértem az oldott szerves szénttartalmat (DOC), biológiai oxigénigényt (BOI), illetve zavarosságot, pH-t, redoxi potenciált, sótartalmat és fajlagos vezetőképességet.

A vizsgált minták baktérium terheltsége átlagosan  $10^5$  és  $10^6$  CFU/ml között volt. A szürkevíz mintákról általánosságban elmondható, hogy magasabb szerves anyag tartalmú mintákban magasabb összcsíraszámot és koliform baktériumot találtam.

Az *E. coli* szennyezés elsősorban a fürdővizekben volt kimutatható ( $2,5 \lg\text{CFU/ml}$ ), de egyes minták esetében nyomokban mind a mosó mind a mosogatóvízben találtam *E. coli* szennyezést. Ez mosóvíz esetén főként fehérneműk mosásából származhat, míg a mosogatóvizekbe valószínűleg kézi mosogatás során kerülhetett.

Vizsgálataim során a szürkevíz mintáknál megállapított magas mikrobiális terheltség és magas szerves anyag tartalom miatt az újrafelhasználás előtt a szürkevíz kezelése elengedhetetlen.

A jövőben szeretném az eddigi eredményeimet még jobban alátámasztani több minta vizsgálatával, illetve szeretnék részletesebb háttér információt szerezni a szürkevíz mintákról. Emellett nem csak gyorsesztekkel, hanem hagyományos módszerrel is szeretném a mikrobiológiai minőséget meghatározni.

## **7. Köszönetnyilvánítás**

Ezúton szeretném megköszönni azoknak, akik segítségemre voltak a szürkevíz minták összegyűjtésében és hozzájárultak ahhoz, hogy kellő számú és különböző forrásokból származó mintákat tudtam elemezni.

Köszönöm Dr. Bodnár Ildikó tanszékvezető asszonynak, hogy lehetővé tette, hogy a minták vizsgálatát a Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék Vízhőszámszabványlaboratóriumában végezzem el.

Szeretném megköszönni konzulensemnek, Dr. Boros Norbertnek a dolgozat megírásában és a vizsgálatok elvégzésében nyújtott segítségét.

Az analitikai vizsgálatok elvégzését a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0041 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## 8. Irodalomjegyzék

- [1] Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A. (2002): Characteristics of grey water, *Urban Water* 4, 85-104
- [2] Karpiscak, M. M., Foster, K. E., Schmidt, N. (1990): Residential water conservation: Casa Del Agua, *Water Research* 26 (6), 939-948.
- [3] Okun, D. A. (1997). Distributing reclaimed water through dual systems. *American Water Works Association Journal* 89 (11), 153-160.
- [4] Santala, E., Uotila, J., Zaitsev, G., Alasiurua, R., Tikka, R. and Tnegvall, J. (1998): Microbiological greywater treatment and recycling in an apartment building. In: AWT98 - Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse: Milan, 14–16 September 1998, 319–324.
- [5] Lu, W., Leung, A.Y.T. (2003): A preliminary study on potential of developing shower/laundry wastewater reclamation and reuse system, *Chemosphere* 52, 1451-1459.
- [6] Otterpohl, R., Albold, A. and Olgenburg, M. (1999): Sources control in urban sanitation and waste management: Ten systems with reuse of resources, *Water Science and Technology* 39 (5), 153–160.
- [7] Nolde, E., Dott, W. (1991): Verhalten von hygienisch relevanten Bakterien und Pilzen im Grauwasser-Einfluss der UV-Desinfektion und Wiederverkeimung, *gwf Wasser Abwasser* 132 (3), 108-114.
- [8] Nolde, E. (1999), Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings-over ten years experience in Berlin, *Urban Water* 1, 275-284
- [9] Winward, G. P., Avery, L. M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., Jefferson, B. (2008): A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse, *Ecological Engineering* 32 187-197.
- [10] Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., Judd, S.J., (2004): Greywater characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse, *Water Science and Technology* 50 (2), 157-164.
- [11] Metcalf and Eddy, Inc., (2003) In: Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (Eds.), *Wastewater Engineering-Treatment, Disposal and Reuse*, fourth ed. McGraw-Hill, New York
- [12] Pidou, M., Avery, L., Stephenson, T., Jeffrey, P., Parsons, S. A., Liu, S., Memon, F. A., Jefferson, B. (2008): Chemical solutions for greywater recycling, *Chemosphere* 71, 147-155.
- [13] O'Toole, J., Sinclair, M., Malawaraarachchi, M., Hamilton, A., Barker, S.F., Leder, K. (2012): Microbial quality assessment of household greywater, *Water Research* 46:4301-4313.

- [14] Ottoson, J., Stenström, T. A., (2003): Faecal contamination of greywater and associated microbial risks, *Water Research* 37:645-655.
- [15] Schönning, C, Leeming, R, Stenström, TA. (2002): Faecal contamination of source-separated human urine based on the content of faecal sterols, *Water Research* 36:1965-72.
- [16] Cogan, T. A., Bloomfield, S. F., Humphrey, T. J. (1999) The effectiveness of hygiene procedures for prevention of cross-contamination from chicken carcasses in the domestic kitchen, *Letters in Applied Microbiology* 29:354-8.
- [17] Manville, D., Kleintop, E., Miller, B., Davis, E., Mathewson, J., Downs, T. (2001): Significance of indicator bacteria in a regionalized wastewater treatment plant and receiving waters, *International Journal of Environment and Pollution* 15 (4), 461-6.
- [18] Bíró, G., Szita, G. (2006): Élelmiszer-mikrobiológia, élelmiszer-higiénia, FVM Képzési és Szaktanácsadási Intézet, Budapest, ISBN 963 9107 70 0.
- [19] Biró, S., Hornok, L., Kevei, F., Kucsera, J., Maráz, A., Pesti, M., Szűcs, Gy., Vágvolgyi, Cs. (2001): Általános mikrobiológia /Szerk. Pesti Miklós/, Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, ISBN 963 9123 71 4.
- [20] Ferenczy, L., Zsolt, J. (1982): Mikrobiológia: egységes jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest.
- [21] Jurányi, R., Vogronics, P-né(2002): Mikrobiológiai és parazitológiai gyakorlatok, Medicina Könyvkiadó Rt., Budapest, ISBN 963 242 681 9.
- [22] Papp, J. (2009): Általános mikrobiológia I., Kriterion Könyvkiadó, Kolozsvár.
- [23] Varga, E., Garay, F. (1999): Környezatkémiai analitika- környezettechnológia praktikum, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, ISBN 963 463 245 9.
- [24] Gergely, L. (1999): Orvosi mikrobiológia, Semmelweis Kiadó, Budapest, ISBN 963 8154 93 4.
- [25] Pál, T. (2012): Az orvosi mikrobiológia tankönyve, Medicina Könyvkiadó Zrt, Budapest, ISBN 978 963 226 353 3.
- [26] Ockerman, C. (2012): The debate: Coliforms, Fecal coliforms, and Enterobacteriaceae as Indicator Organisms  
<http://www.mybiolumix.com/the-debate-coliforms-fecal-coliforms-and-enterobacteriaceae-as-indicator-organisms/> letöltve: 2013.11.09.
- [27] Cornell University, Department of Food Science: Coliform Bacteria-Indicators in Food & Water, Dairy Foods Science Notes, Version 09-29-07.  
<http://foodscience.cornell.edu/cals/foodsci/extension/upload/CU-DFScience-Notes-Bacteria-Coliform-Indicators-09-07.pdf> letöltve: 2013.11.09.

- [28] Barcs., I. (2007): Mikrobiológia, Debreceni Egyetem Egészségügyi Főiskolai Kar, Nyíregyháza.
- [29] Vogronics, P-né (2001): Általános mikrobiológia, főiskolai jegyzet, Semmelweis Egyetem Egészségügyi Főiskolai Kar, Budapest.
- [30] D. Tóth, F. (2006): Általános mikrobiológia I. kötet: Bakteriológia, Debreceni Egyetem, Debrecen
- [31] Reinert, R. R. (2007): Rapid streptococcal antigen detection tests, Journal of Laboratory and Clinical Medicine, 31:280-293.
- [32] Merck Microbiology Manual, 12th Edition, 597-607.
- [33] R-Biopharm AG An der neuen Bergstraße 17 D-64297 Darmstadt, [http://www.shp.hu/hpc/userfiles/r-biopharm/r1001\\_r1010\\_hu.pdf](http://www.shp.hu/hpc/userfiles/r-biopharm/r1001_r1010_hu.pdf) letöltve: 2013.11.06
- [34] AQUA-TERRA Lab Kft., <http://www.aquaterra.hu/comapct-dry-gyorsteszt/649-compact-dry-tc.html> letöltve: 2013.11.06.
- [35] TRANSIA GmbH Germany: Hygiene Monitor für die mikrobiologische Hygieneuntersuchung, Dieselstraße 9A - 61239 Ober-Mörlen.
- [36] Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T., Judd, S. (1999): Technologies for domestic wastewater recycling, Urban Water, 1, 285-292.
- [37] Bodnár, I. (2011): Vízgazdálkodás- és vízminőségvédelem II. oktatási segédlet a laboratóriumi gyakorlathoz, DE- MK, Debrecen.
- [38] Lőrinczy, L., Székely, E. (2005): Orvosi Mikrobiológia, Általános bakteriológia, Marosvásárhelyi Orvosi és Gyógyszerészeti Egyetem. <http://materiale-studiu.microumftgm.ro/Medicina%20general%20-%20SM/Bakteriologia/Books/Altalanos%20bakteriologia.pdf> letöltve: 2013.11.09.

## 9. Ábrajegyzék

|                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ábra: Napi vízhasználat (l) [forrás: <a href="http://www.asio.cz/fr/192.greywater-and-rainwater-recovery-in-buildings">http://www.asio.cz/fr/192.greywater-and-rainwater-recovery-in-buildings</a> ] ..... | 4  |
| 2. ábra: Enterobaktériumok családja .....                                                                                                                                                                     | 8  |
| 3. ábra: Mikrobiológiai vizsgálati módszerek csoportosítása .....                                                                                                                                             | 12 |
| 4. ábra: Eredmények értékelését segítő ábra (forrás:[35]) .....                                                                                                                                               | 22 |
| 5. ábra: Szürkevíz és csapvíz minták mikrobiális terheltségének összehasonlítása.....                                                                                                                         | 25 |
| 6. ábra: Szürkevíz minták szennyezettségének eloszlása .....                                                                                                                                                  | 25 |
| 7. ábra: Biológiai oxigénigény és oldott szerves széntartalom az egyes szürkevíz mintákban .....                                                                                                              | 27 |
| 8. ábra: Összcsíraszám és E. coli baktérium mennyisége a szürkevízben .....                                                                                                                                   | 27 |