

SZAKDOLGOZAT

Szilvási Eszter
Természetvédelmi mérnök BSc

Gödöllő
2023



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Természetvédelmi mérnök BSc szak**

**A VERESEGYHÁZI TÖRENDSZERT ÉRŐ
SZENNYVÍZTERHELÉS KÖRNYEZETBIZTONSÁGI
VIZSGÁLATA**

Belső konzulens: Dr. Kaszab Edit
egyetemi docens

Készítette: Szilvási Eszter
KHFZIK
levelező tagozat

Intézet/Tanszék: Akvakultúra és
Környezetbiztonsági Intézet
Környezetbiztonsági
Tanszék

**Gödöllő
2023**

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. Vizes élőhelyek.....	5
2.1.1 A vizes élőhelyeket veszélyeztető tényezők	7
2.2 A szennyvizekről	8
2.2.1 A szennyvíz fogalma, típusai.....	8
2.2.2 A szennyvíztisztítás módszerei.....	9
2.2.3. A tisztított szennyvízre vonatkozó előírások	10
2.2.4. A szennyvíztisztítás helyzete Magyarországon	11
2.3 Szennyvíz által közvetített szennyezőanyagok és hatásaik.....	12
2.3.1 A szennyezőanyagokról általánosságban	12
2.3.2 Szennyezőanyagok csoportjai.....	12
2.3.2.1 Fizikai szennyezők.....	12
2.3.2.2. Kémiai szennyezők	13
2.3.2.3. Biológiai szennyezők.....	14
2.3.2.4. Gyógyászatiilag aktív vegyületek	14
2.3.2.5. Növényvédő szer maradványok.....	16
3. Anyag és módszer	18
3.1 Veresegyház és tórendszere	18
3.2 A veresegyházi szennyvíztisztító.....	21
3.3 Mintavételezés	22
3.3.1. A mintavétel célja.....	22
3.3.2. A mintavétel végrehajtása	22
3.4 Az elvégzett vizsgálatok	24
3.4.2 Összcsíraszám (telepszám) meghatározása	24
3.4.3 Molekuláris biológiai vizsgálatok	25
3.4.3 <i>Pseudomonas aeruginosa</i> kimutatása.....	26
3.4.1 Ökotoxikológiai vizsgálatok.....	27
4.1. Helyszíni mérések eredményei	28
4.2 Összcsíraszámra vonatkozó eredmények.....	28
4.3. Antibiotikum rezisztens mikroszervezetek kimutatásának eredményei.....	29
4.4. <i>P. aeruginosa</i> kimutatásának eredményei	30
4.5. Baktériumtörzsek faj szintű azonosításának eredményei.....	30
4.6. Ökotoxikológiai vizsgálatok eredményei	32
4.7. Kémiai analitikai vizsgálatok eredményei	33
4.8. A biológiai, ökotoxikológiai és kémiai kockázatok értékelése.....	36
5. Következtetések és javaslatok.....	37
Összefoglalás	39
Köszönetnyilvánítás	41
Irodalomjegyzék.....	42
Mellékletek	47
Nyilatkozat.....	48

1. Bevezetés

Amikor az ember megjelent bolygónkon, attól kezdve mindennapi tevékenységei során folyamatosan termel eltérő fizikai, kémiai és biológiai összetételű hulladékot, amely megváltoztatja a levegő, a talaj és a természetes vizek eredeti összetételét, állapotát. Ennek következtében a tiszta, iható víz napjainkra a legnagyobb értékűvé vált a világon mindenütt (Szlepák, 2010).

A felszíni és a felszín alatti vizekbe gyakran nagy mennyiségben kerülnek az ökoszisztémákra ártalmas anyagok vagy azok származékai melyek egyik lehetséges forrása a szennyvíz: számos mikroba faj, valamint szerves és szervetlen vegyület kerülhet a felszíni vizekbe a szennyvíz közvetítésével. A különböző helyeken keletkező és más – más összetételű szennyvizek összegyűjtéséről, elvezetéséről és kezeléséről gondoskodni kell az emberek egészsége és a környezetünk védelme érdekében (Kertész, 2011).

Napjainkban a szennyvizek fő forrásai a lakosság, valamint az ipar tevékenysége, mivel az e területeken keletkezett szennyvizeket általában azonos helyre gyűjtik és ártalmatlanítják. A tisztított szennyvizet a befogadókba (patak, folyó, állóvíz, tenger) juttatják. A befogadó víztestek döntő többsége komplex ökoszisztémával rendelkező, vizes élőhelynek számító terület, amelyek érzékenyen reagálnak a rövidebb ideig tartó változásokra is. Éppen emiatt, napjainkban egyre hangsúlyosabb szerepet kap a szennyvíztisztítók magasabb technológiai színvonalúra való fejlesztése, az alacsonyabb költségű, energiatakarékos megoldások és tisztább technológiák alkalmazásának előtérbe helyezése. Az Európai Unió országaiban, így Magyarországon is, az egyre szigorúbb egységes környezetvédelmi jogszabályok a szennyvíztisztításban megkövetelik a keletkezett szennyvizek szennyezőanyag tartalmának a befogadóba eresztés előtti csökkentését (Kertész, 2011).

Ezen törekvések ellenére a már meglévő, régi építésű szennyvíztisztító telepek fejlesztése, bővítése sokszor nehézkesen halad, vagy meg sem történik. Éppen ezért gyakori problémaként jelentkezik, hogy a szennyvíztisztítás hatékonysága gyakran nem megfelelő, a befogadóba juttatott tisztított szennyvíz összetétele átlépi a megengedett határértékeket, így elszennyezve a környezetet.

Dolgozatomban a Veresegyházon régóta üzemelő szennyvíztisztító telep befogadóját vizsgálom meg környezet- és természetvédelmi szempontok alapján. Azért esett a választásom Veresegyházra, mert földrajzi elhelyezkedése ideális volt számomra: történelmi település, melynek lakossága folyamatos emelkedést mutatott az elmúlt években; több kisebb tó található a településen, amelyek hasznosítása több célú: horgásztó, strand és ezek a tavak, illetve

környezetük gazdag élővilággal rendelkezik. Azonban, mivel gyorsan fejlődő település, régóta fennálló probléma a szennyvíztisztító telep túlterheltsége, a lakosság és az üzemeltető közötti párbeszéd pedig lassan halad, vagy nem tudnak megegyezni. További szempont volt, hogy a területről megfelelő, idősoros háttér adatok álltak rendelkezésemre a vizsgálatok értékeléséhez.

Mindezek ismeretében munkám során célul tűztem ki:

- A veresegyházi szennyvíztisztító befogadónak a kémiai paraméterek mellett a mikrobiológiai összetételét felmérni, hogy pontosabb képet kaphassunk a tórendszer állapotáról, illetve a tisztított szennyvíz esetleges ökológiai hatásairól, ökotoxicitásáról.
- A tórendszert körül vevő víz- és víz közeli élőhelyek állapotának felmérése és értékelése környezetbiztonsági és természetvédelmi szempontból.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Vizes élőhelyek

Vizes élőhelyek ott találhatóak, ahol a talajvíz szintje a felszín közelében van, vagy ahol a talaj időszakosan vagy állandóan vízréteggel borított. Ezeknek a területeknek az átalakítása, pusztulásuknak a felgyorsuló üteme eredményezte azt a nemzetközi összefogást, amely a Ramsari szerződés létrehozásához vezetett. 1979-ben Magyarország is aláírta ezt az egyezményt a vizes élőhelyek és vízimadarak védelmére. Ezen egyezmény szerint: "Wetland"-nek, azaz vizes élőhelynek nevezzük azokat a területeket, ahol a természeti környezet és az ahhoz tartozó növény- és állatvilág számára a víz az elsődleges meghatározó tényező (http 1).

Nemzetközi megállapodás lévén az egyezmény eléggé széles meghatározást ad a vizes területek megfogalmazására, ide tartoznak többek között: mocsarak, ingoványos és tőzeges területek, folyó- vagy állóvizek, tengeri területek part menti szakaszai 6 méter mélységig, ill. szigetei. Ezek a területek mind lehetnek természetesek vagy mesterségesek és az egyezmény figyelembe veszi még azt is, hogy ezek a területek időszakosan vagy állandóan vannak-e vízzel borítva. (http 1)

Látható tehát, hogy igen változatos élőhelyek tartoznak ide, éppen ezért az egyezményben öt nagyobb csoportot alakítottak ki a könnyebb besorolás végett úgy, mint:

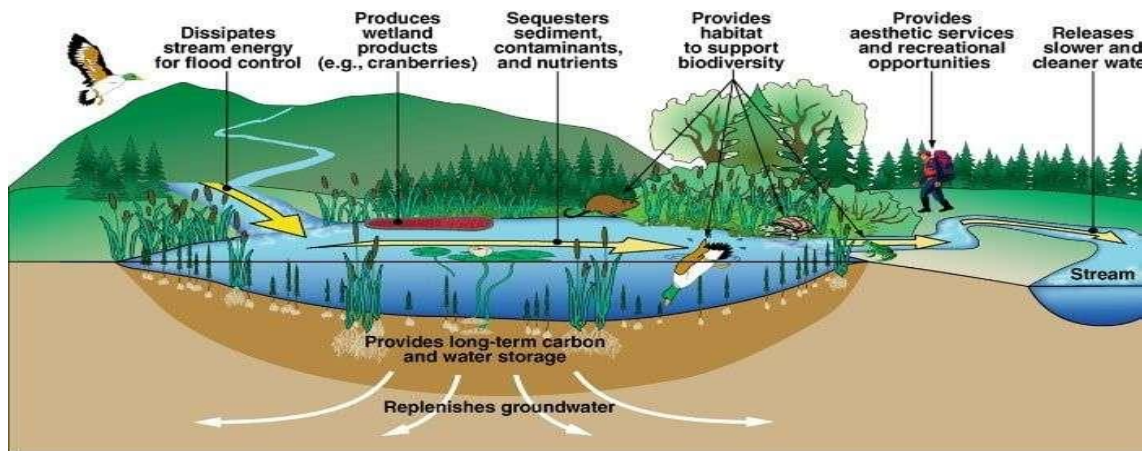
- tengeri élőhelyek (partvidéki vizes élőhelyek, sziklás partokkal, lagúnákkal, valamint korallszirtek);
- deltákhoz kapcsolódó élőhelyek (ide kapcsolódnak az ún. árapály mocsarak és mangrove mocsarak);
- tavi élőhelyek (tavakhoz kapcsolódó vizes élőhelyek);
- folyó menti élőhelyek (melyek jellemzően vízfolyások mentén alakulnak ki);
- mocsári élőhelyek (mocsaras területek, lápok, valamint náddal borított fertők).

További csoportot alkotnak az ember által létrehozott vizes élőhelyek, melyek közé olyan területeket sorolunk, mint az akvakultúrák, mezőgazdasági tavak, öntözött mezőgazdasági területek, víztározók, bányatavak, továbbá a szennyvízülepítő tavak és csatornák (http 2).

De miért is fontosak ezek az élőhelyek? Milyen szerepük van?

A válasz igen összetett: egyrészt az élővilág számára élő-, táplálkozó és szaporodó helyet biztosít mind növények, mind számos hal-, madár és rovarfaj esetében. A növényzet pedig kifejezetten erre az élőhelyre specializálódott az évezredek során. Másrészt az ember számára is nélkülözhetetlen, hiszen élelemforrásként szolgálhat, fontos az áruszállítás szempontjából és

többek között rekreációs célokat (horgászat, kirándulás, sport, fürdőzés) is szolgálhat. A vizes élőhelyek főbb funkciói foglalja össze az 1. ábra.



1. ábra: A vizes élőhely szerepei. *Forrás:* <http> 3

Visszatérve a fentebb említett nemzetközi fogalomhoz: Magyarország földrajzi adottságaihoz igazítva pedig mindazokat a víztereket vizes élőhelynek kell tekinteni, amelyekben középvízállás esetén az átlagos felületarányos vízmélység a 2 m-t nem haladja meg. Ha a vízmélység 2 m-nél nagyobb, az élőhely szegély jellegű, tehát a medernek csak azt a részét vehetjük figyelembe, ahol az állóvíz felületének, vagy folyóvíz esetén mindkét oldali partszegélyének, legalább az egyharmadát hínár- és/vagy mocsári növényzet borítja, illetve kifejezetten partszegélyi növényállományok kísérik (Tardy, 2007).

Az ember jelentősebb táj átalakítását megelőzően a Kárpát-medence vizes élőhelyekben nagyon gazdag volt, többek között igen kiterjedtek voltak a síksági árterek, rajtuk a mocsarak és lápok. Azonban az 1800-as évektől kezdődő jelentős folyószabályozásokat hajtottunk végre. Úgy tűnt, kiszámíthatóbbá váltak az árhullámok, így a kialakításukkal járó természeti károkat figyelmen kívül lehetett hagyni. Napjainkban azonban már tudjuk, a beavatkozások miatt a lassabban változó természeti feltételek és élőhelyek nagyobb kárt szenvedtek, mint amiket korábban a zabolázatlan vízfolyások okozhattak. A legváltozatosabb élőhelytípusok természetes vízfolyásainkban alakultak ki, amelyek medre állandó változásban van, az ott élő flóra és fauna pedig alkalmazkodott ehhez, így a fajok többségének nem okoz gondot lépést tartani a változásokkal. A leszabályozott vízfolyások esetében a vízsebessége olyan mértékben felgyorsult, hogy nem tudnak kialakulni különböző mélyedések, szigetszerű kiemelkedések, ahol az élővilág túlélhetne egy nehezebb időszakot. Szintén a leszabályozások miatt holtágaink feltöltődőben vannak, és újabbak alig keletkeznek ez pedig sem természeti, sem az emberi rekreáció szempontjából nem jó. Feltöltődésüket napjainkban leginkább kotrásokkal próbálják

megakadályozni, de ezek a költséges beavatkozások nem képesek sokáig megőrizni az ott található életközösséget (Máté et al., 2014)

Mesterséges bányatavak, halastavak létesítésekor általában az adott természeti élőhely elpusztul, de hosszú távon gyakran az előző élőhelynél sokszínűbb életközösség alakul ki. Ezekben a víztestekben számos védett vagy fokozottan védett faj telepedhet meg, ezek megőrzését gyakran nehéz összeegyeztetni a gazdasági érdekekkel. Bányatavak esetében a rekultiváció utáni használat formája nagymértékben meghatározza, hogy ott milyen típusú életközösségek tudnak kialakulni. Halastavaink leginkább a vízimadarak tekintetében fontosak, itt a fő hangsúlyt a nyugalom biztosítása jelenti, illetve a vízszintszabályozásoknál figyelembe kell venni egyes fajok fészkelését (Máté et al., 2014).

2.1.1 A vizes élőhelyeket veszélyeztető tényezők

Ezen élőhelyeknek a legfőbb veszélyeztető tényezői mind az emberi aktivitásokhoz köthetők. Miközben a vizes élőhelyeknek számos pozitív hozadéka van, mint pl. a légkörbe került szén-dioxid megkötése, az időjárási szélsőségek okozta problémák pufferelése, a hőhullám csökkentése vagy a talajvízháztartás utánpótlása, az aszályok enyhítése, az árhullámokkal érkező víztömeg tárolása, ezeket a területeket sem kíméli az éghajlatváltozás (http 4).

A rendelkezésünkre álló szakmai előrejelzések alapján azzal kell, hogy számoljunk a jövőre nézve, hogy az éghajlatváltozás tovább fogja fokozni a szárazság kiterjedtségét és mértékét. A klímaváltozás miatt, részben a csapadék mennyiségével összefüggésben az állóvizek víz háztartása is változik. Látható, hogy az elmúlt években jelentősen zsugorodott több kisebb tavunk felülete, de akadnak olyanok is, amik kiszáradtak vagy ez a veszély fenyegeti őket. A 2022. év tapasztalatai szerint a tavak minimális vízszintjét egyre kevésbé lehet majd a szabályozási sávon belül tartani. (Lendér, 2016).

A másik veszélyt az emberek vízfelhasználása jelenti. Ez az elmúlt száz év folyamán komoly veszélyeztető tényezővé vált, ami többek között abban mérhető, hogy mennyi vizet használ fel napjainkban átlagosan egy ember. Ezt például a vízlábnyommal mérhetjük le. Ha ezt a 100 évvel ezelőtti értékhez viszonyítva vizsgáljuk, akkor a XXI. század emberére manapság majd 40-szer több vízfelhasználás jellemző. Az egyén mellett az ipar, a mezőgazdaság, valamint a turizmus és különösen az energiatermelés tartozik abba a csoportba, ahol magas a vízfelhasználás (Marjainé és Kocsis, 2012).

Az általános vízfelhasználás mellett vízteherként említhető még a rekreációs szokások, a halászat és a közlekedés is. A sporthorgászokkal kapcsolatban például arra hívja fel a figyelmet Szabó Sándor biológus, hogy a vizek átlátszósága a túlzott etetőanyag-használat miatt 20-30 cm-re csökkent sok helyen, valamint a vizekben túlszaporodtak a baktériumok és az algák. Az egyes sporteseményeknek rövid, - hosszú, - és közvetlen, valamint közvetett hatásai egyaránt vannak a vizes élőhelyekre. Így pl. közvetlen hatás az, amit az esemény résztvevői okoznak a természetes környezetben, rövidtávon pedig az élőhelyre hatással lehet a helyi lég- és vízszennyezés és a zajterhelés (http 5).

További fontos élőhely veszélyeztető tényező még az idegenhonos és inváziós fajok terjedése, amely az elmúlt években gyorsuló ütemet mutatott (Borbély, 2020).

A vizes élőhelyek fennmaradását, védelmét és kezelését több jogszabály is biztosítja Magyarországon, többek között: Magyarország Alaptörvénye (P cikk 1 bekezdés); a természet védelméről szóló 1996. évi LIII. törvény, annak végrehajtási rendeletei és egyéb csatlakozó jogszabályok; önkormányzati rendeletek.

2.2 A szennyvizekről

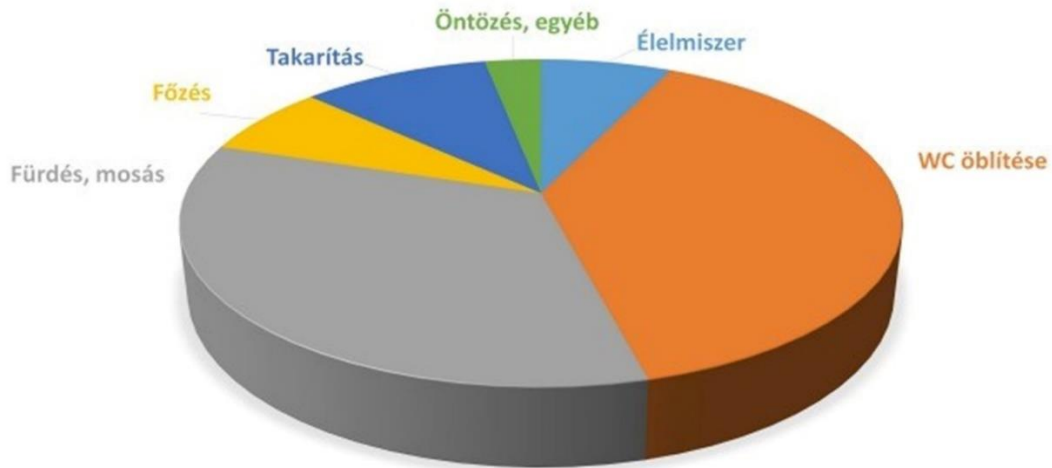
2.2.1 A szennyvíz fogalma, típusai

A szennyvíz a társadalom által felhasznált vízfogyasztás végterméke, azaz minden olyan víz, amely emberi behatásra szennyeződött, eredeti minősége leromlott. A szennyvíz eredete szerint lehet háztartási (települési/kommunális), ipari vagy mezőgazdasági eredetű.

A lakossági szennyvizet nagyon sokféle összetevő alkotja, ezért egyedi vegyületeket és különböző vegyületcsoportokba tartozó komponenseket igen nagy számban tartalmaz. Ebből adódóan a kommunális szennyvízben ideálisak a körülmények (pl.: a tápanyagok összetétele) számos mikroorganizmus számára. A háztartási szennyvíz főbb forrásait szemlélteti a 2. ábra.

Ezzel szemben az ipari szennyvizekből ezek az élő szervezetek legtöbbször hiányoznak, vagy bennük kis részarányban vannak jelen. Számos fizikai jellemzőjük révén ezen szervezetek elszaporodására is alkalmatlanok lehetnek az ilyen típusú szennyvizek (Valló és Benedek, 1982; Benedek, 1990).

A HÁZTARTÁSI SZENNYVIZEK ÖSSZETÉTELE



2. ábra: A háztartási szennyvíz összetétele a napi tevékenységekből. *Forrás:* [http 6](http://6)

2.2.2 A szennyvíztisztítás módszerei

A szennyvíztisztításnak a feladata, hogy megfelelő minőségű tisztított szennyvizet bocsásson a befogadóba, azaz a befogadóba ne okozzon se oxigénhiányt, se eutrofizációs folyamatokat, illetve a befogadó ökológiai folyamatait ne befolyásolja hátrányosan sem rövid, sem hosszútávon. Összegezve a szennyvíz kezelésénél és szabályozásánál a hosszú távú cél a természetes vizek öntisztuló képességének a biztosítása és fenntartása (Valló és Benedek, 1982).

A települési szennyvíztisztítót és a település csatornahálózatát az iparból származó nagyobb mértékű szennyvízterheléstől úgy próbálják megóvni, hogy azon ipari üzemekre, melyek szennyvizüket a közcsatorna-hálózatba juttatják, határértékekhez kötik. Ami a lakossági szennyvizet illeti, annak mennyiségében és minőségében állandó változás figyelhető meg, ami többek között a szennyező források folyadékáramától és nagyságából eredhet. A kommunális szennyvíz mennyiségét befolyásolja még a közcsatornára bekötött ingatlanok száma is (Valló és Benedek, 1982).

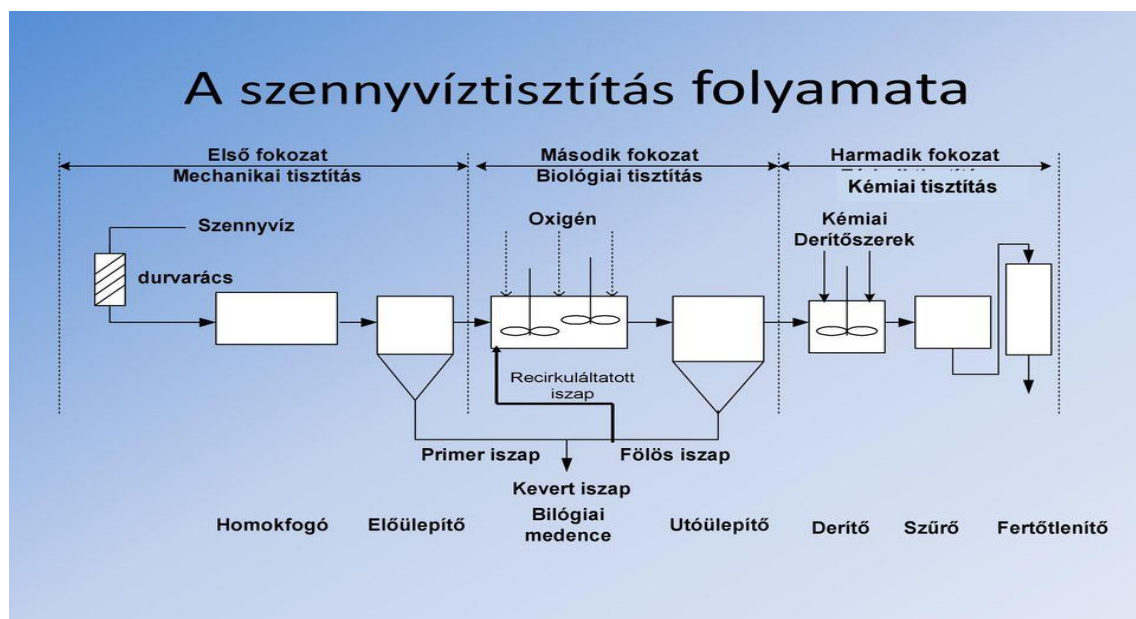
A szennyvízkezelésnek számos alternatívája létezik. A szennyvíztisztítóba beérkező folyadékáramot folyamatosan mérik. A beérkezett kommunális szennyvizet több lépésben tisztítják meg: mechanikai úton pl.: rácso, ülepitők segítségével; biológiai módszerekkel pl.: eleveniszapos szennyvíztisztítási technológiával; illetve kémiai tisztítással, mint például a CEPT eljárás (Chemically Enhanced Primary Treatment – vegyszeresen intenzifikált

előüleptetés) (Weinpel, 2020). A szennyvíztisztítás Magyarországon leggyakoribb technológiai folyamatsorát szemlélteti a 3. ábra.

Bármelyik módszert is alkalmazzuk vagy kombináljuk a fent említettek közül, fontos kritérium, hogy a választott eljárásaink alkalmazkodni tudjanak a gyakran változó vízmennyiséghez és vízminőséghez, illetve kibírjanak esetleges kisebb üzemzavarokat is. Természetesen a költséghatékonyság is egy fontos szempont a szennyvíztisztításnál. Ott, ahol a csatornahálózatra csatlakozás gazdaságosan nem megoldható, vagy nincs centralizált központi szennyvíztisztító telep, egyedi szennyvízkezelés alkalmazható (Förstner, 1993; Barótfi, 2003).

A szennyvíztisztítást követően két dolgot szükséges megoldani: az első, hogy mi történjen a kikerülő tisztított szennyvízzel, a második pedig a keletkezett iszap kezelésének módja. A kezelt szennyvíz sok esetben szikkasztásra vagy felszíni befogadóba kerül.

Az egyik lehetséges természetközeli módszer a gyökérszónás víztisztítás, ahol a szennyvíz a növények gyökérszónájában és az azt magába foglaló közegen folyik keresztül. Ezen felül szóba jöhetnek még egyéb alternatív módszerek is, például a tavas tisztítási megoldások (Karches, 2020).



3. ábra: A szennyvíztisztítás lépései. *Forrás: Jurecska, 2013*

2.2.3. A tisztított szennyvízre vonatkozó előírások

A fentieket olvasva felmerülhet a kérdés valójában ki is felelős a szennyvíztisztítás minőségéért? A válasz pedig az, hogy mindenki, mivel a szennyvíztisztítás az egyéni (pl.: háztartásokból származó) szennyezés közösségi felszámolása. Az egyén szerepe azonban

sokszor elveszik a rendszerben (Kárpáti, 2003). Szűkebben vizsgálva pedig a települési önkormányzatok és a magasabb szinten működő állami hivatali szervek felelőssége. Természetesen a felelősségi kör súlya eltérő, ezért is fontos a pontos dokumentáció kezelés és a jogszabályok betartása. Magyarországon 2005. január 1-ig a (4/1984. (II. 7.) OVH rendelet) határértékei voltak érvényesek a tisztított szennyvizek meghatározó szennyező, illetőleg növényi tápanyag tartalmát illetően (Kárpáti, 2003).

Az új, 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet értelmében az egyes tevékenységek folytatásával kapcsolatban keletkező használt szennyvizeket a külön jogszabályok szerinti, valamint a rendelet előírásainak megfelelő előtisztításnak kell alávetni a közcsatornába vezetést megelőzően. Valamint, ha a szennyvíztisztítás természetközeli helyen történik, úgy egyéb betartandó általános követelmények szerint is el kell járni. A rendelet a közcsatornába bocsátható szennyvizek szennyezőanyag tartalmának küszöbértékein túl meghatároz egyéb értékeket is, mint például az egyes emberi tevékenységekhez kapcsolódó értékeket, valamint a vízminőségvédelmi területi kategóriák szerint a befogadókat külön kezeli a területi kategória szerinti lehatárolással, mint például a Balaton, Tisza-tó, vagy a Kösztörű-völgyi tározó és vízgyűjtő (28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet).

2.2.4. A szennyvíztisztítás helyzete Magyarországon

Hazánkban a csatornázottság mértéke 2019-ben több mint 83 százalék volt, a tízezer vagy annál nagyobb lakos egyenértékű (LE) településeken a KSH adatai alapján. Az Európai Unió támogatásával pedig kötelezettséget vállaltunk arra, hogy a kétezer LE feletti, de tízezer LE alatti települések csatornahálózatát fejlesztjük, illetve kiépítjük. A kétezer LE alatti települések csatornahálózat kiépítésére pedig még csak nemrég írtak ki pályázatot (1868/2020. (XII. 2.) Kormány határozat). A már használatban lévő tisztítók tekintetében általánosságban elmondható, hogy a nem megfelelően megválasztott, vagy kiépített technológiája miatt sokszor kompromisszum születik, s az üzeméret szerinti határértéket nem veszik figyelembe. A tisztítónak a határérték túllépéséért szennyvízbírságot, a környezetbe kibocsátott szennyezőanyag mennyisége alapján pedig környezetterhelési díjat kell fizetnie.

A magyar lakosság tekintetében elmondható, hogy egyre tudatosabbak a szennyvíz kezelés kérdésében, tehát jók a kilátások és az irányok ebből a szempontból, viszont vannak lemaradások is, például a jogszabályi háttér nem teljes körű (http 7).

2.3 Szennyvíz által közvetített szennyezőanyagok és hatásai

2.3.1 A szennyezőanyagokról általánosságban

Azoknak a szerves anyagoknak a káros hatása, ami a befogadót éri, eltérő. Vannak olyan hagyományos, biológiailag bontható szerves szennyezők, amik a vizek oxigénháztartását befolyásolják és így fejtik ki káros hatásukat (nagyobb koncentrációnál). Azok a szerves szennyezők ellenben, amik nehezen bomlanak le, már kisebb koncentrációban (jellemzően µg/l tartománnyal számolva) is káros hatást gyakorolnak a vizekre. A szennyvízben károsnak számítanak többek között azok a nem oldódó lebegő anyagok, amiket nehezen lehet eltávolítani, és amik így rontják a tisztítás határfokát (mint pl. az olajos vagy zsíros anyagok). A szennyvízben oldott állapotban lévő anyagok szintén károsak. Ilyen anyagok például a növényi, vagy állati hulladékok kioldódott részei, a vizelet, a mosószerek és a detergensok (biológiailag nehezen bonthatók és erős habképzők, ezért szintén rontják a tisztítás határfokát, egy részük bent marad a tisztított szennyvízben), valamint az ipari felhasználásból származó oldódó szennyezők. A szennyvízben a fizikai és kémiai jellegű szennyezők mellett, mikroszervezeteket is ki lehet mutatni, így például a baktériumok, vírusok és bélférgek nagy jelentőséggel bírnak a lakosság egészségügyi állapotát tekintve (Lakatos et al., 2016).

2.3.2 Szennyezőanyagok csoportjai

A fentebb említett szennyezőanyagokat többféle képen csoportosíthatjuk, de közös vonásuk, hogy a víz minőségét rontják. Jellegük alapján megkülönböztetünk fizikai, kémiai és biológiai szennyezőanyagokat. Viselkedésük alapján különös figyelmet érdemelnek azok a szennyezőanyagok melyek az élő szervezetben és táplálékláncban felhalmozódhatnak. Az élő szervezetek azon tulajdonságát, hogy egyes vegyületeket képesek nem csupán felvenni a környezetből, hanem koncentrálni és feldúsítani a sejtjeikben, szöveteikben bioakkumulációnak nevezzük (Kovács és Szemmelveisz, 2012). Amennyiben a felhalmozódás a táplálékláncon keresztül zajlik és ennek következtében magasabb trofikus szinteken nagyobb koncentrációban lesz jelen a szennyezőanyag, biomagnifikációról beszélünk (NRC, 2005).

2.3.2.1 Fizikai szennyezők

A fizikai szennyezők (színre, hőmérsékletre, lebegő-és oldott anyagtartalomra stb. hatók), jelentősége abban rejlik, hogy megváltoztathatják a víz színét, hatással vannak a víz fényáteresztőképességére, ezáltal zavarosságot, fény csökkenést okozva. A természetes vizek

érzékenyek még a hőmérsékletváltozásokra is, mivel a sokáig tartó ingadozás/emelkedés/csökkenés kihat a gázok oldhatóságára, a biokémiai reakciók sebességére is. Ezáltal az élőhely biodiverzitása csökken, megváltozik: a toxikus anyagok mértéke megnövekedhet, az aerob folyamatok lecsökkenhetnek, halpusztulás következhet be. A lebegőanyag-tartalom is jelentős hatással bír, itt a szennyezőanyagok kémiai összetétele (szerves, szervesetlen) és szemcsemérete a meghatározó. Ez a leggyakoribb szennyezési forma, károsító hatása abban van, hogy nagy mennyiségben lerakódva beborítja a vízfénket, így kevesebb táplálékhoz juthatnak az élőlények és a fotoszintézis termelése is csökkenhet (Zseni és Bulla, 2002).

2.3.2.2. Kémiai szennyezők

A következő csoport a kémiai vízszennyezők. Igen nagyszámú, rendkívül változatos és sok szempontból a legveszélyesebb vegyületekről beszélhetünk itt. Szerves és szervesetlen anyagokat egyaránt ide sorolunk. Szerves vegyületek például: fehérjék, zsírok, peszticidek, szénhidrogén vegyületek egy része, tenzidek, gyógyászatilag aktív vegyületek stb. Ezen anyagok nagy része elbomlik, maradék része viszont kevésbé, vagy egyáltalán nem bomlik le. Ezeknek a vegyület csoportoknak a bomlása során a hőmérsékletnek és az oxigénellátottságnak kiemelt szerepe van (aerob vagy anaerob folyamatok), mivel anaerob körülmények között rothadás megy végbe. A szervesetlen anyagokhoz tartoznak például a lúgok, oldott sók, nitrogén és foszfor vegyületek, nehézfémek, ammónia, klór stb. A savak és lúgok a környezeti pH értéket borítják fel, a nehézfémek és az oldott sók toxikusak a környezetre, a nitrogén és foszforvegyületek eutrofizációt okoznak.

A kémiai vízszennyezőknél említtem meg a detergenseket. Ezek olyan felületaktív anyagok csoportjába tartoznak (tenzidek), amelyek képesek csökkenteni az oldószerek felületi feszültségét. A detergenseket csoportosíthatjuk eredet szerint: természetes vagy mesterséges, továbbá kémiai szerkezetük szerint, mely utóbbi alapján 4 csoportba sorolhatjuk:

- Anionaktív detergensok pl.: szappanok. Jellemzően erős tisztító hatásúak és jó habképzők.
- Kationaktív detergensok pl.: ammóniumsók.
- Nemionos detergensok pl.: többértékű alkoholok zsírsav észterei. A legkevésbé irritáló tisztítószerek.
- Amfoter detergensok pl.: betain típusú származékok. Kémiai töltésük a környezetüktől függ. Stabilizálják a habképzést, tisztítanak.

Felhasználásuk igen széleskörű, többek között iparban és háztartásokban jelentős. A háztartási detergensok a mindennapos használatok során (mosás, mosogatás, fürdés stb.) a szennyvízbe jutnak, onnan a szennyvíztisztítón keresztül a felszíni vizekbe. Környezetbe kerülésük azért káros, mert megakadályozzák az oxigén diffúzióját a vizekben, illetve magas szulfáttartalom esetén algavirágzást okozhatnak, így rontva a víz öntisztulását (Juhász és Lelkesné, 1979).

2.3.2.3. Biológiai szennyezők

A harmadik csoport a biológiai szennyezőké. Ebbe a csoportba különböző, természetes körülmények között előforduló-, illetve indikátorként is funkcionáló, továbbá potenciálisan megbetegedést okozó (patogén) baktérium-, vírus-, és gombafajokat, protozoákat stb. sorolunk (Prasad és Grobelak, 2020). Ebben az esetben vízminősítéskor az indikátor fajoknak van kiemelkedő szerepe, továbbá a KOI, BOI és TOC értékek a mérvadók (http 8).

Itt is elmondható, hogy a patogénitást okozó fajok megjelenése vízszennyezésre utal, mégpedig általában széklet/vizelet megjelenésére a vízben. Túlszaporodásuk pedig egészségügyi kockázatot jelent a lakosságra. A vízzel terjedő kórokozókkal az ember igen könnyen megfertőződhet: szennyezett ivóvíz elfogyasztásakor, fürdéssel, szennyezett vízzel készített étellel, rekreációs tevékenységek végzésénél stb. Bár a megfertőződés még nem jelent megbetegedést is, a szennyvíztisztítást követően a befogadóba jutatott víz tisztítottsági mutatói kiemelten fontosak. (Prasad és Grobelak, 2020).

2.3.2.4. Gyógyászatiilag aktív vegyületek

A kémiai szennyezők közül egyre nagyobb figyelmet kap három csoport: a gyógyászatiilag aktív vegyületek (PhAC – Pharmaceutically Active Compounds), a növényvédő szerek (pesticidek) és a személyes higiénés készítmények (PCP – Personal Care Products) hatóanyagai, mivel jelentős mennyiségben használja őket a lakosság és a mezőgazdaság, a nem célszervezetekre gyakorolt hatásaik miatt pedig jelenlétük a vízkörforgásban egyre nagyobb aggodalmat kelt. Ezeket a hatóanyagokat együttesen növekvő jelentőségű szerves mikroszennyezőknek (EC - Emerging Contaminants, vagy MP - Micropollutants) is nevezik (Khoo et al., 2022).

Jó néhány cikket és tanulmányt publikáltak a PhAC-ok jelenlétéről az ivóvízben és a szennyvízben egyaránt. Ezek a vegyületek globálisan mindenhol kimutathatóak, a természetes vizekben és az élő szervezetek szöveteiben is. A tanulmányokból tudjuk, hogy több mint 200

különböző PhAC-t mutattak ki felszíni és felszín alatti vízkészletekben. Továbbá megállapítást nyert, hogy mérgező, azaz akut, vagy krónikus toxikus hatásuk lehet az élő szervezetekre, egyes mikrobfajokban pedig képesek lehetnek antibiotikum rezisztenciát kialakítani (Háhn et al., 2022). A települési szennyvíztisztító telepeket azonban arra hozták létre, hogy a biológiailag könnyen vagy mérsékelten lebontható szén-, nitrogén- és foszforvegyületek, valamint a mikrobiológiai szervezetek eltávolítását végezzék el, így sajnos nincsenek kiépítve arra, hogy olyan kis koncentrációjú, összetett vegyületeket kezeljenek, mint a gyógyszermaradványok, vagy növényvédő szerek (Couto et al., 2019).

A biológiai szennyvíztisztítással a gyógyászati aktív vegyületeket (PhAC) tehát nem, vagy csak kis mértékben lehet lebontani. Ilyen vegyületek pl.: citalopram, kodein, diklofenak, koffein. Ezen mikroszennyezők a megtisztított szennyvíz elvezetésekor a befogadóba kerülnek. Mára pedig bebizonyosodott, hogy a PhAC-vel terhelt befogadóban nagyfokú összefüggések mutathatóak ki például a halak testformájának, többek között a pikkelyeik alakjának megváltozásában (Staszny et al, 2021).

A befogadók nagyon gyakran az ivóvízellátást is biztosítják, ezért a gyógyszermaradványok az ivóvízben (5–200 ng/L) is megjelennek. Így az emberi szervezetbe közvetve és közvetlenül is bejutnak. Elmondható az is, hogy a természetbe kijutó gyógyszermaradványok mennyisége nehezen megbecsülhető, hiszen a gyógyszerfogyasztás mind a lakosság, mind az állattartás során emelkedő tendenciát mutat (Oláh et al., 2021).

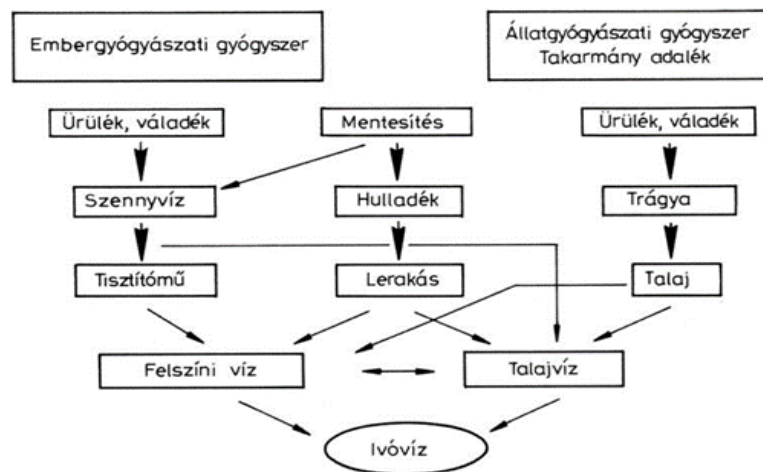
Az egyik leggyakoribb PhAC csoport az antibiotikumok. Jelentőségük az állati és emberi terápiában kiemelkedő, de sajnos két fő negatívuma nem megkerülhető: a rezisztencia kialakulása, és a vegyületszerkezet nehéz lebomlása. Az antibiotikumokról tudjuk, körülbelül 50-90%-a ürül ki az emberekből vagy állatokból a vizelettel, a széklettel, akár eredeti készítményükben, akár részben lebontva, vagy metabolitok formájában. A környezetbe került hatóanyagok számos esetben továbbra is biológiailag aktívak, azaz képesek gátolni az arra érzékeny mikroszervezetek szaporodását, növekedését. Ezért a túlélésükért a környezeti baktériumok (a kórházi mikroszervezetekhez hasonlóan) számos rezisztencia mechanizmust fejlesztenek ki. Így a szennyvízben megjelenő antibiotikum, mivel szelekciós nyomást gyakorol a mikrobaközösségre, növeli a rezisztens baktérium törzsek arányát (Bougnom és Piddock, 2017).

Mivel az antibiotikumok rendeltetésüktől fogva a mikroorganizmusokra károsító hatást fejtenek ki, a baktériumok, algák és a mikroalgák érzékenyek ezekre a vegyületekre. Ebből következően hatásuk azért káros, mert megbontják a környezeti egyensúlyt úgy, hogy elpusztítják a „hasznos” szervezeteket is, valamint megváltoztatják a mikrobaközösség

összetételét a vizekben és a talajban egyaránt. Ez a változás negatív hatással lehet a felszíni vizek öntisztuló képességére, vagy az anyagkörforgalmakra is. Ha az antibakteriális szerek a szennyvíztisztítás során nem bomlanak el, a felszíni vizekbe jutnak és a trofikus lánc különböző szintjén hatnak az élőszervezetekre, egy például egyes algafajok növekedését gátolják, vagy egyes szúnyogfajok lárváinál mortalitást eredményezhetnek (Simon és Gyéresi, 2007).

A másik nagyobb PhAC csoport a központi idegrendszeri stimulánsok, például a koffein. Emellett jelentős mennyiségben kimutathatók még a vízbázisokban: fájdalomcsillapítók, lipidszabályozók, rákellenes szerek, antiepileptikumok/görcsoldók, fogamzásgátló hormonok és β -blokkolók (Oláh et al, 2021).

A gyógyszermaradványok környezetbe kerülésének és terjedésének főbb útvonalaait foglalja össze a 4. ábra.



4. ábra: Gyógyszermaradványok vándorlása a vízi környezetben. *Forrás: Oláh et al., 2021*

2.3.2.5. Növényvédő szer maradványok

A másik, szennyvíztisztítás során nem lebontható, vagy alig lebontható vegyületcsoportok a növényvédő szer maradványok. A növényvédelemben felhasználható vegyianyagok (peszticidek) köre időről időre változik, egyes alkotókat betiltanak, másokat helyettesítenek és új anyagok is forgalomba kerülnek, a felhasználásuk pedig növekvő tendenciát mutat a világon. Európában a peszticideket a növényvédő szerekről szóló 1107/2009/EK rendelet szabályozza és engedélyezi, melynek végrehajtásához Magyarországon a 89/2004 (V. 25.) FVM rendelet „A növényvédő szerek forgalomba hozatalának és felhasználásának engedélyezéséről, valamint a növényvédő szerek csomagolásáról, jelöléséről, tárolásáról és szállításáról” kapcsolódik.

Elmondható az is, hogy a hatóanyagok akkor kerülhetnek a piacra, ha lehetséges a biztonságos felhasználásuk (89/2004. (V. 15.) FVM rendelet).

Ennek ellenére az ilyen irányú kutatásokból tudjuk, hogy a tisztított szennyvízben minden évszakban a legváltozatosabb növényvédőszer összetételt mutatták ki az üledékmintákban. A legtöbbet előforduló peszticidek: a herbicid és fungicid típusú növényvédőszer, a rovarriasztó- (repellens), és a rovarölőszerek, valamint ezek bomlástermékei. A hatóanyag tekintetében Magyarországon a NéBIH szerforgalmi adatai alapján a legnagyobb mennyiségben felhasznált növényvédő szer hatóanyagok a glifozát, kén, S-metolaklór, terbutilazin és a tebukonazol: ezeknek a készítményeknek a forgalmazott mennyisége haladta meg hazánkban 2021-ben a 300 ezer kg-ot ([http 9](http://9)). A felszíni vizek esetében a Balaton vízgyűjtőjén többéves monitoring alapján a legmagasabb koncentrációban kimutatható hatóanyag a glifozát (Tóth et al., 2022).

Ezen peszticid szennyezők legfőbb forrásai a háztartások és a mezőgazdaság, és sokféle módon kerülhetnek a vízháztartásba, például talajba szivárgással, aeroszol formában. A peszticidek tekintetében elmondható, hogy a vizekben hosszú ideig jelen vannak (perzisztálnak) és az idő elteltével kumulálódhatnak. Amennyiben mérgező (akut, vagy krónikus toxicitással rendelkező) hatóanyagról van szó, jelenlétük és felhalmozódásuk károsan hathat az élőlényekre és az emberi egészségre is (Tóth et al, 2022).

Láthatjuk tehát, hogy vizeinkben sokkal több összetevő, vegyületalkotó van jelen, mint ahány a régi, de jelenleg is érvényes jogi szabályozások megalkotásakor ismeretes volt, vagy amelyet veszélyesnek gondoltak. Ezért számos új típusú, növekvő jelentőségű mikroszennyezőre nincs kidolgozott határértékrendszer sem. A jogszabályi háttér kidolgozása időigényes folyamat, a szennyvíztisztítók korszerűsítése pedig költséges, így napjainkban számos esetben találkozhatunk olyan szennyvíztisztítóval, mely akár több tíz mikrogramm/liter koncentrációban bocsájthat ki a környezetbe gyógyszermaradványokat és növényvédő szereket, valamint antibiotikum rezisztens mikroorganizmusoknak is forrása lehet.

A vonatkozó szakirodalom áttekintését követően a további fejezetekben szeretném bemutatni a vizsgálataim tárgyát képező települést, annak vizes élőhelyeit, valamint az általam végrehajtott, vízminőséget érintő vizsgálatokat és azok eredményeit.

3. Anyag és módszer

3.1 Veresegyház és tórendszere

Veresegyház (koordinátái: 47° 39' 25" N, 19° 17' 5" E) város Pest vármegyében, azon belül pedig a Gödöllői járásban helyezkedik el, ami a budapesti agglomerációhoz tartozik. A város területe 2856 ha, lakossága 20794 fő volt 2023. január 1. napján ([http 10](http://10)). A települést nyugat felől a Duna, keletről pedig a Gödöllői-dombság fogja közre a Cserhát vonulatának délnyugati vége közelében. A településtől délre a mogyoródi Gyertyános, a Fóti-Somlyó és a csomádi Magas-hegy található, keletre és északra a Margita, valamint az Öreghegy határolja. Tőle északnyugatra az őrbottyáni Órhegy, majd a váchartyáni Várhegy látható. Veresegyház térségének fő vízfolyása a Szódrákosi-patak. A patak táplálja a mogyoródi Pusztaszentjakab-tavat, a veresegyházi tórendszert (lásd 5. ábra), az Órbottyáni-tavat és a Vácrátóti Botanikus Kert tavait is (Horváth, 1977).



5. ábra: Veresegyházi tavak. *Forrás:* [http 11](http://11)

A Szódrákosi-patak vízrendszere az őskortól biztosította az ideletelepülő népek megélhetését. Ennek a pataknak a felduzzasztásával alakult ki a veresegyházi Malom-tó (Öreg-tó), aminek első okleveles (nádas halastó) említése 1430-ból származik. Az itt található mesterséges halastavaknak mindig nagy jelentősége volt. A Malom-tó különösen a középkortól kezdve játszott kiemelt szerepet a község megélhetésében, gazdálkodásában. Bár fürdésre vélhetően már a XIX. században is használták és a Tópart kiépülése is az első világháború előttre tehető, a helyi jelentősebb fürdőélet valójában csak a két világháború között alakult ki, ám a mai napig tart.

Természetvédelmi vonatkozásban elmondható, hogy a Szódrákosi-patak vízgyűjtő területén lévő 19 lápon több, mint 200 növényfaj található meg, amelyből 31 faj jogszabályi védelem alatt áll, továbbá védett állatokban (pl.: vízisikló - *Natrix natrix*) is gazdag élőhely. Kiemelendő a Malom-tó lápi élővilága is: a többszáz év alatt kialakult úszó láp szigetek biodiverzitása a fentebb említett emberi behatások ellenére is kiemelkedő érték. Olyan fajoknak ad otthont mint, a tőzeg páfrány – *Thelypteris palustris*, mocsári csorbóka -*Sonchus palustris* vagy a mocsári teknős - *Emys orbicularis* (Tatár és Krenedits, 2011).

A rendszerváltás, majd az 1990-es évek nem hagyták érintetlenül a veresegyházi tavak környékét sem. A helyi képviselő-testület az Ivacsi-tavat először egy vállalkozónak adta bérbe, aki kialakította a horgásztavat és Haldorádó néven a mai napig üzemelteti. A Strandteraszt az 1990-es években a tópart egy részével együtt magánkézbe adták, ekkor épül meg a Tavirózsa Étterem és Panzió is. A Malom-tavi tóstrand a 1928 óta napjainkig üzemel és fogad vendégeket a nyári szezonban. A fürdővíz éves értékelése 2022-ben „jó” (http 12), bár az elmúlt szezonban több alkalommal is időszakosan tilos volt a fürdőzés a víztest mikrobiológiai állapota miatt.

A Malom-tó, mint lápi élőhely 1997-ben kapott országos („ex lege”) védettséget, köszönhetően a természetvédelmi törvénynek. Ekkortól a kikapcsolódás és a szórakozás biztosítása maradt meg a helyi tavak egyetlen funkciójaként. A Malom-tó vízminősége 1980-tól fokozatosan romlott, aminek háttérében az egyre növekvő emberi terhelések és beavatkozások álltak. Ilyen terhelés és beavatkozás volt az emésztőgödrök által okozott szennyezés, vagy a nádasok kikotrása is. Ugyan a vizek belső terhelésének és problémáinak kezelésében nagy jelentőséggel bírt a tavak rehabilitációja, de a kívülről érkező terhelések (különösen igaz ez a szennyvíztisztítóra) további problémákat okoztak az élővilágban (Tatár és Krenedits, 2011).

A közelmúltban a tavakat és a természetes környezetet a településen több olyan hatás érte, mely a helyi közösségben komoly negatív visszahangot váltott ki. Ilyen volt a közvetlenül a tópartot érintő 4 m széles viacolor út építése 2021-ben (6. ábra), vagy a vegetációs időszakban megvalósult, bokorfüzeseket érintő fakivágások (7. ábra).



6. ábra Viacolor út építése a Malom-tó mellett 2021-ben Forrás: Tavirózsa Egyesület



7. ábra Bokorfüzeseket érintő fakivágások 2021-ben. Forrás: Tavirózsa Egyesület

A legnagyobb természetátalakító tevékenység azonban egyértelműen az Álomhegyi tározó kialakítása volt, melyet Veresegyház negyedik tavának szánnak. Ez lenne többek között a befogadója a tisztított szennyvíznek, amellett, hogy sportolási és rekreációs célokat is szolgálna, amennyiben építési munkálatai befejeződnek. A tó létesítése régóta szükséges, 1996-ban, az akkor frissen átadott szennyvíztisztítóhoz írták elő az esetleges szennyvíz haváriák elkerülése érdekében. A tározó területe 14,3 ha, elhelyezkedése a Folyás-patak közelében van, mivel vele lesz közvetlen összeköttetésben. A Folyás - patak pedig az Ivacsi-tóba torkollik. Kialakításának célja, hogy amennyiben a tisztított szennyvíz minősége váratlanul leromlana, az nem az Ivacsi-tóba ömlő Folyás-patakba kerülne, hanem a tározóba.

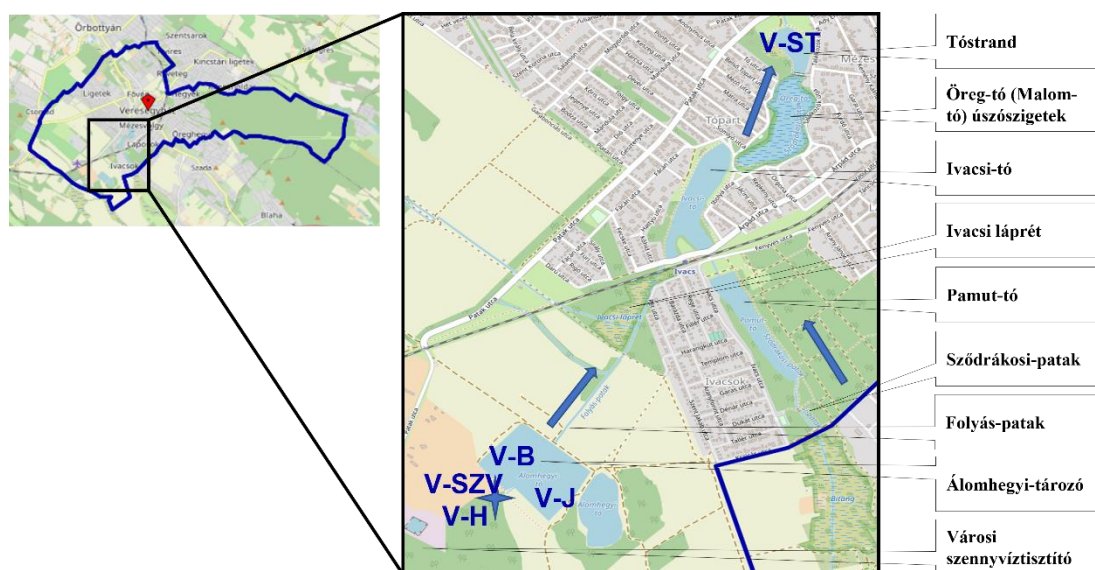
Az Álomhegyi tározó, bár mesterséges tó, az évek alatt gazdag élővilág telepedett meg itt. Lengyel Attila kutató adatgyűjtése alapján 171 madárfajt figyeltek már meg a területen (<http>

13), a homokos partfalban például parti fecskék (*Riparia riparia*) és gyurgyalagok (*Merops apiaster*) fészkelnek. Önkormányzati segítséggel a partfalak évente megújításra kerülnek, így válnak alkalmassá a parti fecskék fészkelésére. Ennek köszönhetően a veresegyházi telep mérete állandó, átlagosan kétszáznegyven pár alkotja (Csigi, 2017).

3.2 A veresegyházi szennyvíztisztító

A térségi szennyvíztisztító telep Veresegyház belterületétől délnyugatra, a Szódrákosi-patak vízrendszerébe tartozó Folyás-patak melletti mezőgazdasági területen épült 1996-ban. A telep kapacitása 3000 m³/nap volt. Sajnos 2012-ig bizonyítottan túlterhelt kapacitással (kb. 120%-kal) működött a telep, amely a talajvíz figyelő kutakon is nyomon követhető volt. Bár 2013-ban további 2000 m³-rel bővítették a telep kapacitását, a túlterhelés nem szűnt meg, csak csökkent. Ekkor a telepre membránszűrős technológiát is beépítettek. 2013-ban a bővítéssel egyidőben a Folyás-patakba történő átkötés is megtörtént a tisztított szennyvíz számára. A kezelt szennyvíz bevezetése a Folyás-patak csomádi és mogyoródi ágánál található osztóműtárgynál van kialakítva, a vízfolyás innen kb. 20 méterre, a már említett, a mai napig még épülő Álomhegyi-tározóba torkollik (Veresegyház Fenntartható Fejlődésének Programja, 2013). A kibocsájtott tisztított szennyvíz mennyisége 1654 ezer m³/év. A szennyvíztisztító környezetterhelése: BOI (Biológiai oxigénigény): 6613 kg/év, KOI (kémiai oxigénigény): 58192 kg/év, N: 15053 kg/év, P: 424 kg/év, Lebegőanyag: 9453 kg/év.

Pozitív iránynak mondható, hogy az önkormányzat 2019-ben a többi érintett településsel közösen kapacitás bővítést kezdeményezett a tisztító telep felé. A veresegyházi tavak, valamint a szennyvíztisztító elhelyezkedését és áramlási rendszerét szemlélteti a 8. ábra.



8. ábra A veresegyházi tavak áttekintő térképe. Kék nyíl – vízáramlás iránya; kék csillag – szennyvíztisztító bekötési pont. Mintavételi pontok: V-H – háttér; V-SZV – tisztított szennyvíz; V-B – Álomhegyi tározó bal kazetta; V-J – Álomhegyi tározó jobb kazetta; V-ST - tóstrand (Forrás: Kaszab E., alaptérkép forrása: <http://14>)

3.3 Mintavételezés

3.3.1. A mintavétel célja

2022-ben, a helyszín megismerését és bejárását követően alakítottuk ki a vereasegyházi tavakat és ezen belül az Álomhegyi tározót érintő, többcélú mintavételek koncepcióját. Célunk az volt, hogy a 8. ábrán szemléltetett vízáramlási viszonyok és az ismert legfontosabb potenciális szennyezőforrás (szennyvíztisztító) ismeretében megállapítsuk, hogy

- a tisztított szennyvíz közvetíthet-e az Álomhegyi tározóba, vagy a vereasegyházi tórendszerbe biológiai szennyeződést (patogén és/vagy antibiotikum rezisztens mikroszervezeteket), melyek hatást gyakorolhatnak a felszíni víz ökoszisztémájára, vagy negatívan befolyásolhatják a vízhasználatokat;
- van-e különbség az Álomhegyi tározó két, eltérő vegetációval rendelkező medencéjének mikrobiológiai állapota között;
- ökotoxikus hatású-e a tisztított szennyvíz, vagy az azt befogadó tározók kazettáinak vize;
- tartalmaz-e a tisztított szennyvíz mérhető koncentrációban növényvédő szereket, vagy gyógyszermaradványokat és eljuthatnak-e ezek a mikroszennyezők a tórendszer végén elhelyezkedő Malom-tavi tóstrandig.

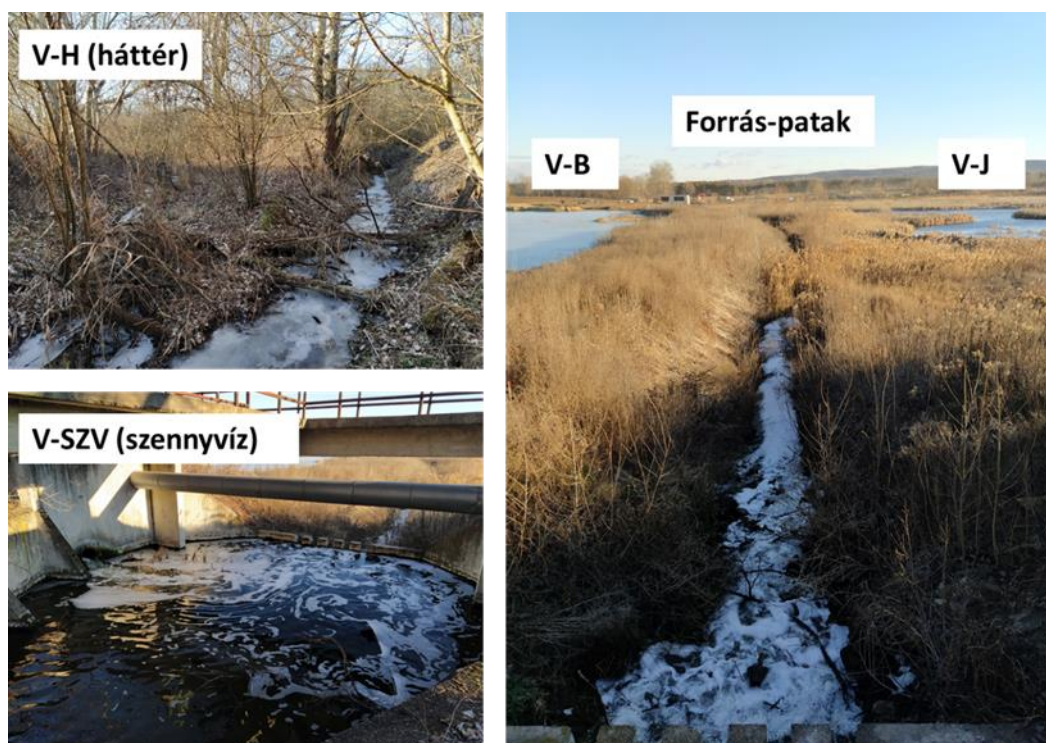
3.3.2. A mintavétel végrehajtása

Az általam végzett első mintavételezésre 2022.03.23-án került sor a vereasegyházi szennyvíztisztító telep környékén. A mintavételezés a vonatkozó Magyar Szabványban foglalt protokoll szerint történt (MSZ 5667-4:1995), több mintavételi pontot is felkerestünk, majd kiválasztottuk a leginkább alkalmasabbakat.

Négy felszíni vízminta vételezésére került sor:

- V-H (háttér): a tisztított szennyvíz bevezetése előtti patak
- V-SZV (tisztított szennyvíz): a tisztított szennyvizet elsődlegesen befogadó betonmedence vize
- V-B: vegetáció nélküli víztest az Álomhegyi tározó területén
- V-J: beállt vegetációval rendelkező víztest az Álomhegyi tározó területén

A mintavételi pontok elhelyezkedését ábrázolja a 8. ábra, míg a helyszínen készült felvételeket foglalja össze a 9. ábra.



9. ábra A mintavételi pontok elhelyezkedése (V-H – háttér minta a szennyvízbekötés előtt, V-SZV – szennyvízbekötés helyén vett minta; V-B – az Álomhegyi tározó vegetáció nélküli medencéje; V-J – az Álomhegyi tározó vegetációval rendelkező medencéje; a szennyvizet elsődlegesen elvezető Forrás-patak)

Mindent pontosan dokumentáltunk, a mintavétel körülményeiről és a helyszínen mérhető paraméterekről (oldott oxigén, redoxpotenciál, vezetőképesség, vízhőmérséklet) jegyzőkönyvet készítettünk. Ezek után visszatértünk a laboratóriumba, hogy feldolgozzuk a mintákat. Szállítás alatt a mintákat 4°C-on tároltuk.

Egy későbbi időpontban, 2022. szeptember 15-én kémiai analitikai vizsgálat keretében peszticid és gyógyszermaradványok kimutatására irányuló vízmintavételezésre is sor került. A mintavételek során szabványosított mintatartó edényekbe vettünk vízmintát a tisztított szennyvizet elsődlegesen befogadó betonmedencéből (V-SZV) és a tórendszer utolsó tagjából, a tóstrandként is szolgáló Malom-tóból (lásd 6. ábra). A mintavétellel egyidejűleg ismételten felvételeztük a víztest fizikokémiai paramétereit, majd a mintákat 4°C-on tartva beszállítottuk a kémiai analitikai vizsgálatokat elvégző laboratóriumba (Eurofins Analytical Services Hungary Kft., Budapest). A vizsgálati irányok az alábbiak voltak: Általános vízkémiai paraméterek (pH, karbonát, nitrit stb. mg/dm³-ben megadva), multipeszticid (µg/dm³-ben megadva), Glifozát és AMPA vizsgálat (µg/dm³-ben megadva) illetve a kimutatható gyógyszermaradványok (µg/dm³-ben megadva).

A szolgáltató laboratórium a mintákat szabványosított eljárások alapján elemezte (többek között MSZ EN ISO 10523:2012, MSZ EN 27888:1998, EPA Method 1694:2007 és WBSE-

47:2019 szabványok alapján), majd a mérési eredményeket jegyzőkönyv formájában a rendelkezésünkre bocsájtotta.

3.4 Az elvégzett vizsgálatok

A vizsgálandó mintákat saját kutatásaim keretében több szempontból is tanulmányoztam, úgy, mint:

- Mikrobiológiai vizsgálatok:
 - Összcsíraszám (telepszám) meghatározása általános (R2A) táptalajon
 - Az ismert patogén *Pseudomonas aeruginosa* szelektív kimutatását célzó vizsgálat
 - Antibiotikum rezisztens mikroorganizmusok kimutatását célzó vizsgálat (COL/CRE szelektív/differenciáló táptalajokon)
- Ökotoxikológiai vizsgálat (akut toxicitási vizsgálat végrehajtása *Aliivibrio fischeri* tesztszervezeten)

A feldolgozott eredeti vízmintákat hűtőszekrénybe raktam, további felhasználásig, a kioltott táptalajokat a vizsgálatoknak megfelelő hőmérsékletre beállított termosztátokba helyeztem el. A vizsgálatokat az alábbiakban ismertetett módon végeztem el, mindig az adott szabványok eljárási rendje szerint.

3.4.2 Összcsíraszám (telepszám) meghatározása

Ezen vizsgálat célja a mikroorganizmusok csíraszámának becslése környezeti mintákból. Az összcsíraszám egy adott minta egységnyi térfogatára eső élő és az adott körülmények között szaporodni képes baktériumok összessége számmal megadva. A vizsgálatot a következőképpen végeztem el: az eredeti vízmintából kimértem 1 ml-t és hozzáadtam 9 ml desztillált vizet. Ebből készítettem tova futó hígítási sort (lásd 11. ábra). Az így elkészített oldatokból a feliratozott üres Petri csészékbe kimértem 1 ml-t és hozzáadtam R2A agart (Scharlab Magyarország). Az R2A agar a gyártó ajánlása alapján vízminták mikrobiológiai összetételének vizsgálatára javasolt tápközeg. A táptalaj összetétele: proteóz pepton 0,500 g/L, tripton 0,500 g/L, élesztő kivonat 0,500 g/L, D (+) - Glükóz 0,500 g/L, keményítő 0,500 g/L, nátrium piruvát 0,300 g/L, dikálium-hidrogén-foszfát 0,300 g/L, magnézium-szulfát (vízmentes) 0,024 g/L, agar 15,00 g/L.



11. ábra: A frissen vett vízminták és feldolgozásukhoz szükséges táptalajok *Forrás: saját kép*

Miután megdermedt, 28°C hőmérsékletre állított termosztátba helyeztem, 96 óra inkubálásra. Ennél a vizsgálatnál is az előírt utasításokat követtem (MSZ 21470/77-1988).

A táptalajon kifejlődött telepek számát ezek után leolvastam – ezt az eredmények fejezetben be is mutatom, majd néhány kiválasztott, típusos baktérium teleppel tovább dolgoztam, tiszta tenyészeteket létrehozva. A tiszta tenyészetekből egyrészt tovább oltást készítettem, másrészt fajazonosítás készült DNS izolálással és 16S rDNS szekvenálás módszerével.

3.4.3 Molekuláris biológiai vizsgálatok

A DNS izolálást DNeasy UltraClean Microbial kit (Qiagen) segítségével hajtottam végre a gyártó útmutatásai szerint. A DNS minták minőségét agaróz gélelektroforézissel ellenőriztem. A fajazonosítás érdekében a baktériumtörzsek domén-specifikus 16S rDNS génjének szekvenálását hajtottuk végre. Az 1550 bázispár hosszúságú génszakasz nukleotid sorrendje ugyanis alkalmas a baktériumok faj szintű identifikációjára. A vizsgálat során a bakteriális DNS felhasználásával első lépésben PCR reakciót hajtottunk végre. A reakcióhoz az alábbi PCR mastermixet használtam (egy reakcióelegyre számolva, 50 µl végtérfogat mellett):

- 1 µl DNS templát: ismert koncentrációjú DNS, mely tartalmazza a DNS-szakasz amplifikálható régióját
- 1 µM forward és reverz primer (27f, 1492r): meghatározza az másolandó szakasz elejét és végét
- 1,25 U DNS-polimeráz (Thermo Scientific): lemásolja az amplifikálható szakaszt
- 5 µl Taq-puffer (Thermo Scientific): biztosítja a DNS-polimeráz számára a megfelelő ionegyensúlyt, kémiai környezetet

- 4mM dNTP (dezoxiribonukleotid-trifoszfát keverék): a polimeráz az új DNS szálakat ezekből az építőkövekből építi fel
- 32,75 µl nukleáz-mentes víz: a végtérfogat beállításához.

A PCR reakció Eppendorf Mastercycler készülékben zajlott a szakirodalom alapján beállított hőprofil alapján: 95°C 3' 32x (94°C 30'' 52°C 30'' 72°C 1') 72°C 10' 4°C ∞ (Radó, 2019).

A PCR sikerességét agaróz-gélelektroforézissel ellenőriztük, majd a PCR terméket NucleoSpin Gel and PCR Clean-up KIT (Macherey-Nagel) segítségével, a gyártó utasításai szerint megtisztítottuk. A tiszta PCR terméket templátként használva szekvenáló PCR-t hajtottunk végre. A szekvenáló reakcióelegy összetétele (10 µl végtérfogat mellett): 1 µl Big Dye, 1,5 µl Big Dye puffer, 0,5 µl primer (27f), 3,5 µl tisztított PCR termék (templát), 3,5 µl MQ-víz volt. A reakció az alábbi hőprofil alapján zajlott 96°C 1' 28x (96°C 10'' 51°C 5'' 60°C 4') 4°C ∞.

A Sanger-féle szekvenálási módszer lényege, hogy a reakcióban fluoreszcens festékkel jelölt, módosított didezoxi-nukleotidok véletlenszerű beépülése miatt a DNS különböző hosszúságú másolatai jönnek létre, melyek végén módosított fluoreszcens nukleotidok helyezkednek el. Ezt a terméket etanollal kicsapattuk, centrifugáltuk, majd Hi-Di formamidban felvettük, végül kapilláris gélelektroforézis segítségével (ABI Prism 3130 Genetic Analyzer készüléken) méret alapján sorba rendeztük és egy lézer detektor segítségével leolvastuk. Így nyertük ki a szekvencia bázisrendjét. A részleges 16S rDNS szekvenciákat ezt követően az EZBiocloud adatbázissal vetettük össze, mely alapján 98,5% egyezés felett tekintettük elfogadhatónak a faj szintű azonosítást (Yoon et al., 2017).

3.4.3 *Pseudomonas aeruginosa* kimutatása

A *Pseudomonas aeruginosa* Gram-negatív, opportunista (gyengültségi) kórokozó, mely emberben és állatban egyaránt képes megbetegedést okozni. Száma ivóvíz esetében a vízhálózat biofilm szennyezettségét jelző paraméter. Talajban és a vízben természetes módon alacsony csíraszámokban fordul elő, de a pangó víz és a 20 °C feletti vízhőmérséklet kedvez az elszaporodásnak (http 15).

Ezen vizsgálat elvégzésénél a MSZ 21470-77:1988 szabvány utasításai szerint jártam el. Itt is első lépésként a környezeti minta tízszeres hígításával dolgoztam, melyből aszparaginos dúsítót tartalmazó kémcsövekbe oltottam a mintákat, ezt követően a csövek 42°C-os termosztátba kerültek 48 órára. Az inkubációs idő letelte után az aszparaginos dúsítókat feldolgoztam úgy, hogy üvegbot segítségével cetrimid agarra (Merck) szélesztettem ki a csövek

tartalmát. A cetrimid agar (Pepton zselatinból 20,0 g/L; magnézium-klorid 1,4 g/L; kálium-szulfát 10,0 g/L; N-cetil-N,N,N,N-trimetil-ammónium-bromid (cetrimid) 0,3 g/L; agar-agar 13,6 g/L) egy szelektív differenciáló táptalaj, melyen csak a *P. aeruginosa* tud növekedni. Az összes elkészített táptalajt 37°C-os termosztátba helyeztem. Az inkubációs idő letelte után szemrevételeztem a táptalajokat, melyeken a *P. aeruginosa* növekedése esetén kékeszöld, vízdékony, diffúz pigmentet termelő telepeket lehet felfedezni.

3.4.1 Ökotoxikológiai vizsgálatok

Az ökotoxikológiai vizsgálatnál célunk annak megállapítása volt, hogy a vizsgált vízminták kiválthatnak-e akut toxikus hatást a felszíni víz ökoszisztémájának valamely tagjára nézve.

A módszer elve röviden: Az *Aliivibrio fischeri* nevezetű tengeri baktérium faj lumineszcens fény kibocsátására képes. Környezettoxikológiai tesztelés során azt használjuk ki, hogy a fénykibocsátás mértéke lecsökken toxikus vegyi anyagok jelenlétében vagy más káros hatásokra. Tehát az *A. fischeri* fénykibocsátás-csökkenése toxicitásra utaló jel, így megtudhatom, hogy az általam vizsgált minták mennyire károsak a víz élővilágára. A vizsgálat során, amennyiben toxikus a vízminta, megállapítható az úgynevezett EC₅₀ (effektív koncentráció) érték, mely azt fejezi ki, hogy az adott környezeti minta hány %-os oldata szükséges 50% fénykibocsátás gátlás kiváltásához.

A vizsgálat során az ISO 11348-3:1998 szabvány utasításai szerint jártam el. Az eredeti vízmintából kimértem 50 ml-t és 0,45 µm pórusátmérőjű membránszűrőn leszűrtem az ökotoxikológiai vizsgálatához. A membránon átszűrt vízmintáimból kimértem 11 ml-t és hozzáadtam 0,22 g NaCl-ot (mivel a baktériumom tengerben él, szükséges a minta sózása, hogy kiküszöböljük az édesvíz eredményt torzító hatását) és ezekkel a mintákkal dolgoztam tovább a teszt leírása alapján.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Helyszíni mérések eredményei

A helyszíni mérések eredményeit összefoglaló táblázat az 1. sz. mellékletben található. A 2022.03.23-i helyszínen rögzített adatok alapján elmondható, hogy a V-H pontnál 6,28°C, a V-SZV pontnál 13,81°C, a V-B pontnál 11,3°C, illetve a V-J pontnál 13,0°C vízhőmérséklet volt mérhető, mely a fényviszonyokkal hozható összefüggésbe, a háttér és a szennyvíz mintavételi pont ugyanis árnyékos, hűvös helyen volt, míg a tározó kazettái napfénynek kitett helyen. A minták pH értéke 7,78-8,3 között mozgott. Nitrát csupán a V-SZV (szennyvízbeömlés) pontban volt kimutatható (2 mg/L), míg nitrit a V-SZV pont mellett (25 mg/L) a V-J (beállt vegetációval rendelkező tároló kazetta) esetében volt mérhető (10 mg/L). A klór tartalom a V-SZV mintánál és a V-J mintánál 0- 0,8 közötti tartományban volt kimutatható. A szeptemberi mintavétel során a vízhőmérséklet jelentősen magasabb volt, különösen a tisztított szennyvíz esetében (24,3°C). A pH érték a korábban mértnek megfelelően 7,5-8,0 közötti tartományban mozgott. Mindkét mintavételi alkalommal a tisztított szennyvíz esetében mértük a legmagasabb redoxpotenciál értékeket (913 és 1175 μ S).

4.2 Összcsíraszámra vonatkozó eredmények

Elsőként az R2A táptalajon végzett kioltás eredményeit szemrevételeztem és a szabvány alapján meghatároztam az összcsíraszámot. Mivel ez a táptalaj még nem differenciáló, ezért számtalan baktérium faj tenyésztett ki rajta, melyek összcsíraszámja a következőképpen alakult:

1. táblázat: Összcsíraszám telepleolvasásának összesítése R2A táptalajon

Minta jele	R2A táptalaj leolvasott telepek száma (db)				Telepképző egység szám (CFU/ml)
	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	
V-H	300	56	6	-	4866
V-SZV	sok	208	22	-	2140
V-B	sok	25	1	8	27800
V-J	sok	265	3	3	19800

A táblázat eredményeiből jól látható, hogy a tízszeres hígításban nagyszámú telepnövekedés volt jellemző a táptalajon. Ez adódhat a felszíni víztestek természetes mikrobaközösségéből is, hiszen a két tárolóként szolgáló víztest esetében mértünk magasabb mikrobaszámot. Illetve látható az is, hogy az összes mintában volt telep növekedés még a 10³-on hígításban is. Elmondható továbbá az is, hogy míg a természetes, szennyvízzel nem terhelt pataokban élő

mikrobák telepszáma 4866 CFU/ml volt, addig a két szennyvizet befogadó tó mikroba száma jelentősen magasabb, közel ötszöröse (19800-27800 CFU/ml) volt. A bal és a jobb oldali befogadó tó mikrobaszámbeli eltérése adódhat a tavak vegetációjából is – a bal tó vegetációja gyér volt, így a növényzet szűrő/puffer funkciója kevésbé érvényesül. Maga a tisztított szennyvíz minta (V-SZV) alacsonyabb, nagyságrendileg a háttér mintához hasonló telepszámmal jellemezhető, mely feltehetőleg a szennyvíztisztítás során használt fertőtlenítőszer (klór) hatásának köszönhető. Klórt ugyan a helyszíni mérések során nem tudtunk kimutatni, de a második mintavételi körben mért analitikai vizsgálatok eredménye alapján a tisztított szennyvíz klorid-ion koncentrációja 184 mg/L volt, mely még a tórendszer utolsó tagjáig a Malom-tavi strandig is csak 121 mg/L értékre csökkent.

4.3. Antibiotikum rezisztens mikroorganizmusok kimutatásának eredményei

Második lépésben az antibiotikum rezisztencia vizsgálatok táptalajain értékeltem a bakteriális telepszámot, hogy megállapítsam, előfordulnak-e a vizsgált vízmintákban antibiotikumok ellenálló mikroorganizmusok. A vizsgálat során két olyan antibiotikum csoportra fókuszáltunk (CRE - karbapenem, COL - kolisztin), melyek esetében az antibiotikum rezisztencia kialakulása közegészségügyi problémát jelentene. A karbapenem típusú antibiotikumok széles spektrumúak, azaz sokféle baktérium ellen hatásosak, míg a kolisztin alkalmazása kifejezetten célzott terápiában és kizárólag akkor indokolt, amikor más gyógyszerek már hatástalanok. A vizsgálat eredményeit a 2. táblázat foglalja össze:

2. táblázat: Az antibiotikum-rezisztens mikroorganizmusok telepszáma (CFU/mL)

Minta jele	Chromatic táptalajon mért telepszám (CFU/mL)	
	CRE*	COL**
V-H	110	10
V-SZV	50	90
V-B	0	0
V-J	sok	20

*CRE: Karbapenem rezisztens mikroorganizmusok azonosítására szolgáló táptalaj

**COL: Kolistin rezisztens mikroorganizmusok azonosítására szolgáló táptalaj

Ahogy a fenti táblázatból is látható, egy minta kivételével (V-B, vegetáció nélküli víztároló) minden mintában, mindkét táptalajon volt telepnövekedés, ami arra utal, hogy az antibiotikumokra rezisztens törzsek is megjelentek az adott víztestekben. Nagyságrendi eltérés az egyes minták között nem volt tapasztalható: a háttér mintában a szennyvízben és a

szennyvizet befogadó tározókban hasonlóan alakultak a kolisztin/karbapenem rezisztens telepszámok, melyek a tanszéken folyó, egyéb víztesteket érintő monitoring eredmények alapján átlagosnak tekinthetők. Figyelmet érdemel ugyanakkor, hogy a rezisztens baktériumok már a szennyvízzel nem kevert, háttér (V-H) víztestben is kimutathatóak, mely esetleg utalhat arra, hogy a háttér minta is kaphatott antropogén terhelést.

4.4. *P. aeruginosa* kimutatásának eredményei

A *Pseudomonas aeruginosa* irányában végzett vizsgálatok negatív eredményt adtak, azaz a vizsgált vízmintákban a faj nem volt kimutatható. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a faj nincs jelen, csak az adott időszakban nem mutatott aktivitást, mely a mintavétel időszakában tapasztalt, alacsony víz hőmérsékletnek is betudható. Ugyanakkor megnyugtató, hogy a tisztított szennyvíz Veresegyházon az eredményünk alapján nem volt forrása egy kiemelt közegészségügyi jelentőségű, humán- és állatpatogén mikroorganizmusnak.

4.5. Baktériumtörzsek faj szintű azonosításának eredményei

A táptalajokról kiválasztott és tovább oltott törzstenyészetek közül a 16S rDNS szekvenáláson alapuló identifikáció a következő eredményeket adta: a 12 mintából 9 lett sikeres, ezeket a 3. számú táblázatban foglaltam össze.

3. számú táblázat: Azonosított baktériumtörzsek faj szintű identifikációjának eredményei

Minta azonosítója	Táptalaj	Azonosított faj	Taxonómiai besorolás (Család / Nemzetség)
V-H	R2A	<i>Curtobacterium flaccumfaciens</i>	Microbacteriaceae / Curtobacterium
V-H	CRE	<i>Pseudomonas orientalis</i>	Pseudomonadaceae / Pseudomonas
V-SZV	R2A	<i>Acinetobacter bohemicus</i>	Moraxellaceae / Acinetobacter
V-SZV	R2A	<i>Flavobacterium resistens</i>	Flavobacteriaceae / Flavobacterium
V-SZV	CRE	<i>Aeromonas media</i>	Aeromonadaceae / Aeromonas
V-B	R2A	<i>Novosphingobium arvoryzae</i>	Sphingomonadaceae / Novosphingobium
V-J	R2A	<i>Sphingobacterium faecium</i>	Sphingobacteriaceae / Sphingobacterium
V-J	R2A	<i>Rahnella aquatilis</i>	Yersiniaceae / Rahnella
V-J	CRE	<i>Rahnella aceris</i>	Yersiniaceae / Rahnella

Az azonosított fajokról összességében elmondható, hogy a német TRBA (Technical Rules for Biological Agents – A biológiai anyagok kezelésének technikai szabályai) alapján mindegyikük Risk Group 1. besorolású, azaz sem egyéni, sem közösségi szinten nem jelentenek komoly humán-egészségügyi kockázatot.

A háttérmintából két fajt sikerült azonosítani, az egyik a *Pseudomonas orientalis*, amely egy igen változatos nemzetséghez, a Pseudomonasokhoz tartozik. A nemzetségre jellemző, hogy tagjai nagy számú metabolitot szintetizálnak, ideértve azokat is, amelyek közvetlenül serkentik

a növények növekedését vagy gátolják a káros mikroorganizmusok növekedését. A *P. orientalis* antagonista hatású számos növényi kórokozóval szemben, de fitotoxikus hatással is bír (Zengerer et al., 2018). A másik faj, a *Curtobacterium flaccumfaciens*: a *Phaseolus* spp. (babfélék) bakteriális hervadásos betegségének okozója és egy szisztémás baktérium. A betegséget először az Egyesült Államokban fedezték fel az 1920-as években. Magyarországon még nem túl gyakori kórokozóként tartják számon (Osdaghi et al., 2020).

A szennyvízből kimutatott fajok között szerepelt az *Aeromonas media*. Az *Aeromonas* nemzetségről ismert, hogy olyan betegségeket okoz, mint az ételmérgezés, szepszis és sebfertőzés. Az *Aeromonas* nemzetség emberi környezetben, különböző víztestekben és talajban is megtalálható. Az *Aeromonas* fajok környezetből emberre terjedésének módja azonban nem tisztázott egyértelműen (Kazofumi et al., 2016). Az *Acinetobacter bohemicus*: Az *Acinetobacter* fajok jelentős helyet foglalnak el a természetben, mivel mindenütt jelen vannak a környezetben, például a talajban, víztestekben. A sokoldalú anyagcsere-jellemzők lehetővé teszik e nemzetség fajai számára, hogy aktív részvevői legyenek az ökoszisztéma tápanyag-ciklusának (J. Jung & W. Park 2015). A harmadik kimutatott faj a *Flavobacterium resistens*. A *Flavobacterium* nemzetség számos faja rendkívül fontos opportunistá kórokozó (az egészséges halkopoltyú-mikroflóra részét képezik), amelyek a vízi környezetben mindenütt jelen vannak, és felszaporodásukkor jelentős veszteségekkel járnak a halállomány tekintetében. Egyes fajok rezisztensek a penicillinnel és polimixinnel szemben, így kórházi fertőzésre is képesek (Inzana, 1990).

A bal oldali tóból egy fajt sikerült kimutatni: a *Novosphingobium arvoryzae*-t: A *Novosphingobium* nemzetségbe tartozó baktériumok széles körben elterjedtek például talajban, víztestekben, növényekben és a xenobiotikus vegyületek (a szervezet számára idegen anyagok, például gyógyszerek, mérgek) széles skáláját képesek lebontani (Wang et al., 2018).

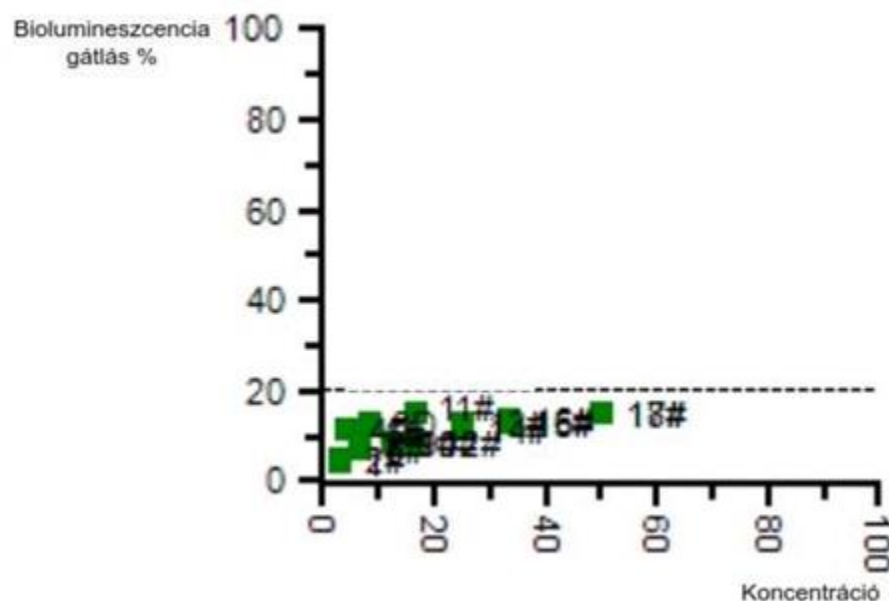
A jobb oldali víztestből a következő fajokat mutattuk ki: a *Sphingobacterium faecium*: A *Sphingobacterium* fajok nem mozgékony, aerob bacillusok. A *Sphingobacterium* fajokat általában talajból, vízből és növényi anyagokból izolálják, és a fajok által okozott emberi fertőzésekről csak néhány esetjelentés jelent meg (Koh et al., 2013). A másik két faj a *Rahnella aceris* és a *Rahnella aquatilis*: A *Rahnella* fajok fakultatívan anaerob baktériumok, amelyek széles körben elterjedtek különféle környezetben, beleértve a talajt, a vizet, az élelmiszereket. Alkalmazhatók növénybetegségek megelőzésére és leküzdésére, vagy a növények növekedésének elősegítésére jótékony tulajdonságaik miatt (Xu et al., 2022).

Összességében elmondható, hogy a háttér mintából egy növénypatogén mikroorganizmus volt kimutatható, míg a szennyvíz mintából három olyan mikroorganizmust azonosítottunk,

melyek a szakirodalom alapján humán- és állategészségügyi jelentőséggel is bírhatnak. Ezek a mikroszervezetek ugyanakkor nem jelentek meg a tározó mintáiban, azokból csak felszíni vízben általánosan elterjedt mikroszervezetek voltak kimutathatók.

4.6. Ökotoxikológiai vizsgálatok eredményei

Eredményeink alapján az *Aliivibrio fischeri* 30 perces akut biolumineszcencia gátlási tesztel (ISO 11348-3) vizsgált vízminták közül csupán a V-SZV (tisztított szennyvíz) bizonyult toxikusnak a tesztszervezet számára: a minta esetében a legmagasabb vizsgált koncentrációban 15%-os fénykibocsátás gátlást tudunk detektálni (lásd 12. ábra).



12. ábra A V-SZV (tisztított szennyvíz) minta biolumineszcencia gátlásának %-ban kifejezett értéke 30 perces kontaktidő után, *A. fischeri* tesztszervezeten

A mérési eredményekből ki tudtuk számolni az EC₂₀ (20%-os effektív koncentráció) értéket, mely alapján megállapítottuk, hogy a V-SZV minta 68,86% koncentráció volt képes 20% fénykibocsátás-csökkenés kiváltására. A V-H (háttér), V-B és V-J (víztároló) minták esetében fénykibocsátás-növekedést figyelhettünk meg, azaz a kontroll mintához képest magasabb lett a tesztszervezet biolumineszcenciája. Ezek a minták tehát nem voltak toxikusak. A V-H és V-J esetében a legnagyobb fénykibocsátás indukció egyaránt 15%-os volt, a V-B esetén pedig 33%-os értéket mértünk.

Az eredményei alapján megállapítható, hogy a tisztított szennyvíz kismértékben toxikus, azaz negatív hatást gyakorolhat a felszíni vizek mikrobiális ökoszisztémájának érzékeny tagjaira, míg a háttér minta és az Álomhegyi tározó vízmintái nem bizonyultak toxikusnak. Ez alapján a hígulás és a felszíni vizekre jellemző természetes öntisztulás a mintavétel

időpontjában elegendő volt ahhoz, hogy a tisztított szennyvíz negatív hatásait mérsékelje és veszélytelen szintre szorítsa annak kismértékű toxikus hatását.

4.7. Kémiai analitikai vizsgálatok eredményei

A 2022. szeptemberében végrehajtott, a tisztított szennyvíz és a tórendszer utolsó tagjaként szereplő Malom-tavi tóstrand kémiai analitikai vizsgálatának eredményeit foglalja össze a 4. és 5. táblázat.

4. táblázat: A veresegyházi tórendszerben kimutatott peszticidek koncentrációja

Mintaazonosító	Legmagasabb koncentrációban kimutatott peszticid neve	Koncentráció a vízben (µg/L)	Összegzett peszticid koncentráció (µg/L)
V-SZV Tisztított szennyvíz	AMPA	1,8	2,1
	imidacloprid	0,19	
	egyéb	0,11	
V-ST Malom-tó/tóstrand	AMPA	1,8	1,9
	imidacloprid	0,06	
	egyéb	0,04	

Az analitikai vizsgálatokból tudható, hogy a tisztított szennyvíz összes peszticid koncentrációja 2,1 µg/L, amely az utolsó, strandként is használt tóban 1,9 µg/L-re hígul. Ebből látható, hogy a növényvédőszer maradvány koncentráció a tisztított szennyvízben és a tavakban egyaránt magas. A 10/2010. (VIII.18.) VM rendelet a felszíni vizek vízszennyezettségi határértékeiről ugyanakkor nem ír elő összegzett peszticidre határértéket és egyik általunk kimutatott komponensre sem tartalmaz előírást. Ennek ellenére a mért koncentráció figyelmet érdemel, hiszen a felszín alatti vizekre vonatkozó 6/2009. (IV.14) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben, illetve az ivóvízre vonatkozó 5/2023. (I.12.) Kormányrendelet szerint ugyanis az összes peszticidre vonatkozó határérték jóval szigorúbb, 0,50 µg/L. A felszíni vizekben mérhető peszticid értékek pedig közvetett módon hatással lehetnek a felszín alatti víztestek és az ivóvízbázisok peszticid terhelésére is.

A tóstrandon mért koncentráció jelezheti, hogy esetleg egyéb antropogén források (szennyvíz szikkasztása, vagy illegális szennyvízbevezetés) is hozzájárulhatnak a tavak terheléséhez, nem csupán a szennyvíztisztító. Ez azért is feltételezhető, mert közvetlenül a tavak környékén nincs jelentős bejegyzett mezőgazdasági tevékenység, mely a növényvédő szerek forrása lehetne.

A táblázatban látható továbbá, hogy mindkét mintavételi pontban az AMPA vegyület – amely a glifozát bomlásterméke – koncentrációja változatlan. A glifozát a legnépszerűbb és a

legtöbbet alkalmazott gyomirtó a világon. Kimutatható a talajokban, vizekben és még a vizeletben is. Ez azért káros a környezetre és a vízi ökoszisztémára, mert lassan bomlik és mérgező lehet egyes baktérium-, illetve gombafajokra, a méhekre és ártalmas lehet az emberi egészségre is (http 16). Egyes glifozát tartalmú növényvédőszerokről továbbá igazolták, hogy szerepet játszanak az antibiotikum rezisztencia kialakulásában, így a karbapenemek közé tartozó imipenem hatóanyag hatásosságának elvesztésében (Háhn et al., 2022).

A második leggyakoribb peszticid az imidacloprid, amely az idegrendszerben lévő nikotinreceptorhoz kötődik és így fejt ki hatását rovarokban. Azaz rovarölőként felhasznált vegyület. Ebből adódóan károsan hat a méhekre és más hasznos beporzókra, de igazolták toxicitását madarakra és halakra nézve is (Bani et al., 2022).

A gyógyszermaradványok kimutatásának eredményeit foglalja össze az 5. számú táblázat.

5. táblázat: A veresegyházi tórendszerben kimutatott gyógyszermaradványok koncentrációja

Mintaazonosító	Legmagasabb koncentrációban kimutatott gyógyszermaradvány neve	Koncentráció a vízben (µg/L)	Összegzett gyógyszer-koncentráció (µg/L)
V-SZV Tisztított szennyvíz	<i>azitromicin</i>	0,37	8,484
	<i>ofloxacin</i>	0,20	
	<i>szulfapiridin</i>	0,35	
	karbamazepin	0,90	
	metoprolol	0,17	
	diklofenák	2,1	
	jopromid	1	
	hidroklórtiazid	2	
	egyéb	1,39	
V-ST Malom-tó/tóstrand	<i>szulfapiridin</i>	0,10	1,564
	karbamazepin	0,53	
	diklofenák	0,084	
	jopromid	0,40	
	koffein	0,10	
	egyéb	0,35	

dőlt betű – antibiotikum; narancssárga szín: mindkét mintából kimutatható gyógyszermaradványok

A gyógyszermaradványok tekintetében elmondható, hogy a tisztított szennyvízben magas, 8,484 µg/L koncentrációt mértünk. A PhAC vegyületekre nincs törvényi határérték szabályozás, ugyanakkor a lakossági gyógyszerhasználatról, a szennyvíztisztítás határfokáról képet adhat. A táblázatból jól kivehető, hogy a legmagasabb koncentrációban az

antibiotikumok, a nem szteroid gyulladáscsökkentő (NSAID: Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drug) típusú gyógyszermaradványok és a kórházi kontrasztanyag (jopromid) fordul elő egyebek mellett. Látható az is, hogy az összkoncentráció a Malom-tóig hígul, sajnos azonban négy vizsgált hatóanyag (narancssárga színnel kiemelve az 5. táblázatban) tartósan jelen van a felszíni vizeinkben.

A fenti táblázatból elmondható, hogy a legnagyobb koncentrációban kimutatható NSAID gyógyszerhatóanyag, a diklofenák, és a leggyakoribb kontrasztanyag, a jopromid hosszú ideig a vízben marad. Ez sajnos azért káros mert, a diklofenák bizonyítottan károsítja a gerincteleneket. Olyan károsító hatásai vannak rájuk, mint például az embriófejlődési rendellenesség, vagy a stressztűrő képesség csökkenése (Berezina et al., 2021; Acuña et al., 2015). A jopromid pedig egy jódot tartalmazó röntgenkontrasztanyag, amely a szervezetből változatlan formában ürül ki, így jutva a szennyvízbe (Fehér et al., 2020). Gyakori környezeti kimutathatósága mellett kockázata alacsony, mivel alacsony akut és krónikus toxicitással rendelkező anyagként ismert. Ezért egyelőre korlátozott bizonyítékokkal rendelkezünk arról, hogy káros lenne a felszíni vízi ökoszisztémára (Steger-Hartmann et al., 2002).

A szulfapiridin, azitromicin, ofloxacin antibakteriális hatóanyagok, amelyek azért károsak a vízi környezetre, mert összekeveredve, egyéb antibiotikumokkal együttesen vannak jelen és mint olyanok, baktériumölő-, gátló hatással rendelkeznek. Így a hasznos mikrobaközösségben is károkat okoznak, illetve egyes baktérium törzseknél a rezisztens gén fejlődését segíthetik (Rodríguez-Mozaz et al., 2020).

A karbamazepin egy antiepileptikus gyógyszer, melynek a biológiai lebonthatósága alacsony. A vízi élővilágra kifejtett hatásvizsgálatokból tudjuk, hogy többek között algagátló hatása van, halak esetében pedig az enzimaktivitást befolyásolja (Mohapatra et al., 2014).

A kémiai analitikai eredmények alapján összességében elmondható, hogy a klór tartalom jelen van a tórendszer egészében és a szulfát tartalom is emelkedett, a többi vizsgált paraméter elfogadható tartományban volt, a foszfor és nitrogén formák pedig alacsony koncentrációban voltak jelen. Ez az eredmény azonban csak a tó adott időszakos állapotát jelenti. A szulfát tartalom származhat a lakosság peszticid felhasználásából, mivel mezőgazdasági felhasználású terület alig van a közelben. Illetve a magas gyógyszermaradvány szint eredhet abból, hogy Veresegyház egy túlnépesedő település, melyet a környező településekkel együtt a helyi szennyvíztisztító már nem képes kellően ártalmatlanítani, vagyis a szennyvíztisztítás határfoka elégtelen.

4.8. A biológiai, ökotoxikológiai és kémiai kockázatok értékelése

A vizsgálatok eredményei rávilágítanak az antropogén nyomás növekedésének időbeli és közvetett hatásaira. Az eredményekből látható, hogy a vizsgált felszíni víztestet számos helyről érheti terhelés, mely egyes esetekben (például a szennyvíztisztító érő havária során) károsan befolyásolhatja élővilágát. A mikrobiológiai kockázatok vizsgálataim alapján az adott időszakban nem bizonyultak jelentősnek, ugyanakkor a tisztított szennyvíz ökotoxikus jellege és a kémiai analitikai vizsgálatokkal igazolt növényvédő szer és gyógyszermaradványok jelzik, hogy a szennyvíztisztító akár környezetre ártalmas anyagok forrása is lehet.

A negatív hatások elszenvedői a tápláléklánc összes résztvevője, kezdve a trofikus lánc alján álló, szemmel nem látható mikrobaközösséggel. Sajnos a magasabb rendű életformákra is hatással vannak, különösen a peszticid és gyógyszermaradványok, melyek akár egyes érzékeny fajok viselkedésének, vagy morfológiájának megváltozásához, legrosszabb esetben populációjuk drasztikus csökkenéséhez is vezethetnek. Mivel a trofikus lánc szinte minden tagja érintett, mert létünk alapja a víz, így mi emberek sem vagyunk kivételek, hiszen a változatos vízhasználatok következtében mi magunk is ki vagyunk téve a diffúz környezetterhelés hatásainak.

5. Következtetések és javaslatok

A vizsgálatok alapján a gyors ütemben növekedő települések környezetében lévő víztestek antropogén terhelése folyamatos emelkedést mutat, amelyet a környezetük egyre nehezebben képes tolerálni. A vizsgálatok alátámasztották, hogy még a fejlettebb technológiájúnak számító membrán szűrés sem elég önmagában egyes összetett vegyületek kiszűrésére. A tisztított szennyvíz közvetlen környezetében fellépő kismértékű toxicitást képes a vízi ökoszisztéma kezelni. Aggodalomra adhat okot azonban a szennyvízzel nem, vagy csak kismértékben szennyezett vizekben a rezisztenciát kiváltó antibiotikumok és az antibiotikum rezisztens mikroszervezetek megjelenése, továbbá az olyan, víz útján is terjedni képes invazív fajok, mint például a *Curtobacterium flaccumfaciens*, az *Aeromonas media*, *Acinetobacter bohemicus*, vagy a *Flavobacterium resistens*.

Hipotéziseim közül bizonyítást nyert, hogy a tisztított szennyvíz kismértékben ugyan, de továbbít olyan mikroszervezeteket, melyek negatívan befolyásolják a tórendszer vízminőségét és ökoszisztémáját, továbbá olyan vegyületeket, melyek hosszabb távon az ökoszisztéma egyensúlyát és az emberi egészséget is károsan befolyásolhatják.

Az első meglátásom, hogy a téma további kutatómunkát igényel, mivel az elvégzett vizsgálatok csupán a tórendszer egy adott időszakának állapotát mutatja be. Érdemes lenne egy teljes éven keresztül, évszakonként mintavételeket és vizsgálatokat végezni a szezonális hatások megállapítása érdekében, különös tekintettel a strandszezonra, illetve részletes mikrobiológiai vizsgálatokat végrehajtani, mellyel megismerhetők a mikrobaközösség nem tenyészthető tagjai is.

A települési szennyvíztisztító és befogadók folyamatos monitorozása jelentősen javítana a környezeti-, természeti-, és egészségügyi biztonságon. A szoros, partneri együttműködés a települési önkormányzat és a helyi civil szervezetekkel szintén kiemelt jelentőségű, hogy együtt kidolgozhassanak egy átfogó, fenntartható vízgazdálkodási tervet.

Szükséges megemlíteni, hogy a munkám során azonosított szennyezőanyagoknak nem a szennyvíztisztító, hanem a lakosság a forrása. A szennyvíztisztító az alkalmazott technológiától függően jelentős arányban, de nem tökéletesen képes eltávolítani a háztartásokból származó fizikai, kémiai és biológiai szennyező anyagokat és még ha minden előírást maradéktalanul be is tart, nem tud 100% eltávolítási hatásfokot elérni. Emiatt országos szinten tanácsos lenne a lakosság túlzott gyógyszerfogyasztását oktatással, szemléletformálással csökkenteni, illetve a keletkező gyógyszerhulladék helyes kezelésének és ártalmatlanításának módjáról tájékoztatást adni. Ez a szemléletformálás a peszticid felhasználás tekintetében is elmondható. Kormányzati

szinten jogszabályi felülvizsgálat is hasznos lenne, mely alapján szigorodhatna a szabadforgalmú növényvédő szerek (mint például a glifozát) beszerzésének és használatának módja, valamint bővített határértékrendszer kerülhetne kidolgozásra.

Eredményeim hozzájárulhatnak ismereteink bővítéséhez a vizes élőhelyeket fenyegető kémiai és biológiai kockázatokról. A szennyvíz eredetű baktériumfajok esetében a jövőben javaslom, hogy patogenitásuk (betegségkiváltó képességük) részletesen vizsgálatra kerüljön vízi szervezeteken, így például halembrión. Ez alapján képet kaphatnánk a szennyvízből származó mikroszervezetek vízi életközösségre gyakorolt hatásairól.

A munkám során azonosított vegyületekkel célzott vizsgálatokat lehet a jövőben végezni annak megállapítására, hogy toxikusak-e egyes vízi szervezetekre nézve. Javaslatom, hogy AMPA és az imidacloprid, valamint a négy általam azonosított leggyakoribb gyógyszermaradvány és ezek keverékei esetében készüljön a jövőben átfogó vízi ökotoxikológiai vizsgálat több trofikus szinten (például alga, vízibolha és hal tesztorganizmen). Ennek eredményei alapján pontosabb képet kaphatnánk az előforduló vegyületek és azok keverékeinek ökotoxicitásáról.

Összefoglalás

Napjainkra a legnagyobb értékűvé vált a világon mindenütt a tiszta, iható víz. A felszíni és a felszín alatti vizekbe gyakran nagy mennyiségben kerülnek az ökoszisztémákra ártalmas anyagok vagy azok származékai melyek egyik lehetséges forrása a szennyvíz. Ezért szakdolgozatomban egy olyan témát szerettem volna bemutatni, mely széles körűen elterjedt probléma. Választásom azért esett Veresegyházra, mert egy régi település, amely nagyon gyors népességnövekedésen esik keresztül, így jól példázza az urbanizációs problémákat: természetes élőhely csökkenés és élővilág megóvásának ellentétei a városfejlesztéssel, szennyvízkezeléssel, azon belül is a szennyvízkezelés lassú és nehézkes fejlesztésével.

Szakdolgozatomban tehát célul tűztem ki, hogy körbejárjam a témát és a veresegyházi szennyvíztisztító befogadóinak a kémiai paraméterek mellett a mikrobiológiai összetételét is megpróbálom felmérni, hogy pontosabb képet kaphassunk a tórendszer állapotáról, illetve a tisztított szennyvíz esetleges ökológiai hatásairól, ökotoxicitásáról. Továbbá a céлом volt még a tórendszert körül vevő víz- és víz közeli élőhelyek állapotának felmérése és értékelése környezetbiztonsági és természetvédelmi szempontból.

A vízvizsgálati szabványokban foglaltak szerinti kétszeri mintavételezés történt, két időpontban. Az első mintavétel 2022. márciusában 4 mintavételihelyről, illetve 2022. szeptemberében 2 mintavételihelyről vett mintákkal. A vizsgálatok több irányba lettek feldolgozva: az első mintavételkor vett mintákon meghatároztam az összcsíraszámot, antibiotikum rezisztens baktériumokat kimutató tenyésztést készítettem, kiemelt figyelmet fordítva a *Pseudomonas aeruginosa* szelektív kimutatására és ökotoxikológiai vizsgálatot is végrehajtottam, az ezekre vonatkozó szabványi utasításokat követve. A második, szeptemberi mintavételkor kémiai analitikai vizsgálatok készültek, kiemelt figyelemmel a peszticid és gyógyszermaradványok kimutatására.

A vizsgálatok alapján a gyors ütemben növekedő települések környezetében lévő víztestek antropogén terhelése folyamatos emelkedést mutat, amelyet a környezetük egyre nehezebben képes tolerálni. A vizsgálatok alátámasztották, hogy még a fejlettebb technológiájúnak számító membrán szűrés sem elég önmagában egyes összetett vegyületek kiszűrésére. A tisztított szennyvíz közvetlen környezetében fellépő kismértékű toxicitást képes a vízi ökoszisztéma kezelni. Hipotéziseim közül bizonyítást nyert, hogy a tisztított szennyvíz kismértékben ugyan, de továbbít olyan mikroszervezeteket, melyek negatívan befolyásolják a tórendszer

vízminőségét és ökoszisztémáját, továbbá olyan vegyületeket, melyek hosszabb távon az ökoszisztéma egyensúlyát és az emberi egészséget is károsan befolyásolhatják.

Az első meglátásom, hogy a téma további kutatómunkát igényel, mivel az elvégzett vizsgálatok csupán a tőrendszer egy adott időszakának állapotát mutatja be. Szükséges megemlíteni, hogy a munkám során azonosított szennyezőanyagoknak nem a szennyvíztisztító, hanem a lakosság a forrása. A szennyvíztisztító az alkalmazott technológiától függően jelentős arányban, de nem tökéletesen képes eltávolítani a háztartásokból származó fizikai, kémiai és biológiai szennyező anyagokat és még ha minden előírást maradéktalanul be is tart, nem tud 100% eltávolítási hatásfokot elérni.

A települési szennyvíztisztító és befogadók folyamatos monitorozása jelentősen javítana a környezeti-, természeti-, és egészségügyi biztonságon. A szoros, partneri együttműködés a települési önkormányzat és a helyi civil szervezetekkel szintén kiemelt jelentőségű, hogy együtt kidolgozhassanak egy átfogó, fenntartható vízgazdálkodási tervet.

Köszönetnyilvánítás

Hálásan köszönöm a segítséget dolgozatom elkészítésében minden kedves tanáromnak, barátomnak és családtagomnak, legfőképpen: Dr. Kaszab Edit tanárnőmnek, Dr. Háhn Judit tanárnőnek, Göbölös Balázsnak, Benséné Fekete Ildikónak és a tanszék többi kollégájának. Szintén köszönetemet fejezem ki a Tavirózsa Egyesület felé a szakmai információk megosztásáért. Köszönöm a támogatást családomnak és kollégáimnak.

A szakdolgozat elkészítését támogatta az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Piacvezérelt Kutatás-fejlesztési és Innovációs Projektek támogatása pályázati program finanszírozásában megvalósult 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2021-00239 számú projekt és a Tématerületi Kiválósági Program Nemzeti Kihívások Alprogram (TKP2020-NKA-16).

Dr. Kaszab Edit témavezetői munkáját a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja (BO/00236/20/4) támogatta.

Irodalomjegyzék

Acuña, V., Ginebreda, A., Mor, J.R., Petrovic, M., Sabater, S., Sumpter, J., Barceló, D. (2015): Balancing the health benefits and environmental risks of pharmaceuticals: Diclofenac as an example. *Environment International*, 85: 327-333.

Bani A., Randall, K. C., Clark, D. R., Gregson, B. H., Henderson, D. K., Losty, E. C., Ferguson, R. M. W. (2022): Mind the gaps: What do we know about how multiple chemical stressors impact freshwater aquatic microbiomes? In: *Advances in Ecological Research*, 67: 331-377.

Barótfi I. (2003): Környezettechnika; Mezőgazda Lap és Könyvkiadó Kft., Budapest, 982 p.

Benedek P. szerk. (1990): Biotechnológia a környezetvédelemben. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 282 p.

Berezina, N. A., Sharov, A. N., Chernova, E. N., Malysheva, O. A. (2021): Effects of Diclofenac on the Reproductive Health, Respiratory Rate, Cardiac Activity, and Heat Tolerance of Aquatic Animals. *Environmental Toxicology*, 41(3): 677-686.

Borbély E. (2020): Invazív halfajok a magyarországi természetes élővizekben és hatásuk a biodiverzitásra. BA/Bsc diplomadolgozat, Szegedi Tudományegyetem.

Bougnom, B. P., Piddock, L. J. V. (2017): Wastewater for Urban Agriculture: A Significant Factor in Dissemination of Antibiotic Resistance. *Environmental Science and Technology*, 51(11): 5863-5864.

Couto, C. F., Lange, L. C., Amaral, M. C. S. (2019): Occurrence, fate and removal of pharmaceutically active compounds (PhACs) in water and wastewater treatment plants—A review. *Journal of Water Process Engineering*, 32: 100927.

Csigi G. (2017): A veresegyházi partifecsketelep. *TermészetBúvár*, 72(5): 48-49.

Fehér, P. P., Stirling A., Fábrián I. (2020): Friss eredmények a klórozásos ivóvízkezelés kémiaiájában. *Vízmű Panoráma*, 28(5): 9-12.

Förstner, U. (1993): Környezetvédelmi technika. Springer Hungarica Kiadó Kft., Budapest, 462 p.

Háhn J, Kriszt B, Tóth G, Jiang D, Fekete M, Szabó I, Göbölös B, Urbányi B, Szoboszlai S, Kaszab E. (2022): Glyphosate and glyphosate-based herbicides (GBHs) induce phenotypic imipenem resistance in *Pseudomonas aeruginosa*. *Scientific Reports*,12(1): 18258.

Horváth L. (1977): Veresegyház. Helytörténet és községrajz. Veresegyház, 251 p.

Inzana, T. J. (1990): Miscellaneous Glucose-Nonfermenting Gram-Negative Bacteria. In: Carter, G. R., Cole, J. R. Jr. (szerk.): *Diagnostic Procedure in Veterinary Bacteriology and Mycology*. 5. kiadás, Academic Press, 620 p.

Juhász É., Lelkesné Erős M. (1979): Felületaktív anyagok zsebkönyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 398 p.

Jurecska L. (2013): Modern szennyvíztisztítási technológiák Szent László Gimnázium, Természettudományos Önképzőkör, előadás. Budapest, 2013. április 15.

Jung J., Park, W. (2015): *Acinetobacter* species as model microorganisms in environmental microbiology: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 99: 2533-2548.

Kazufumi M., I., Hirai, I., Sano K. (2016): Distribution of *Aeromonas* species in environmental water used in daily life in Okinawa Prefecture, Japan. Environmental Health and Preventive Medicine, 21(5): 287-294.

Karches T. szerk. (2020): Kis kapacitású szennyvíztisztító létesítmények. Ludovika Egyetemi Kiadó, Budapest, 266 p.

Kárpáti Á. (2003): A szennyvíztisztítás minőségbiztosítása, környezetvédelmi önértékelése. MASZESZ Hírcsatorna, (március-április) 3-7.

Kertész Sz. (2011): Szennyvizek és folyékony halmazállapotú melléktermékek környezetterhelésének csökkentése membránszeparációs eljárásokkal. Doktori (Ph.D.) értekezés, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 128 p.

Khoo, Y. S., Goh, P. S., Lau, W J., Ismail, A. F., Abdullah, M. S., Ghazali, N. H M., et al. (2022): Removal of emerging organic micropollutants via modified-reverse osmosis/nanofiltration membranes: A review, Chemosphere, 305,135151.

Koh, Y. R., Shine, M.D. Kim, Y., Chang, C. L., Shin, H.-J., Kim, K.-H., Yi, J (2013): The First Korean Case of *Sphingobacterium spiritivorum* Bacteremia in a Patient with Acute Myeloid Leukemia Annals of Laboratory Medicine, 33(4): 283–287.

Kovács H., Szemmelveisz T. (2012): Bányászati területek nagy nehézfém tartalmú talajának hatása a növényvilágra és a növények telepítésével elérhető kármentesítési lehetőség vizsgálata. hulladékOnline elektronikus folyóirat, 3(2): 10 p.

Lakatos Gy. et al 2016: Hazai szennyvíztisztítási fejlesztések a fenntartható vízgazdálkodás érdekében. A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XXXIV. Országos Vándorgyűlés, Debrecenben, 2016. július 6-8., 11 p.

Lendér H. B. (2016): A klímaváltozás várható hatásai a vízgazdálkodás területén. A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XXXIV. Országos Vándorgyűlés, Debrecenben, 2016. július 6-8. 20 p.

Marjainé Sz. Zs. és Kocsis T. (2012): Vízlábnym: a fenntarthatóság egy új mérőszáma? In: Fenntartható fejlődés, élhető régió, élhető települési táj 1. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, pp. 63-75.

Máté A., Molnár Zs., Mesterházy A., Dévai Gy. (2014): A vizes élőhelyek természetvédelmi szempontú kezelése. In: Haraszthy L. (szerk.): Természetvédelmi kezelés. <https://termeszetvedelmikezeles.hu/a%20vizes%20elohelyek%20termeszetvedelmi%20szempontu%20kezelese> (Letöltés dátuma: 2022. október 23)

Mohapatra, D. P., Brar, S. K., Tyagi, R. D., Picard, P., Surampalli, R. Y. (2014): Analysis and advanced oxidation treatment of a persistent pharmaceutical compound in wastewater and wastewater sludge-carbamazepine *Science of The Total Environment*, 470–471: 58-75.

NRC (National Research Council) (2005): Mineral Tolerance of Animals. 2nd edition, National Academic Press, Washington

Oláh J., Princz D., Princz P., Rása G. (2021): Gyógyszergyári szennyvizek tisztítása és a tisztított szennyvízzel távozó gyógyszer maradékok eltávolítása. *Vízmű panoráma*, 2021/1: 8-17.

E. Osdaghi, A. J. Young, R. M. Harveson: Bacterial wilt of dry beans caused by *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*: A new threat from an old enemy 2020

Prasad, M. N. V., Grobelak. A. (szerk.) (2020): Waterborne Pathogens Detection and Treatment. Butterworth-Heinemann, 528 p.

Radó J. (2019): Ubikviter baktériumok környezetbiztonsági vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 142 p.

Rodríguez-Mozaz, S., Moreira, I.V., Giustina, S. V. D., Llorca, M., Barceló, D., Schubert, S., Berendonk, T. U., Kordatou, I. M., Kassinou, D.F., Martinez, J. L., Elpers, C., Henriques, I., Jaegerk, T. et al. (2020): Antibiotic residues in final effluents of European wastewater treatment plants and their impact on the aquatic environment. *Environment International*, 140: 105733.

Simon B., Gyéresi Á. (2007): Gyógyszerek, mint környezeti szennyezők. *Orvostudományi Értesítő*, 80 (2): 152-155

Staszny A., Dobosy P., Maasz G., Szalai Z., Jakab G., Pirger Z., Szeberenyi J., Molnar E., Pap L. O., Juhász V., Weiperth A., Urbanyi B., Kondor A. C., Ferincz A. (2021): Effects of pharmaceutically active compounds (PhACs) on fish body and scale shape in natural waters. *PeerJ*. 9: e10642.

Steger-Hartmann, T., Länge, R., Schweinfurth, H., Tschampel, M., Rehmann, I. (2002): Investigations into the environmental fate and effects of iopromide (ultravist), a widely used iodinated X-ray contrast medium. *Water Research*, 36(1): 266-274.

Szlepák E. (2010): Kis vízfolyások komplex monitoringrendszerének kidolgozása a Galga patak példáján. Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 176 p.

Tardy J. szerk. (2007): A magyarországi vadvizek világa. Alexandra kiadó, Pécs, 416 p.

Tatár S., Krenedits S. (2011): Természeti kincseink védelme Veresegyház térségében. Tavirózsa Egyesület, Veresegyház, 120 p.

Tóth, G., Háhn, J., Szoboszlai, S. Harkai P., Farkas M., Radó J., Göbölös B., Kaszab E., Szabó I, Urbányi B., Kriszt B. (2022): Spatiotemporal analysis of multi-pesticide residues in the largest Central European shallow lake, Lake Balaton, and its sub-catchment area. *Environmental Sciences Europe*, 34: 50.

Valló S., Benedek P. (1982): Vízisztítás – szennyvíztisztítás zsebkönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 697 p.

Veresegyház Fenntartható Fejlődésének Programja (2013-2015). Vis Naturalis Bt., 2013., 67 p. https://www.veresegyhaz.hu/_upload/editor/Onkormanyzat/korny_ved/veres_kornyved_prog.pdf

Weinpel T. (2020): A szűkös szénforrás okozta szennyvíztisztítási problémák áthidalása a beoldódó oxigén kizárásával és a N- és P hiányos élelmiszeripari szennyvizek felhasználásával. Doktori értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 165 p.

Wang, J., Wang, C., Li, J., Bai, P., Li, Q., Shen, M., Li, R., Li T., Zhao J. (2018): Comparative Genomics of Degradative *Novosphingobium* Strains With Special Reference to Microcystin-Degrading *Novosphingobium* sp. THN1. *Frontiers in Microbiology*, 9: 2238.

Xu, S., Zhao, Y., Peng, Y. Shi, Y., Xie, X., Chai, A., Li, B., Li L. (2022): Comparative Genomics Assisted Functional Characterization of *Rahnella aceris* ZF458 as a Novel Plant Growth Promoting Rhizobacterium. *Frontiers in Microbiology*, 13: 850084.

Yoon, S. H., Ha, S. M., Kwon, S., Lim, J., Kim, Y., Seo, H., Chun, J. (2017). Introducing EzBioCloud: A taxonomically united database of 16S rRNA and whole genome assemblies. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 67: 1613-1617.

Zengerer, V., Schmid, M., Bieril, M., Müller, D. C., Remus-Emsermann, M. N. P., Ahrens, C. H., Pelludat C. (2018): *Pseudomonas orientalis* F9: A Potent Antagonist against Phytopathogens with Phytotoxic Effect in the Apple Flower. *Frontiers in Microbiology*, 9: 145.

Zseni A. és Bulla M. (2002): Vízminőségvédelem. Egyetemi jegyzet, Győr, 168 p.

Internetes hivatkozások:

http 1: www.ramsar.hu/egyezmeny.htm (Letöltés dátuma: 2022. október 23)

http 2: <https://termeszetvedelem.hu/ramsari-egyezmeny> (Letöltés dátuma: október 23)

http 3: <https://namepa.net/pods/coastal-habitats/wetlands> (Letöltés dátuma: 2023. március 15)

http 4: <https://novekedes.hu/interju/a-klimavedelemben-is-segitenek-a-vizes-elohelyek-mutatjuk-hogyan>. (Letöltés dátuma: 2022. november 1)

http 5: <https://www.szon.hu/helyi-kozelet/2021/03/artalmas-a-vizminosegre-a-sporthorgaszat> (Letöltés dátuma: 2022. november 1)

http 6: <https://miviz.hu/rolunk/szennyviz-es-csatornaszolgalatas/szennyviztisztito-telep-bemutatasa/szennyviz-keletkezesere> (Letöltés dátuma: 2023. március 15)

http 7: https://www.innoteka.hu/cikk/uj_iranyok_a_hazai_szennyviztisztitasban.2322.html (Letöltés dátuma: 2023.január)

http 8: Oláh J., Öllős G.: Az összegző paraméterek szerepe a szennyvizek minőségi jellemzésében. 23 p. http://statex.hu/cikkek/Osszegzo_parmeterek.pdf (Letöltés dátuma: 2023.04.27.)

http 9: NéBIH 2021- évi szerforgalmi jelentés

https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/367102/2021_Szerforgalom.pdf/af208939-d326-f31d-2d38-b8fdde5baa45?t=1673443653888

http 10: Belügyminisztérium Nyilvántartások Vezetéséért Felelős Helyettes Államtitkárság https://nyilvantarto.hu/letoltes/statisztikak/kozerdeku_lakossag_2023.xlsx (Letöltés dátuma: 2023.04.27.)

http 11: <http://setarepulesek.hu/index.php/setarepules-arak/setarepules-arak-veresegyhaz> (Letöltés dátuma: 2023.03.12.)

- http 12:** <https://www.nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-laboratoriumi-foosztaly/terkepes-informaciok/furdovizminosegi-terkep> (Letöltés dátuma: 2023. 04. 27.)
- http 13:** <https://lengyel-attila.blogspot.com/2019/11/veresegyhaz-madarfaunaja.html> (Letöltés dátuma: 2023. 04. 27.)
- http 14:** <https://data2.openstreetmap.hu/hatarok/hatarok.php?hatar=Veresegyh%C3%A1z> (Letöltés dátuma: 2023. 04. 27.)
- http 15:** <https://www.nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-laboratoriumi-foosztaly/kornyezetegeszsegugyi-laboratoriumi-osztaly/vizhigienes-laboratorium/ivoviz/ivovizben-vizsgalt-parametek/1021-pseudomonas-aeruginosa> (Letöltés dátuma: 2023. 04. 27.)
- http 16:** <https://greendex.hu/kedvenc-mergunk-a-glifozat> (Letöltés dátuma: 2023. 03. 12.)

Jogsabályi hivatkozások:

28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet „a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól”

1868/2020. (XII. 2.) Kormány határozat „A 2000 lakosnál kisebb településeken a szennyvíz-tisztítási beruházások megvalósításának vizsgálatáról.”

1107/2009/EK „a növényvédő szerek forgalomba hozataláról, valamint a 79/117/EGK és a 91/414/EGK tanácsi irányelvek hatályon kívül helyezéséről”

89/2004 (V. 25.) FVM rendelet „a növényvédő szerek forgalomba hozatalának és felhasználásának engedélyezéséről, valamint a növényvédő szerek csomagolásáról, jelöléséről, tárolásáról és szállításáról”

A természet védelméről szóló 1996. évi LIII. törvény

10/2010. (VIII.18.) VM rendelet „a felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól”

86/2009 (IV.14) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet „a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről”

Mellékletek

1. számú melléklet: A mintavételek során a helyszínen rögzített mérési eredmények

Mintavétel időpontja	2022.03.23	2022.03.23	2022.03.23	2022.03.23	2023.09.15	2023.09.15
Minta jele	V-H	V-SZV	V-B	V-J	V-SZV	V-ST
Páratartalom	26	26	26	26	82	77
Szél	10	10	10	10	13	13
Léghőmérséklet	16	16	16	16	21	21
Légnyomás	1033	1033	1033	1033	1006	1006
Látótávolság	16	16	16	16	11	11
Időjárás	napos	napos	napos	napos	felhős	napos
UV-index	2	2	2	2	1	2
Megelőző csapadék	nincs	nincs	nincs	nincs	nincs	nincs
Víz hőmérséklet (°C)	6,28	13,81	11,3	13,0	24,3	20,4
Víz pH	7,78	7,88	8,3	8,18	7,63	7,72
Vezetőképesség (/)	541	913	516	871	1175	814
Redoxpotenciál (mV)	186,1	178,2	176,5	128,9	217,4	201
Cl	0-0,8	0-0,8	0-0,8	0-0,8	n.a.	n.a.
Nitrit	0	25	0	10	n.a.	n.a.
Nitrát	0	2	0	0	n.a.	n.a.

n.a. – nincs adat

Nyilatkozat

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Szilvási Eszter (hallgató Neptun azonosítója: KHFZIK) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: Gödöllő, 2023. év május hó 3. nap



Belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Szilvási Eszter
A Hallgató Neptun kódja: KHfZIK
A dolgozat címe: A veresgyházi tórendszert érő szennyvízterhelés környezetbiztonsági vizsgálata
A megjelenés éve: 2023
A konzulens tanszék neve: MATE – Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Környezetbiztonsági Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitóri rendszerébe.

Kelt: Gödöllő 2023 év május hó 3. nap

Szilvási Eszter
Hallgató aláírása