

SZAKDOLGOZAT

Vereb Márk

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet
Természetvédelmi mérnök alapképzési szak

**Mikroműanyagok felderítő vizsgálata a Kis-Balaton Vízvédelmi
Rendszer mederüledék mintáiból**

Belső konzulens:	Dr. Szoboszlai Sándor egyetemi docens
Belső konzulens intézete/tanszéke:	Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet/ Környezetbiztonsági Tanszék
Külső konzulens:	Prikler Bence laboratóriumi mérnök
Készítette:	Vereb Márk

Gödöllő
2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzés	3
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. Műanyagok és mikroműanyagok tulajdonságai és előfordulása	5
2.2. A felszíni vizek mikroműanyagok terhelése	8
2.3. Az üledékek mikroműanyag terhelése	10
2.4. A talajok mikroműanyag terhelése	11
2.5. Mikroműanyagok hatása az emberi szervezetre	12
2.6. A mikroműanyagok megjelenése az élelmiszerekben	13
2.7. A mikroműanyagok előfordulása az állati szervezetekben	15
2.8. Műanyagok megjelenése természetvédelmi területeken	16
2.9. A Kis-Balaton áttekintő bemutatása	17
2.10. Kis-Balaton természetvédelme	20
2.11. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) bemutatása	22
2.12. Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) működése	23
3. Alkalmazott módszerek	27
3.1. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) Bárándi-víz elnevezésű területén végzett mintavételek	27
3.2. A mintavételi pontok bemutatása	28
3.3. Mintaelőkészítés	28
3.4. A mikroműanyagok azonosítása és számlálása	30
4. Eredmények és értékelésük	32
4.1. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz I. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények	32
4.2. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz II. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények	33
4.3. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz III. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények	33
4.4. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz IV. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények	34
4.5. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz V. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények	34
4.6. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz VI. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények	35

4.7. A kimutatott mikroműanyag részecskék számának és polimer típusainak összefoglalása	36
4.8. A kimutatott polimer típusok százalékos megoszlása	38
4.9. A kimutatott mikroműanyag részecskék számának összehasonlítása szakirodalmi adatokkal	39
5. Következtetések és javaslatok	41
6. Összefoglalás	45
7. Irodalomjegyzék	47
8. Táblázatok, ábrák, fényképek jegyzéke	55
9. Mellékletek	57
1. számú melléklet	57
10. Köszönetnyilvánítás	58

1. Bevezetés és célkitűzés

A műanyagok ipari termelésének kezdete az 1930-as évekre tehető. Olcsó előállíthatóságuk, kiváló formázhatóságuk, tartósságuk, a felhasználási célnak megfelelően, széleskörűen variálható anyagösszetételük miatt termelésük gyorsan nőtt, gyakran kiszorítva a hagyományos anyagokat, például a különböző fémeket, fát, üveget. 2022-ben a világon legyártott műanyagok mennyisége már elérte a 400 millió tonnát ([http1](#)).

Világszinten a legnagyobb műanyag előállító Ázsia, azon belül is Kína vezeti ezt a listát. Ez az ország adta 2022-ben a globális termelés mintegy 32 százalékát. Műanyag gyártás tekintetében Észak-Amerika áll a második helyen, világszinten 17 százalékos részesedéssel ([http2](#)). Az európai termelés 2017-ben érte el a csúcst, az évente legyártott műanyagok mennyisége akkor 64 millió tonna volt, de azóta csökken, 2020-ban 55 millió tonna körül alakult. Európában Németország a legnagyobb műanyag előállító, 2020-ban 76,6 milliárd euró forgalmat generált műanyagok gyártásából (Kutasi, 2020).

Nagy problémát jelent, hogy a műanyagok többségét csak egyszer használjuk fel és utána megválnak tőlük, ez különösen igaz a csomagolási célra használt műanyagokra ([http1](#)). Ezen a területen a műanyagok napjainkra kiszorították a kartont, papírt, fémeket és az üveget, 2022-ben a rugalmas műanyag csomagolás gyártása globális szinten több mint 210 milliárd, a merev műanyagoké 173 milliárd dollárt tett ki ([http3](#)).

„Magyarországon 2015-ben több mint 1,6 millió tonna műanyagot gyártottak. Az Európai Unióban 24 millió tonnát csak csomagolásra használtak fel. Az évente (a világon) megtermelt 400 millió tonna műanyagnak csak mintegy a 10%-át hasznosítják újra.” ([http1](#)). Újrahasznosítás híján ezek a műanyagok nem fognak lebomlani, vagy csak több száz év múlva, pesszimista jóslatok szerint akkorra is csak fizikai darabolódásukról és nem biológiai mineralizációjukról (szén-dioxid és víz keletkezése) beszélhetünk majd. Egy műanyag szatyor becsült teljes lebomlásának az ideje 200-1000 év ([http9](#)). Ezek a szatyrok készülhetnek nagy sűrűségű polietilénből (HDPE), kis sűrűségű polietilénből (LDPE), vagy lineáris kis sűrűségű polietilénből (LLDPE). Ezek közül a nagy sűrűségű polietilén a legerősebb, így általában ezekből szokták gyártani a boltok teherbíró táskáit, szatyrait ([http5](#)). Egy műanyag palacknak (PET- polietilén-tereftalát) körülbelül 450 évre lenne szüksége a lebomláshoz ([http4](#)).

A hulladékká váló műanyagokból, illetve használati tárgyainkból (a fogkefétől a műszálas ruhákon át akár a játékokig) az idő múlásával főként a fizikai kopás, a levegő oxigénjével való

érintkezés, az UV fény hatására egyre kisebb és kisebb műanyag részecskék keletkeznek. Így jönnek létre a mikroműanyagok, amelyek egyre több kárt okozva, folyamatosan halmozódnak a környezetben, az ökoszisztémákban.

Szakedolgozatomban a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR), Bárándi-víz mederüledékében lévő mikroműanyagok felderítő vizsgálatával foglalkozom. Munkámat elősegítette a „Multiparaméteres vizsgálati rendszerek kifejlesztése a mikroműanyagok környezeti hatásainak elemzésére” (2020-1.1.2-PIACI-KFI-2021-00239) kutatás-fejlesztési pályázat, amelybe becsatlakozhattam és betekintést nyerhettem arról, hogyan zajlik egy ilyen projekt.

A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) működtetését, fenntartását végző Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (NYUDUVIZIG) munkatársai mederkotrást szeretnének végrehajtani a Kis-Balaton területén, viszont a munkálatok megkezdése előtt tapasztalatszerző próbakotrást terveztek. A próbakotrást a KBVR Bárándi-víz területén 2023. november-december folyamán végre is hajtották, de ezt megelőzően a szakemberek az iszapréteg fizikai, kémiai paramétereinek - köztük a jelen lévő mikroműanyagok – megismerését célzó mederüledék mintázásokat végeztek.

A szakdolgozatom készítésének célkitűzései:

1. Szakirodalmi adatgyűjtés a mikroműanyagok környezeti előfordulásáról, élettani kockázataikról.
2. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) funkciójának, működésének a bemutatása.
3. A KBVR Bárándi-víz elnevezésű területén végzett mederüledék mintavételekhez kapcsolódóan a mikroműanyagok 50 - 1000 μm mérettartományba eső mennyiségének és összetételének meghatározása, értékelése.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Műanyagok és mikroműanyagok tulajdonságai és előfordulása

Elsőként fontos megemlítenünk, hogy műanyagnak nevezzük azon makromolekuláris anyagokat, melyeket mesterségesen állítottak elő, vagy valamilyen természetes eredetű makromolekula jelentős átalakításával hozták létre. A műanyag természetesen vagy szintetikus előforduló polimer, mely hő és nyomás hatására könnyen formázható szerkezeténél fogva. Ezen polimereknek számos pozitív tulajdonsága van, amelyek miatt az emberek elkezdtek használni, ilyen például az ütésállóság, a ridegség/keménység, az áttetszőség, a hajlékonyság és a rugalmasság. Általánosságba a műanyagokat két külön csoportba sorolhatjuk. Egyik a hőre lágyuló, a másik pedig a hőre keményedő műanyagok. Az első molekulatömege 20 000 és 500 000 AMU (atommeg-egység). Míg a hőre keményedő műanyagét végtelen molekulatömegűnek tekintik (Miskolczi, 2012).

A napjainkban használt műanyagok nagy része szénhidrogénekből készül, legfontosabb kiindulási anyagoknak az etilén és a propilénből számít. A monomerekből polimerizáció során állítják elő a műanyagokat. A keletkezett polimereket gyantagranulátumokká, illetve pelletteké formálják, ezáltal a különféle iparágakban és gyártási folyamatokban a felhasználási célnak megfelelően, szükség szerint alakíthatják őket.

A műanyagoknak számos fajtája van, amelyek mindegyike más tulajdonsággal és szerkezettel rendelkezik. Gyakori műanyagfajták a PVC (polivinil-klorid), PE (polietilén), LDPE (kis sűrűségű polietilén), HDPE (nagy sűrűségű polietilén), PC (polikarbonát), PS (polisztirol), PP (polipropilén), PET (polietilén-tereftalát). Ez utóbbi műanyagot leggyakrabban élelmiszer és ital (víz, üdítő) csomagolási célokra használják, mivel igen erős szerkezetű megakadályozza az oxigén bejutását a benne tárolt élelmiszerekbe, italokba. Az egyik legszélesebb körben használt a PVC (polivinil-klorid) ezt játékokban, illetve különböző csövekben szokták alkalmazni. Napjainkban felfigyeltek arra, hogy toxicitás szempontjából az egyik legveszélyesebb műanyagfajta. Használata során számos mérgező anyag oldódhat ki belőle, mint például az ólom, higany, kadmium, vinil-klorid, égetése során pedig aldehidek, dioxinok képződnek. A polietilén és a polipropilén a világon a legnagyobb mennyiségben gyártott műanyagok, előbbi az első, utóbbi a második helyet foglalja el a gyártási rangsorban. Felhasználásukkal az élet szinte minden területén találkozhatunk a csomagolás technikától a textileken át a gépjárműalkatrészekig (<http5>).

A műanyagokból keletkező, 5 mm-nél kisebb, vízben gyakorlatilag oldhatatlan részecskéket nevezzük mikroműanyagoknak. Előfordulásukat az 1970-es években észlelték először, nagyobb figyelmet csak a 2000-es években kaptak (Kutasi, 2020).

A műanyagok méretbeli osztályozása a szakirodalomban elég változatos. Az **1. számú táblázat**ban a GESAMP nemzetközi kutatócsoport besorolását mutatom be (<http6>).

Egy összefoglaló jellegű közlemény (Hartman et al. 2019) tíz kutató, illetve kutatócsoport, valamint öt szervezet egymástól eltérő mérettartományú osztályozását mutatja be, amit az **1. számú melléklet**ben helyeztem el. Ezekből különbözik Bermúdez és Swarzenski (2021) tett javaslata, amelyet a **2. számú táblázat**ban illusztrálok. A bemutatott táblázatokból is látható, hogy a szakirodalom jelenleg a műanyagok méret szerinti kategorizálásában sem egységes, de ugyanez elmondható a mintavételi-, mintaelőkészítési- és számlálási módszerekről is (Bordós et al. 2021).

1.táblázat: Műanyagok méretek szerinti osztályozása, forrás: GESAMP, 2019, saját szerkesztés.

Műanyagok elnevezése (relatív méretük)	GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 2019)
	Méretek
Megaműanyag (nagyon nagy)	> 1 m
Makroműanyagok (nagy)	25 – 1000 mm
Mezoműanyagok (közepes)	5-25 mm
Mikroműanyagok (kicsi)	< 5 mm
Nanoműanyagok (rendkívül kicsi)	< 1 µm

2. táblázat: A műanyagok méret szerinti kategorizálása Bermúdez és Swarzenski (2021) közzétett javaslata alapján, saját szerkesztés.

Jelenleg elfogadott műanyag kategóriák	Mérettartomány	Javasolt műanyag kategóriák	Mérettartomány
Nanoplasztik	0,001-1 µm	Femtoplasztik	0,02-0,2 µm
Mikroplasztik	1-1000 µm	Pikoplasztik	0,2- 2 µm
		Nanoplasztik	2-20 µm
		Mikroplasztik	20-200 µm
		Mezoplasztik	200-2000 µm
Mezoplasztik	1-10 mm	Makroplasztik	0,2-20 cm
Makroplasztik	> 1 cm		
		Megaplasztik	20-200 cm

Azt megbecsülni, hogy eddig mennyi apró műanyag részecske került ki pontosan a környezetbe nagyon nehéz. Az erre vonatkozó becslések elég bizonytalanok, de a különböző kutatások szerint eddig 14 millió tonna halmozódott fel az óceánok alján (Barrett et al. 2020), illetve évente 1,5 millió tonnával is nőhet ez a szám (Boucher és Friot, 2017).

A mikroműanyagok lehetnek elsődleges vagy másodlagos mikroműanyagok. Ezeknek a keletkezése és felhasználása nagyban különbözik. Az elsődlegeseket direkt módon készítik, továbbá állítják elő kisméretűre és meghatározott alakúra. Majd ezeket szintén célzottan használják fel különböző ágazatokban és azok termékeiben. Nagy számban gyártanak és fordulnak elő elsődleges mikroműanyagok a szépségiparban gyártott termékekben koptató célból például fogkrém, bőrradír. Európai Vegyianyag-ügynökség (ECHA) becslései szerint Európában évente körülbelül 145 000 tonna mikroműanyagot állítanak elő szándékosan ([http7](#)). Tanulmányok alapján évente körülbelül 3 millió tonna elsődleges mikroműanyag kerül a környezetbe ([http8](#)).

Ezzel szemben a másodlagos mikroműanyagok természetbe kikerült különböző hulladékokból származnak, a műanyagokból készült termékek szétesésével keletkeznek különböző fizikai, kémiai, biológiai és mechanikai folyamatok révén. Ezen anyagok aprózódását, illetve szétesését számos tényező elősegítheti, felgyorsíthatja ilyen például a csapadékvíz, napsugárzás, ultraibolya sugárzás, az UV-B (~295-315 nm) illetve az UV-A (~315-400 nm) tartományában (Shah et al. 2008), amely a polimerláncba való beépüléséhez szükséges aktiválási energiát biztosítja az oxigénatomoknak (Webbe et al. 2015). Ezen folyamat láncasadást eredményez, ezáltal egyre apróbb műanyag fragmentumok jönnek létre, így alakulnak ki ezen fajta és méretű műanyagok (Browne et al. 2010). A szél akár tíz kilométerre is elszállíthatja ezeket a műanyag részecskéket, amelyek ezáltal a vizekbe is kerülhetnek (Parker, 2021).

A környezetben több különböző mikroműanyag is előfordulhat, ezek jó közelítéssel 30%-ban polipropilén, 16%-ban polietilén, 5%-ban polisztirol, de e mellett poliészter, akril, alkid, polivinil-klorid, polivinil-alkohol, és még sok egyéb polimerfajta is megtalálható dektálható mennyiségben (Bordós és Reiber, 2016).

A mikroműanyag-szennyezés fő forrásai lehetnek a textíliák. Az ezekből származó mikroműanyagok szál alakúak (Roos et al. 2017). Ezek a mikroszálak textilgyártás, ruhaviselet közben, a ruhák öregedése során, illetve amikor már nem használjuk azokat leválhatnak és elterjedhetnek a vízben, a levegőben, a táplálékláncban (Hartline et al. 2016). Mosás során a mikroszálak a mosógépből kiürülnek a szennyvízzel együtt. A szennyvíztisztító telepek az így érkező mikroműanyagok nagy részét ki tudják szűrni a vízből. Ezért fontos a megfelelő

szennyvíztisztító rendszerek megépítése és kialakítása mivel, ha ez nincs, vagy nem megfelelően működnek, ezen szálak a környezetbe jutása fokozódhat (http9).

A Természetvédelmi Világszövetség (IUCN) 2017-ben készített adatai szerint 1,5 millió tonna elsődleges mikroműanyag került ki évente az óceánokba. A környezetbe legnagyobb arányban, 35%-ban szintetikus textíliákból és a 28%-ban a járművek abroncsának elporladó részeiből, 24% városi porból, 7%-ban útburkolati szennyeződésből, 2% testápoló termékekből, 3,7%-ban hajók védelme érdekében használt bevonó anyagokból és 0,3% -ban különböző műanyag pelletékből kerülnek be (http10), de származhat különböző tárgyak kopásából is (http11). Ezen mikroműanyagok kijutása a környezetbe növekvő jelentőségű kémiai, fizikai és mikrobiológiai kockázatot jelentenek az élőlények, illetve az egész élővilág számára. Az ilyen részecskék bejuthatnak a talajba, felszíni, illetve felszín alatti vizeinkbe, illetve a levegőben is jelen vannak (http12).

2.2. A felszíni vizek mikroműanyagok terhelése

Mivel a szakdolgozatom a mikroműanyagok detektálására épül a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszerében így adatokat gyűjtöttem ezek megjelenésére és szerepére a felszíni édesvizekben.

Mikroműanyagok a Föld már minden pontján jelen vannak a levegőben, a talajban és a felszíni vizekben is. Jelentős számban láttak napvilágot kutatási eredmények különböző felszíni víztestekben mikroműanyagok előfordulásáról, viszont ezek főként tengerekről szóló tanulmányok, és csak néhány százalékuk az édesvizekkel kapcsolatos publikáció (Lambert és Wagner, 2018). Az édesvizek felé vezető leggyakoribb expozíciós útvonal a tisztított szennyvíz, hulladéklerakók, a levegőből való ülepedés (Murphy et al. 2016).

Ezek a részecskék káros hatással lehetnek a vizek minőségére és a vízi ökoszisztémákra. Az itt élő állatok ezeket direkt vagy indirekt módon lenyelhetik, ami súlyos következményeket okozhat a szervezetükben, például szöveti, szervi gyulladásokat, rosszabb esetben akár az élőlény pusztulásához is vezethet (He et al. 2019).

A világra kitekintve vannak adatok arra vonatkozólag, hogy nagy számban szállíthat mikroműanyagot például a kínai Jangce folyó. Ez az édesvízi folyó a Kelet-kínai-tengerbe juttatja a mikroműanyagokat. A Jangce folyó vízmintáiban 0-259 db/m³, az üledékben 10-60 db/szárazanyag kg mikroműanyagot találtak. A mikroműanyagok leggyakrabban mikroszálak formájában voltak kimutathatóak, ezek 67% és 33%-os arányban oszlott meg az üledékben és

a vízben. Műanyagok fajtája szerint a polipropilént és a polietilént lehetett leggyakrabban kimutatni a mintákból (Li et al.2020).

Európai szinten a Duna ausztriai szakaszán végeztek méréseket, amely azt az eredményt mutatta, hogy évente több mint 1500 tonna 500 µm nagyobb méretű mikroműanyag áramlik a Fekete-tengerbe (Lechner et al. 2014). Németországban a Rajna folyóban vizsgálták a 300 µm fölötti szemcsék előfordulását. Eredményként azt kapták, hogy átlagosan 1-10 részecske között volt kimutatható 1 m³ vízben. Ruhr-vidéken mutatkozott a csúcskoncentráció ez 22 részecske/m³, ennek az oka az lehet, hogy ez egy iparosodott terület. Ezáltal sok műanyag kerülhet a vízbe ezen a szakaszon. A két leggyakoribb műanyagfajta a polisztirol (PS) és polipropilén (PP) voltak (Mani et al. 2015). Az Elba folyón vett vízmintákban 5,6 mikroműanyag részecskét találtak köbméterenként (Scherer et al. 2020). Svájci folyókban 0,1-6,5 részecske/m³ közötti eredményeket kaptak (Faure et al. 2015).

Az édesvízü folyók mellett tavakban is történtek méréseket, így az olaszországi Bolsena-tóból, illetve Chiusi-tóból. Ezekben a vizekben 0,2-4,1 részecske/m³ fordult elő (Fischer et al. 2016). Svájc hat tavában is végeztek méréseket, viszont ezekben az esetekben a részecskék számát négyzetkilométerre számították ki, az így kapott eredmény átlagosan 91 000 részecske/km² volt (Faure et al. 2015).

A vizekben előforduló mikroműanyagokhoz szerves szennyező anyagok kötődhetnek. Így ezek a szennyező anyagok hosszabb időt tartózkodnak a vízben (Bordós és Reiber, 2016).

A vizekben a két leggyakoribb szennyező műanyaganyagtípusnak a polisztirolt és a polietilént találták Shen és munkatársai (2020). „A polietilén a legszélesebb körben felhasznált műanyag, leginkább a csomagolóipar használja. A műanyag polimerizációjához használt szerves anyagok mind nyersolajból származnak” (http13).

Egy 2018-ban végzett hazai felmérés alapján a WESSLING Hungary Kft munkatársai megállapították, hogy a Dunában 45-55 db/m³ mikroműanyag részecske volt, ezek között legnagyobb arányban a polietilén fordult elő, ezt követte a polipropilén, a polisztirol és a PET (http14). A polisztirol habosított formáját hungarocellnek nevezik. Különböző anyagokkal keverve használják az építőiparban is, illetve háztartási eszközök és csomagoló anyagok készülnek belőlük (Pukánszky és Móczó, 2012).

A WESSLING Hungary Kft munkatársai méréseket végeztek a Dunán kívül más hazai felszíni vizekben is. Ezek során az Ipolyban 1,7 db/m³, a Rábában 12,1 db/m³, a Tiszában (Dombrád) 4,9 db/m³, a Tisza-tóból 23,1db/m³, a tavat tápláló Eger-patakból és a Tisza tiszafüredi szakaszából 9,5, illetve 9,9 db/m³ mikroműanyagot mértek. A fenti eredményekből az is

érzékelhető, hogy a részecskék mennyisége és mértéke teljesen eltérő lehet még azonos folyó szakaszon is (http 15).

Prikler és munkatársai (2024) 2022 folyamán nyolc, a Balatonból és négy, a Kis-Balatonhoz köthető vízmintát vizsgáltak 50 – 1000 μm -es mérettartományban. Előbbiek átlagosan $21,0 \pm 12,5 \text{ db/m}^3$, utóbbiak pedig $7,8 \pm 5,9 \text{ db/ m}^3$ mikroműanyag koncentrációt mutattak. A mikroműanyagok forrásaként a tisztított szennyvizeket, a közúti gépjármű forgalmat és a turizmushoz köthető tevékenységeket jelölték meg.

2.3. Az üledékek mikroműanyag terhelése

A felszíni vizekben kerülő mikroműanyagok idővel és különböző folyamatok révén, lesüllyedhetnek és bekerülhetnek az üledékbe. Számos különböző méretű és fajtájú műanyag lehet a vizek iszapjában. Az ezt kutató mérésekre világszinten és Európa jelentős folyóiból is találunk példát.

Németországban a Mulde és az Elba folyó összefolyásánál vettek üledékmintákat is. Kimutatták, hogy Dessau város térségében az Elba erősen szennyezett mikroműanyagokkal (Laermanns et al. 2021). Vizuális azonosítás után azt az eredményt kapták, hogy az üledékmintákban 35-208 db/szárazanyag kg iszap volt a mikroműanyag koncentráció. További kutatások során is vettek üledék mintát az Elba más szakaszán is, ott teljesen eltérő eredményeket kaptak. Ennek oka, hogy számos dolog befolyásolja mennyi műanyag van az üledékben. Itt eredményként $3\,350\,000 \text{ részecske/m}^3$ koncentrációt mértek a $125 \mu\text{m}$ -nél nagyobb frakcióban. Az üledék sűrűsége $2,17 \text{ kg/cm}^3$ volt, így kiszámolható, hogy kilogrammonként ez 1544 műanyag részecskét jelentett. Ezekben a PP és a PE műanyag típusok mellett megjelent nagyobb sűrűségű műanyagok is, mint például a PVC és a PET (Scherer et al. 2020).

A Rajnában vett üledék mintákban lévő mikroműanyagok száma majdnem elérte a 4000 részecske/ szárazanyag kg koncentrációt (Klein et al. 2015). Olaszország néhány tavában is vizsgálták a part menti üledéket, itt 112-266 db/szárazanyag kg eredményt kaptak. Ez a szám terület arányosan becslések és számolások szerint 1922-2462 részecske lehet négyzetméterenként (Fischer et al. 2016). A velencei lagúna üledékében is vizsgálták a mikroműanyagok előfordulását, itt legnagyobb arányban a PE és a PP műanyag típus volt jelen és 672-2175 mikroműanyag részecske/szárazanyag kg közötti eredményt kaptak (Vianello et al. 2013). A kutatások eredményei jól mutatják, hogy a mikroműanyagok megjelenése, aránya és

mértéke nagyon eltérő lehet a különböző folyók és tavak üledékében, amit elsősorban az antropogén hatásoknak való kitettség befolyásolhat.

Az utóbbi két évtizedben a felszíni vizeinkben és az üledékekben megjelent mikroműanyagok fő közvetítőinek a szennyvíztisztító telepeket tartják, bár a szennyvíztisztítás során a szennyvízzel a telepekre érkező mikroműanyagoknak alig 0,1-3 százaléka kerül a tisztított szennyvízzel a befogadó felszíni vizekbe, a többi a szennyvíziszapban visszatartódik (http16). Ez azonban azt is jelentheti, hogy például egy hazai 122 373 névleges LE teljesítményű szennyvíztisztító tisztított szennyvize akár 1500 db/m³ mikroműanyagot is tartalmazhat (Pitás et al. 2024), így napjainkban a szennyvíztisztító telepek a környezetük mikroműanyag terhelésének gócpontjaivá válhatnak.

2.4. A talajok mikroműanyag terhelése

A mikroműanyagok napjainkban már a talajban is jelen vannak, amelyek káros hatással lehetnek a benne élő szervezetekre, illetve a talajra is (Chae és An, 2018). A föld az emberek egyik legfontosabb természeti erőforrása, mivel nélkülözhetetlen ökológiai szolgáltatásokat nyújt. Segít például a légkörben lévő szén megkötésében, a szennyező anyagokat szűrő funkciója van, a szerves hulladékok újra hasznosításában is szerepet játszik (Nielsen et al. 2015). Élőhelyet biztosít a talajban tevékenykedő mikrobáknak, a különböző állati szervezeteknek (Origiazzi et al. 2016), az emberiség fennmaradásához szükséges növényeknek, terményeknek (Nielsen et al. 2015). A műanyagok a talajba főként a mezőgazdasági tevékenységek során kerülnek be. Jelentős környezeti terhelést jelentenek például a műanyagból készült védőfóliák, amelyekkel a növényeket takarják le, hogy ne fagyjanak el a nagy hidegben, a fólia sátrak, a gyomnövények ellen védő talajtakaró fóliák, madárhálók (Rilling és Lehmann, 2020).

Sajjad és munkatársai (2022) megjelentetett közleményükben a poliuretán, a polietilén, polisztirol, a PVC és a PET mikroműanyagok (3,9-1000 µm-es tartományban) talajlakó szervezetekre (például földigiliszták, nematodák, ugróvillások, ászkarák, csigák) gyakorolt különböző károsító hatásairól (toxicitás, növekvő mortalitás, fejlődés lassulása, az immunrendszer aktivitásának csökkenése, fékezett mozgás, oxidatív stressz) számoltak be.

A berlini egyetem biológusai, olyan kutatást kezdtek, mely során az általuk ültetett növényeket mikroműanyaggal szennyezett vízzel öntözték és ennek a következményit vizsgálták. Eredményként azt kapták, hogy ezek a részecskék negatívan hatnak a növény növekedésére,

ezen kívül a megváltoztatják a víz párolgását a talajból, a víz áramlását és annak mértékét. A növények gyökérzetén megtalálható egy arbuscular mycorrhiza nevű gomba, melynek legfontosabb szerepe a növény tápanyag felvételében és növekedésében van. A mikroműanyagok ennek a gombának az anyagcseréjét is megváltoztatja, ezáltal befolyásolja a növény megfelelő növekedését (Rilling és Lehmann, 2020).

A növényeken kívül a talajra is negatívan hatnak ezek az anyagok. Befolyásolják a talaj szerkezetét, tömegét, sűrűségét, rontják a víz- és szénmegkötő képességét, illetve a lebontási folyamatokat lassítják. A mikroműanyagok megváltoztatják a növény gyökerének biomassza tömegét és ezáltal a növény termésmennyiségét. Módosíthatják a talajban lévő mikrobiota összetételét is (Rilling és Lehmann, 2020). A mikroműanyagok kedvezőtlen hatásaként jelentkezik, hogy beboríthatják a gyökérzet felszínét, a fiatal hajszálgyökereket felszakíthatják, és így bejuthatnak a növények nedvkeringésébe (Jia et al. 2023). A növényekből - feltételezhetően endocitózissal bejutó - nanoműanyagokat mutattak ki például dohányból, hagymagyökerek citoplazmájából (Dehghanian et al. 2023).

2.5. Mikroműanyagok hatása az emberi szervezetre

Az emberre nézve egyik a legkárosabb a levegőből belélegzett mikroműanyag szemcsék lehetnek, de a szervezetbe bekerülhetnek lenyelés útján (például ételből és italból is), illetve a bőrre is lerakódhatnak. Ezek az expozíciós kapuk akkor is működhetnek, amikor a lakásunkban, szobánkban tartózkodunk, például mikroműanyag részecskék származhatnak a szőnyegekből és más textíliákból is, amelyek különböző tevékenységek (porszívózás, sétálás) következtében válnak ki és kerülnek a zárt terek levegőjébe. A kis méretű szennyező anyagok környezetre gyakorolt káros hatását három tényezőben szokták meghatározni, ez a kémiai tulajdonság, a perzisztencia és a koncentráció (http17).

Ezek mellett utóbbi időkben számos vizsgálatot végeztek élelmiszerekből és palackozott italokból, ahol szintén megállapították, hogy tartalmaztak mikroplasztikokat. Ezek döntő többsége a gyártás során kerülhetett bele, sokszor az ott dolgozók ruhájából származó műanyag szálakból. Ezek a mikroműanyag részecskék nagyobb mennyiségben képesek zavaró hatást kifejteni az emberi hormonháztartásra, főként a műanyagokból kioldódó adalékanyagok révén (http18). A mikroműanyagok és a belőlük felszabaduló vegyi anyagok a vérkeringéssel bejutnak a különböző szövetekbe, szervekbe is. Kutatások megállapították, hogy ezen műanyagok már megtalálhatók például a lépben, májban, vastagbélben, tüdőben,

méhlepényben és az anyatejben is (Kutralam-Muniasamy et al. 2023). A vastagbélben például 28,1 részecske/g mikroműanyagot találtak. Csecsemők székletében 5700-82 000 ng/g, medián: 36 000 ng/g mikroműanyag fordult elő. Ez a szám több mint tízszer kisebb a felnőtteknél, mivel annak mediánja 2600 ng/g (Zhang et al. 2021). Ez azt jelenti, hogy a csecsemőknél sokkal magasabb lehet a mikroműanyagok előfordulása, mint a felnőtteknél (Ragusa et al. 2022). Mint közleményekből láthatjuk az anyatejjel együtt a részecskék a csecsemőkbe is bejutnak, így rájuk is veszélyt jelenthetnek, sőt az emberi méhlepénybe lévő szennyezők befolyásolják a magzat megfelelő fejlődését (Sripada et al. 2022). A napjaink toxicitási kutatásai arra hívják fel a figyelmet, hogy az emberi szervezetbe kerülő mikroműanyag szemcsék májfertőzést, bélsérülést és anyagcserezavarokat okozhatnak. Néhány erre kiterjedő kutatás során azt is feltételezik a kutatók, hogy a krónikus megbetegedések kialakulásában is szerepet játszhatnak. Számos elmélet szerint a korai fejlődési szakaszban ezek a káros anyagok növelik az elhízás esélyét, a cukorbetegséget, szív és érrendszeri elváltozásokat (http19). Mikroműanyagokat mutattak már ki agyból, herékből, spermiumokból, szívből (http20).

Egy orvos-csoport 257 szívbetegből olyan zsírlerakódásokat vizsgáltak, amelyeket sebészi úton távolítottak el páciensekből, azért, hogy felszabadítsák az eltömődött artériákat. Közülük 150 betegből (58%) mutattak ki olyan nyaki verőéren kitapadt lerakódásokat, amelyekben átlagban 21.7 ± 24.5 µg/mg plakk polietilén rakódott le, 31 betegnél (12%) PVC-t is találtak, 5.2 ± 2.4 µg/mg plakk mennyiségben. A tanulmány szerzői 34 hónapon át követték a betegek állapotát és megállapítást nyert, hogy akiknél mikroműanyag volt az artériában, náluk 4,5-szeresére nőtt a sztrók valószínűsége azokhoz képest, akiknél nem volt jelen az eltávolított plakkokban mikroműanyag (Marfella et al. 2024).

2.6. A mikroműanyagok megjelenése az élelmiszerekben

A mikroműanyagok a szervezetünkbe különböző forrásból kerülhetnek be, az egyik ilyen, amelyet mindennap fogyasztunk, illetve használunk a termények tisztításában és az élelmiszer előállításban is, az a víz. A palackozott italokban is jelen vannak ezek a szennyező részecskék. Ezek belekerülhetnek a vízbe a palack faláról vagy mechanikai hatásokra (például csavarás) a zárókupakról leválva. Ezeken kívül a palackba töltött víz nem megfelelő szűrése, tisztítása következtében is juthatnak a palackozott vizekbe mikroműanyagok, amelyek így az emberi szervezetbe kerülnek (http21).

A felmérések szerint a lakosság legjobban az ivóvízzel bevitt mikroműanyag szennyezéstől tart, annak ellenére, hogy viszonylag kevés adat áll még rendelkezésünkre az ivóvízben lévő mikroplasztikokról, illetve egészségügyi kockázataikról. Az ivóvízben lévő szennyezés mértékét befolyásolhatja pl. a kezelés/szűrés/tisztítás típusa, illetve, hogy a víz milyen mélységből érkezik, mivel egy felszíni víztestben nagyobb a valószínűsége, hogy tartalmazni fog valamilyen mértékű szennyező anyagot. Összességében az ivóvízben lévő mikroműanyagok aránya és mértéke széles tartományban mozoghat (0,0007 – 628 db/L) szemben a palackozott vizek magasabb értékeivel (10,4- 6292 db/L) (Koelmans et al. 2019).

A műanyagok az elfogyasztott élelmiszerekkel is az emberi szervezetbe kerülhetnek. Ennek egyik forrása a halak és a kagylók lehetnek, amelyeket frissen vagy már csomagolt formában vásárolhatunk. Jelentős számú tanulmány foglalkozik kagylókban és halakban előforduló mikroműanyagok vizsgálatával. Az ilyen kutatások eredményei bizonyították, hogy ezek előfordulnak a vadon befogott, illetve piacokról származó halakban és kagylókban (Kwon et al. 2020). A tengeri műanyagszennyezés az elmúlt években kiemelt környezetvédelmi problémává vált. A műanyag lenyelése különös aggodalomra ad okot, mivel annak nagyságrendje, a tengeri élőlényekre és potenciálisan emberre gyakorolt következményei még mindig nagyrészt ismeretlenek. Markic és munkatársai (2020) összefoglaló közleményükben 93, 1972 óta megjelent, a vadon élő halak mikroműanyag fogyasztásával kapcsolatos tanulmányt tekintettek át. A 494 vizsgált halfaj közül 323-nál (65%), 391 kereskedelmi célra szánt halfajból 262-ben (67%) mutatták ki műanyagok jelenlétét. Vannak olyan halfajok és kagylók, amelyeket egészben fogyasztunk, előbbire példa a szardínia, szardella. Ez az étkezési mód megnövelheti a műanyagok halmozódását és káros hatásait az emberi szervezetben (Lusher et al. 2017).

A feldolgozott élelmiszerekben is jelen lehetnek mikroműanyagok. Ezek egyrészt a gyártás során a nem megfelelő higiénés körülményei miatt, másrészt a gyártótérben dolgozók ruháiból és a gépekből kerülhetnek a termékekbe (Diaz-Basantes et al. 2020). Kutatások kiterjednek például a mézre és az abból készült ételre is. Egy tanulmányban 19 német, spanyol, francia és mexikói mézet vizsgáltak, amelyekben 40 db/kg – 660 db/kg tartományban találtak mikroműanyag szálakat és kisebb számban (0-38 db/kg) műanyag fragmenteket. Ennek fő forrásai a méhek által szállított szennyező anyagok bekerülése, illetve a méz feldolgozása közben is juthatnak részecskék a termékbe. A mikroműanyagok előfordulási gyakoriságának a csökkentését az élelmiszerekben csak megfelelő gyártási körülmények betartása mellett lehet elérni, de ezek mellett is számos tényező befolyásolhatja megjelenésüket, amelyeket nagyon nehéz kiküszöbölni (Liebezeit és Liebezeit, 2013).

2.7. A mikroműanyagok előfordulása az állati szervezetekben

A műanyagok lenyelése csökkentheti az élőlények életben maradásának esélyeit, sőt az állat halálához is vezethet (http12). Azt is megállapították, hogy azoknak az egyedeknek, amelyekbe mikroműanyagok kerültek részben megváltozott viselkedésük, mivel ezek a részecskék fokozták a fizikai és mechanikai stressz mértékét. Ezen felül a mikroműanyagok különböző méretű sérüléseket is okozhatnak az élőlények tápcsatornájában (http22). A károsítás, illetve a sérülések mértékét befolyásolhatja a műanyag szemcse alakja, mérete is. Míg az 1µm-nél nagyobb részecskék képesek kiürülni a tápcsatornából, addig az ennél kisebbek még a sejtmembránon is képesek átjutni. Ezek mellett a hatást a polimer anyaga is befolyásolhatja, illetve, hogy a fő komponensen kívül milyen anyagokat tartalmaz, mivel a szervezetbe jutott mikroműanyagból kiválhatnak toxikus anyagok, amelyek az élőlényekbe szivároghatnak (Hohenblum et al. 2015). A műanyag a szervezetbe kerülés után gyulladásokat okozhat, amely emésztési problémák, illetve szöveti elváltozások megjelenését idézheti elő (Yamawaki és Iwai, 2006). Gondot okozhat az is, hogy a különböző típusú műanyagok nagyon nehezen bomlanak le még az élőszervezetekben. Ezt a szennyeződést az élőlény tovább is adhatja az utódai számára. Erre számos kutatás is épült. Egyik ilyen vizsgálat során, a nagy vízibolha (*Daphnia magna*) nőtényét vizsgálták. Az etetés során a tápláléka mellé 3,25µm méretű fluoreszcens mikroműanyag szemcsét adtak. A vízibolha ezeket a szemcséket kiszűrte és a bélcsatornájában tárolta el. Számos nemzedéken át vizsgálatokat végeztek az élőlényen és nézték, hogyan viselkedik az állat szervezetében a műanyag. Legvégén a tapasztalatok azt mutatták, hogy a műanyagyszemcsék még a 3. nemzedékben is megjelentek, vagyis még addigra sem bomlottak le, illetve átadódtak a generációk között (Svighruha et al. 2023).

Egy kísérlet során tengeri evezőlábú rákok, kopepodák 13 faja képes volt táplálkozással felvenni 1,7-30,6 µm méretű polisztírol gyöngyöket, életszakaszonként más mérettartományban. A Copepoda-k fontos szerepet töltenek be például a szén körforgalmában, mivel az óceánok által megkötött szén táplálkozásuk során testükbe építik, és a napi vándorlási ciklusaik alatt a mélyebb vízrétegekbe juttatják. Ezen felül az ember által fogyasztott halak fontos táplálékai. Közülük *Centropages typicus* faj egyedei esetében például a 7,3 µm-es mikroműanyagok jelentősen csökkentették a táplálkozásukat (Cole et al. 2013).

Más trófitási szinten lévő élőlényeknél is megállapították, hogy mikropasztikokat fogyasztanak, például a tengerben élő csigáknál (Gutow et al. 2015), tengeri uborkánál (Graham és Thompson, 2009), garnélákban (Devriese et al. 2015).

A mikroműanyagok a tengerben élő emlősöket is veszélyeztetik. Zantis és munkatársai (2021) 30 olyan tudományos közlemény adatait elemezték, amelyek partra vetett, fogott vagy le vadászott cetfélék és úszólábúak (fókák) gyomrában és béltartalmában előforduló mikroműanyagok kimutatásával foglalkoztak. A szerzők úgy találták, hogy egy tanulmány kivételével mindegyikben beszámoltak állatonként 1-88 db mikroműanyag részecskéről.

A bálnák táplálkozásuk közben hatalmas mennyiségű vizet nyelnek be zsákmány állataikon kívül, amely következtében nagy számban juthatnak be mikroműanyag részecskék is a szervezetükbe.

A fentiekből jól érzékelhető, hogy ezek az apró méretű anyagok mindenhol jelen vannak a környezetünkben és minden gerinctelen és gerinces állatba bekerülhetnek, és kedvezőtlenül hatnak az állatok megfelelő fejlődésére és életben maradására (Germanov et al. 2018).

2.8. Műanyagok megjelenése természetvédelmi területeken

Napjainkban a műanyagok már a nemzeti parkokban és természetvédelmi területeken is megjelentek. Ez azt jelenti, hogy már olyan helyekre is bekerültek ezek a szennyező anyagok, amelyek fontos feladata az ott élő flórára, faunára és a tájra veszélyt jelentő anyagok bejutásának a korlátozása, megakadályozása, a negatív antropogén hatások távoltartása.

Svájcban végeztek olyan kutatás, melynek célja a talajban lévő mikroműanyagok arányának és mértékének meghatározása volt. A vizsgált 29, természetvédelmi területen fekvő árterület talajának legfelső 5 cm-es rétegéből vettek mintákat, melyből 26 helyszínen 55 - 593 milligrammnyi részecske volt a talajban kilogrammonként. A vizsgált területeken a felső 5 cm-es rétegben összességében 53,2 tonnára becsülték a mikroműanyagok tömegét (Scheurer és Bigalke, 2018). A szerzők arra is kitértek, hogy szennyező részecskéket általában nagyobb méretű műanyagok mellett találtak, amelyből arra következtettek, hogy ezek aprózódással keletkezett mikroplasztikok. Ugyanakkor - elsősorban a hegyvidéki régiókban - izoláltan találtak kis méretű mikroműanyagokat, ami szerintük arra utal, hogy a szél szállította oda őket. A műanyagok a talajban lakó szervezeteket, köztük a talaj termékenységében kulcsszerepet játszó gilisztákat károsíthatják, ezért a szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy további kutatásokra van szükség, különösen a mezőgazdasági talajok mikroműanyag-koncentrációival és a táplálékláncre gyakorolt lehetséges hatásával kapcsolatban.

A svájci természetvédelmi területektől egy kontinenssel arrébb lévő Yellowstone Nemzeti Park egyik tavában és az abban élő szervezetekben (felemáslábú rákok- Amphipoda, tavi pisztráng – *Salvelinus namaycush*) is kimutatták a mikroműanyagok előfordulását. Itt arra a következtetésre jutottak, hogy a műanyagok bekerülésének oka a turizmushoz köthető (Driscoll et al 2021).

Argentínában a mintavételek helyszíne a Patagónia területén található területek voltak. Ezen a részen kilenc tónál végeztek méréseket a kutatók, és mindegyikkel kapcsolatosan pozitív eredményeket kaptak a mikroműanyagok előfordulásáról. A vízmintákban a 0,2 és 04 mm közötti szálak és PET részecskék domináltak, az átlagos mikroműanyag koncentráció pedig $0,9 \pm 0,6$ db/m³ volt. Szakemberek pozitívnak minősítették, hogy világszinten ez nagyon alacsony értéknek számít (Alfonso et al. 2020).

Aggodalomra adhat okot, hogy már ezeken a területeken is kimutatható a műanyagok előfordulása és fontos cél lehet az ilyen területek megtisztítása és megvédése a szennyező anyagok bekerülésétől.

2.9. A Kis-Balaton áttekintő bemutatása

A dolgozatomban tárgyalt mikroműanyag mintavételezések helyszíne a Kis-Balaton volt.

A Balatontól délnyugatra fekszik a Kis-Balaton. Két, egymáshoz közvetlenül csatlakozó mesterséges édesvízi tóból, tározóból (Hídvégi-tó és Fenéki-tó) és ezek mocsaras területeiből tevődik össze két vármegye határán. A Hídvégi-tó Zala vármegyében található, amelyet 5 település határol körül. Ezen települések a következők: Balatonmagyaród, Garabonc, Nagyrada, Zalavár és Zalaszentgyörgy. A másik tározó (Fenéki-tó) pedig Somogy vármegyében terül el, közel Vörs körülbelül 450 fős községéhez. Ez a tározó zsilipen keresztül csatlakozik a Balatonhoz. A Kis-Balatonelhelyezkedését az **1/a. ábra** áttekintő térképvázlatán mutatom be.

A tavak átlag mélysége körülbelül 1,6 méter. Kisebb mennyiségben puhafás galériaerdők vannak a mocsarak és nádas környékén. Mivel a területen nagy mennyiségben fordul elő nád, így ennek számos pozitív hatása van a tóra nézve. Egyik ilyen előny, hogy a nád segít a Kis-Balaton vizének foszfor és nitrogén tartalmát csökkenteni, illetve eltávolítani. Ezen kívül a part stabilizálásában is nagy szerepet játszik (http23). A terület nagy része kiemelt védettség alatt áll, mivel kiemelkedő jelentőségű élővilággal rendelkezik (http24).

1/a. ábra: A Kis-Balaton áttekintő térképvázlata. (Forrás: Google Maps, <http25>, saját szerkesztés.)



A Kis-Balaton a Zala folyó torkolat vidéke, területe 146,6 km². Régi időkben Balaton öblét képezte, illetve egy 3 kilométer széles csatornával kapcsolták a tóhoz. Majd idővel a Zala folyó hordalékával feltöltötte a Kis-Balatont és így alakult ki ez a mocsaras terület. A Balaton és a Kis-Balaton között egészen a 18. század legvégéig nem tettek különbséget. Innentől a Balaton átlag vízmélysége és térfogata a felére csökkent, amely különböző építkezések és szabályozásokhoz volt köthető. Nagy átalakításokkal és tereprendezéssel járt a Balaton déli partjánál lévő vasútvonal megépítése, illetve 1863-ban építették meg a Sió zsilipet (<http26>).

A Siófoknál megépített zsilip segítségével a Balaton vízszintjét már tudták szabályozni annak arányában, hogy mennyi vizet engednek ki a Balatonból a Sió-csatornán keresztül. Ezek következtében Kis-Balaton magasan fekvő részei sokszor szárazon maradtak (<http27>).

Később az 1920-as években árvízvédelmi töltést építettek, amellyel elérték, hogy a Zala folyó árvíz esetén ne jusson be a Kis-Balatonba. Különböző csatornarendszerek építésével megpróbálták csökkenteni a vízszintet, hogy nagyobb területen lehessen mezőgazdasági munkákat végezni. A Kis-Balatonnak fontos szerepe volt (és van) abban, hogy a Zala folyó ezen a területen tette le a hordalékát, illetve szerves anyag tartalmát, ezzel segítve, hogy ezen anyagok ne juthassanak a Balatonba. A szabályozások miatt viszont az 1960-as években a Kis-

Balaton elvesztette szűrő funkcióját, ami a Balaton vízminőségének a romlásához vezetett. Ezek mellett a megnövekedett mezőgazdasági termelés miatt nőtt a káros anyagok mértéke a vízben. Ekkor belátták, hogy a még nagyobb ökológiai katasztrófa elkerülése érdekében intézkedéseket kell tenni. 1970 körül a „Nyugat-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság kidolgozott egy tervet a „Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer” kiépítésére, ami a Kis-Balaton újbóli mesterséges elárasztását, a mocsárvilág rehabilitációját foglalta magában.” A terv sikeresnek bizonyult ezért el is kezdték a megvalósítását. A munka két ütemben zajlott. Elsőként a Hídvégi-tó került kialakításra, amelynek területe 1870 hektár. Majd később második ütemben a Fenéki-tó elárasztása került előtérbe. Ennek a területe 5000 hektár és kiépítése csak a 2000-es években fejeződött be. Fontos kritérium volt, hogy a második ütem készítésekor ne egy tórendszert hozzanak létre, hanem egy lápos, nádas területet, amely számos élőlénynek, főként a madárvilágnak nyújtson megfelelő élőhelyet. Az alapos tervezések és kivitelezési munkák sikeresen végbementek, így a mocsaras élőhely fokozatosan regenerálódni tudott a Kis-Balaton területén (http26).

A Kis-Balatonnak nagyon fontos szerepe van a Balaton életében is. A Zala folyó a Kis-Balatonba érkezik, így az általa szállított hordalékot és szerves anyagokat itt teszi le. Így ezek az anyagok ki tudnak ülepedni a Kis-Balaton területén, elsőként a Hídvégi-tó Bárándi-víznek nevezett részén. Ennek a szűrőhatásnak a köszönhetően nagy mennyiségű nitrogén és foszfor nem tud továbbjutni a Balatonba, ami csökkenti a Keszthelyi-öbölben az eutrofizációs kockázatokat (http26).

Az eutrofizációt befolyásoló különböző tápanyagok (N, P) főként a tisztított szennyvízzel kerülnek a Zalába, illetve a mezőgazdaság diffúz terheléseiből, a műtrágya és hígtrágya bemosódások következményeként. Ezért a Balaton eutrofizációjának megakadályozásában és visszaszorításában nagy szerepe van a Kis-Balatonnak szűrő funkciójának, ennek támogatására dolgozták ki, és hozták létre a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszert (KBVR) (http28).

A Kis-Balaton természetvédelmi értékeit tekintve meg kell említeni, hogy nagyszámú védett gémféle él és költ ezen a területen. Itt megtalálható a nagy kócsag (*Ardea alba*) is, amely egy fokozottan védett faj, illetve a természetvédelem címermadarának is szokták nevezni. Ezen kívül a kis kócsag (*Egretta garzetta*) is és az üstökös-gém (*Ardeola ralloides*) is megtalálható a területen, amelyek szintén fokozottan védettek. A récefélék is nagy számban fordulnak elő a területen. Ezek között fokozott védelmet élvez a cigányréce (*Aythya nyroca*). A Kis-Balatonnál élnek még kárókatonák (*Phalacrocorax carbo*), fattyúszerkők (*Chlidonias hybridus*) és dankasirályok (*Larus ridibundus*) is. Megfigyelhetők a nádasok körül az ott költő, illetve a

levegőben szárnyaló és vízből vadászó ragadozó madarak is. A területre jellemző rétisas (*Haliaeetus albicilla*) és barna rétihéja (*Circus aeruginosus*) is. Ezen fajok mindegyike szigorú védelem alatt áll (http29). A Kis-Balaton kiemelkedő természetvédelmi jelentőségét alátámasztja, hogy a területe nemzetközi jelentőségű Ramsari egyezmény hatálya alatt áll. „Hivatalos nevén az egyezmény a nemzetközi jelentőségű vizes élőhelyekről, különösen, mint a vízimadarak élőhelyeinek védelméről és fenntartásáról szól, a természetvédelmi államközi megállapodások legrégebbike” (http30).

2.10. Kis-Balaton természetvédelme

A Kis-Balaton területén nagy számban élnek védett és fokozottan védett növény- és állatfajok. A tavat madárrezervátummá nyilvánították 1951-ben. A Kis-Balaton NATURA 2000 hálózathoz tartozó területeit vázlatosan az **1. ábrán** szemléltetem. A terület a Balaton-felvidéki Nemzeti Parkhoz tartozik. A Kis-Balatonnál 270 körüli madárfaj él, illetve több mint száz más különböző védett állatfaj, valamint az itt előforduló növények közül 60 védettség alatt is áll (http31).

1/b. ábra: Térképvázlat. Kis-Balaton Natura 2000 hálózathoz tartozó területei. (Forrás: natura2000map, http32, saját szerkesztés.)



A Kis-Balatonnál volt először természetvédelmi őr 1930-ban, de akkor még kócsagörnek nevezték. Alkalmazásukra azért volt szükség, mivel abban az időben a nagy kócsag állománya nagyon megritkult és majdnem a terület egészéről eltűnt a populáció, az őrk segítségével viszont sikerült megvédeni a faj állományát.

Azóta a területen megnőtt a nagy kócsag állománya (*Ardea alba*), napjainkban 400 körüli pár költ a Kis-Balatonnál. A faj hazánkban fokozottan védettnek számít, természetvédelmi eszmei értéke eléri a 100.000Ft-ot. Ezek a madarak nagyméretű és zavarásoktól elzárt helyeken fordulnak elő.

A területen élnek elszórt telepeken kárókatónák (*Phalacrocorax carbo*) is, melyek a régebbi időkben, nagyobb összefüggő területeket népesítettek be. Számuk a 2000-es évek környékén megnőtt és ellentétbe kerültek a halászokkal, tógazdákkal a nagy mennyiségű halfogyasztásuk (akár napi 1 kg) miatt. Ekkor állományszabályozást hajtottak végre a Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság munkatársai, aminek következtében már nem nagy és összefüggő kárókatona telepek találhatók a Kis-Balatonnál, hanem felaprózódott, több kicsi rész területen élnek. Az üstökös gém (*Ardeola ralloides*), illetve a cigányréce (*Aythya nyroca*) is nagyszámban jelen vannak, mindkét faj fokozottan védett hazánkban. Védett és fokozottan védett ragadozó madárfajok is jelen vannak a területen, a rétisas (*Haliaeetus albicilla*) állománya is megfigyelhető kis számban. Ez a faj Magyarországon fokozottan védett, melynek természetvédelmi eszmei értéke 1.000.000Ft. A barna rétihéja (*Circus aeruginosus*) is nagy számban fészkel a Kis-Balatonnál.

Az emlősök közül itt él az északi pocok (*Microtus oeconomus*), mely fokozottan védettnek számít. Ez a faj országos szinten is jelentős, mivel csak néhány szubpopulációja fordul elő. Ez egy jégkorszaki reliktum faj, a gyepes területeket kedveli.

A vizes életterek kedveznek az ezt kedvelő emlősöknek, így a Kis-Balaton területén is jelen van az európai vidra (*Lutra lutra*), hód (*Castor fiber*), előbbi fokozott védelem alatt áll.

Jellemző halfajok a fokozottan védett lápi póc (*Umbra krameri*), amely a lápos területeken szép számban jelen vannak. A Keszthelyi-öbölben élő balin (*Leuciscus aspius*) populációk a Kis-Balaton területére jönnek ívni. A lápos területeket kedvelő és preferáló védett lápi szitakötő (*Leucorrhinia pectoralis*) jelentős számban fordul elő a Kis-Balatonnál.

Egy rendkívül érdekes, ellenben nem védett faj él a területen ez pedig a Moog piócája (*Batrachobdelloides moogi*), amely azért különleges, mert a világon először itt a Kis-Balatonban találták meg 1995-ben. Régebbi időkben a piócák felhasználása orvosi célokra nagyon jellemző volt a világban, és a hazánkban is nagy szerepen játszott.

Kis-Balatonnál jellemző vízínövénynek számít a hazánkban védelem alatt álló fehér tündérrózsa (*Nymphaea alba*) és a nem védett (*Nuphar lutea*) azaz sárga vízitök. Védett hínárfajok közül jelentős a terület néhány helyén megjelenő a tündérfátyol (*Nymphoides peltata*). A sulyom (*Trapa natans*) is egy védett növény, de ez néha gondot is okozhat, mivel túlságosan beárnyékol, melyek negatívan érintik a vízben élő fajokat. A Magyarországon védett gyilkos csomorika (*Cicuta virosa*) nagy számban elterjedt, előfordulási területe egészen a Balatonig elnyúlik ([http33](#)).

Mivel a terület és környéke a vizesebb, nedvesebb körülményeket kedvelő fajok igényét is kielelégíti, így a Kis-Balaton növény és állatvilága nagyon sokszínű, melyek között védett és fokozottan védett fajok egyaránt előfordulnak ([http31](#)).

2.11. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) bemutatása

Az 1960-as évektől kezdődően a Kis-Balaton vízminősége fokozatosan romlott. A Kis-Balaton helyreállítása érdekében dolgozták ki, majd hozták létre a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszert (KBVR). Megvalósítása két ütemben zajlott, az elsőt 1981-ben kezdték el és 1985-ben fejeződött be. A második ütem építése 1984-ben kezdődött meg, de a teljes rekonstrukciója csak 2015-ben fejeződött be. Ettől az időszaktól kezdve működik a műszaki létesítményekkel ellátott (például zsilipek, töltések, átemelő szivattyúk, hallépcső, híd), így rugalmas üzemirányítási, beavatkozási lehetőségekkel rendelkező KBVR. Feladata a tápanyageltávolítás és a természetvédelmi-ökológiai vízigények optimális biztosítása.

Az egész projekt elkezdésének számos oka volt, egyik ilyen fő indok, hogy a Zala folyó által szállított szennyező anyagokat, tápanyagokat - még a Balatonba érkezésük előtt - itt felfogják, visszatartsák. A másik jelentős ok, hogy a Zala árvíz esetén ne jusson közvetlenül a Balatonba, illetve az árvizet vissza lehessen tartani. Ezek elérésére árvízvédelmi tározókat hoztak létre. Fontos tervezési tényező volt az is, hogy a területen lévő élőlényeket és élőhelyeiket biztonságba tudják megőrizni és fenntartani ([http34](#)).

A Kis-Balaton Tájvédelmi Körzetet 1986-ban hozták létre, a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer területével közösen, melynek nagysága elérte a 87 km². A terület egésze a Balaton-felvidéki Nemzeti Park része. Magyarország 2004-ben csatlakozott az Európai Unióhoz, ekkor az előre kijelölt és meghatározott terület (**1.b. ábra**) a Natura2000 természetvédelmi hálózat részévé vált. A Kis-Balaton, illetve a KBVR területén kijelölésre került a különleges madárvédelmi terület és a különleges természetmegőrzési terület ([http35](#)).

Mind a Hídvégi-tóhoz, mind a Fenéki-tóhoz számos műtárgy, csatorna és töltés tartozik. Kétféle töltést különböztetnek meg itt. Létezik vizet tartó töltés, illetve vízterelő töltés. A vizet tartó töltések hossza 78,489 km ez 3,5-szer több, mint a vízterelő töltéseké (http34). A hallépcső megépítésével és alkalmazásával a vonuló halfajok képesek feljutni a Balatonból a Kis-Balatonba ívásuk időszakában. Ezzel a fajok populációjának számát fenntartják, illetve növelni tudják (http36).

2.12. Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) működése

A Hídvégi-tó (1/a., 1/b. és 2. ábra) az egyik része a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszernek (KBVR I. ütem). Ezt a mély fekvésű területet régen mezőgazdasági célokra használták és a Zala folyó által szállított tápanyagokat itt tartották vissza. Ez egy körülbelül 18 négyzetkilométeres terület, ahol a Zala által szállított víz tud elterülni. Itt a vizet szakemberek segítségével felduzzasztották a Balaton vízszintjéhez képest 2 méterrel magasabbra. Ennek megvalósításához a Zala folyó partján lévő töltéseket fel kellett számolni. Ezáltal a víz akadály nélkül tud átfolyani a már megépített területre. A helyszínre terelőtöltés is épült, hogy a víz folyását szabályozni tudják. A folyóból érkező vizet 30 napig tartják a területen, ezalatt az idő alatt az élő szervezetek a vízből származó tápanyagokat be tudják építeni saját szervezetükbe. Ezen a területen a víz átlag mélysége elég sekély, körülbelül 1,5 méter (http37).

Összehasonlítva a Hídvégi-tó és a Fenéki-tó (KBVR II. ütem, 1/a., 1/b. és 2. ábra) növényvilágát megállapíthatjuk, hogy a kettő eltér egymástól (http28). A Hídvégi-tó a viszonylag kis mélység miatt könnyen felmelegszik, így magasabb rendű növények alig fordulnak elő. Ezzel szemben a part tökéletes a gyékény és nád megjelenéséhez, illetve a víztestben nagy mennyiségű hínárnövényzet található. A nagymértékű besugárzás, a nyílt vízfelszín a segít eltávolítani a tápanyagokat, amelyek a Zala folyóból a tóba kerülnek (http36). A Fenéki-tóban a magasabb rendű növények miatt eltűnik az algák dominanciája, és előbbiek kerülnek túlsúlyba a tápanyagok kiszűrésének a folyamatában.

A Kis-Balatonba áramló víz foszfor koncentrációja és mértéke határozza meg a foszfor eltávolításának határfokát. Ezáltal minél nagyobb a bejövő vízben a foszfor tartalom, annál nagyobb lesz az eltávolított mennyiség is. A rendszer hatékonyságát a vízhozam is befolyásolja, vagyis minél nagyobb a hozam, annál jobb lesz az eltávolítás eredménye. A tó foszforleadása a gyakorlatban a keletkező alga biomasszával arányos. Nyári, kisvizes időszakokban a Hídvégi-tóban algavirágzás jelentkezik. Nyári időszakokban a vízben lévő alga-biomassza

foszfortartalmának csak egy része származik a Zalával érkező foszforból, a másik része (belső terhelés) viszont a korábbi árhullámok által szállított üledékhez kötött foszfortartalomból, illetve a vízben elpusztult élőlények (makrofiták, fitoplanktonok) bomló szerves anyagából keletkezik (http35).

A Fenéki-tó a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer II. üteme (1/a., 1/b. és 2. ábra). A tervek alapján a megfelelő vízáramlás biztosítása érdekében 2000 méter meglévő töltést építettek át, magasítottak meg, 2700 méternyi újat építettek, 20 km csatorna kotrását végezték el, illetve 20 új műtárgy épült és 21-et pedig felújítottak (http36).

Az itt lévő vízfelületet emerz makrovegetáció borítja és fényhiányában a vízben lévő algák elpusztulnak (http35). Ezt az elárasztott területet úgy, hozták létre, hogy a víz két terelőtöltést megkerülve körülbelül 90 nap alatt jusson el a Balatonig. A KBVR II. ütem szakemberek által megtervezett struktúrájából egy 16 négyzetkilométeres, Ingói-bereknek nevezett területet árasztottak el 1992-ben (http37). „Ez úgy működik a gyakorlatban, hogy kis vízállásnál az Ingói berek kimarad a víz útjából, ami a Fenéki tavon keresztül áramlásbiztosító eszközökkel kerül a Balatonba.” Abban az esetben viszont, ha nagy lenne a vízhozam (például árvíz, belvíz, nagymértékű csapadék) az Ingói-berek (2. ábra) is elárasztásra kerül.

A vízszintemelés következtében a terület észak-nyugati részén lévő nádasok egy része megritkult. Ezt nevezzük babásodásnak (http37). A jelenség természetes okai közé tartozik, hogy a baktériumok redukív közeget alakítanak ki az üledékben, így hipoxikus (csökkent oxigéntartalom), majd anoxia (teljes oxigénhiány) léphet fel. Előbbi esetben a nád rizómái, gyökerei tömörülnek, a víz feletti részek sűrűsödnek (babásodás), utóbbi esetében a nád gyökérzete egyáltalán nem jut oxigénhez, így az adott területen kipusztul (Vörös et al. 2013).

Ezekon kívül légifelvételeket is készítenek, amellyel a terület növényvilágát és annak változását tudják megfigyelni és nyomon követni ([http36](#)).

A KBVR II. ütem kialakításának egyik fontos célja a rendszeres árvizek kockázatának csökkentése volt. Ezt a víztározók térfogatának bővítésével és korszerű belvízvédelmi rendszerrel sikerült elérni. Szintén fontos célja a projektnek, hogy a természeti és ökológiai értékeket megőrizze és fenntartsa, illetve ezek növelésére legyen képes. Ezeket számos eszközzel és beavatkozással érik el például, a Zalavári belvízöblözet elárasztásával, az Ingói-berek tápanyag terhelésének mérséklésével. Fontos az úgynevezett wetland szerű kezelés elérése a területen. Fontos célkitűzésként szerepelt a Balaton vízminőségének megőrzése.

Legnagyobb veszélyt a Balaton vízminőségére az eutrofizáció jelenti. Ez a folyamat a víz elalgásodásához vezet, amely jelentős negatív hatással van a vízben és a víztest környezetében élő szervezetek számára ([http37](#)).

A Hídvégi-tó tervezésében, kialakításában a Magyar Tudományos Akadémia és számos más tudomány terület szakemberei működtek együtt és hoztak közös döntéseket. Ezen kívül egy fórumot is létrehozta, amely a környezetvédelmi, természetvédelmi, vízügyi és civil érdekek egyeztetésére szolgál. Itt civil szervezeteket, biológusokat és szakembereket vontak be, akikkel megvizsgálták és keresték a legjobb megoldásokat, amelyek hosszú távon is mindenkinek megfelel ([http36](#)).

3. Alkalmazott módszerek

3.1. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) Bárándi-víz elnevezésű területén végzett mintavételek

A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer, I. ütem, Bárándi-víz területén 6 darab, bolygatott mederüledék mintát vettek a MATE AKI Környezetbiztonsági Tanszékének munkatársai 2023. 07. 28-án. A mintavételi pontok térbeli elhelyezkedését a 3. számú ábra térképvázlatán, a mintavételi pontok GPS koordinátáit pedig a 3. számú táblázatban mutatom be.

3. ábra: Térképvázlat. A mintavételi pontok (I.-VI.) elhelyezkedése a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) I. ütem, Bárándi-víz területén. (Az alaptérkép forrása: Google Maps.)



3. táblázat: A mintavételi pontok GPS koordinátái. (Forrás: Google Maps.)

Mintavételi pontok	Koordináta
I.	46.668400, 17.129579
II.	46.664045, 17.125872
III.	46.661950, 17.122582
IV.	46.665919, 17.130584
V.	46.665158, 17.123524
VI.	46.660866, 17.122927

3.2. A mintavételi pontok bemutatása

A Zala folyó a KBVR I. ütem, Hidvégi-tó Bárándi-víznek nevezett területére érkezik és üledékét elsődlegesen itt rakja le. A területileg illetékes Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (NYUDUVIZIG) emiatt ebben a térségben mederkotrást irányozott elő, aminek a bevezető, próbakotrás szakaszát 2023 végén valósították meg ([http39](#)). A munkálatok megkezdése előtt vizsgálták a mederüledék in situ szennyezőanyag-tartalmát, ezen belül a mikroműanyagok jelenlétét. Így került sor az **I-VI.** pontok mintázására. Az innen begyűjtött minták elemzésében vettem részt az Eurofins Analytical Services Kft. mikroműanyagokat vizsgáló laboratóriumában.

A mintavételi területet (Bárándi-víz) délről egy mesterségesen épített gát határolja és választja el a teljes vízterülettől, ezen a gáton autós forgalom is zajlik, illetve kedvelt a horgászok körében is. Az itt lévő víz egy zsilipen keresztül tud tovább folyni.

Erre a területre fontos szerep hárul, mivel a Zala folyó és a Bárándi-patak is ide érkezik. A folyó vizét a területen lelassítják/tartják, így az élő szervezetek a vízből származó tápanyagokat mintegy 30 nap alatt be tudják építeni a saját szervezetükbe. A víz átlagos magassága körülbelül 1,5 méter a területen ([http37](#)). A kis vízmélység miatt a magasabb rendű növények kis számban vannak jelen, ellenben a part szélén gyékény és nád növényzet találunk. Fontos szerepe van a besugárzásnak is, mely hozzájárul és segít eltávolítani a tápanyagokat ([http36](#)).

A mintavételi pontok közül az **I.** és az **IV.** található a terület keleti partjánál ezek közül az **I.** mintavételi pont van a legészakibb irányban, és legközelebb a Zala folyó beömléséhez. A NYUDUVIZIG elsődlegesen ezen a területen valósította meg a Bárándi-víz próbakotrását, amely során különböző kotrasi és víztelenítési technológiákat fognak kipróbálni és értékelni. Az **II., III., V. és VI.** mintavételi helyszín a terület nyugati partjához vannak közelebb. Az **II.** mintavételi pont az, amely legjobban eléri a víztest, ezzel együtt a tó medrének középső részét. Az **I-VI.** mintavételi pontok voltak azok a helyszínek, amelyeken az előzetes vizsgálatok alapján - az áramlási viszonyoknak megfelelően – a Zala folyó a legvastagabb üledék rétegeket rakta le.

3.3. Mintaelőkészítés

A minták a Budapesten (Újpest) található Eurofins Analytical Services Hungary Kft.-hez érkeztek. Itt végeztem a minták előkészítését külső konzulensem, Prikler Bence segítségével.

Elsőként az üvegedényekben lévő mintákból 30 gramm (nedves tömeg), mértem ki egy üveg főzőpohárba, amelyhez 100 ml 30%-os hidrogén-peroxidot (H_2O_2) adtunk. Ez egy oxidálószer, ami azért szükséges, hogy az üledék mintákban lévő szerves anyagok lebontása megkezdődjön.

A folyamatot elszívó fülke alatt végeztük, és a mintáinkat a fülke alatt állni hagytuk egy éjszakán keresztül. Ezzel párhuzamosan további 50-50 g üledéket is kimértünk a mintákból szárazanyag meghatározás céljából, amelyeket $105\text{ }^\circ\text{C}$ -on hevítettünk súlyállandóságig, majd a visszamaradt szárazanyag és a bemért tömegek különbségéből számoltuk ki a minták szárazanyag tartalmát. A hidrogén-peroxidos inkubáció után 50 és 1000 μm pórusátmérőjű rozsdamentes sziták segítségével átszűrtem a mintákat, így a minták a továbbiakban 1000 μm és 50 μm közötti részecskéket tartalmaztak. Az 50 μm pórusátmérőjű szitáról a részecskéket 1 L-es főzőpohárba mostuk 200 ml mikroműanyag mentes víz segítségével.

Elszívó fülke alatt az így kezelt mintákhoz 242 ml 30%-os hidrogén peroxidot adtunk hozzá, majd 65 ml nátrium-hidroxidot, végül pedig 62 ml vas (II)-szulfát oldatot. Ez utóbbit három részletben adagoltuk, 20+20+22 ml, annak érdekében, hogy a reakció kontrollált körülmények között tudjon folyni (exoterm folyamat). Ezt a kémiai folyamatot nevezik Fenton reakciónak. Ez egy fokozott oxidációs reakció, amely a hidrogén-peroxid vas(II)ion általi katalizációját foglalja magában, és amely során in-situ hidroxil szabad gyökök képződnek ([http40](http://40)). A Fenton reakció egy nap alatt lezajlik, ezalatt a mintáinkat elszívó fülke alatt tároljuk. A két, hidrogén-peroxidot alkalmazó oxidációs művelet során mintáinkat a szervesanyag-tartalmuktól próbáltuk a lehető legtökéletesebben megszabadítani.

Másnap a mintákat megint leszűrtek. A szűrletet mikroműanyag mentes víz segítségével 250 ml-es főzőpoharakba mostuk át, majd ebből a mintákat SVGS (small volume glass separator), azaz kis méretű üveg elválasztó eszközökbe öntöttük (**1. fénykép**), illetve a 250 ml-es főzőpoharakat alaposan (háromszor) átöblítettük minél kevesebb UPW (ultrapure water) tisztaságú víz felhasználásával, az öblítő vizeket is az SVGS edényekbe öntöttük. Ezekbe az edényekbe egy-egy üvegbevonatú mágneses keverőbabát helyeztünk, és $1,7\text{ g/cm}^3$ sűrűségű ZnCl_2 oldattal feltöltöttük őket úgy, hogy a folyadék szint az edények alsó részét töltse ki. Az SVGS edényeket egy fűthető mágneses keverőn 10 percig 600 rpm fordulattal kevertettük.

Ezek után az edények alsó részén lévő csiszolatos szájára ráillesztettük a szintén csiszolatos felső részt, csiszolatokra minimális szilikon zsírt tettünk. Az állványon lévő elválasztó tölcseért szilikon cső segítségével az SVGS edények alsó csapjához csatlakoztattuk és ZnCl_2 oldattal tovább töltöttük a szilikon csövön keresztül a feltöltő csapon át úgy, hogy a folyadékszint a két felső csap közé kerüljön. A kevertetést további 10 percig folytattuk. A kevertetés után a

mintákat 120 percig ülepitettük. Az ülepités után az eszköz falára rakódott anyagok eltávolítása érdekében 2x2 percig ultrahangos tisztítókádban szonikáltuk az SVGS edényeket, majd további ülepitést végeztünk 120 percig. Az SVGS-ek felső két csapját elzártuk, a felső és az alsó részt a csiszolatoknál óvatosan szétválasztottuk. A csapok közti mintákat ugyanabba az elválasztás előtt is használt 250 ml-es főzőpoharakba töltöttük át, illetve az SVGS edények felső részét háromszor átöblítettük UPW vízzel, és ezt is a mintákhoz adtuk.

Ezt követően vákuumszivattyú segítségével 0,2 μm -es (aluminium) Anodisc szűrőn átszűrtük a mintáinkat. A főzőpoharakat háromszor átmostuk 96%-os etanollal, és ezt is átszűrtük az Anodisc szűrőn. A mintáinkban lévő részecskék így Anodisc szűrő lemezre kerültek, melyek az IR sugarakat a vizsgálati tartományban átengedik, így a mintáink rögtön az FTIR (Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia) mikroszkópba helyezhetők.

1. fénykép: SVGS (Small volume glass separator), azaz kis méretű üveg elválasztó eszközök, amelyek segítségével a mikroműanyagok sűrűség elvű felúsztatását és elkülönítő összegyűjtését végeztük. (Forrás: Saját készítésű kép az Eurofins laboratóriumában.)



3.4. A mikroműanyagok azonosítása és számlálása

Az FTIR mikroszkóp az egész Anodisc szűrőfelületről 25 μm térbeli felbontással kémiai információt gyűjt (IR spektrumokat), majd a mintában lévő spektrumokat a siMPle szoftver segítségével spektrális adatbázisokhoz hasonlítja a berendezés. A megbízható eredmény érdekében a szoftverben előre beállítottuk, hogy legalább két pozitív szomszédos pixel legyen mikroműanyag részecskénként azonosítva, így a kimutatási alsó határunk 50 μm volt. Abban

az esetben, ha a mintánkban lévő spektrumok legalább 70%-os egyezést mutattak a spektrális adatbázissal, akkor azt a mintában lévő részecskét mikroműanyagként tekintik a vizsgálat.

A mintaelőkészítés, azonosítás és számlálás eredményeként a mederüledék mintákból az 50 - 1000 μm mérettartományba tartozó mikroműanyagok számát adjuk meg.

4. Eredmények és értékelésük

Ebben a fejezetben mintavételi helyszínenként bemutatom, értékelem és összehasonlítom a mintaelőkészítés és a mikroműanyagok meghatározása után a kapott eredményeket. Minden egyes mintavételi pontnál megadom a talált részecskék polimer típusát, fajtáját és azok darabszámát is. Az eredményeket két különböző ábrával is illusztrálom, amelyből az egyik az ANODISC szűrőlapról készült kép, rajta az kiszűrt, fennmaradt, natív szemcsékkel. A másik ábra már a FTIR mikroszkóp és program elemzés után készült. Ezen láthatók az azonosított mikroműanyag fajták, az értékelő program által adott színenként is osztályozva.

A fejezetben az 50 - 1000 μm mérettartományba tartozó mikroműanyagok darabszámát a vizsgáló laboratórium által közölt db részecske/kg iszap szárazanyag dimenzióban adtam meg.

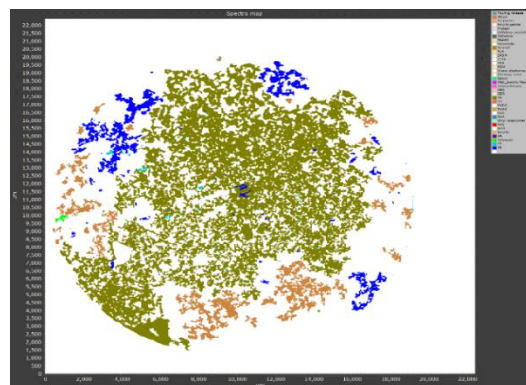
4.1. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz I. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények

Az I. számú mintavételi pontnál 1 kilogramm mintában összesen 9730 darab mikroműanyag részecske fordult elő. Ebből 5340 db polietilén, 2670 db alkid, 1080 db polipropilén, 430 db polisztirol, 70 db poliészter, 70 db akrilnitril-butadién-sztirol, 70 db teflon.

4. ábra: I. mintavételi pont. **A:** Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, **B:** Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után (Az értékelő program a különböző polimer fajtákat eltérő színekkel jelöli.)



A

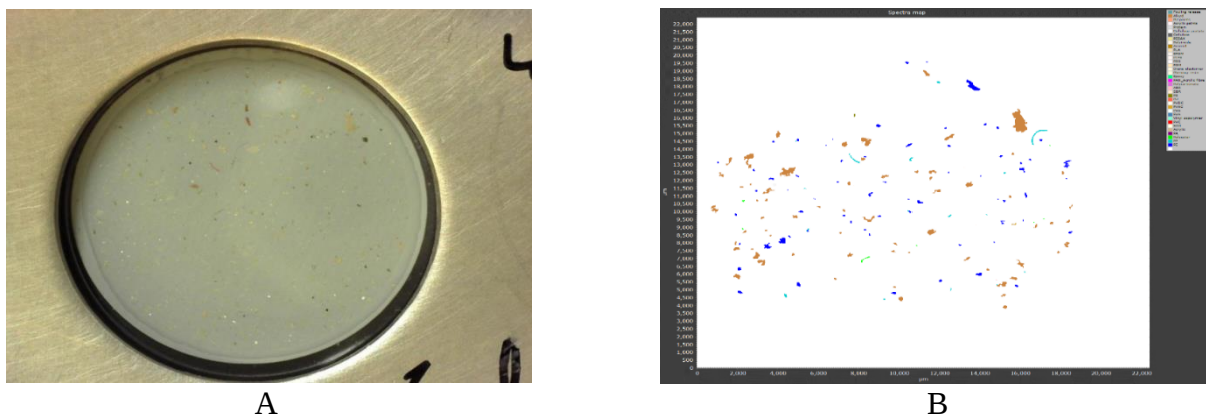


B

4.2. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz II. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények

A II. számú mintavételi pontnál 1 kilogramm mintában összesen 13 480 darab mikroműanyag részecskét találtunk. Ebből 5750 db polietilén, 5750 db alkid, 720 db polipropilén, 450 db poliészter, 180 db akril, 180 db teflon, 180 db cellulóz-acetát, 90 db akrilnitril-butadién-sztirol, 90 db polivinil-acetát, 90 db polisztirol.

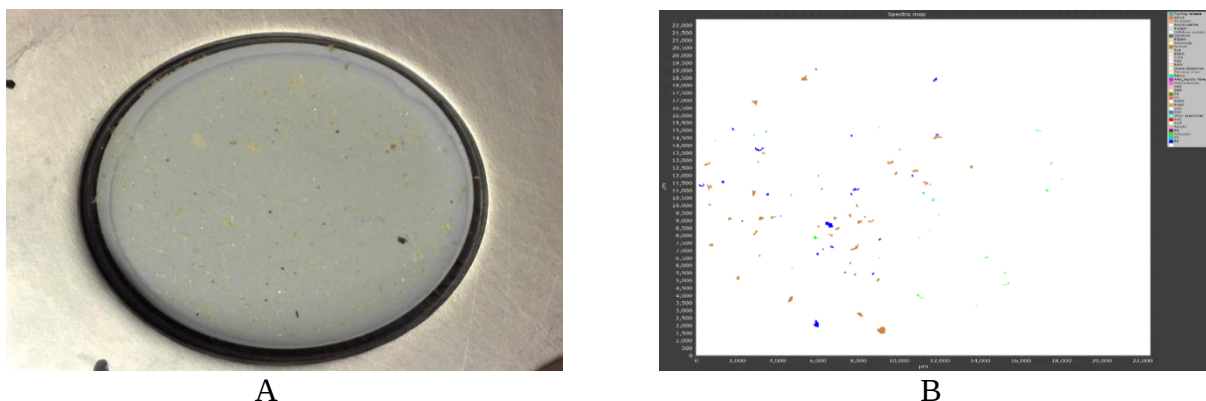
5. ábra: II. mintavételi pont. **A:** Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, **B:** Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után. (Az értékelő program a különböző polimer fajtákat eltérő színekkel jelöli.)



4.3. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz III. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények

A III. számú mintavételi pontnál 1 kilogramm mintában összesen 5250 darab mikroműanyag részecske fordult elő. Ebből 2630 db alkid, 1750 db polietilén, 580 db poliészter, 220 db polipropilén, 70 db polisztirol.

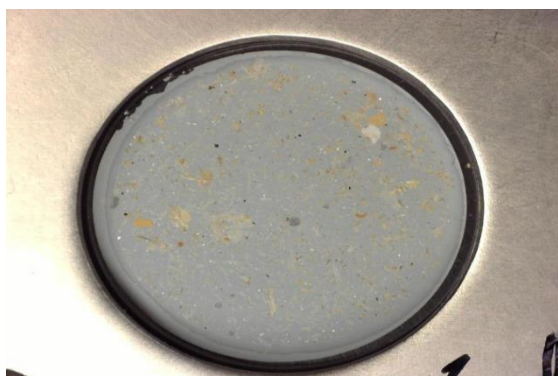
6. ábra: III. mintavételi pont. **A:** Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, **B:** Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után. (Az értékelő program a különböző polimer fajtákat eltérő színekkel jelöli.)



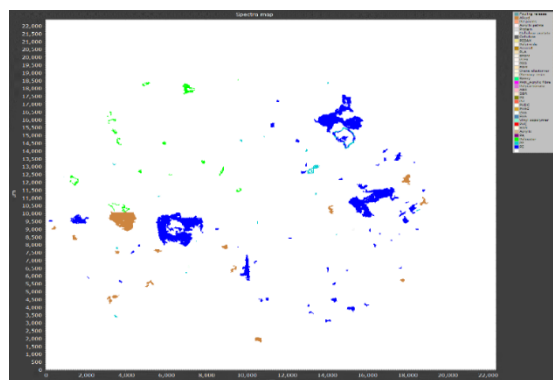
4.4. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz IV. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények

A IV. számú mintavételi pontnál 1 kilogramm mintában összesen 7440 darab mikroműanyag részecske volt. Ebből 4110 db polietilén, 1470 db poliészter, 1160 db alkid, 620 db polipropilén, 80 db cellulóz-acetát.

7. ábra: IV. mintavételi pont. **A:** Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, **B:** Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után. (Az értékelő program a különböző polimer fajtákat eltérő színekkel jelöli.)



A

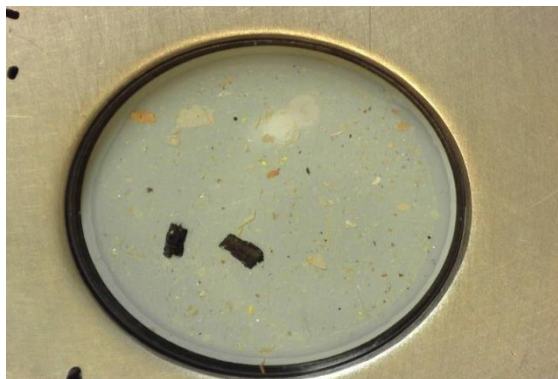


B

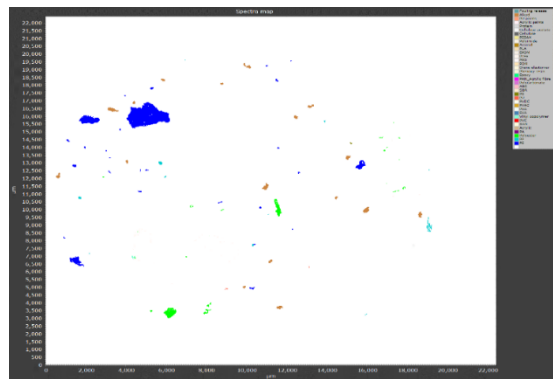
4.5. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz V. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények

Az V. számú mintavételi pontnál 1 kilogramm mintában összesen 7520 darab mikroműanyag részecske fordult elő. Ebből 2170 db polietilén, 2090 db teflon, 1320 db alkid, 1240 db poliészter, 390 db polipropilén, 150 db cellulóz-acetát, 80 db akril, 80 db polisztirol.

8. ábra: V. mintavételi pont. **A:** Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, **B:** Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után. (Az értékelő program a különböző polimer fajtákat eltérő színekkel jelöli.)



A

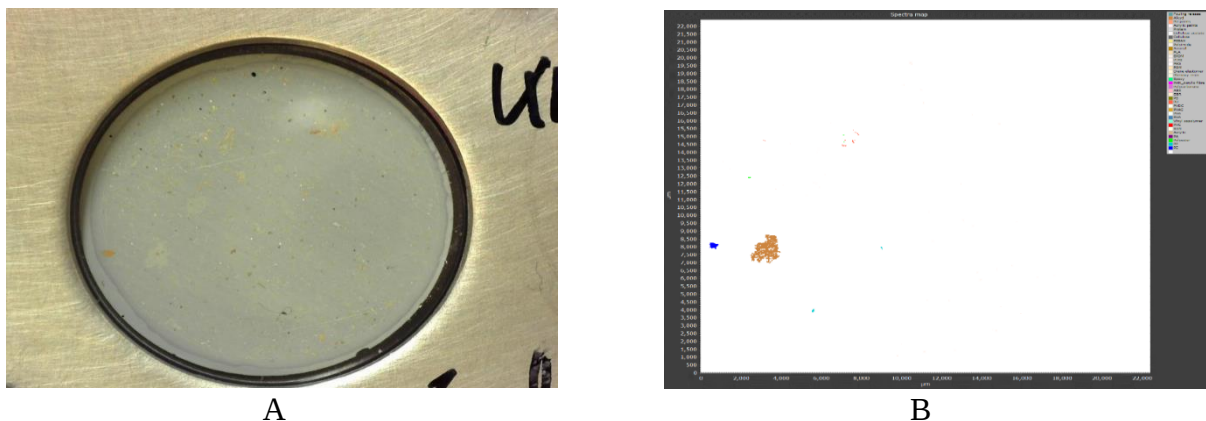


B

4.6. A Hídvégi- tó, Bárándi-víz VI. számú mintavételi pontjából származó mikroműanyag eredmények

A VI. számú mintavételi pontnál 1 kilogramm mintában összesen 3280 darab mikroműanyag részecskét találtunk. Ebből 2780 db teflon, 340 db poliészter, 80 db polietilén, 80 db alkid.

9. ábra: VI. mintavételi pont. **A:** Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, **B:** Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után. (Az értékelő program a különböző polimer fajtákat eltérő színekkel jelöli.)



A 4. - 9. ábrák fényképeit áttekintve látszik - főképp a **III.** és az **V.** minták esetében (6. ábra, illetve 8. ábra) - hogy az ANODISC szűrőlapos képeknél (A) előfordulnak nagyobb méretű fekete színű részecskék, amelyek az FTIR mikroszkóp és program által készített képen (B) nem láthatók. Ennek két oka is lehet. Egyrészt az, hogy a fekete színű műanyag részecskéket nem lehet FTIR technikával azonosítani (ez hátránya lehet a módszernek), másrészt, hogy ezek a részecskék ténylegesen nem mikroműanyagok.

A legtöbb mikroplasztikot (13 480 db/kg) az iszapban a **II.** számú mintavételi helyszínen tudtuk kimutatni (5. ábra). A mintában polietilénből és alkidból volt a legtöbb, darabszámuk megegyezett, 5750 darab/kg volt mindkét műanyagfajtából. A **4. ábra B** képét nézve (**I.** számú mintavételi helyszín) látható, hogy a részecskék felülete lefedi a látótér nagy részét, viszont ez csak 9740 darab műanyag szemcsét jelent egy kilogrammban. Ez látványra sokkal többnek tűnik, mint a **II.** mintában (**5. ábra**), viszont az **I.** számú mintában (**4. ábra**) a mikroműanyag részecskék mérete nagyobb, ez okozhatja ezt az illúziót.

4.7. A kimutatott mikroműanyag részecskék számának és polimer típusainak összefoglalása

Az egyes mintavételi pontokon azonosított mikroműanyag polimer típusokat részecskeszámokat összefoglalóan a **4. számú táblázatban** és **10. ábra** térképvázlatán mutatom be.

4. táblázat: A Kis-Balaton Vízüdelmi Rendszer (KBVR) I. ütem, Bárándi-víz területén az **I.-VI.** mintavételi pontokon vett iszapmintákból azonosított 50 - 1000 µm mérettartományba eső mikroműanyag polimer típusok és részecskeszámok, db/ iszap szárazanyag kg dimenzióban megadva.

Mintavételi pontok	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Mikroműanyag részecskeszámok polimer típusonként, db/iszap szárazanyag kg						
Polietilén (PE)	5340	5750	1750	4110	2170	80
Polipropilén (PP)	1080	720	220	620	390	0
Poliészter	70	450	580	1470	1240	340
Akril	0	180	0	0	80	0
Polivinil-acetát (PVAC)	0	90	0	0	0	0
Polisztirol (PS)	430	90	70	0	80	0
Akrilnitril-butadién-sztirol (ABS)	70	90	0	0	0	0
Teflon (PTFE)	70	180	0	0	2090	2780
Cellulóz-acetát	0	180	0	80	150	0
Alkid	2670	5750	2630	1160	1320	80
Összesen	9730	13480	5250	7440	7520	3280
Átlag	7783 ($\sigma = 3560$)					

A mért adatok alapján (**4. táblázat**) a Bárándi-víz iszapjának átlagos mikroműanyag tartalma 7783 db/kg értékben adható meg.

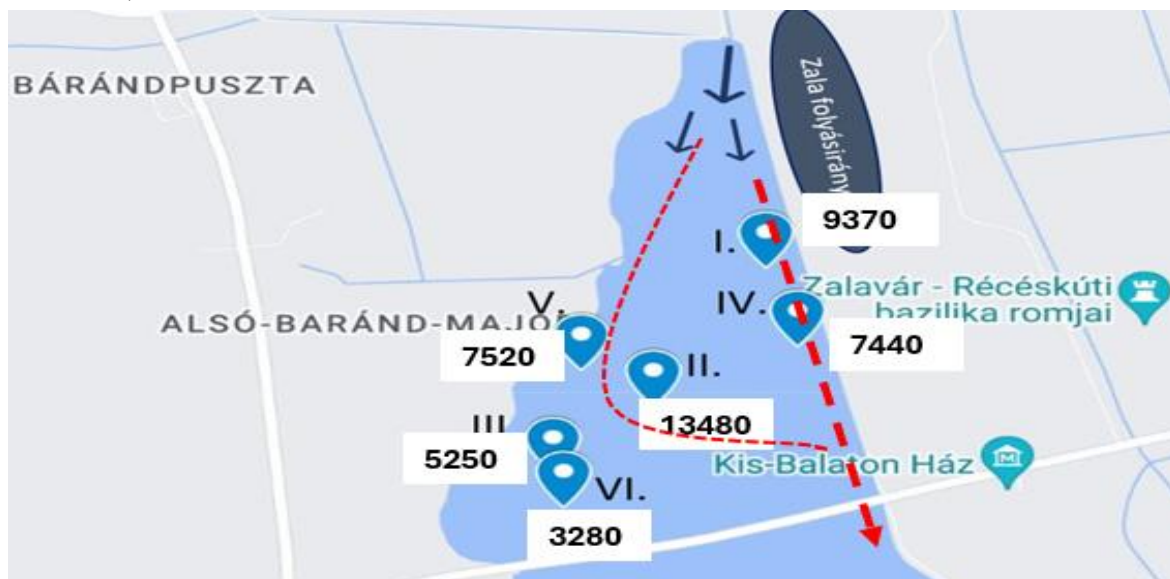
A **10. ábrán** jól látszik, hogy a Zala folyó torkolatától legmesszebbre lévő mintavételi helyszínről - **VI. pont** - került elő a legkevesebb (3280 db/kg) mikroplasztik részecske. A legtöbb (13480 db/kg) műanyag a **II.** számú mintavételi pontnál mutatkozott, amely a tározó középső részén helyezkedik el. A keleti (**I. és IV. pontok**) és nyugati parthoz legközelebbre eső pontokon (**V. pont**) egymáshoz hasonló darabszámú (9730, 7440, 7520 db/kg) mikroműanyagot lehetett mérni.

Az **I., II., IV. és V. pontokon** mért viszonylagosan magas mikroműanyag szám oka lehet, hogy a Bárándi-vízbe érkező Zala folyó fő mozgásiránya egyrészt a keleti part mentén É-D irányultságú, másrészt a beáramló víz tesz egy DNy- DK útvonalú áramlási fordulatot (**11. ábra**). Így a beérkező részecskéket a víz legkönnyebben, illetve leghamarabb ezeken a területeken tudja lerakni, ez okozhatja, hogy az innen származó mintákban kiemelkedő mennyiségű műanyag szemcse található.

10. ábra: Térképvázlat. A Kis-Balaton Vízávédelmi Rendszer (KBVR) I. ütem, Bárándi-víz területén a mintavételi pontokon (I.-VI.) vett iszapmintákból azonosított, 50 - 1000 µm mérettartományba eső mikroműanyag részecskeszámok, db/ iszap szárazanyag kg dimenzióban megadva. (Az alaptérkép forrása: Google Maps, saját szerkesztés).



11. ábra: Térképvázlat. A Kis-Balaton Vízávédelmi Rendszer (KBVR) I. ütem, Bárándi-víz területére a Zala folyóval érkező víz fő áramlási irányai szaggatott piros vonalakkal jelölve. A mintavételi pontokon (I.-VI.) vett iszapmintákból azonosított, 50 - 1000 µm mérettartományba eső mikroműanyag **részecskeszámok, db/ iszap szárazanyag kg** dimenzióban megadva fehér háttérű szövegdobozban. (Az alaptérkép forrása: Google Maps, saját szerkesztés).



A **VI.** számú mintában (9.-11. ábra) találtuk a legkevesebb mikroműanyagot, ez 3280 részecske/kg volt. Ennek legnagyobb részét a teflon tette ki, 2780 darab/kg volt (4. táblázat). Magas teflon részecskeszám (2090 db/kg) mutatkozott az **V.** számú mintában (2090 db/kg) is (4. táblázat). A teflon ennél 1-2 nagyságrenddel kisebb számban fordult elő az **I.** és **II.** mintákban (70, illetve 180 db/kg), a **III.** és **IV.** mintában pedig egyáltalán nem volt (4. táblázat). A helyismerettel rendelkezők szerint az **V.** és **VI.** pontok környezetére kiemelten jellemző az aktív horgásztevékenység, ami magyarázata lehet a teflon megemelkedett mennyiségének ezeken a helyszíneken, mivel a használt horgászati kellékek (pl. damilok, rozsdamentes horgok, teflon hüvelyek) tartalmazzák ezt az anyagot (http41, http42, http43).

4.8. A kimutatott polimer típusok százalékos megoszlása

A mintákban lévő különböző (összesen 10-féle) mikroműanyag polimer száma és aránya eltérő, illetve nagyban változik egymáshoz képest is. A polimerek százalékos megoszlását az **5. számú táblázat**ban szemléltetem.

5. táblázat: A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) I. ütem, Bárándi-víz területén a mintavételi pontokon (I.-VI.) vett iszapmintákból azonosított, 50 - 1000 µm mérettartományba eső mikroműanyag polimer típusok százalékos megoszlása.

Mintavételi pontok	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Polietilén (PE)	54,8%	42,7%	33,3%	55,2%	28,9%	2,6%
Polipropilén (PP)	11,1%	5,3%	4,2%	8,3%	5,2%	0,0%
Poliészter	0,8%	3,3%	11,1%	19,8%	16,5%	10,3%
Akril	0,0%	1,3%	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%
Polivinil-acetát (PVAC)	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Polisztirol (PS)	4,4%	0,7%	1,4%	0,0%	1,0%	0,0%
Akrilnitril-butadién-sztirol (ABS)	0,7%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Teflon (PTFE)	0,8%	1,3%	0,0%	0,0%	27,8%	84,5%
Cellulóz-acetát	0,0%	1,3%	0,0%	1,1%	2,1%	0,0%
Alkid	27,4%	42,7%	50,0%	15,6%	17,5%	2,6%

A mintákban előforduló 10 műanyag polimer között legnagyobb arányban a polietilén volt jelen. A hat vizsgált minta mikroműanyag tartalmának átlagosan 36,25%-át a polietilén tette ki.

Ezt követte az alkid 25,96%-os átlagos részarányban. A teflon 19,06% arányban fordult elő a mintákban, bár két mintából teljesen hiányzott, illetve a legnagyobb részarányt az V. és VI. pontban lehetett meghatározni. Ezt követte a poliészter 10,28%-os átlagos részaránya. A többi mikroműanyag fajta átlagos aránya már nem érte el a 10%-ot. Mindegyik mederüledék mintában jelen volt a polietilén, alkid és a poliészter.

Ezzel szemben csak a II. számú mintavételi pontnál volt jelen a polivinil-acetát, 90 darab részecske volt a mintában, 0,7%-os részaránnyal. Így ezt a műanyagfajtát csak a tó középső részén lehetett detektálni, ez a polimer elsősorban ragasztók és műanyag fóliák összetevője.

A VI. számú mintában észrevehetjük, hogy 84,6%-ban teflont tartalmazott. Ilyen magas százalékos arányra egy mintavételi helyszínnél sincs példa. Ezen kívül, viszont ez a minta tartalmazta a legkevesebb műanyagfajtát. Ez a mintavételi pont található legmesszebbre a Zala torkolatától, így a folyó által szállított mikroműanyag részecskék ide tudnak eljutni a legnehezebben. A teflon mintabeli dominanciájának oka ezen a helyszínen - a korábban már említett – aktív, a partról (összekötő út töltéséről) végzett horgászati tevékenység lehet.

Az összes mintában jelen volt az alkid, viszonylag nagy arányban. Ennek az lehet az oka, hogy a hajók, csónakok testét zománccal is kezelik, amelyek közül számos alkid alapú, így ezek a részecskék a vízbe kerülhetnek.

A II. számú mintavételi pont az egyedüli olyan helyszín, ahol mind a 10 különböző műanyag polimer előfordult. Egyben itt találtunk a legnagyobb számban szennyező műanyag részecskéket (13480 db/kg). Ez a mintavételi pont a Bárándi-víz középső részén található (10. és 11. ábra), ott, ahol a vízáramlási irány egy DNy- DK útvonalú, lassuló sebességű hurkot vet (11. ábra), így a Zala által szállított műanyag szemcsék, illetve a más úton a tóba kerülő mikroműanyagok – a tározó más részeihez képest – itt jobb feltételekkel tudnak leülepedni.

4.9. A kimutatott mikroműanyag részecskék számának összehasonlítása szakirodalmi adatokkal

A szakirodalmi adatok hiteles összevetését nehezíti, hogy a kutatásokból származó kis számú mérési eredményt a szerzők különböző mintavételi, mintaelőkészítési, mérési technikák alkalmazásával érték el, ennek ellenére az adatok összehasonlítása rendszeres a tanulmányokban, beszámolóokban.

A mikroplasztikok mennyisége felszíni vizek üledékében nagyban eltér kontinensenként is. Például Észak-Amerikában átlagosan 39-352 db/kg között mozog az üledékben előforduló mikroműanyag részecskék száma. Az Ontario-tó Kanadához tartozó részén végzett üledék vizsgálati eredmények 500 db/kg részecskét találtak, amely magasabb, mint az észak-amerikai átlag (Ballent,2016). Afrikában ehhez képes még magasabb értékek születtek, itt átlagosan 6,53-1585 részecske/kg volt a mikroműanyagok száma. A legmagasabb értékeket európai tavak üledékéből kapták, itt átlagosan a mikroműanyagok száma 33-2188 részecske/kg között fordult elő.

Két olaszországi tóban is végeztek méréseket, melyek során az egymástól körülbelül 45 kilométerre lévő Bolsena-tóban 112 részecske/kg és Chiusi-tóban pedig 234 részecske/kg értékeket kaptak. Érdekes megemlíteni, hogy a Bolsena-tó területe 113,5 km², míg a másik nem haladja meg az 5 km²-t se (Fischer et al. 2016).

Hazánkban az Alsó-Tisza kanyarulatának mentén végeztek méréseket az üledékben. A műanyagok mennyisége nagyban változott a mintavételi helyszínektől függően. Az Ányási-kanyarulat mentén 0-1800 db/kg mikroműanyagot mértek. A mélyebb fekvésű sarlólaposokon 458-1300 db/kg részecskét találtak. A part mentén lévő folyóhátnál mérték a legtöbb mikroműanyagot, ez 1753-4800 részecske/ kg között volt (Flórián és Kiss 2022).

A Bárándi-víz iszapjából mért mikroműanyag adatok átlaga 7783 db/kg érték, de meg kell jegyezni, hogy ehhez magas szórásérték tartozik ($\sigma=3560$).

A Kis-Balaton, Bárándi-víz területen a **VI. minta** kivételével (3280 db/kg) az üledék minták mikroműanyag tartalma (5250-13480 db/kg) meghaladta az előbbieken ismertetett szakirodalmi értékeket.

Fontos megemlíteni, hogy a mikroműanyagok részecskeszáma, tömege és előfordulása édesvízi tavak üledékében koncentráltabb lehet, mint a folyókében, mivel utóbbiakban az áramlatok a vízben lévő apró műanyag részecskéket sokszor nagy erővel és gyorsasággal tudják továbbszállítani, míg a tavakba kerülők nagyobb elsodródás nélkül, koncentráltabban tudnak kiüledni a meder aljára.

Ugyanakkor nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a KBVR mesterséges tavi, mérnöki, műszaki rendszere éppen arra hivatott – az ökológiai szempontok érvényesítése mellett – hogy a Balatont óvja a Zalán, illetve a többi befolyóján keresztül érkező tápanyagoktól és szennyező anyagoktól. Ebből az értékelési szempontból az látszik, hogy **a KBVR mikroműanyagokból is jelentős mennyiséget tart vissza a meder iszapjában.**

5. Következtetések és javaslatok

Szakdolgozatom első felében adatokat gyűjtöttem a mikroműanyagok jelenlétéről, arányáról, mennyiségéről a felszíni vizekben, ezek üledékeiben, a talajban és a természetvédelmi területeken, illetve az emberi és az állati szervezetekben, élelmiszerekben kimutatható káros hatásaikról.

A különböző beszámolók, cikkek gyűjtése során azt állapítottam meg, hogy a mikroműanyagokkal kapcsolatos, illetve az ebben a témában íródott hazai szakirodalmak szinte teljesen hiányoznak. Ebből arra következtetek, hogy nem végeznek kellő számban olyan felmérést, kutatást hazánkban a talaj, a felszíni vizek üledéke, illetve a természetvédelmi területek vonatkozásában, amelyeket publikálhatnának, így bárki számára elérhető lenne papíralapon vagy online formátumban. Ez azt eredményezi, hogy nincs elég tudásanyagunk a hazai természetvédelmi területeken, üledékben és talajban előforduló szennyező műanyag részecskékről. A legtöbb, mikroműanyagokról szóló szakirodalom, mérés, kutatás és adat külföldről származik. Fentiek miatt fontosnak tartom és javaslom a hazai kutatások ösztönzését és azok eredményeinek publikálását.

Saját munkám során, a Kis-Balatonból vett üledékminták eredményeinek értékelése közben szembesültem azzal a ténnyel, hogy a hazai állóvizek üledékéből mért mikroműanyag eredmények és adatok teljességgel hiányoznak. Így arra a következtetésre jutottam, hogy **a KBVR Bárándi-vízre vonatkozó adataim az első olyan hazai, tájékoztató jellegű, hiánypótló mikroműanyag mérési eredmények, amelyek tavi üledékből, illetve természetvédelmi területről származnak.**

A vizsgált üledék mintákban 10 különböző, az 50 - 1000 μm mérettartományba eső polimertípust találtunk (4. és 5. táblázat), közülük legnagyobb arányban a polietilén volt jelen. Mindegyik mintában volt polietilén, alkid és poliészter. A polietilén nagyarányú előfordulását magyarázza, hogy a polipropilén mellett ez a legnagyobb mennyiségben forgalmazott műanyag a világon. A felhasználási célnak megfelelően számos változata ismert, például alacsony sűrűségű (LDPE), lineáris alacsony sűrűségű (LLDPE), közepes sűrűségű (MDPE), nagy sűrűségű (HDPE), ultra-nagy molekula tömegű (UHMW), ultra-kis molekulatömegű (ULMWPE), nagy molekulatömegű (HMWPE), nagy sűrűségű térhálósított (HDXLPE), térhálós (PEX), nagyon alacsony sűrűségű (VLDPE), klórozott (CPE). A hétköznapi életben leggyakrabban az LDPE, LLDPE valamint a HDPE polimerekkel találkozhatunk. Az első két

változatot bevásárlótáskák, szatyrok, zacskók, szemeteszsákok, fóliák, élelmiszer-csomagolóanyagok, kábelköpenyek, víztömlők, csövek előállításához használják, míg a HDPE-t ládák, tejesdobozok, tálcák, hűtőtáskák, kupakok, palackok, mosószerdobozok, szemetes tartályok készítéséhez veszik igénybe, de például a világon előállított játékok egyharmadát is ebből a polimerből gyártják (http44).

Az alkidok olyan műgyanták, amelyeket ragasztókban, festékekben használnak nagy mennyiségben. Sűrűségük $1,24 - 2,1 \text{ g/cm}^3$ tartományba esik, a poliésztereké $1,24 - 2,3 \text{ g/cm}^3$, szemben a víznél könnyebb polietilénnel ($0,917-0,965 \text{ g/cm}^3$) (Bordós és Reiber, 2016), ami egyik magyarázata lehet az alkidok és a poliészter iszaprétegben való nagyarányú jelenlétének. A poliészter szálak formájában a textilipar egyik kedvelt alapanyaga, viszont a belőle készült ruhadarabokból a mosás során rengeteg mikroműanyag részecske válik le és kerül a szennyvízbe, ráadásul a poliészterfestékek mérgezőek, így az egészségünket is nagymértékben veszélyeztetik (http45).

A kimutatott mikroműanyagok a Bárándi-vízbe juthatnak egyrészt a Zalán keresztül, a folyó által szállítva több kilométert is utazhatnak mielőtt a Kis-Balatonba kerülnének, másrészt egyenes úton, direkt és indirekt szennyezés következtében is a víztestbe kerülhetnek. Például a mindegyik mintában előforduló alkid származhat fából készült csónakok testéről, mivel az ezek kezelése, ápolása céljából használt zománcfestékek többségükben alkid alapúak. Az újabb csónakok egy része napjainkban polietilént és poliésztert is tartalmaz, amelyek kopása hozzájárulhat a mikroműanyagoknak a vízbe és az üledékbe jutásához.

A kimutatott mikroműanyagokkal kapcsolatosan érdekes megfigyelés, hogy a Bárándi-víz gyakran horgászott területein (**V. és VI. pont**) az üledékmintákban dominánsan jelen voltak teflon (politetrafluor-etilén, PTFE) részecskék. A teflon monomerjét az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organization, WHO) egyik intézménye, a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (International Agency for Research on Cancer, IARC) a 2A csoportba tartozó anyagnak minősítette. Ebbe a csoportba tartoznak a kutatóintézet szerint a valószínűsíthetően emberben rákot okozó (probably carcinogenic to humans) vegyületek (http46).

Saját eredményeim egyedisége alapján az üledékben feltárt mikroműanyag részecskék koncentrációjával kapcsolatosan nem tudtam jelentősebb összevetéseket végezni korábbi vizsgálatokkal, javuló vagy romló tendenciákat kimutatni. Eredményeim relevánsabbak lennének, ha a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) területén már végeztek volna ehhez

hasonló felmérést, amely következtében keletkeztek volna olyan eredmények, amelyekkel adataimat össze lehetne hasonlítani.

Fentiek alapján javaslom a KBVR területén további, idősoros, az iszapréteg-vastagság megállapításával egybekötött mérések elvégzését a dolgozatomban ismertetett mintavételi pontokon, illetve a KBVR más helyszínein is, az üledékből és a felszíni víztestből egyaránt. Az így kapott eredményekből fontos következtetéseket lehetne levonni a mikroműanyagok ülepedési hajlamáról (befolyásolhatja például a víz áramlási sebessége, zavarossága, a polimerek alakja, tömege, sűrűsége stb.), koncentrációjáról, az előforduló műanyagok különböző fajtáiról, arányairól, illetve az üledékben nyomon követhetővé válna a szemcsék mennyiségének idősoros változása, tisztázható lenne a KBVR Balatont védő mikroműanyag szűrő szerepe.

Ugyanakkor a vizsgálatok folytatása további két szempontból is fontos lenne.

A területileg illetékes Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság kotrási munkákat tervez a KBVR területén és keresi a kiemelt mederanyag elhelyezhetőségének lehetőségeit. Az egyik alternatíva a partvonalon való terítés, a másik a mezőgazdasági területekre történő, tápanyagmentő kihelyezés. Ez utóbbi tevékenység feltételeit egy friss, tavaly megjelent jogszabály határozza meg: a 190/2023. (V. 22.) Korm. rendelet a talajjavító mederanyag és a kezelt mederiszap termőföldön történő felhasználásának szabályairól. Ebben a rendeletben nincs határérték a kihelyezhető mikroműanyagok mennyiségéről, de a gazdák egyre több olyan vegyi anyag jelenlétére kérdeznek rá, amelyek napjainkban egyre gyakrabban és nagyobb mennyiségben fordulnak elő a mezőgazdasági területekre szánt termésnövelő, illetve N, P, K kiváltásra használt anyagokban, így a szennyvíziszapokban is. A hazai vizsgálatok alapján (11 szennyvíztisztító adatait figyelembe véve) a szennyvíziszapok átlagosan 80 000 db/kg mikroműanyagot tartalmaznak (http47). Ez 10-szerese a Bárándi-víz üledékében mérhető átlagos értéknek (7783 db/kg), ami a mederüledékek javára szólhat a kihelyezésnél.

A mederüledékek hazai mikroműanyag tartalmának megítéléséhez azonban sokkal több adatra lenne szükség, illetve olyan kockázatelemzésre, ami a termőföld mikroműanyag terhelhetőségének megállapításakor számításba veszi mindazokat a forrásokat, amelyekből mikroműanyagok kerülhetnek a mezőgazdasági területekre (pl. szennyvíziszapok, szerves-, híg- és műtrágya, más termésnövelő anyagok, fóliasátor, mulcs-műanyagok, öntözővíz, zöldhulladék komposztok), és azokat a hatásviselőket (köztük a talajlakó élőlényeket, a termesztett növényeket, a táplálékláncot), amelyek elszennvedői a mikroműanyag expozíciónak.

A vizsgálatok folytatása másrészt fontos lenne a különböző trófikus szinteken halmozódó, kimutatható mikroműanyag mennyiségek meghatározása céljából is. Ezek a kutatások rávilágíthatnának arra is, hogy a védett fajokat milyen mértékben veszélyeztethetik a mikroműanyagok, illetve pl. a halakkal milyen mennyiségük juthat be az emberi szervezetbe. Itt elsősorban a fenékről táplálkozó halak, például a ponty, compó, harcsa lehet kiemelt jelentőségű (Saad et al. 2022; Banaei et al, 2022; Jung-Keun et al. 2023).

6. Összefoglalás

A műanyagok ipari termelése a XX. század első felében kezdődött meg, és 2022-ben a világon gyártott mennyiségük már túllépte a 400 millió tonnát.

Munkám célja a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) Bárándi-víz elnevezésű területén a mikroműanyagok 50-1000 μm mérettartományba eső mennyiségének és polimer összetételének felderítő jellegű meghatározása, értékelése volt.

A dolgozatom szakirodalmi áttekintésében adatokat gyűjtöttem a műanyagok, illetve a mikroműanyagok fontosabb tulajdonságairól, előfordulásukról, biológiai hatásairól. Bemutattam a Kis-Balaton elhelyezkedését, funkcióját, kitérve a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) működésére, természetvédelmi értékeire is.

A KBVR Bárándi-víz üledékét a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság próbakotrásai terveihez igazodva, a MATE munkatársai hat ponton mintázták 2023.07.28-án. Az iszapminták vizsgálatát az Eurofins Analytical Services Hungary Kft. laboratóriumában, külső konzulensem irányításával végeztem. A mintaelőkészítés többlépcsős oxidáción, szűrésen, sűrűség szerinti elválasztáson alapult, a részecskék azonosításához, számlálásához FTIR mikroszkópot és siMPle szoftvert használtunk.

A minták mikroműanyag koncentrációja, a vízáramlási viszonyokat tükrözve, 3280 és 13 480 db/szárazanyag kg között alakult (átlag 7783, $\sigma = 3560$). Összesen tízféle polimertípust találtunk, minden mintában előfordult a polietilén, az alkid és a poliészter, az élénk horgásztevékenységű helyszínek közelében pedig a teflon tette ki a részecskék 28, illetve 85%-át.

Ezek az eredmények Magyarországon az első, természetvédelmi területen (Balaton-felvidéki Nemzeti Park, Natura 2000 hálózat) mederüledékből mért adatok. A kimutatott koncentrációk egy kivételével felülmúlják a szakirodalomból szemlézettekét (6,53-4800 db/kg). Ugyanakkor a KBVR mesterséges tavi, mérnöki, műszaki rendszere éppen arra hivatott – az árvízi és ökológiai elvárások érvényesítése mellett – hogy a Balatont védje a Zalán, illetve a többi befolyóján keresztül érkező tápanyagoktól és szennyező anyagoktól. Ezt a szempontot figyelembe véve megállapítható, hogy a KBVR mikroműanyagokból is jelentős mennyiséget tart vissza a meder iszapjában.

A mederüledékek tápanyagmentő mezőgazdasági elhelyezhetőségének megítéléséhez érdekes adat lehet, hogy a Bárándi-víz mederüledéke átlagosan tizedannyi mikroműanyagot tartalmazott, mint 11 hazai szennyvíztisztító szennyvíziszapja.

Mivel vizsgálatom felderítő, tájékoztató jellegűnek tekinthető, mindenképpen javaslom a KBVR területén további, idősoros, az iszapréteg-vastagság megállapításával egybekötött mérések elvégzését az üledékből és a felszíni víztestből egyaránt.

A vizsgálatok folytatása fontos lenne a különböző trófikus szinteken halmozódó, kimutatható mikroműanyag mennyiségek meghatározása céljából is. Ezek a kutatások rávilágíthatnának arra is, hogy a védett fajokat milyen mértékben veszélyeztethetik a mikroműanyagok, illetve például a halakkal milyen mennyiségük juthat be az emberi szervezetbe. A javasolt mérések mintául szolgálhatnának más természetvédelmi területeken végzett vizsgálatokhoz is.

7. Irodalomjegyzék

Alfonso, M., B., Facundo Scordo, Carina Seitz, Gian Marco Mavo Manstretta, Ana Carolina Ronda, Andrés Hugo Arias, Juan Pablo Tomba, Leonel Ignacio Silva, Gerardo Miguel Eduardo Perillo, María Cintia Piccolo (2020): First evidence of microplastics in nine lakes across Patagonia (South America), *Science of The Total Environment*, Volume 733, 139385
Ballent A, Corcoran PL, Madden O, Helm PA, Longstaffe FJ (2016) Sources and sinks of microplastics in Canadian Lake Ontario nearshore, tributary and beach sediments. *Mar Pollut Bull* 110(1):383–395.

Banaei, Mehdi, Mohsen Forouzanfar, Mojtaba Jafarinia (2022): Toxic effects of polyethylene microplastics on transcriptional changes, biochemical response, and oxidative stress in common carp (*Cyprinus carpio*), *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, Volume 261, 109423, ISSN 1532-0456.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109423>.

Barrett J, Chase Z, Zhang J, Holl MMB, Willis K, Williams A, Hardesty BD and Wilcox C, 2020, ‘Microplastic pollution in deep-sea sediments from the Great Australian Bight’, *Frontiers in Marine Science* 7, 576170 (DOI: 10.3389/fmars.2020.576170).

Bermúdez, J.R., Swarzenski, P.W. (2021): A microplastic size classification scheme aligned with universal plankton survey methods. *Methods X*, doi: 10.1016/j.mex.2021.101516

Bordós, Gábor, Reiber, Jens (2016): Microplastics in the environment and the food chain. *Journal of Food Investigation - V o l. 62*, 2016 No. 2, 1038-1046.

Bordós, Gábor, Szilveszter Gergely, Judit Háhn, Zoltán Palotai, Éva Szabó, Gabriella Besenyő, András Salgó, Péter Harkai, Balázs Kriszt, Sándor Szoboszlai (2021): Validation of pressurized fractionated filtration microplastic sampling in controlled test environment, *Water Research*, Volume 189, 116572, ISSN 0043-1354,
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116572>.

Boucher, J. and Friot, D. (2017): *Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources*. Gland, Switzerland: IUCN. 43pp. ISBN: 978-2-8317-1827-9
DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en>

Browne, M. A., Galloway, T. S., Thompson, R. C. (2010): Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environ Sci Technol*. 44 (9) pp. 3404–3409.

Chae, Y., & An, Y. J. (2018). Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review. *Environmental Pollution*, 240, 387–395.

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., Galloway, T. S. (2013): Microplastic ingestion by zooplankton. *Envir Sci Technol*. 47 (12) pp. 6646-6655

Dehghanian, Zahra, Behnam Asgari Lajayer, Zahra Biglari Quchan Atigh, Shahnoush Nayeri, Mohammad Ahmadabadi, Leila Taghipour, Venkatramanan Senapathi, Tess Astatkie, G.W. Price (2023): Micro (nano) plastics uptake, toxicity and detoxification in plants: Challenges and prospects, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 268, 115676, ISSN 0147-6513, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115676>.

- Devriese, L. I., van der Meulen, M. D., Maes, T., Bekaert, K., Paul-Pont, I., Frcr, L., Robbens, J., Vethaak, A. D. (2015): Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Mar Pollut Bull.* 98 (1-2) pp. 179-187.
- Diaz-Basantes MF, Conesa JA, Fullana A (2020) Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants. *Sustainability* 12(14):5514
- Driscoll, S.C., Glassic, H.C., Guy, Ch., S., Koel, T.M. (2021): Presence of Microplastics in the Food Web of the Largest High-Elevation Lake in North America. *Water*, 13(3), 264;
- Faure, F., Demars, C., Wieser, O., Kunz, M., Felipe De Alencastro, L. (2015): Plastic pollution in Swiss surface waters: nature and concentrations, interaction with pollutants. *Environmental Chemistry*, 12 (5), 527-538. p.
- Fischer, E. K., Paglialonga, L., Czech, E., Tamminga, M. (2016): Microplastic pollution in lakes and lake shoreline sediments: A case study on Lake Bolsena and Lake Chiusi (central Italy). *Environmental Pollution*, 213 648-657. p
- Flórián Szilveszter, Kiss Tímea (2022): Ártéri üledékek mikroműanyag tartalma az Alsó-Tisza egy kanyarulatán mentén. *FÖLDRAJZI KÖZLEMÉNYEK*, 146,1, pp. 1-15 ISSN: 0015-5411, DOI: <https://doi.org/10.32643/fk.146.1.1>
- Germanov, E.S., A.D. Marshall, L. Bejder, M.C. Fossi, N.R. Loneragan (2018): Microplastics: No small problem for filter-feeding megafauna *Trends Ecol. Evol.*, 33 (4), pp. 227-232
- Graham, E. R., Thompson, J. T. (2009): Deposit- and suspension-feeding sea cucumbers (*Echinodermata*) ingest plastic fragments. *J Exp Mar Biol Ecol.* 368 (1) pp. 22-29
- Gutow, L., Eckerlebe, A., Gimenez, L., Saborowski, R. (2015): Experimental Evaluation of Seaweeds as a Vector for Microplastics into Marine Food Webs. *Environ Sci Technol.* 50 (2) pp. 915-923.
- Hartline, Niko L., Nicholas J. Bruce, Stephanie N. Karba, Elizabeth O. Ruff, Shreya U. Sonar, Patricia A. Holden (2016): Microfiber masses recovered from conventional machine washing of new or aged garments. *Environmental Science & Technology* 50(21), pp. 11532-11538 (DOI: 10.1021/acs.est.6b03045).
- Hartmann, N.B., T. Hüffer, R.C. Thompson, M. Hassellöv, A. Verschoor, A.E. Dagaard, S. Rist, T. Karlsson, N. Brennholt, M. Cole, M.P. Herrling, M.C. Hess, N.P. Ivleva, A.L. Lusher, M. Wagner Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris *Environ. Sci. Technol.*, 53 (2019), pp. 1039-1047, 10.1021/acs.est.8b05297
- He, Pinjing, Liyao Chen, Liming Shao, Hua Zhang, Fan Lü (2019) Municipal solid waste (MSW) landfill: a source of microplastics? -Evidence of microplastics in landfill leachate. *Water Res* 159:38–45
- Hohenblum Philip, Liebmann Bettina, Liedermann Marcel (2015): The Environment Agency Austria, Plastic and microplastic in the environment, Report Rep-0551. ISBN 978-3-99004-363-9

- Jia L, Liu L, Zhang Y, Fu W, Liu X, Wang Q, Tanveer M and Huang L (2023) Microplastic stress in plants: effects on plant growth and their remediations. *Front. Plant Sci.* 14:1226484. doi: 10.3389/fpls.2023.1226484
- Jung-Keun, Oh, Jangho Lee, Soo Yong Lee, Tae Kyung Kim, David Chung, and Jinwon Seo (2023): Microplastic Distribution and Characteristics in Common Carp (*Cyprinus carpio*) from Han River, South Korea, *Water* 15, no. 23: 4113. <https://doi.org/10.3390/w15234113>
- Klein, S., Worch, E., Knepper, T. P. (2015): Occurrence and Spatial Distribution of Microplastics in River Shore Sediments of the Rhine-Main Area in Germany. *Environmental Science & Technology*, 49 (10) 6070-6076. p
- Koelmans Albert, Nur Hazimah Mohamed Nor, Enya Hermsen, Merel Kooi, Svenja M. Mintenig, Jennifer De France(2019): Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality, *Water Research*, 155, 410-422, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>.
- Kutasi Csaba: A műanyagok-textíles szemmel is. *Vegyipar és Kémia tudomány*, LXXV. ÉVFOLYAM 6. SZÁM, DOI: 10.24364/MKL.2020.06 pp.171-181. (2020)
- Kutralam-Muniasamy, G.; Shruti, V. C.; Perez-Guevara, F.; Roy, P. D. Microplastic Diagnostics in Humans (2023): "The 3Ps" Progress, Problems and Prospects. *Sci. Total Environ.* 2023, 856, 159164,
- Kwon J-H, Kim J-W, Pham TD, Tarafdar A, Hong S, Chun S-H, Lee Sang-Hwa, Kang Da-Young, Kim Ju-Yang, Kim Su-Bin, Jung Jaehak (2020): Microplastics in food: a review on analytical methods and challenges. *Int J Environ Res Public Health* 17(18):6710
Multidisciplinary Digital Publishing Institute
- Laermanns, Hannes, Georg Reifferscheid, Jonas Kruse, Corinna Földi, Georg Dierkes, Dirk Schaefer, Christian Scherer, Christina Bogner and Friederike Stock (2021): Microplastic in Water and Sediments at the Confluence of the Elbe and Mulde Rivers in Germany. *Front. Environ. Sci.* 9:794895. doi: 10.3389/fenvs.2021.794895
- Lambert S, Wagner M (2018) Microplastics are contaminants of emerging concern in freshwater environments: an overview. In: Wagner M, Lambert S (eds) *Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants*. Springer International Publishing, Cham, pp 1–23
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesbereger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., Schludermann, E. (2014): The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution*. 188, 177–181. p
- Liebezeit G, Liebezeit E (2013): Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 2013;30(12):2136-40. doi: 10.1080/19440049.2013.843025.
- Li, Yubo, Zhibo Lu, Hongyuan Zheng, Juan Wang, Cheng Chen (2020): Microplastics in surface water and sediments of Chongming Island in the Yangtze Estuary, China. *Environ Sci Eur* 32,15

Lusher, A.L.; Hollman, P.C.H.; Mendoza-Hill, J.J. (2017): Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 615. Rome, Italy. ISBN 978-92-5-109882-0

Mani, T., Hauk, A., Walter, U., Burkhardt-Holm, P. (2015): Microplastics profile along the Rhine River. Scientific Reports 5. Article number: 17988. 7 p.

Marfella, R., F. Prattichizzo, C. Sardu, G. Fulgenzi, L. Graciotti, T. Spadoni, N. D'Onofrio, L. Scisciola, R. La Grotta, C. Frigé, V. Pellegrini, M. Municinò, M. Siniscalchi, F. Spinetti, G. Vigliotti, C. Vecchione, A. Carrizzo, G. Accarino, A. Squillante, G. Spaziano, D. Mirra, R. Esposito, S. Altieri, G. Falco, A. Fenti, S. Galoppo, S. Canzano, F.C. Sasso, G. Maticchione, F. Olivieri, F. Ferraraccio, I. Panarese, P. Paolisso, E. Barbato, C. Lubritto, M.L. Balestrieri, C. Mauro, A.E. Caballero, S. Rajagopalan, A. Ceriello, B. D'Agostino, P. Iovino, and G. Paolisso (2024): Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. N Engl J Med 2024; 390:900-10. DOI: 10.1056/NEJMoa2309822

Markic A, Gaertner J-C, Gaertner-Mazouni N, Koelmans AA (2020): Plastic ingestion by marine fish in the wild. Crit Rev Environ Sci Technol 50(7):657–697.

Miskolczi Norbert (2012): Műanyagok kémiája és technológiája. Egyetemi jegyzet. Pannon Egyetem, p. 87.

Murphy Fionn, Ciaran Ewins, Frederic Carbonnier, Brian Quinn (2016) Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. Environ Sci Technol 50(11):5800–5808

Nielsen, UN, Wall, DH, & Six, J. (2015). A talaj biológiai sokfélesége és a környezet. Annual Review of Environment and Resources, 40 (1), 63-90.

Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J-L., De Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N.C., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., Miko, L., Montanarella, L., Moreira, F.M.S., Ramirez, K.S., Scheu, S., Singh, B.K., Six, J., van der Putten, W.H., Wall, D.H. (Eds.), (2016): Global Soil Biodiversity Atlas. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 176 pp. ISBN 978-92-79-48168-0

Parker, L. (2021): Plastic gets to the oceans through over 1,000 rivers. National Geographic, 30 April 2021.

Pitás, Viktória, Viola Somogyi, Balázs Volf, Attila Radács, Gábor Bordós, Bence Prikler, Brigitta Nyirő-Fekete, István Szabó, Sándor Szoboszlai, Adrienn Micsinai (2024): The behaviour of microplastics in the municipal wastewater treatment plant of Veszprém. IWA, LWWTP 2024. Poster Session. 8-12 Sept 2024, Budapest.

Prikler B, Svigruha R, Háhn J, Harkai P, Fodor I, Kaszab E, Kriszt B, Tóth G, Szabó I, Csenki Z, Bordós G, Micsinai A, Nyirő-Fekete B, Palotai Z, Lovász Zs, Pirger Zs, Szoboszlai S (2024): Spatial Variations in Microplastics in the Largest Shallow Lake of Central Europe and Its Protecting Wetland Area. *Water*. 2024;16(7):1014. <https://doi.org/10.3390/w16071014>

Pukánszky B, Móczó J. (2012): Műanyagok. BME, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék; Typotex Kiadó, Budapest, p 210. ISBN: 978 963 279 481 5

- Ragusa, A.; Notarstefano, V.; Svelato, A.; Belloni, A.; Gioacchini, G.; Blondeel, C.; Zucchelli, E.; De Luca, C.; D'Avino, S.; Gulotta, A.; Carnevali, O.; Giorgini, E. (2022): Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. *Polymers (Basel)* 2022, 14 (13), 2700, DOI: 10.3390/polym14132700
- Rilling, M., Anika Lehmann (2020): Microplastic in terrestrial ecosystems, *Science* 2020, Vol 368, 6, 1430-1431.
- Roos, Sandra, Arturin Oscar Levenstam, HanningAnne-Charlotte, 2017, Microplastics shedding from polyester fabrics, *Mistra Future Fashion Report No 2017:1*, SWEREA, ISBN: 978-91-88695-00-0
- Saad, Dalia, Patricia Chauke, Ewa Cukrowska, Heidi Richards, Josiane Nikiema, Luke Chimuka, Hlanganani Tutu (2022): First biomonitoring of microplastic pollution in the Vaal river using Carp fish (*Cyprinus carpio*) “as a bio-indicator”, *Science of The Total Environment*, Volume 836, 155623, ISSN 0048-9697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155623>.
- Sajjad, Muhammad, Qing Huang, Sardar Khan, Muhammad Amjad Khan, Yin Liu, Junfeng Wang, Faqin Lian, Qingqing Wang, Genmao Guo (2022): Microplastics in the soil environment: A critical review, *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102408, ISSN 2352-1864, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102408>.
- Scherer, C., Weber, A., Stock, F., Vurusic, S., Egerci, H., Kochleus, C., Arendt, N., Foeldi, C., Dierkes, G., Wagner, M., Brennholt, N., Reifferscheid, G. (2020): Comparative assessment of microplastics in water and sediment of a large European river. *Science of the Total Environment*, 738, 139866.
- Scheurer, M., Moritz Bigalke (2018): Microplastics in Swiss Floodplain Soils, *Sci. Technol.* 52, (6): 3591–3598. DOI: 10.1021/acs.est.7b06003
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., Ahmed, S. (2008): Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnol Adv.* 6 (3) pp. 246-265.
- Shen, Maocai, Shujing Ye , Guangming Zeng , Yaxin Zhang , Lang Xing , Wangwang Tang , Xiaofeng Wen , Shaoheng Liu (2020): Can microplastics pose a threat to ocean carbon sequestration? In: *Marine Pollution Bulletin*.
- Sripada, K.; Wierzbicka, A.; Abass, K.; Grimalt, J. O.; Erbe, A.; Rollin, H. B.; Weihe, P.; Diaz, G. J.; Singh, R. R.; Visnes, T.; Rautio, A.; Odland, J. O.; Wagner, M. (2022): A Children’s Health Perspective on Nano- and Microplastics. *Environ. Health Perspect.* 2022, 130 (1), 15001, DOI: 10.1289/EHP9086
- Svighruha, Réka, Bence Prikler, Anna Farkas, András Ács, István Fodor, Kálmán Tapolczai, János Schmidt, Gábor Bordós, Judit Háhn, Péter Harkai, Edit Kaszab, Sándor Szoboszlai, Zsolt Pirger (2023): Presence, variation, and potential ecological impact of microplastics in the largest shallow lake of Central Europe, *Science of The Total Environment*, Volume 883, 163537, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163537>.

Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., Da Rosb, L. (2013): Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 54-61. p.

Vörös Lajos, Kravinszkaja Gabriella, Présing Mátyás, V-Balogh Katalin, Tóth Viktor (2013): Társadalmi konfliktusokat generáló ökológiai történések a Balaton életében az utóbbi néhány évtizedben – A vízszintváltozás hatása a parti öv növényvilágára. *Act Sci Soc* 39 (2013): 83–94

Webb, H. K., Arnott, J., Crawford, R. J., Ivanova, E. P. (2015): Plastic degradation and its environmental implications with special reference to polyethylene terephthalate. *Polymers*. 5 (1) pp. 1-18

Yamawaki H, Iwai N.(2006): Cytotoxicity of water soluble fullerene in vascular endothelial cells. *Am J Physiol Cell Physiol*. 290:C1495–C502.

Zantis, Laura J., Emma L. Carroll, Sarah E. Nelms, Thijs Bosker (2021): Marine mammals and microplastics: A systematic review and call for standardisation, *Environmental Pollution*, Volume 269, 116142, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116142>.

Zhang, J.; Wang, L.; Trasande, L.; Kannan, K. (2021): Occurrence of Polyethylene Terephthalate and Polycarbonate Microplastics in Infant and Adult Feces. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2021, 8 (11), 989– 994, DOI: 10.1021/acs.estlett.1c00559

Internetes források

(http1) <https://mikromuanyag.hu/Mi-az-a-mikrom%C5%B1anyag>

(http2) <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>

(http3) <https://www.statista.com/topics/8641/plastics-industry-in-europe/#topicOverview>

(http4) <https://www.erdekesvilag.hu/mennyi-ido-alatt-bomlanak-le-az-altalunk-hasznalt-anyagok-a-kornyezetben/>

(http5) <https://waste4change.com/blog/7-types-plastic-need-know/>

(http 6)
<https://repository.oceanbestpractices.org/bitstream/handle/11329/889/rs99e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

(http7) <https://www.eea.europa.eu/publications/microplastics-from-textiles-towards-a>

(http8)
<https://gefmarineplastics.org/files/2018%20Mapping%20of%20global%20plastics%20value%20chain%20and%20hotspots%20-%20final%20version%20r181023.pdf>

(http9) <https://www.eea.europa.eu/publications/microplastics-from-textiles-towards-a>

(http10)
https://echa.europa.eu/documents/10162/983773/pt7_oecd_esd_no_22_coating_industry_en.pdf/cb7cc03a-02f5-4b86-be75-b171ee5b0669

(http11) <https://www.statista.com/topics/10136/plastic-packaging-industry-worldwide/#topicOverview>

(http12) <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-002-En.pdf>

(http13) <https://www.vedelem.hu/letoltes/document/522-book-of-abstracts-fedmpisc.pdf>

(http14) <https://mikromuanyag.hu/Duna-I>

(http15) <https://hulladekvadasz.hu/2018/07/03/mikromuanyag-szennyezett-ipoly-raba/>

(http16) <https://greenfo.hu/hir/brutalis-an-sok-mikromuanyag-van-szennyvizeinkben/>

(http17) <https://theconversation.com/were-all-ingesting-microplastics-at-home-and-these-might-be-toxic-for-our-health-here-are-some-tips-to-reduce-your-risk-159537>

(http18) <https://mikromuanyag.hu/Mi-az-a-mikrom%C5%B1anyag>

(http19) <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/envhealth.3c00052>

(http 20) https://m.hvg.hu/tudomany/20240902_eltomodott-arteria-mikromuanyag-felfedezes-veszely-stroke-szibbetegsegek

(http21) <https://foodsafetyandrisk.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40550-022-00093-6>

(http22) <https://www.thomasnet.com/articles/plastics-rubber/how-is-plastic-made/>

(http23) <http://www.balatonland.hu/kisbalaton-ismerteto>

(http24) <https://hu.wikipedia.org/wiki/Kis-Balaton>

(http25) <https://margit2.hu/utazas/magyarorszag/kis-balaton/kis-balatont.jpg>

(http26) https://docplayer.hu/2508704-Kis-balaton-a-kis-balaton-tortenete.html#google_vignette

(http27) <http://www.siocsatorna.hu/adatok/foldrajz>

(http28) <http://www.kisbalaton.hu/index.php/hu/mire-jo-a-kis-balaton>

(http29) <http://www.kisbalaton.hu/index.php/hu/kulonleges-madarvilag>

(http30) <https://termeszetvedelem.hu/ramsari-egyezmény/>

(http31) https://greenfo.hu/hir/burjanzik-az-elovilag-a-kis-balatonon_1280333285/

(http32) <https://natura.2000.hu/hu/map>

(http33) http://www.termeszetvedelem.hu/_user/downloads/biomon/kisbal_monit_ea.pdf

(http34) https://www.blki.hu/sites/default/files/Latranyi_Lovasz_Zsofia_eloadasa.pdf

(http35) <https://connections.vizugy.hu/files/basic/anonymous/api/library/9769f5ee-4242-46ee-ac1e-79be1f1e1928/document/591c009b-b029-4792-a9ae-5788a1301d2f/media>

(http36) https://www.mondayconsulting.eu/referenciak/kis-balaton_kiadvany.pdf

(http37) <http://www.kisbalaton.hu/index.php/hu/a-vizvedelmi-rendszer-mukodese>

- (http38) https://www.balatontipp.hu/balatoni_hirek/kis-balaton_teljesen_kiepult_a_vizvedelmi_rendszer_20141211/
- (http39) https://www.hidrologia.hu/vandorgyules/41/word/0511_latranyi%20lovasz_zsofia.pdf
- (http40) https://hu.frwiki.wiki/wiki/R%C3%A9action_de_Fenton
- (http41) <https://matchfish.hu/termek/et-power-braid-teflon-10/>
- (http42) <https://cralusso.com/carpower-fishing-hook-horgasz-horog-teflon-bevonat-2470-2>
- (http43) https://www.damil.hu/trabucco_xps_comp_ptfe_bush_2db_32mm_teflon_huvely_91682
- (http44) <https://parainesis.hu/mit-erdemes-tudni-a-polietilen-tipusainak-felhasznalasarol-es-tulajdonsagairol>
- (http45) <https://mindenanyag.com/polieszter-anyag/>
- (http46) <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/09/ClassificationsAlphaOrder.pdf>
- (http47) <https://www.vg.hu/kozelet/2024/04/kiderult-mennyi-mikromuanyag-van-a-magyar-szennyvizben>

8. Táblázatok, ábrák, fényképek jegyzéke

TÁBLÁZATOK

1.táblázat: Műanyagok méretek szerinti osztályozása.

2. táblázat: A műanyagok méret szerinti kategorizálása.

3. táblázat: A mintavételi pontok GPS koordinátái.

4. táblázat: A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) I. ütem, Bárándi-víz területén az I.-VI. mintavételi pontokon vett iszapmintákból azonosított 50 - 1000 µm mérettartományba eső mikroműanyag polimer típusok és részecskeszámok, db/ iszap szárazanyag kg dimenzióban megadva.

5. táblázat: A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) I. ütem, Bárándi-víz területén a mintavételi pontokon (I.-VI.) vett iszapmintákból azonosított, 50 - 1000 µm mérettartományba eső mikroműanyag polimer típusok százalékos megoszlása.

ÁBRÁK

1/a. ábra: A Kis-Balaton áttekintő térképvázlata.

1/b. ábra: Térképvázlat. Kis-Balaton Natura 2000 hálózathoz tartozó területei.

2.ábra: Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) áttekintő térképvázlata, a Hídvégi-tó (KBVR I. ütem), a Fenéki-tó (KBVR II. ütem) megjelölésével, és a Fenéki-tó Ingó-berek részének feltüntetésével. A zöld nyilak a normál üzemmódban fenntartott vízáramlási viszonyokat tükrözik, a kék nyilak pedig a kritikus vízszint emelkedések esetén (például árvíz) alkalmazott vízkormányzást mutatják. A piros vonalak terelőtöltéseket, töltéseket jelölnek.

3. ábra: Térképvázlat. A mintavételi pontok (I.-VI.) elhelyezkedése a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) I. ütem, Bárándi-víz területén.

4. ábra: I. mintavételi pont. A: Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, B: Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után

5. ábra: II. mintavételi pont. A: Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, B: Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után

6. ábra: III. mintavételi pont. A: Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, B: Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után.

7. ábra: IV. mintavételi pont. A: Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, B: Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után.

8. ábra: V. mintavételi pont. A: Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, B: Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után.

9. ábra: VI. mintavételi pont. A: Natív, szűrt részecskék ANODISC lapon, B: Mikroműanyagok FTIR mikroszkópos azonosítás után.

10. ábra: Térképvázlat. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) I. ütem, Bárándi-víz területén a mintavételi pontokon (I.-VI.) vett iszapmintákból azonosított, 50 - 1000 μm mérettartományba eső mikroműanyag részecskeszámok, db/ iszap szárazanyag kg dimenzióban megadva.

11. ábra: Térképvázlat. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) I. ütem, Bárándi-víz területére a Zala folyóval érkező víz fő áramlási irányai szaggatott piros vonalakkal jelölve. A mintavételi pontokon (I.-VI.) vett iszapmintákból azonosított, 50 - 1000 μm mérettartományba eső mikroműanyag részecskeszámok, db/ iszap szárazanyag kg dimenzióban megadva fehér háttérű szövegdobozban.

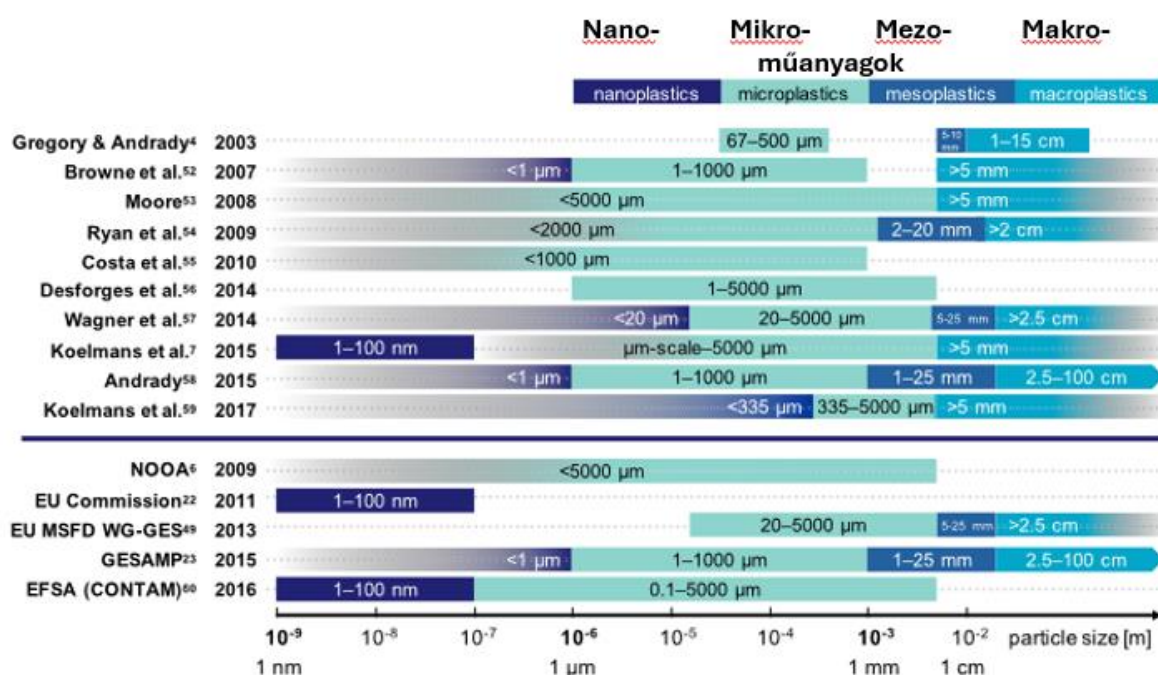
FÉNYKÉPEK

1. fénykép: SVGS (Small volume glass separator), azaz kis méretű üveg elválasztó eszközök, amelyek segítségével a mikroműanyagok sűrűség elvű felúsztatását és elkülönítő összegyűjtését végeztük.

9. Mellékletek

1. számú melléklet

Hartman et al, 2019 összefoglaló közleményéből az 1. számú ábra (Figure 1.) fényképe, amely tíz kutató, illetve kutatócsoport, valamint öt szervezet egymástól eltérő mérettartományú műanyag osztályozását mutatja be.



10. Köszönetnyilvánítás

Munkámat elősegítette a „Multiparaméteres vizsgálati rendszerek kifejlesztése a mikroműanyagok környezeti hatásainak elemzésére” (2020-1.1.2-PIACI-KFI-2021-00239) kutatás-fejlesztési pályázat, amelybe becsatlakozhattam, és a mikroműanyag azonosítási feladataimat elvégezhettem.

Munkámat támogatta az RRF-2.3.1-21-2022-00008 azonosító számú, „Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium” címen elnyert pályázati projektjének 2/H. jelű „A Kis-Balaton vízvédelmi rendszer üzemeltetési és karbantartási stratégiája” tárgyú alprojekt, amely módot adott arra, hogy bepillantást nyerjek a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer gyakorlati működésébe.

Köszönetemet fejezem ki konzulenseimnek, Dr. Szoboszlai Sándornak, aki hatalmas segítséget nyújtott a szakdolgozatom írása közben, a felmerülő kérdéseimre és problémáimra mindig készséges választ tudott adni. Hálás vagyok Prikler Bencének, aki bemutatta és megismertette velem a mikroműanyagok mintavételezésének módszertanát. Ők tették lehetővé, hogy a szakdolgozatomban kitűzött céljaimat elérhessem.

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Vereb Márk
A Hallgató Neptun kódja: HROY5A
A dolgozat címe: Mikroműanyagok felderítő vizsgálata a Kis-Balaton
Vízvédelmi Rendszer mederüledék mintáiból
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet
A konzulens tanszékének neve: Környezetbiztonsági Tanszék

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

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

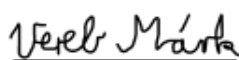
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

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

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok ~~repositoriumába~~. 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 MATER Hallgatói Dolgozatok ~~repositoriumában~~.

Kelt: 2024. évi 11. hó 4. nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Vereb Márk hallgató (Neptun azonosítója: HROY5A) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ 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 javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Gödöllő, 2024. november 4.



belső konzulens
Dr. Szoboszlai Sándor, egyetemi docens