

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Környezetmérnöki Tanszék



Vízitorma termesztetőségének vizsgálata kezelt fürdővíz alapú hidropóniás rendszerben

Szerző: **Kiss Virág, III. évfolyamos
környezetmérnöki szakos BSc hallgató**

Témavezető: Izbékiné Szabolcsik Andrea, egyetemi tanársegéd

Társtémavezető: Dr. Bellér Gábor, egyetemi docens

Tanszékvezető: Dr. Kocsis Dénes László, egyetemi docens

Debrecen
2024.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, célkitűzések	4
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. Alternatív vízforrás: a szürkevíz.....	5
2.1.1. A szürkevíz kezelése	6
2.2. Fenntartható Fejlődési Célok.....	7
2.3. Fenntartható növénytermesztés: a hidropónia	9
2.4. Gyógynövények szerepe az életünkben.....	11
3. Anyag és módszer	14
3.1. Vízitorma	14
3.2. Indol-3-karbinol.....	15
3.3. Öntözővizek előállítása és kezelése.....	17
3.4. Az öntözővizek, illetve a kezeletlen szürkevíz minősítése.....	19
3.4.1. A pH mérése	20
3.4.2. Fajlagos elektromos vezetőképesség és zéta-potenciál mérése	20
3.4.3. Zavarosság mérés	21
3.4.4. Ionkromatográfiás vizsgálat (IC).....	21
3.4.5. Biológiai oxigénigény (BOI) vizsgálata	22
3.4.6. Kémiai oxigénigény (KOI) vizsgálata	23
3.4.7. Összes szerves széntartalom (TOC) meghatározása	23
3.5. Hidropóniás növénytermesztés.....	24
3.5.1. Vízitormák előnevelése	24
3.5.2. Hidropóniás torony felépítése.....	25
3.6. Vízitormák minősítése.....	26
3.6.1. Klorofill és karotinoid tartalom meghatározása	27
3.7. I3C meghatározásának a vizsgálata	28
3.7.1. Vízitormák előkészítése.....	30
4. Eredmények és értékelésük	33
4.1. vízminősítési eredmények	33
4.1.1. A szürkevíz kezelési hatékonyságának a vizsgálata	34

4.1.2. A vízminták anion és kation koncentrációjának meghatározása	35
4.2. Az öntözővizek elemzése a hidropóniás torony előtt és után	37
4.2.1. Az öntözővizek anion és kation tartalmának változása a hidropónia során.....	39
4.3. Vízitormák elemzése.....	41
4.4. I3C hatóanyagmeghatározás vizsgálatának az eredményei	44
5. Következtetések és javaslatok	47
6. Összefoglalás	49
7. Köszönetnyilvánítás	50
8. Irodalomjegyzék.....	51

1. Bevezetés, célkitűzések

Napjainkban egyre szélesebb körben merül fel a fenntarthatóság, mint fő szempont a környezetvédelemben. A fenntarthatóság célja, hogy a jelenlegi igényeinket úgy elégítsük ki, hogy ne veszélyeztessük a jövő generációk lehetőségeit, mind környezeti, társadalmi és gazdasági szempontból. Az ENSZ közgyűlésén a világ vezetői elfogadták a 17 Fenntartható Fejlődési Cél, azaz az Agenda 2030-t, amelyekben a célkitűzéseket 2030-ig célszerű megvalósítani. Kutatásom során nekem is fontos szempont volt a fenntarthatóság, és ezen célok elérésének a támogatása.

A mai társadalmunkra pazarló vízfelhasználás jellemző, azaz sok esetben indokolatlanul, szinte minden tevékenységhez ivóvíz tisztaságú vizet használunk, aminek köszönhetően jelentős mennyiségű szennyvíz keletkezik, ezért is szeretném felhívni a figyelmet a háztartásokban keletkező szürkevizek újbóli alkalmazásának a fontosságára. Emellett fontosnak tartom az egészségünk megóvását, amihez a gyógynövények fogyasztása nagy mértékben hozzájárul. A vízitorma egy rendkívül tápláló növény, amely számos jótékony hatással van az emberi szervezetre, illetve indol-3-karbinol hatóanyag is megtalálható benne, aminek daganatmegelőző hatást tulajdonítanak.

Kutatásom során a vízitorma termesztetőségét vizsgálok kezelt fürdővíz alapú hidropóniás rendszerben. A Környezetmérnöki Tanszék korábbi kutatási eredményeire támaszkodva létrehozok egy ivóvíz alapú szintetikus fürdővizet, majd ezen szürkevíz frakció kezelését végzem el koagulációs eljárással és mechanikai szűréssel, amit a hidropóniás rendszerbe töltés előtt minősítek. A kezelés során keletkezett szürkevizet keringtetem majd a hidropónikus toronyban. Ugyanakkor a növények tovább tisztítják szürkevizet, ami ezáltal újra felhasználhatóvá válhat, ezért a kísérleti idő letelte után újból minősítem a torony vizét, így nyomon követhetem a víz minőségében bekövetkező változásokat. A jobb összehasonlítás véget, egy kontroll tornyot is üzemeltetni fogok, amely csak ivóvizet tartalmaz majd, ezáltal összehasonlítható lesz, hogy az ivóvíz alapú vízitorma termesztéshez képest milyen eltérések vagy éppen hasonlóságok figyelhetők meg a kezelt szürkevízen nevelt növényekhez képest. Továbbá a vízitormák indol-3-karbinol hatóanyagtartalmának a spektrofotometriás meghatározását is vizsgálok, és következtetéseket vonok le. Megfelelő eredmények esetén a vízitorma hidropónikus tornyokban történő termesztésével fenntarthatóbbá tudjuk tenni a gyógyszer- valamint az élelmiszeriparnak a gyógynövényellátását.

2. Szakirodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben szeretném bemutatni a háztartásokban keletkező szennyvíztípusokat, főleg a szürkevíz frakciót. Újbóli felhasználása során a legtöbb tevékenységhez érdemes kezelni a szürkevizet, ezért ismertetem a kezelési lehetőségeket. Ezen kezelési lehetőségek közül részletesebben ismertetem azon eljárások elméleti hátterét, amelyeket én is használtam a kutatásom során. Véleményem szerint ezen kutatásommal támogatjuk a fenntartható fejlődéshez kapcsolódó célkitűzéseket, ezért a fenntarthatóság kapcsán szeretném bemutatni a Fenntartható Fejlődési Célokat, illetve azt, hogy az egyes célok megvalósulását hogyan tudja elősegíteni a kutatásom. Továbbá ismertetni szeretném a hidropóniát, mint fenntartható növénytermesztési módszert. Valamint még szemléltetem a gyógynövények szerepét az életünkben, illetve, hogy hogyan járulnak hozzá az egészségünk megőrzéséhez.

2.1. Alternatív vízforrás: a szürkevíz

A háztartásokban három víztípust különböztetünk meg minőségi szempontok alapján. Ezek az ivóvíz, és két szennyvíztípus: a feketevíz, illetve a szürkevíz.

Az **ivóvíz** a szűrt, emberi fogyasztásra alkalmas édesvíz, amit nem csak fogyasztunk, hanem különböző tevékenységekhez is felhasználunk például mosogatáshoz, mosáshoz, fürdéshez vagy takarításhoz.

A **feketevíz** a szennyvíz szennyezettebb frakciója, amely a toaettek öblítése során keletkezik, ennek köszönhetően olyan szennyeződések tartalmaz, amik komoly egészségügyi kockázattal járnak.

A **szürkevíz** (greywater, GW) a kevésbé szennyezett frakciója a szennyvíznek, amely nem tartalmazza a WC öblítés során keletkező feketevizet. Ide soroljuk a fürdőszobai tevékenységek, a mosogatás, és mosás során keletkező használt vizeket. A szürkevíz szennyezettsége alapján további frakciókra bontható: világos- és sötét szürkevízre.

- A **világos szürkevíz** (light greywater, LGW) forrását a fürdővizek és a kézmosásból származó szennyvizek képzik, amelyek detergenset, elhalt hámsejteket és olajokat kis mennyiségben tartalmaznak, így egyszerű a tisztításuk.

- A **sötét szürkevíz** (dark greywater, DGW) forrását a mosás, takarítás, és a konyhai mosogatás során keletkezett szennyvizek alkotják, amelyek nagyobb koncentrációban tartalmaznak felületaktívanyagokat, olajokat, zsírokat, elhalt hámsejteket és esetleg ételmaradékokat [1].

Manapság a háztartásban keletkező szürkevizek kezelése és újbóli alkalmazása egyre szélesebb körben merül fel vízgazdálkodási és vízvédelmi szempontok alapján, mivel a víz korlátozott erőforrás, illetve a Föld egyre több pontján probléma a vízhiány, és a megfelelő minőségű víz elérése. A szürkevíz fel lehet használni kezelt, illetve kezeletlen formában is, attól függően, hogy az adott tevékenység milyen tisztaságú vizet igényel. A szürkevíz újbóli alkalmazása lehetővé teszi a háztartási vízfelhasználás csökkenését, ami hozzájárul a vízfogyasztás csökkentéséhez.

2.1.1. A szürkevíz kezelése

Több vízfelhasználási tevékenységhez például a gyógynövények öntözéséhez is szükséges a szürkevíz kezelése, mivel ellenkező esetben a növények a nem kívánatos szennyező anyagokat is felvennék, és ezzel együtt bekerülnének a táplálékláncba is. Általánosságban elmondható, hogy a szürkevizek kezelésére és tisztítására olyan technológiák és eljárások alkalmazhatók, mint amiket az ipari vagy kommunális szennyvíz kezelésénél is használnak [1].

Ezek a lehetőségek lehetnek:

- fizikai/mechanikai módszerrel végzett tisztítási eljárások (például: szűrés, üleptetés),
- kémiai úton történő szürkevízisztítás (koaguláció/flokkuláció, semlegesítés, extrakció, oxidáció, derítés stb.),
- illetve biológiai (aerob és anaerob kezelések) [2].

Kutatásom során az általam létrehozott ivóvíz alapú szintetikus fürdővizet koagulációs/flokkulációs kémiai eljárással és homokon való mechanikai szűréssel kezeltem. **Koaguláció** során azok a kolloid méretű részecskék, amelyek korábban taszították egymást, irreverzibilisen összetapadnak vegyszerek segítségével. Ezt követően a **flokkuláció** során ezek az összegyűlt pelyhek további aggregációval nagyobb flokkokká alakulnak, ami segíti az ülepedést, illetve ezen részecskék eltávolítását. Derítésnek nevezzük a koagulálás, flokkulálás és az üleptetés

együttesfolyamatát. **Mechanikai szűrés** során a tisztítandó vizet átengedjük egy porózus szűrőközegen és ezzel a vízben található oldhatatlan részecskéket jelentős részét eltávolíthatjuk [1].

2.2. Fenntartható Fejlődési Célok

Az Egyesült Nemzetek Szervezetének 2015. szeptemberben megtartott közgyűlésén a világ országai elfogadták a 2030-ig tartó Fenntartható Fejlesztési Menetrendet és az ahhoz tartozó 17 Fenntartható Fejlődési Célokat (Sustainable Development Goals, SDGs) [3]. Ez a dokumentum a „*Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*” címet kapta. A világ vezetői elkötelezték magukat a szegénység megszüntetése, a bolygónk védelme, valamint annak biztosítása mellett, hogy minden ember békében és jólétben élhessen. A 2030-ig tartó időszakra szóló menetrend arra összpontosít, hogy hogyan tudjuk közös erővel jobbá tenni a világot. Emellett globális keretet biztosít a fenntartható fejlődés terén folytatott nemzetközi együttműködéshez, beleértve annak gazdasági, társadalmi, környezetvédelmi és irányítási dimenzióit. Fontos, hogy következetesen haladjunk a fenntartható fejlődési célok megvalósítása felé. A Fenntartható Fejlődési Keretrendszer megvalósításának ellenőrzését a Magas Szintű Politikai Fórum (High Level Political Forum, HLPF) koordinálja, amelyet az ENSZ 2012-es Riói konferenciáján alapítottak. Az Agenda 2030 hazai megvalósításáért, valamint az európai uniós szintű koordinációért jelenleg az Energiaügyi Minisztérium felel [4].

A kutatásom segítheti egyes célok teljesítését, különösképpen:

- az egészség és jólét (3. SDG),
- a tiszta víz és alapvető köztisztaság (6. SDG),
- a fenntartható városok és közösségek (11. SDG),
- a felelős fogyasztás és termelés (12. SDG),
- illetve a szárazföldi ökoszisztémák védelme (15. SDG) elnevezésű célokat, amiket az 1. ábra szemléltet.

FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉSI CÉLOK



1. ábra: A kutatásunk által elősegített Fenntartható Fejlődési Célok [5]

A vízitorma kezelt szürkevíz alapú hidropóniás rendszerben történő termesztésével fenntarthatóbbá tudjuk tenni a gyógyszer- valamint az élelmiszeriparnak a gyógynövényellátását, hiszen 7,5 négyzetméternyi területen akár 600 növényt termesztethetünk, illetve a hagyományos módszerekhez képest akár háromszor gyorsabban, és 30 %-kal hatékonyabban [6]. A vízitorma értékes hatóanyagához az indol-3-karbinolhoz fenntarthatóbban tudunk hozzájutni, amit fel tudunk használni gyógyszerértékesítő készítményekhez és étrendkiegészítőkhez is. Emellett rendszerben keringő víz újra hasznosításával és többszöri felhasználásával elérhetjük, hogy körülbelül 90%-kal kevesebb vízre legyen szükségünk, mint a hagyományos szabadföldi termesztés esetében, még hozzá a hidropóniás rendszerben ivóvíz helyett alternatív vízforrásként kezelt szürkevizet keringtetünk, ezáltal drasztikusan csökken az ivóvízfelhasználás, és elősegítjük a körkörös vízgazdálkodást. Nem csak ipari szinten, hanem háztartási szinten is nevelhetünk magunknak gyógynövényeket hidropóniásan, későbbiekben akár friss vagy szárított felhasználás céljából. Olyan helyeken is termesztethetünk egészségünkre jótékony hatással rendelkező növényeket helyben, ahol egyébként lehetetlen volna, ezzel csökkentve a szállítással járó környezeti terheléseket és a szén-dioxid kibocsátást. Ezzel a módszerrel növényvédőszerrel nélkül lehet egészséges növényeket termesztetni, így nem kerülnek a környezetbe az egészségünkre káros, illetve a hormonrendszerünket befolyásoló vegyi anyagok például peszticidek, ezáltal még a szárazföldi ökoszisztémák védelméhez is hozzájárulhatunk [6].

2.3. Fenntartható növénytermesztés: a hidropónia

Manapság a termőtalajaink jelentős része szennyezett, ami miatt elveszíthetik természetes funkciójukat. A talajban felhalmozódott szennyező anyagok a növényeken keresztül bekerülhetnek a táplálékláncba, és végül az emberi szervezetbe is, súlyos egészségügyi problémákat okozva. Ezek a problémák nem mindig jelentkeznek azonnal, ezért fontos, hogy odafigyeljünk, milyen mezőgazdasági területről származó élelmiszereket fogyasztunk. A növénytermesztés egyik legfenttarthatóbb módja a hidropóniás rendszerek használata, amely során a növényzet csak a vízzel és a benne oldott tápanyaggal érintkezik, ezáltal a talajban lévő szennyezések nem jelentenek problémát. A hidropónikus növénytermesztés története 2000 évre nyúlik vissza, és úgy vélik, hogy az egyiptomiak voltak az elsők, akik alkalmazták ezt a módszert. Emellett Ázsiában és a Római Birodalomban is elterjedt. A világ hét csodájának egyikeként ismert Babiloni függőkert is ilyen módszerrel működött [6].

Hidropónia során a növény általában egy tápoldatban vagy tápoldattal átitatott anyagban például kőzetgyapotban növekszik, nem pedig a talajban. A kőzetgyapot a legnépszerűbb hidrokultúrás növénytermesztési támasztóközeg, mivel természetes anyagból készül és megfelel a támasztóközeggel szemben elvárt követelményeknek. Összetétele olvasztott bazalt szálakból áll, amelyeket műgyanta segítségével alakítanak ki. A támasztóközeg kiválasztásakor olyan anyagot kell alkalmazni, amely kedvező fizikai és kémiai körülményeket biztosít a gyökerek fejlődéséhez [7].

Ennek jellemzői a következők:

- semleges pH érték,
- tartós szerkezet,
- kémiaiilag indifferens (ne kössön meg tápoldatot, és ne bocsásson ki káros anyagokat),
- megfelelő vízleadó és -megkötő képesség (a megfelelő vízmennyiség biztosítása érdekében),
- illetve fontos szempont a gazdaságosság is [7].

A hidropóniás rendszerek általában tápoldattal dúsított, oxigénben gazdag vizet keringtetnek. A növények gyökerei közvetlenül érintkeznek a vízzel, így hozzáférnek a szükséges tápanyagokhoz és oxigénhez, miközben tisztítják is a vizet, ami ezáltal újrahasználatos.

Különlegessége, hogy bár kizárólag vizet használ, mégis jelentősen kevesebb vízre van szükség, mint a talajban történő termesztés során. Ez akár 90%-kal kevesebb vízfelhasználást is jelenthet, így a hidropónia rendkívül víztakarékos megoldás [6]. Az általam használt Rotower hidropónikus torony (Green Drops Farm Kft. által forgalmazott) 40 literes tartállyal rendelkezik, amelyet először fel kell tölteni, majd hónapokig csak az elpárolgó és a növények által felhasznált vízmennyiséget szükséges pótolni. Ez hetente körülbelül 20 liter vizet jelent, és 3-4 havonta ajánlott a rendszer teljes vizét lecserélni. Így egy 15 szintes berendezés éves szinten körülbelül 3000 liter vizet használ el [6]. A hidropónikus termesztés eltér a talaj alapú kertektől, mivel a növények a körforgásban lévő vízből veszik fel a szükséges tápanyagokat, míg a talajban lévők kevesebb tápanyagot tudnak megkötni a párolgás miatt. A talajban termesztett növények nem férnek hozzá bármikor a tápanyagokhoz, ellentétben a folyamatosan tápanyaggal ellátott hidropónikus rendszerrel. Ezen kívül a termelők a függőleges termesztéssel helyet spórolnak, és nem kell foglalkozniuk a gyomlálással, valamint a növényvédőszeres használatával [6].

A tápoldatos vizet keringtető hidropóniás rendszer önmagában nem elegendő a sikeres termesztéshez. A termesztési körülmények, akárcsak a hagyományos, talajon történő termesztésnél, rendkívül fontosak. Ide tartozik például a világítás (a napfény pótlására), a szellőzés, a hővisszanyerés, a páratlanítás, valamint a megfelelő hőmérséklet folyamatos biztosítása. A meleg levegő több nedvességet tartalmaz, mint a hűvösebb levegő, ami megnehezíti a növények számára, hogy párologtassanak. Ennek következtében csökken a tápanyagok vízből való felvételi képességük, ami a növekedésüket is gátolja. Ha a termesztőhelyiség lehül, a víz lecsapódik, ami a penészesedés kockázatát növeli a növényeknél. Ezért fontos a helyiség páratartalmának megfelelő kezelése. A beltéri termesztőhelyiségekben a relatív páratartalmat 45-55% között kell tartani. Ez a tartomány segít megelőzni a kártevők és a spórák elszaporodását, miközben támogatja a növények növekedését és virágzását. A növények jelentősen gyorsabban növekednek, mivel a talaj nélküli termesztés megszünteti a bonyolult és időigényes gyökeresedési folyamatokat. Tápoldatban gazdag vízből kapják a szükséges tápanyagokat, ami 30–50%-kal felgyorsíthatja a növekedést. Ezen kívül kevesebb energiát fordítanak a tápanyagok felszívására, mivel ezek az anyagok a vízben azonnal rendelkezésre állnak, így a megtakarított energiát a növekedésre tudják fordítani. A növények a számukra szükséges fényt nem feltétlenül csak napfény formájában kaphatják meg, hanem LED lámpákból is. Bár kültéren is alkalmazható a hidropónia, a beltéri termesztés sokkal előnyösebb, mivel így jobban szabályozhatóak a termelési körülmények. Különbféle LED lámpák

állnak rendelkezésre, amelyek kifejezetten növénytermesztéshez lettek kifejlesztve, és ezek kiváló alternatívái lehetnek a napfénynek. Vékony kialakításuk miatt kevesebb helyet foglalnak el, emellett sokkal energiahatékonyabbak, mint a hagyományos lámpák, és nem melegszenek fel annyira, így nem égetik meg a növényeket. Ezzel a világítással tökéletesen szabályozhatjuk a fény mennyiségét a növények igényei szerint, akár az életszakaszuk, akár a fajtájuk alapján.

Sokszor felmerül az a kérdés, hogy a hidropónikus termesztésű növények íze eltér-e a hagyományosan termesztettektől. Az íz számos tényezőtől függ; például ugyanazon magról kelt növény íze különbözhet attól függően, hogy milyen talajban nőtt. A hidropóniában termesztett növények íze azonban nem lesz rosszabb. A hidropónia egyik előnye, hogy pontosan szabályozhatjuk a növények növekedési körülményeit. A tápanyagszint, a hidratáció és a hőmérséklet mind beállítható, így a kívánt íz elérhető. Összességében a növények íze változhat a különböző körülmények hatására, de a hidropóniás növények épp olyan ízletesek, mint a talajban termesztettek [6]. A kutatásunk során a vízitormának az indol-3-karbinol hatóanyagtartalmának a meghatározását is vizsgáljuk, mivel kíváncsiak vagyunk, hogy a hidropóniában történő termesztés hatással van-e a hatóanyag koncentrációra.

Másik kérdésként az is fel szokott merülni, hogy a hidropóniával termelt növényeket lehet-e bionak, organikusnak nevezni. Bár nem használunk mesterséges növényvédő szereket, az ökológiai termelésről és az ökológiai termékek jelöléséről szóló Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/848 rendelet 2. melléklete alapján [8], azok a növények, amelyek nem földben teremnek, nem tekinthetők bionak.

2.4. Gyógynövények szerepe az életünkben

Az ember már ősidők óta használ növényeket gyógyítás és fájdalomcsillapítás céljából. A természetben számos, több tízezer növényfaj létezik, amelyek hozzájárulnak a betegségek kezeléséhez és segítik az egészség, valamint a jólét helyreállítását [9].

A **gyógynövény** olyan növény, amelyet gyógyító tulajdonságai miatt használnak. Jellemzően a növény leveleit, virágait, gyökereit vagy kérgét alkalmazzák különböző formákban, például teákban, tinktúrákban, kapszulákban vagy külsőleg alkalmazott készítményekben. A gyógynövények hagyományos és modern orvoslásban egyaránt szerepet játszanak, és sok esetben bizonyított hatásúak a különböző egészségi állapotok kezelésében. Ezek a növények különféle

aktív hatóanyagokat, például illóolajokat, flavonoidokat, vitaminokat vagy ásványi anyagokat tartalmaznak, amelyek pozitív hatással lehetnek az emberi szervezetre [9].

A közelmúltig a legtöbb gyógynövényt kis mennyiségben személyes felhasználásra, helyben gyűjtötték (hegyekben, erdőkben és mezőkön). Amikor a növényeket kis mennyiségben szedik le, akkor az őshonos növényállományt óvják, mivel az adott közösségnek közvetlen érdeke fűződik az adott növények fennmaradásához. Azonban, ha ellenőrizetlen módon, kereskedelmi céllal gyűjtik be a vadonból, akkor bizonyos gyógynövények a kihalás szélére sodródhatnak. Például az ehinacea (bíbor kasvirág) az észak-amerikai füves pusztákon jellemző volt, viszont a kereskedelmi célú begyűjtés miatt jelentősen lecsökkent az előfordulása. A legtöbb gyógynövényt ma már, nem a természetből gyűjtjük be, hanem inkább kereskedelmi céllal termesztjük. Fontos, hogy olyan gyógynövényeket vásároljunk meg, amik ökológiai termesztésből származnak vagy felelős termelői tanúsítvánnyal rendelkeznek [9].

Az egészség titka a természetben van elrejtve, méghozzá a több millió év során kifejlődött biológiai mechanizmusokban, amelyek megértése a mai tudomány számára is kihívást jelent. Az egészség megőrzésében, mint ahogy a környezetvédelemben is a legfontosabb lépés a megelőzés, amit a gyógynövények felhasználásával tudunk támogatni [10].

A számunkra hasznos tudás a több millió, természetben megtalálható molekulák működési mechanizmusában van kódolva, amelyek nagyon sokszínűen jelennek meg a természetben, általában egy komplex hatóanyagmátrixban, szemben a legtöbb esetben egyetlen kémiai összetevőt tartalmazó gyógyszerekkel. Ezek a molekulák koordináltan és többféle szinten működnek, hatással vannak a sejtekre, a hormonháztartásunkra, formálják a gének működését, és ezáltal szervezetben változásokat és helyreállító folyamatokat indítanak el. A növényi vegyületek közvetítőit, azaz a gyógynövényeket, mint az egészségmegőrzés egy bizonyos kulcselemét, az ősidők kultúráinak a népi gyógyászata ismerte fel elsőként, hiszen a hagyományos kínai orvoslás is nagy múltra tekint vissza. Ezeket a természetes főzeteket, teákat, örleményeket stb. hatékonyan használták az egészség javítására. Például a ginzeng, fokhagyma, kurkuma, zöldtea alkalmazása körülbelül 3000-4000 éve ismert. Nem meglepő, hogy a világ egyes részein bizonyos betegségek például a rákos elváltozások kialakulásának esélye a mai napig minimális [10].

A mai tudomány **fitovegyületeknek** hívja, azokat a zöldségekben és gyümölcsökben megtalálható biológiailag aktív vegyületeket, amelyek széleskörű és komplex biológiai hatásokkal bírnak. Ma már tudjuk, hogy ezek a fitovegyületek nagy hatékonysággal hozzájárulnak

egészségünk megőrzéséhez. Evolúciós szempontból azért alakultak ki, hogy természetes gyógyszerként védjék az adott növényt, valamint azokat az állatokat és embereket, akik fogyasztják őket. A fitovegyületek sejtvédő, gyulladáscsökkentő és immunválaszt szabályozó hatásait jelenleg intenzíven kutatják, és várhatóan az elkövetkező évtizedekben új, fejlett orvosi megoldások alapját képezik majd [10].

Legfenttarthatóbb módja természetesen a gyógynövények felhasználásának, ha magunk termesztjük őket biogazdálkodással a kertünkben vagy az erkélyünkön, és frissen vagy szárítva használjuk, amikor szükségünk van rájuk. Így csökkentjük a gyógynövények környezeti nyomát, és óvjuk a rovarvilágot (például méh- pillangópopulációt stb.), illetve a talaj minőségét is. Kereskedelmi célú felhasználásra pedig a legfenttarthatóbb módja a gyógynövénytermesztésnek a hidropóniás rendszerben történő termesztés [9].

3. Anyag és módszer

Ebben a fejezetben ismertetni szeretném a vízitormát, mint gyógynövényt, illetve a számos jótékony hatását a szervezetre, amiként kiderül, hogy miért is választottam kutatásom témájául. Hatóanyagtartalma kapcsán bemutatom az indol-3-karbinol vegyületet, az egészségre gyakorolt hatásaival együtt. Továbbá ismertettem az öntözővizek készítését, illetve kezelését, és minősítési módszereit, mivel ezen vizek keringenek majd a hidropóniás tornyokban, így a minőségi tulajdonságainak ismerete is szükséges. Bemutatom a hidropóniás tornyokban történő vízitorma termesztés, illetve a növények minősítését. Végezetül pedig az I3C hatóanyag meghatározásának a vizsgálatát szeretném szemléltetni.

3.1. Vízitorma

A **vízitorma** (*Nasturtium officinale*) a keresztesvirágúak családjába (*Brassicaceae*) tartozó lágyszárú növény, amely Európa és Ázsia mérsékelt övi területin elsősorban patakok és folyók partjain, illetve mocsaras területein őshonos. Általában 15–30 cm magasra nő és szép kerekded zöld leveleiről lehet felismerni, ahogy a 2. ábrán is látható. Rendkívül tápláló növény, amely számos jótékony hatással van az emberi szervezetre. Tele van vitaminokkal és ásványi anyagokkal, például C-vitaminnal, A-vitaminnal, K-vitaminnal, valamint folsavval, kalciummal és vassal. Emellett számos természetes, bioaktív növényi vegyületet tartalmaz, amelyek jótékony hatását egyre több tudományos kutatás bizonyítja. Ezek közé tartoznak az antioxidánsok, mint például a béta-karotin, lutein és kvercetin, amelyek hozzájárulhatnak a sejtek védelméhez a reaktív szabad gyökök által okozott károsodásokkal szemben. Glükoszínolát nevű vegyületekben is gazdag, amelyből a növényi sejtek roncsolásakor (például aprítás vagy rágás) során indol-3-karbinol keletkezik [11].

A rendszeres vízitorma-fogyasztás hozzájárulhat a rákos megbetegedések kockázatának csökkentéséhez, és segít megelőzni a napi életmódunk és az öregedés által okozott DNS-károsodásokat. Ezen kívül támogatja a szervezetet az edzések és a mozgás utáni gyorsabb regenerálódásban is. A vízitorma kiváló anyagszere serkentő és vízhajtó hatású növény, amely segíthet csökkenteni a bőr öregedésének jeleit is. A természetgyógyászatban is elismert növény: elsősorban vizelethajtó, tisztító, emésztést elősegítő hatása miatt, továbbá köptető, illetve köhögéscsillapító hatása révén is használják. Akik emésztőrendszeri problémákkal rendelkeznek

azoknak kifejezetten ajánlott, mivel serkenti az emésztőnedvek termelődését, ezáltal salaktalanítja az emésztőrendszert, és rostjai révén jó hatással van a belekben található mikrobiomra is. Ez segít megelőzni az erjedési folyamatokat, csökkentve a puffadással járó emésztési panaszokat. Továbbá elősegíti az epetermelést is, ami megkönnyíti a zsírok feldolgozását. Emellett erősíti az immunrendszert, támogatja a szívet, a csontozatot, és serkenti a tanulási készségeket is. Az élelmiszerek tápanyagtartalmát rangsoroló Whole Foods ANDI skálán a vízitorma a legmagasabb, 1000-es értéket kapta, ami alátámasztja kimagasló tápláló értékét [12].

A vízitormának nagy vízigénye van, ezért tökéletes számára a hidropóniás tornyokban való termesztés. Kiváló élelmiszerként tartják számon, számos jótékony hatása van az egészség megőrzésére, ezért is választottam kutatásom alapjául [11].



2. ábra: Vízitorma bokor (saját kép)

3.2. Indol-3-karbinol

Az **indol-3-karbinol** (I3C) egy olyan természetben előforduló vegyület, amely a keresztesvirágú növényekben, azaz a vízitormában is nagy mennyiségben megtalálható. Glükoszínolát vegyületekből keletkezik a növényi sejtek sérülésekor, például rágás vagy aprítás következtében. A mirozináz elnevezésű enzimnek fontos szerepe van a glükoszínolátok indol-3-karbinollá, majd a gyomorban diindolilmetánná történő átalakításához. Nagyon hőérzékeny, mivel a magas hőmérséklet (például a főzés) elpusztítja ezt az enzimet. Ennek következtében a legtöbb indol-3-karbinolhoz a keresztesvirágú növények nyersen történő fogyasztásával juthatunk. A növényi sejtfalak roncsolásakor keletkezik és aktiválódik a mirozináz enzim, ezért fontos, hogy minél több sejtfalat roncsoljunk a megfelelő mennyiségű indol-3-karbinol előállításáért [13].

Az I3C pozitívan hat a hormonháztartásra, elősegíti az egészséges anyagcseréjét és a májban történő lebontását az ösztrogénnek. Az ösztrogén anyagcseréjének egyensúlyhiánya, valamint a külső ösztrogén hatású szennyezők fokozzák a hormonális rosszindulatú megbetegedések kockázatát, ami mind férfiakat, mind nőket érinthet. Csökkentik a sejteken azoknak az ösztrogén-receptor molekuláknak a mennyiségét, amelyek a rákos megbetegedésekért felelősek, ezáltal megakadályozzák a kóros elburjánzásukat. A férfiak számára az ösztrogénegyensúly fontos az egészséges prosztatához és libidóhoz, illetve az erős csontok, és az agyi funkciók megfelelő működéséhez [14]. 2008-ban publikált Clement K M Ho és munkatársai [15] kutatásában megfigyelhető, hogy az ösztrogén is felelős a jóindulatú prostata megnagyobbodásért. Emellett a férfiak termékenységet is befolyásolja az ösztrogénszint megemelkedése, mivel az alacsony spermiumszámmal és alacsony tesztoszteron szinttel szoros összefüggést mutat. A nők esetében az I3C hatására az ösztrogén metabolizmusban pozitív változás következhet be, illetve az indol-3-karbinol az ösztrogén dominanciát csökkentheti a felesleges ösztrogénok kivezetésével [16].

Az ösztrogén dominancia számos nőgyógyászati betegség kiváltója lehet például:

- Endometriózis,
- Menopauza,
- Méh miómák,
- PMS (Premenstruális szindróma),
- PCOS (Policisztás petefészek szindróma),
- illetve Mastopathiából eredő mellfájdalom [17].

A méregtelenítésben is szerepet játszik az I3C, mivel az 1-es és 2-es típusú méregtelenítő enzimek aktivitását (például *glutathion-S-transzferáz*, *citokróm P450*,) képes stimulálni. Ezzel javítva a máj méreganyagokat feldolgozó képességét és szervezetből történő maradéktalan eltávolítását [18]. Egyes kutatások szerint [19] az indol-3-karbinol gyulladásgátló és antioxidáns tulajdonságai, valamint az AMPK aktiválása révén, amely a zsírlerakódást szabályozza, hozzájárulhat a máj egészségének a megőrzéséhez. Ezek a mechanizmusok segíthetnek megelőzni a máj zsírosodását, gyulladását, elváltozásait, akár a májelégtelenséget megelőző fibrózist is.

Egy koreai kutatás szerint [20] az I3C-nak vérlemezkéket gátló hatása is van, ami megelőzheti a vérrögök, vagyis a trombózis kialakulását. A vizsgálatokat in vitro (szervezeten kívül) és in vivo (élő szervezetben), egereken végezték. Az indol-3-karbinol mérsékelheti a

simaizom sejtek elburjánzását, így az érszűkület kezelésében is hasznosnak bizonyulhat. A Hawaii Egyetem kutatói [21] rájöttek, hogy az I3C laboratóriumi körülmények között csökkenti a koleszterin közvetítőjének, az apolipoprotein B-100-nak (*apoB*) a kiválasztását az emberi sejtekben. Az apoB az LDL koleszterin kritikus összetevője és magas szintje érlelmeszesedéshez, valamint szív- és érrendszeri megbetegedésekhez vezethet. Ezen kutatás eredményei azt mutatják, hogy az indol-3-karbinol kedvezően befolyásolja a zsíryanycserét, ezáltal javíthatja a szív- és érrendszer egészségét.

A keresztesvirágú növények nagy mértékben történő fogyasztása csökkentheti az oxidatív stresszt a szervezetben. Ez a hatás leginkább a bennük található I3C-nak, belőle keletkező diindolilmetán biológiai aktivitásának köszönhető. Mivel az I3C jelentős antioxidáns tulajdonságokkal rendelkezik, ezért a szervezetet hatékonyan óvja meg a szabad gyökök káros hatásaival szemben. A **diindolilmetán** (DIM) egy természetes vegyület, ami emésztés során indol-3-karbinolból képződik. Rákellenes hatást tulajdonítanak neki, mivel csökkenti 32%-kal a prosztaták kialakulásának a kockázatát, az ösztrogénre, illetve az androgén hormonokra gyakorolt hatásának köszönhetően [22].

3.3. Öntözővizek előállítása és kezelése

A kutatásom során öntözővízként két különböző víztípust használtam: ivóvizet (amit kontrollként alkalmaztam), illetve egy kezelt szintetikus szürkevizet.

Az **ivóvizet** a vezetékes csapvízhálózatról vettem a kontroll minták öntözéséhez, valamint használtam a szintetikus fürdővíz alapjaként is.

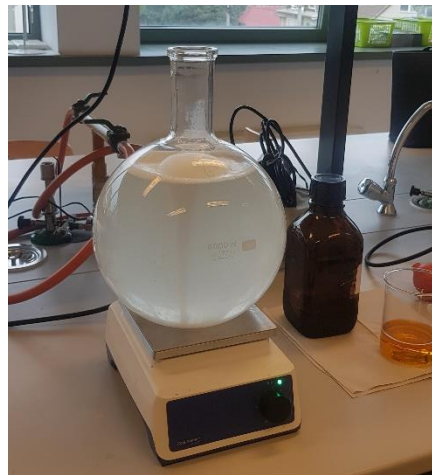
A **szürkevizet**, a Környezetmérnöki Tanszék korábbi kutatási eredményeire támaszkodva [23] hoztam létre, ami egy ivóvíz alapú szintetikus fürdővíz és minőségi szempontból jól reprezentálja a háztartásban keletkezett valós fürdővizet.

Az ivóvízhez a 3. ábrán látható anyagokat adtam hozzá:

- 0,15g/l Nutrient broth (növényi tápanyag),
- 0,05g/l Sampon,
- 0,2g/l Tusfürdő,
- 0,1g/l Kukorica olaj.

A hidropónikus növénytermesztés 40 liter térfogatú vizet igényel, de 42 litert készítettem mivel a szürkevíz kezelés előtti és kezelés utáni minősítéshez eltettem 1-1 liter vizet. Ebből adódóan

koncentrált mintát készítettem, azaz 5,5 liter vízben oldottam fel 22 liternyi fürdővíz összetevőit, majd mágnesen keverőn homogenizáltam 15 percig, amit az 4. ábra szemléltet. A koncentrátumból kimértem mérőhengerrel 1 litereket külön-külön, és mindegyiket 4 liter ivóvízzel hígítottam, amit tovább kevergettem még 10 percig. A 40 liter vízszükséglet miatt a teljes térfogatú fürdővíz előállítási és a kezelési műveletet kétszer végeztem el.



3. és 4. ábra: A szintetikus fürdővíz kimért alapanyagai és előállítása (saját képek)

Kezelésként az 5. ábrán látható koagulációs-flokkulációs kémiai eljárást, majd azt követően homok rétegen történő mechanikai szűrést alkalmaztam, amely eljárást a Környezetmérnöki Tanszék korábbi kutatása során fejlesztettek ki [23]. A koagulálószerként vas(III)-kloridot használtam.

A koagulációs-flokkulációs kezelést a következő lépések szerint végeztem:

- Vegyszeradagolás: 5 l szintetikus fürdővízhez 45,00 ml 25 g/l koncentrációjú FeCl_3 -törzsoldatot adtam,
- 15 percig intenzíven kevertettem (koagulálás folyamata),
- 30 percig lassan kevertettem (flokkulálás folyamata),
- és végül 10 percig hagytam ülepedni.

Arra való tekintettel, hogy a kutatás végéig pótolni kell az esetlegesen elpárolgó kezelt szürkevizet a hidropóniás tornyokból, még háromszor készítettem 10 l szintetikus fürdővizet, amit a fenti paraméterek és lépések alapján készítettem el, illetve kezeltem.



5. ábra: Koagulációs-flokkulációs kémiai kezelés (saját kép)

3.4. Az öntözővizek, illetve a kezeletlen szürkevíz minősítése

Az öntözővizek vizsgálatának az volt a célja, hogy információt kapjak a hidropóniában lezajló folyamatokról, illetve a kapott értékek alapján összehasonlításokat végezzek. Egyes paramétereket, mint a pH-t és a fajlagos vezetőképességet, napi szinten ellenőriztem, mivel ezek a tényezők jelentősen hatással vannak a növények fejlődésére. Az öntözővizek mellett a szintetikus fürdővizet kezeletlen formában is minősítettem, hogy a kezelés hatékonyságáról is szerezzek információkat. Ezekből kiindulva az alábbi paramétereket mértem:

- pH-érték,
- Fajlagos vezetőképesség (EC),
- Zéta-potenciál (ZP),
- Zavarosság (TURB),
- Anionok, kationok koncentrációját,
- Biológiai oxigénigény (BOI₅),
- Kémiai oxigénigény (KOI),
- Összes szerves széntartalom (TOC).

3.4.1. A pH mérése

A **pH-érték**, ami egy dimenziómentes paraméter, megmutatja, hogy a vizsgált oldat kémhatása mennyire savas vagy lúgos. Az oldatban lévő hidrogénion-koncentráció negatív előjelű tízes alapú logaritmusát vesszük alapul a pH érték számítása során. A pH skála segítségével tudjuk értelmezni a kapott értékeket. A skála 14 egységből áll, ahol a 7-es pH a semleges kémhatást jelezi, alatta savast, felette pedig a lúgos kémhatást. Mérését végezhetjük elektrokémiai pH-mérő rendszerekkel, kolorimetriásan, vagy indikátorpapírokkal. Az elektrokémiai rendszerrel történő mérés, amely során egy kombinált üvegelektóddal mérünk, vezet a legpontosabb eredményekhez. Ezeket az elektródákat úgy alakították ki, hogy 7-es pH-értéknél a membránon levő feszültség 0 mV legyen. Minél jobban eltér a mérendő oldat pH-értéke a pH=7-től, annál nagyobb lesz a feszültségjel, amit a műszer felhasznál a pH-érték kiszámítására [24].

A vízminősítések során a SenTix 41 kombinált pH elektródát használtam, ami tanszéki laboratóriumban fellelhető MultiLine4 mérőbőrönd része.

3.4.2. Fajlagos elektromos vezetőképesség és zéta-potenciál mérése

A **fajlagos elektromos vezetőképesség (EC)**, aminek a mértékegysége a $\mu\text{S}/\text{cm}$, az oldat ionkoncentrációjáról szolgáltat információt, mivel minél több ion található az oldatban, annál nagyobb a vezetőképessége, emiatt az oldat tisztaságát is megmutatja. A fajlagos elektromos vezetőképesség mérése elektrokémiai ellenállásméréssel történik [24].

A **zéta-potenciál (ZP)**, aminek a mértékegysége a mV, a kolloid rendszerek stabilitását jellemző paraméter. A zéta potenciál értéke nagyban befolyásolja a kolloid rendszerek stabilitását: pozitív vagy negatív értékek esetén a részecskék taszítják egymást, míg közel nulla érték esetén aggregációra hajlamosak lehetnek. Meghatározása a kolloid részecskék felületén lévő elektromos potenciál mérésén alapszik [24].

A vízminősítéseim során a Zetaseizer NanoZ készüléket használtam, mind a két paraméter meghatározásához. A mérések során három párhuzamos mérést végez ez a készülék, majd azoknak az átlagát szolgáltatja.

3.4.3. Zavarosság mérés

A **zavarosság** (TURB), aminek a mértékegysége NTU, arról ad információt, hogy kolloid méretű, oldhatatlan, szerves és szervetlen részecskék milyen mértékben vannak jelen az adott oldatban. A részecskék jelenléte miatt a fény nem tud teljesen áthatolni a folyadékon; így elnyelődik, vagy visszaverődik. Mérésére két módszert alkalmazhatunk: a turbidimetriás módszert, illetve a nefelometriás módszert.

- **Turbidimetriás** módszer során, a mintán áthaladó fény intenzitását mérik.
- **Nefelometriás** módszer során pedig az analóg és a kolloid részecskéken 90° -ban szóródó fény intenzitását mérik.

Méréseim során három párhuzamos mérést végeztem el mindegyik vízmintából a Turb 555-IR típusú zavarosságmérő nefelométerrel. Ez a készülék 6 nagyságrendet fog át (0,01-9999 NTU), ezért kivételesen nagy a méréstartománya [24]. Azért alkalmaztam nefelometriás módszert, mivel különösen alacsony méréstartományokban is remekül működik, emiatt a zavarosság mérése során nemzetközileg elismert módszerré vált.

3.4.4. Ionkromatográfiás vizsgálat (IC)

A legelterjedtebb folyadékkromatográfiai módszer a **nagynyomású folyadékkromatográfia** (HPLC). Ennek lényege, hogy a mozgófázist nagy nyomással áramoltatják át az apró szemcsés állófázison, ami egy acélcsőben található, ezáltal a komponensek elválasztása hatékonyabb és gyorsabb. A HPLC-s méréstechnika speciális fajtája az ionkromatográfia [24].

Az **ionkromatográfia** során a töltéssel rendelkező részecskéket, ionokat választjuk el, illetve határozzuk meg. Az állófázis ioncserélő gyantákból (anioncserélő, kationcserélő), az eluens pedig elektrolitot tartalmazó vizes oldatokból (az anionág: 8 mmol/l Na_2CO_3 és 1 mmol/l NaHCO_3 , a kationág: 22 mN = 11 mmol/l H_2SO_4) állnak. Az anionok (fluorid-, klorid-, bromid-, nitrát-, foszfát-, szulfát-ion) és a kationok (lítium-, nátrium-, ammónium-, kálium-, magnézium-, kalcium-ion) koncentrációját mg/l-ben kapjuk meg. Az ionok koncentrációját vezetőképességet mérő detektorral mérjük meg [24].

A kutatásunk során CHROMELEON Chromatography Management szoftver vezérlővel felszerelt DIONEX ICS-3000 dual ionkromatográfiás rendszert alkalmaztunk. A mérési paramétereket

DIONEX applikációk, illetve MSZ EN ISO 10304-1:2009 [25] és a MSZ EN ISO 14911:2000 [26] vízminőségi szabványok alapján végeztük el.

3.4.5. Biológiai oxigénigény (BOI) vizsgálata

A **biológiai oxigénigény** (BOI) azt az oldott oxigénmennyiséget jelenti, amely szükséges a vízben lévő szerves anyagok aerob baktériumok általi lebontásához, meghatározott idő és hőmérséklet mellett. Ezen érték alapján következtetni lehet a vizsgált minta szervesanyag-tartalmára. A biológiai lebomlás gyakorlatban 20 nap alatt lezajlik. Ennek ellenére manapság a legáltalánosabban használt megadási módja BOI_5 mg/l mennyiségben történik, amely 5 nap alatt adja meg 1 liter minta felhasznált biológiai oxigénigényét. Azért népszerű ez a mód, mert kevesebb időt vesz igénybe a mérés, illetve bebizonyosodott, hogy öt nap alatt lebomlik a szervesanyag-tartalom 70-80%-a, így az (1) képlettel megadhatjuk a BOI_{20} -at [24]:

$$BOI_{20}=1,25 \times BOI_5 \quad (1)$$

A mérés kivitelezésekor a barna mérőüvegekbe a mérést megelőzően mágneseket tettem, illetve belsejében található gumikosarakba 3 db NaOH pasztillát helyeztem be üvegekként a széndioxid megkötésére. A vízmintából párhuzamos mérést végeztem a BOI_5 meghatározására. Az ivóvízből és a kezelt szürkevízből túlfolyós mérőlombikok segítségével 432 ml-t mértem ki és 9 NTH cseppet adagoltam, a kezeletlen szürkevízből pedig 164 ml-t mértem ki és 3 NTH cseppet adtam a nitrifikáció kiküszöbölésére. Végül a mérőfejeket ráhelyeztem, elindítottam a mérést. Az üvegeket egy termosztátszekrénybe elhelyeztem, és öt nap múlva leolvastam a BOI_5 értékeket. A BOI_5 meghatározására nanometrikus elven működő OxiTop IS 12 típusú berendezéseket alkalmaztam, amik a 6. ábrán láthatóak [24].



6. ábra: BOI mérőüvegek (saját kép)

3.4.6. Kémiai oxigénigény (KOI) vizsgálata

A **kémiai oxigénigény** (KOI), azt az oldott oxigénmennyiséget adja meg mg/l mennyiségben, amely szükséges a szerves anyagok kémiai úton való lebontásához. Azon alapszik, hogy szinte minden szerves vegyület, széndioxiddá és vízzé oxidálható erős oxidálószerrel, arra való tekintet nélkül, hogy a szerves anyag biológiailag lebontható vagy nem, ezért a KOI érték a BOI₅ értéknél mindig nagyobb. A mérést két módon lehet megvalósítani: klasszikus analitikai és műszeres módszerrel [24].

- A **klasszikus analitikai módszer** során megmérjük az oxidálószer mennyiségét, amely elreagál a szerves anyaggal, majd ebből kiszámítjuk a vele egyenértékű oxigén mennyiségét. Oxidálószerként alkalmazhatunk kálium-permanganátot, illetve kálium-dikromátot. Különböző erősségű oxidálószerek eltérő eredményeket adhatnak, ezért az eredmény közzlésekor fontos megemlíteni a használt oxidálószer is [24].
- A **műszeres módszer** során az egyik legelterjedtebb a fotometriás vizsgálat, amit egy termikus kezelési eljárás (roncsolás) előz meg. Roncsolás során a tesztcsővekben lévő előre elkészített reagenshez hozzáadjuk a vizsgálandó mintákból kimért 2 ml-t. Ezeket alaposan összerázzuk majd pedig 30 percig roncsoljuk egy termoblokk segítségével 160 °C-on. Ezután a kémiai oxigénigény értékét egy spektrofotométer segítségével megmérjük [24].

A műszeres eljárással gyorsabban, egyszerűbben és biztonságosabban kapjuk meg az eredményeket, ezért a NANOCOLOR Linus spektrofotométer segítségével vizsgáltam meg a kémiai oxigénigényt a kutatás során.

3.4.7. Összes szerves széntartalom (TOC) meghatározása

A **teljes szerves széntartalom** (TOC) a vízben található különböző szerves anyagokban fellelhető széntartalmat jelenti.

Négy összes széntartalom típust különítünk el:

- TOC: Összes szerves széntartalom,
- TIC: Összes szervesetlen széntartalom,
- NPOC: Összes nem kiűzhető szerves anyagtartalom,
- TC: Összes széntartalom [24].

Mintaelőkészítésként a vízmintákat 0,45 µm pórusátmérőjű membránszűrőn átszűrtem és így mértem meg. A szénatomok oxidációjából következően szén-dioxid keletkezik, amelyet infravörös detektálással mértünk. Ezzel a módszerrel rövidebb idő alatt (kb. 20 perc) információhoz juthatunk a szervesanyag tartalommal kapcsolatosan, mint a biológiai oxigénigény mérésével.

A vizsgálatom során a Shimadzu TOC-VCPN típusú készülékkel dolgoztam, illetve TOC Control-V nevű szoftvert használtam az eredmények kiértékelésére.

3.5. Hidropóniás növénytermesztés

Ahogy korábban hangsúlyoztam a kutatásom során a vízitorma termesztetőségét vizsgáltam kezelt szürkevíz alapú hidropóniás rendszerben. A jobb összehasonlítás végett, egy kontroll tornyot is üzemeltettem, amely csak ivóvizet tartalmazott. Ezáltal össze tudtam hasonlítani, hogy az ivóvíz alapú vízitorma termesztéshez képest milyen eltérések vagy éppen hasonlóságok voltak megfigyelhetők a kezelt szürkevízen nevelt növényekkel szemben.

3.5.1. Vízitormák előnevelése

A hidropóniás kísérletek előkészítő lépése a magokból történő növények előnevelése, amelynek munkafolyamatát a következőkben részletesen ismertetem. Az ültetés előtt 3 %-os hidrogén-peroxid oldattal fertőtlenítettem a propagátorokat, hogy elkerüljem a növények esetleges elfertőzését. A későbbiekben ezekben a propagátorokban neveltem elő a Sativa svájci cég bio vízitorma magjait, amiket a www.bloomling.hu oldalról rendeltem. A magokat előre beáztatott kőzetgyapot kockákra helyeztem el, amiket 12 napig neveltem elő. Kétnaponta ellenőriztem az elhasznált vizek pH értékét, illetve vezetőképesség (EC) értékét, emellett új tápoldattal elkevert friss vizeket is készítettem, amiknek szintén megmértem a pH és EC paramétereit. A friss vizek létrehozásához kimértem 500 ml csapvizet mérőhengerrel, amibe 1 ml BIO NOVA Hydro-SuperMix típusú tápoldatot adtam hozzá automata pipettával, majd mágneses keverőn homogenizáltam. Öntözővíz típusokként 25-25 kőzetgyapot kockányi vízitormát neveltem, ahogy a 7. és 8. ábrán is látható. Ezekből 20-20 kockányi került bele a hidropóniás tornyokba. 10 kőzetgyapot kockányi növényt tovább nevelgettem a propagátorokban, az indol-3-karbinol hatóanyag spektrofotometriás meghatározásának a vizsgálata céljából. Az előnevelés alatt algásodás, illetve gombásodás nem volt megfigyelhető.



7.ábra és 8. ábra: A vízitormák előnevelésének a kezdete és vége (saját képek)

3.5.2. Hidropóniás torony felépítése

A hidropónikus növénytermesztéshez a Green Drops Farm Kft. által forgalmazott Rotower tornyokat használtam, amik függőlegesek és körtálcás elrendezésűek, ami a 10. ábrán is megfigyelhető. Az alsó 40 literes fekete tálcákba (amikben a szivattyú is megtalálható, ami a vizek keringtetését szolgálja) beleöntöttem az ivóvizet, illetve a kezelt szürkevizet, a tornyoknak megfelelően. A tornyok öt szintből álltak, amelyekből csak kettőt használtam a vízitormák termesztéshez. Az előnevelt növényeket a kőzetgyapot kockákkal együtt hidrokosarakba helyeztem el, ahogyan a 9. ábrán is látható, és így tettem bele a hidropóniás tornyokba.

A vízitormák a hidropónikus rendszerben 20 napot töltöttek. Mindennap megmértem a pH és EC paramétereket, mind a két toronyban. A különböző növényeknek más az ideális pH igénye, de az optimális tartomány azonban 6,5-7,5 között változik. Az optimális szint fenntartását 24,5%-os foszforsav adagolásával értem el. A foszfornak, a növények gyökerének fejlődésének elősegítésében jelentős szerepe van, ezért használtuk ezt a savat. Az elpárolgó, vagy a növények által elhasznált vizeket 3 naponta pótoltam (az ivóvizet a vezetékes vízhálózathoz, a kezelt szürkevizet pedig előre elkészítettem és kezeltem, majd hűtőszekrényben tároltam).

Megjegyezném, hogy jelen kutatás alkalmával BIO NOVA Hydro-SuperMix típusú tápoldatot, csak a növények előnevelésekor alkalmaztam, a hidropóniás tornyokban pedig nem, mivel így tudok pontosabb összehasonlítást végezni, hogy az ivóvíz alapú hidropóniás rendszerhez képest a kezelt szürkevizet tornyok miben mutatnak, ha mutatnak eltérést. Természetesen a jövőben tápoldat adagolása mellett is tervezem elvégezni ezt a kísérletet.



9. ábra és 10. ábra: Vízitorma hidrokosárban, illetve a Rotower tornyokban (saját képek)

3.6. Vízitormák minősítése

A vízitormák minősítése során mind a két toronyban lévő bokroknak megmértem az **átlag növényhosszát** 3 párhuzamos méréssel, illetve a **maximális gyökérhosszát** mérőszalag segítségével, amit a 11. ábra szemléltet. A kapott eredményekből átlagot vontam külön az ivóvízes, illetve a kezelt szürkevízes tornyokban növekedett növények paramétereiből.



11. ábra: Vízitorma bokor paramétereinek lemérése (saját kép)

Meghatároztam a vízitormáknak a **nedvességtartalmát** is. A hidropóniából kivett növényeket fekete műanyagedénybe helyeztem, ami a 12. ábrán látható, majd megmértem a tömegüket, azaz a nedves biomassza tömeget. Több napon keresztül szobahőmérsékleten szárítottam a növénymintákat, ezáltal légszáraz mintát kaptam. Majd Petri-csészébe, illetve kristályosító csészébe helyeztem át őket, és tömegállandóságig szárítottam 50 °C-on a szárítószekrényben, majd ismét lemértem a tömegüket, ami a száraz biomassza tömegnek felel

meg. A szárított növények a 13. ábrán láthatóak. A kapott nedves és száraz biomassza értékekből számítottam ki a növények nedvességtartalmát, a (2). képlet segítségével:

$$n (\%) = [(m_{nb} - m_{szb}) / m_{nb}] * 100 \quad (2)$$

ahol:

- **m_{nb}** : a nedves biomasszatömeg grammban,
- **m_{szb}** : a száraz biomasszatömeg grammban.



12. ábra és 13. ábra: A vízitormák szárítás előtt és után (saját képek)

3.6.1. Klorofill és karotinoid tartalom meghatározása

A vízitormák **klorofill és karotinoid** tartalmára is kíváncsi voltam. A klorofill-a, klorofill-b, és az össz-karotinoidok koncentrációját spektrofotometriásan lehet meghatározni. A növényekből először pigmentkivonatot kell készíteni, hogy meg tudjuk határozni a fotoszintetikus pigmenteket. A friss levélmintákból 70 mg-ot kimértem analitikai mérlegen, majd 7 ml DMF-t (N, N-Dimethylformamid) adtam hozzá automata pipetta segítségével, ami a 14. ábrán látható. A mintákat 72 órán keresztül, 4°C-on extraháltam hűtőszekrényben. A növényekből kioldódott pigmenteket, amit a 15. ábra szemléltet, megmértem Nanocolor Vis spektrofotométerrel a klorofill-a (664nm), a klorofill-b (647nm), és a karotinoid mennyiségeket 480 nm-es hullámhosszon. A kapott hullámhossz értékekből a mennyiség értékek meghatározását az alábbi képletekkel számítottam ki [27].

$$\text{Klorofill-a (mg/gSP)} = (11,65 A_{664} - 2,69 A_{647}) * v/sp \quad (3)$$

$$\text{Klorofill-b (mg/gSP)} = (20,8 A_{647} - 3,14 A_{664}) * v/sp \quad (4)$$

$$\text{Karotinoid (mg/gSP)} = (1000 A_{480} - 1,28 \text{ klorofill a} - 56,7 \text{ klorofill b}) / 245 * v/sp \quad (5)$$

ahol:

- A_{480} : az olvasható érték 480nm hullámhosszon,
- A_{647} : az olvasható érték 647nm hullámhosszon,
- A_{664} : az olvasható érték 664nm hullámhosszon,
- v: az alkalmazott oldat ml-ben,
- SP: az a mg friss növényi anyag, amely az extrakcióhoz fel lett használva.



14. ábra és 15. ábra: A vízitorma minta az extrahálás előtt és után (saját képek)

3.7. I3C meghatározásának a vizsgálata

A vízitormában lévő indol-3-karbinol hatóanyag koncentrációját **UV/VIS spektrometriás módszerrel** terveztem meghatározni. A módszer a molekulák és ionok fényelnyelésének mérésén alapszik. Az anyag elnyelési maximumán (ami anyagi minőségre jellemző érték) célszerű elvégezni a koncentráció meghatározást, mivel a mérés pontossága, érzékenysége itt a legnagyobb. A fényelnyelés az ultraibolya (UV) vagy látható (VIS) tartományban történik, a kereskedelmi forgalomban elérhető fotométerek hullámhossztartománya jellemzően 200-900 nm között van. Ha a vizsgálandó oldaton át fényt bocsátunk keresztül, az összetett fényből a mintában lévő részecskék egy része valamilyen hullámhossztartományban fényt nyel el. Az oldat anyagi minőségétől függ, hogy milyen hullámhossztartományban történik az elnyelés, a koncentráció pedig az elnyelés

intenzitásával az ún. abszorbanciával (A) arányos. Az abszorbanciát (A) a 6. egyenletnek megfelelően definiáljuk, és a koncentrációval (c) való kapcsolatát a Lambert Beer törvénnyel írjuk le [24].

$$A = -\log I_t/I_0 = \epsilon \times L \times c \quad (6)$$

ahol:

- **I_t**: a mintán áthaladó, detektorba jutó fény intenzitása,
- **I₀**: a megvilágító fény intenzitása,
- **ε**: a hullámhosszra és anyagi minőségre jellemző moláris abszorbancia,
- **L**: a kuvetta úthossza.

A méréseim során Agilent Cary 60 fotométerrel vizsgáltam az I3C koncentrációját, oldószerként pedig etil-acetátot, illetve ultratiszta vizet alkalmaztam.

Előkísérletként megmértem az etil-acetát fényelnyelését, erre azért volt szükség, mert ezt a szerves oldószert használtam a vízitorma-kivonatok elkészítéséhez. A tiszta oldószer elnyelése túl intenzív, ezért hígított vizes oldatait vizsgáltam a továbbiakban. Egy 100 ml-es mérőlombikba 1 ml etil-acetátot mértem ki automata pipettával, majd jelig feltöltöttem ultratiszta vízzel, és homogenizáltam. Az 1. táblázat mutatja, hogy milyen arányokban mértem be a kuvettába az etil-acetát vizes oldatát ultratiszta vízzel. A kísérletsor segítségével meghatároztam az etil-acetát moláris abszorbanciáit vizes közegben 190-290 nm-es tartományban.

1. táblázat: Az etil-acetát oldat és az ultratiszta víz bemért térfogatai a kuvettában

Etil-acetát oldat (ml)	Ultratiszta víz (ml)
0,3	2,7
0,6	2,4
1	2

Az I3C moláris spektrumának megállapításához kereskedelmi forgalomban beszerezhető, 97 %-os tisztaságú indol-3-karbinol szilárd (Thermo Scientific által gyártott) vegyszert alkalmaztunk. A kalibrálósor elkészítéséhez ezért kimértem 0,03 g szilárd I3C-t és 30 ml etil-acetátban oldottam. A

törzsoldatból kimértem 1 ml-t automata pipettával szintén egy 100 ml-es mérőlombikba, majd jelig feltöltöttem, és homogenizáltam. Az 2. táblázat mutatja, hogy milyen arányokban mértem be a küvettába az I3C etil-acetátos oldatát és az ultratiszta vizet.

2. táblázat: Az etil-acetát + I3C oldat és az ultratiszta víz bemért térfogatai a küvettában

Etil-acetát + I3C oldat (ml)	Ultratiszta víz (ml)
0,3	2,7
0,6	2,4
1	2

3.7.1. Vízitormák előkészítése

Először három kőzetgyapot kockányi vízitormának próbáltam meghatározni az I3C tartalmát. A kőzetgyapotokból kihúztam a növényeket, majd papírtörlőre tettem száradni, hogy a felesleges víz elpárologjon, ahogy a 16. ábrán is látható. Külön Petri-csészébe helyeztem a vízitormákat, és megmértem a tömegüket analitikai mérlegen. Etanollal lefertőtlenített ollóval feldaraboltam a növényeket, majd mozsárba helyezve pépesítettem, azaz homogenizáltam őket, amit a 17. ábra szemléltet. Az 1. növénypépből kimértem 0,5 grammot, a 2.-ból 1 grammot és a 3.-ból 2 grammot 50 ml-es főzőpoharakba analitikai mérleg segítségével. A kimért növénypépekhez 1-1 mágnest, illetve 30 ml etil-acetátot adtam mérőhenger segítségével, ami a 18. ábrán megfigyelhető.



16. ábra: A vízitormák szárítása (saját kép)



17. ábra: Mozsárban történő pépesítése a növényeknek (saját kép)



18. ábra: Vízitorma-kivonatok készítése etil-acetát oldószerral (saját kép)

Mágneses keverő segítségével 1 órán keresztül extraháltam a mintákat, majd redős szűrőpapír segítségével átszűrtem az oldatokat. Az oldatokból kimértem 1 ml-t automata pipetta segítségével 100 ml-es mérőlombikokba, majd ultratiszta vízzel jelig feltöltöttem a lombikokat, és homogenizáltam. Az 3. táblázat mutatja, hogy milyen arányokban hígítottam a küvettában a vízitorma-kivonatot ultratiszta vízzel.

3. táblázat: A vízitorma-kivonatok és az ultratiszta víz megoszlása a küvettában

Vízitorma-kivonatok (ml)	Ultratiszta víz (ml)
0,3	2,7
0,6	2,4
1	2

Addíciós módszerrel is próbáltam meghatározni az indol-3-karbinol koncentrációját a vízitormának. Az I3C-oldatot, és a vízitorma-kivonatot (0,5 g növénypépet extraháltam) az előbb említett eljárásokkal elkészítettem. A küvettába mért arányokat a 4. táblázat szemlélteti.

4. táblázat: Addíciós módszer során a küvettában lévő oldatok bemért térfogatai

Minta száma	I3C oldatok (ml)	Vízitorma-kivonat (ml)	Ultratiszta víz (ml)
1. minta	0,3	0,6	2,1
2. minta	0,3	-	2,7
3. minta	-	0,6	2,4
4. minta	0,6	1	1,4
5. minta	0,6	-	2,4
6. minta	-	1	2
7. minta	0,3	1	1,7

4. Eredmények és értékelésük

Ebben a fejezetben ismertetem a víz- és a növényminősítési, illetve az indol-3-karbinol hatóanyagmeghatározás vizsgálatának az eredményeit az értékelésükkel együtt.

4.1. Vízminősítési eredmények

A kutatásom során szintetikus fürdővizet négy alkalommal csináltam, majd kezeltem. A kezeletlen szürkevizet a kezeléshatékonyság meghatározása miatt minősítettem. Amellett, hogy öntözővízként használtam az ivóvizet az egyik hidropóniás toronyban, a szintetikus szürkevíznek is az alapja, ezért minden alkalommal ivóvízmintát is vettem és minősítettem, a kezeletlen és a kezelt szürkevízzel együtt. Átlagolva mutatom be a víztípusok paramétereit szórásokkal kiegészítve táblázatok segítségével. Először egy összesítő táblázatot szeretnék ismertetni (5. táblázat), ami a pH, a fajlagos vezetőképesség (EC), a zéta-potenciál (ZP), a zavarosság (TURB), a biológiai oxigénigény (BOI), a kémiai oxigénigény (KOI) és az összes szerves széntartalom (TOC) paraméterek átlageredményeit mutatja be.

5. táblázat: Összesítő táblázat a víztípusok eredményeiről

Paraméter	Mértékegység	Ivóvíz	Kezeletlen szürkevíz	Kezelt szürkevíz
pH	-	7,67±0,11	8,18±0,06	8,06±0,05
EC	μS/cm	767,67±37,53	917,25±22,91	850,54±202,54
ZP	mV	-	-32,57±1,70	-11,47±2,26
TURB	NTU	0,29±0,06	43,28±6,13	0,82±0,78
BOI ₅	mg/l	1,38±0,52	136,5±60,76	4,13±3,64
KOI	mg/l	8,83±0,72	515,42±170,14	14,08±4,48
TOC	mg/l	2,74±0,27	57,69±5,44	3,86±0,94

A táblázatban az figyelhető meg, hogy a pH értékek közül az ivóvíznek a legalacsonyabb az átlag értéke (7,67) ami alapvetően magasabb az ivóvíz általános semleges (7) értékénél. Ez azt jelenti, hogy lúgosabb hatású a csapvíz, amit használtam a kutatásom során. Összességében elmondható, hogy a minősítés során a várt eredményeket kaptuk. Az ivóvíz paraméterei a legkisebbek, a kezeletlen szürkevíznek a legnagyobbak, a kezelt szürkevíz értékeit pedig sikerül csökkenteni a kezeletlenhez képest.

A szürkevíz kezelése kapcsán a TURB, a BOI₅, és a KOI eredményeket a víz újrafelhasználására vonatkozó minimumkövetelményekről szóló Európai Parlament és a Tanács (EU) 2020/741 rendelete [28], illetve a települési szennyvíz kezeléséről szóló (91/271/EGK) irányelve [29], alapján értékeltem. A **zavarosság** (TURB) mérése fontos a szürkevíz kezelése során, mivel a magas zavarosságú víz befolyásolja a szűrési és fertőtlenítési folyamatokat, valamint csökkenti a víz esztétikai minőségét. Az EU 2020/741 rendelet alapján a zavarosság nem haladhatja meg a 5 NTU (Nephelometric Turbidity Units) értéket. A kezelt szürkevíznek a zavarossága átlagosan **0,82 NTU** volt, ami nem éri el az EU 2020/741 rendelet határértékét a zavarosságra vonatkozóan. A **5 napos biológiai oxigénigény** (BOI₅) vízben lévő szerves anyagok biológiai lebontásához szükséges oxigén mennyiségét jelzi. A szürkevízkezelés célja, hogy minimalizálja a szerves anyagok koncentrációját. Az EU 2020/741 rendelet szerint mezőgazdasági öntözés esetében a BOI₅ megengedett értéke ≤ 10 (mg/l). Az általam kezelt szürkevíznek az átlag BOI₅ értéke **4,13 mg/l** volt, így ezt a határértéket se érte el. A **kémiai oxigénigény** (KOI) a vízben lévő szerves anyagok kémiai úton való lebontásához szükséges oxigén mennyiségét jelzi. A szürkevíz kezelésében a KOI szint csökkentése kulcsfontosságú. A 91/271/EGK irányelv alapján a KOI határértéke 125 mg/l. A kutatás során kezelt szintetikus fürdővíz átlagértéke **14,08 mg/l** volt, így ennek az elvárásnak is eleget tett a kezelés.

Összességében elmondható, hogy mind a TURB, BOI₅, és a KOI határértékeknek megfelelt az általam kezelt szürkevíz, illetve az ivóvíz értékeihez képest nem nagyon térnek el, ezáltal a kezelési eljárás hatékonynak mondható.

4.1.1. A szürkevíz kezelési hatékonyságának a vizsgálata

Összehasonlítva a kezeletlen és a kezelt szintetikus fürdővíz paramétereit, kezelési hatékonyságot is tudunk számolni. A kezelési hatékonyságot az alábbi 7. egyenlettel számoltam ki:

$$P (\%) = ((C_0 - C_i) / C_0) \times 100 \quad (7)$$

ahol:

- **C₀**: a kezdeti paraméter koncentrációja, **C_i**: az i időben mért paraméter koncentrációja.

Az összes vízminősítési paraméterre kiszámoltam a kezelési, hatékonyságot, amit a 6. táblázat szemléltet.

6. táblázat: A vízminősítési paraméterek kezelési hatékonysága

Paraméter	Mértékegység	Kezelési hatékonyság (%)
pH	-	1,47
EC	μS/cm	7,27
ZP	mV	64,78
TURB	NTU	98,11
BOI ₅	mg/l	96,97
KOI	mg/l	97,27
TOC	mg/l	93,31

Az kezelési hatékonyság eredményei alapján elmondható, hogy a szennyezőanyagok mennyiségét a kezelési eljárás csökkentette. A szürkevíz kezelésének a célja, hogy főleg a TURB, BOI₅, KOI és TOC értékeket csökkentsük, ami sikerült, mivel ezeknek a paramétereknek a kezelési hatékonysága több mint 90 %.

4.1.2. A vízminták anion és kation koncentrációjának meghatározása

Ionkromatográfias módszerrel határoztam meg a vízminták anion- és kationkoncentrációját. A 7. táblázaton figyelhető meg a víztípusok anion tartalmának az eredményei, azaz a fluorid-, a klorid-, a bromid-, a nitrát-, a foszfát-, és a szulfát-ion átlagkoncentrációja, illetve szórása. A 8. táblázaton pedig a kation tartalom eredményei láthatóak, azaz a lítium-, a nátrium-, az ammónium-, a kálium-, a magnézium-, és a kalcium-ion átlagkoncentrációja, illetve szórása.

8. táblázat: A víztípusok anion koncentrációi

Anionok	Mértékegység	Ivóvíz	Kezeletlen szürkevíz	Kezelt szürkevíz
Fluorid	mg/l	0,0284±0,0054	0,0240±0,0079	0,0266± 0,01184
Klorid	mg/l	23,3741±2,7730	56,3370±3,3735	66,4310± 53,3514
Bromid	mg/l	0,0125±0,0064	0,0226±0,0080	0,0164± 0,0184
Nitrát	mg/l	2,6853±0,1017	3,4117± 0,9888	6,1834± 3,7798
Foszfát	mg/l	0,1974±0,0792	0,7051± 0,0839	0,0891± 0,0305
Szulfát	mg/l	8,1447±1,033	9,8891± 0,8386	10,2028± 1,4568

A minták átlag fluorid-ion koncentrációját tekintve a kezeletlen szürkevíznek volt a legkevesebb (0,0240 mg/l), az ivóvíznek pedig a legtöbb (0,0284 mg/l). Az átlag klorid-ion tartalmukat nézve a kezelt szürkevíznek (66,4310 mg/l) magasabb értéke volt, mint a kezeletlennek (56,3370 mg/l). Ez annak a következménye lehet, hogy a koagulálószer (FeCl_3) több mennyiségben adhattam hozzá, ahhoz a mennyiséghez képest, mint ami már eléri a kezelési hatékonyságot, ezért kevesebb mennyiség is elég lehet a kezelési eljáráshoz. Átlag bromid-ion tartalmukat nézve a kezeletlen szintetikus fürdővíz értékéhez képest, lecsökkent a kezelt minta bromid-ion koncentrációja. A kezelt szintetikus fürdővíz átlag nitrát-ion tartalma volt a legmagasabb, a víztípusok közül. A foszfát-ion tartalmakat elnézve volt a legnagyobb csökkenés a kezeletlen és kezelt szürkevíz között, mivel a kezelés során lecsökkent 0,7051 mg/l-ről 0,0891 mg/l-re. A legnagyobb szulfát-ion koncentrációja a kezelt mintának volt, a vízminták közül.

Általánosan elmondható, hogy a kezelt szürkevíz egyes anionjai (klorid-, nitrát- és szulfátion) nagyobb mennyiségben voltak megtalálhatóak a kezeletlen szintetikus fürdővízhez képest. Ez esetleg a koagulálószer többletmennyiségének, vagy a szűrés során alkalmazott mechanikai szűrő nem megfelelő tisztaságának a következményei lehettek.

9. táblázat: A víztípusok kation koncentrációi

Kationok	Mértékegység	Ivóvíz	Kezeletlen szürkevíz	Kezelt szürkevíz
Lítium	mg/l	0,0071±0,0048	0,0107±0,0045	0,0059±0,0017
Nátrium	mg/l	35,4722±4,8600	63,5757±3,0612	46,2224±10,6185
Ammónium	mg/l	0,4574±0,2041	0,9504±0,2458	1,1935±0,7492
Kálium	mg/l	2,0973±0,2612	3,5246±0,7818	2,5753±0,4972
Magnézium	mg/l	15,2418±2,4221	16,5222±1,5836	15,8336±3,3944
Kalcium	mg/l	63,2742±9,4753	65,1226±6,8493	60,1845±27,3080

A kezelt szürkevíz lítium-, nátrium-, kálium-, magnézium- és kalcium-ion tartalma lecsökkent, a kezeletlen szintetikus fürdővíz értékeihez képest. Azonban a kezelt minta ammónium-ion tartalma megnőtt a kezeletlen értékéhez viszonyítva. Ez a növekedés is esetleg a koagulálószer többletmennyiségének, vagy mechanikai szűrő nem megfelelő tisztaságának tudható be.

4.2. Az öntözővizek elemzése a hidropóniás torony előtt és után

A hidropóniás toronyba bekerülő kezelt szintetikus fürdővizet és ivóvizet (amit kontrollként használtam) minősítettem. A kísérleti idő letelte után újból megmértem a toronyok vizeinek a vízminősítési paramétereit, így nyomon követhettem a víz minőségében bekövetkező változásokat. Mivel vízpótlás több alkalommal is történt, így a bekerülő vizeknek az átlagát vettem alapul.

10. táblázat: Az ivóvíz paraméterei a hidropóniás torony előtt és után

Paraméter	Mértékegység	Ivóvíz		Változás
		Előtte	Utána	
pH	-	7,67±0,11	6,82±0,01	11,08 %-kal csökkent
EC	μS/cm	767,67±37,53	579,67±11,09	24,49 %-kal csökkent
ZP	mV	-	-3,67±1,35	-
TURB	NTU	0,29±0,06	0,12±0,03	58,62 %-kal csökkent
BOI ₅	mg/l	1,38±0,52	4±0	189,85 %-kal nőtt
KOI	mg/l	8,83±0,72	22±0	149,15 %-kal nőtt
TOC	mg/l	2,74±0,27	18,03±0,02	558,03 %-kal nőtt

A 10. táblázaton megfigyelhető, hogy az ivóvíznél a pH és fajlagos vezetőképesség is csökkent, ami a foszforsav hozzáadagolásával magyarázható (amit a megfelelő pH-érték fenntartása miatt adagoltam). Kisebb mennyiségben adagoltam a foszforsavat, aminek következtében nem esett le drasztikusan a pH értéke, így többször kellett használnom az optimális pH szint fenntartása érdekében. A zavarosság érték is csökkent, de a biológiai oxigénigény, a kémiai oxigénigény és az összes szerves széntartalom nőtt, amik a növények tevékenysége miatt következett be.

11. táblázat: A kezelt szürkevíz paraméterei a hidropóniás torony előtt és után

Paraméter	Mértékegység	Kezelt szürkevíz		Változás
		Előtte	Utána	
pH	-	8,06±0,05	6,71±0,01	16,75 %-kal csökkent
EC	μS/cm	850,54±202,54	1225±33,91	44,03%-kal nőtt
ZP	mV	-11,47±2,26	-5,43±2,64	52,66 %-kal csökkent
TURB	NTU	0,82±0,78	0,15±0,03	81,71 %-kal csökkent
BOI ₅	mg/l	4,13±3,64	4,5±0,71	8,96 %-kal nőtt
KOI	mg/l	14,08±4,48	17±1	20,74 %-kal nőtt
TOC	mg/l	3,86±0,94	6,50±0,06	40,62 %-kal nőtt

A 11. táblázat pedig azt szemlélteti, hogy a kezelt szürkevíz pH értéke és a zéta-potenciálja is csökkent, ami szintén a foszforsav hozzáadagolásának köszönhető. A kísérlet elején több foszforsavat adtam hozzá, mint az ivóvízhez, aminek az lett az eredménye, hogy a kísérlet elejétől kezdve jóval alacsonyabb volt a pH értéke, mint az ivóvízes toronynak. Az alacsonyabb pH befolyásolja a fajlagos vezetőképességet, illetve a növények tápanyagfelvételét is. A fajlagos vezetőképesség megnőtt, ami vagy a pH változásnak köszönhető, vagy esetleges szerves anyagok felhalmozódásának, amiket a növények nem vettek fel. A zavarosság érték itt is csökkent, illetve a biológiai oxigénigény, a kémiai oxigénigény és az összes szerves széntartalom is nőtt, amik szintén a növények tevékenysége miatt következett be. Ezekből arra következtethetünk, hogy a növények nem vették fel a szintetikus fürdővíz esetleges maradék szerves anyag tartalmát.

Összességében elmondható, hogy a szerves anyag tartalma (BOI₅, KOI és TOC) az ivóvíznek jobban megnőtt, mint a kezelt szürkevíznek a kísérlet végére. Viszont a zavarossága a kezelt szintetikus fürdővíznek jobban lecsökkent, mint az ivóvíznek.

4.2.1. Az öntözővizek anion és kation tartalmának változása a hidropónia során

Az öntözővizek anion és kation koncentrációinak a változására is kíváncsi voltam, hogy a növények tevékenysége során, mely ionok csökkennek vagy növekednek.

12. táblázat: Az ivóvíz anion és kation tartalmának a változása hidropónia előtt és után

Ion	Mértékegység	Ívóvíz		Változás
		Előtte	Utána	
Fluorid	mg/l	0,0284±0,0054	<LoD	csökkent
Klorid	mg/l	23,3741±2,7730	79,7790±0,8031	241,31 %-kal nőtt
Bromid	mg/l	0,0125±0,0064	0,7857±0,0014	6185,60 %-kal nőtt
Nitrát	mg/l	2,6853±0,1017	2,1083±0,0049	21,49 %-kal csökkent
Foszfát	mg/l	0,1974±0,0792	293,9803±3,9027	148826,19 %-kal nőtt
Szulfát	mg/l	8,1447±1,033	0,2928±0,0057	96,41 %-kal csökkent
Lítium	mg/l	0,0071±0,0048	0,0372±0,0021	423,94 %-kal nőtt
Nátrium	mg/l	35,4722±4,8600	81,6851±0,8295	130,28 %-kal nőtt
Ammónium	mg/l	0,4574±0,2041	0,2755±0,0617	39,77 %-kal csökkent
Kálium	mg/l	2,0973±0,2612	8,9565±0,1372	327,05 %-kal nőtt
Magnézium	mg/l	15,2418±2,4221	24,7650±0,2564	62,48 %-kal nőtt
Kalcium	mg/l	63,2742±9,4753	18,1005±0,2044	71,39 %-kal csökkent

A 12. táblázaton látható az ivóvíz anion és kation tartalmának a változása a hidropóniás tornyokban eltöltött idő előtt és után. A foszfát-ion tartalom drasztikusan megnőtt 148826,19 %-kal, illetve a bromid-ion koncentráció 6185,60 %-kal. A fluorid tartalom kimutatási határ alá csökkent. Emellett nőtt a klorid-, lítium-, nátrium-, kálium- és magnézium-ion koncentráció. A nitrát-, a szulfát-, ammónium- és kalcium-ion pedig csökkent, ebből az következtethető, hogy főleg ezeket az ionokat hasznosították a növények.

13. táblázat: A kezelt szürkevíz anion és kation tartalmának a változása hidropónia előtt és után

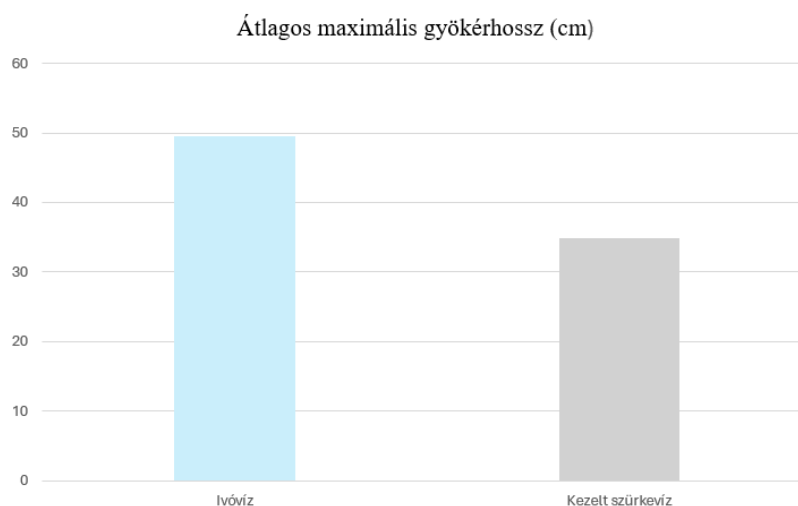
Ion	Mértékegység	Kezelt szürkevíz		Változás
		Előtte	Utána	
Fluorid	mg/l	0,0266± 0,01184	<LoD	csökkent
Klorid	mg/l	66,4310± 53,3514	168,3609±126,0769	153,44 %-kal nőtt
Bromid	mg/l	0,0164± 0,0184	0,0402±0,0214	145,12 %-kal nőtt
Nitrát	mg/l	6,1834± 3,7798	2,1446±0,0066	65,32 %-kal csökkent
Foszfát	mg/l	0,0891± 0,0305	106,9355±3,5667	119916,84 %-kal nőtt
Szulfát	mg/l	10,2028± 1,4568	0,1435±0,0084	98,59 %-kal csökkent
Lítium	mg/l	0,0059±0,0017	0,0134±0,0016	127,12 %-kal nőtt
Nátrium	mg/l	46,2224±10,6185	85,2301±4,1680	84, 39 %-kal nőtt
Ammónium	mg/l	1,1935±0,7492	0,4880±0,0769	59,11 %-kal csökkent
Kálium	mg/l	2,5753±0,4972	0,2136±0,0001	91,71 %-kal csökkent
Magnézium	mg/l	15,8336±3,3944	32,5560±1,4374	105,61 %-kal nőtt
Kalcium	mg/l	60,1845±27,3080	42,1301±1,1124	30,00 %-kal csökkent

A 13. táblázat szemlélteti az kezelt szürkevíz anion és kation tartalmának a változását a hidropóniás tornyokban eltöltött idő előtt és után. Itt is kimagaslóan magas a foszfát-ion tartalom, hiszen 119916,84 %-kal nőtt meg, viszont a bromid-ion koncentrációja csak kisebb mértékben nőtt meg, mint ahogyan az ivóvíznél emelkedett meg. A fluorid tartalom szintén kimutatási határ alá csökkent, ahogy az ivóvíznél is láthattuk. Emellett itt is nőtt a klorid-, lítium-, nátrium- és magnézium-ion tartalom. A nitrát-, ammónium-, kálium- és kalcium-ion koncentráció pedig csökkent, vagyis főleg ezeket hasznosították a növények.

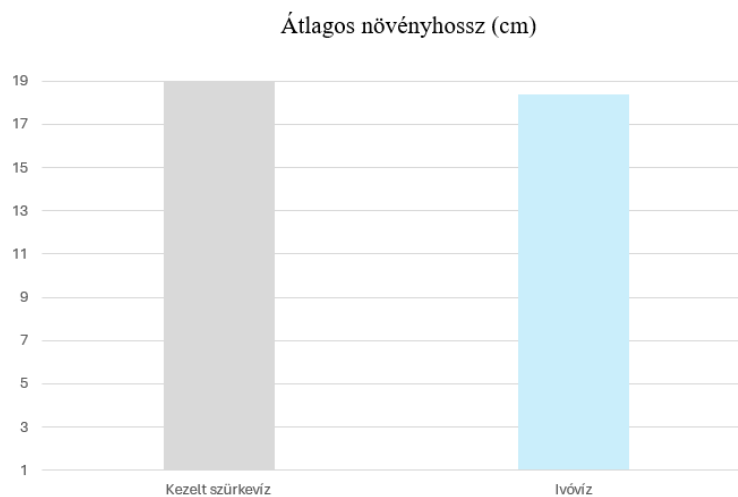
Összefoglalva, mindkét öntözővíz esetében drasztikusan megnőtt a foszfát-ion koncentráció. Az ivóvíznél még a bromid-ion is nagyon megemelkedett, ami a kezelt szürkevíznél nem volt megfigyelhető olyan nagy mértékben. A kezelt szintetikus fürdővíz esetében a vízitormák a kálium-ion tartalmat is jobban hasznosították, míg az ivóvíz esetében nem. A többi anion és kation megegyezően nőtt vagy csökkent az öntözővizeknél különböző százalékarányokban.

4.3. Vízitormák elemzése

A hidropónikus növénytermesztés során összesen 20-20 vízitormát elemeztem, tornyokként. A vízitormák elemzése során mind a két toronyban lévő bokroknak megmértem az **átlag növényhosszát** 3 párhuzamos méréssel, illetve a **maximális gyökérhosszát** mérőszalag segítségével. A kapott eredményekből átlagot vontam külön az ivóvízes, illetve a kezelt szűrkevízes tornyokban növekedett növények paramétereiből.



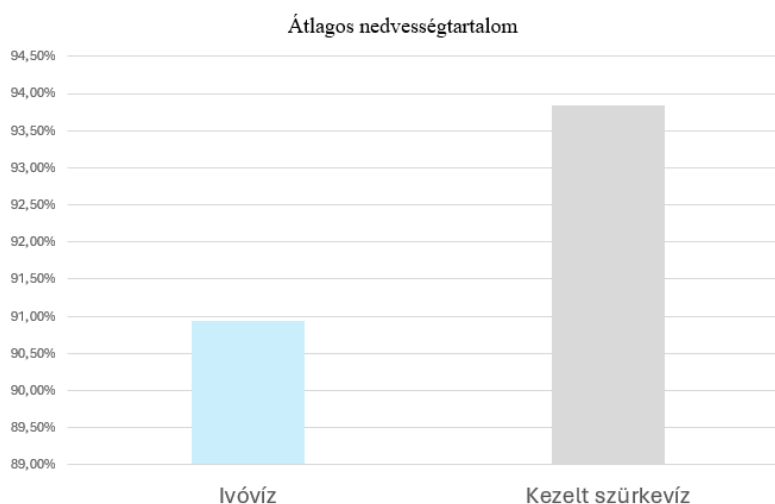
1. diagram: A vízitormák átlagos maximális gyökérhosszának az összehasonlítása



2. diagram: A vízitormák átlagos növényhosszának az összehasonlítása

Az ivóvízes toronyban nevelt vízitornáknak az átlagos maximális gyökérhossza 49,48 cm, a kezelt szürkevízes toronyban nevelteké pedig 34,81 cm, amit az 1. diagram szemléltet. Átlagos növényhosszt tekintve az ivóvízes növényeké 18,41 cm, a kezelt szürkevízes növényeké 19,04 cm, amit a 2. diagram szemléltet. Összességében elmondható, hogy a növényhosszakat elnézve, nincs nagy különbség, de a kezelt szintetikus fürdővízen nevelt vízitornák nagyobbak. A maximális gyökérhossz kapcsán kb. 15 cm különbség van, és az ivóvízen nevelt növények gyökere a hosszabb.

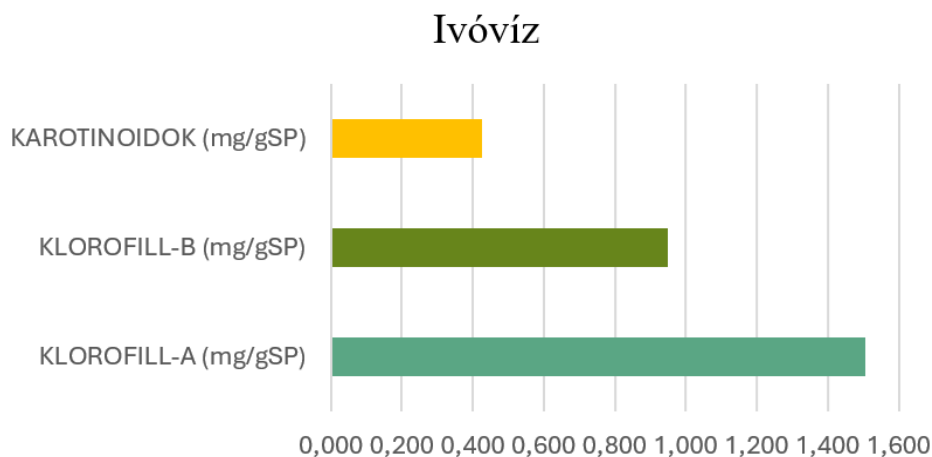
A vízitornáknak lemértem a nedves és száraz biomassa tömegüket, amelyekből megtudtam határozni az átlag **nedvességtartalmukat**, amiket összehasonlítottam a 3. diagramon.



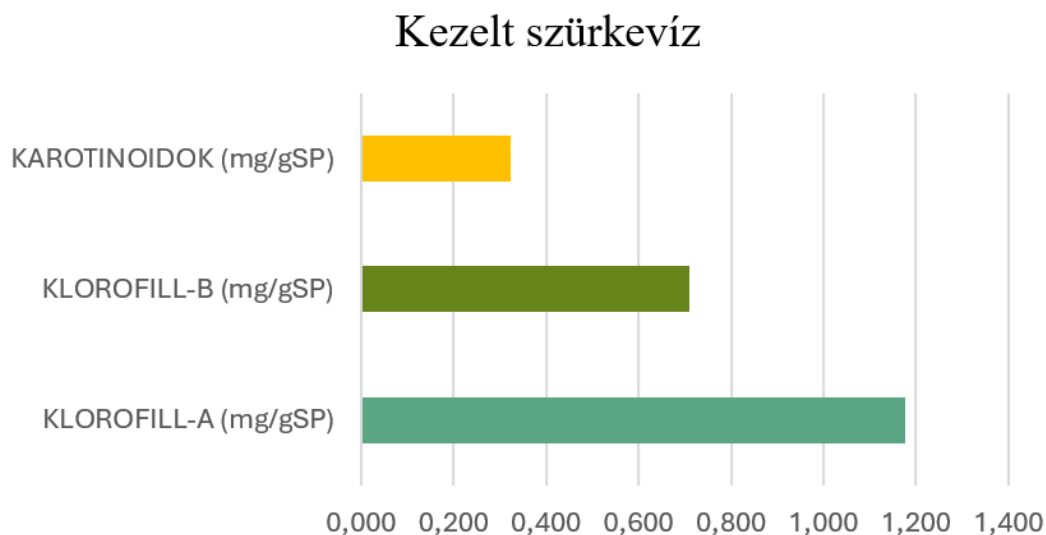
3.diagram: A vízitornák átlagos nedvességtartalma

Átlagos nedvességtartalmat tekintve elmondó, hogy nincs nagy különbség az ivóvízen (90,94 %), és a kezelt szürkevízen (93,84 %) nevelt növények között, de a kezelt szintetikus vizes toronyban lévő vízitornák átlag nedvességtartalma nagyobb. Méréseim azonban alátámasztották azokat a szakirodalmi állításokat, amelyek a vízitornák magas nedvességtartalmáról írnak.

A **klorofill-a**, **klorofill-b**, és az **össz-karotinoidok** koncentrációja meghatározása során először a növényekből pigmentkivonatot készítettem, amit majd meghatároztam spektrofotometrián. A kapott eredményekből, pedig kiszámítottam a klorofill-a, klorofill-b és a karotinoidok koncentrációját, amiket átlagoltam A 4. diagramon látható az ivóvízen nevelt, míg az 5. diagramon a kezelt szürkevízen nevelt vízitornák átlageredményei.



4. diagram: Az ivóvízen nevelt vízitormák klorofill-a, klorofill-b és karotinoidok átlag koncentrációja



5. diagram: A kezelt szürkevízen nevelt vízitormák klorofill-a, klorofill-b és karotinoidok átlagkoncentrációja

Az ivóvízen nevelt vízitormáknak az átlag klorofill-a koncentrációja 1,507 mg/gSP, klorofill-b koncentrációja 0,948 mg/gSP, és karotinoidok koncentrációja 0,427 mg/gSP. A kezelt szürkevízen nevelt növényeknek pedig az átlag klorofill-a koncentrációja 1,175 mg/gSP, klorofill-b koncentrációja 0,710 mg/gSP és karotinoidok koncentrációja 0,324 mg/gSP. Összehasonlítva elmondható, hogy az ivóvízes hidropóniás toronyban lévő vízitormáknak nagyobb átlagkoncentrációjuk van az adott pigmentekből (bár nem sokkal nagyobbak), a kezelt szürkevízes toronyhoz képest.

4.4. I3C hatóanyagmeghatározás vizsgálatának az eredményei

Előkísérletként először az etil-acetát vizes oldatbeli spektrumát határoztam meg. A tiszta etil-acetát elnyelése túl intenzív volt, ezért vizes oldatait vizsgáltam. A kísérletsor segítségével meghatároztam az etil-acetát moláris abszorbanációit (ϵ) vizes közegben 190-290 nm-es hullámhossz tartományban, amit a 19. ábra szemléltet.

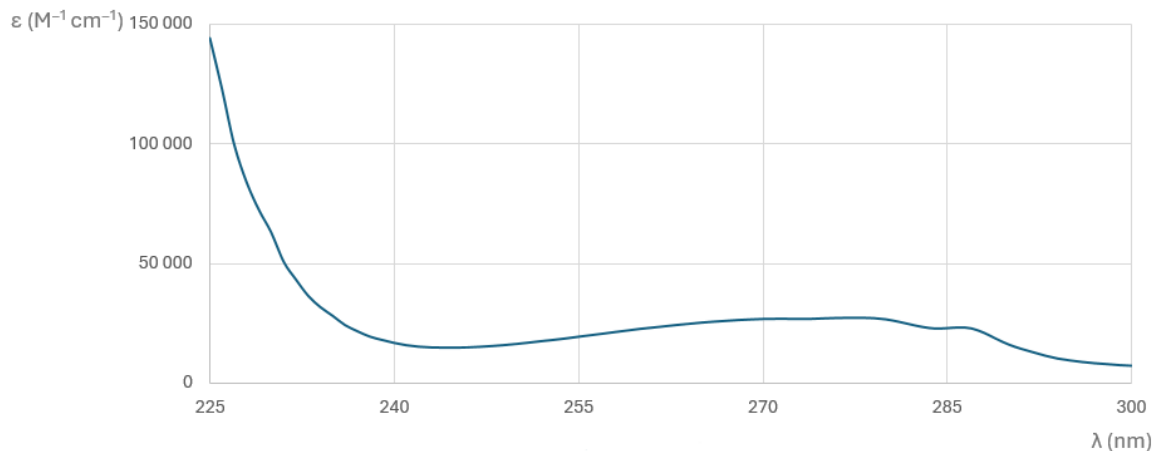


19. ábra: Az etil-acetát spektruma

Az etil-acetát elnyelési maximuma 200 nm és 210 nm között van, nagyobb hullámhosszokon kicsi az elnyelése.

Az **I3C** moláris spektrumának megállapításához indol-3-karbinol szilárd vegyszert alkalmaztunk. A kalibrációs elkészítéséhez a szilárd I3C-t etil-acetátban oldottam, majd hígítottam ultratiszta vízzel. A kapott I3C moláris spektrumot, amit a 225-300 nm-es hullámhossz tartományban mértem, a 20. ábra szemlélteti.

I3C etil-acetátos oldata

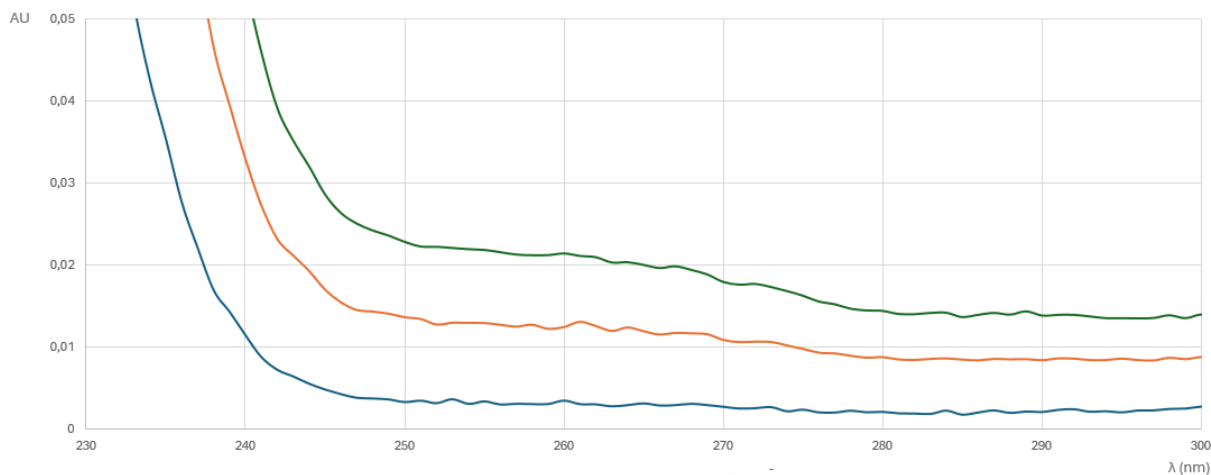


20. ábra: Az I3C etil-acetátos oldatának a spektruma

A kalibrációs sor alapján megállapítható, hogy az I3C elnyelési maximuma 250 nm és 300 nm tartományban volt. Ezeken a hullámhosszokon az etil-acetát zavaró hatása elhanyagolható, de szükség esetén korrekcióba is vehető.

A **vízitorma-kivonatok** indol-3-karbinol meghatározása során a vízitorma pépekből kimértem 0,5; 1; illetve 2 grammot, amelyeket etil-acetáttal extraháltam, majd hígítottam ultratiszta vízzel. Reprezentatív spektrumok, a 21. ábrán láthatók.

Vízitorma-kivonatok



21. ábra: Az 1 g vízitorma pépet tartalmazó oldat spektruma

A különböző tömegű vízitorma pépet tartalmazó kivonatok spektrumai alapján ugyanazokat a konklúziókat vontam le:

- A kivonat küvettába mért térfogatát növelve szisztematikusan nőtt az abszorbancia, de sajnos az I3C finomszerkezete (2. ábra) nehezen kivehető.
- A mért spektrumok zajosak, az abszorbanciák túl kicsik a megbízható kiértékeléshez.

Az **addíciós módszer** során is, ugyanezeket a következtetéseket tudjuk levonni, mint a vízitorma-kivonatok spektrumainál.

Jelen dolgozat megírását követő időszakban az I3C kvantitatív meghatározására tett kísérleteket egyrészt a spektrofotometriás módszer továbbfejlesztésével, másrészt egyéb szóba jöhető technikák bevonásával tervezem. Előbbi esetén a küvettabeli koncentráció (és így az abszorbancia) növelése egy lehetséges irány, de a mátrixhatás még ezt követően is gondot okozhat. Alternatív módszerként például a folyadékkromatográfia (HPLC) egy kézenfekvő választás. Ilyen készülék a tanszéken nem, de az egyetem más egységeiben rendelkezésre áll.

5. Következtetések és javaslatok

A kutatásom során kezelt szintetikus fürdővizet használtam a vízitormák hidropóniás rendszerben történő termesztésére. Kezelésként koagulációs-flokkulációs kémiai eljárást, majd azt követően homok rétegen történő mechanikai szűrést alkalmaztam, amely eljárást a Környezetmérnöki Tanszék korábbi kutatása során fejlesztettek ki.

A szürkevíz kezelési hatékonyság eredményei alapján elmondható, hogy a szennyezőanyagok mennyiségét a kezelési eljárás csökkentette. A szürkevíz kezelésének a célja, hogy főleg a TURB, BOI_5 , KOI és TOC értékeket csökkentsük, ami sikerült, mivel ezeknek a paramétereknek a kezelési hatékonysága több mint 90 %. Emellett ionkromatográfiás módszerrel meghatároztam a vízminták anion- és kationkoncentrációját. A várt eredményekhez képest a kezelt szürkevíz egyes ionjai (klorid-, nitrát-, ammónium- és szulfátió) nagyobb mennyiségben voltak megtalálhatóak a kezeletlen szintetikus fürdővízhez képest. Ez annak a következménye lehet, hogy a koagulálószer (FeCl_3) több mennyiségben adhattam hozzá, ahhoz a mennyiséghez képest, mint ami már eléri a kezelési hatékonyságot, ezért kevesebb mennyiség is elég lehet a kezelési eljáráshoz. Felmerülhet még az is, hogy a szűrés során alkalmazott mechanikai szűrő nem volt megfelelő tisztaságú, azaz a mostatás nem volt elég hatékony a szűrő megtisztítására.

A hidropóniás toronyba bekerülő, illetve kikerülő kezelt szintetikus fürdővizet és ivóvizet is minősítettem. A kikerülő szürkevíz fajlagos vezetőképessége megnőtt a bekerülőhöz képest, ami vagy a pH változásnak köszönhető, vagy esetleges szerves anyagok felhalmozódásának, amiket a növények nem vettek fel. A zavarosság értéke csökkent, illetve a biológiai oxigénigénye, a kémiai oxigénigénye és az összes szerves széntartalma is nőtt, amik a növények tevékenysége miatt következett be. Ezekből arra következtethetünk, hogy a növények nem vették fel a szintetikus fürdővíz esetleges maradék szerves anyag tartalmát. A szerves anyag tartalma (BOI_5 , KOI és TOC) a kikerülő ivóvíznek jobban megnőtt, mint a kikerülő kezelt szürkevíznek a kísérlet végére. Viszont a zavarossága a kezelt szintetikus fürdővíznek jobban lecsökkent, mint az ivóvíznek. Megmértem az öntözővizek anion és kation koncentrációit is, hogy megfigyelhessem, hogy a növények tevékenysége során, mely ionok csökkennek vagy növekednek. Mindkét öntözővíz esetében drasztikusan megnőtt a foszfát-ion koncentráció. Az ivóvíznél még a bromid-ion is nagyon megemelkedett, ami a kezelt szürkevíznél nem volt megfigyelhető olyan nagy mértékben. A kezelt szintetikus fürdővíz esetében a vízitormák a kálium-ion tartalmat is jobban hasznosították,

míg az ivóvíz esetében nem. A többi anion és kation megegyezően nőtt vagy csökkent az öntözővizeknél különböző százalékarányokban.

A vízitormák elemzése során mind a két toronyban lévő bokroknak megmértem az átlag növényhosszát, a maximális gyökérhosszát, a nedvességtartalmukat, illetve az átlag klorofill-a, klorofill-b, és az össz-karotinoidok koncentrációját. A növényhosszakat nézve, nincs nagy különbség, de a kezelt szintetikus fürdővízen nevelt vízitormák nagyobbak. A maximális gyökérhossz kapcsán kb. 15 cm különbség van, és az ivóvízen nevelt növények gyökere a hosszabb. Átlagos nedvességtartalmat tekintve elmondó, hogy szintén nincs nagy különbség az ivóvízen és a kezelt szürkevízen nevelt növények között, de a kezelt szintetikus vizes toronyban lévő vízitormák átlag nedvességtartalma nagyobb. Méréseim azonban alátámasztották azokat a szakirodalmi állításokat, amelyek a vízitormák magas nedvességtartalmáról írnak. Az átlag klorofill-a, klorofill-b, és az össz-karotinoidok koncentrációját összehasonlítva elmondható, hogy az ivóvízes hidropóniás toronyban lévő vízitormáknak nagyobb átlagkoncentrációjuk van az adott pigmentekből (bár nem sokkal nagyobbak), a kezelt szürkevizes toronyhoz képest. Emellett elemanalitikai vizsgálatra is előkészítettem néhány mintát, amit majd a közeljövőben kerül meghatározásra.

A vízitormák indol-3-karbinol hatóanyagtartalmát spektrofotometriás módszerrel, próbáltam meghatározni. A vizsgálatok során azokra a következtetésekre jutottam, hogy a kivonatok küvetába mért térfogatát növelve szisztematikusan nőtt az abszorbancia, de sajnos az I3C finomszerkezete nehezen kivehető. A mért spektrumok zajosak, az abszorbanciák túl kicsik a megbízható kiértékeléshez.

Jelen dolgozat megírását követő időszakban az I3C kvantitatív meghatározására tett kísérleteket egyrészt a spektrofotometriás módszer továbbfejlesztésével, másrészt egyéb szóba jöhető technikák bevonásával tervezem. Előbbi esetén a küvetabeli koncentráció (és így az abszorbancia) növelése egy lehetséges irány, de a mátrixhatás még ezt követően is gondot okozhat. Alternatív módszerként például a folyadékkromatográfia (HPLC) egy kézenfekvő választás. Ilyen készülék a tanszéken nem, de az egyetem más egységeiben rendelkezésre áll.

Ezen adatok a tápoldat nélküli kezelt szintetikus szürkevíz felhasználásával jöttek létre a vízitorma hidropóniás rendszerben történő termesztése során. A jövőben a kezelt szürkevízhez tervezek tápoldatot hozzáadni, és az ilyen alapú hidropóniás rendszerben szeretnem vizsgálni a vízitormák, esetleg más gyógynövények termesztetőségét.

6. Összefoglalás

Manapság a háztartásban keletkező szürkevizek kezelése és újbóli alkalmazása egyre szélesebb körben merül fel, mivel a víz korlátozott erőforrás. A szürkevíz újbóli alkalmazása lehetővé teszi a háztartási vízfelhasználás csökkenését, ami hozzájárul a vízfogyasztás csökkentéséhez. Számomra fontos a tudatos táplálkozás és az egészségünk fenntartása, ezért választottam témámnak a vízitorma kezelt szürkevíz alapú hidropóniás rendszerben történő termesztését. A vízitorma egy rendkívül tápláló növény, amely számos jótékony hatással van az emberi szervezetre, illetve indol-3-karbinol hatóanyag is megtalálható benne, aminek daganatmegelőző hatást tulajdonítanak.

A vízitorma kezelt szürkevíz alapú hidropóniás rendszerben történő termesztésével fenntarthatóbbá tudjuk tenni a gyógyszer- valamint az élelmiszeriparnak a gyógynövényellátását. Mivel 7,5 négyzetméternyi területen akár 600 növényt termeszthetünk a hagyományos módszerekhez képest akár háromszor gyorsabban, és 30 %-kal hatékonyabban, illetve a rendszerben keringő víz újra hasznosításával és többszöri felhasználásával elérhetjük, hogy körülbelül 90%-kal kevesebb vízre legyen szükségünk, mint a hagyományos szabadföldi termesztés esetében.

Kutatásom során létrehoztam egy szintetikus fürdővizet, amit kezeltem koagulációs eljárással és mechanikai szűréssel. Kezelés előtt és után is minősítettem, ezáltal ki tudtam számolni a kezelés hatékonyságát. A kezelés során keletkezett szürkevizet keringtettem a hidropóniás toronyban egy ivóvízes kontroll torony mellett, a jobb összehasonlítás végett. A tornyokba bekerülő, illetve kikerülő öntözővizeket is minősítettem, hogy nyomon kövessem a vizek minőségében bekövetkező változásokat. Elemeztem a tornyokban nevelkedett vízitormákat és összehasonlítottam az eredményeiket. Továbbá a növények indol-3-karbinol hatóanyagtartalmának a spektrofotometriás meghatározását is megvizsgáltam, azonban a kapott spektrumok zajosak, és az abszorbanciák pedig túl kicsik a megbízható kiértékeléshez.

Végezetül elmondható, hogy a szürkevíz kezelése hatékony volt, és hogy a vízitormák jól érezték magukat a tápoldat nélküli kezelt szintetikus fürdővíz alapú toronyban. Nagyobbra nőttek, mint az ivóvízen nevelt társaik, illetve az átlag nedvességtartalmuk is magasabb volt.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Izbékiné Szabolcsik Andrea egyetemi tanársegédnek, témavezetőmnek a dolgozat kialakításában, a vízminősítés elvégzésében és a hidropóniás tornyok felügyeletében nyújtott szívélyes segítségét és ezenkívül, hogy lehetőséget kaptam, hogy a minták vizsgálatát a Környezetmérnöki Tanszék Vízminőségvédelmi Laboratóriumában végezzem el.

Köszönöm Dr. Bellér Gábor, egyetemi docensnek, társtémavezetőmnek az indol-3-karbinol spektrofotometriás meghatározásának vizsgálatában és értékelésében nyújtott segítségét, illetve, hogy a spektrofotometriás méréseket a Környezetmérnöki Tanszék Levegő- és Zajvédelmi Laboratóriumában végezhettem el.

Szeretnék köszönetet mondani Pásztor Gábor, 3. évfolyamos Építőmérnöki BSc szakos hallgatónak, a hidropóniás tornyok felépítésében nyújtott odaadó segítségéért.

8. Irodalomjegyzék

- [1] Y.-P. V.-A. M. Boyjoo: A review of greywater characteristic and treatment processes, in *Water Scien. and Techn.*, 2013, pp. 67, 1403-1424.
- [2] M. Pidou, F. A. Mamon, T. Stephenson, B. Jefferson, and P. Jeffrey: Greywater recycling: Treatment options and applications, *Proc. Inst. Civ. Eng. Eng. Sustain.*, vol. 160, no. 3, pp. 119–131, 2007, doi: 10.1680/ensu.2007.160.3.119
- [3] Európai Bizottság hivatalos portálja: Az EU és az ENSZ: közös célok a fenntartható jövőért. Online at: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/sustainable-development-goals/eu-and-united-nations-common-goals-sustainable-future_hu (2024.11.09.)
- [4] Magyarország szerepvállalása az Egyesült Nemzetek Szervezetében című honlap: Agenda 2030. Online at: <https://ensz.kormany.hu/agenda-2030> (2024.11.09.)
- [5] Az alábbi képet szerkesztettem át: Fenntartható Fejlődési Célok. Online at: <https://unis.unvienna.org/> (2024.11.09.)
- [6] Green Drops Farm Kft honlapja: Hidropóniás növénytermesztés. Online at: <https://rotower.greendropsfarm.com/hu/blog/> (2024.11.09.)
- [7] T. Dániel, A közetgyapotos paprikahajtás egyes technológiai elemei és ökonómiai összefüggései-doktori értekezés, 2006
- [8] EUR-LEX, (EU) 2018/848 rendelet – az ökológiai termelés és az ökológiai termékek címkézésének szabályai. Online at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/LSU/?uri=CELEX:32018R0848> (2024.11.09.)
- [9] Andrew Chevallier: Házi gyógynövénypatika - Növényi gyógymódok a test, az elme és a lélek jóllétéért, 2024, Hvg Könyvek, ISBN:9789635655809
- [10] YiYa étrend-kiegészítő család Kft honlapja: Mi a természetes hatóanyagok, gyógynövények szerepe az egészségünk védelmében? Online at: <https://www.yiya.hu/index.php> (2024.11.09.)

- [11] Green Drops Farm Kft honlapja: Vízitorma. Online at: <https://rotower.greendropsfarm.com/hu/gyogynoveny-hidroponias-rendszerben/> (2024.11.09.)
- [12] Dr. Fuhrman: ANDI (Aggregate Nutrient Density Index), 2017, Online at: <https://www.drfuhrman.com/content-image.ashx?id=73gjzcgvyqi9qywfg7055r> (2024.11.09.)
- [13] David Julian McClements, Eric A Decker: Designing functional foods: Measuring and controlling food structure breakdown and nutrient absorption, July 2009
- [14] Michnovicz JJ, Adlercreutz H, Bradlow HL. Changes in levels of urinary estrogen metabolites after oral indole-3-carbinol treatment in humans. J Natl Cancer Inst. 1997 May 21;89(10):718-23.
- [15] Hsu JC, et al. Indole-3-carbinol inhibition of androgen receptor expression and downregulation of androgen responsiveness in human prostate cancer cells. Carcinogenesis. 2005 Nov;26(11):1896-904.
- [16] Ashok BT. Abrogation of estrogen-mediated cellular and biochemical effects by indole-3-carbinol. Nutr Cancer. 2001;41(1-2):180-7
- [17] Bradlow HL, Michnovicz JJ, Halper M, et al. Long-term responses of women to indole-3-carbinol or a high fiber diet. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev. 1994;3(7):591-595.
- [18] Larsen-Su S, Williams DE. Dietary indole-3-carbinol inhibits FMO activity and the expression of flavin-containing monooxygenase form 1 in rat liver and intestine. Drug Metab Dispos. 1996 Sep;24(9):927-31.
- [19] Choi Y, Yanagawa Y, Kim S, et al. Involvement of SIRT1-AMPK signaling in the protective action of indole-3-carbinol against hepatic steatosis in mice fed a high-fat diet. J Nutr Biochem. 2013;24(7):1393-400.
- [20] Park MK, et al. Antiplatelet and antithrombotic activity of indole-3-carbinol in vitro and in vivo. Phytother Res. 2008 Jan;22(1):58-64.

- [21] Maiyoh GK, Kuh JE, Casaschi A, Theriault AG. Cruciferous indole-3-carbinol inhibits apolipoprotein B secretion in HepG2 cells. *J Nutr.* 2007 Oct;137(10):2185-9.
- [22] Steinbrecher A, Nimptsch K, Husing A, Rohrmann S, Linseisen J. Dietary glucosinolate intake and risk of prostate cancer in the EPIC-Heidelberg cohort study. *Int J Cancer.* 2009 Nov 1;125(9):2179-86.
- [23] I. B. I. F. Andrea Szabolcsik-Izbéki, „The removal of pollutants from synthetic bathroom greywater by coagulation-flocculation and filtration as a fit-for-purpose method,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, %1. kötet12, 2024.
- [24] 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.
- [25] MSZ EN ISO 10304-1:2009 Vízhőminőség. Az oldott anionok meghatározása ionkromatográfiával. 1. rész: A bromid, a klorid, a fluorid, a nitrát, a nitrit, a foszfát és a szulfát meghatározása, 2009.10.01., Budapest, Magyar Szabványügyi Hivatal, (2009.)
- [26] MSZ EN ISO 14911:2000 Vízhőminőség. Az oldott Li⁺, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mn²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Sr²⁺ és Ba²⁺ meghatározása ionkromatográfiás módszerrel. Víz- és szennyvízvizsgálati módszer, 2000.12.01., Budapest, Magyar Szabványügyi Hivatal, (2000.)
- [27] Gajdos Éva: Kukorica és napraforgó hibridek kadmium érzékenysége, a káros hatások mérséklésének lehetősége, Debrecen 2013
- [28] E. U. H. Lapja: AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS (EU) 2020/741 RENDELETE (2020. május 25.) a víz újrafelhasználására vonatkozó minimumkövetelményekről. Online at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0741> (2024.11.09.)
- [29] EUR-LEX, A Tanács irányelve (1991. május 21.) a települési szennyvíz kezeléséről (91/271/EGK), 1991. Online at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:31991L0271> (2024.11.09.)