

Debreceni Egyetem

Műszaki Kar

Környezetmérnöki Tanszék



Különböző módszerekkel kezelt szintetikus fürdővizek tulajdonságainak és víztoxikológiai hatásának vizsgálata

Készítette: **Pál Krisztina III. éves környezetmérnöki BSc
szakos hallgató**

Belső konzulensek: Dr. Bodnár Ildikó
főiskolai tanár

Izbékiné Szabolcsik Andrea
tanársegéd

Tanszékvezető: Dr. Kocsis Dénes László

Debrecen

2021.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés, célkitűzések	4
2.	Szakirodalmi áttekintés.....	6
2.1.	A háztartásban keletkező szennyvizek.....	6
2.1.1.	A szürkevizek	6
2.1.2.	A szürkevizek csoportosítása.....	6
2.1.3.	A szürkevizek újrafelhasználása.....	7
2.1.4.	A fürdővíz.....	8
3.	Anyag és módszer.....	8
3.1.	A vizsgálatok során használt szintetikus fürdővíz és annak elemzése	8
3.2.	Kezelési módszerek	9
3.2.1.	Koagulálás vas(III)-kloriddal (FeCl_3).....	10
3.2.2.	A kvarchomok (SiO_2) szűrőközeg	11
3.3.	Mérőeszközök, berendezések ismertetése	12
3.3.1.	A pH mérése és elméleti háttere	12
3.3.2.	A zavarosság mérése	13
3.3.3.	Zéta- potenciál és fajlagos vezetőképesség mérése	13
3.3.4.	Biológiai oxigénigény mérése	14
3.3.5.	Összes szerves széntartalom mérése.....	15
3.3.6.	ANA detergens meghatározása	16
3.3.7.	Elemtartalom mérése	19
3.3.7.1	Roncsolás	19
3.3.7.2	Eredmény kiszámítása.....	23
3.3.8.	Fehérmustármag csíráztatása	23
3.3.8.1	Öntözővíz minősítés.....	24
3.3.8.2	Csíranövények minősítése.....	25
4.	Eredmények és értékelésük	26
4.1.	Szintetikusan előállított fürdővíz vizsgálati eredmények	26

4.2.	Térfogat növelési kísérletek.....	27
4.3.	Koagulációs kísérletek vas(III)-kloriddal	27
4.3.1.	Optimális hatóanyag meghatározás	28
4.3.2.	Térfogat növelési kísérletek a koaguláció kapcsán	29
4.4.	A komplex kezelési módszer eredményei.....	30
4.5.	A szintetikus úton előállított öntöző vizek hatása a növényi csírákra	32
4.5.1.	A csírákísérletek eredményei.....	32
4.5.1.1	Kicsírázott magvak száma.....	33
4.5.1.2	A kicsírázott magvak színmegoszlása.....	34
4.5.1.3	A gyökér, - illetve szárhossz	35
4.5.1.4	A nedves- és száraz biomassa tömeg, nedvességtartalom.....	36
4.5.1.5	Elemtartalom mérés eredményei	38
4.5.2.	A szintetikus úton előállított öntöző vizek paramétereinek változása a tárolás hatására	40
5.	Következtetések, javaslatok.....	44
6.	Összefoglalás	45
7.	Köszönetnyilvánítás	47
8.	Irodalomjegyzék	48
9.	Ábrajegyzék.....	50
10.	Melléklet.....	52
10.1.	Kvarchomokon szűrt szintetikus fürdővízzel történő csíráztatás (ivóvíz, kezeletlen fürdővíz, kezelt fürdővíz).....	52
10.2.	Komplex eljárással kezelt szintetikus fürdővízzel történő csíráztatás (ivóvíz, kezeletlen fürdővíz, kezelt fürdővíz).....	53

1. Bevezetés, célkitűzések

Földi létünk fenntartásához számos feltétele szükséges, azonban az egyik legfontosabb alapfeltétel a víz [1]. A Föld alapterületének kétharmadát víz borítja, azonban ennek csak közel 3%-a hasznosítható emberi fogyasztásra, mint édesvíz, viszont ennek a 3%-nak is a 90%-a az Antarktison található jég formájában. A maradék 97%-os hányad - a tengerek, óceánok vizei - fogyasztásra alkalmatlan pl. a magas sótartalom miatt [2].

Hazánkban az ivóvízhiány kérdése nem jelent számottevő problémát, mivel országunk megfelelő vízkészlettel rendelkezik, ezzel ellentétben a világ egyre jelentősebb területén küzdenek ivóvízhiánnyal. Kifejezetten kritikus területek közé sorolható Afrika és a Közel-Kelet.

A probléma kezelésére vannak már jól működő technológiák, viszont ezek általában igen költségesek, lásd. membránszeparációs megoldások, amely során a sótartalmat pl. fordított ozmózzissal alkalmas membránon keresztül távolítják el a tengervizekből vagy pl. az ún. flash desztilláció, amely a termikus eljárásen alapszik.

Magyarország vízben bővelkedő területen fekszik, azonban nyáron a nagy kánikula hatására már az idei (2021) évben is több településen vezettek be I. fokozatú vízkorlátozó intézkedéseket az ivóvízzel történő öntözést, autómosást és a medencék feltöltését illetően [3]. Ezentúl a 2021-ben már Angliában és Németországban is szükséges volt korlátozni a vízfogyasztást, az alacsony csapadékmennyiség miatt [4].

A költséges kezelésekkel ellentétben már számos alternatív megoldás létezik, mint például a csapadékvízzel vagy kútvízzel való öntözés, azonban ezek a vízgyűjtési formák nem minden esetben állnak a rendelkezésünkre kellő mennyiségben. A természetben keletkező vizekkel ellentétben a hétköznapiakban termelődő használt víz/szennyvíz, viszont szinte állandó mennyiségben áll a rendelkezésünkre, továbbá a szennyvíznek a kevésbé terhelt frakciója a szürkevíz, jó alternatívát jelenthet, mivel könnyen kezelhető és újrahasznosítható, olyan tevékenységre, amelyek nem igénylik ivóvíz minőségű víz alkalmazását. Ilyen tevékenység például a WC-öblítés vagy az öntözés.

Kutatásom során a szürkevizek legkevesbé terhelt frakciójának, a fürdővizeknek a kezelésével és öntözés célú újrahasznosításával foglalkozom. Korábbi munkám során egyszerű kezelést (kvarchomokon történő szűrést) alkalmazva tisztítottam a szintetikusan előállított fürdővizeket, mint állandó összetételű modellvizeket, majd víztoxikológiai

vizsgálatokat végeztem szabványban előírt magvakon (fehérmustár mag) az öntözési lehetőségek tanulmányozására. A kutatásom jelenlegi fázisában vegyszeres (koagulációs-flokkulációs) kezeléssel kiegészített módszert alkalmaztam, mivel a csak szűrést használó módszer nem bizonyult elég hatékonynak az előírt vízminőségi paraméterekre nézve. Kombinált kezelési módszert használva (koaguláció-flokkuláció és szűrés) a kezelt fürdővizek hatásának elemzésére újabb víztoxikológiai vizsgálatokat is végeztem. Kutatásom célja továbbra is az volt, hogy egy olyan megoldást teszteljek és fejlesszek, amivel a visszanyert szürkevíz öntözési célú alkalmazása megalapozható. Munkám során az ún. modell szintetikus fürdővíz minták jól reprezentálták a hétköznapi életben keletkező háztartási fürdővizeket, továbbá az újonnan alkalmazott koagulációs-flokkulációs kezelés esetén meghatároztam az optimális kezelőszer mennyiségét is. Jelen dolgozatomban kiemelt célja az egyszerűbb kezelési módszer (kvarchomok rétegen való szűrés) és a kétlépcsős kezelés (koaguláció-flokkuláció és kvarchomok rétegen történő szűrés) hatékonyságának összehasonlítása és a növényekre gyakorolt hatásának tanulmányozása.

A szürkevizek potenciális kezelése és újrahasználata megfelelő alternatív vízforrás lehet a jövőben, ezért fontosnak tartom a téma folyamatos kutatását és fejlesztését. A jövő környezetmérnökeként elhivatottan állok a feladatok előtt, ezzel is hozzájárulva egy víztakarékosabb jövőhöz, amelyet mi teremtünk meg önmagunknak.

2. Szakirodalmi és jogszabályi áttekintés

2.1. A háztartásban keletkező szennyvizek

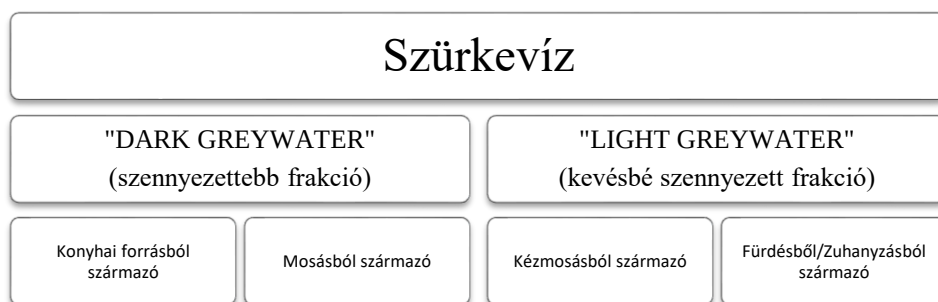
Mindennapi tevékenységeink során több típusú szennyvíz keletkezik a háztartásainkban. A szennyvizet két alcsoportra bonthatjuk a fekete vizekre és a szürkevizekre. A fekete víz a terheltebb, amely a WC-k öblítése során keletkező vizet tartalmazza. A szürkevizek olyan háztartási tevékenységeink során keletkeznek, mint a mosás, mosogatás, illetve a tisztálkodás (fürdés és kézmosás) és ezek a frakciók kevésbé terheltek.

2.1.1. A szürkevizek

A szürkevizeknek nevezzük azokat a szennyvíz frakciókat, amely a háztartási tevékenységeink során keletkeznek pl. mosogatás, a mosás és a tisztálkodás. A szürkevizek a mindennapi tevékenységeink során keletkező szennyvizek 80%-át képezik [5].

2.1.2. A szürkevizek csoportosítása

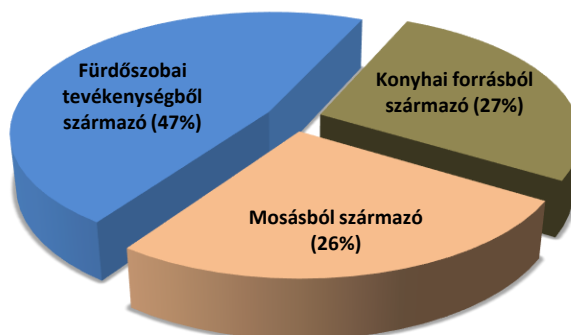
A szürkevizet többféle szempont rendszer alapján csoportosíthatjuk. Dolgozatomban a két fő csoportosítási szempont a terheltség és a keletkező mennyiség. Terheltségüket illetően, a mosogatás során keletkező vizek a vízbe kerülő ételmaradékok, zsírok és olajok miatt a legszennyezettebbek; a mosás során különböző detergensok (felület aktív anyagok) és szennyeződések, szövetdarabok kerülnek a vízbe. A fürdés és kézmosás során az emberi bőrről és a tisztálkodószerekből különböző szennyeződések és detergensok kerülnek a vízbe, ez a frakció a legkevésbé terhelt. A szürkevizek terheltség szerinti csoportosítását az 1. ábra mutatja be [5].



1. ábra Szürkevizek csoportosítása szennyezettség alapján [5]

A háztartásokban képződő szürkevizek mennyiségét a 2. ábra szemlélteti, miszerint a legnagyobb mennyiségben a fürdőszobai tevékenységek során keletkezik a szürkevíz

(47%), majd ezt követi a konyhai forrásból (27%) és a mosásból származó (26%) szürkevíz frakció [6].



2. ábra Szürkevizek csoportosítása a keletkezett mennyiség alapján [6]

2.1.3. A szürkevizek újrafelhasználása

A szürkevizeket kezeletlen és kezelt formában is újrahasznosíthatjuk, azonban kezeletlen formában az újrahasználat számos problémát idézhet elő. Ennek főbb oka a szürkevíz frakcióban jelenlévő szennyeződések és különböző patogén szervezetek (pl. baktériumok) jelenléte.

A felhasználás kapcsán olyan tevékenységek említhetők meg, amelyek nem igénylik az ivóvíz minőségű víz alkalmazását. Ilyen például a WC-öblítés és az öntözés. A kezeletlen szürkevíz lerakódásokat okozhat a WC-csészékben és a csövekben, míg a növények esetében felhalmozódás történhet.

A fentiek ellenére világszerte több helyen alkalmazzák a szürkevizeket, mint öntözővíz kezeletlen formában, mint például Dél-Afrika, Szíria és Ausztrália területén. Különböző vizsgálatokban megfigyelték, hogy a kezeletlen fürdővíz milyen hatással van a növényekre. A mángold és a paradicsom esetén jelentősebb változás nem figyelhető meg, addig a sárgarépa esetében felgyorsul a növekedés mértéke a többlet mikro- és makroelem tartalom kapcsán [7].

Vizsgálataimban az öntözés alapú hasznosítást fogom a korábbi munkámhoz hasonlóan részletezni, továbbá fontosnak tartom ún. víztoxikológiai vizsgálatok elvégzését is, mivel a felhalmozódás expozíciós időtől függően komoly problémákat is jelenthet az emberi és egyéb szervezetekre nézve.

A szürkevíz újrahasználatát illetően Magyarországon még nincs hatályban lévő szabályozás, azonban nemzetközi szakirodalmakban számos ajánlás érhető el. Az Egyesült Államokban 2012-ben az EPA (Environmental Protection Agency) kiadott egy útmutatót a szürkevizek újrahasználatára vonatkozóan. Két minőségi paramétert emelnek ki benne: a biológiai oxigénigényt (BOI_5), amelyet maximum 10 mg/l koncentrációban határoznak meg, illetve a zavarosságot, mely átlagban 2 NTU lehet, vagy maximum az 5 NTU értéket érheti el.

Kutatásomban ezeket az ajánlásokat vettem figyelembe és kiemelt figyelmet fordítottam az előírt vízminőségi jellemzők vizsgálatára.

2.1.4. A fürdővíz

Kutatásom alapját a legkevésbé terhelt szürkevíz frakció képezi, a fürdővíz. Összetételét illetően különböző szennyeződések és a detergensek találhatók meg benne. A szennyeződések általában zsírok és olajok formájában vannak jelen, míg a detergensek a tisztálkodószerek használatával kerülnek bele a frakcióba. Vizsgálataimban állandó összetételű fürdővizet alkalmazok, mely növényi olajat és tápanyagot tartalmaz, amelyek a fürdővízbe kerülő szennyeződések reprezentálják, míg a tisztálkodószerekből vízbe kerülő detergenseket tusfürdő és sampon segítségével juttattam a fürdővízbe.

Az egy főre jutó napi szürkevíz kibocsátás Magyarországon kb. ~70-75 literre tehető, ennek közel 47%-át a fürdőszobai tevékenységek során keletkező frakció képezi. Átszámítva ez évente kb. ~12 866 liter/fő vizet jelent, amely egyszerű kezeléssel újrahasznosíthatóvá tehető.

3. Anyag és módszer

3.1. A vizsgálatok során használt szintetikus fürdővíz és annak elemzése

A reprezentálhatóság és a folyamatos nyomon követés érdekében minden új mérés alkalmával friss mintát készítettem.

A szintetikus fürdővizet 1 liter 40°C-os ivóvízben feloldva az alábbi komponensekből készítettem: *sampon* (Syoss Professional Performance, Schwarzkopf & Henkel, Düsseldorf, Germany), *tusfürdő* (Nivea Creme Soft, Beiersdorf AG, Hamburg, Germany), *nutrient broth* (növényi tápleves, Sharlau, Barcelona, Spain) és *kukoricacsíra olaj* (VFI GmbH, Austria). A szintetikus fürdővíz receptúráját jelen tanulmányban nem részletezem. A szintetikus fürdővíz minőségi paramétereiben jól reprezentálja a régiós

szürkevízminták elemzése során elemzett fürdővízfrakció jellemzőit, valamint újszerűsége, hogy a korábbi modellvizekhez képest ugyanazokat a detergenseket tartalmazza, szélesebb körű információkat biztosítva a frakció modellezésére [8].

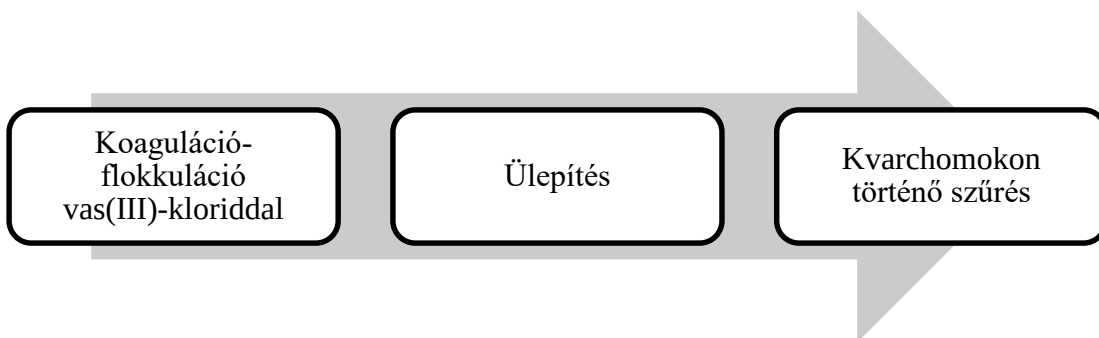
A teljes homogenizálás érdekében fél órán keresztül mágneses keverő alkalmazásával, magas fokozaton kevertettem a mindig frissen készített mintákat. Az alábbi paraméterek vizsgálatának alapján minősítettem a szintetikus fürdővizeket:

- pH-érték,
- zavarosság,
- zéta-potenciál,
- fajlagos elektromos vezetőképesség,
- összes szerves széntartalom (T/DOC),
- biológiai oxigénigény (BOI₅),
- ANA-detergens tartalom.

A felsorolt paraméterek közül kiemelt figyelemmel kísértem a zavarosság és a biológiai oxigénigény értékének változását, a már a szakirodalomban is említett nemzetközi ajánlásokban előírt mutatók követésének érdekében.

3.2. Kezelési módszerek

Korábbi kutatómunkámban kvarchomok rétegen történő szűrést használtam, mint egyszerű kezelési megoldás. A szűrés, mint kezelés - számos vízminőségi jellemző vonatkozásában - önmagában is hatékony megoldás volt, de bizonyos paraméterekre nem mutatott elégséges értékeket. Jelen vizsgálataimban a kezelési módszert kiegészítettem egy koagulációs-flokkulációs kezeléssel. Koagulálószerként vas(III)-kloridot alkalmaztam, melynek segítségével a kolloid mérettartományba eső szennyeződések is eltávolítottam a vegyszeres kezelést követő ülepítéssel és szűréssel. Az alkalmazott komplex kezelési megoldást a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra Az alkalmazott komplex kezelési módszer műveleti megoldásai

3.2.1. Koagulálás vas(III)-kloriddal (FeCl_3)

A koagulációs kezelés során a koagulálószer a vízben hidrolizál, melyhez a szürkevízben található kolloid méretű szennyeződések is hozzátapadtak. A képződött nagyobb pelyhek a sűrűségkülönbség hatására leülepsznek. A flokkuláció egy mechanikai művelet, amely során - az intenzív keverést alkalmazó koagulációval ellentétben - lassú kevertetést alkalmazunk. A lassú kevertetés célja, hogy a képződő kisebb aggregátumok egymáshoz tapadjanak, ezzel elősegítve az ülepíthetővé válásukat, a nagyobb szemcseméret és szemcse sűrűség képződését [9].

A 4. ábrán a koagulációs kezelés fázisai láthatóak.



4. ábra Koaguláció menete [saját fotó]

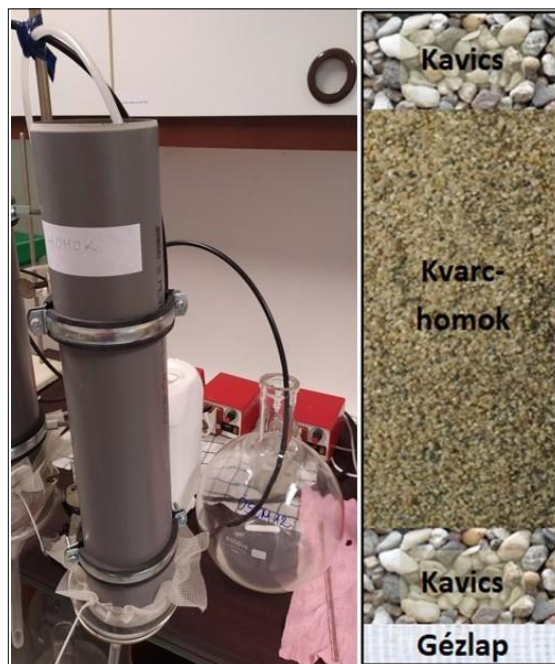
1. fázis: Koaguláció 2. fázis: Ülepítés 3. fázis: Kiülepített minta

A módszer alkalmazásához szükséges volt az optimális hatóanyag (Fe^{3+}) mennyiségének meghatározására, amelyhez koagulációs kísérleteket végeztem. A kísérletek során 100 ml-es térfogatú szintetikus fürdővíz mintákhoz különböző térfogatú vegyszert adagoltam (25 g/l koncentrációjú vas-klorid törzsoldatból), majd 30 másodpercig intenzíven kevertettem, ezután pedig 5 percig ülepítettem. Az ülepítést követően 3 főbb paramétert vizsgáltam a pH-t, a zavarosságot és a zéta-potenciál értékeit.

A léptéknövelés (0,5 liter, 1 liter, 3 liter) során a kevertetési időt a koagulációt illetően 15 percre növeltem, amely során intenzív kevertetést alkalmaztam, majd a 15 perc letelte után 5 perc lassú kevertetés következett a hatékony flokkuláció érdekében. A módosított koagulációs körülményekre a megnövelt mintatérfogat miatt volt szükség.

3.2.2. A kvarchomok (SiO_2) szűrőközeg

Korábbi vizsgálataimhoz hasonlóan jelen kezelési eljárás során is kvarchomokot alkalmaztam szűrőközeggként. Választásom, azért erre a közegre esett, mivel könnyen beszerezhető, költséghatékony és a kis pórusátmérőjének (0,5-1 mm) köszönhetően nagy hatásfokú szűrésre alkalmas. A szűrőközeget durva kavics, kvarchomok és gézlap alkotta egymásra rétegezve, egy nagy átmérőjű műanyag csőben. Az 5. ábrán a szűrőközeg belső és külső felépítése látható.



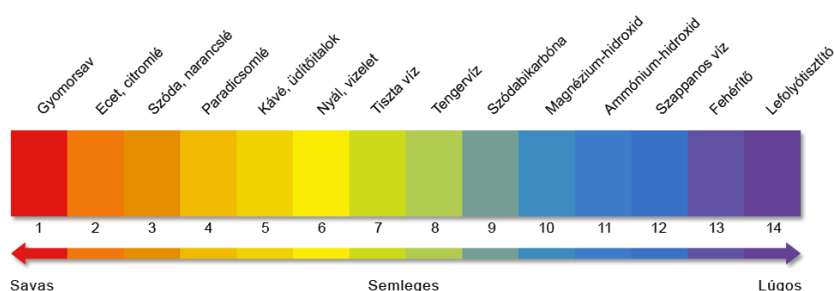
5. ábra: Kvarchomok szűrő felépítése [saját fotó]

A szűrőközeg hatékonyságának biztosítására minden szűrést megelőzően és azt követően 6 l ivóvízzel végeztem mosatást.

3.3. Mérőeszközök, berendezések ismertetése

3.3.1. A pH mérése és elméleti háttere

A pH-érték az oldatban lévő hidrogén-ion koncentráció tízes alapú negatív logaritmusaként adható meg. A pH az oldat kémhatását jelzi számunkra. A definíció alapján számolt érték megmutatja számunkra, hogy a vizsgált anyag savas, semleges, vagy esetlegesen lúgos kémhatású. A 6. ábrán látható pH-skála jól szemlélteti példákkal alátámasztva a pH érték változását a különböző folyadékokban/oldatokban.



6. ábra pH skála példákkal [10]

Egy adott minta minél jobban eltér a pH=7 értéktől, annál agresszívabb. A pH értékek meghatározásához használhatunk pH-papírt, elektrokémiai mérőrendszereket, illetve kolorimetriás módszert is.

A legpontosabb eredményt az elektrokémiai mérések biztosítják, megfelelő elektródák alkalmazásával. „Az elektróda olyan elektrokémiai érzékelő, amely egy mérő- és egy referencia elektródából áll. A mérendő oldat pH-értékének függvényében változik egy membránon a feszültség. A ma használatos elektródák úgy alakultak ki, hogy a 7-es pH értéknél a membránon levő feszültség 0 mV. Minél jobban eltér a mérendő oldat pH értéke a 7-es pH-tól, annál nagyobb a feszültségjel. A pH-mérő műszer ezt a jelet használja fel a pH-érték kiszámítására.

A méréseim során a tanszéki laboratórium MultiLine4 mérőbőröndjében található SenTix 41 kombinált pH elektródát használtam. Az említett eszköz egy kombinált üvegelektroda, ebből adódóan egyidejűleg képes mérni a pH értéket és a redoxifeszültséget is, továbbá a bőrönd tartalmaz még további mérőelektrodákat is, amelyekkel, oldott oxigén koncentrációt, vezetőképességet, sótartalmat és hőmérsékletet is meg lehet határozni.” [6]

3.3.2. A zavarosság mérése

Abban az esetben, ha egy oldatban oldhatatlan részecskék találhatók és azok mozgásának következtében a rajta áthaladó fény elnyelődik, vagy szóródik zavarosságról beszélünk. A zavarosság a szennyeződés mértékére utal. Minél nagyobb a szennyeződés annál nagyobb a zavarossága az adott mintának. A mértéke függ a részecskék mennyiségétől, alakjától, méretétől és összetételétől. Az 1. táblázatban különböző folyadékok átlagos zavarosság értékei láthatók [6].

1. táblázat: Különböző folyadékok zavarosság értékei [6]

Különböző folyadékok jellemző zavarosság értékei	
Folyadék típusa	Zavarosság (NTU)
Ioncserélt víz	0,02
Ivóvíz	0,02-0,5
Forrásvíz	0,05-10
Kezeletlen szennyvíz	70-2000
Papíripari szitavíz	60-800

A méréseimet Turb 555-IR típusú készüléken végeztem. Ez a készülék nagyteljesítményű készüléknek számít, mivel 9 méréstartományban mér (0,0001-10 0000 NTU). A zavarosság mérését nefelometriának nevezzük. A mérés során a beeső fénysugárhoz képest 90°-ban szórt fénysugár intenzitását mérjük. A műszer ún. arány-mérési módszere a különleges minták esetében (lásd. színes és extrém zavaros minták) növeli a pontosságot és a reprodukálhatóságot [6].

A fürdővizek tekintetében az egyik nemzetközi ajánlás a zavarosságra vonatkozik, miszerint a minta zavarossága nem haladhatja meg az 5 NTU értéket és átlagban 2 NTU-nak kell lennie [11].

3.3.3. Zéta- potenciál és fajlagos vezetőképesség mérése

A részecskék stabilitására a töltés hatással van, ebből kifolyólag a részecskék felületi töltöttségének mértékét zéta-potenciálnak nevezzük. Vizes oldatok esetén a töltéssel rendelkező diszpergált részecskéket ellentétes töltésű ionréteg veszi körül, amelyet egy könnyen megbontható réteg követ (ún. Stern-réteg). A két réteget elválasztó határvonalon mV-ban mért potenciált ún. zéta-potenciálnak nevezzük [7].

A fajlagos vezetőképesség értéke jelentősen függ az oldatban jelenlévő kationok és anionok mennyiségétől. Az oldatban lévő ionok mennyisége egyenesen arányos a fajlagos vezetőképességgel, ebből következik, hogy a legtisztább vizek vezetőképessége igen alacsony ($0,05 \mu\text{S}/\text{cm}$), míg az ivóvíz vezetőképessége $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ és $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ közötti tartományba esik [6].

A fentiekben említett két minőségi paramétert a Környezetmérnöki Tanszék laboratóriumában mértem. A mérés során egyidejűleg mértem a két paramétert Zetasizer Nano Z készülék segítségével (lásd 7. ábra). Eredményként 3 párhuzamos mérésből generált átlageredményeket kaptam.



7. ábra Zetasizer Nano Z készülék [12]

3.3.4. Biológiai oxigénigény mérése

„A biológiai oxigénigény az az oldott oxigénmennyiséget jelenti, amely a vízben levő szerves anyagok aerob baktériumok általi lebontásához bizonyos időtartam és hőmérséklet mellett szükséges [6].”

Méréseim alkalmával az 5 napos biológiai oxigénigény meghatározását végeztem el. Ezen paraméterrel a biológiai bontáskor az oldatban lévő vagy abba belekerülő mikroorganizmusok által elhasznált oxigén mennyiséget mérjük, ennek okán biztosítani kell a mikroorganizmusok bontási tevékenységéhez szükséges körülményeket. Ezek a körülmények a következők:

- 5 napos standardizált inkubációs idő,
- állandó standard hőmérséklet (20°C),
- nitrifikációs folyamatok megakadályozása (NTH 600 csepp segítségével).

Méréseimet az OxiTop IS 12 manometrikus BOI mérő készüléken végeztem.



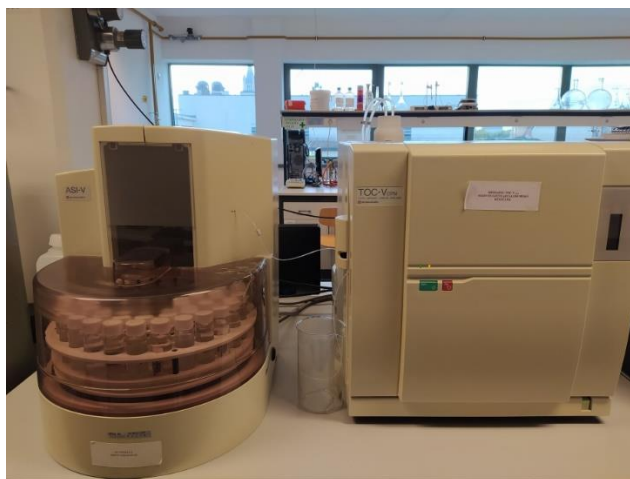
8. ábra OxiTop IS 12 manometrikus BOI mérő készülék [13]

A szennyvízkezelési technológiák ellenőrzésében a BOI mindennapos mérésnek számít, mivel a szerves anyag mennyiségének csökkenéséből a szennyvíztisztítási eljárás hatékonyságára következtethetünk. Az eredményt 5 nap leteltével mg/l értékben kapjuk meg. A BOI_5 kiemelten fontos összegző paraméternek számít a szervesanyag tartalmat illetően a kutatásom során, mivel ez a paraméter van megjelölve ajánlott paraméterként a nemzetközi szakirodalmi ajánlásban. Az ajánlás alapján az értéke nem haladhatja meg a 10 mg/l-t.

3.3.5. Összes szerves széntartalom mérése

„Összes széntartalom: Az összes szerves és szervesetlen széntartalom mennyiségének összegét adja meg, a minta katalitikus oxidációja során képződött szén-dioxid mennyisége alapján [14].”

Kutatómunkám során a szerves anyagtartalmat nem csak a biológiai oxigénigény (BOI_5) mérésével vizsgáltam, hanem azontúl nagyműszeres technikát is alkalmaztam. A Shimadzu TOC- V_{CPN} típusú TOC mérő készülékkel (9. ábra) egy mintát kb. 15 perc alatt sikerült elemeznem, addig a manometrikus mérésen alapuló BOI_5 mérés vizsgálati időszaka 5 nap volt.

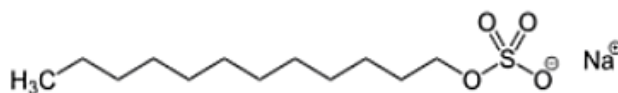


9. ábra Shimadzu TOC-VCPN típusú készülék [saját fotó]

A vizsgálandó vízmintákat szűrőssel készítettem elő a méréshez, amelyhez 0,45 µm pórusméretű membránszűrőt alkalmaztam. A vizsgálatához az NPOC üzemmódot választottam ki. A készülék irányítását és az eredmény kiértékelését a TOC Control-V nevű szoftverrel segítségével kaptam meg.

3.3.6. ANA detergens meghatározása

A detergensok, másnéven felület aktív anyagok számos tisztálkodószerben, illetve mosószerben megtalálhatóak. A felület aktív anyagok feladata a felületi feszültség csökkentése, mivel ezáltal a szennyeződések könnyebben eltávolíthatóvá válnak a felületekről [15]. A detergensok jelentős hatással vannak a növényi szervezetekre, ebből kifolyólag a kutatásom során mély hangsúlyt fektettem a vizsgálatukra. „Az olyan felületaktív anyagokat, amelyek az oldódás következtében negatív töltésű hidrofil csoporttal rendelkeznek anionaktív detergenseknek nevezzük. Az ANA detergensok, a felület aktív anyagok majdnem felét teszik ki, és számos területen alkalmazzák (mosószergyártás, kézmosók, samponok) jó habosító tulajdonságának köszönhetően [16].” A leggyakrabban alkalmazott anionos detergens a nátrium-lauril-szulfát, mely költséghatékony és könnyen elérhető.



10. ábra Nátrium-lauril-szulfát félszerkezeti képlete [17]

Az ANA-detergens meghatározására egy kétfázisú szabványos titrálást alkalmaztam. Gömblombikba 50 cm³ szürkevízmintát pipettáztam, majd fenolftalein indikátort

adagoltam hozzá, a megfelelő pH beállításához. Homogenizálás után halvány rózsaszínűvé vált az minta. Ezt követően 5 ml ún. sav keverék indikátort (dimidium bromid-diszulfín kék) adtam a mintához, majd 10 ml kloroformot. A két fázis a gömblombik lezárt állapotában történő erős rázogató hatására alakult ki gázképződés mellett. Mint a 11. ábrán is jól látszik felül a sárgás vizes fázis, alatta pedig a rózsaszínes kloroformos fázis helyezkedik el.



11. ábra Kétfázisú titrálás kiindulási állapota [saját fotó]

A titráláshoz alkalmazott mérőoldatként $0,002 \text{ mol/dm}^3$ -es Hyamine reagenst (benzetónium-klorid) használtam. Az ekvivalencia pontban a kloroformos fázis színe halványszürkére változott (12. ábra).



12. ábra A két fázis színe az ekvivalencia pontban [saját fotó]

Túltitrált állapotban az alsó kloroformos fázis és a felső vizes fázis is kék, illetve zöldeskék színűvé változik. Ezt a jelenséget a 13. ábra illusztrálja.



13. ábra ANA-detergens titrálás túltitrált állapotban [saját fotó]

Az ANA detergens-tartalom értékét az alábbi képlet segítségével számoltam:

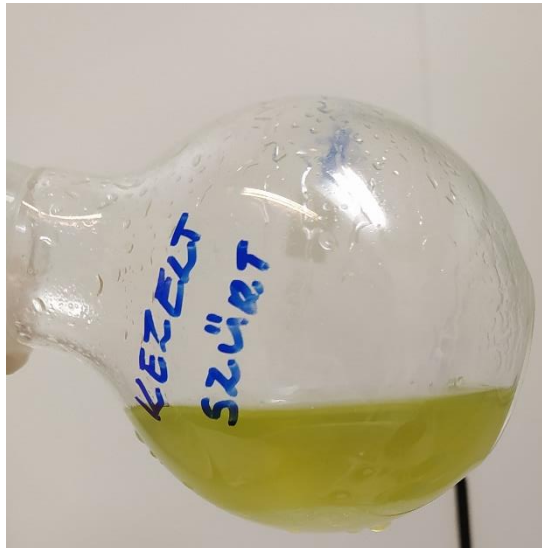
$$ANA = \frac{V_1 * c_1 * M_{Hy} * 1000 * 1000}{1000 * V_2}$$

1. egyenlet ANA-detergens tartalom számítása

ahol,

- ANA: Anionos felületaktív anyag koncentrációja [mg/l],
- V_1 : Hyamine - mérőoldat fogyása a titrálás során [ml],
- c_1 : A mérőoldatok pontos koncentrációja [mol/l],
- M_{Hy} : A Hyamine moláris tömege [448,08 g/mol],
- V_2 : A vizsgálathoz bemért szintetikus szürkevíz minta térfogata [ml] [18].

Az ANA-detergens értékek meghatározását elvégeztem az ivóvíz és a kogulált-flokkulált + kvarchomokrétegen keresztül szűrt szintetikus fürdővízmintákon is. A kezelt szürkevízmintára az ANA-érték 0 volt, igazolva a kezelés eredményességét.



14. ábra Kezelt szintetikus fürdővíz ANA-detergens tartalmának vizsgálata [saját fotó]

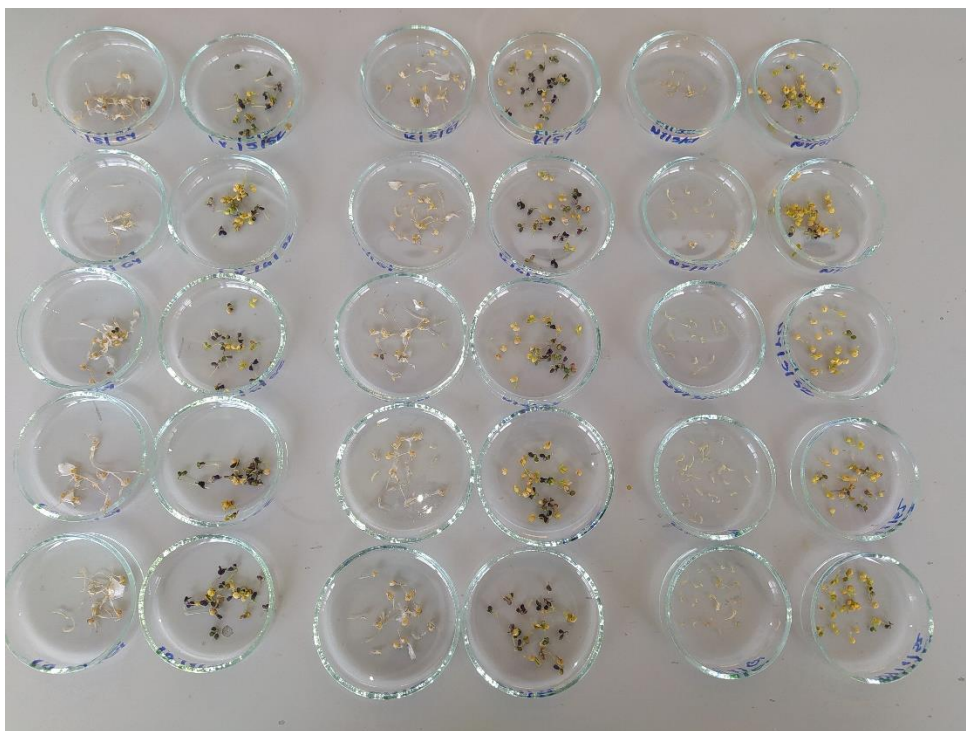
3.3.7. Elemtartalom mérése

Az elemtartalom mérését fontos fázisnak tartottam a kutatómunkámban. Ennek a mérésnek a segítségével fel tudtam térképezni, hogy az egyes mikro- és makroelemek, milyen mennyiségben és a csíranövények mely részében (gyökér illetve szár) akkumulálódnak leginkább. A mérés fontossága abban rejlik, hogy különböző elemek más-más hatással vannak a növény növekedésére és egyéb tulajdonságaira, például a színére.

Az elemtartalom mérését a kicsírázott növényi csírákon végeztem el a Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai laboratóriumában a laboratórium munkatársainak segítségével.

3.3.7.1 Roncsolás

A 15. ábrán látható kiszáritott növéymintákat analitikai mérlegen (Precisa ES 225SM-DR) mértük be teflon roncsolócsövekbe.



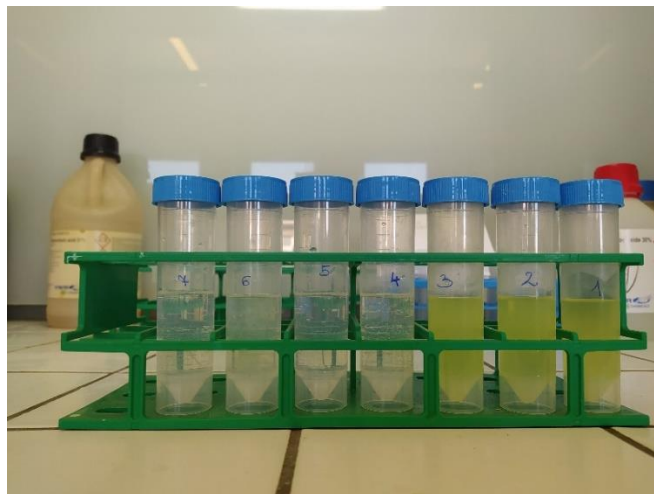
15. ábra Kiszáritott csíranövények [saját fotó]
balról jobbra: Ivóvízzel öntözött csírák, Kezelt szintetikus fürdővízzel öntözött csírák, Nyers szintetikus fürdővízzel öntözött csírák

A minták oldatba viteléhez ETHOS UP (Milestone) mikrohullámú roncsolóberendezést alkalmaztunk, roncsolószerként pedig 6 ml cc. HNO_3 (Merck) és 2 ml 30%-os H_2O_2 (Merck) elegyet használtunk (16. ábra).



16. ábra Roncsoláshoz szükséges vegyszerek adagolása [saját fotó]

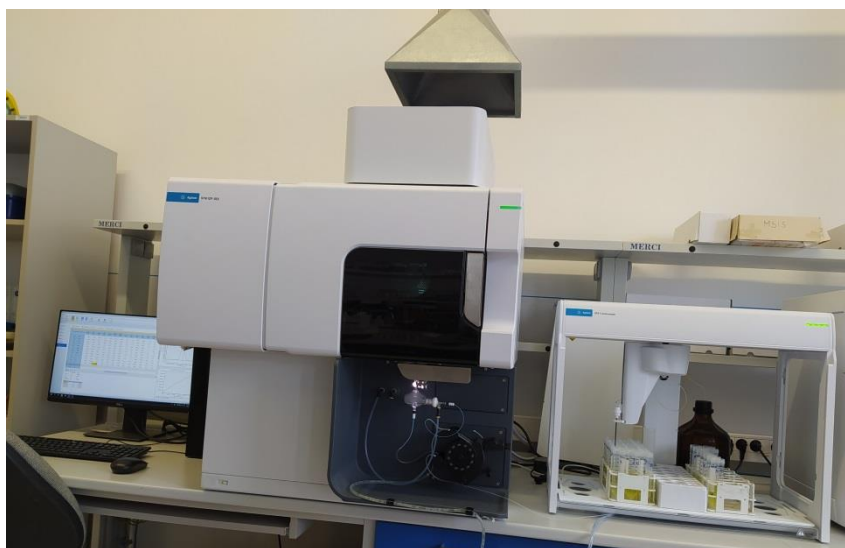
Az így elroncsolt mintákat, mint a 17. ábra is mutatja, 25 ml-re töltöttük PE centrifugacsövekben ultratiszta vízzel (MilliQ Millipore), melyeket a mérésig szobahőmérsékleten tároltuk.



17. ábra Roncsolt minták mérés előtt [saját fotó]

1-3. minta: Szár részek mintái, 4-6. minta: Gyökér részek mintái, 7. minta: Vak minta

A növényminták elemtartalmának meghatározását a 18. ábrán látható induktívan csatolt optikai emissziós spektrométer (ICP-OES 5110 Vertical Dual View, Agilent Technologies) készüléken végeztük. A mérés során Agilent SPS 4 automata mintaadagolót, Meinhard® típusú porlasztót, double pass ködkamrát és három pontos kalibrációt alkalmaztunk. Az ICP-OES készülék mérési paramétereit a 2. és a 3. táblázat tartalmazza.



18. ábra ICP-OES 5110 Vertical Dual View, Agilent Technologies készülék [saját fotó]

A kalibráló oldatsorozat a mikroelemekre (Al, B, Bi, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn) egy multielemes spektroszkópiai standard oldatból (ICP VI, Merck), míg a makroelemekre (Ca, Mg, Na, K) monoelemes spektroszkópiai törzsoldatokból (Scharlau) készítettük el. Mindkét esetben hárompontos kalibráló sorozatot alkalmaztunk, melyek elkészítéséhez ultratiszta (MilliQ Millipore) vízből készített 0.1 M HNO₃ oldatot használtunk.

2. táblázat ICP-OES mérési paraméterek

Általános paraméterek	
Ismétlések száma	3
Pumpa sebessége	12 rpm
Felszívási idő	15 sec
Öblítési idő	30 sec
RF	1.20 kW
Stabilizációs idő	10 sec
Plazmagáz áramlási sebessége	12.0 L min ⁻¹
Kisegítő gáz áramlási sebessége	1.0 L min ⁻¹
Megfigyelési magasság	8 mm
Kiolvasási idő	10 sec
Porlasztógáz áramlási sebessége	0.7 Lmin ⁻¹

3. táblázat ICP-OES mérési paraméterek (hullámhossz és megvilágítás iránya)

Elem	Hullámhossz (nm)	Megfigyelési mód
Al	396.152	axiális
B	249.772	axiális
Ba	455.403	axiális
Ca	317.933	radiális
Cu	324.754	axiális
Fe	238.204	axiális
K	766.491	radiális
Mg	279.800	axiális
Mn	257.610	axiális
Na	589.592	radiális
Sr	421.552	axiális
Zn	213.857	axiális

3.3.7.2 Eredmény kiszámítása

A csíra részek elemtartalmát mg/l koncentrációban mértem, amelyeket a következő képlet alkalmazásával számoltam át mg/kg egységgé.

$$\text{Elemtartalom} = \frac{C_{\text{minta}} - C_{\text{vak}}}{m_{\text{minta}}} * V_{\text{minta}}$$

2. egyenlet Elemtartalom koncentrációjának átszámítása mg/l-ről mg/kg koncentrációra ahol:

- C_{minta} : A minta tömegkoncentrációja [mg/l]
- C_{vak} : A vak minta tömegkoncentrációja [mg/l]
- m_{minta} : A bemért minta tömege [g]
- V_{minta} : A minta jelre állított térfogata [ml]

A minták elemtartalmi eredményeinek mértékegysége mg/kg volt, illetve nagyobb értékek esetén g/kg egységben adtam meg.

3.3.8. Fehérmustármag csíráztatása

Víztoxikológiai vizsgálatként csíráztatást végeztem a MSZ 22902-4-es szabvány alapján fehér mustármagokon [19]. Korábbi méréseim során arra a következtetésre jutottam, hogy a 3 párhuzamos mérésből keletkező 3x25 db fehér mustármag csíra szárított tömege nem elegendő öntözővíz típusonként az elemtartalom teljeskörű vizsgálatához, ezért a mintaszámot 5x25 db mustármag csírára emeltem minden öntözővíz típus esetében. Ebből adódóan jelen vizsgálatom során 3 féle öntözővíz típussal x 5 petricsészében x 25 db mustármagot használtam és öntöztem a kísérlet ideje alatt 3 napon (72 órán) keresztül. A mustármagok válogatása során nagy hangsúlyt fektettem az azonos szín, forma és méret tulajdonságaira, ezzel is biztosítva az azonos körülményeket.

A csíráztatás sötét helyen, szobahőmérsékleten történt a Környezetmérnöki Tanszék csíráztató tálcáiban. A magokat petricsészében csíráztattam, amelybe közegeként szűrőpapírt helyeztem. Az öntözéshez reggel és este is 2,5-2,5 ml öntözővizet alkalmaztam. A csíráztató tálcák és az öntözővizek a 19. ábrán láthatók.



19. ábra Csíráztató tálcák és az öntözővizek [saját fotó]

Öntözővízként a következő víztípusokat alkalmaztam:

- ivóvíz (kontrollként)
- nyers (kezeletlen) szintetikus fürdővíz
- koagulált + flokkulált + kvarchomok rétegen keresztül szűrt szintetikus fürdővíz.

A csíráztatás fázisairól készült képek a mellékletben találhatók.

3.3.8.1 Öntözővíz minősítés

Az öntözővizeket a csíráztatást megelőzően és azt követően is minősítettem. A csíráztatás utáni minősítéssel az volt a célom, hogy megvizsgáljam a tárolás hatását a fürdővíz összetételére és minőségi mutatóira.

A mért paraméterek, a már korábbiakban is vizsgált paraméterekkel megegyeznek:

- pH- érték,
- zéta-potenciál,
- fajlagos vezetőképesség,
- zavarosság,
- biológiai oxigénigény (BOI₅),
- összes szerves széntartalom (T/DOC).

A tárolt minták minősítése fontos információként szolgált számomra, ugyanis a jövőben a vizsgálataimat szeretném szélesebb körben is kiterjeszteni, pl. egy ún. hidropóniás berendezés üzemeltetését is szeretnénk tanulmányozni.

3.3.8.2 Csíranövények minősítése

A csírákat 5 szempont szerint minősítettem. A minősítés célja az volt, hogy megvizsgáljam, a különböző öntözővizek hatását a csíranövényekre. A vizsgált paraméterek a következők voltak:

- kicsírázott magvak száma
- kicsírázott magvak szín megoszlása
- gyökér- illetve szárhossz
- gyökér- illetve szár nedves és száraz biomassa tömeg
- elemtartalom

A minősítés első fázisában minden petricsészében megszámoltam a kicsírázott magvak számát, ezzel megállapítva, hogy a 25 db magból mennyi kezdett el csírázni a kísérleti idő alatt. Ezt követően alaposan megvizsgáltam a csírák színét, ami a növénykéek fejlettségi szintjére utalt. A sárgás-zöldes színű csírák kevésbé fejlettebbek a zöldes-lilás levelű csírákhoz képest.

A gyökér és szárhossz méréséhez elsőként egy éles kés segítségével szétválasztottam a csírákat gyökér és szár részre, majd mérőszalag segítségével lemértem azokat. Jelen csíráztatási kísérlet során közel 750 db növényi részt minősítettem egyesével.

Minden minta esetén a nedves és száraz biomassa tömegeket petricsészénként mértem le, amelyeket ezután átlagoltam. Ezt a mérést is növényi részekre bontva végeztem el. A két tömeg értékből nedvességtartalmat is számoltam, amely arra adott következtetést, hogy az adott csíra csoport milyen mértékben tudta elraktározni a növényi részeiben a nedvességet, esetemben az öntözővizet.

Az elemtartalom értékeket makro- és mikroelem tartalomra vonatkoztatva is értékeltem.

4. Eredmények és értékelésük

Az eredmények és értékelésük fejezet során a kapott eredményeket szeretném bemutatni. Elsőként az előállított szintetikus fürdővíz minőségi mutatóit szeretném összehasonlítani a nemzetközi és a hazai szűrkevizek jellemző értékeivel. Ezt követően a komplex kezelési módszer kifejlesztéséhez végzett koagulációs-flokkulációs kísérletek eredményeit fogom ismertetni a koagulációs görbe és az optimális hatóanyag meghatározás, majd a léptéknövelés tekintetében. Végül pedig az általam kezelt szintetikus fürdővíz eredményeit fogom bemutatni a különböző minőségi és mennyiségi paraméterek és a víztoxikológiai kísérletek segítségével.

4.1. Szintetikusan előállított fürdővíz vizsgálati eredmények

A kutatómunkám alapját a Környezetmérnöki Tanszék kutatócsoportja által kifejlesztett receptúrájú szintetikus fürdővíz képezte. A már említett komponenseket 40°C-os ivóvízben oldottam be a szintetikus fürdővízhez, majd fél órán át kevertetve létrehoztam azt.

A 4. táblázatban szereplő mérési eredmények jól mutatják, hogy az általam mért értékek szignifikánsan korreálnak a szakirodalmi eredményekkel. Ez alapján megállapítom, hogy sikerült egy jól reprezentálható, modellvíz összetételt alkalmaznom a mérések és a kezelési eljárások során.

4. táblázat Szakirodalmi szűrkevíz adatok összehasonlítása saját eredményekkel [7]; [5]

Paraméterek	Mérték-egység	Nemzetközi eredmények	Hazai eredmények	Szintetikus fürdővíz
		Min.-Max.	Min.-Max.	Min.-Max.
pH	-	6,7–7,6	6,73–7,95	8,01-8,19
Zéta-potenciál	mV	-	(-32,3) (-3,5)	(-18,2) (-11,8)
Fajlagos elektromos vezetőképesség	μS/cm	82–1845	412–610	835-856
Zavarosság	NTU	0-240	2,3–84,0	33,05-41,78
TOC	mg/l	0–176,9	7,71–87,76	66,74-75,00
BOI ₅	mg/l	50–539	6,67–253,3	120-135
ANA-detergens	mg/l	14,9–61	0,01–4,18	21,06-22,76

4.2. Térfogat növelési kísérletek

Miután sikerült kis mennyiségben állandó összetételű, jól reprezentálható fürdővizet előállítanom, ami jól jellemzi a hazai és nemzetközi szürkevíz eredményeket, térfogatnövelési kísérleteket is végeztem. Nagy léptéket nem alkalmaztam, mivel 10-20 literes mennyiségek esetén laboratóriumi körülmények között már nehezen biztosítható a teljes homogenizálás feltétele.

Kísérleteim során 1 liter és a víztoxikológiai vizsgálatokhoz szükséges 4 liter térfogatú szintetikus fürdővízmintákat készítettem és ezeket minősítettem a már ismertett minőségi paraméterek alapján. Az alábbi 5. táblázatban a kísérlet eredményei láthatók.

5. táblázat Térfogat növelési kísérlet eredményei

Paraméterek	Mértékegység	1 literes szintetikus fürdővíz minta	4 literes szintetikus fürdővíz minta
pH	-	7,97±0,178	8,065±0,118
Zéta-potenciál	mV	(-11,2)±0,849	(-12,3)±0,861
Fajlagos elektromos vezetőképesség	μS/cm	0,8606±0,0216	0,880±0,0508
Zavarosság	NTU	43,49±4,41	49,17±4,66
DOC	mg/l	70,64±4,15	62,59±4,30
BOI ₅	mg/l	128,75±10,31	117,5±24,75
ANA-detergens	mg/l	23,64±1,24	30,00±0,532

Az eredmények jól mutatják, hogy lényeges minőségbeli eltérés a térfogatnövelés következtében nem történt. A kisebb eltérések a bemérésekből adódhatnak, mivel a komponensek, amelyeket alkalmaztam viszkozus anyagok, bemérésük nem egyszerű.

4.3. Koagulációs kísérletek vas(III)-kloriddal

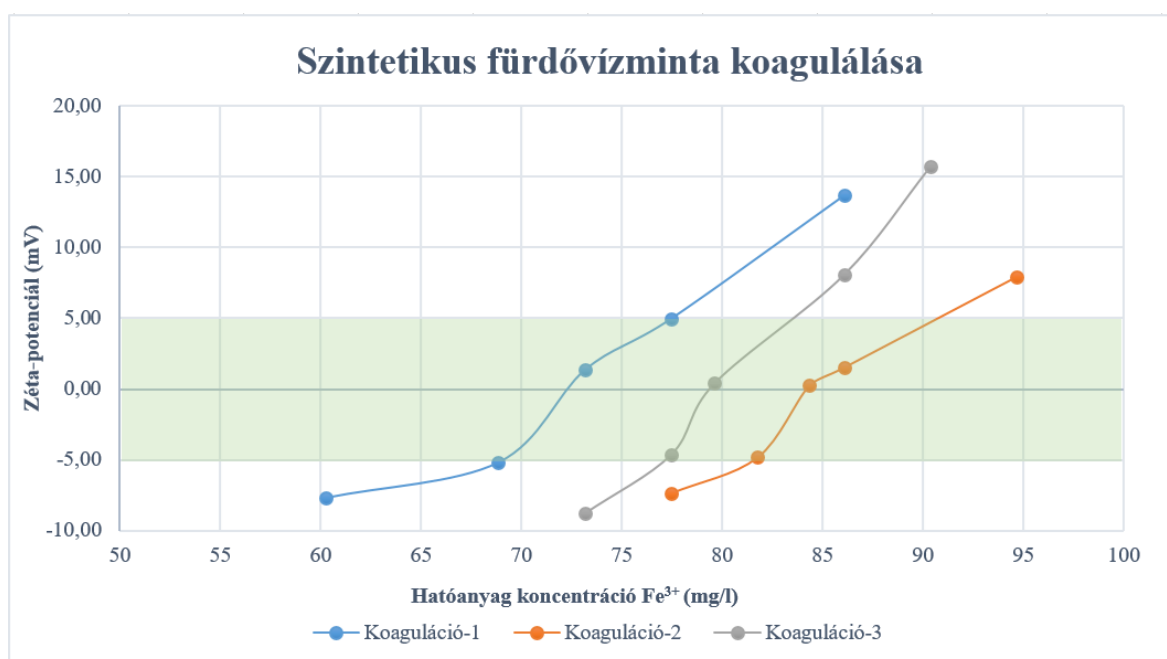
A kezelési módszer fejlesztése érdekében kémiai kezeléssel volt szükséges kiegészítenem a már korábban alkalmazott (kvarchomok rétegen szűrés) kezelési eljárást. Koagulálószerként vas(III)-kloridot alkalmaztam 25 g/literes koncentrációjú oldalt formájában. A kémiai kezelés célja az volt, hogy a koaguláció és a flokkuláció kapcsán a zavarosság és a biológiai oxigénigény értékeiben is jelentős változás (csökkenés) történjen.

4.3.1. Optimális hatóanyag meghatározás

A koagulációs kísérletek első szakaszában megállapítottam az optimális hatóanyag mennyiséget. Az optimális hatóanyag meghatározásához 100 ml térfogatú mintákat kezeltem különböző térfogatú vas(III)-klorid oldattal.

A kísérletek során minden alkalommal nyomon követtem a pH, a zavarosság és a zéta-potenciál értékeinek változásait. A mért értékek alapján megállapítottam a megfelelő vegyszermennyiséget az optimális 0 ± 5 mV közötti zéta-potenciál eléréséhez.

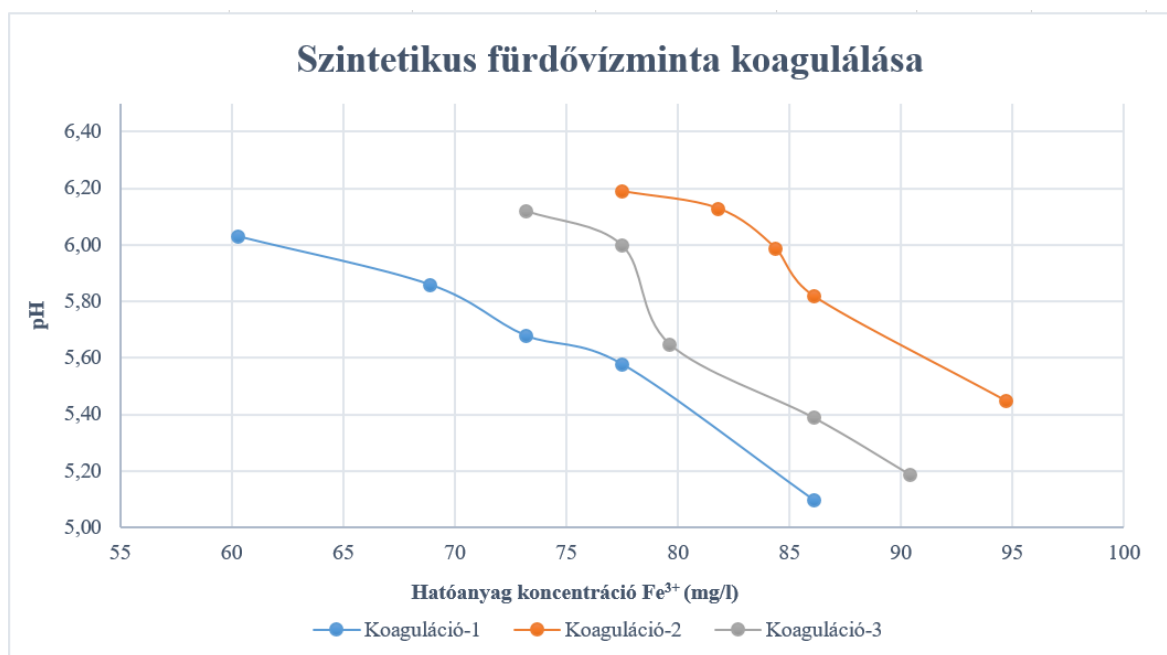
A mért értékek változását a 20. diagramm jól szemlélteti.



20. ábra Koagulációs görbe

A kívánt 0 ± 5 mV zéta-potenciál értéket **minimum 68, maximum 91 mg/l Fe³⁺ adagolásával értem el, ami vas(III)-kloridra vonatkoztatva: 200-265 mg/l értéket jelent.**

A szintetikus fürdővízmintához adagolt FeCl₃-oldat savas karakterű. A 21. ábra a kémhatás változását is szeretné szemléltetni a koagulálószer adagolásának függvényében. A koagulálószer mennyiségének folyamatos növelésével a szintetikus fürdővíz pH-értéke a savas kémhatású vas(III)-klorid hatására egyre jobban a savas irányba tolódik el.



21. ábra pH változása a koagulálószer (Fe³⁺ hatóanyag) függvényében

4.3.2. Térfogat növelési kísérletek a koaguláció kapcsán

A kutatómunkám eredményei jó alapot teremthetnek egy hidropóniás rendszer kialakítása és vizsgálatára. Ennek érdekében térfogatonövelést szükséges majd a későbbiekben alkalmaznom a megfelelő mennyiségű öntözővíz biztosítására. A térfogatonövelési kísérletet 4 különböző térfogatú mintacsoporton végeztem el: 100 ml, 500 ml, 1 liter és 3 liter. A 6. táblázatban a vizsgálatok során mért eredményeket gyűjtöttem össze:

6. táblázat Térfogatonövelés a koaguláció kapcsán

Paraméterek	Mértékegység	100 ml-es szintetikus fürdővízminta	500 ml-es szintetikus fürdővízminta	1 l-es szintetikus fürdővízminta	3 l-es szintetikus fürdővízminta
pH	-	5,72±0,0907	5,72±0,0750	5,76±0,524	5,85±0,108
Zéta-potenciál	mV	0,68±0,602	(-0,99)±1,944	(-1,61)±1,81	(-0,50)±0,361
Zavarosság	NTU	31,80±2,662	27,07±7,297	27,40±4,57	26,53±3,455

Az eredményeket tekintve elmondható, hogy jelentős különbségek a térfogatonövelés kapcsán nem figyelhetők meg, minden vizsgált térfogat esetén a mért paraméterekre szinte azonos értékeket kaptam.

4.4. A komplex kezelési módszer eredményei

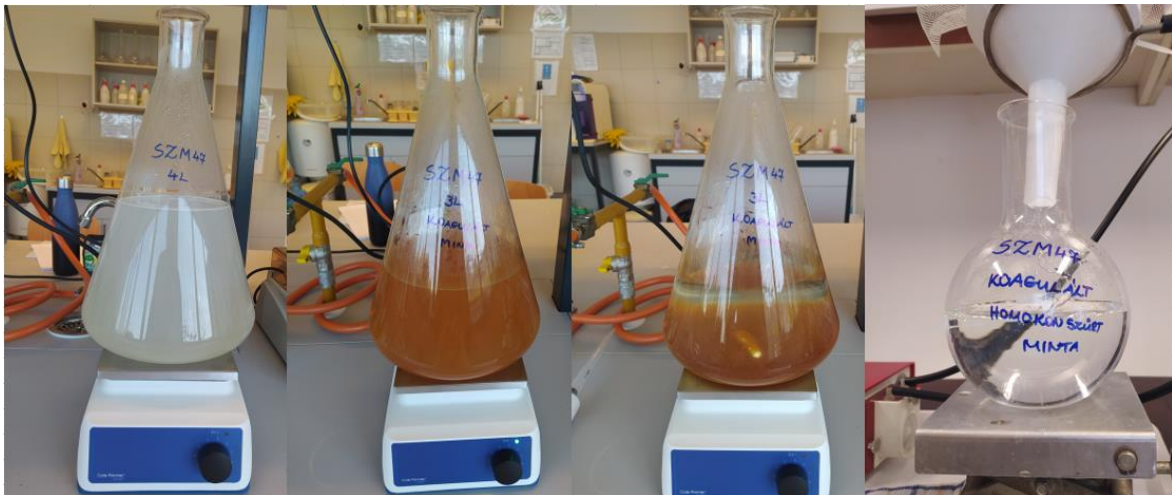
A kutatásom célja egy olyan kezelt szintetikus fürdővíz létrehozása volt, amely megfelel a nemzetközi ajánlásban említett határértékeknek, továbbá a növényekre sem gyakorol jelentősen káros hatást az öntözést követően. A korábbi kezeléstről elmondható, hogy nem mutatott elégséges eredményeket, ezért további fejlesztésre volt szükség. A kezelt fürdővíz minősége zavarosság esetében megközelítette, azonban el nem érte az átlagos 2 NTU értéket, míg a biológiai oxigénigény esetében megközelítésről sem beszélhettünk.

A koaguláció+ flokkulációval kiegészített eljárás már jobb eredményeket mutatott. A 7. számú táblázatban a jelenlegi és a korábbi mérési eredményeimet foglaltam össze. Céloom az, hogy az összehasonlítás révén megmutassam a továbbfejlesztett szürkevízkezelési módszer hatékonyságát.

7. táblázat Kezelési módszerek összehasonlítása

Paraméterek	Mértékegység	Kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz		Koagulált + flokkulált+ kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz	
		Kezeletlen	Kezelt	Kezeletlen	Kezelt
		Átlag ± SD	Átlag ± SD	Átlag ± SD	Átlag ± SD
pH	-	7,81±0,0289	7,61±0,0354	8,11±0,0474	7,3±0,0336
Zéta-potenciál	mV	(-12,4)±2,250	(-12,1)±1,617	(-12,4) ±0,861	(-4,74) ±0,828
Fajlagos elektromos vezetőképesség	μS/cm	897±0,034	754±0,076	869±0,0491	957±0,208
Zavarosság	NTU	46,7±2,507	2,5±1,116	49,16±4,660	0,37±0,0836
T/DOC	mg/l	72,33±1,481	16,91±0,891	63,07±4,08	8,098±2,856
BOI ₅	mg/l	120±28,284	60±0	110±15,55	13,375±2,688
ANA detergens	mg/l	21,91±1,205	Méréshatár alatti	30,00±0,532	Méréshatár alatti

A táblázatban feltüntetett eredmények is jól mutatják, hogy a továbbfejlesztett kezelési eljárás lényegesen hatékonyabb, mint önmagában az egyszerű mechanikai szűrés. Az alábbi képeken (22. ábra) a komplex kezelési eljárás fázisai tekinthetők meg:



22. ábra Komplex kezelési eljárás fázisai [saját fotó]

1. fázis: Nyers/kezeletlen szintetikus fürdővízminta

2. fázis: Koaguláció gyors kevertetés közben

3. fázis: Flokkuláció lassú kevertetés közben

4. fázis: Kémiaileg kezelt, kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz

A dolgozatban folyamatosan kiemelt figyelemmel követett 2 paraméter esetében is jelentős csökkenés figyelhető meg. A kezelés eredményeképpen a zavarosság értékét sikerült jóval a határérték alá csökkentenem, szinte az ivóvíz zavarosságával azonos kezelt vizet sikerült létrehoznom. A biológiai oxigénigény esetében a kívánt határértéket elérni nem, de megközelíteni sikerült. Az egyszerű szűréshez képest jóval jelentősebb csökkenés volt megfigyelhető.

A kezelési hatékonyságot százalékos eltérés formájában is szemléltetni szerettem volna jelen dolgozatomban is, ezért egy ilyen típusú összehasonlítást is végeztem, melynek eredményei a 8. táblázatban láthatók.

8. táblázat Kezelési hatékonyságok a különböző kezelési módszerek esetén

Paraméterek	Mértékegység	Kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz	Koagulált + flokkulált + kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz
		%	%
pH	-	-2,56	-9,99
Zéta-potenciál	mV	-2,42	-61,77
Fajlagos elektromos vezetőképesség	$\mu\text{S}/\text{cm}$	-15,94	+10,12
Zavarosság	NTU	-93,98	-99,25
T/DOC	mg/l	-76,62	-87,16
BOI ₅	mg/l	-50,00	-87,84
ANA detergens	mg/l	Nem számolható	Nem számolható

A komplex kezelés hatására jelentős változás a kvarchomokon való szűréshez képest csak néhány minőségi paraméter esetében történt. A zéta-potenciál esetén jelentős csökkenés figyelhető meg a szűréshez képest. A fajlagos elektromos vezetőképesség értéke a szűréssel történő kezeléssel ellentétben jelen esetben a nyers mintához képest nőtt. Ennek oka a vegyszer kezelés és az ebből eredő oldott komponensek jelenléte. A zavarosság tovább csökkent, ezzel elérve a nemzetközi ajánlásban megállapított határértéket. Az összes szerves széntartalom csökkenése jelentős volt, de csak megközelítettem az ajánlásokban szereplő 10 mg/l-es értéket. A jövőben kiemelt célunk esetleges oxidatív kezelési megoldások alkalmazásával ennek a paraméternek a hatékony csökkentése, mely várhatóan a patogén szervezetek eltávolítására is jó hatást gyakorol majd.

4.5. A szintetikus úton előállított öntöző vizek hatása a növényi csírákra

A kezelt szintetikus fürdővíz alkalmazásával a korábbi munkámhoz hasonlóan újabb víztoxikológiai vizsgálatokat végeztem a szabványban meghatározott fehér mustármagokon. 3 típusú öntöző vízzel végeztem az öntözést, melyek a következők voltak:

- ivóvíz (kontrollként),
- nyers/kezeletlen szintetikus fürdővíz,
- kezelt (koagulált + flokkulált+ kvarchomok rétegen szűrt) szintetikus fürdővíz.

Minden öntözővíz típussal 5 párhuzamos csíráztatást végeztem, amely azt jelenti, hogy egy öntözővízzel 5 petricsészényi mustármagot öntöztem, melyekben 25-25 db mustármag volt. A kísérleti idő, 72 óra letelte után a már korábbiakban is említett szempontok alapján minősítettem a csírákat és az alapján végeztem el összehasonlításukat.

4.5.1. A csírákísérletek eredményei

A víztoxikológiai vizsgálat célja az volt, hogy megfigyeljem a különböző öntözővizek hatását a csíra növény fejlődésére. A csíráztatás folyamán a mustármagvak elsőként gyökeret eresztettek, azt növesztették, majd a csíráztatási szakasz második felében jelentek meg a szár és levél kezdemények. A harmadik nap végére kifejtett valódi gyökérrel, gyökérszőrökkel és szárral rendelkező csíranövények fejlődtek ki a magvakból.

A csírák vizsgálata során azokat a jellemzőket elemeztem, amelyek egymáshoz való viszonyítása valós képet adott számomra arról, hogy miben térnek el egymástól a különböző kezelt és kezeletlen fürdővizekkel öntözött csíranövények. A vizsgált jellemzők a következők voltak:

- kicsírázott magvak száma,
- kicsírázott magvak szín megoszlása,
- gyökér- illetve szárhossz,
- gyökér- illetve szár nedves és száraz biomassa tömeg,
- elemtartalom.

Az alábbi táblázatok az előző kezelési módszerrel kezelt szintetikus fürdővízzel és a jelen dolgozatban bemutatott kezelési eljárással kezelt fürdővízzel öntözött csírák eredményeit mutatják be.

4.5.1.1 Kicsírázott magvak száma

A csíráztatási kísérlet során minden öntözővíz típushoz 5 db petricsészét készítettem elő, amelybe azonos tulajdonságokkal rendelkező mustármagokat tettem, majd öntöztem. Minden petricsészébe 25 db mag került. A kísérleti idő letelte után megszámláltam, hogy egyes öntözővíz típusokhoz képest mennyi csíra indult növekedésnek, csírázott ki. A 9. táblázatban a kicsírázott magok számának átlagértékei is azok szórásai tekinthetők meg.

9. táblázat Kicsírázott magvak száma

	Kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz	Koagulált + flokkulált + kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz
	kicsírázott magok darabszáma/25 db magszám	
	Átlag±SD	Átlag±SD
ivóvíz	23,63±0,577	23,4±0,547
kezeletlen	23,33±0,577	22±3,391
kezelt	24,33±0,577	23±0,707

Az eredmények jól igazolják a kezelés fontosságát, mivel elmondható, hogy a kezeletlen szintetikus fürdővízzel öntözött magokból kevesebb indult fejlődésnek. Továbbá megfigyelhető, hogy a kezelt mintával öntözött magvakból kevesebb csírázott a komplex kezelés esetén, mint az egyszerű mechanikai szűrés esetében. Ez az eltérés a vegyszeres kezeléssel magyarázható.

4.5.1.2 A kicsírázott magvak színmegoszlása

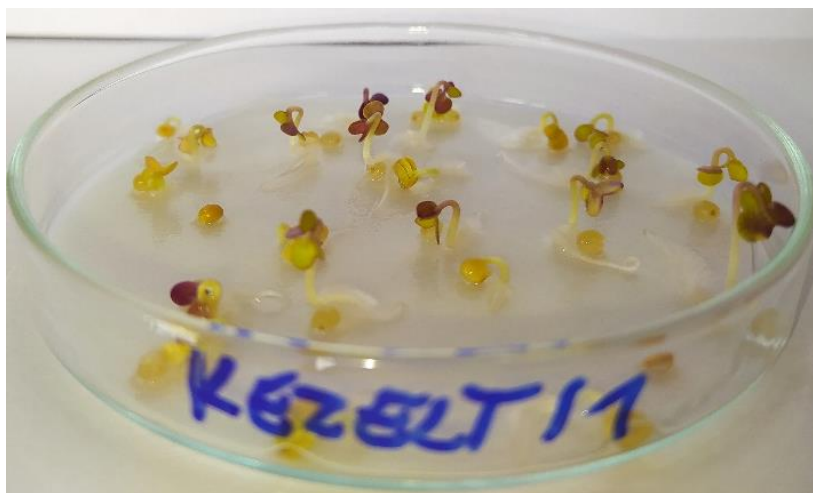
A fejlett csíranövények színe sok féle információt hordozhat számunkra. Egyik ilyen jellemző a fejlettségi szint. Ebben az alfejezetben a növények színmegoszlását ismertetem.

10. táblázat A kicsírázott magvak színmegoszlása

	Kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz		Koagulált + flokkulált + kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz	
	%			
	Lilás-zöld	Sárgás-zöld	Lilás-zöld	Sárgás-zöld
	Átlag±SD	Átlag±SD	Átlag±SD	Átlag±SD
ivóvíz	81,16±19,61	18,84±19,61	55,93±9,47	48,61±16,08
kezeletlen	34,30±8,74	65,70±8,73	20,15±3,61	82,62±6,96
kezelt	97,22±4,81	2,77±4,81	35,24±11,83	64,75±11,84

A százalékos megoszlásokból leolvasható, hogy az első kezelési módszer esetében az ivóvízzel és a kezelt mintával öntözött csírák a színük alapján is fejlettebbek, mivel jóval nagyobb százalékban voltak jelen a mintákban lilás-zöld növényké, ami a fejlettségre utal. A kezeletlen szintetikus fürdővízminta esetében a csírák átlagosan 2/3-a sárgás-zöld színűek, szóval fejletlenebbek.

A második kezelési módszer esetén az ivóvíz minta esetében fele-fele arányban voltak jelen a fejlettebb és a fejletlenebb csírák. Továbbá a kezeletlen és a kezelt minta esetében is jóval nagyobb arányban voltak jelen a kevésbé fejlett sárgás-zöld mustármag csírák. A komplex kezelés során vegyszeres kezelést alkalmaztam, amely az eredmények alapján nem volt túl jó hatással a csírák növekedésére. A 23. ábrán egy kezelt szintetikus fürdővízzel öntözött minta látható.



23. ábra Kezelt szintetikus fürdővízzel öntözött mustármagok [saját fotó]

4.5.1.3 A gyökér, - illetve szárhossz

A csíra növény növekedésének nyomon követése érdekében megvizsgáltam a csírák gyökér-, illetve szárhosszát, minden egyes kicsírázott növény esetében. A mérési eredményeket mm-ben adtam meg, majd az ivóvízhez viszonyítva megvizsgáltam, hogy történt-e növekedés vagy csökkenés. A csírák átlagos szár- illetve gyökér hosszát és a változás értékeit, amelyet százalékos alakban adtam meg a 11-12. táblázatokban tüntettem fel.

11. táblázat Gyökérhossz változása a különböző öntözővizek hatására

GYÖKÉR	Kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz	Változás	Koagulált + flokkulált + kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz	Változás
	mm Átlag±SD	%	mm Átlag±SD	%
Ivóvíz	19,45±2,358		14,89±0,09	
Kezeletlen	12,22±2,155	-37,17	7,50±0,61	-49,63
Kezelt	22,26±1,719	+14,42	12,05±0,16	-19,07

A gyökérhossz esetében megfigyelhető a kezeletlen minták esetén egy jelentős elmaradás az ivóvízzel öntözött csírák gyökérhosszához képest. A kezelt minta az első esetben túlfejlődést mutatott a viszonyított ivóvízes öntözéshez képest, azonban a komplex kezeléssel kezelt öntözővíz ebben az esetben is káros hatással volt a növekedésre, mivel csökkenés történt az ivóvízhez képest.

1. táblázat Szárhossz változása a különböző öntözővizek hatására

SZÁR	Kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz	Változás	Koagulált + flokkulált + kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz	Változás
	mm Átlag±SD	%	mm Átlag±SD	%
Ivóvíz	19,04±1,482		12,30±0,28	
Kezeletlen	12,67±0,283	-33,45	9,74±0,45	-20,81
Kezelt	20,73±1,223	+8,88	13,56±0,24	+10,24

A szárhosszt illetően mindkét kezelési módszer esetében ugyan az a változás figyelhető meg, a kezeletlen és a kezelt minta esetében is. A kezeletlen minták közel azonos mértékben növesztettek kisebb szárat, míg a kezelt minták esetén túlnövekedés figyelhető meg az ivóvízzel öntözött csírák szárrészéhez képest.

A kezeletlen minták esetében a gátolt növekedés a fürdővízben található detergensekkel és különböző plusz elemek (mikro- és makroelemek) jelenlétével magyarázható. A kezeletlen minták detergens tartalma eltömítette a gyökerek vízfelvevő pórusait, ezzel meggátolva a növekedést segítő nedvesség-, és a tápanyag felvételt is egyaránt.

A kezelt minták esetében mérhető detergens tartalomról már nem beszélhetünk, azaz koagulációval, majd szűréssel sikeresen eltávolításra került a minták detergens tartalma.

4.5.1.4 A nedves- és száraz biomassa tömeg, nedvességtartalom

A csírák biomassa tömegének mérését nedves, illetve száraz állapotban végeztem. A szárításhoz szárítószekrényt alkalmaztam és a mintákat tömegállandóságig szárítottam. A 24. ábrán a tömegmérést megelőzően a minták láthatók exikátorba helyezve.



24. ábra Száritott csíra részek az exikkátorban [saját fotó]

A mért tömegértékeket több szempontból is hasznosítottam, meghatároztam pl. a nedvességtartalmukat, amelyből a növények nedvesség felvevő képességére következtettem.

13. táblázat Gyökér nedvesség tartalmával kapcsolatos eredmények

GYÖKÉR	Kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz			Koagulált + flokkulált + kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz		
	NEDVES biomassza tömeg	SZÁRAZ biomassza tömeg	Nedvesség tartalom	NEDVES biomassza tömeg	SZÁRAZ biomassza tömeg	Nedvesség tartalom
	g Átlag±SD	g Átlag±SD	% Átlag±SD	g Átlag±SD	g Átlag±SD	% Átlag±SD
Ivóvíz	0,6786±0,0709	0,0385±0,0029	94,54±0,29	0,5338±0,165	0,0244±0,0131	94,34±0,39
Kezeletlen	0,1669±0,0104	0,0264±0,0038	85,89±2,01	0,1098±0,0313	0,00794±0,00225	92,59±1,9
Kezelt	0,6407±0,0632	0,0362±0,0037	94,59±0,79	0,4736±0,0580	0,0244±0,0033	94,85±0,35

A gyökérrészek nedvességtartalmát tekintve a két kezelést összehasonlítva elmondható, hogy az ivóvízzel és a kezeletlen mintával öntözött csírák nedvességtartalmának értékeiben nincs eltérés, szinte megegyeznek. Azonban a kezeletlen szintetikus fürdővíz mintával öntözött csírák esetében, a kvarchomok rétegen szűrt fürdővízzel öntözött csírák nedvességtartalma közel 10%-al eltér a másik két vízminta (ivóvíz és kezelt fürdővíz) eredményeitől. A komplexen kezelt fürdővízzel öntözött csírák nedvességtartalma közel hasonló, mint a másik két mintacsoport csíráinak az értékei.

14. táblázat Szár nedvességtartalmával kapcsolatos eredmények

SZÁR	Kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz			Koagulált + flokkulált + kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz		
	NEDVES biomassa tömeg	SZÁRAZ biomassa tömeg	Nedvesség tartalom	NEDVES biomassa tömeg	SZÁRAZ biomassa tömeg	Nedvesség tartalom
	g Átlag±SD	g Átlag±SD	% Átlag±SD	g Átlag±SD	g Átlag±SD	% Átlag±SD
Ivóvíz	0,4949±0,0666	0,1159±0,0180	76,62±0,74	0,3911±0,0704	0,09168±0,015	77,08±1,42
Kezeletlen	0,3376±0,0407	0,1128±0,0078	66,43±1,93	0,4004±0,0787	0,1148±0,0259	78,92±4,39
Kezelt	0,4915±0,0477	0,1079±0,0068	79,82±0,25	0,4233±0,0954	0,1135±0,0184	73,11±2,43

A csíranövények szár részének nedvességtartalmát vizsgálva azt állapítottam meg, hogy az első kezelési módszerrel kezelt (kvarchomok rétegen szűrt) víz esetében az ivóvíz és a kezelt fürdővízzel öntözött csírák nedvességtartalma közel megegyezik, viszont a kezeletlen fürdővíz esetén a száraz nedvesség tartalma alacsonyabb értéket mutat (10%). A koagulált + flokkulált, majd szűrt fürdővíz mintával öntözött csírák esetén, különös módon, az figyelhető meg, hogy a kezeletlen nyers minta azonos mennyiségű vizet vett fel, mint az ivóvízzel és a kezelt fürdővízzel öntözött csírák szárai.

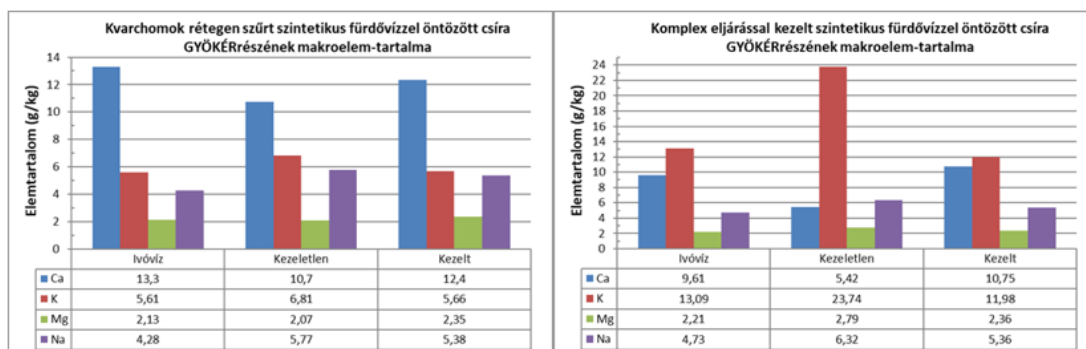
Összességében a két táblázat értékeit tekintve azt a következtetést vontam le, hogy a növényi csírákban a nedvesség inkább a gyökér részben raktározódik el.

4.5.1.5 Elemtartalom mérés eredményei

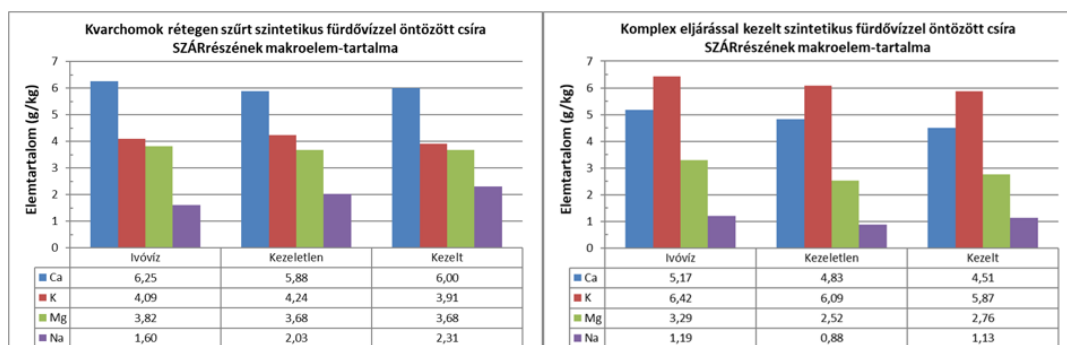
A szárított növényi csírákon elemanalitikai vizsgálatokat végeztünk Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai laboratóriumában. A vizsgálat célja a növényi csírarészek mikro-, és makroelem tartalmának feltérképezése volt. A kiértékelés során a kapott eredményeket is mikro- és makroelem tartalom szerint értékeltem és ábrázoltam.

Növényi csíra részek elemtartalma

A növényi részek elemtartalmának mérésének fontossága abban rejlik, hogy a mérési eredmények megmutathatják számomra, hogy egyes szennyező anyagból származó elemek esetlegesen melyik növényi részben halmozódhatnak fel leginkább és milyen mennyiségben. A következő diagramok segítségével ismertetem a meghatározott mikro- és makroelem-koncentrációkat növényi részenként.



25. ábra Különböző kezelési módszerekkel kezelt fürdővízzel öntözött csírák gyökérrészének makroelem-tartalma

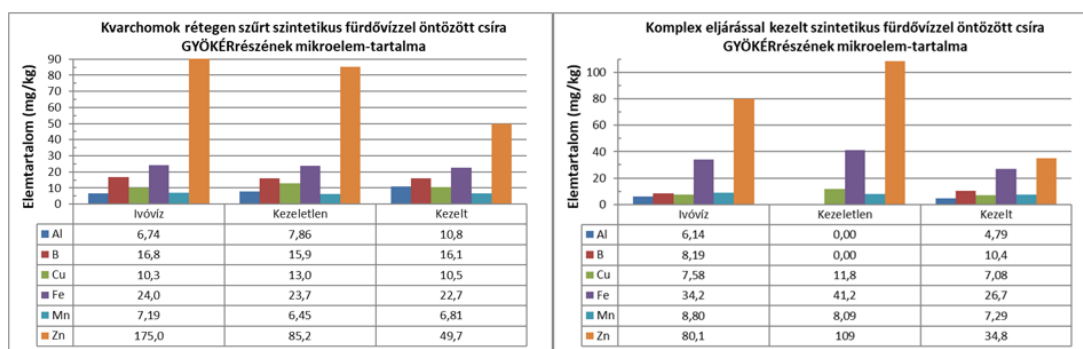


26. ábra Különböző kezelési módszerekkel kezelt fürdővízzel öntözött csírák szárrészének makroelem-tartalma

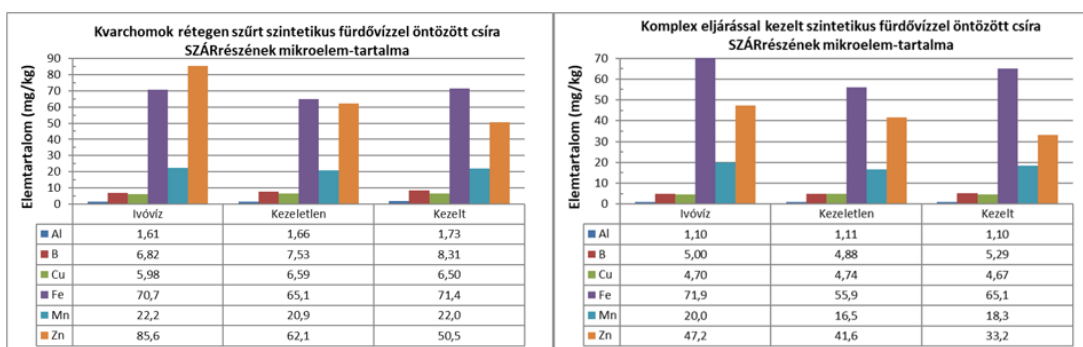
A minták makroelem-tartalmát vizsgálva, megállapítható, hogy kálium, kalcium és magnézium mindkét növényi részben egyaránt szinte azonos mennyiségben van jelen, míg a nátrium inkább a gyökér részben volt magasabb koncentrációban detektálható. A kezeletlen minta esetén a gyökérrészben jelentősen magasabb kálium koncentráció figyelhető meg, amely feltehetően a detergens tartalomnak köszönhető.

A korábbi kezeléssel összehasonlítva, azt állapítottam meg, hogy a gyökér rész esetében mindhárom mintacsoportot illetően a koagulációval kezelt szintetikus fürdővízzel öntözött csírák gyökérrészében nagyobb mennyiségben van jelen a kálium és a kalcium, mint az egyszerű szűréssel kezelt fürdővizekkel történő öntözés tekintetében.

A szárrész makroelem-tartalmában jelentősebb eltérés nem figyelhető meg a két kezelést összehasonlítva, ahogy ezt a 26. ábra is szemlélteti.



27. ábra Különböző kezelési módszerekkel kezelt fürdővízzel öntözött csírák gyökérrészének mikroelem-tartalma



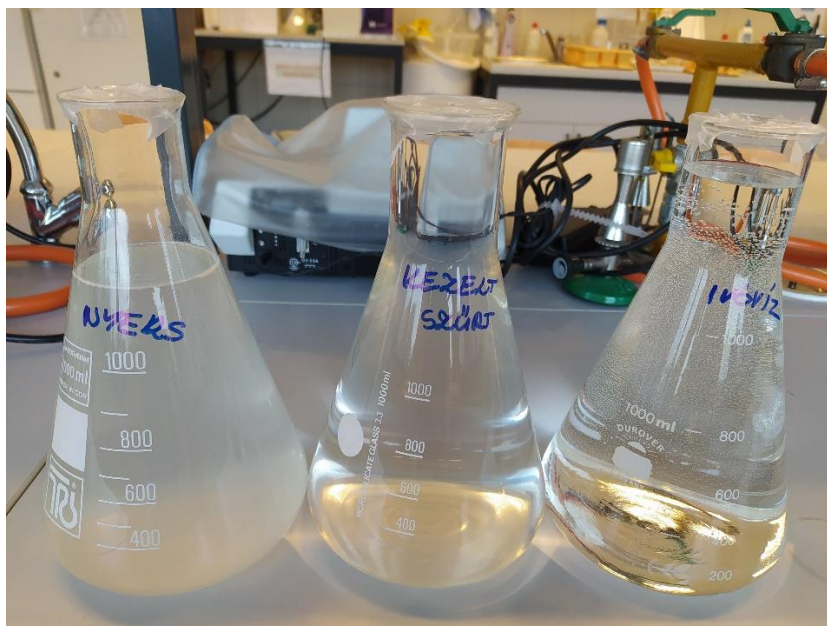
28. ábra Különböző kezelési módszerekkel kezelt fürdővízzel öntözött csírák szárrészének mikroelem-tartalma

A minták mikroelem-tartalmát vizsgálva, megállapíthattam, hogy az alumínium, a bór, a réz és a cink inkább a gyökérrészben halmozódott fel, míg a szárrészben a vas és a mangán mutatott jelentősen nagyobb koncentrációt.

A szűréssel történő kezeléssel összehasonlítva a gyökér esetében lényeges eltérés a bór és a cink koncentrációkban figyelhető meg, többlet koncentráció mutatkozik meg a korábbi alkalmazott kezelést illetően. A szárrész tekintetében csak a cink koncentrációjában figyelhető meg eltérés.

4.5.2. A szintetikus úton előállított öntöző vizek paramétereinek változása a tárolás hatására

Az öntöző vizeket a kísérleti idő lejártá után újra minősítettem. Az újra mért minőségi paraméterek pontos képet adtak arról, hogy a tárolás hogyan hathat az öntöző vizek minőségére. Az alábbi táblázatok a csíráztatás előtti és utáni vízminőségi paraméterek változásait szolgálják reprezentálni, és a 28. ábra pedig a használt öntözővizek szemlélteti.



28. ábra Öntözővíz minták tárolás után [saját fotó]

15. táblázat Az ivóvíz minőségi paramétereinek változásai a csíráztatás során

Paraméterek	Mértékegység	Kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz		Koagulált + flokkulált+ kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz	
		IVÓVÍZ			
		Csíráztatás ELŐTT	Csíráztatás UTÁN	Csíráztatás ELŐTT	Csíráztatás UTÁN
		Átlag±SD	Átlag±SD		
pH	-	7,50±0,0637	7,86±0,0495	7,40	7,84
Zéta-potenciál	mV	(-3,46)±1,286	(-11,31)±3,387	(-11,0)	(-11,6)
Fajlagos elektromos vezetőképesség	µS/cm	725±0,0156	731±0,0177	678	652
Zavarosság	NTU	0,60±0,493	2,40±1,858	0,12	0,2
T/DOC	mg/l	2,43±0,100	2,33±0,336	2,54	2,51
BOI ₅	mg/l	3,75±1,060	5,5±2,121	2,9	4,5
ANA detergens	mg/l	Méréshatár alatti	Méréshatár alatti	Méréshatár alatti	Méréshatár alatti

A csíráztatások során az ivóvizet kontrolként alkalmaztam, mint megfelelő minőségű öntözővíz. Figyelemmel kísértem ivóvízzel milyen formában fejlődnek a csírák, majd ehhez képest végeztem el a csíranövények összehasonlítását a szűrkevízzel öntözött mintákra vonatkozóan. Az ivóvizet illetően számottevőbb változás nem történt. A vártan megfelelően a tárolás hatására a zavarosság és a biológiai oxigénigény értékeiben növekedést történt.

2. táblázat A kezeletlen szintetikus fürdővíz minőségi paramétereinek változásai a csíráztatás során

Paraméterek	Mértékegység	Kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz		Koagulált + flokkulált+ kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz	
		Csíráztatás ELŐTT	Csíráztatás UTÁN	Csíráztatás ELŐTT	Csíráztatás UTÁN
		KEZELETLEN			
pH	-	7,84	7,72	7,93	7,87
Zéta-potenciál	mV	(-11,6)	(-13,2)	(-16,1)	(-15,4)
Fajlagos elektromos vezetőképesség	μS/cm	932	970	857	881
Zavarosság	NTU	31,20	79,50	47,48	51,95
T/DOC	mg/l	71,28	62,33	99,86	68,14
BOI₅	mg/l	100	140	110	135
ANA detergens	mg/l	21,91	16,13	30,20	20,7

A kezeletlen fürdővíz esetében hasonló változás figyelhető meg az ivóvízmintához hasonlóan. A zavarosság és a biológiai oxigénigény esetében is növekedés figyelhető meg, továbbá a fajlagos elektromos vezetőképesség értéke is minimálisan emelkedett, míg a többi paraméter tekintetében csökkenés figyelhető meg. A detergens tartalom a tárolás hatására lecsökkent, amely azzal magyarázható, hogy a detergensok bomlása megkezdődött a csíráztatási kísérletek ideje alatt. A zavarosság a tárolás ideje alatt megnőtt, a kezeletlen szintetikus fürdővíz minta opálösszé vált, filmréteg keletkezett a folyadék tetején.

3. táblázat A kezelt szintetikus fürdővíz minőségi paramétereinek változásai a csíráztatás során

Paraméterek	Mértékegység	Kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz		Koagulált + flokkulált+ kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz	
		Csíráztatás ELŐTT	Csíráztatás UTÁN	Csíráztatás ELŐTT	Csíráztatás UTÁN
		KEZELT			
pH	-	7,63	7,72	7,43	7,55
Zéta-potenciál	mV	(-10,6)	(-12,9)	(-8,2)	(-15,0)
Fajlagos elektromos vezetőképesség	μS/cm	837	873	1,02	1,13
Zavarosság	NTU	1,70	5,00	0,15	0,97
T/DOC	mg/l	17,54	23,48	4,05	8,36
BOI₅	mg/l	60	30	16	7,5
ANA detergens	mg/l	Méréshatár alatti	Méréshatár alatti	Méréshatár alatti	Méréshatár alatti

A kezelt szintetikus fürdővizek esetében is az előző 2 öntözővíz típushoz hasonló változás figyelhető meg. Kivételt képez a biológiai oxigénigény értéke, amely csökkent.

Az öntöző vizek pH értékére vonatkozóan magyar szabályozást is elérhető. A 90/2008. (VII. 18.) FVM rendelet szerint, ha a vízminta pH-ja 6,5- 8,4 között van, öntözővízként minden esetben alkalmazható. Jelen kezelési módszer mellett ez a feltétel teljesíthető, még a tárolást követően is. Továbbá a teljes dolgozatban folyamatosan nyomon követtem a zavarosság és a biológiai oxigénigény értékeit. A zavarosság értéke még a tárolást követően is teljes mértékben megfelel a 2 NTU-s ajánlásnak, azonban a biológiai oxigénigény értéke meghaladja az ajánlásban található 10 mg/l-es értéket.

5. Következtetések, javaslatok

A kutatásom első szakaszában a szakirodalmi adatok alapján megállapítottam, hogy a szürkevíz, mint másodlagos vízforrás jó alternatívát jelenthet a jövőben. A szürkevizet vizsgálva megállapítottam, hogy az általam kitűzött célhoz, az öntözés alapú újrahasznosításhoz a legkevésbé terhelt frakció, a fürdővíz megfelelő forrás.

A laboratóriumi munkám során szintetikus fürdővizet állítottam elő a Környezetmérnöki Tanszék kutatócsoportjának receptúrája alapján. Az így elkészített fürdővizek jól mintázzák a hazai és a nemzetközi szakirodalmakban megjelentetett szürkevíz minőségi mutatóit. Kezelésként elsősorban egyszerű fizikai mechanikai szűrést alkalmaztam kvarchomok rétegen keresztül, azonban ez a nemzetközi ajánlásokban szereplő határérték ajánlásoknak nem tett eleget. Arra a következtetésre jutottam, hogy valamilyen kémiai kezelés alkalmazása szükséges, ebből adódóan koaguláció kísérleteket végeztem. A tesztek során megállapítottam a szintetikus fürdővízre nézve az optimális hatóanyag mennyiséget. A koagulációval-flokkulációval kezelt, majd szűrt fürdővízre a kontroll vízhez közelebbi vízminőségi jellemzőket mértem. A zavarosság értéke az ajánlott határ (2 NTU alatti) alá csökkent, azonban a biológiai oxigénigény miatt további kémiai kezelés (oxidatív módszer) is szükséges a későbbiekben.

A kezelt szintetikus fürdővizekkel víztoxikológiai vizsgálatokat is végeztem, amellyel az öntözővíz (kezelt és kezeletlen fürdővíz) növényre gyakorolt hatását vizsgáltam. A vízminőségi paraméterekben bekövetkező javulás és a növénykísérletek bebizonyították, hogy az általam alkalmazott és kezelt szintetikus fürdővíz jó alternatívát jelenthet a jövőben, mint másodlagos vízforrás.

Továbbá a csíráztatási tesztek alátámasztották, hogy a szürkevizet mindenféleképpen kezelni szükséges az újrahasználatot megelőzően, mivel a kezeletlen fürdővízzel öntözött csírák növekedésére káros hatással voltak a fürdővízben található felületaktív anyagok (detergensek).

6. Összefoglalás

Az édesvízhiány kérdése egyre nagyobb problémát jelent napjainkban a Föld számos területén. A Föld édesvíz készletei végesek, továbbá különböző emberi tevékenységekkel még tovább szennyezzük a még rendelkezésünkre álló édesvízkészletet is. Az édesvízhiány kérdésre számos megoldási lehetőség létezik már, de ezek általában kifejezetten költségesek. Édesvíz készleteinket takarékoskodással is megvédhetjük. Kutatómunkám célja egy olyan kezelési eljárás kialakítása volt, amellyel megfelelő minőségű tisztított szűrkevizet tudok létrehozni, amelyet ezt követően, olyan tevékenységekre hasznosíthatunk, amelyek nem igénylik az ivóvíz minőségű víz alkalmazását. Esetemben ez a tevékenység a növények öntözése volt.

Kutatómunkám során a háztartásokban keletkező szennyvíz kevésbé terhelt szűrkevíz frakciójával foglalkoztam. Újrahasználati célként az öntözést tűztem ki, ebből adódóan kevésbé terhelt szűrkevíz frakciónak az alkalmazására volt szükségem, így esett a választás a fürdővizekre. Meghatározott receptúra alapján szintetikus fürdővizeket állítottam elő, majd minősítettem. A szintetikus fürdővizek tisztálkodószereket (tusfürdő, sampon), illetve növényi olajat és növényi tápanyagot tartalmazott, amelyek a fürdővizekbe kerülő szennyeződét és egyéb zsíros, olajos komponenseket szolgálták reprezentálni. A modell fürdővizeket különböző minőségi paraméterek alapján minősítettem, melyek a következők voltak: pH, zéta-potenciál, fajlagos elektromos vezetőképesség, zavarosság, biológiai oxigénigény, összes szerves széntartalom és ANA-detergens tartalom értékek.

A kapott eredményeket összehasonlítottam nemzetközi, illetve hazai valós szűrkevizek minőségi mutatóival, majd megállapítottam, hogy sikerült egy állandó összetételű a valódi mintákat jól mintázó szintetikus fürdővizet előállítanom. Kezelésként elsőként egyszerű mechanikai szűrést alkalmaztam, azonban ez nem volt elég hatékony, ezért azt kémiai kezeléssel egészítettem ki. Kémiai kezelésként a koagulációt választottam, mellyel az oldatban lévő kolloid mérettartományba eső szennyeződéseket is el lehet távolítani. A szűrkevizet újrahasznosítását jelenleg hazai előírások nem szabályozzák, ezért nemzetközi szakirodalmakat kutatva találtam ajánlást az újrahasználatához szükséges minőségi paraméterek határértékeire. Az ajánlások alapján a zavarosság nem haladhatja meg a 2 NTU értéket, míg a biológiai oxigénigénynek 10 mg/l alatt kell lennie. A koagulációhoz elsőként teszteket végeztem az optimális hatóanyag meghatározásához,

ezzel meggátolva a felesleges többlet vegyszer használatát. 100 ml-es mintákhoz különböző térfogatú vas(III)-kloridot adagoltam, majd mértem a zéta-potenciál értékét. 0 ± 5 mv között a kolloid oldatok instabil állapotba kerülnek, így a benne található szennyező részecskék megköthetővé, kiülepíthetővé, majd szűrhetővé válnak. Az optimális kezelőszerszennyiség meghatározását követően térfogatnöveléssel kapcsolatos kísérleteket végeztem ezzel megalapozva a későbbi öntözés alapú újrahasználatot. A tovább fejlesztett komplex kezelési eljárással kezelt vizeket minősítettem, majd a korábbi kutató munkámhoz hasonlóan újabb víztoxikológiai vizsgálatokat végeztem. A csíráztatási kísérlet során 72 órán keresztül napi kétszer öntöztem a fehér mustár magvakat, majd minősítettem azokat az alábbi szempontok alapján: kicsírázott magvak száma, kicsírázott magvak színmegoszlása, gyökér-, illetve szárhossz, nedves és száraz biomassa tömeg, és az abból számított nedvességtartalom, továbbá elemtartalom meghatározást is végeztem. A víztoxikológiai kísérlet alátámasztotta azt az állításomat, hogy a szürkevizet kezelni szükséges az újrahasználatot megelőzően.

Kutatásom során sikerült a korábbiakban kitűzött célokat elérnem, a nemzetközi ajánlásokban megjelenített paraméterekben jelentős csökkenést sikerült eszközölnöm az általam kifejlesztett kezelésnek köszönhetően.

Jövőbeni célom a kezelési módszer továbbfejlesztése, a biológiai oxigénigény értékének kellő lecsökkentéséhez, továbbá újabb csíráztatási vizsgálatok elvégzése új növényeken, esetlegesen egy hidropónikus rendszer kialakítása, amelyben kezelt fürdővizet használhatunk növénytermesztés céljából.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Dr. Bodnár Ildikó, hogy lehetővé tette, hogy a minták vizsgálatát a Környezetmérnöki Tanszék Vízhőszárművédelmi Laboratóriumában végezzem el.

Szeretnék köszönetet mondani a konzulenseimnek, Dr. Bodnár Ildikónak és Izbékiné Szabolcsik Andreának a vizsgálatok elvégzésében és a dolgozat megírásában nyújtott segítségért.

Köszönöm Dr. Baranyai Edinának és Sajtos Zsófinak, hogy a vízminták és csíraminták elemanalízisét a Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai Laboratóriumában végezhettem és hogy ezen vizsgálatok elvégzésében segítséget nyújtottak.

Az innovációs és technológiai minisztérium ÚNKP-21-1 kódszámú új nemzeti kiválóság programjának a nemzeti kutatás, fejlesztési és innovációs alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

8. Irodalomjegyzék

- [1] R. Kuti , T. Szakál és P. Szakál, „www.hidrologia.hu,” [Online]. Available: http://www.hidrologia.hu/ifjusaginarok/22/dolgozatok/word/21_kuti.pdf.
[Hozzáférés dátuma: 28. június 2020.].
- [2] P. Krisztina, „Éltető kincsünk: Az ivóvíz,” *XIV. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia és 62. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés Balatonszárszó*, p. 59, 2019.
- [3] [Online].Available:
<https://www.napi.hu/magyar-gazdasag/vizkorlatozas-viz-ivoviz-locsolas-szekszard-hadhazy-akos-ontozes.731809.html>.
[Hozzáférés dátuma: 22 10 2021].
- [4] [Online].Available:
<https://pannonrtv.com/rovatok/szines/vizkorlatozas-magyarorszagon>).
[Hozzáférés dátuma: 22 10 2021].
- [5] Y.-P. V.-A. M. Boyjoo, „A review of greywater characteristic and treatment processes,” in *Water Scien. and Techn.*, 2013, pp. 67, 1403-1424.
- [6] U. Csaba, „Szürkevíz kezelési módszerek műszaki tervezése és gazdaságossági elemzése,” *Debreceni Egyetem*, 2019.
- [7] S. K. Ferenc, *Fenntartható energetika*, Budapest: Akadémiai Kiadó, 2014.
- [8] A. S. E. B. A. U. N. B. Q. C. o. t. H. G. i. N. G. P. R. o. H. E. E. a. M. J. V. 1. N. (.
p. 2.-2. (I. Bodnar.
- [9] Á. Dr. Kárpáti és K. Zsófia, „Ivóvíztisztítás és víztisztaságvédelem,” *Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet*, 2014.

- [10] [Online].Available:
https://hannainst.hu/index.php?route=pavblog/blog&blog_id=52.
[Hozzáférés dátuma: 22 10 2021].
- [11] „USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2004. Guidelines for Water Reuse. Report EPA/625/R-04/108, USEPA, Washington, DC, USA. Winward et al. A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reus”.
- [12] [Online].Available:
<https://www.malvern.com/en/products/product-range/zetasizer-range/zetasizer-nano-range/zetasizer-nano-z/index.html>.
[Hozzáférés dátuma: 22 10 2021].
- [13] [Online].Available:
<https://www.wtw.com/en/products/product-categories/benchtop-meters/oxitopr-measuring-systems/oxitopr-is.html>. [Hozzáférés dátuma: 22 10 2021].
- [14] „D. B. Ildikó, OKTATÁSI SEGÉDLET a Környezetmérnöki mérés technika, monitoring II. vagy Környezeti analízis II. c. tantárgyhoz kapcsolódó laboratóriumi gyakorlat feladataihoz, DE-MK, Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék , 2004-2017”.
- [15] „Barótfi, I., Szolgáltatástechnika, Mezőgazda Kiadó, 2001. Budapest”.
- [16] „Juhász, É., & Erős, M. L. (1979). Felületaktív anyagok zsebkönyve. Műszaki Könyvkiadó. Budapest.”.
- [17] [Online].Available:
http://www.vilaglex.hu/Kemia/Html/NaLauSzu_.htm.
[Hozzáférés dátuma: 22 10 2021].
- [18] L. Réka, *Szürkevizek detergens és fémtartalmának vizsgálata*, 2019.
- [19] „MSZ 22902-4”.

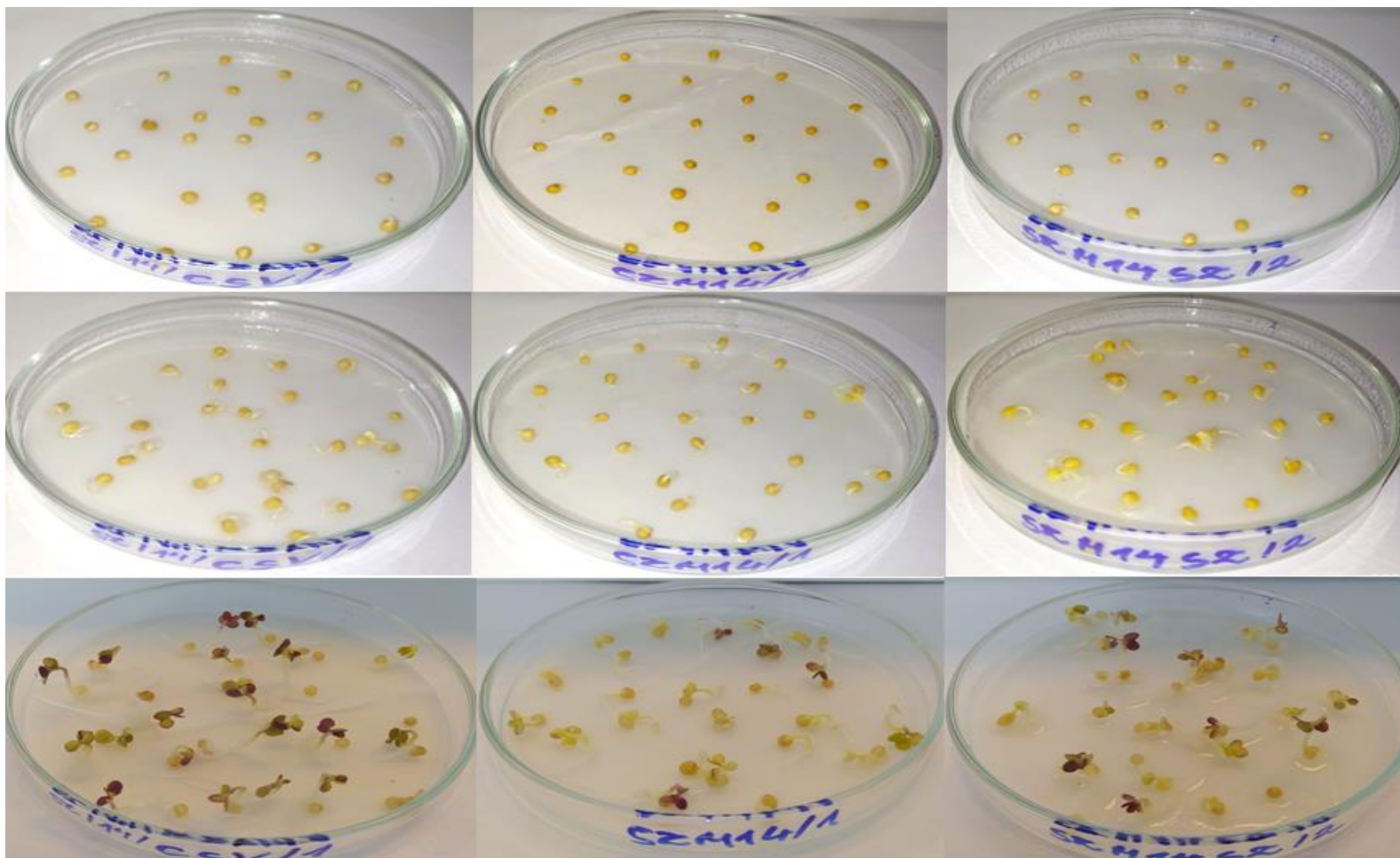
9. Ábrajegyzék

1. ábra Szürkevizek csoportosítása szennyezettség alapján [5].....	6
2. ábra Szürkevizek csoportosítása a keletkezett mennyiség alapján [6]	7
3. ábra Továbbfejlesztett komplex kezelési módszer felépítése.....	10
4. ábra Koaguláció menete [saját fotó].....	10
5. ábra: Kvarchomok szűrő felépítése [saját fotó]	11
6. ábra pH skála példákkal [10]	12
7. ábra Zetasizer Nano Z készülék [12]	14
8. ábra OxiTop IS 12 manometrikus BOI mérő készülék [13].....	15
9. ábra Shimadzu TOC-VCPN típusú készülék [saját fotó]	16
10. ábra Nátrium-lauril-szulfát félszerkezeti képlete [17].....	16
11. ábra Kétfázisú titrálás kiindulási állapota [saját fotó]	17
12. ábra A két fázis színe az ekvivalencia pontban [saját fotó].....	17
13. ábra ANA-detergens titrálás túltráított állapotban [saját fotó]	18
14. ábra Ivóvíz ANA-detergens tartalmának vizsgálata [saját fotó]	19
15. ábra Kiszáított csíranövények [saját fotó] balról jobbra: Ivóvízzel öntözött csírák, Kezelt szintetikus fürdővízzel öntözött csírák, Nyers szintetikus fürdővízzel öntözött csírák.....	20
16. ábra Roncsoláshoz szükséges vegyszerek adagolása [saját fotó].....	20
17. ábra Roncsolt minták mérés előtt [saját fotó] 1-3. minta: Szár részek mintái, 4-6. minta: Gyökér részek mintái, 7. minta: Vak minta.....	21
18. ábra ICP-OES 5110 Vertical Dual View, Agilent Technologies készülék [saját fotó]	21
19. ábra Csíráztató tálcák és az öntözővizek [saját fotó].....	24
20. ábra Koagulációs görbe	28
21. ábra pH változása a koagulálószer (Fe^{3+} hatóanyag) függvényében	29
22. ábra Komplex kezelési eljárás fázisai [saját fotó] 1. fázis: Nyers/kezeletlen szintetikus fürdővízminta 2. fázis: Koaguláció gyors kevertetés közben 3. fázis: Flokkuláció lassú kevertetés közben 4. fázis: Kémiaileg kezelt, kvarchomok rétegen szűrt szintetikus fürdővíz.....	31
23. ábra Kezelt szintetikus fürdővízzel öntözött mustármagok [saját fotó]	35
24. ábra Száított csíra részek az exikkátorban [saját fotó]	37

25. ábra Különböző kezelési módszerekkel kezelt fürdővízzel öntözött csírák gyökérrészenek makroelem-tartalma.....	39
26. ábra Különböző kezelési módszerekkel kezelt fürdővízzel öntözött csírák szárrészenek makroelem-tartalma	39
27. ábra Különböző kezelési módszerekkel kezelt fürdővízzel öntözött csírák gyökérrészenek mikroelem-tartalma	40
28. ábra Öntözővíz minták tárolás után [saját fotó].....	41

10. Melléklet

10.1. Kvarchomokon szűrt szintetikus fürdővízzel történő csíráztatás (ivóvíz, kezeletlen fürdővíz, kezelt fürdővíz)



10.2. Komplex eljárással kezelt szintetikus fürdővízzel történő csíráztatás (ivóvíz, kezeletlen fürdővíz, kezelt fürdővíz)

