

DIPLOMADOLGOZAT

PÓCSIK ZSUZSANNA KRISZTINA

**Gödöllő
2024**



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Környezettudományi Intézet
Környezetmérnök mesterképzési szak

**PEREMVÁROSI HORGÁSZTÓ ÜLEDÉKÉNEK ÉS
HALAINAK POTENCIÁLISAN TOXIKUS
ELEMTARTALMÁNAK VIZSGÁLATA**

Belső konzulens: Dr. habil. Horváth Márk Kálmán
tanszékvezető, egyetemi docens

Intézet/Tanszék: **Környezettudományi Intézet**
Környezetanalitikai és
Környezettechnológiai Tanszék

Készítette: Pócsik Zsuzsanna Krisztina

Gödöllő
2024

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK	3
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	5
2.1. A Peremvárosi Horgásztó és Pihenőpark jellemzői, története	5
2.2. Vizsgált terület elhelyezkedése	7
2.3. A tavat és annak környezetét érő behatások.....	8
2.4. Szennyezőforrások csoportosítása.....	10
2.5. Mintavétel	10
2.6. Vizsgált halrészek szerepének lényege, vizsgálati okuk.....	13
2.6.1. Izomzat és zsír	14
2.6.2. Ikra	14
2.6.3. Máj	15
2.6.4. Kopoltyú	15
2.7. Vizsgált elemek eredetének elmélete, hatásuk összegzése	16
2.7.1. Cink.....	16
2.7.2. Kadmium	17
2.7.3. Kobalt	17
2.7.4. Króm	17
2.7.5. Nikkel	18
2.7.6. Ólom.....	18
2.7.7. Réz és vas	18
2.8. Jogi szabályozás, vonatkozó határértékek	19
2.8.1. Üledékre vonatkozó határértékek.....	19
2.8.2. Halakra vonatkozó határértékek.....	20
2.9. Minták előkészítése	21
2.9.1. Mikrohullámú roncsolás	21
2.10. Elemtartalom meghatározása nagyműszeres módszerrel	22
2.10.1. Induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométer (ICP-OES)	23
3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK	25
3.1. A mintavétel.....	25
3.2. Minták előkészítése a méréshez.....	28
3.2.1. Üledékminták előkészítése	28
3.2.2. Halminták előkészítése	31
3.3. Nagyműszeres mérés	31
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	33
4.1. Üledékminták elemtartalmának vizsgálati eredményei.....	33

4.2. Halminták elemtartalmának vizsgálati eredményei	34
4.2.1. A bolti, referencia halminta vizsgálati eredményei	34
4.2.2. A horgásztóból származó halminták vizsgálati eredményei	34
4.3. A területen végzett korábbi vizsgálatok.....	35
4.3.1. Vízmintákban mért elemtartalom.....	35
4.3.2. Növényekre kiülepedett por elemtartalma	36
4.3.3. Biofilm elemtartalma.....	36
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	38
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	41
7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	43
8. IRODALOMJEGYZÉK.....	44
9. ÁBRÁK, KÉPEK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....	50
10.MELLÉKLETEK	51

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A minket körülvevő természeti környezet állapotát, illetve alkotóelemeinek minőségében bekövetkező változásokat a természetes folyamatok mellett maga az ember is jelentős mértékben befolyásolja a mindennapi tevékenységeivel. Az urbanizáció, illetve az ipari forradalom kezdete óta jelentős mértékben terheljük a geoszférát, a hidroszférát és az atmoszférát is. Ezen rendszerek szoros kapcsolatban állnak. A növekvő népesség hatására a földi ökoszisztémákat befolyásoló antropogén hatások mértéke is egyre fokozottabbá válik. Az egyes szférákban a különböző terhelések igen jól képesek terjedni. A fizikai, kémiai és biokémiai átrendeződési, illetve átalakulási folyamatokból adódik, hogy az egyes terhelések regionálisan és akár globális szinten is jelentős problémát okozhatnak. A bioakkumulációra hajlamos anyagok biomagnifikáció során, az élelmiszerláncban feldúsulva az ember szervezetébe is bejuthatnak. Ezen terhelések egy bizonyos koncentráció felett súlyos egészségügyi károsodást okozhatnak. Ebből adódik, hogy a környezeti elemek állapotának felmérése, a kialakult szennyezések okainak és eredetének feltárása, monitoring jellegű vizsgálata kiemelt feladattá vált világszerte (Armbruszt, 2015; Nriagu, 1989; Szabó et al., 2019).

Az egészséges étkezés fontos része a halak elfogyasztása, hiszen számos elengedhetetlen tápanyagforrást szolgáltatnak a szervezet számára. A halakban, illetve egyéb vízi szervezetekben a növekvő antropogén behatás okozta fémterhelésének megnövekedése súlyos gondokat okozhat, ugyanis ezek a szervezetek képesek ezen elemtartalmat akár toxikus szinten akkumulálni, így a tengeri és az édesvízi élőlények vizsgálata is kiemelten fontos (Djedjibegovic et al., 2020).

A felszíni víztestek medrében az üledék kialakulását különböző fizikai, kémiai és biológiai folyamatok idézik elő. Ez a réteg egyensúlyban áll a folyadékfázissal, különböző szemcsemérettel rendelkező homok- és ásványszemek, hordalék, illetve nem oldódó anyagok keveréke alkotja. Szervesanyaggal gazdagon ellátott, így a vízi élőlények számára fontos tápanyagforrást jelent. Ezen élőlények folyamatos kapcsolatban állnak az üledékréteggel, közöttük anyagcsere van (Albert et al., 2011).

A 2021-ben elkészített szakdolgozatomban a Peremvárosi Horgásztó és Pihenőpark területét érő hatásokat összegeztem, illetve a belőlük származtatható potenciálisan toxikus fémterhelést vizsgáltam. A tó vize, az elhalt növényi részeken kialakult élő bevonat, illetve a területen és annak környezetében megtalálható növényekre kiülepedő por került elemzésre. A mérési

eredmények alapján további kérdések fogalmazódtak meg bennem.

- Az üledékben és a halakban is kimutatható a környező tevékenységek fémterhelése?
- Az eddigi mérési eredmények mutatnának valamilyen párhuzamot az említett mintamátrixok vizsgálati eredményeivel?
- Érheti nagyobb mennyiségben potenciálisan toxikus elemtartalom az emberi szervezetet az onnan származó halak elfogyasztásával?

Annak érdekében, hogy egy pontosabb, átfogóbb kép alakulhasson ki a területről és az ott megtalálható élővilág állapotáról, a vizsgálatokhoz további mintamátrix típusok kerültek bevonásra. Ebből adódóan, jelen dolgozat témája a területről származó üledék- és halminták összes elemtartalmának vizsgálata.

Dolgozatom céljai:

- a mintavétel és a laboratóriumi munka bemutatása,
- a terepen begyűjtött üledék- és halminták összes elemtartalmának meghatározása induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel, illetve a mérési eredmények bemutatása,
- mérési eredmények alapján megvizsgálni, hogy kialakult-e nagymértékű szennyezés az említett mintamátrixokban,
- a tóból származó halminták mérési eredményeinek összevetése a boltból származó referenciamintákkal,
- a területen végzett eddigi vizsgálati eredmények összegzése és összevetése az üledék- és halminták mérési eredményeivel.

A szakirodalmi részben bemutatásra kerül a vizsgált terület, illetve a begyűjtött mintatípusok elemzésének oka. Röviden összegzésre kerültek a vizsgált elemek lényegesebb tulajdonságai, élettani hatásuk, illetve a velük kapcsolatos határértékek. A mintavételhez, a minták előkészítéséhez és a méréshez kapcsolható, lényegesebb elméleti információk is bemutatásra kerülnek. A terepi munka, a mintavétel, a mintamátrixok előkészítéséhez alkalmazott módszerek, a felhasznált anyagok és eszközök, illetve a mérés menete a harmadik fejezetben kerül részletes bemutatásra. A negyedik fejezet tartalmazza a vizsgálati eredményeket, illetve az eddigiekben végzett vizsgálatok eredményei is röviden bemutatásra kerülnek, mert azon eredményekkel együtt lehet egy átfogóbb képet kapni a terület szennyezettségi állapotáról. A mérési eredményekből származó megállapításokat a dolgozat ötödik fejezete tartalmazza.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A Peremvárosi Horgásztó és Pihenőpark jellemzői, története

Gyál külterületén, 0154/12 helyrajzi számon található meg a Peremvárosi Horgásztó és Pihenőpark, amely 10,53 hektáron terül el. Ennek 4,15 hektár nagyságú részét adja a vizsgált tó, amelynek átlagos mélysége 1,6 méter. A meder anyaga erőteljesen kavicsos, sóderes. A területen folytatott halgazdálkodási jog a Peremvárosi Horgászok Egyesületét illeti, amely haszonbérleti szerződésben áll a terület tulajdonosával. 2015 óta van a terület Gyál Város Önkormányzatának tulajdonában (dok1; dok2; dok3).

A vizsgált terület a Magyar Állam tulajdonában állt 1963 óta. 1990-ig egy közúti beruházásokkal foglalkozó cég kavicsbányát üzemeltetett ott. A bányászati tevékenység felhagyását követően, a társaságnak kötelező a terület rekultivációját, a bányagödör feltöltését elvégezni. Ez azonban több év elteltével sem történt meg. Az Peremvárosi Horgászok Egyesületének tagjai tudomására jutott az a tény, hogy a rekultiváció bekövetkezte tulajdonképpen a sokak által kedvelt, mesterségesen kialakított vízfelület megszüntetését is eredményezné, így annak érdekében, hogy a tó megmeneküljön, 1996-ban kérvényezték a kavicsbánya vízkezelési- és halászati jogát. Úgy vélték, hogy a megfelelő kezelési és gondozási munkálatokkal a terület mind a vízi, mind pedig a vízparti élővilágnak kiváló életteret adhat. Mivel többek által kedvelt terület volt, ezért nem csak az élővilágnak megfelelő élettér kialakítása, fejlesztése, védelme volt a cél, hanem az is, hogy a területre horgászati céllal látogató személyeknek, illetve egész családjuknak is egy pihenésre, kikapcsolódásra alkalmas környezetet hozzanak létre. Az akkori feljegyzések, tapasztalatok szerint is már számos halfaj megtalálható volt a bányatóban, amely bizonyítékként szolgált arra, hogy a tó valóban egy kiváló élettérre alakítható át. Számos szakvélemény született abban az időszakban arról, hogy az Egyesület megállapításai helyesek és az anyagkitermelés alól felmentett tér alkalmas a horgászati célú hasznosításra. A halászati jogot az Egyesület 1996-ban meg is kapta (dok4; dok5; dok6).

Az Egyesület megkezdte a partvonal és a vízfelület karbantartását, azonban konkrét rekultivációs cselekvés addig nem következhetett be a tó környezetében, amíg a tulajdonjogi viszonyok tisztázásra nem kerültek. Ezen felül meg kellett várni, hogy a Szolnoki Bányakapitányságnak a bányászati tevékenységet folytatott szervezet által benyújtott, módosított területrendezési tervet és a rekultivációhoz szükséges idő meghosszabbítását is engedélyezzék. Hosszas egyeztetések után sikerült a bányászatot végző társasággal, illetve a terület tulajdonosával megállapodást kötnie a Peremvárosi Horgászok Egyesületének a

rekultivációs terv módosításáról, a feladatkörök felosztásáról és az Egyesület részvételéről a rekultivációs tevékenységekben. A megállapodás szerint a bányacég feladatai közé tartozott, hogy a megfelelő védőtávolságot betartva, a bányagödör vízzel nem telített részét inert építési törmelékkel és a felhalmozott bányameddővel töltsse fel, illetve humuszos réteget alakítson ki a töltés tetején annak érdekében, hogy a későbbiekben növényt lehessen telepíteni ott. Ezen felül az Önkormányzat tulajdonában lévő szorgalmi utat is helyre kellett állítaniuk. Az Egyesület feladatai közé a bányagödör vízzel telített részének karbantartása, illetve megőrzése tartozott. Ezen felül vállalta, hogy a rekultivációhoz szükséges növénytelepítési feladatokat is elvégezteti, illetve fedezi a munkálathoz kapcsolódó költségeket (dok7; dok8; http4).

Az új tájrendezési tervezetet a Szolnoki Bányakapitányság 1999-ben fogadta el. Előírta, hogy a vízzel nem érintett terület feltöltéséhez használt anyagok típusáról és mennyiségéről naplót kell vezetnie a bányászati cégnek. Ezen felül megállapították azt, hogy a rézsúk gyepesítésével meg kell akadályozni annak a lehetőségét, hogy a feltöltött területekről származó csapadék lefolyással bejuthasson a tóba. Előírták továbbá, hogy a tereprendezés során a terület mellett elhelyezkedő Gyáli (1.)-csatornától számított tíz méteres sávot nem közelíthetik meg. A Kapitányság megtiltotta, hogy a tó vízfelülete tovább legyen növelve. A rekultiválással kapcsolatos feladatok teljesítésének határideje 2002. július 30. volt (dok9).

A jelenleg is hatályos, 239/2000. (XII. 23.) Kormányrendelet tartalmazza a bányatavak hasznosításával kapcsolatos jogokat és kötelezettségeket, összefoglalja a szükséges engedélyeket és azok megszerzéséhez szükséges dokumentumokat (http5).

A Kapitányság által meghatározott területeken az Egyesületi tagok elvégezték a gyepesítést, fákat telepítettek, illetve gondoskodtak a tó növényvilágáról is. Annak érdekében, hogy csökkentsék a területet érő por- és zajszennyezést az M5 autópályáról, több sorba ültetett, akácfákból álló védősávot alakítottak ki. A feltöltött terület rézsújébe és az autópálya felőli szakaszára nyárfákat ültettek, amelyek árnyékot biztosítanak a füvesített területeknek, védik a talajt és pihenésre alkalmas helyet szolgáltatnak a területre látogató madárfajok számára. Az Egyesület a területre látogató madarak fészkelési lehetőségét is biztosítani szerette volna, így több fa törzsére is odúkat helyeztek ki. A növények fajgazdagságának megteremtésében az Egyesület az eltelt évtizedek során óriási segítséget kapott a Pihenőparkhoz látogató madaraktól, ugyanis az általuk elszórt megvakból számos egyéb, be nem telepített, akár egy példánnyal képviseltető növényfaj is megtalálható a területen. A növényállomány folyamatos gyarapítás alatt áll, 2021-ben például égerfacsemetéket ültettek. A növényzet, külön kiemelve a nádat, folyamatos gondozás alatt áll az évszakoknak megfelelően (Siklósi, 2021 szóbeli

közlés).

A terület gazdag élővilággal rendelkezik. Mocsári teknős, békák, apró rákok élőhelye. Számos madárfaj látogatja a területet, mint például vadkacsák, kócsagok, szürkegémek és jégmadarak. A halállományt folyamatosan ellenőrzés alatt tartják, a lehorgászott egyedeket pótolják. A terület karbantartásának kezdete óta, rendszeresen tart nyilvános haltelepítéseket az Egyesület. 2023 késő őszi, illetve téli időszakában például amurt, pontyot és kárászt is telepítettek. Mára számos halfajt sikerült betelepíteni a tóba, megtalálható benne: kárász, keszeg, küsz, csuka, ponty, compó, domolykó, sügér, balin, harcsa, süllő és amur is (http3; Siklósi, 2023 szóbeli közlés).

2.2. Vizsgált terület elhelyezkedése

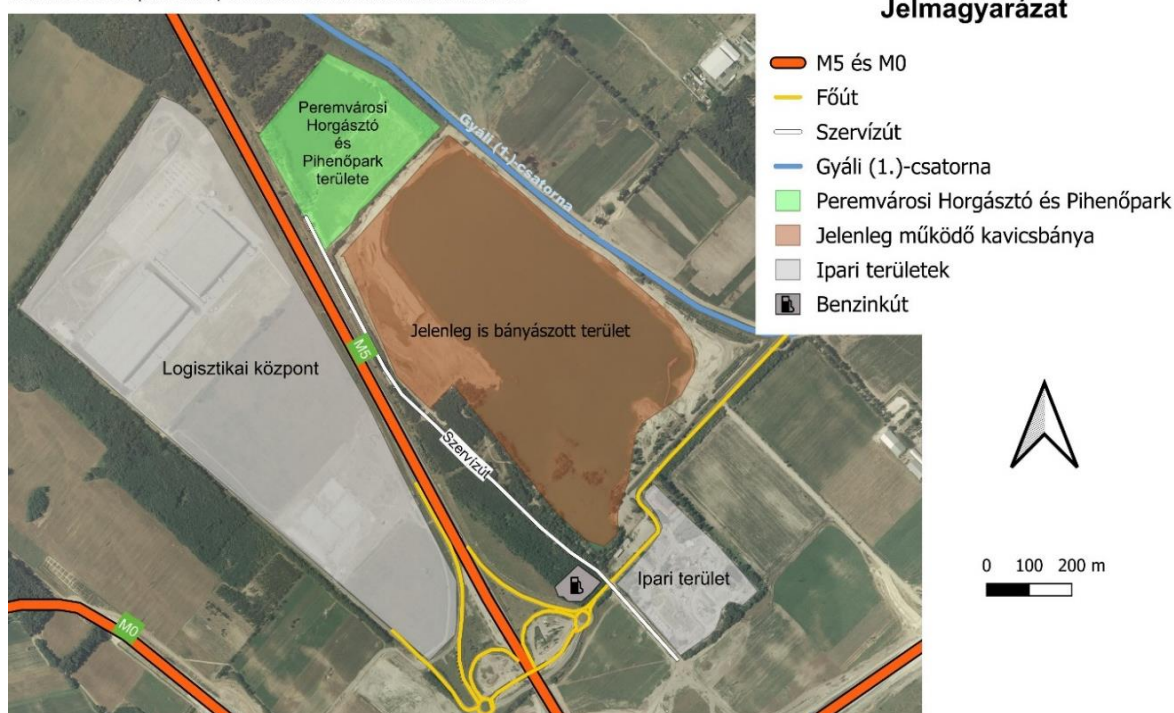
A Peremvárosi Horgásztó és Pihenőpark elhelyezkedését az 1. számú, saját szerkesztésű térkép szemlélteti.

1. ábra A terület elhelyezkedését szemléltető térkép

(Forrás: Saját szerkesztés QGIS-el, FÖMI Ortophoto 2005 alapra, 2023)

A vizsgált terület elhelyezkedését szemléltető térkép
M=1: 14000

Forrás: FÖMI Ortophoto 2005, Készítette: Pócsik Zsuzsanna Krisztina 2023



A vizsgált területet északi- és északkeleti irányból mezőgazdasági területek határolják. A Pihenőpark peremét és a mezőgazdasági területeket egymástól a Gyáli (1.)- csatorna választja el. A terepi bejárás során azt tapasztaltam, hogy a csatorna medre az ipari területeket elhagyva, már nincs betonburkolattal ellátva, a vizsgált terület környezetében kavicsos, földes anyagú.

Ezen irányokban kerül el a mezőgazdasági területeken túl Gyál város. Nyugat-északnyugati irányokból akácos erdő és Budapest határolja. Nyugat-délnyugat irányban húzódik az M5-ös autópálya, illetve egy nagyobb logisztikai központ, ipari terület. Délkelet irányban bányató található, amelynél újra elindították a kavics- és homokkitermelést 2017-ben. A bányától távolabb ipari terület helyezkedik el, ezen felül az egyik Gyálra bevezető főúttal szinte párhuzamosan futó M0-ás autót (http1; http2).

2.3. A tavat és annak környezetét érő behatások

Az előbbi fejezetben bemutatásra került, hogy a Peremvárosi Horgásztó és Pihenőpark területét több nagy forgalmú út, logisztikai központ, illetve ipari terület övezi.

A közlekedésből eredő terhelés egyik legnagyobb részét úgy gondolom, hogy az M0-ás autót és az M5-ös autópálya gépjárműforgalma eredményezi. A Magyar Közút Nonprofit Zrt. megrendelésére készült, 2022. évre vonatkozó, a közúthálózatok átlagos napi forgalmát összegző felmérés alapján, ezeken az útvonalakon több tízezer autó halad el átlagosan egy nap. Ez a vizsgált terület környezetére vonatkozó lebontásban is jelentős forgalmi terhelést ad. (One Planet Mérnökiroda Kft., 2023) A logisztikai központon belül megtalálható cégek fő profilja a raktározás és szállítmányozás. Az említett terület így szintén jelentős gépjárműforgalmat eredményez, úgy vélem ez a második fő oka a közlekedésből származó szennyezőanyag terhelésnek. Úgy gondolom, hogy ki kell hangsúlyoznom azt is, hogy van ott olyan cég, amely veszélyesanyagok szállítmányozásával is foglalkozik. Ezen felül a délkeleti iparterületen betongyártással, építőanyagok szállításával, szigetelt és szigetelés nélküli falpanelek gyártásával, vasbeton szerkezeti elemek összeszerelésével, elkészítésével és gyártásával kapcsolatos tevékenység is zajlik (http1; http2; http6; http7; http8).

A Peremvárosi Horgásztó és Pihenőpark szomszédságában lévő tavon 2012-ben szüntették be a kavicsbányászatot, amelyet 2017-ben egy újonnan odatelepülő társaság újra megnyitott. A cég leírásai alapján szívókotró berendezéssel termelik ki az alapanyagnak szánt terméket, amely modern szonár és GPS rendszerrel van felszerelve. A rendszerükhöz tartozik még egy 400 m-es csővezeték, SKG víztelenítő kerék, illetve különböző deponálást segítő szalagok. A kitermelt anyagok osztályozását négyféle frakcióra tudják elvégezni a két darab osztályozóberendezéssel a telephelyen, azonban lehetőség van a vizes mobilosztályozók beüzemelésére is (http2). A 2020. évi, februárban megtartott Gyál Város képviselő-testületi ülésén született döntésekről megjelent internetes cikkben olvastam először arról 2021-ben, hogy a bányaterület újbóli üzembehelyezésének céljából hatásvizsgálati dokumentációt készítettek, amelyet Gyál Város Önkormányzata felülvizsgáltatott. Az akkori megállapításuk szerint a Peremvárosi Horgásztó

elővilágára nem lesz jelentős hatással az anyagkitermelés újrakezdése, ezért elfogadták a szükséges felülvizsgálatokat a tevékenységgel kapcsolatban (<http9>). A kitermelt anyagok szállítmányozása és a bányaterületen történő rendezése por keletkezésével jár. A megfelelő szélirány esetében úgy gondolom, hogy ez a pormennyiség eljuthat a horgásztó területére is. Több alkalommal is elhaladtam már a szervízúton, amely a bányászott területhez vezet, illetve a horgásztóhoz. Számos esetben is az volt a tapasztalatom, hogy a környező akácok levelein és az útburkolaton szemmel látható mennyiségben halmozódott fel por.

A Peremvárosi Horgásztó és Pihenőpark körül északnyugati, északi, illetve északkeleti irányokban mezőgazdasági területek találhatók meg. Gyál teljes területe a 27/2006. (II. 7.) Kormányrendelet melléklete alapján nitrátérzékeny. Gyál Város Klímastratégiájában olvasható, hogy a 27/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet melléklete alapján a felszín alatti víz szempontjából érzékeny területen elhelyezkedő település. Megállapításra került benne, hogy a város térségében található mezőgazdasági területeken nem haladja meg a műtrágya, illetve peszticid anyagok használata az országos átlagot (Harangozó, 2020).

A Horgász Egyesület dokumentációi alapján egy alkalommal volt tapasztalható drasztikus vízszintváltozás a tóban, melyet a szomszédos kavicsbányatóból történő vízkivétel okozhatott. Az esetet egy 2004-ben elkészített vízügyi felügyeleti ellenőrzés tapasztalatait tartalmazó jegyzőkönyvből ismerhettem meg. A jegyzőkönyv tartalma alapján a tónál horgászó személyek jelentős vízszintcsökkenést tapasztaltak, amelyet jelentettek a terület üzemeltetőjének. Szerintük ennek az lehetett az oka, hogy a környező mezőgazdasági területen folytatott gyepgazdálkodáshoz szükséges vizet a művelő a horgásztó szomszédságában lévő bányatóból emelte ki napi szinten, nagyteljesítményű öntözőberendezéssel. Ezen felül a Peremvárosi Horgászok Egyesületének elnöksége szerint a vízszintállítására erőteljes befolyással lehetett az is, hogy a bányatóból a közeli útépitéshez is emeltek ki vizet. A felügyeleti ellenőrzés során szemügyre vették mind a két tó vízszintjét, illetve a vízszintállításokhoz kapcsolódó korábbi feljegyzéseket. Megállapításra került, hogy valóban kiugró vízszintállási értékek voltak jellemzők már hónapok óta. A Közép-Duna-Völgyi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság szerint mind a két tevékenység illegális volt, így kérték ezek beszüntetését. Az ügy végső határozatáról nem kapott dokumentumot a Peremvárosi Horgászok Egyesülete, azonban az elnök elmondása alapján azt tapasztalták, hogy miután az illegális tevékenységek megszűntek, a drasztikus vízszintcsökkenés is megszűnt a horgásztónál (dok10; Siklósi 2021, szóbeli közlés).

A tavat érő antropogén behatásként magát a horgászatot is fel kell tüntetni. A túlzott

etetőanyaghasználat esetében, illetve a nem megfelelő minőségű etetőanyag alkalmazásakor nagymértékű, túlzott tápanyagterhelés érheti a tavat, amely hosszútávon elősegítheti az eutrofizáció bekövetkezését. Ebből adódik, hogy az üzemtartók minden esetben szigorúan felügyelik az etetéseket. A horgászto halgazdálkodási tervéből is kiderül például, hogy tilos a nagymértékű szokató beetetés elvégzése, illetve a konyhai maradékok alkalmazása. Nem megfelelő vízminőség esetén az etetéseket akár teljes mértékben leállíthatják (dok11).

2.4. Szennyezőforrások csoportosítása

A környezeti elemek terhelésének eredetét két nagyobb főcsoportra lehet felosztani: származhatnak természetes forrásból vagy antropogén tevékenységből. Természetes eredetű terhelés bekövetkezhet például egy erdőtűz, vulkanikus tevékenység, kőzetmállás vagy akár egyes biológiai folyamat során. Az antropogén eredetű szennyezések a mindennapi életünk során folytatott tevékenységek hatására kerülnek a környezetünkbe. A legfőbb antropogén terhelésért az ipari tevékenységek, a nyersanyagkitermelés, a közlekedés és a városi életből eredő tevékenységek adják. A mezőgazdasági tevékenységek is jelentős szennyezőanyag kibocsátással járnak. A természetes forrásokból származó anyagterhelések mennyiségét, viselkedését a környezetben erőteljesen befolyásolják az antropogén eredetű terhelések. A szennyezőanyagok forrását két csoportra lehet bontani: pontforrásokat, illetve diffúz (felületi) forrásokat különböztethetünk meg. Olyan szennyezés esetén, amelynek a forrása jól lehatárolható, eredete egyértelműen meghatározható, abban az esetben pontforrásról beszélhetünk. Amikor egy szennyezés eredetére csak területileg próbálunk következtetni, nem tudunk konkrét forráspontot társítani hozzá, akkor diffúz forrásról beszélhetünk (Barati, 2002; Müller et al., 2020). A vizsgált területre vonatkozóan pontforrást jelent például az ipari épületek kéménye és a bányaterület anyagosztályozó gépének kibocsátása. Diffúz forrásként az autópályát tudom megemlíteni, mint vonalas létesítmény okozta szennyezőanyag kibocsátót. A környezetbe bekerült szennyezőanyagok nedves vagy száraz ülepedés következtében jutnak el a vizsgált területre (Müller et al., 2020).

2.5. Mintavétel

Ahhoz, hogy valamilyen mintavételt elvégezhesünk, ahhoz egy jól átgondolt, gondosan felépített mintavételi tervre van szükség. Egy megfelelően elkészített terv alkalmazásakor számos hibalehetőség zárható ki a terepi munka során. Segítségével jelentősen csökkenthető a munkába fektetett energia, elkerülhetők a többletköltségek, illetve a tervezett időtartamon felüli plusz időtartam igénybevitelére sem lesz szükség a feladat elvégzéséhez. Kiemelten fontos a

vizsgálati helyszín ismerete, hiszen ez alapján tudjuk pontosan összefoglalni azt, hogy milyen legyen a mintavétel módszere, illetve milyen eszközökre lesz szükség a mintavétel során. Tisztában kell lenni például az elhelyezkedésből vagy nem várt időjárási eseményekből adódó, esetleges nehézségeket okozó tényezőkkel is. A mintavételi terv elkészítése előtt így célszerű terepi bejárást tartani. A mintavételi tervnek tartalmaznia kell a mintázás céljait. Környezeti minták esetében meg kell határozni, hogy milyen mintamátrix-vizsgálatra van szükség, illetve be kell határolni, hogy ezekből a mintákból milyen paraméterek analízisét kívánjuk elvégezni. Mintavétel során pont-, átlag-, sorozat-, kompozit-, és rétegminta vehető, képezhető. Az eltervezett vizsgálati módszerek alapján állapítható meg, hogy mennyi mintára lesz szükség, illetve milyen tartósítási módszerek alkalmazására kerülhet sor. Ezeken felül összegezni kell a mintavételi tervben, hogy milyen eszközökre, felszerelésre lesz szükség a terepi munka során. Lehetőség szerint, érdemes térképeket is magunkkal vinni (Soil Suvery Staff & Burt, 2011; Czóbel et al., 2015).

A vizsgálati paraméterek alapján kiemelten fontos meghatározni, hogy milyen jellegű mintatartó edényt kell kivinni a terepi munkához. A nem megfelelően megválasztott edényanyag jelentősen befolyásolhatja a vizsgálati eredményeket, mert például bizonyos anyagok kioldódhatnak a mintatartóból, illetve számos anyag adszorbeálódhat a mintatartó falán. A legelterjedtebben valamilyen műanyag- vagy üvegedényt alkalmaznak mintatárolásra, azonban fém edények alkalmazására is sor kerülhet. Kialakítás alapján lehet tasak vagy csavaros edény. Csak tiszta mintatartók alkalmazhatók, ezzel kerüljük el a keresztszennyezést. Minden esetben, több helyen fel kell tüntetni az egyedi mintaazonosítót, így könnyebben nyomonkövethetők lesznek a minták (Rácz, 2011; Rácz et al., 2006; Simpson et al., 2005).

Fémek vizsgálatakor az üledékmintákat műanyag edényekbe kell begyűjteni (Simpson et al., 2005).

Az Ohio EPA Sampling Guide (2001) alapján minden üledékmintát 4 °C-ra hűtve kell tartósítani, amelyen kémiai, illetve biológiai vizsgálatot kívánunk elvégezni. Simpson és munkatársainak (2005) kézikönyvében, illetve az Ohio EPA Sampling Guide (2001) is leírja, hogy a mintatartókban el kell kerülni, minimalizálni kell a minták feletti légtér kialakulását. Az üledékminta és a mintatartó zárórésze közötti teret inert gázzal kell kitölteni, hogy ne léphessen reakcióba a minta szennyeződése a kialakult légtérben meglévő anyagokkal (Simpson et al., 2005). Másik, egyszerűbb módszer erre az, hogy a mintatartót színültig töltjük üledékmintával. Ezeken a módszereken kívül a mintázott üledék környezetéből származó vizet is alkalmazhatjuk a légtér megszüntetésére úgy, hogy a minta fölött kialakult teret feltöltjük vele

és buborékmentesen zárjuk le a mintatartót (Ohio EPA, 2001). Az utóbbi módszert alkalmaztam a dolgozathoz kapcsolódó mintavétel során.

Simpson és munkatársainak (2005) kézikönyve alapján az üledékminták begyűjtésére számos eszközt lehet alkalmazni, kiválasztásuk a vizsgálati típusoknak, illetve a terepi adottságoknak megfelelően történik. Sok esetben fontos például a struktúra, szerkezet megőrzése annak érdekében, hogy a kémiai-fizikai állapot ne változzon (Simpson et al., 2005).

Begyűjtés során a szükséges mintamennyiség attól függ, hogy milyen jellegű vizsgálatot szeretnénk elvégezni. Gondolni kell arra is, hogy lehetőség legyen a vizsgálatok megismétlésére. Az említett kézikönyv alapján a fémtartalom meghatározásához 50 g minta elegendő (Simpson et al., 2005).

A mintavétel során alkalmazott eszközök tisztasága kiemelten fontos. Érdekes még a laboratóriumban megtisztítani a szennyezőanyagoktól őket (Simpson et al., 2005). Az Ohio EPA Sediment Sampling Guide (2001) alapján a következő módon kell megtisztítani az alkalmazott mintavételi eszközöket: először foszfát-mentes szappannal kell átmosni őket, majd csapvízzel és desztilláltvízzel átöblíteni, ezután metanollal és hexánnal is, végül meg kell őket szárítani. A dekontaminált eszközöket műanyag, zárható tasakban kell tárolni vagy alufóliába csavarva (Ohio EPA, 2001).

A terepi munkáról minden esetben jegyzőkönyv készül, amelyben minden fontos észrevétel, illetve terepi mérési eredmény feljegyzésre kerül. Szerepel benne a mintavevő neve, a mintavétel időpontja, az időjárási tényezők, környezeti tényezők, a begyűjtött mintatípus, a terepen elvégzett vizsgálatok eredménye és a mintavételi pontok koordinátái. A mintavételi pontok helyszíneinek feljegyzése lényeges annak érdekében, hogy a későbbiekben is meg tudjuk vizsgálni az adott pontokat. Simpson és munkatársainak (2005) kézikönyve alapján egy víztest üledékének vizsgálatakor a víz alapvető minőségi paramétereit is meg kell határozni a mintázott üledékrész feletti 5-20 cm-es környezetében. Az üledékekkel kapcsolatos megfigyeléseket is fel kell tüntetni, amely kiterjed a minták textúrájára is. A terepen végzett munkálatokkal kapcsolatban leírják, hogy nem csak írásos formában kell a tevékenységeket és tapasztalatokat dokumentálni, hanem fényképekkel is. Az üledékmintákról készült felvételek segítenek a minták színének, vizuális jellemzőinek összehasonlításában, illetve a mintázott közeg és annak környezetében lévő élővilág jellemzésében. A fényképek akár bizonyítékként is szolgálhatnak valamilyen szennyezőforrás jelenlétével kapcsolatban. Abban az esetben, ha valamilyen rendellenességet tapasztalunk a terepi munka során, azt célszerű feljegyezni (Czóbel et al., 2015; Ohio EPA, 2001; Simpson et al., 2005).

Fontos például feltüntetni azt, ha egy műszer helytelenül működött. Egyéb olyan tapasztalatok, információk feljegyzése is szükséges, amelyek esetlegesen hatással lehetnek a későbbiekben a vizsgálati eredményre. A fejezetben leírtak jól tükrözik, hogy a mintavétel módja, megfelelősége és a minták tárolása kritikus részt képez a vizsgálati eredmények pontosságában (Soil Suvery Staff & Burt, 2011).

Az USEPA (2023) leírása alapján a halak mintázására sokféle módszer létezik. Az alkalmazni kívánt technika kiválasztása függ a mintázandó halfajtól, annak viselkedési jellemzőitől, a vizsgálni kívánt paraméterektől, illetve az élőhelyi jellemzőktől és az időjárási viszonyoktól. A mintázási technikákat aktív és passzív mintavételi módszerekre lehet felosztani. Az aktív módszerhez tartozik például a halak különböző típusú, mozgó hálóval való elfogása, illetve az elektromos halászati technika. A passzív módszerek esetében valamilyen helyhez rögzített, egy helyre kitelepített eszközt alkalmaznak. Ezekbe az eszközökbe, felszerelésekbe maguk a vízi élőlények úsznak bele, amelyek fennakadnak rajtuk, belegabalyodnak és csapdába esnek. Ide tartoznak azok a horgászati módszerek is, ahol egy vagy több csalizott horgot helyeznek ki (USEPA, 2023).

A begyűjtött mintákat zárható, műanyag tasakba kell helyezni, illetve azonnal hűteni kell jéggel vagy egyéb hűtőberendezéssel addig, amíg a laboratóriumba nem ér a minta. Hosszabb távon fagyasztva kell tárolni őket (USEPA, 2022).

Hasim és munkatársai (2014) Malajziában végzett halmintavételük során a begyűjtött halak rendszertani besorolását a laboratóriumban végezték el, illetve feljegyezték az egyedek hosszát és súlyát is.

2.6. Vizsgált halrészek szerepének lényege, vizsgálati okuk

A hal mivel vízben élő szervezet, szoros kapcsolatban áll a környezetével, így természetesen az életterére hatással lévő tényezők erőteljesen befolyásolhatják szervezetének állapotát (Horváth, 2000). Mind a vízben, mind pedig az üledékekben lévő, biológiailag hozzáférhető szennyezőanyagok integrálásában kiemelt szerepe van (USEPA, 2022).

Környezetével aktív anyagcserét folytat, ennek révén tartja fenn életét. A kifejlett egyedek a fajtájuktól függően apró vízi élőlényekkel, növényekkel is táplálkozhatnak, de mindenevők is lehetnek. Ezeken felül gyakori, hogy ragadozó életmódot folytatnak, társaikat fogyasztják el (Horváth, 2000). Ezen táplálékforrások szintén kapcsolatba kerülnek a közeg szennyeződéseivel. Látható tehát, hogy a halak szervezetébe közvetlenül és közvetett módon kerülhetnek szennyezőanyagok (Yancheva et al., 2015).

A dolgozat vizsgálataihoz szolgáltatott kűsz (*Alburnus alburnus*) táplálkozása jelentősen függ a parti övezet élőbevonatától, hiszen nagyrészt azzal táplálkozik, így a korábbi élőbevonathoz kapcsolódó vizsgálati eredményekkel érdemes összevetni a szervezetében kimutatott elemtartalmat (Bíró et al., 2008). A további szolgáltatott minta egy ponty, amelyet igen vegyes táplálkozás jellemez: zooplankton és bentikus szervezeteket fogyaszt, azonban sok esetben táplálkozik puhatestűekkel, rovarlárvákkal, szerves törmelékkel, növényi részekkel is. A kialakult élőbevonat szintén felkerülhet a fogyasztandó táplálékok listájára, így a szervezetében kimutatott elemtartalmat szintén érdemes összevetni az élő bevonatban mért elemtartalommal (Müllerné Ternovszki, 2013).

Yancheva és munkatársai (2015) is kiemelik publikációjukban, hogy a halak szerveiben a szennyezőanyagok különböző koncentrációban halmozódnak fel a szöveti eltérésekből adódóan.

2.6.1. Izomzat és zsír

A halak izomzatának vizsgálata a legfontosabb, hiszen ezt a részüket fogyasztják el az emberek, így a felhalmozódott potenciálisan toxikus elemtartalom ezen az úton keresztül könnyen bejuthat az emberi szervezetbe (Tokatli, 2018). Hasim és munkatársai (2014) szerint a dorzális, azaz háti izmokban halmozódik fel a legtöbb toxikus fém, illetve az az a része a halnak, amelyet a leggyakrabban használnak fel élelmiszerként. Kiss (2000) és Mézes (2000) írása szerint a halak testében három fő izomtípus található meg: harántcsíkolt vázizomzat, a belső szerveket alkotó simaizomzat, illetve a morfológiailag is jól elkülönülő szívizomzat. A vázizomzat mozgatja az úszókat, a fejet és a törzset. Fehér és vörös színű részek különíthetők el ebben az izomtípusban, azonban például a pontyok esetében átmeneti, rózsaszínes rész is megfigyelhető. Ennek oka az, hogy különböző vérellátottsággal rendelkeznek. A vázizomzat legnagyobb részét a fehér izomzat képezi. A vörös izmok sokkal zsírosabbak, mint a többi izomrész. A simaizomzat játszik szerepet a gyomor és a béltraktus perisztaltikájának működésében (Kiss, 2000; Mézes, 2000).

A zsír a hal szervezetének számára energiát szolgáltat, részt vesz az egyes membránműködési folyamatokban, illetve kiemelkedő szereppel rendelkezik a vitaminok raktározásában is. Raktározó szerepéből adódóan, számos egyéb anyag akkumulálására képes, így vizsgálatát szintén fontosnak véltem. (Horváth, 2000)

2.6.2. Ikra

Mind a tengeri, mind pedig az édesvízi halak ikrája közkedvelt fogyasztási cikknek tekinthető.

Hasim és munkatársainak (2014) írásában olvasható, hogy a halak korai életszakaszukban sokkal érzékenyebbek a potenciálisan toxikus fémekre. Hatásukra a különböző fejlettségi stádiumokban fejlődési, növekedési rendellenességek alakulhatnak ki (Hasim et al., 2014).

A hal, mint minden egyéb élőlény, táplálkozással biztosítja azt az energiamennyiséget, amely az életfunkcióinak működéséhez elengedhetetlen. Életének első táplálékforrásaként az ikra szikanyagát lehet megemlíteni, így dolgozatomban fontosnak tartottam az ikrák összes elemtartalmának meghatározását is. A szikzacskó tulajdonképpen tápanyagraktárként szolgál a fejlődő embrió számára. Tápanyagait a szikvérkeringés szállítja. Segítségével vészeli át a fejlődés során a halivadék a külső forrásból származó tápanyagbevitelre való átállási időszakot. A halivadékok már akkor megkezdik a szilárd táplálékforrások elfogyasztását, mielőtt a szikzacskó teljesen felszívódna (Kiss, 2000; Mézes, 2000).

2.6.3. Máj

Horváth (2000) könyve szerint a halak májában termelődik a petesejtek szikanyagának felépítéséhez szükséges glikoproteid-mennyiség, amely a véráramon keresztül jut el a petefészekbe. Ezen felül a máj felel a méregtelenítésért, a húgysavkiválasztásért, vitaminok és glikogén tárolásáért. Epét termel, illetve közponként szolgál az intermedier anyagcserében (Kiss, 2000). Méregtelenítés során számos anyaggal kapcsolatba kerül, így vizsgálatát célszerűnek találtam.

2.6.4. Kopoltyú

A halak szervezetébe elsődlegesen ezen a szerven keresztül jutnak be a mérgeanyagok (Yancheva et al., 2015). Többféle kopoltyútípus létezik, azonban összegezve a szerepük azonos: a hal szervezete a legtöbb esetben az oxigént a vízből veszi fel, amelyet legáltalánosabban a kopoltyú segítségével képes elvégezni. A kopoltyú egyfajta szűrőrendszerként is szolgál. A kopoltyúlégzés során a gázcsere a kopoltyúüregen, a kopoltyúlemezkéken történik meg a víz és a vér között. Az itt áramló vér akár a 80%-át is képes megkötni a víz oxigéntartalmának, de ezt természetesen számos tényező befolyásolja és a faj típusától is függ (Kiss, 2000).

A vízben bekövetkező fizikai és kémiai paraméterek változására kiemelten érzékeny a halak kopoltyúja, így nagyon sok esetben vizsgálják ezt is annak érdekében, hogy információhoz jussanak az adott víztest állapotáról, illetve a szennyezőanyagok okozta halegészségügyi problémákról (Yancheva et al., 2015).

2.7. Vizsgált elemek eredetének elmélete, hatásuk összegzése

A környezetszennyezésből származó, a környezetben és az élelmiszereinkben egyaránt nyomokban megtalálható anyagok - például a fémek - vizsgálata egyre kiemeltebb jelentőségű, mert hosszú időn át tartó expozíció esetén súlyos károkat okozhatnak az állati, illetve az emberi szervezetben is (Mizik, 2018).

Nehézfémek alatt azokat a nagy sűrűségű (5 g/cm^3 felett) fémeket értjük, amelyek kis mennyiségben is toxikus hatást fejtenek ki (Gulyás et al., 2019). A „potenciálisan toxikus elemtartalom” kifejezést célszerű használni a nehézfémtartalom helyett, mert van olyan fémes természetű elem, amely nem éri el az említett sűrűségi határt. Ezen felül vizsgálatukkor inkább az élő szervezetre és a környezetre kifejtett toxikus hatásukon van a hangsúly, így emiatt is érdekesebb inkább potenciálisan toxikus elemtartalomként említeni (Horváth, 2019; Witkowska et al., 2021).

Toxikus fémtartalom vizsgálatokor ki kell hangsúlyozni, hogy vannak közöttük olyan elemek, amelyek esszenciálisak az életfolyamatok fenntartásához, azonban ezek az elemek is bizonyos mennyiség felett potenciális károsítói lehetnek az élő szervezetnek (Woynárovich et al., 2019). Nagyobb mértékű, hosszabb távú expozíció esetében mutagén, teratogén, karcinogén hatással vannak, illetve neurotoxikusak lehetnek (Hasim et al., 2014).

A dolgozathoz begyűjtött mintákból a következő elemek kerültek meghatározásra: cink (Zn), kadmium (Cd), kobalt (Co), króm (Cr), nikkel (Ni), ólom (Pb), réz (Cu) és vas (Fe).

2.7.1. Cink

A halakban megtalálható szövetek közül szinte az összesben megtalálható, esszenciális elem. Biokémiai szerepe fontos az élő szervezetekben, hiszen enzimalkotó, illetve a fehérjeszintézisben és a vitaminok transzportjában is szerepet játszik (Woynárovich et al., 2019). Bizonyos mennyiség felett azonban toxikussá válhat. Toxikussága, nagyban függ az expozíció módjától (Fosmire, 1990).

Ipari és háztartási szinteken is széles körben alkalmazott. Gulyás és munkatársai (2019) írása alapján a forgalomban lévő, cink tartalmú növényvédőszeres és rágcsálóirtók a talajvízbe bemosódhatnak. Ezeken felül műtrágyákból, szennyvíziszapokból, illetve komposztból is nagyobb mennyiségben bekerülhet a környezetbe (Szoboszlai & Kriszt, 2014). Mivel a fémiparban is széles körben alkalmazott, így a felhasználásukkal elkészített berendezések, eszközök kopása is nagymértékű emissziót okozhat. Közlekedés során a fékbetétek és a gumiabroncsok kopásakor, illetve a kerekek centírozó súlyának elhasználódásakor is nagy mennyiségben kerülhet a környezetbe (Grigoratos & Martini, 2015; Müller et al., 2020).

2.7.2. Kadmium

A kadmium az élő szervezet számára nem esszenciális elem. Woynárovich és munkatársainak (2019) könyve szerint a vesében képes akkumulálódni, súlyos károsodást okoz 0,2-0,3 mg/kg koncentráció felett. Mind a vesékben, mind pedig a herékben irreverzibilis károsodásokat okoz. A legnagyobb mennyiségben a gombából és halból készült ételekből juthat be az emberi szervezetbe (Woynárovich et al., 2019). Az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság a vesére kifejtett káros hatása miatt a heti tolerált kadmiumbeviteli 2,5 µg/testtömeg-kg mennyiségre szabta meg (EU Bizottság 2023/1510 rendelet, 2023).

Az atmoszférában a kadmiumszennyezés jól terjed, a részecskékhez kötődve igen messzire képes eljutni a szennyezőforrástól. Savasabb talajokhoz rosszul kötődik. A dolgozatban szereplő vizsgálati terület elhelyezkedésének szempontjából fontos kadmium-kibocsátó források a gépjárművek: fosszilis tüzelőanyagok égetésével, gumiabroncsuk és fékbetétük kopásával okoznak kadmium terhelést. A kadmium oxidjai, szulfidjai, kloridjai szintén antropogén tevékenység hatására keletkezhetnek, ezeket is karcinogén anyagként tartják számon. (Szoboszlai & Kriszt, 2014; Müller et al., 2020; WHO, 2007)

2.7.3. Kobalt

A kobalt kettős megítélésű az élő szervezetekre gyakorolt hatásának tekintetéből (Gulyás et al., 2019). Esszenciálisnak tekinthető kis mennyiségben, mert a B₁₂-vitamin egyik alkotórésze, azonban egy bizonyos mennyiség felett a DNS-replikációs mechanizmus precizitására hátrányos hatással lehet (Szoboszlai & Kriszt, 2014). A kobalt a halak szervezetében gyengén szívódik fel, bennük is a B₁₂-vitamin szintéziséhez szükséges (Woynárovich et al., 2019).

Ötvözetek előállítására alkalmazzák, illetve lakkokban és festékekben adalékanyagként szerepel. Ötvözeiből kedvező kopási tulajdonságokkal rendelkező alkatrészeket is készítenek, amelyeket például gépjárművekbe is beszerelnek (Szoboszlai & Kriszt, 2014).

2.7.4. Króm

Környezetvédelmi szempontból a krómmal kapcsolatban a Cr(III) és Cr(VI) előfordulási formáját kell kiemelni. Jellemzően Cr(III) formában van jelen, amely az élő szervezetek számára esszenciális, glükóz anyagcserében vesz részt, azonban bizonyos körülmények között átalakulhat az igen toxikus és rákkeltő Cr(VI) formává. A környezetben a Cr(VI) forma tulajdonképpen instabil, mert a kromátionokat át tudja alakítani Cr(III) formává a talaj szerves anyaga (Szoboszlai & Kriszt, 2014).

A króm széleskörben alkalmazott a fémiparban: fontos bevonataalkotó, acélötvöző anyag. Használatával növelhető a vegyi anyagokkal szembeni ellenállóság, fokozza az anyag

keményiségét, növeli a hőállóságot (Tóth, 2016). A gépjárművek motorikus alkatrészeinek, illetve a karosszéria kopásakor kerülhet nagyobb mennyiségben a környezetbe (Müller et al., 2020).

2.7.5. Nikkel

Woynárovich és munkatársai (2019) szerint a nikkel rosszul felszívódó toxikus anyag, amely a csekély mértékű felszívódás miatt halélettani szempontból jelentéktelen. Azonban Szoboszlai és Kriszt (2014) szerint mind az emberek, mind pedig az állatok számára esszenciális nyomelem, mert kiemelt szerepet tölt be a szív működésben. Porait belélegezve súlyos rákos megbetegedést okozhat. Dermális érintkezés során allergiás reakciót válthat ki. A vizsgált területre a közlekedésből származó porral juthat, mert a gépjárművekben is széles körben alkalmazzák (Müller et al., 2020).

2.7.6. Ólom

Az ólom nem kapcsolható olyan élettani funkcióhoz, amelyben mennyisége esszenciális lenne. A szervezetbe bekerülve felhalmozódik a csontokban, a májban és a vesékben, így az állatok ezen részeinek fogyasztásával növekedhet az emberi szervezetbe bekerült ólom mennyisége. A WHO (2007) leírása alapján az emberi szervezetbe bekerülő elsődleges, fő ólomforrásnak a szennyezett élelmiszerek tekinthetők. Ezen felül jelentős ólomfelvétellel járhat a régi ólomtartalmú csővezetékéből származó víz fogyasztása is. Erősen toxikus, bizonyos enzimek működését, illetve a hemoglobinszintézist gátolja. A zsírszövetekben jól akkumulálódik, onnan felszabadulva károsítja az ivarszerveket és a májat. Fejlődési és idegrendszeri problémákat okozhat. Közlekedés során a gumiabroncsok, fém-fékbetétek és a karosszéria kopása során kerülhet be nagyobb mennyiségben a környezetbe. A gépjárművek festékében is megtalálható, illetve a kerekek centírozó súlyaként is alkalmazzák. Ebből adódóan a vizsgált mintákban számítani lehet kimutatható ólomtartalomra a nagy forgalmú utak közelsége miatt (Grigoratos & Martini, 2014; Müller et al., 2020; WHO, 2007; Woynárovich et al., 2019).

2.7.7. Réz és vas

Woynárovich és munkatársai (2019) szerint a rézre és a vasra 1:50 arányban van szükség az állati szervezet egészséges működéséhez. Katalizátor szerepet tölt be a réz a vas beépülésében. Esszenciális mezelem, hiánya számos problémát okozhat: emésztési zavar, anaemia, szívizom elváltozás és növekedési rendellenesség. Csőszerelvények, huzalok előállítására alkalmazzák, ötvözeiből gépalkatrészeket is előállítanak (Tóth, 2016).

A vas szintén esszenciális mezelem, mennyiségének a vérképzésben van szerepe (Woynárovich et al., 2019). A fém-féketétek nagy mennyiségben tartalmaznak vasat és rezet, így a közlekedés jelentősen befolyásolhatja a környezetben jelenlévő koncentrációjukat (Grigoratos & Martini, 2015, Müller et al.; 2020).

2.8. Jogi szabályozás, vonatkozó határértékek

A különböző szennyezések nem azonos módon férhetők hozzá biológiaiilag az egyes élő szervezetek számára. Mivel vannak olyanok, amelyek akkumulálódásra hajlamosabbak az élőlényekben, tanulmányoznunk kell ezen szennyezőanyagok jelenlétét bennük annak érdekében, hogy megállapítható legyen a környezeti kockázatuk mértéke. A vízi élőlények analitikai vizsgálata széles körben alkalmazott a vízi szennyezések biológiai jelentőségének vizsgálatában (Yancheva et al., 2015).

2.8.1. Üledékre vonatkozó határértékek

Vízminőség javításának szempontjából az üledékek kiemelt jelentőségűek. Fontos részét képezik a vízi ökoszisztémának, egyes fajok szoros kapcsolatban állnak vele, azonban számos szennyezőanyagot tartalmazhatnak. Mivel a vízi élőlények képesek ezen szennyezőanyagok felhalmozására a szervezetükben, ezáltal sok esetben tapasztalható az, hogy többszörös koncentrációban tartalmaznak bizonyos szennyezőanyagokat, mint a víz és az üledékréteg, amellyel kapcsolatban állnak. Ebből adódik, hogy az üledékanyagok szennyezettsége a bentikus élőlények számára veszélyes lehet, vizsgálatuk jelentős (Simpson et al., 2005; Yancheva et al., 2015).

Babcsányi és munkatársai (2019) Szeged belterületén megtalálható tavak minőségét vizsgálták. Munkájuk során iszap/üledékminták potenciálisan toxikus fémtartalmát elemezték. A mintákban mért elemtartalmat a 6/2009 (IV. 14) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben szereplő, földtani közegre vonatkozó (B) szennyezettségi határértékekkel vetették össze. A rendelet alapján a dolgozatomhoz kapcsolódó határértékek a következők (szárazanyagra vonatkoztatva): összes króm 75 mg/kg, kobalt 30 mg/kg, nikkel 40 mg/kg, réz 75 mg/kg, cink 200 mg/kg, kadmium 1 mg/kg, ólom 100 mg/kg. Ezek az értékek az 50/2001. (IV. 3.) kormányrendelet harmadik mellékletében is szerepelnek. Az említett rendelet tartalmazza a szennyvízben, szennyvíziszapokban, szennyvíziszap komposztban megengedett toxikus elemtartalom mennyiségének határértékeit mezőgazdasági felhasználásra vonatkozóan. A szennyvíziszapok megengedett toxikus anyagainak mennyiségéhez kapcsolódó határértékeket a rendelet ötödik melléklete tartalmazza. Azalapján a határértékek a következők (szintén

szárazanyagra vonatkoztatva): összes króm 1 mg/kg, kobalt 50 mg/kg, nikkel 200 mg/kg, réz 1000 mg/kg, cink 2500 mg/kg, kadmium 10 mg/kg, ólom 750 mg/kg. Mivel a vizsgált területen horgászati célú halgazdálkodás zajlik, így célszerűnek véltem ezekkel a határértékekkel is összevetni a mérési eredményeket.

A vas toxikus szennyezettségi besorolásával kapcsolatban Halász (2010) doktori értekezésében találtam információt. Munkájának 6. táblázatában ír arról, hogy az EPA ajánlásának alapján egy üledék vastartalom szempontjából 17 000 mg/kg koncentráció alatt tekinthető szennyezésmentesnek, 25 000 mg/kg feletti koncentrációban azonban erősen szennyezettnek tekinthető.

2.8.2. Halakra vonatkozó határértékek

A halhús minőségét meghatározza az izomszövet kémiai összetétele, a zsírszövet és a kötőszövet aránya, valamint a benne lévő tápanyagok és egyes vitaminok minősége és mennyisége. Általánosságban elmondható, hogy összetétele, emészthetősége, biológiai értéke jelentősen kedvezőbb, mint a többi húsfajtáé. Ebből adódik, hogy közkedvelt táplálékforrás az emberek számára (Nagy et al., 2007; Yancheva et al., 2015).

A világon számos szervezet ügyel a halhús minőségére, illetve vizsgálja annak esetleges szennyezettségét. Tokatli (2018) publikációjában példaként említi a halhús fémszennyezettségi határértékeivel foglalkozó szervezetként a WHO-t (World Health Organization), a FAO-t (Food and Agricultural Organization) és a TGK-t (Turkish Food Codex). Ezeken kívül az EPA (Environmental Protection Agency) szintén megfigyeli ezen mátrix szennyezettségét és értékeli azok potenciális emberi egészségügyi hatásait, amelyek a szennyezett halhús elfogyasztásából származhatnak (Tokatli, 2018; USEPA, 2022).

Az Európai Bizottság 1881/2006/EK rendeletében került meghatározásra a szennyezőanyagok felső határértéke az élelmiszerekben. Ezt a rendeletet egy újabb, frissített rendelet helyezte hatályon kívül 2023 áprilisában: EU Bizottság 2023/915 rendelete (EU Bizottság 2023/915 rendelet, 2023). Júliusban a rendelet kadmiummal kapcsolatos, felső határértékeit tartalmazó mellékletén változtattak, de ez a változás csak bizonyos növényekre és gombafajokra vonatkozik (EU Bizottság 2023/1510 rendelet, 2023). Ez alapján az érvényben lévő 2023/915 EU bizottsági rendelet alapján a halhús esetében az ólomhoz 0,3 mg/kg, a kadmiumhoz 0,05 mg/kg és a higanyhoz 0,5 mg/kg (alap eset, fajonként változó) felső határérték tartozik. Hashim és munkatársai (2014) publikációjukban feltüntették, hogy a WHO a nikkel beviteli mennyiségének felső határértékét 0,5-0,6 mg/kg mennyiségre szabta meg 1985-ben.

2.9. Minták előkészítése

A minták előkészítésekor minden esetben szükség van szitákra, mert el kell különíteni a nagyobb közetdarabokat, szemcséket, növényi részeket és az esetleges nagyobb élőlényeket a vizsgálni kívánt frakciótól. Az utóbbiak elválasztását kézzel is el lehet végezni (Simpson et al., 2005).

Az üledékminták feltárása történhet salétromsav, hidrogén-fluorid és sósav alkalmazásával, hőközlés mellett. Ez a módszer az úgynevezett összes elemtartalom mérésére alkalmas (Simpson et al., 2005). Fontos azokban kiemelni, hogy olyan előkészítési módszerek esetében, amelyekben nem használnak hidrogén-fluoridot, azoknál a feltárás során nem történik meg a szilikátok elroncsolása. Ilyen esetekben az úgynevezett „összes savoldható/visszanyerhető fémeket” határozzuk meg összes fémtartalomként. (SW-846 VI, 2018)

A homogenizált üledékmintából 0,001-0,500 g közötti mennyiséget kell bemérni mikrohullámú roncsolás esetén (USEPA 3051A Method, 2007). A nagyobb, kiemelkedően magas szervesanyag-tartalommal rendelkező minták esetében érdemes inkább kevesebbet bemérni a mintából (Záray, 2016).

Hasim és munkatársai (2014) a halminták előkészítésekor nedves úton történő roncsolást alkalmaztak szintén, azonban ők az atomabszorpciós spektrometriai mérési módszernek megfelelően végezték el az előkészítést, annak megfelelően 5 g mintamennyiségeken. Ők a szárított mintákat kezdték el roncsolni, azonban a munkájukhoz salétromsavat, kénsavat és hidrogén-peroxidot alkalmaztak. A dolgozatban szereplő vizsgálatok esetében is salétromsav és hidrogén-peroxid lett alkalmazva, megállapítható tehát, hogy a minták nedves úton lettek roncsolva. Kovács és munkatársainak (2021) publikációjában szerepel, hogy a hidrogén-peroxid és salétromsav alkalmazása a mikrohullámú roncsolás esetében megfelel az MSZ 21470-50 számú magyar szabványnak.

A reakciók fokozásának érdekében történő hőközlés történhet mikrohullámú roncsolóval (Simpson et al., 2005; USEPA 3051A Method, 2007) vagy például melegítőlapon (Hasim et al., 2014).

2.9.1. Mikrohullámú roncsolás

A minták CEM MARS 5 típusú zárt, mikrohullámú roncsolóberendezésben lettek elroncsolva. A roncsolóberendezések 2,45 GHz-n üzemelnek, bennük a mikrohullámot magnetron állítja elő. A keletkező hullámok a dipólusos momentummal rendelkező molekulákat megrezegtetik, illetve forgatják, amely hatására a roncsolni kívánt anyagban hő keletkezik. Annak érdekében, hogy a mintáknál egyenletes felmelegítés legyen megvalósítható, a teflon roncsolóedényeket

egy forgótálcára lehet behelyezni. Ezen felül a berendezésbe hullámszórót is beépítettek, amely az előállított mikrohullámot tereli és szórja, így fokozva az egyenletességet. Maga a roncsoló belső fém felülete is segít a mikrohullámok további szórásában azzal, hogy reflektálja őket. Az alkalmazott berendezésben a roncsoló edények teflonból készültek, amelyek mind a kémiai, mind pedig a fizikai extrém terhelésnek is kiválóan ellenállnak. A berendezéssel különböző paraméterek alapján végezhető el a roncsolás, amelynek végén a roncsoló le is hűti a mintákat. A lehűlt roncsolóedényeket elszívófülke alatt kell kinyitni (Chew et al., 2023; Záray, 2016). A módszert sokan alkalmazzák, mert gyors, használatával jelentősen lerövidíthető az előkészítés ideje, illetve kevesebb roncsolószerre van hozzá szükség (Chew et al., 2023; Záray, 2016). A kevesebb vegyszerfelhasználás miatt egyfajta költségminimalizáló előny is hozzátársítható (Shi et al., 2024).

2.10. Elemtartalom meghatározása nagyműszeres módszerrel

Elemanalízis során atomspektroszkópiás vagy tömegspektrometriás elven működő berendezés alkalmazható. A szakirodalom az atomspektroszkópiai módszereket három csoportra osztja fel: atomemissziós módszerekre, atomabszorpciós módszerekre, illetve atomfluoreszcenciás módszerekre (Bezúr, 2017; Kovács & Csapó, 2015). Hasim és munkatársai (2014) például a halmintákban lévő nikkel-, ólom-, és kadmiumtartalmat az atomabszorpciós módszerek közé sorolható, grafitkemencés atomabszorpciós spektrometriával határozták meg.

Simpson és munkatársai (2005) szerint a kétezres évek elején a legkedvezőbben alkalmazható módszer az atomemissziós módszerek közé tartozó induktív csatolású plazma atomemissziós spektrometria, illetve a szintén induktív csatolású plazma tömegspektrometriás mérési technika volt. Az utóbbi azonban különleges esetnek számít. A tömeg/töltésen (m/z) alapuló mérési elve eltérő, azonban az egyre népszerűbb, rutinszerű vizsgálatokra való alkalmazása miatt érdemesnek vélik egy témakörben tárgyalni az atomspektroszkópiás módszerekkel (Bezúr, 2017; Kovács & Csapó, 2015).

Ezeket felül a feltárt mintákat számos, különböző elemanalitikai módszerekkel vizsgálhatjuk még meg, közöttük azonban jelentős különbségek vannak. Mindegyiknek megvan a maga előnye és hátránya. A megfelelő mérési technika kiválasztásakor fontos figyelembe venni a vizsgált mátrixban várható anyagok koncentrációját, az egyes módszerek kimutatási határát, az egységnyi idő alatt meghatározható elemek és a vizsgálandó minták számát, illetve üzemeltetési és beruházási költségüket (Bezúr, 2017).

Bezúr (2017) írásában egy táblázatba foglalta a láng atomabszorpciós spektrometriás, a grafitkemence atomabszorpciós spektrometriás, az induktív csatolású plazma optikai emissziós

spektrometriás (radiális és axiális leképzés esetén) és az induktív csatolású plazma tömegspektrometriás módszerek kimutatási határait ppb koncentrációban, amelyek optimális üzemeltetés mellett tudják ezt a teljesítményt nyújtani. Táblázata alapján az induktív csatolású plazma tömegspektrométerrel lehet a legkisebb koncentrációban kimutatni a meghatározni kívánt elemeket.

2.10.1. Induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométer (ICP-OES)

Az induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométer az atomspektroszkópiai módszereken belül az atomemissziós módszerek közé sorolható, illetve a nagyműszeres analitikai berendezésekhez csoportosítható. Jelenleg az egyik legmodernebb technikai megoldás. Kovács és Csapó (2015) szerint a kereskedelmi forgalomban elsőként 1974-ben vált beszerezhetővé. Rövid idő alatt, összesen körülbelül 70-80 elem határozható meg vele szimultán vagy szekvenciális módon (Bezúr, 2017; SW-846 VI, 2018). A berendezéssel valamilyen előkészítési technikán átesett, folyékony fázisba juttatott minták elemtartalma határozható meg. Ezzel a műszerrel csak a megfelelő tisztaságú mintamátrixok vizsgálhatók, így például a különböző vízmintákat leszűrjük hozzá. A komplexebb mintamátrixok esetében valamilyen savas feltárást kell alkalmazni a mérés előtt (Bezúr, 2017; USEPA 6010D Method, 2018).

Az oldatba juttatott minták felszívása háromcsatornás perisztaltikus pumpával történik meg, koncentrikus porlasztóval beporlasztásra kerülnek, aeroszolként jutnak tovább a torch felé. A porlasztó és az égőfej között még azonban a porlasztott mintának át kell haladnia a ködkamrán is. Ez a porlasztókamra segít a megfelelő méretű, apró, porlasztott részek leválasztásában. Szakirodalom szerint csak a 10 μm -nél kisebb cseppeket engedheti tovább az égőfejhez, ahol a műszerbe bejuttatott minták komponenseinek atomizációja, ionizációja történik meg (http10; http11; Kovács & Csapó, 2015; SW-846 VI, 2018; USEPA 6010D Method, 2018).

A Velmer Fassel által kifejlesztett égőfej három koncentrikus kvarccsőből épül fel. A legbelső csőben áramlik a beporlasztott minta és az argon vivőgáz. A körülötte elhelyezkedő csőben áramlik a plazmát tápláló, stabilizáló segédgáz, ami szintén argon. A legkülső csőben áramló argongáz az égőfej hűtéséért felel, illetve szintén táplálja az égést. A megfelelő gázárammal lehet elkerülni azt, hogy a magas hőmérsékletű plazma esetlegesen megolvassza a sokkal alacsonyabb olvadáspontú kvarccsöveket (Bezúr, 2017; http11; Kovács & Csapó, 2015).

Az argonplazma előállításához szükséges energiáért az indukciós tekercs, a szikraegység és a rádiófrekvenciás generátor felel. Gyártói adatok alapján (http11) a generátor vízhűtésű, 40,68 MHz-en üzemel. Az előállított plazma elérheti az akár 10 000 K hőmérsékletet is. Maga az

analitikai, megfigyelési zóna azonban ennél alacsonyabb hőmérsékletű, Bezúr (2017) szerint 6000-8000 K lehet. A keletkező égéstermék a berendezéshez csatlakoztatott kéményen keresztül lehet elvezetni. A dolgozathoz alkalmazott berendezésben a teljesen bontható torch függőleges irányban helyezkedik el, a plazma oldal irányú (radiális) megfigyelése, leképezése az optikai egység (tükrök) segítségével történik. A Czerny-Turner típusú monokromátorba jutott fény spektrális felbontásáért a holografikus rács felel. A fénysugár intenzitását a Peltier hűtésű, szilárdtest CCD detektor érzékeli és alakítja át elektromos jellé (Bezúr, 2017; [http11](http://11); Kovács & Csapó, 2015). A meghatározni kívánt anyagok termikus úton kerülnek gerjesztett állapotba egy bizonyos energiamennyiség felvételével. Az alap állapotba való visszatérésük során ezt a többletenergiát fotonok formájában bocsátják ki (USEPA 6010D Method, 2018). Ezt az elemspecifikus, emittált spektrumot elemezzük, ebből lehet következtetni a mintában lévő fémtartalomra (Bezúr, 2017).

3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

3.1. A mintavétel

A terepi munka előtt mintavételi terv készült. A helyszínnel kapcsolatos ismeretek alapján összegzésre került benne, hogy milyen mintavételi eszközökre van szükség a terepi munkához. Összegzésre került a mintavétel célja, illetve a szükséges mintamennyiség és az, hogy a mintamátrixokból milyen komponensek lesznek meghatározva a laboratóriumi vizsgálatok során. A feladathoz összegyűjtöttem az összes kézi vázlatot és térképet, amelyet még az előző téma során készítettem, hogy be tudjam határolni a mintavételi pontokat.

2023. szeptember 9-én, délelőtt került sor az üledék- és halminták begyűjtésére. A levegő hőmérséklete 26-29 °C között változott, szélcsendes, napos idő volt. A víz színe áttetsző volt. A vízfelszínen erőteljes hullámozás nem volt tapasztalható. Ebben az időszakban is, a tapasztalataim alapján a vegetáció a part közelében változatos. Főként fehér akácos (*Robinia pseudoacacia*) területek jellemzők, amelyekbe fekete nyárfás (*Populus nigra*) facsoportok ékelődtek. Számos olyan növényfajta telepedett meg, amelyekből csak egy-két képviselőjünkkel találkozhatunk, ilyen például a vadrózsa (*Rosa canina*) és a házi alma (*Malus domestica*). A mezei területeken, illetve a partfalakon a Poaceae család számos tagja képviselteti magát, mint például a csillagpázsit (*Cynodon dactylon*) és a pirók ujjasmuhar (*Digitaria sanguinalis*). A tó északkeleti oldalán, a területen megtalálható növények közül a kedvencem igencsak kiterjedt foltban található meg: mezei kakukkfű (*Thymus serpyllum*). A tóban és közvetlenül annak partján közönséges nádcsoportok (*Phragmites australis*) találhatók meg.

Az üledékből tizenhárom ponton, legalább 50 ml-es mennyiségben vettem mintát a parttól körülbelül 1,5-2 m-es távolságból.

A mintavételhez a következő eszközöket vittem magammal:

- térkép a 2021-es mintavételi pontokról
- füzet és íróeszköz, hogy a mintavétellel kapcsolatos megjegyzések felírásához
- alkoholos filc a minták feliratozásához
- teleszkópos nyéllel felszerelt mintavevő kanál
- műanyag kanál az üledék könnyebb eltávolításáért a mintavevőből
- csavaros kupakú, polietilén mintatartó poharak
- vödör és zacskó a halmintákhoz
- papírdoboz az üledékminták összegyűjtéséhez
- gumicsizma a nehezen megközelíthető mintavételi pontokhoz.

A mintavételhez szükséges eszközöket az 1. képen látható csomagként vittem ki.

1. kép Mintavételi felszerelés

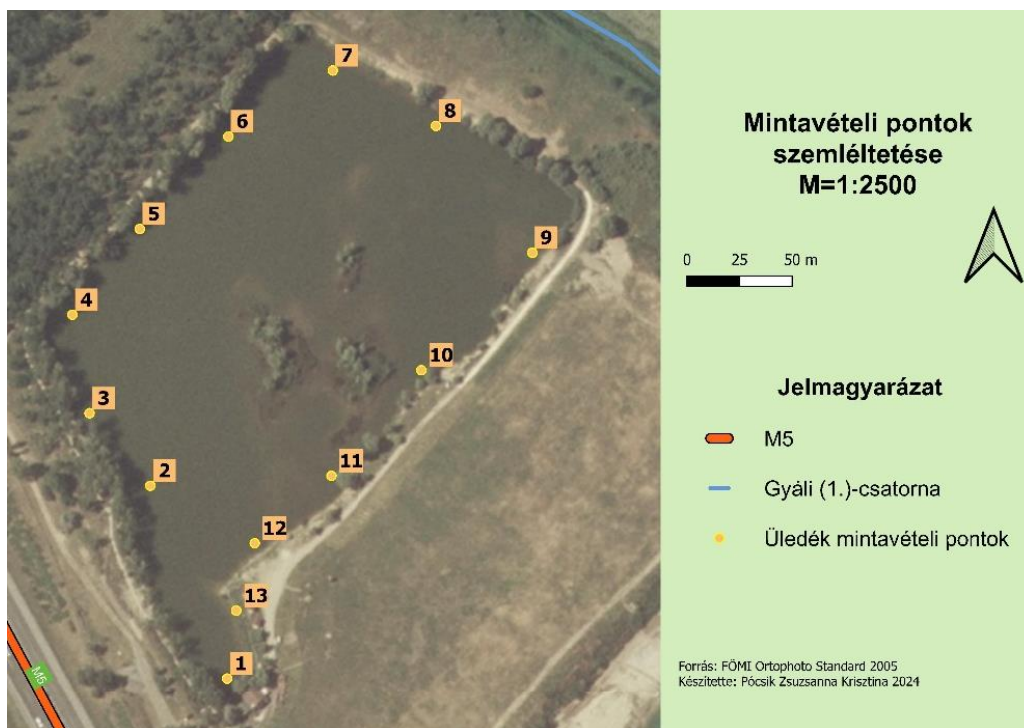
(Forrás: Saját fénykép, Gyál 2023)



A terepi munka során a szakdolgozatom vizsgálataihoz kapcsolódó mintavételi pontoknál gyűjtöttem be az üledékmintákat. Az akkori mintavételi helyszíneket szemléltető térkép a dolgozat mellékletében található 2. ábra mutatja be. Voltak azonban olyan partszakaszok, ahol a tó mélységéből, illetve a nádas helyzetéből adódóan nem tudtam üledékmintát venni, ilyenkor a lehető legközelebbi pontból gyűjtöttem be azokat. Az üledékmintavételi pontok elhelyezkedését a 3. ábra mutatja be.

3. ábra Üledék mintavételi pontok

(Forrás: Saját szerkesztés QGIS-el, FÖMI Ortophoto 2005 alapra, 2024)



A teleszkópos nyelű, kanalas mintavevővel történő merítéses mintázást a 2. kép szemlélteti.

2. kép Mintavétel

(Forrás: Saját fénykép, Gyál 2023)



Az erőteljesen kavicsos, sóderes mederanyag nagyban megnehezítette a munkát, több olyan szakasz is volt, ahonnan csak többszöri merítésre tudtam a megfelelő mennyiségű mintát összegyűjteni. Minden esetben a mintavevő kanálból a lehető legnagyobb mennyiségű vizet leöntöttem, majd a mintatartó pohárba töltöttem az üledékesebb, szemcsésebb részt. A mintavevő edény alján visszamaradó üledékrészt műanyag kanállal tudtam a mintatartóba adagolni. Néhány percig állni hagytam a mintát, hogy ülepedni tudjon. Az így kialakult, tisztább felső fázist szükség esetén leöntöttem a mintáról és az azonos mintavételi pontból újabb adag iszaposabb részt adagoltam hozzá. Lezártam a tégelyt, a kupakon és a pohár oldalán számoztam. A mintavétel során azt tapasztaltam, hogy a minták színe és textúrája jelentősen eltért egyes esetekben egymástól, amelyet a 3. számú kép szemléltet.

3. kép Üledékminták változatosságát szemléltető kép

(Forrás: Saját fénykép, Gyál 2023)



Az üledék mintázásának végére a területen jelenlévő horgászok segítségével két darab halat kaptam a vizsgálatokhoz, egy szélhajtó kűszt (*Alburnus alburnus*) és egy pontyot (*Cyprinus carpio*) (Pénzes, 1975). Otthon a két halat mintarészekre bontottam. Kizárólag kerámia kést és műanyag vágódeszkát alkalmaztam, hogy ne érintkezzenek a minták fém eszközökkel. A kűsz esetében, annak kis méretéből adódóan a hús és a négy lemezből álló kopolytű képezi a

mintákat. A ponty esetében hús-, zsír-, máj- és ikramintát gyűjtöttem össze. A mintákat műanyag, csavaros kupakú mintatartó téglékbe tettem és feliratoztam őket. Az előkészítésig a mélyhűtőben voltak tárolva.

3.2. Minták előkészítése a méréshez

A nagyműszeres méréseket általában minden esetben valamilyen egy vagy több lépésből álló mintaelőkészítési folyamat előzi meg. Jelen alkalommal is erre volt szükség, mert induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel folyékony halmazállapotú minták elemtartalma határozható meg. Ahhoz, hogy az üledék- és halminták potenciálisan toxikus elemtartalma vizsgálható legyen, ahhoz az alábbiakban bemutatásra kerülő előkészítési lépések, nedves úton történő roncsolási technika lett alkalmazva. A mikrohullámú roncsolóberendezéssel, egy method lefuttatásával, egy körben lett előkészítve mind a két típusú mintamátrix.

3.2.1. Üledékminták előkészítése

A terepi munka során begyűjtött üledékminták a MEMMERT UF 30 típusú szárítószekrényben 105°C-on tömegállandóságig lettek szárítva. A szárított mintákból kézzel kerültek eltávolításra a nagyobb kavicsok, csipesszel pedig az el nem bomlott növényi részek. A durvább szemcséktől 0,2 mm lyukátmérőjű szita segítségével leválasztásra került a finomabb frakció. A papírlapra átszítált rész mozsárral lett homogenizálva. Minden használat előtt elmostam a mozsarat csapvízzel, majd át öblítettem desztilláltvízzel is és szárazra töröltem papírtörülővel. Ezzel a módszerrel minden finom szemcse eltávolításra került a mozsárból, így kiküszöbölve azt, hogy keresztszennyezés történjen. A homogenizált minták a megfelelő mintakóddal ellátott polietilén tasakokba kerültek.

Műanyag vegyszerkanállal a mintákból 0,1-0,5 g közötti mennyiségek lettek bemérve az OHAUS AX 224/E típusú analitikai mérlegen az X-Prep típusú teflonedényekbe. A pontos mennyiségeket, illetve a rotor egyes pozícióiban szereplő minták megnevezését a dolgozat mellékletében szereplő 4. ábrán látható, 0071-es számú roncsolási naplóba jegyeztem fel. A roncsolóedényekbe bemért mintákhoz diszpenzerrel 5 ml 65 m/m%-os salétomsav és 2 ml 30 m/m%-os hidrogén-peroxid lett hozzáadagolva az elszívófülke alatt. A roncsolószerek hatására sárgás színű pezsgés és hőképződés mellett erőteljes sárgás, rozsdabarnás gázképződés volt tapasztalható. Adagolás közben az edényeket enyhén oldal irányba kellett mozgatni, hogy a roncsolószerek a teljes mintamennyiséget könnyebben átjárják. Ezt követően lehúzott fülkeajtó alatt néhány percig pihentetve voltak a minták addig, amíg alább hagyott a heves pezsgés és

gázképződés. Az edény falára esetlegesen feltapadt szemcsék a MILLI-Q DIRECT 16 által előállított, nagytisztaságú, HPLC minőségű vízzel lettek leöblítve. A vizes flaskán szűkítő volt, így éppen csak annyi víz került az edényekbe, amennyi az elektrosztatikusan feltapadt szemcséket a mintába mosta. A roncsolóedények teflonkupakkal, megfelelő nyomatékkal lettek lezárva. A roncsoló edényzete és a lezáró eszköz a 4. képen láthatók.

4. kép Teflonedények és a lezáráshoz szükséges eszköz
(Forrás: Saját fényképek, Gödöllő 2023)



A teflonedények külső része papírtörölővel lett áttörölve, majd az 5. képen látható CEM Mars Xpress típusú fenékfedél lemez rotorba kerültek behelyezésre (17-40-es számú pozíciókba). Ez a mikrohullámú roncsoló működésének szempontjából fontos lépés, mert az edényzet aljánál, infravörös érzékelő méri bennük a hőmérsékletet. Abban az esetben, ha nem tiszta az edények felülete, akkor a szenzor fals értéket észlelhet és túlfűtheti a rendszert, ami a rotor sérülésével és akár az edény felrobbanásával is járhat. (Horváth szóbeli közlés, 2023)

5. kép A roncsolóba behelyezett rotor
(Forrás: Saját fénykép, Gödöllő 2023)



A minták roncsolása a 6. képen látható CEM MARS 5 típusú mikrohullámú roncsolóval lett elvégezve. A berendezést a főkapcsolójával áram alá kellett helyezni, majd behelyezésre került a mintákat tartalmazó rotor és az Üledék 24-Xpress elnevezésű method lett elindítva rajta. A gép felfűtési ideje (Ramptime) húsz percig tartott. Ekkor a berendezés 800 W-on üzemelt, 170°C-ra fűtötte fel a rendszert. Ezt a hőfokot szintén húsz percig tartotta, majd ezt követően a roncsolási program a visszahűtési szakasszal zárult, amely körülbelül tíz percig tartott (Horváth szóbeli közlés, 2021, 2023).

6. kép CEM MARS 5 mikrohullámú roncsolóberendezés
(Forrás: Saját fénykép, Gödöllő 2021)



A roncsolási folyamat alatt lettek bekészítve az elszívófülkébe a szükséges mennyiségű 25 ml-es mérőlombikok, amelyekbe egy-egy műanyag tölcser és szűrőpapír volt behelyezve a 7. képen látható módon. Üledékvizsgálatkor célszerű valamilyen szűrési technikát alkalmazni, jelen esetben a felhasznált roncsolószerek miatt, mert azok nem képesek a szilikát szemcsék elroncsolására. A visszamaradó finom szemcséket el kell távolítani a vizsgálandó, már folyadék halmazállapotú mintákból, mert a mérés során a műszer eltömődését, károsodását okozhatják (SW-846 VI, 2018; Horváth szóbeli közlés, 2023).

7. kép A roncsolt minták leszűrése 25 ml-es lombikokba
(Forrás: Saját fénykép, Gödöllő 2023)



A lehűlt minták a szűrőpapírra lettek öntve. Miután a teljes adag a lombikokba csepegett, a szűrőlapok nagytisztaságú vízzel lettek átöblítve, majd csipesszel eltávolításra kerültek a tölcsérből. A használt tölcsérek a megfelelő gyűjtőedénybe kerültek elhelyezésre. A szűrt mintákat tartalmazó lombikok jelre töltése nagytisztaságú vízzel történt meg, majd a teflon dugókkal lefedett minták homogenizálásra kerültek. A mérőlombikok tartalma Fiserbrand típusú, 15 ml-es, feliratozott centrifugacsövekbe lett áttöltve. A minták a mérésig hűtőszekrényben voltak tárolva.

3.2.2. Halminták előkészítése

A halmintákat az előkészítésig fagyaszttva tároltam, kiolvasztásukra a laboratóriumban került sor. A halrészek előkészítése nagymértékben azonos módon történt az üledékminták előkészítésével, azonban a halminták nem estek át szárítási, darálási vagy zúzási munkafolyamatokon.

A mintákból kerámia késsel vagy műanyag kanállal választottam le kisebb darabokat egy műanyag vágódeszkán. Minden minta között a deszkát és a kést leöblítettem és szárazra töröltem, hogy ne következhesen be keresztszennyezés. Analitikai mérlegen 0,2-0,4 g került belőlük bemérésre a mikrohullámú roncsoló teflon edényeibe. Egyedül a kűsz kopolyúmintájának esetében volt kevesebb a mintamennyiség a vártnál. A kicsi testméretből adódóan, a teljes kopolyúmmennyiség felhasználásával is kevesebb, mint 0,1 g lett bemérve.

Mindegyik mintához diszpenzerekkel lett hozzáadagolva 5 ml 65 m/m%-os salétromsav és 2 ml 30 m/m%-os hidrogén-peroxid. Az edények le lettek zárva a megfelelő nyomatékkal, majd a külső felületük áttörlését követően a rotorba kerültek az üledékminták mellé, ebből adódóan a roncsolón elindított program azonos az előző fejezetben bemutatott method-al. Az elroncsolt minták szintén szűrve voltak a 25 ml-es mérőlombikokba, jelre töltésük nagytisztaságú vízzel történt meg, majd mindegyik homogenizálva lett. Az előre feliratozott centrifugacsövekbe áttöltve, az üledékmintákkal együtt voltak tárolva a laboratórium hűtőjében a mérésig.

3.3. Nagyműszeres mérés

A minták összes elemtartalma a 8. képen látható HORIBA Jobin Yvon ACTIVA-M típusú, induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel lett meghatározva a Témavezetőm segítségével. A centrifugacsövekben lévő roncsolt minták a műszer mintatartójába (Rack) lettek helyezve. A műszer mintaváltóval dolgozik, így első lépésben meg kell határozni a berendezés szoftverében, hogy a minták és a mérőgörbe felvételéhez szükséges oldatok pontosan melyik pozícióban találhatók. Második lépésben a mérendő komponenseket kellett betáplálni, illetve

azt, hogy a mérőgörbéhez szükséges oldatokat és a mintákat hányszor mérje meg. A mérőgörbe felvétele az ICP multi-element standard solution IV tanúsított anyagmintából lett elvégezve, amely 23 elemet tartalmaz 1000 mg/l-es koncentrációban.

A szekvencia tulajdonképpen három főbb folyamatból áll. A berendezés először a Peak Search lépésben megkereste a kiválasztott elemek hullámhosszait, amelyeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat A vizsgált elemek és hullámhosszuk
(Forrás: Saját szerkesztés, 2024)

Elemek és hullámhosszaik [nm]	
Cd	228.802
Co	228.615
Cr	205.571
Cu	324.754
Fe	240.489
Ni	231.604
Pb	220.353
Zn	213.857

A második fázisban a kalibráló oldatokat egymás után háromszor mérte meg a műszer a fentiekben feltüntetett hullámhosszokon, ezután következett a harmadik főbb folyamat: a minták mérése. A berendezés ekkor minden elemre kétszer mért.

A mérés során a plazma paraméterei a következők voltak: 1300 W, 16 l/perces argon plazmagázáram, 0,4 l/perc a burkoló gázáram, az auxiális gáz kikapcsolt állapotban. A minták Meinhard-féle koncentrikus porlasztón keresztül jutottak a ciklon típusú ködkamrába, majd a torc-hoz. A porlasztónyomás 2,86 bar volt (Horváth szóbeli közlés, 2024).

A szekvencia állapota folyamatosan nyomonkövethető egy számítógépes szoftveren. A vizsgálati eredmények egy Excel táblázatba kerültek exportálásra, mentésre a kiértékeléshez.

8. kép HORIBA Jobin Yvon Activa-M
(Forrás: Saját fénykép, Gödöllő 2021)



4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A mérési eredményeket a műszer mg/l mértékegységben adta meg. Az összes minta esetében át kellett számítani a vizsgálati eredményeket mg/kg mértékegységre vonatkoztatva, hogy meg lehessen állapítani az eredeti minták elemtartalmát. A számítás menete minden minta esetében azonos. Ebből adódóan a dolgozatomban csak az 1. számú üledékminta réztartalmának számolási menetét mutatom be.

$$(0,166 \cdot 25) / 1000 = 0,004$$

$$(0,004 \cdot 1000) / 0,3026 = 13,7$$

Kiszámoltam először, hogy a 25 ml roncsolt minta réztartalma 0,004 mg. Ez a roncsoláskor bemért, szilárd minta tömegére (jelen esetben ez a mennyiség 0,3026 g) átszámítva 13,7 mg/kg.

4.1. Üledékminták elemtartalmának vizsgálati eredményei

A tizenhárom üledékminta ICP-OES-el mért eredményeit a 9. táblázat tartalmazza, amely a mellékletek között található meg. A szárazanyagra vonatkoztatott, számított vizsgálati eredményeket az alábbi, 2. táblázat szemlélteti.

A vizsgált elemek közül (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) csak a réz, a vas és a cink szerepelt kimutatási határ feletti mennyiségben a mintákban.

2. táblázat Üledékminták vizsgálati eredményei
(Forrás: Saját szerkesztés)

Üledékminták vizsgálati eredményei [mg/kg]													
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Cu	13,7	9,5	15,7	3,7	16,0	16,4	12,9	16,6	10,1	6,22	6,26	20,0	3,3
Fe	11167	2624	3313	3682	1982	4118	4368	3747	5101	6882	8283	5724	4136
Zn	68,3	6,0	9,0	15,5	7,4	29,1	9,8	8,5	13,2	18,2	23,0	13,5	13,8

A vizsgálati eredmények alapján az üledék összes elemtartalmát átlagosan 18,1 mg/kg cink, 11,6 mg/kg réz és 5010 mg/kg vas képezi. Ez alapján az átlag feletti mennyiségben tartalmaz cinket az 1., a 6., a 10. és a 11. üledékminták. A réz esetében az átlag feletti koncentráció hét darab mintavételi pont esetében figyelhető meg: 1.; 3.; 5.-8. és 12. sorszámú minták tartoznak ide. A vas esetében az 1. és a 9.-12. mintavételi pontokra jellemző az átlag feletti vaskoncentráció. Ezen eltérések szemléltetéséhez készült el az 5. és a 6. ábra, amelyek a dolgozat mellékletében találhatók meg. Az értékek mediánja a következő: cink esetén 12,9 mg/kg, réz esetében 13,5 mg/kg, a vas esetében pedig 4136,4 mg/kg.

Az 1. számú üledékminta az egyetlen, amelyben az összes kimutatott elem a mérési eredmények átlaga feletti koncentrációban szerepel.

4.2. Halminták elemtartalmának vizsgálati eredményei

A roncsolt minták ICP-OES-el mért eredményeit a dolgozat mellékletében szereplő, 10. és 11. táblázat szemlélteti. Az eredeti mintára átszámított vizsgálati eredmények a 3., a 4. és az 5. táblázatokban szerepelnek. A halak ikrája, zsírja, mája, izomzata és kopoltyúja került bevizsgálásra. A vizsgált területről származó halminták, illetve a bolti hal részei szintén cinket, rezet és vasat tartalmaztak kimutatható mennyiségben a vizsgált komponensekből (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn). A bolti és a tavi ponty azonos részeiben kimutatott elemtartalom koncentrációbéli különbségének szemléltetésére a dolgozat mellékletében megtalálható 7. ábrát készítettem el.

4.2.1. A bolti, referencia halminta vizsgálati eredményei

Referencia mintaként egy bevásárlóközpontban vásároltam egy körülbelül két kg-os, élő pontyot. Mivel ez az egyed már bekerült egy üzletközpontba, így feltételezhető, hogy mindennemű előírásnak megfelelő tenyésztőtől származik, illetve az üzletközpont is a szükséges minőségi paramétereknek megfelelő közegben tárolta az értékesítés pillanatáig. Ebből adódóan kiváló referenciaként szolgál a horgásztavi halminták vizsgálatához. A mg/kg értékre megadott vizsgálati eredményeket a 3. számú, alábbi táblázat mutatja be.

3. táblázat A referencia ponty részeinek vizsgálati eredményei
(Forrás: Saját szerkesztés)

Ponty részeinek vizsgálati eredményei [mg/kg]					
	Ikra	Zsír	Máj	Hasi izomzat	Kopoltyú
Cu	2,35	2,7	2,1	16,0	2,39
Fe	32,1	14,3	166,5	10,1	45,8
Zn	32,5	11,2	237,1	4,0	115,3

4.2.2. A horgásztóból származó halminták vizsgálati eredményei

A horgásztóból származó minták esetében egy szélhajtó kűsz és egy ponty részei kerültek bevizsgálásra. A különböző minták mérési eredményei a 4. és az 5. táblázatokban kerülnek bemutatásra.

4. táblázat A vizsgált tóból származó ponty részeinek vizsgálati eredményei
(Forrás: Saját szerkesztés)

Ponty részeinek vizsgálati eredményei [mg/kg]				
	Ikra	Zsír	Máj	Hasi izomzat
Cu	27,5	3,4	4,2	28,7
Fe	34,7	12,2	93,1	12,1
Zn	40,0	14,2	93,3	9,4

5. táblázat A vizsgált tóból származó kűsz részeinek vizsgálati eredményei
(Forrás: Saját szerkesztés)

Kűsz részeinek vizsgálati eredményei [mg/kg]		
	Kopoltyú	Hasi izomzat
Cu	8,8	15,4
Fe	74,9	20,0
Zn	126,4	16,6

4.3. A területen végzett korábbi vizsgálatok

Annak érdekében, hogy átfogóbb kép alakuljon ki a területet érő fémterhelésről, célszerű a korábbi vizsgálatok eredményeiket is bemutatni, amelyek 2021-ben lettek elvégezve a szakdolgozatomhoz. Akkor a víz, a növényekre kiülepedő por és a tóban kialakult biofilm került bevizsgálásra. A mintákból szintén a potenciálisan toxikus elemtartalom vizsgálata történt meg ICP-OES segítségével.

4.3.1. Vízmintákban mért elemtartalom

A vízmintákból cink (Zn), foszfor (P), kadmium (Cd), kalcium (Ca), kálium (K), króm (Cr), magnézium (Mg), mangán (Mn), nátrium (Na), nikkel (Ni), ólom (Pb), réz (Cu) és vas (Fe) mennyisége került meghatározásra. A minták a 6. táblázatban szereplő elemekből tartalmaztak kimutatási határ feletti mennyiséget. Megállapításra került, hogy ez az elemtartalom feltehetően természetes eredetű.

6. táblázat A vízminták vizsgálati eredményei
(Forrás: Saját szerkesztés a 2021-es eredmények alapján)

Vízminták vizsgálati eredményei [mg/L]				
	Ca	K	Mg	Na
1.	107,8	0,75	50,77	12,2
2.	107,7	0,75	50,83	11,7
3.	108,3	0,70	50,68	11,2
4.	111,2	0,71	51,22	11,4
5.	113,2	0,71	51,76	11,2
6.	113,7	0,71	51,88	11,4
7.	112,4	0,71	51,05	11,3
8.	111,0	0,70	50,65	11,2
9.	111,7	0,71	50,67	11,1
10.	111,4	0,70	50,41	11,1
11.	106,9	0,71	48,91	10,9

4.3.2. Növényekre kiülepedett por elemtartalma

A levelekre kiülepedett por elemtartalmának meghatározása a mosott, illetve mosatlan szárított növényi mintákban mért értékek különbsége alapján történt. A nagy mennyiségű adat miatt az ICP-OES által mért értékeket nem szerepeltetem a dolgozatban, illetve a mosott és a mosatlan minták konkrét eredményeit sem, csak a kettejük különbségét, hiszen az adja a por elemtartalmára vonatkozó, lényeges információt. A dolgozat 7. táblázatában, a fejezet elején említett módon kiszámított, a felhalmozódott porra vonatkozó eredmények kerülnek szemléltetésre.

7. táblázat Kiülepedett por vizsgálati eredményei
(Forrás: Saját szerkesztés, 2021-es eredmények alapján)

Növények levelein felhalmozódott porminták vizsgálati eredményei [mg/kg]														
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	út 1	út 2	út 3
Co	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	0,2	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.
Cr	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	0,05	0,3	0,5	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	0,3
Cu	1,3	0,8	0,3	0,4	1	1,9	2,1	1,7	0,6	0,6	0,6	0,9	2,2	0,5
Fe	3,9	12,3	6,2	5,6	6,5	15,9	43	1,1	7,4	8,8	26	28,4	39,9	101,9
Ni	0,5	1	0,3	0,1	0,8	1,1	0,5	0,4	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	0,5	0,8	0,2
Zn	0,5	2,2	2,8	2	2,3	2,7	35,4	39,1	22,6	2,4	7,8	0,7	3,1	2,2

A táblázatban azokon a helyeken, ahol a minták kimutatási határ alatti mennyiségben tartalmazzák a vizsgált elemeket, ott a k.h.a. rövidítés szerepel. A vizsgált elemek közül kadmium és ólom nem szerepelt kimutatási határ feletti koncentrációban a mintákban.

A minták átlagának figyelembevételével véleményem szerint következtetni lehet arra, hogy a vizsgált területet a kiülepedő portartalmon keresztül körülbelül milyen mennyiségben éri fémterhelés. Ez a mérési eredmények alapján a következő koncentrációkat jelenti: 0,2 mg/kg kobalt, 0,3 mg/kg króm, 1,1 mg/kg réz, 21,9 mg/kg vas, 0,6 mg/kg nikkel és 9 mg/kg cink.

Ezeknél az átlagértékeknél leginkább a szervízút menti minták (út1, út 2, út 3 számú) térnek el. A vas esetében tapasztalható a legnagyobb eltérés az út 3-számú minta esetében. Ez a mintavételi pont volt legközelebb a közlekedési csomóponthoz.

4.3.3. Biofilm elemtartalma

A két biofilm minta a négyes és a tízes számú vízmintavételi pontok környezetéből származik. A minták kadmiumtartalma kimutatási határ alatt volt. A vizsgált komponenseket és azok mérési eredményeit a 8. táblázat tartalmazza.

8. táblázat Biofilm elemtartalmának vizsgálati eredményei
(Forrás: Saját szerkesztés 2021-es eredmények alapján)

Biofilm minták elemtartalma [mg/kg]		
	Biofilm 4	Biofilm 10
Co	1	0,7
Cr	5,2	5,5
Cu	4,8	4,1
Fe	4251	4187
Ni	4	3,4
Pb	1,6	0,8
Zn	15,7	14,9

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az üledékminták a vizsgált komponensek közül csak cinket, rézet és vasat tartalmaztak kimutatható koncentrációban. A vas a másik két elemhez képest jóval nagyobb mennyiségben szerepelt a mintákban. Az üledékmintákban kimutatott elemek koncentrációja a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben megszabott felső határértékének (cink esetében 200 mg/kg, réz esetében 75 mg/kg) és az 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendeletben feltüntetett határértékeknek (cink esetében 2000 mg/kg, réz esetében 2500 mg/kg) is megfelelnek, kimutatott mennyiségük a vizsgált mintákban ezeknél jóval kevesebb volt. Az összes üledékmintában a vas koncentrációja kiemelkedően magas a többi elemhez képest. A második legnagyobb koncentrációban a cink volt kimutatható. Az egyes számú üledékmintavételi pont vastartalma volt a legmagasabb, azonban a szakirodalmi 17 000 mg/kg alatti koncentráció miatt nem tekinthető toxikus mértékű szennyezésnek. A 13. számú mintavételi pontnál 2021-ben enyhébb partszakasz-rendezés történt. Ebből adódóan az onnan származó minta elemtartalmának esetében különösen érdekelt az, hogy tapasztalható-e valamilyen jelentősebb eltérés a többi üledékminta elemtartalmához képest. A vizsgálati eredmények alapján nem tapasztaltam lényegesen kiugró eltérést a többi mintavételi pontban kimutatott elemtartalommal kapcsolatban, így véleményem szerint a mintákban kimutatott cink-, réz- és vastartalom inkább természetes eredetű. A közlekedés és az ipari tevékenységek természetesen befolyásolják ezen elemek jelenlétét a mintákban (ülededés bekövetkezésével), azonban az eredmények alapján véleményem szerint ennek a mértéke nem jelentős. Ennek bizonyítékaul a korábbi vizsgálati eredmények közül először a környező növényzet levelein felhalmozódott por összes elemtartalmának vizsgálati eredményeit tudnám említeni. Ott az egyes pontok esetében kadmium, króm és nikkel is kimutatható volt. Az üledékminták azonban ezeket az elemeket nem tartalmazták kimutatható mennyiségben. Második bizonyítékként a két biofilm minta vizsgálatát tudom említeni: bennük is kimutatásra került kadmium, króm, nikkel és ólom is, ezek azonban az üledékben nem szerepeltek. Egyedül az üledékminták vastartalma állítható nagyságrendileg párhuzamba a biofilmből származó mintákban mért koncentrációval. Ezt a magasabb értéket a biofilmekben véleményem szerint a felkavarodott üledékszemesék adszorpciója okozhatja.

Ebből adódóan a porban kimutatott elemtartalom származhat a környező antropogén tevékenységekből (például közlekedés), ez azonban a tó üledékében nem halmozódott fel szignifikáns mértékben a vizsgálatok alapján.

A halmintákban a vizsgált komponensek közül csak a cink, a réz és a vas szerepelt kimutatható mennyiségben. Mind a referenciának szánt minták, mind pedig a vizsgált tóból származó mintákban kimutatott elemek koncentrációja megfelelt a 2023/915 Európai Bizottsági rendeletnek, mert egyik mintában sem volt kimutatható mennyiségű ólom és kadmium. A WHO által ajánlott napi maximális nikkelbeviteli mennyiséget sem haladta meg a minták nikkeltartalma. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált halakat nem éri nagymértékű potenciálisan toxikus fémterhelés.

A horgásztavi pontyminta esetében a különböző szövetekben a következő sorrendben halmozódott fel a cink: máj> ikra> zsír> izomzat. A küsz kis méretéből adódóan csak a kopolyú és a hasi izomzat került bevizsgálásra. A küsz kopolyúminta tartalmazta a legnagyobb koncentrációban a cinket. Összehasonlítva azonban a referencia mintával, nem tapasztalható jelentős értékbéli különbség. A referenciaminta esetében szintén a máj és a kopolyú tartalmazta a legnagyobb koncentrációban a cinket.

A horgásztavi halminta szervei a következő sorrendben tartalmaztak rézet: izomzat> ikra> máj> zsír. A vizsgált tóból származó küszminta kopolyújának réztartalma magasabb értéket mutat a referencia minta kopolyújában mértnél, hasi izomzatának rézkoncentrációja azonban a referencia érték alatt van. A vizsgált területről származó halak, illetve a referencia hal esetében is az izomzatból származó minták tartalmaztak a legnagyobb koncentrációban rézet.

A horgásztavi pontyminta különböző szöveteiben a vas mennyiségére a következő sorrend jellemző: máj> ikra> zsír> izomzat. Figyelembe véve a küszmintát, a legnagyobb mennyiségben a szövettípust nézve a kopolyú tartalmaz a második legnagyobb koncentrációban vasat. A referenciaminta szöveteit nézve a következő sorrend állítható fel a vaskoncentráció szempontjából: máj> kopolyú> ikra> zsír> izomzat. Ezeket a sorrendeket összegezve megállapítható, hogy a referenciamintához képest a vizsgált tóból származó halak nem mutatnak erőteljesen kiugró eltérést a különböző szövetekben felhalmozódott koncentrációk nagyságában.

A vizsgált területről származó pontyminta és a referenciaminta pontyminta súlya és nagyságra körülbelül megegyező volt. Izomzatukban a következő sorrendben halmozódott fel a kimutatott elemtartalom: mind a két esetben a legnagyobb koncentrációban a réz volt kimutatható, ezt követi a vas, majd a cink mennyisége. Ikramintájukban a kimutatott elemtartalom mennyiségi sorrendje a következőképpen alakult: cinkből szerepelt bennük a legtöbb, a vas mennyisége azoktól az értékektől kisség lemarad, azonban a réz mennyisége jóval kisebb koncentrációban szerepelt a többi elemhez képest. A májmintákban kimutatott elemek koncentrációja alapján a sorrend szintén a következő: cink> vas> réz. A zsírszövetek esetében megállapítható, hogy a

tavi hal zsírjának vastartalma alacsonyabb, mint a referenciamintáé, azonban a cink koncentrációja magasabb a horgásztavi halban, mint a referenciamintában. Arra a következtetésre jutottam, hogy a vizsgált területről származó ponty mérési eredményei, nem tértek el jelentősen a referenciának szánt hal részeinek vizsgálati eredményeitől, így a tó halaira az antropogén tevékenységek nincsenek nagymértékű káros hatással a vizsgált potenciálisan toxikus elemtartalom szempontjából. Azonban ehhez a megállapításhoz úgy vélem, hogy az esetlegesen táplálékukként szolgáló élő bevonat elemtartalmának vizsgálati eredményeit is célszerű szemrevételezni. A vizsgált biofilmek kialakulási és tartózkodási ideje nem ismert pontosan, azonban a bennük kimutatott elemtartalom a halakban hosszútávon felhalmozódhat a táplálkozási tevékenységük révén. A két biofilmben kimutatott kobalt, króm, nikkel és ólom jelenléte azonban halmintákban nem tapasztalható. Megállapítható, hogy az élő bevonat elfogyasztásából sem érte káros mennyiségű potenciálisan toxikus elemterhelés a tó halait.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Szakdolgozatomban a Peremvárosi Horgásztó és Pihenőpark területét érő behatásokat összegeztem, illetve az azokból származtatható potenciálisan toxikus fémterhelést vizsgáltam a területről származó víz-, biofilm- és növénytörzsek elemzésével 2021-ben. A mérési eredmények alapján további kérdések fogalmazódtak meg bennem, így folytatni kívántam a témát. Annak érdekében, hogy egy átfogóbb képet kaphassak a területet érő behatásokból származtatható potenciálisan toxikus fémterhelésről, így jelen diplomadolgozatomban témaként a tó üledékének és néhány halának egyes részeiben lévő összes elemtartalom meghatározására esett a választás. A terepi munka során az üledékből tizenhárom ponton vettem mintát. A többi egy szélhajtó kűsz és egy pontyot szolgáltatott mintaként a vizsgálatokhoz.

A begyűjtött üledékminták tömegállandóságig lettek szárítva, majd a laboratóriumban a nagyobb törmelék és kavics kézi leválasztását követően le lettek szitálva. A kapott frakció nedves úton került roncsolásra mikrohullámú hőközlés segítségével. Az így előkészített minták összes elemtartalma induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES) lett meghatározva. A vizsgált elemek közül a minták csak cinket, rézt és vasat tartalmaztak kimutatható koncentrációban. A kapott vizsgálati eredményeket összevetve a vonatkozó határértékekkel (6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet, 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet) arra a megállapításra jutottam, hogy az említett elemek nem halmozódtak fel káros mennyiségben a vizsgált területen. A korábban elemzett vízminták, a növények levelén felhalmozódott porminták és az élőbevonatból származó minták elemtartalmának vizsgálati eredményeivel összehasonlítva az üledékmintákban mért értékeket, összefüggést főként a biofilmben mért eredményekkel tudnék kiemelni. A két élőbevonatból származó mintában kimutatott vastartalom áll a legközelebb nagyságrendileg az üledékminták összes elemtartalmához, amely véleményem szerint egyértelmű bizonyíték az élőbevonat tisztító szerepére, illetve arra, hogy adszorbeálni képes bizonyos részecskéket, szemcséket a vízből. A bennük kimutatott összes elemtartalom azonban közelebb áll a levélfelületek portartalmában kimutatott elemekhez. Véleményem szerint, ebből adódóan a környező tevékenységek egyértelmű behatással vannak a területre, ez azonban nem mutat számottevő, az üledékben felhalmozódás révén kialakult, jelentős szennyezettséget.

A kűsz- és pontymintát a terepről a lehető leggyorsabban hazaszállítottam, ahol azonnal külön részekre bontottam őket. Referencia mintának vásároltam egy élő pontyot egy üzletközpontban. Ikra, zsír, máj, hasi izomzat és kopolyú mintákat különítettem el a halakból. A laboratóriumi

mintaelőkészítés pillanataig fagyasztva tároltam őket. A laboratóriumi munka során az üledékmintákkal egyidőben lettek mikrohullámú roncsolóban elroncsolva, szintén hidrogén-peroxid és salétromsav roncsolószerek alkalmazásával. A roncsolt mintákból ICP-OES-el lett meghatározva az összes elemtartalom. A vizsgált minták csak cinket, rezet és vasat tartalmaztak. Egyéb, potenciálisan toxikus elemtartalom nem került kimutatásra. Természetesen ez alapján a 2023/915 EU bizottsági rendeletben megfogalmazott króm- és ólom mennyiségével kapcsolatos felső határértékeknek is megfelelnek a vizsgált egyedek. A halminták izomszövetének vizsgálatakor az egyedek testméretének és az izomszövetben kimutatott elemtartalom közötti esetleges párhuzamot is vizsgálni kívántam. A vizsgálati eredmények nem mutattak párhuzamot a testméret és a vizsgált szövettípus elemtartalma között.

A referenciaminták és a tóból származó minták között szignifikáns eltérés nem tapasztalható a kimutatásra került elemtartalomban, ebből adódóan arra a megállapításra jutottam, hogy a vizsgált tóból származó halminták elfogyasztásával nem kerül az emberi szervezetbe káros mennyiségű, potenciálisan toxikus elemtartalom.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal „A körforgásos gazdaság megvalósíthatósága a honvédelmi tevékenységek során” című, TKP2021-NVA-22 azonosítószámú Témaerületi Kiválósági Program támogatásával valósult meg, a Körforgásos Gazdaság Elemző Központ (KGEK) vezetésével.

Hálásan köszönöm!

8. IRODALOMJEGYZÉK

- 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről. Keresés dátuma: 2023.11.28., Forrás: <https://net.jogtar.hu/getpdf?docid=a0900006.kvv&targetdate=&printTitle=6/2009.+%28IV.+14.%29+KvVM-E%C3%BCM-FVM+egy%C3%BCttes+rendelet>
- 27/2006. (II. 7.) Korm. rendelet a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméről. Mellélete: A nitrátérzékeny területek, B) rész.
- 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól. Keresés dátuma: 2023.11.28., Forrás: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/hun147212.pdf>
- 2023/915 EU bizottsági rendelet (2023): 2023. április 25-én az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeiről és az 1881/2006/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, L 119/103., Dokumentum száma: 32023R0915, Keresés dátuma: 2024.01.08., Forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0915>
- 2023/1510 EU bizottsági rendelet (2023): 2023. július 20-i az (EU) 2023/915 rendelet módosításáról a tigrisdióban és egyes kultúrgombákban található kadmium megengedett legmagasabb szintje tekintetében. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, L 184/21., Dokumentum száma: 32023R1510, Keresés dátuma: 2024.01.08., Forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32023R1510>
- Albert L., Bajnóczy G., Dombi A., Horváth O. (2011): Környezeti kémia. In: Domokos E. (szerk.): *Környezetmérnöki Tudástár*, 9. kötet (3), Veszprém: Pannon Egyetem-Környezetmérnöki intézet, 388 p., ISBN: 978-615-5044-34-2
- Armbruszt S. (2015): Élelmiszer toxikológia. In: Figler M. (szerk.): *Élelmiszer minőségbiztosítás*. Budapest: Medicina Könyvkiadó, 506 p.
- Babcsányi I., Bodor D., Sipos Gy. & Farsang A. (2019): Városi tavak környezeti állapotértékelése Szeged példáján. *Tájökológiai lapok*. 17(2), 277 – 286, Keresés dátuma: 2023.11.28., Forrás: https://publicatio.bibl.u-szeged.hu/18592/1/11_Babcsanyi_et_al.pdf
- Barati S. (szerk.) (2002): Az atmoszféra problémái. Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány, 3. kiadás, 1-12 p., Keresés dátuma: 2021.09., Forrás: https://elearning.unimate.hu/pluginfile.php/661368/mod_resource/content/1/Az%20atmoszf%C3%A9ra%20probl%C3%A9m%C3%A1i%20-%20PDF.pdf
- Bezúr L. (2017): Atomspektroszkópia., In: Pokol Gy. (szerk.) (2017): *Analitikai Kémia*., Budapest: Typorex, 222 – 323, ISBN: 978 963 279 906 3
- Bíró P., B. Muskó I., B. Szabó M., K. Kiss M., Lakatos Gy. és Specziár A. (2008): A Balaton parti övének biodiverzitása: a gerinctelen és gerinces (halak) életközösségek szerkezetének és trófikus kapcsolatainak biomonitorozása. OTKA munkabeszámoló. Keresés és letöltés dátuma: 2024.02.04., Forrás: MTA Könyvtárának Repozitóriuma, http://real.mtak.hu/704/1/42622_ZJ1.pdf
- Burt, R. (compiled and edited) & Soil Suvery Staff (2011): Soil Suvery Laboratory Information Manual. In: *Soil Suvery Investigations Report*, No. 45(2), Lincoln, Nebraska: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service., 506 p., Keresés és letöltés dátuma: 2023.12.20. [Google]
- Chew, S. K., Teoh, W. H., Hong, S. L., Yusoff, R. (2023): Rutin extraction from female *Carica papaya* Linn.

- using ultrasound and microwave-assisted extractive methods: Optimization and extraction efficiencies. *Heliyon* 9(10), DOI: [10.1016/j.heliyon.2023.e20260](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20260), Keresés dátuma: 2024.01.15., Forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023074686>
- Czóbel Sz., Horváth M., Kovács K., Saláta D., Sárospataki M., Szirmai O. & Trenyik P. (2015): Terepi vizsgálati módszerek., Gödöllő: SZIE jegyzet. 91-112 p, 127 p.
- Djedjibegovic, J., Marjanovic, A., Tahirovic, D., Caklovica, K., Turalic A., Lugusic A., Omeragic, E., Sober, M., Caklovica, F. (2020): Heavy metals in commercial fish and seafood products and risk assessment in adult population in Bosnia and Herzegovina. *Scientific Reports* 10, Article number 13238. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70205-9>
- dok 1: Pest Megyei Kormányhivatal, PE/FM3/286-2/2016, Tárgy: „Halgazdálkodási vízterületek, halgazdálkodásra jogosultak nyilvántartásának módosítása”, Gödöllő, 2016.06.22.
- dok 2: Dabasi Földhivatal, Tulajdoni lap másolat-szemle, Dabas, 2001.07.09.
- dok 3: Közép-Duna-Völgyi Vízügyi Igazgatóság „Vízügyi szakvélemény a Peremvárosi horgászto (Gyál) halászati hasznosításához” FVM Fővárosi és Pest megyei Földművelésügyi Hivatalhoz, Budapest, 2000.06.06.
- dok 4: Peremvárosi Horgászok Egyesülete kérvénye a Földművelésügyi Minisztériumhoz, Tárgy: „A Magyar Állam tulajdonát képző 0154/1-a hrsz-u 11 ha 7172 m² nagyságú területen fekvő kavicsbánya vízkezelési, halászati jogának kérelme.”, Budapest, 1996.03.11.
- dok 5: Állami tulajdonú vízterület halászati jogának hasznosítására a Peremvárosi Horgászto nevű vízfelülethez, Pályázati anyag, Budapest, 2000.08.28.
- dok 6: Földművelésügyi Miniszter, 60376/1996, Tárgy: „Gyáli 0154/1.hrsz-ú terület halászati joga, Budapest, 1996.04.04.
- dok 7: Jegyzőkönyv: „Gyál 0154/1 hrsz.-ú C-5 jelű bányagödör rekultivációs munkái.”, Utiber Kft., 1999.05.12.
- dok 8: Jegyzőkönyv: „Gyál 0154/1 hrsz.-ú C-5 jelű bányagödör rekultivációs munkái.”, Gyál Város Polgármesteri Hivatal, 1999.05.27.
- dok 9: Bányakapitányság határozata, Tárgy: „Gyál 0154/1 hrsz.-ú ingatlanon lévő felhagyott kavicsbánya módosított tájrendezési tervének jóváhagyása.”, Szolnok, 1999.08.17.
- dok 10: KDV KÖVIZIG vízügyi felügyeleti ellenőrzés jegyzőkönyv: „2004.augusztus 30-án Gyál, 0137/4 hrsz-ú területen történő vízkivétel miatti panaszbjelentés”, Gyál, 2004.08.30.
- dok 11: Peremvárosi Horgászok Egyesületének halgazdálkodási terve, 2016
- Fosmire, G.J. (1990): Zinc toxicity. *The american Journal of Clinical Nutrition.*, 51(2), 225 – 227, DOI: [10.1093/ajcn/51.2.225](https://doi.org/10.1093/ajcn/51.2.225), Keresés dátuma: 2024.01.11., Forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0002916523166950?via=ihub>
- Grigoratos, T. & Martini G. (2015): Brake wear particle emissions: a review. *Environ Sci Pollut Res* 22, 2491 – 2504, DOI: 10.1007/s11356-014-3696-8
- Gulyás G., Filep A., Kiss G., Rádi J., Domokos E. & Kárpáti Á. (2019): Települési szennyvizek nehézfém tartalmának változása az elmúlt 50 évben. *Hírcsatorna, Mikroszennyezők II.: A Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség online folyóirata.*, 2019/4. szám, 45 – 65., Keresés és letöltés dátuma: 2023.12.13., Forráslink: <https://www.maszesz.hu/tevekenysegeink/kiadvanyaink/hircsatorna-2019-4-lapszam>

- Halász G. E. (2010): Felszíni vizek és üledékeinek minőségének megítélésére alkalmas analitikai és ökotoxikológiai módszerek fejlesztése és alkalmazása. [PhD-értekezés] Gödöllő: Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola. Google keresés dátuma: 2024.02.02., Forrás: https://archive2020.szie.hu/file/tti/archivum/HalaszGE_dissz.pdf
- Harangozó G. (2020): Gyál Város klímastratégiája 2020-2030, kitekintéssel 2050-ig., Gyál-Budapest. 92 p. KEHOP projektazonosító: KEHOP-1.2.1-18-2018-00141, Internetes forráslink: https://gyalklima.hu/wp-content/uploads/2021/03/Klimastrategia_Gyal_vegleges_20210129_leadott.pdf
- Hashim, R., Song, T. H., Muslim N. Z. & Yen T. P. (2014): Determination of Heavy Metal Levels in Fishes from the Lower Reach of the Kelantan River, Kelantan, Malaysia. *Tropical life sciences research*, 25(2), 21–39., Keresés dátuma: 2023.10.28., Forrás: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4814144/#b48-tlsr-25-2-21>
- Horváth L. (szerk.) (2000): Halbiológia és haltenyésztés. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 433 p.
- Horváth M. (2019): Műszeres környezetanalitika: fogalomtár. Gödöllő: Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., 82 p.
- Horváth M. szóbeli közlés 2021, 2023: Gödöllő, egyetemi laboratórium, Konzulens.
- http1: Google Maps, Műholdas térkép. Ezen látható a terület körül megtalálható ipari, logisztikai tevékenységeket folytató cégek. Keresés dátuma: 2023.12.06., Forrás: https://www.google.com/maps/place/Perem+v%C3%A1rosi+Horg%C3%A1sz%C3%B3+C3%A9s+Pihen%C5%91park/@47.360765,19.1966521,2830m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x4741ebc96286b031:0x7356959a10b1910f!8m2!3d47.3669036!4d19.192569!16s%2Fg%2F1pv2c_l2y?hl=hu&entry=ttu
- http2: Betonpartner Magyarország Kft. weboldala. Bányászat és kavicskereskedelem. Bányászati részleg leírása. Keresés dátuma: 2023.12.06. Forrás: <https://www.betonpartner.hu/mixerbeton/%C3%9Czet%C3%A1gak/B%C3%A1ny%C3%A1szat+%C3%A9s+Kavicskereskedelem/>
- http3: Bemutató. Halfajok, élővilág. Keresés dátuma: 2023.12.08., Forrás: <https://pnehorgaszto.hu/>
- http4: História bemutatkozó videó. Videóban szerepel: Siklósi Béla. Keresés ideje: 2021.08. <https://pnehorgaszto.hu/historia>
- http5: 239/2000. (XII. 23.) Korm. Rendelet a bányatavak hasznosításával kapcsolatos jogokról és kötelezettségekről. Keresés dátuma: 2023.12.10. Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0000239.kor>
- http6: PROLOGIS. Mit kínálunk? Keresés dátuma: 2023.12.11. Forrás: <https://www.prologisce.eu/hu/mit-kinalunk>
- http7: STRABAG. Vasbeton elemek gyártása. Keresés dátuma: 2023.12.11. Forrás: https://www.strabag.hu/databases/internet_public/content30.nsf/web30?Openagent&id=HU-STRABAG.HUN_vasbeton.html&men1=2&men2=1&sid=212
- http8: ADR Logistics Kft. 2000 óta a logisztika élvonalában. Keresés dátuma: 2023.12.11. Forrás: <https://www.adr-logistics.hu/#>
- http9: Ez történt a februári testületi ülésen. Keresés dátuma: 2021.08. Forrás: <https://www.gyal.hu/2020/02/27/ez-tortent-a-februari-testuleti-ulesen/>
- http10: Horiba Scientific: Inductively Coupled Plasma-Optical emission Spectroscopy, Instrumentation., Principle of a spray chamber. Keresés dátuma: 2024.01.16., Forrás: <https://www.horiba.com/int/scientific/>

[technologies/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectroscopy-icp-oes/instrumentation/](https://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Scientific/Documents/Emission/activa-m.pdf)

- http11: Horiba Scientific: Become an Expert With ACTIVA M, The Master in True Multi-line Analysis. JOBIN Yvon Technology., Keresés és letöltés: 2021.09., Forrás: <https://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Scientific/Documents/Emission/activa-m.pdf>
- Kiss I. (2000): A halak testfelépítése és biológiája. In Horváth L. (szerk.): *Halbiológia és haltenyésztés*. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 17 – 68
- Kovács B. & Csapó J. (2015): Az élelmiszervizsgálatok műszeres analitikai módszerei., Debrecen: Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Élelmiszertudományi Intézet., 254 p., ISBN: 978-963-473-831-2, TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0014, Keresés: 2024.01.12., Forrás: <https://csik.sapientia.ro/content/oktatasisegedanyag/Csap%C3%B3J%C3%A1nosK%C3%B6nyveiSeg%C3%A9danyagai/K%C3%B6nyvek%C3%89sJegyzetek/%C3%89lelmiszervizsg%C3%A1latokM%C5%B1szeresAnalitikaiM%C3%B3dszereiDebrecen2015.pdf>
- Kovács K., Horváth M., Halász G., Takács A., Heltai G., Boros N., Sipos P. & Győri Z. (2021): Néhány potenciálisan mérgező fém frakcióinak meghatározására alkalmazott analitikai módszer értékelése eltérő fizikai talajféléseggű mintákon [Evaluation of analytical methods for the determination of different potentially toxic metal fractions in soils with different physical properties]., *Agrokémia és Talajtan*, 70(2), 137 – 153., DOI: [10.1556/0088.2021.00020](https://doi.org/10.1556/0088.2021.00020)
- Lesny Gy. Papp L., Rác L. & Tölgyessy Gy (2006): Környezeti kémia: A környezet kémiája, analitikája és technológiája. Eger: EKF Líceum Kiadó., 246 p.
- Mézes M. (2000): Halélettan. In Horváth L. (szerk.): *Halbiológia és haltenyésztés*. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 69 – 98
- Mizik T. (szerk.) (2018): Agrárgazdaságtan II., Budapest: Akadémia Kiadó, DOI: [10.1556/9789634541875](https://doi.org/10.1556/9789634541875)
- Müller, A., Österlund, H, Marsalek, J. & Viklander, M. (2020): The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources., *Science of The Total Environment*., volume 709 136125, 18 p., DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.136125](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136125), Keresés dátuma: 2024.02.23.
- Müllerné Ternovszki M. (2013): Különböző takarmányok hatása a pontyhús zsírsavprofiljára és húsmínőségére. [PhD értekezés]. Gödöllő: Szent István Egyetem, Állattenyésztés-tudományi Doktori Iskola., Google Scholar keresés dátum: 2024.02.04., DOI: 10.14751/SZIE.2013.018, Forrás: <http://real-phd.mtak.hu/1720/1/MullerneTrenovszkiMertekezesDOI.pdf>
- Nagy S. A., Grigorszky I., Wittner I. & Dévai Gy. (2007): Halastavi halhústermelés ökológiai alapjai. In: Hancz Cs. (szerk.) (2007): *Haltenyésztés*., Kaposvár: Kaposvári Egyetem Állattudományi kar jegyzete., 15 – 39. Letöltve: 2023.12.13., Forrás: <http://real.mtak.hu/4136/1/1196578.pdf>
- Nriagu, J. O. (1989): Natural Versus Anthropogenic Emissions of Trace Metals to the Atmosphere. In: Pacyna, J.M., Ottar, B. (eds): *Control and Fate of Atmospheric Trace Metals*., NATO ASI Series, vol 268. Springer, Dordrecht., 3 – 13 p. DOI: [10.1007/978-94-009-2315-7_1](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2315-7_1)
- Ohio Environmental Protection Agency, Division of Surface Water (2001): Sediment Sampling Guide and Methodologies, 2nd edition. Columbus, Ohio., 36 p., Keresés és letöltés dátuma: 2023.11.28., Forrás: <https://clu-in.org/download/contaminantfocus/sediments/sampling-guide-ohio-sedman2001.pdf>
- One Planet Mérnökiroda Kft., Magyar Közút Nonprofit Zrt. megbízására (2023): Az országos közutak 2022.évre

- vonatkozó keresztmetszeti forgalma. Letölthető dokumentum. Keresés és letöltés dátuma: 2023.12.11.
 Forrás: <https://www.kozut.hu/kozerdeku-adatok/orszagos-kozuti-adatbank/forgalomszamlalas/>
- Pénzes B. (1975): Vizsgálatok az 1975. évi balatoni halpusztulással kapcsolatban. In: Andrassy I. (szerk) (1976): *Állatani közlemények*. A Magyar Biológiai Társaság Állatani Szakosztályának Folyóirata., LXIII. kötet, 1-4. füzet., Budapest: Akadémia Kiadó, 123 – 130., Keresés dátuma: 2024.02.04. Forrás: http://real-j.mtak.hu/8054/1/AllataniKozlemenyek_63.pdf#page=125
- QGIS 3.32.2. Lima – A szemléltető térképekhez, FÖMI Ortophoto 2005 képalapra
- Rácz I. (2011): Vízkémia II., Gödöllő: Szent István Egyetem. 94 p., Letöltve: 2021., Forrás: https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Vizkemia_II/ch04.html PDF formátum
- Shi, R., Yanting, H., Wang, Q., Cai, J., Gantumutr, M.-A., Jiang, Z. (2024): Insight into the physicochemical characteristics, functionalities and digestion behavior of protein isolate derived from *Lactarius volemus* (*L.volemus*): Impacts of microwave-assisted extraction., Food Chemistry, Volume 431, 137070, ISSN 0308-8146, DOI: [10.1016/j.foodchem.2023.137070](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137070), Keresés dátuma: 2024.01.15., Forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814623016886>
- Siklósi B. szóbeli közlés 2021, 2023: Gyál, Peremvárosi Horgászok Egyesülete – Elnök.
- Simpson, S.L., Batley, G.E., Chariton, A.A., Stauber, J.L., King, C.K., Chapman, J.C., Hyne, R.V., Gale, S.A., Roach, A.C. & Maher, W.A. (2005): Handbook for Sediment Quality Assessment, Bangor NSW: CSIRO, Environmental TRUST., 117 p.
- SW-846 VI (2018): Chapter Three. Update VI, Revision 6, 28 p., Keresés dátuma: 2024.01.06., Forrás: https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-06/documents/chapter_three_update_vi_12-11-2018.pdf
- Szabó A., Pokovai K., Ragályi P., Rékási M., Sándor R., Bernhardt B., Koncz J., Kremper R. & Csathó P. (2019): Nehézfém- és egyéb toxikus mikroelem-terhelés tartamhatása a főtermés mennyiségére szabadföldi kísérletben. *Agrokémia és Talajtan*, 68(2), pp. 259 – 278, DOI: [10.1556/0088.2019.00044](https://doi.org/10.1556/0088.2019.00044), ISSN: 1588-2713
- Szoboszlay S. & Kriszt B. (2014): Környezeti elemek védelme. Gödöllő: SZIE Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet, 135 p.
- Tokatli, C. (2018): Essential and toxic element bioaccumulations in fishes of gala and siğirci lakes (Meriç River Delta, Turkey). *Acta Alimentaria*, 47(4), pp. 470-478., DOI: [10.1556/066.2018.47.4.10](https://doi.org/10.1556/066.2018.47.4.10)
- Tóth J. (2016): Világföldrajz. Budapest: Akadémia Kiadó. DOI: [10.1556/9789630598392](https://doi.org/10.1556/9789630598392), Keresés dátuma: 2024.01.11., Forrás: <https://mersz.hu/toth-vilagfoldrajz/>
- USEPA (2022): National Lakes Assessment 2022. Field Operations Manual. Version 1.2. EPA 841-B-16-011. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC., Keresés dátuma: 2024.01.06., Forrás: https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-07/FOM_NLA2022_%20Version1.2_220519_0.pdf
- USEPA (2023): Fish Field Sampling. Operating Procedure, Region 4, U.S. Environmental Protection Agency, Laboratory Services and Applied Science Division, Athens, Georgia., ID: LSASDPROC-512-R6, Keresés dátuma: 2024.01.06., Forrás: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/Field-Fish-Sampling.pdf>
- USEPA 3051A Method (2007): Microwave Assisted Acid Digestion of sediments, sludges, soils, and oils. SW-846 Revision 1., 30 p.

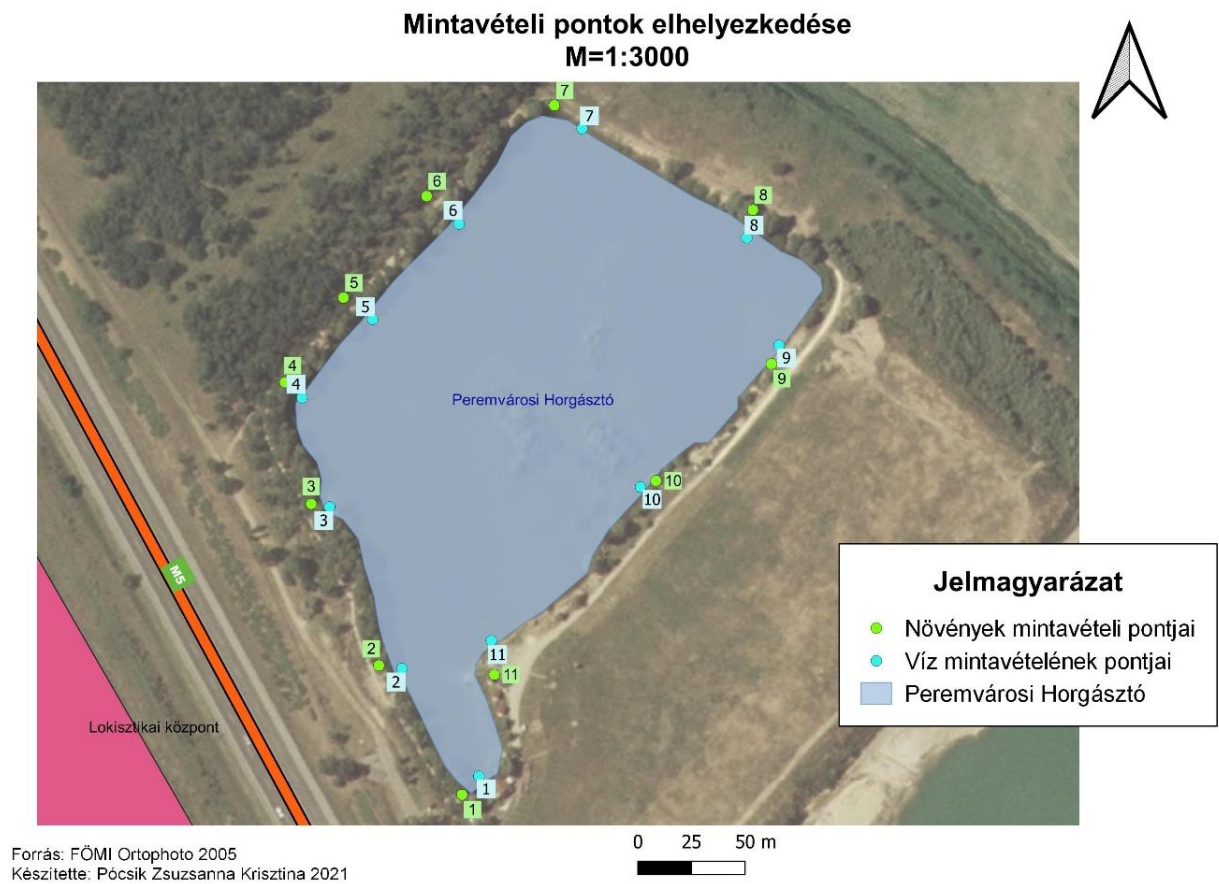
- USEPA 6010D Method (2018): Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry. SW-846 Update 6, Revision 5., 35 p.
- WHO (2007): Health risk of heavy metals from long-range transboundary air pollution. Copenhagen, Denmark., 144 p, ISBN 978 92 890 7179 6, Keresés és letöltés dátuma: 2023.12.20., Letöltési oldal forrása: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289071796>
- Witkowska, D., Słowik, J. & Chilica K. (2021): Heaví Metals and Human Health: Possible Exposure Pathways and the Competition for Protein Binding Sites. *Molecules.*, 26(19):6060, DOI: [10.3390/molecules26196060](https://doi.org/10.3390/molecules26196060)
- Woynárovich A., Kovács É. & Péteri A. (2019): A takarmányozás gyakorlati szempontjai a tógazdasági haltermelésben. Budapest: Agrárminisztérium, Halgazdálkodási Főosztály., 85 p., Keresés dátuma: 2024.01.08., Forrás: https://halaszat.kormany.hu/download/6/5b/62000/Haltakarm%C3%A1nyoz%C3%A1s_2019-Ebook.pdf
- Yancheva, V., Velcheva, I., Stoyanova, S. & Georgieva, E. (2015): Fish in Ecotoxicological Studies. *Ecologia Balkanica*, 7(1), pp. 149-169, Keresés dátuma: 2024.01.09., Forrás: https://www.researchgate.net/publication/281295963_Fish_in_Ecotoxicological_Studies
- Záray G. (szerk.) (2016): Az elemanalitika korszerű módszerei. Budapest: Akadémia Kiadó., DOI:[10.1556/9789630598507](https://doi.org/10.1556/9789630598507), Keresés dátuma: 2024.01.15., Forrás: https://mersz.hu/dokumentum/m181aekm_98

9. ÁBRÁK, KÉPEK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. **ábra** A terület elhelyezkedését szemléltető térkép (Forrás: Saját szerkesztés QGIS-el, FÖMI Ortophoto 2005 alapra, 2023)
2. **ábra** A 2021-es növény-és vízmintavételi pontokat szemléltető térkép (Forrás: Saját szerkesztés QGIS-el, FÖMI Ortophoto 2005 alapra, 2021)
3. **ábra** Üledék mintavételi pontok (Forrás: Saját szerkesztés QGIS-el, FÖMI Ortophoto 2005 alapra, 2024)
4. **ábra** Roncsolási napló (Forrás: III. Kutatólaboratórium roncsolási naplója, 2023)
5. **ábra** Cu és Zn koncentrációjának [mg/kg] szemléltetése az üledékmintákban. Zn átlagértékét a zöld vízszintes egyenes szemlélteti, Cu pedig a piros vízszintes egyenes. (Forrás: Saját szerkesztés, 2024)
6. **ábra** Fe koncentrációja [mg/kg] az üledékmintákban. Az okkersárga vízszintes egyenes szemlélteti a szakirodalomban lévő ajánlást, amely szerint 17 000 mg/kg érték alatt az üledék Fe-tartalma nem toxikus (Forrás: Saját szerkesztés 2024; Halász (2010) munkája nyomán)
7. **ábra** A bolti és a tavi ponty részeiben kimutatott elemek százalékos megoszlása a kimutatott mennyiségük szemléltetéséhez. (Forrás: Saját szerkesztés, 2024)
1. **kép** Mintavételi felszerelés (Forrás: Saját fénykép, Gyál 2023)
2. **kép** Mintavétel (Forrás: Saját fénykép, Gyál 2023)
3. **kép** Üledékminták változatosságát szemléltető kép (Forrás: Saját fénykép, Gyál 2023)
4. **kép** Teflonedények és a lezáráshoz szükséges eszköz (Forrás: Saját fényképek, Gödöllő 2023)
5. **kép** A roncsolóba behelyezett rotor (Forrás: Saját fénykép, Gödöllő 2023)
6. **kép** CEM MARS 5 mikrohullámú roncsolóberendezés (Forrás: Saját fénykép, Gödöllő 2021)
7. **kép** A roncsolt minták leszűrése 25 ml-es lombikokba (Forrás: Saját fénykép, Gödöllő 2023)
8. **kép** HORIBA Jobin Yvon Activa-M (Forrás: Saját fénykép, Gödöllő 2021)
1. **táblázat** A vizsgált elemek és hullámhosszuk (Forrás: Saját szerkesztés, 2024)
2. **táblázat** Üledékminták vizsgálati eredményei (Forrás: Saját szerkesztés)
3. **táblázat** A referencia ponty részeinek vizsgálati eredményei (Forrás: Saját szerkesztés)
4. **táblázat** A vizsgált tóból származó ponty részeinek vizsgálati eredményei (Forrás: Saját szerkesztés)
5. **táblázat** A vizsgált tóból származó kűsz részeinek vizsgálati eredményei (Forrás: Saját szerkesztés)
6. **táblázat** A vízminták vizsgálati eredményei (Forrás: Saját szerkesztés a 2021-es eredmények alapján)
7. **táblázat** Kiülepedett por vizsgálati eredményei (Forrás: Saját szerkesztés, 2021-es eredmények alapján)
8. **táblázat** Biofilm elemtartalmának vizsgálati eredményei (Forrás: Saját szerkesztés 2021-es eredmények alapján)
9. **táblázat** Üledékminták ICP-OES-el mért eredményei (Forrás: Saját szerkesztés, 2024)
10. **táblázat** Referencia halminta elemtartalma (Forrás: Saját szerkesztés, 2024)
11. **táblázat** Vizsgált tó halainak mérési eredményei (Forrás: Saját szerkesztés, 2024)

10. MELLÉKLETEK

2. ábra A 2021-es növény-és vízmintavételi pontokat szemléltető térkép
(Forrás: Saját szerkesztés QGIS-el, FÖMI Ortophoto 2005 alapra, 2021)



4. ábra Roncsolási napló

(Forrás: III. Kutatólaboratórium roncsolási naplója, 2023)



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet
Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék
Környezetkémiai Csoport, III-as számú kutatólaboratórium
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly u. 1., Tel.: +36-28-522-000 mellék: 2306
e-mail: Horvath.Mark.Kalman@uni-mate.hu
NEM akkreditált vizsgálólaboratórium.



RONCSOLÁSI NAPLÓ

Naplószám: № 0071

Dátum: 2023.10.30.

☐ EasyPrep

☐ 10 mL

Minta típusa: Alcedek + bio

☒ 25 mL

Megrendelő: Diplomater

☒ Xpress

☐ 50 mL

1
2
3
(...)

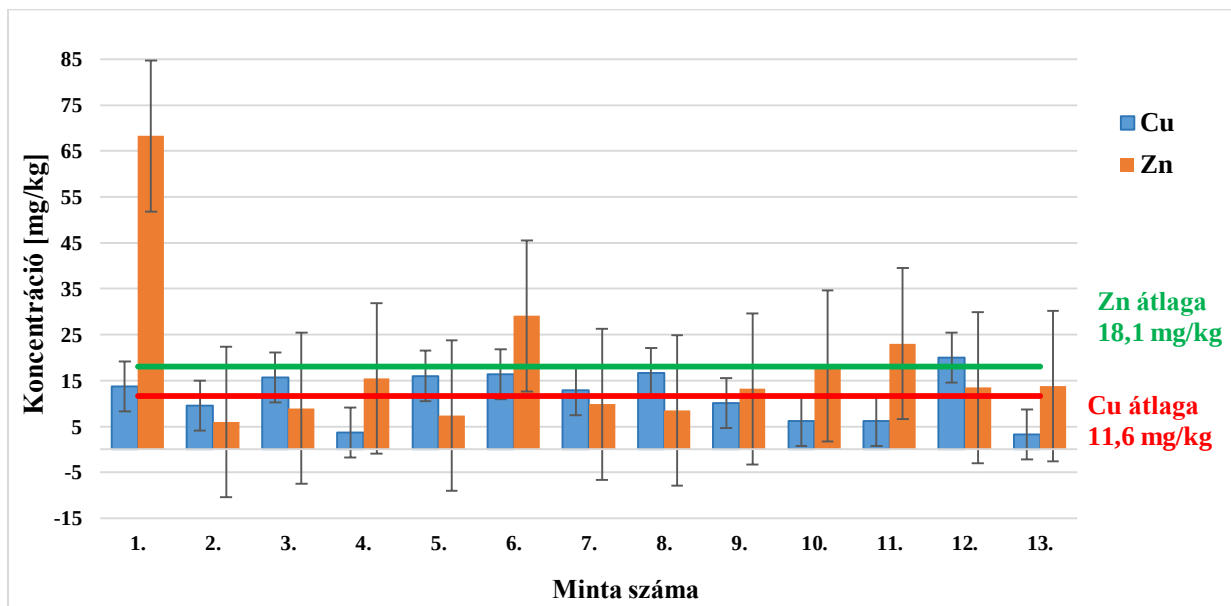
1		0,	g	vagy	mL
2		0,	g	vagy	mL
3		0,	g	vagy	mL
4		0,	g	vagy	mL
5		0,	g	vagy	mL
6		0,	g	vagy	mL
7		0,	g	vagy	mL
8		0,	g	vagy	mL
9		0,	g	vagy	mL
10		0,	g	vagy	mL
11		0,	g	vagy	mL
12		0,	g	vagy	mL
13		0,	g	vagy	mL
14		0,	g	vagy	mL
15		0,	g	vagy	mL
16		0,	g	vagy	mL
17	Alcedek 1	0,3026	g	vagy	mL
18	2	0,4070	g	vagy	mL
19	3	0,2720	g	vagy	mL
20	4	0,3276	g	vagy	mL
21	5	0,3083	g	vagy	mL
22	6	0,3369	g	vagy	mL
23	7	0,3569	g	vagy	mL
24	8	0,3157	g	vagy	mL
25	9	0,4521	g	vagy	mL
26	10	0,3252	g	vagy	mL
27	11	0,2810	g	vagy	mL
28	12	0,3023	g	vagy	mL
29	13	0,2972	g	vagy	mL
30	BOLT IKRA	0,4033	g	vagy	mL
31	BOLT ZSIK	0,2502	g	vagy	mL
32	BOLT MÁJ	0,3826	g	vagy	mL
33	BOLT HASI 120M	0,3621	g	vagy	mL
34	BOLT KOPOLTYÚ	0,3487	g	vagy	mL
35	PONTY IKRA TÁVI	0,2028	g	vagy	mL
36	PONTY ZSIK TÁVI	0,2038	g	vagy	mL
37	PONTY MÁJ TÁVI	0,2059	g	vagy	mL
38	PONTY HASA ALJA	0,2024	g	vagy	mL
39	KOPOLTYÚ PICI HAL	0,0804	g	vagy	mL
40	PICI HAL HÚS	0,2192	g	vagy	mL

Témaszám: 18B010002

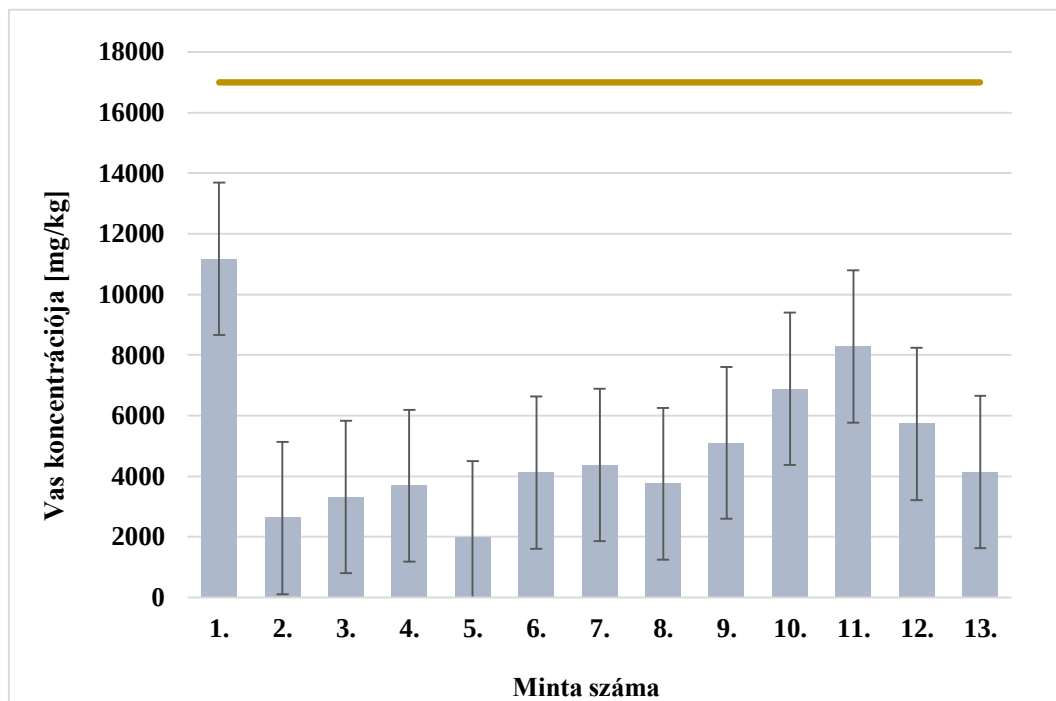
9. táblázat Üledékminták ICP-OES-el mért eredményei
(Forrás: Saját szerkesztés, 2024)

Üledékminták mérési eredményei			
Minta száma	Kimutatott elem és hullámhossza [nm]	Koncentráció [mg/l]	Relatív szórás
1	Cu 324.754	0,166 ± 0	0,28
	Fe 240.489	135,17 ± 1,03	0,76
	Zn 213.857	0,826 ± 0,01	0,95
2	Cu 324.754	0,155 ± 0	0,15
	Fe 240.489	42,712 ± 0,06	0,13
	Zn 213.857	0,097 ± 0	0,74
3	Cu 324.754	0,171 ± 0	0,41
	Fe 240.489	36,042 ± 0,03	0,09
	Zn 213.857	0,098 ± 0,00	0,13
4	Cu 324.754	0,048 ± 0	0,57
	Fe 240.489	48,251 ± 0,38	0,78
	Zn 213.857	0,203 ± 0	0,18
5	Cu 324.754	0,198 ± 0	0,33
	Fe 240.489	24,437 ± 0,23	0,94
	Zn 213.857	0,091 ± 0	1,2
6	Cu 324.754	0,221 ± 0	0,51
	Fe 240.489	55,497 ± 0,19	0,34
	Zn 213.857	0,392 ± 0	0,19
7	Cu 324.754	0,184 ± 0	0,53
	Fe 240.489	62,359 ± 0,52	0,83
	Zn 213.857	0,141 ± 0	0,29
8	Cu 324.754	0,21 ± 0	1,08
	Fe 240.489	47,315 ± 0,2	0,43
	Zn 213.857	0,108 ± 0	0,78
9	Cu 324.754	0,183 ± 0	0,07
	Fe 240.489	92,249 ± 0,34	0,36
	Zn 213.857	0,238 ± 0	0,03
10	Cu 324.754	0,081 ± 0	0,18
	Fe 240.489	89,515 ± 0,08	0,09
	Zn 213.857	0,237 ± 0	0,08
11	Cu 324.754	0,07 ± 0	0,24
	Fe 240.489	93,099 ± 0,16	0,17
	Zn 213.857	0,259 ± 0	0,22
12	Cu 324.754	0,242 ± 0	0,12
	Fe 240.489	69,212 ± 0,59	0,85
	Zn 213.857	0,163 ± 0	0,38
13	Cu 324.754	0,039 ± 0	0,06
	Fe 240.489	49,173 ± 0,35	0,71
	Zn 213.857	0,164 ± 0	0,14

5. ábra Cu és Zn koncentrációjának [mg/kg] szemléltetése az üledékmintákban. Zn átlagértékét a zöld vízszintes egyenes szemlélteti, Cu pedig a piros vízszintes egyenes. (Forrás: Saját szerkesztés, 2024)



6. ábra Fe koncentrációja [mg/kg] az üledékmintákban. Az okkersárga vízszintes egyenes szemlélteti a szakirodalomban lévő ajánlást, amely szerint 17 000 mg/kg érték alatt az üledék Fe-tartalma nem toxikus (Forrás: Saját szerkesztés 2024; Halász (2010) munkája nyomán)



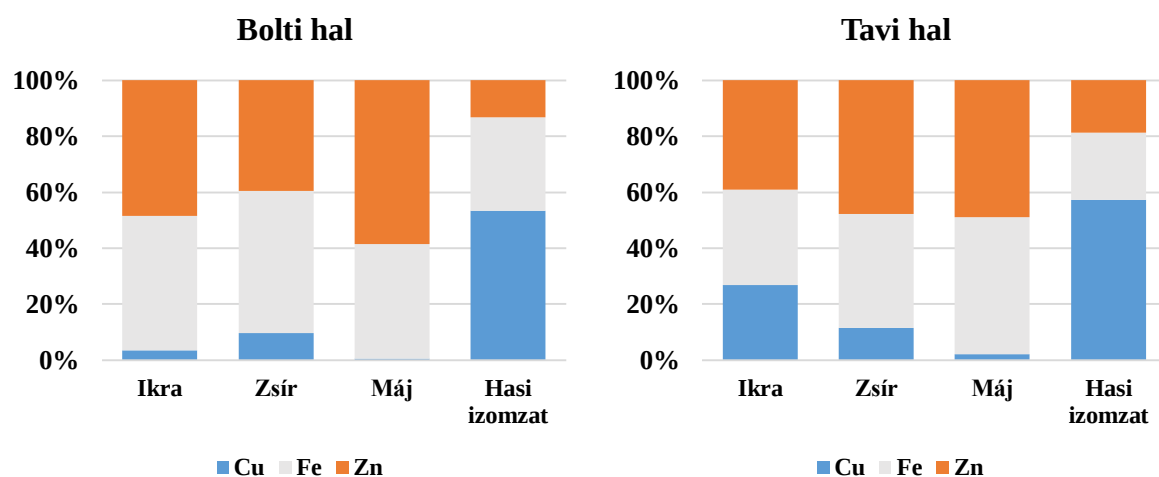
10. táblázat Referencia halminta elemtartalma
(Forrás: Saját szerkesztés, 2024)

Referencia ponty ICP-OES-el mért elemtartalma			
Minta száma	Kimutatott elem és hullámhossza [nm]	Koncentráció [mg/l]	Relatív szórás
Ikra	Cu 324.754	0,04 ± 0	0,02
	Fe 240.489	0,52 ± 0	0,86
	Zn 213.857	0,52 ± 0	0,04
Zsír	Cu 324.754	0,03 ± 0	0,55
	Fe 240.489	0,14 ± 0	0,25
	Zn 213.857	0,11 ± 0	0,84
Máj	Cu 324.754	0,03 ± 0	0,12
	Fe 240.489	2,55 ± 0,01	0,58
	Zn 213.857	3,63 ± 0,02	0,44
Hasi izom	Cu 324.754	0,23 ± 0	1,05
	Fe 240.489	0,15 ± 0	1
	Zn 213.857	0,06 ± 0	1,41
Kopoltyú	Cu 324.754	0,03 ± 0	0,56
	Fe 240.489	0,64 ± 0	0,47
	Zn 213.857	1,61 ± 0,02	1,22

11. táblázat Vizsgált tó halainak mérési eredményei
(Forrás: Saját szerkesztés, 2024)

Vizsgált tóból származó halminták ICP-OES-el mért elemtartalma			
Minta száma	Kimutatott elem és hullámhossza [nm]	Koncentráció [mg/l]	Relatív szórás
Ponty ikra	Cu 324.754	0,22 ± 0	0,83
	Fe 240.489	0,28 ± 0	0,34
	Zn 213.857	0,33 ± 0	0,7
Ponty zsír	Cu 324.754	0,03 ± 0	0,21
	Fe 240.489	0,10 ± 0	1,58
	Zn 213.857	0,12 ± 0	1,34
Ponty máj	Cu 324.754	0,03 ± 0	0,1
	Fe 240.489	0,77 ± 0	0,14
	Zn 213.857	0,77 ± 0,01	0,93
Ponty hasi izom	Cu 324.754	0,23 ± 0	0,34
	Fe 240.489	0,10 ± 0	0,72
	Zn 213.857	0,08 ± 0	0,93
Küsz kopoltyú	Cu 324.754	0,03 ± 0	0,15
	Fe 240.489	0,24 ± 0	0,78
	Zn 213.857	0,41 ± 0	0,35
Küsz hasi izom	Cu 324.754	0,14 ± 0	0,35
	Fe 240.489	0,18 ± 0	1,59
	Zn 213.857	0,15 ± 0	0,81

7. ábra A bolti és a tavi ponty részeiben kimutatott elemek százalékos megoszlása a kimutatott mennyiségük szemléltetéséhez.
(Forrás: Saját szerkesztés, 2024)



NYILATKOZAT

diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: PÖCSIK ZSUZSANNA KRISZTINA

A Hallgató Neptun kódja: FPVLXJ

A dolgozat címe: PEREMVÁROSI HORGÁSZÓ ÜLEDEKÉNEK
ÉS HALAINAK POTENCIÁLISAN TOXIKUS
ELEMTARTALMAINAK VIZSGÁLATA

A megjelenés éve: 2024

A konzulens intézetének neve: KÖRNYEZETTUDOMÁNYI INTÉZET

A konzulens tanszékének a neve: KÖRNYEZETANALITIKAI ÉS KÖRNYEZETTECHNOLÓGIAI TANSZÉK

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

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

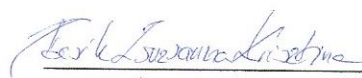
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

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

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

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2024 év 02. hó 23 nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Pócsik Zsuzsanna Krisztina (hallgató Neptun azonosítója: FPVLXJ) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2024 _____ év 02 _____ hó 21 _____ nap


Belső konzulens