



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar
Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Folyami mikroműanyag-szennyezés mérési módszertan fejlesztése

Szöllősi Anna

építőmérnöki BSc szakos hallgató

Konzulensek:

Ermilov Alexander Anatol

tudományos segédmunkatárs, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Pomázi Flóra

tudományos segédmunkatárs, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Dr. Baranya Sándor

egyetemi docens, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Dr. Toldy Andrea

egyetemi tanár, BME Polimertechnika Tanszék

Dr. Gere Dániel

kutatómérnök, BME Polimertechnika Tanszék

Budapest, 2022

Tartalomjegyzék

Absztrakt.....	3
Abstract.....	5
1. Bevezetés.....	7
1.1. A mikroműanyagról	7
1.2. Folyami mikroműanyagok mintavételezési módszerei.....	8
1.3. Célkitűzéseink.....	9
2. Mérések és módszerek.....	11
2.1. Terület ismertetése	11
2.2. Mérési módszertan	12
2.3. Elemzési módszerek.....	14
3. Eredmények, értékelés.....	19
3.1. Vízhozam a mérés során.....	19
3.3. FTIR eredmények bemutatása	22
3.4. Mikroszkópos méretelemzés.....	24
3.5. Kritikák, tanulságok	26
4. Kitekintés.....	28
5. Összefoglalás	30
Irodalomjegyzék	32
Függelék.....	34

Absztrakt

Név: Szöllősi Anna
Dolgozat címe: Folyami mikroműanyag-szennyezés mérési módszertan fejlesztése
Konzulensek: Ermilov Alexander Anatol, Pomázi Flóra, Dr. Baranya Sándor, Dr. Toldy Andrea, Dr. Gere Dániel
Félév: 2022/23/1. félév

Műanyag nélkül az élet szinte elképzelhetetlen a XXI. századi ember számára. Használata nagyon széleskörű: ipar, orvostudomány, épületek, csomagolások stb. Túlzott gyártása viszont hulladékkezelési problémákhoz vezet. Sokszor látunk a tengerpartokon eldobva, vagy a folyók vízfelszínén úszva egy-egy palackot, nejlonzacskót, illetve egyéb műanyag hulladékot. Ezek az idő elteltével fokozatosan elaprózódnak (főként fizikai folyamatokon keresztül), kisebb műanyag darabokra hullanak szét. A szakirodalom szerint az 5 mm-nél kisebb szemcseméretű műanyagokat együttesen mikroműanyagoknak nevezzük. Problémájuk, hogy méretüknek köszönhetően könnyedén terjednek tovább mind tengeri, mind édesvízi környezetben, ahol aztán interakcióba lépnek az ottani élővilággal (pl. táplálékhoz tapadva). A mikroműanyag a vízi élővilágon keresztül az emberekhez is eljut, viszont ennek a káros hatásnak a mértéke még ismeretlen.

A 2000-es évek elejétől került a középpontba a mikroműanyagok mennyiségének, összetételének, előfordulásának és hatásainak vizsgálata. Jelentős méréseket végeztek tengeri környezetben, míg a folyók és egyéb édesvizek vizsgálata csak az utóbbi pár évben kezdődött meg. Külföldön már többek között Ausztriában, Németországban és az USA-ban is végeztek méréseket folyami és tavi környezetben. Idehaza is történtek már mérések, melynek során a Duna és a Tisza vizében szállított, valamint egyéb folyóink és tavaink fenekén kiülepedett mikroműanyagokat vizsgálták.

A téma újszerűségéből adódóan azonban heves vita övezi a vizsgálatokat, ugyanis számos mintavételezési és elemzési eljárás született, melyeknek megvannak a maguk előnyei és hátrányai, viszont egyiknek sem sikerült még teljeskörű elfogadottságot szerezni. A helyzetet az is nehezíti, hogy a mikroműanyagok vizes környezetben történő terjedése egy igen komplex jelenség (fizikai és biokémiai folyamatok egyaránt befolyásolhatják), idő- és térbeli

változékonysággal fűszerezve. Ahhoz tehát, hogy a mikroműanyag-szennyezés édesvizeinkben történő terjedését fel lehessen tárni, további mérésekre és vizsgálatokra van szükség.

Jelen dolgozatban saját, a Dunán végzett terepi méréseimet, s az ott gyűjtött minták laborelemzéssel feltárt mikroműanyag-tartalmát mutatom be és értékelem ki. Az alkalmazott mikroműanyag-mintavevőt osztrák példa alapján magunk terveztük és állítottuk össze. A mintavevő kialakítása lehetővé tette, hogy a vízoszlop különböző mélységeiben egyidejűleg gyűjthessünk mintákat, ezáltal részletesebb képet alkotva a mikroműanyagok térbeli eloszlásáról. Az eszköz három, keretre szerelt, 500 µm pórusméretű planktonháló segítségével szűr ki szilárd anyagokat a folyó vizéből. A nemzetközi szakirodalomban azonosított egyik elsődleges mikroműanyag-terhelési gócpont a tisztított szennyvizek bevezetése. Mintaterületünket ennek megfelelően választottuk meg: méréseinket a Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep sodorvonalai bevezetése feletti és alatti folyószelvényekben végeztük, hogy a szennyvíztelep esetleges hatását kimutathassuk. A begyűjtött minták mikroműanyag-tartalmát laboratóriumi elemzés útján határoztuk meg. Célunk kettős volt: i) a mikroműanyag-mintavétel és –elemzés tesztelése után ii) becslést tettünk a Duna mikroműanyag-tartalmára adott vízjárási állapot mellett, egy, a mikroműanyag-terhelés szempontjából kiemelt jelentőségű, budapesti mintaterületen.

Abstract

Name: Szöllősi Anna
Thesis title: Development of a methodology for measuring in-stream microplastic pollution
Supervisors: Ermilov Alexander Anatol, Pomázi Flóra, Dr. Baranya Sándor, Dr. Toldy Andrea, Dr. Gere Dániel
Semester: 2022/23/1. félév

Life without plastic is almost unimaginable for the people of the 21st century. Its use is very wide: industry, medicine, buildings, packaging, etc. However, its excessive production leads to waste management problems. We often see bottles, plastic bags and other plastic waste thrown on the beaches or floating on the surface of the rivers. Over time, these gradually disintegrate (mainly through physical processes), falling apart into smaller plastic pieces. According to the literature, plastics with a particle size of less than 5 mm are collectively called microplastics. Their problem is that, thanks to their size, they easily spread in both marine and freshwater environments, where they interact with the local fauna (e.g., by attachment to food). Microplastics also reach humans through aquatic life, but the extent of this harmful effect is still unknown.

Since the beginning of the 2000s, the focus has been on the investigation of the amount, composition, occurrence and effects of microplastics. Significant measurements have been carried out in the marine environment, while the investigation of rivers and other freshwaters has only begun in the last few years. Abroad, measurements have already been carried out in river and lake environments, among others in Austria, Germany and the USA. Measurements have already been carried out here, in Hungary, during which microplastics transported in the waters of the Danube and Tisza, as well as settled at the bottom of our other rivers and lakes, were examined.

However, due to the novelty of the topic, there is a fierce debate surrounding the tests, as many sampling and analysis procedures have been created, which have their own advantages and disadvantages, but none of them have yet managed to gain full acceptance. The situation is also complicated by the fact that the spread of microplastics in the aquatic environment is a very complex phenomenon (both physical and biochemical processes can influence it),

seasoned with temporal and spatial variability. Therefore, in order to reveal the spread of microplastic pollution in our fresh waters, additional measurements and tests are needed.

In this thesis, I present and evaluate my own field measurements on the Danube, as well as the microplastic content of the samples collected there, revealed by laboratory analysis. The used microplastic sampler was designed and assembled by us based on an Austrian example. The design of the sampler made it possible to collect samples at different depths of the water column at the same time, thereby creating a more detailed picture of the spatial distribution of microplastics. The device filters solids from the river water using three 500 µm pore size plankton nets mounted on a frame. One of the primary microplastic load hotspots identified in the international literature is the introduction of treated wastewater. We chose our sampling area accordingly: we carried out our measurements in river sections above and below the streamline inlet of the Budapest Central Wastewater Treatment Plant, in order to demonstrate the potential impact of the sewage plant. The microplastic content of the collected samples was determined through laboratory analysis. Our goal was twofold: i) after testing the microplastic sampling and analysis, ii) we made an estimate of the microplastic content of the Danube under the given flow conditions, in a sample area of Budapest of particular importance from the point of view of the microplastic load.

1. Bevezetés

1.1. A mikroműanyagról

Az 1950-es években elkezdődött a műanyagok tömeges gyártása. Tartósságuk és viszonylag olcsó előállíthatóságuk miatt gyorsan és széles körben az egész világon elterjedtek. A különböző műanyag eszközök ma is töretlen népszerűségnek örvendenek az emberek körében. Ennek következtében tapasztalhatjuk, hogy napjainkra minden területen megjelent a műanyag. A 2015-ig gyártott műanyagok mennyisége elérte a 8,3 milliárd tonnát. Ugyan a műanyag hulladék nagy részét összegyűjtik és újrahasznosítják, még így is rengeteg (a becslések szerint évente 4,8-12,7 millió tonna) kerül a tengerekbe, óceánokba és folyókba (Lebreton et al., 2017) ^[1]. Ennek számos következményéről már ma is tudni, viszont még több információra van szükség a további káros hatások megállapítása érdekében. A folyók a műanyagszennyezést egyfajta szállítószalagként juttatják el a befogadó felé, de valamekkora részük a folyami környezetben marad. Ismereteink a folyami műanyagok minőségi és mennyiségi jellemzőiről nagyon korlátozottak, tanulmányom célja ezért, hogy a saját mérésekkel és az azokból leszűrhető tapasztalatokkal hozzájáruljak ezen igen komplex kutatási téma előrehaladásához.

Fontos megemlítenem a mikroműanyag fogalmát, mert egy átlagember, ha törekszik is a műanyagok összegyűjtésére, csak a nagyobb mérettartományú anyagokkal tudja ezt megtenni. Viszont a kisebb méretű műanyagokat, amelyek az emberi szem számára már kevésbé láthatóak, már nehezebb kezelni. Mikroműanyagnak nevezzük az 5 milliméternél kisebb műanyagokat. (pl. Mani et al., 2016) ^[2]. Ezek vagy eleve kis méretűre gyártva kerülnek bele a vizekbe (pl. a mosás során a szennyvízbe kerülő műanyagszálak), vagy a nagyobb méretű műanyagok elaprózódásával, bomlásával jönnek létre. Ma már számos kutatás bizonyítja, hogy a mikroműanyagok belekerülnek a tengeri élőlények szervezetébe és az ivóvízbe is, ezáltal jutnak el az emberekhez. A szennyvíztisztító telepek nem megfelelő hatásfokú működése, illetve az emberek által eldobott hulladék nagyban hozzájárul vizeink szennyezéséhez. A szennyvíz telepek hatására egyébként az utóbbi időkben igen nagy figyelem hárul, ugyanis a folyóinkba jutó mikroműanyag szálak (fiberek) egyik fő forrásaként a szennyvizet azonosították be a kutatók (10-50, vagy akár 100 darab mikroműanyag is kimutatható átlagosan 1 liter kezelt szennyízben; Conley és társai, 2019) ^[3]. A mikroműanyagok továbbá sokkal közelebbi részesei is lehetnek a mindennapi életünknek, ugyanis kimutatták például, hogy egy palackos ásványvízben literenként 325 darab mikroműanyag-részecske található (Masson és

társai, 2018) ^[4]. Mindazonáltal, egyelőre még ismeretlen ezeknek a részecskéknek az egészségre káros hatása. Ezért is fontosak azok a kutatások és tanulmányok, amelyek ezen terület megismeréséhez járulnak hozzá.

1.2. Folyami mikroműanyagok mintavételezési módszerei



1. ábra Mikroműanyag folyami mintázásra kialakított, hálós mintavevő (Liedermann és társai, 2018).

A folyami mikroműanyag terhelés mérése a műanyag részecskék vándorlásának összetettsége miatt új kihívások elé állítja a témával foglalkozó kutatókat. Mivel a jelenség valamennyire hasonlít a folyókban utazó szervesetlen hordalék (iszap, homok, kavics) vándorlásához, a mérési eljárások fejlesztésénél egyes kutatók a hordalékmérésekből indultak ki. Liedermann és társai ^[5] pl. az osztrák Duna vizében végeztek egy mérést 2018-ban. A céljuk az volt, hogy a vízoszlop különböző mélységeiben mérve kimutathassák a mikroműanyagok mennyiségének térbeli heterogenitását. Ehhez egy olyan eszközt készítettek, ami 3 db 60 x 60 cm-es keretre

rögzített hálóból állt. A vízfelszínen, a vízoszlop közepén és a mederfenék közelében helyeztek el 250, illetve 500 μ m-es hálókat. A keretekre uszonyokat szereltek, hogy a hálók szája végig az áramlás irányvonalába mutasson. A hálók végére leszerelhető mintavevő tartályok kerültek, ezzel gyorsítva az ürítési időt. Ezenkívül teszteltek egy 41 μ m-es hálót is, melyet azonban annak nagyon gyors eltömődése miatt elhagytak a későbbiekben. Léteznek továbbá olyan megközelítések is, melyek nem a vízoszlopban szállított, hanem a mederanyagban kiülepedett mikroműanyag terhelést célozzák meg (Crawford és társai, 2017 ^[6], Kiss és társai, 2022 ^[7]) a mederhordalék mintázásával. A harmadik módszer közvetlenül a folyami élővilágot és táplálékláncukat célozza (pl.: Balkic és társai, 2022 ^[9]).

Dolgozatomban a Liedermann és társai által is kijelölt módszertant követtük, akik a folyó vizéből gyűjtött mintákat laborban átszitálták és méret szerint szétosztották a könnyebb vizsgálhatóság érdekében. Az átszitált anyagokat NaCl oldatokba helyezték (hasonlóan más kutatókhoz; Crawford és társai, 2017 ^[8]), ami lehetővé teszi a könnyebb (remélhetőleg műanyag) részek lebegését és a nehezebb (véltetően leginkább szerves anyagok, valamint folyami hordalék) anyagok leülepedését, kihasználva az eltérő anyagok sűrűségkülönbségét. A lebegőanyagot leszűrték, 50 °C-on szárították és kézzel enyhén megörölték, hogy a szerves anyagokat roncsolják, lehetőséget nyitva a rejtett műanyagok felbukkanásának. Ezután a mintát 5 mm-nél kisebb és nagyobb frakciókra bontották, majd spektroszkóppal vizsgálták meg. A mérések kimutatták, hogy a mikroműanyag nem csak a vízfelszínen, hanem a teljes vízoszlopban jelen van. Más mérések eddig csak a vízfelszínen történtek, viszont Liedermann és társai kimutatták, hogy nem mindegy, hogy a folyók mely részén történik a mintavétel, hiszen akár 30-szoros mennyiségi eltérés is lehet egy-egy mérés között. Az eltérés oka, hogy a műanyagok a partok mentén felhalmozódhatnak, és könnyebben szállítódhatnak.

Fontos lépést jelentettek a dunai mikroműanyagok vizsgálati módszerének fejlesztésében Bordós (2021) ^[10] mérései, aki vizsgálataiban a magyarországi felszíni vizek és üledékek mikroműanyag tartalmának meghatározását tűzte ki célul. Az eddigi méréseket figyelembe véve jutott arra a következtetésre, hogy mivel a mért koncentrációk általában kicsik, ezért érdemes nagy mennyiségű anyagot gyűjteni és elemezni. Célja az volt, hogy a mintát minél kisebb pórusméretű szűrőn átvezetve jobb képet kapjon a vizek szennyezettségéről. Halastavakban és folyókban is végzett méréseket egy olyan vízszivattyús berendezés segítségével, amibe a víz egy 2 mm-es szűrőn keresztül érkezett be, majd egy 300 és egy 100 µm-es szűrőn áthaladva, egy vízmérő órán keresztül távozott. A 2 mm-es szűrő használatával a többi szűrő csak később tömődött el, így nagyobb mennyiségű mintát tudott vizsgálni. Ennek segítségével relevánsabb képet kapott a mikroműanyagok mennyiségéről. Az üledékeket a halastavakban vizsgálta, ahol mintavételi pontonként 2-3 kg üledéket gyűjtött Van Veen mintavevővel. A mintákat mikroszkópban elemezte és azonosította benne a mikroműanyagokat.

1.3. Célkitűzéseink

Jelen kutatás a Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium elnevezésű hazai kutatási projekt egyik alprojektjéhez kapcsolódik, amelynek célja a szennyvíztisztító telepek

folyami mikroműanyag terhelésének vizsgálata. Az alprojekt egyik első eleme egy, a folyókban utazó mikroműanyag mennyiségi és összetételi elemzésére alkalmas módszertan kidolgozása. Ahogy a következőkben bemutatom, egy saját készítésű mikroműanyag mintavevővel 2022. augusztusában mérést végeztünk a Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep melletti Duna szakasz sodorvonali bevezetése feletti és alatti szelvényeiben. Mintát vettük a szennyvíztisztító telepről közvetlenül kifolyó tisztított vízből is. Az összegyűjtött mintákat az ELTE és a BME laboratóriumában vizsgáltuk. A dolgozatom fő célja, hogy bemutassam a mintavevő kialakítását, a mintavételezési eljárást, a mintaelemzési módszereket, és végül összefoglaljam a mérésekből levonható következtetéseket.

2. Mérések és módszerek

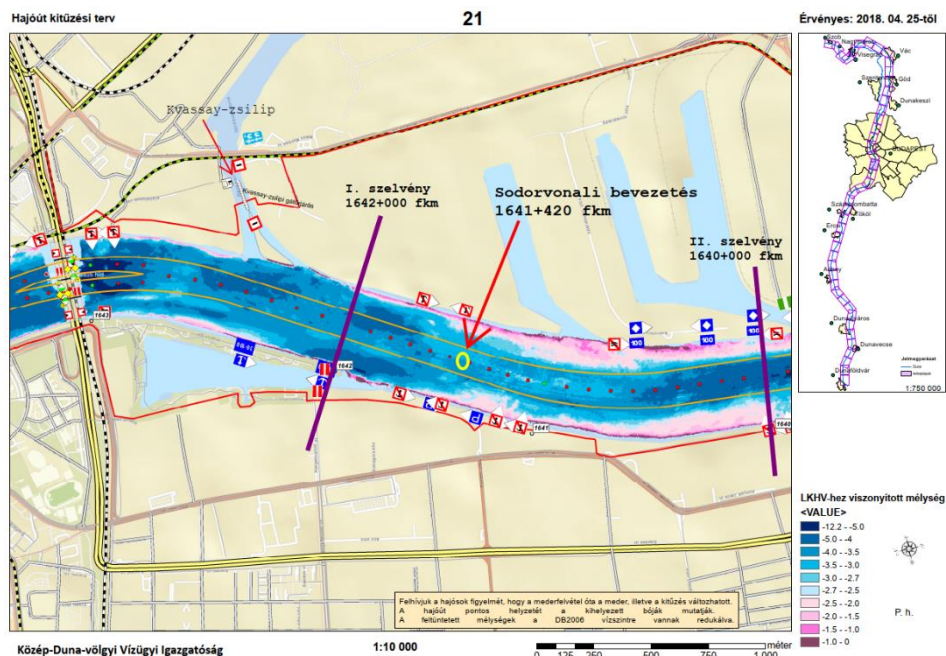
2.1. Terület ismertetése

Mérés a folyószelvényekben

A Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep sodorbeli bevezetése a Duna 1640+420 fkm szelvényében található. Két folyószelvényben mértünk, az egyiket közvetlenül a bevezetés alatt, a másikat pedig afölött jelöltük ki. Szelvényenként 3-3 függély koordinátáit a mérés előtt meghatároztuk és a Dunán GPS használatával álltunk rá a pontokra (2. ábra).

Mérés a szennyvíztisztító telepen

A Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep munkatársai lehetőséget biztosítottak arra, hogy a tisztított szennyvízből 10-20 literes vízmintákat vegyünk további laboratóriumi elemzés céljából. A mintavétel egyszerűen történt, mivel a telepen a szennyvíz minőségét számos ponton monitorozzák. A technológiai sor legvégén kialakított monitoring pontnál a közvetlenül a folyóba vezetett tisztított szennyvizet mintázhattuk, mely további kezelésen már nem esik át Dunába jutása előtt.



2. ábra Szelvények kijelölése

2.2. Mérési módszertan

A mintavevő

A mintavevőt Liedermann és társai (2018) példája alapján alakítottuk ki. A mintaterület mikroműanyag-szennyezettségének minél részletesebb feltárása érdekében mi is célul tűztük ki, hogy méréseket végezzünk egy adott vízoszlop három különböző mélységében, ezért 3 db 60x60 cm-es keretet készítettünk, amire 500 µm-es lyukbőségű, poliamid anyagú hálót szereltünk. Azért ezzel a méret nagysággal dolgoztunk, mert az osztrák tanulmány alapján ez volt a lyukbőség működött a leghatékonyabban az eltömődés idejének, gyűjtött mikroműanyag mennyiségének és a háló áramlási ellenállásának szempontjából. Az elvárt befogható mikroműanyag mérettartomány tehát az 500 µm és 5 mm közé eső darabokat jelentette. Pontos információt nem találtunk a háló keretre rögzítésének módjáról, ezért először hőfúvóval próbáltuk megoldani, de a háló nagyon gyorsan megolvadt és kilyukadt. A működő megoldás végül az volt, hogy tűzőgéppel tűztük meg a hálót (3. ábra). A hálók végére kb. 25 centiméter átmérőjű PVC csöveket szereltünk, ezek végére bilincsekkel hálódarabokat erősítettünk, amelyekbe a mintát gyűjtöttük. Egy merülőszivattyút és egy slagot használtunk arra, hogy a mintát még a helyszínen a gyűjtőbe tudjuk mosni. Mivel kívülről engedték rá a vizet, ezért a beszivattyúzott műanyag víz nem okozott zavart a mintában. Végül az összegyűjtött mintákat laborba szállítottuk és az elemzésig sötét, hűvös helyen tároltuk a mikrobiológiai folyamatok visszaszorítása érdekében.



3. ábra A háló keretre rögzítése

A terepi mintavételi eljárás

A mérési terület kiválasztásánál lényeges szempontnak tekintettük, hogy a szennyvíztisztító bevezetése előtt, valamint után legyenek a szelvények. Ezért még a mérés előtt Google Earth térképen kijelöltük a szelvényeket (1642+000 fkm és 1640+000 fkm; 2. ábra) és a függélyeket, s elmentettük a GPS koordinátákat.

A méréseket egy a vízen úszó pontonról végeztük, ami lényegében két 6 méteres hajótestre épített felépítmény, mely lehetőséget ad különböző eszközök rögzítésére, rendelkezik egy motoros gémmel, motorcsónakkal mozgatható, és vasmacskával a folyó bármely pontjában rögzíthető. A mintavétel során ráálltunk a kijelölt mérési pontra és az ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*; akusztikus Doppler-elvű áramlásmérő műszer) műszer segítségével megmértük az ottani vízmélységet. Ezt az adatot elharmadolva tudtuk leereszteni a hálókát a megfelelő mélységekbe. Az alsó keretre egy ADV (*Acoustic Doppler Velocimeter*; akusztikus Doppler-elvű áramlásmérő) műszer is rögzítve volt annak érdekében, hogy később meg tudjuk állapítani a mikroműanyag mennyiségét egységnyi víztérfogatra vonatkoztatva. A mintavételezés minden függélyben 30 percig tartott, ezután kiemeltük a hálókát a vízből. A merülőszivattyú és a slag segítségével belemostuk a mintát a PVC cső aljához rögzített hálóba. Itt problémát jelentett, hogy a keretre szerelt háló redőiből csak nehezen lehetett kimosni az ott összegyűlt mintát. Ezután a csövek végéről leszereltük a hálódarabokat és műanyag gyorskötözővel biztosítottuk, hogy a minta ne hullhasson ki. Ezt követően vágtunk új hálódarabokat, amelyeket rászertünk a csövek végére, majd ráálltunk a következő koordinátára.



4. ábra Mérőponton (bal) és a kész mintavevő (jobb)



5. ábra A mintavételi háló beemelése és a megvett minta begyűjtésének pillanata

Kiegészítő eszközök

Azért, hogy később meg tudjuk határozni a mikroműanyagok mennyiségét egységnyi térfogatra számítva, sebességmérő műszereket alkalmaztunk.

Az egyik műszer a már említett ADCP volt, amelyet a mérőtagra szereltünk, hogy az egész vízoszlopban tudja mérni az áramlási sebességet. Ez úgy működik, hogy a készülék egy hanghullámot bocsát ki, ami a vízben lévő szilárd részecskékről (pl. lebegtetett hordalékszemcse vagy mikroműanyag) visszaérkezik a műszerbe. A készülék ezután a Doppler-effektus segítségével meghatározza a részecskék sebességét, ami közelítőleg megegyezik a víz áramlási sebességével.

A másik műszer az ADV volt, amit az alsó hálóra szereltünk, hogy a vízoszlop alsó pontjában megmérje a víz sebességét. Erre azért volt szükség, mert az ADCP a mederfenék közelében jellemzően pontatlan eredményt ad, vagy nem is mér (ld. vakzóna). Az ADV szintén a Doppler-effektus elvén működik.

2.3. Elemzési módszerek

Minták előkészítése, szeparálása

A szennyvíztisztító telepről és a Dunából vett mintákat két külön csapat készítette elő és vizsgálta.

A szennyvíztisztító telepen vett minták előkészítése:

A szennyvíztisztító telepen vett mintákat laboratóriumba szállítottuk, ahol azokat előkészítették vizsgálatra. Egy vákuumszűrő berendezésen 0,7 µm pórusméretű üvegszálás szűrőn átszűrték, különböző térfogatokban. A szűrőket 30 ml 30%-os H₂O₂ oldatba áztatták, majd kiszárították. Az előkészítésre ebben az esetben azért volt szükség, mert sokkal könnyebb úgy vizsgálni a megtisztított vizet, hogy a szerves anyagokat előtte lebontjuk.

A Duna vizéből vett minták előkészítése:

Az alábbiakban lépésekben ismertetem a Dunából vett minták előkészítését:

1. A Dunából vett mintákat a mintavétel után szárítókemencében 40 °C-on kiszárítottuk a könnyebb kezelhetőség érdekében. Általában nem voltak jelentősen nagyobb darabok a mintában, amit mégis találtunk, azt megpróbáltuk kézzel eltávolítani (pl. gallyak).
2. A száraz anyagot finoman szétördeltük (pl. leveleket), és NaCl oldatba raktuk, hogy a sűrűbb anyagok leülepedjenek. Egy mintára 5 liter vizet öntöttünk, 0,5 kg sóval elkeverve.
3. 24 óra után leföldröttük az oldatot és a megmaradt anyagot újra szárítószekrénybe raktuk.
4. A mintát ezután 24 órára H₂O₂ oldatba tettük, hogy a szerves anyagok lebomoljanak. Érdekesnek tartjuk megjegyezni, hogy a H₂O₂ oldatban történő hatékony áztatás ideje 7 órától több napig, akár 1 hétig is eltarthat (Pfeiffer és társai, 2020) a minta anyagi összetételétől és térfogatától függően. A dunai minták esetében a 24 órás áztatás elegendőnek bizonyult, 1 nap elteltével a szerves anyag kellő mértékben degradálódott, mind struktúráját, mind színét elvesztette, miáltal később (ld. 6. lépés) már viszonylag könnyen el lehetett különíteni a műanyagot a szerves anyagtól.
5. Ezt is leföldröttük és kiszárítottuk. (6. ábra)
6. A száraz mintát a szárítószekrényből kivéve kézzel szétválogattuk. A válogatás szabad szemmel, csipesz segítségével történt.
7. Miután a mintát szétválogattuk, egy ± 0.1 mg pontosságú Shimadzu analitikai mérleggel lemértük külön-külön a műanyagok tömegét. (6. ábra)



6. ábra A kiszáritott minta (bal) és a mintából kiválogatott mikroműanyagok (jobb)

Minták vizsgálata, elemzése

A szennyvíztisztító telepen vett minták vizsgálata és elemzése:

A szennyvíztisztító telepen vett mintákat Raman spektrométerrel (7.ábra) próbálták megvizsgálni. Működésének elve a fényszóródáson nyugszik és a rezgési spektroszkópiai módszerek közé sorolható (forrás: www.sci.u-szeged.hu). A vizsgált anyag molekula szerkezetéről nyújt információt a kibocsátott monokromatikus lézervfény frekvenciájának megváltozásának elemzésén keresztül. (forrás: www.sci.u-szeged.hu). A műszer szkennelés-módba állítható, ami azt jelenti, hogy egy képzeletbeli rácshálót vetít a tárgylemezre, az elemzést pedig e háló pontjaiban sorra elvégzi, majd összegzi azok eredményeit. Bár a műszert rendszeresen használják műanyaggyártási folyamatok ellenőrzésére, és a gyártott termékek anyagi minőségének vizsgálatára, a szennyvíztisztító telepről gyűjtött mintánk esetében a vizsgálat sajnos sikertelen volt. Ennek oka, hogy a szűrőpapíron az anyag nem terült el egy egyenletes síkban, és így a kiálló részek miatt a műszer nem tudott fókuszálni emiatt az adatokat nem, vagy nem jól írta ki. Ezt követően egy vékony kvarc fedőlemezt próbáltak a minta tetejére szorítani, de ez sem működött, mert a lemez vékonysága miatt könnyen tört. Vastagabb lemez

nem helyezhető a szűrőpapírra, mert azon a spektrométer kibocsátott hullámai nem haladnak át.



7. ábra Raman Spektrométer

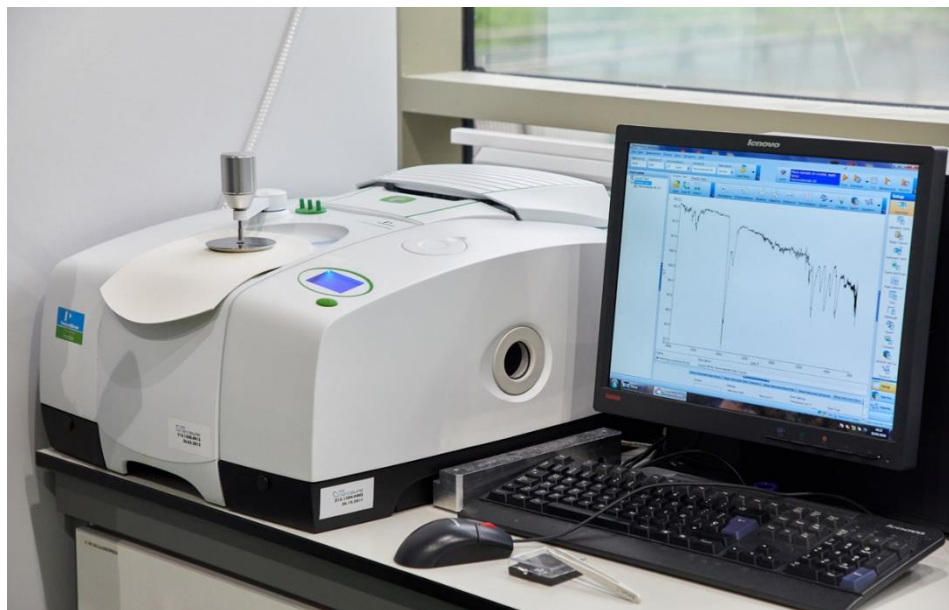
A fenti vizsgálat sikertelensége miatt a spektrométer használata elvetésre került. Így maradt a hagyományos, mikroszkópos vizsgálat, viszont emiatt az a végső döntés született, hogy jelen dolgozat során csupán előkészítjük a szennyvízmintákat jövőbeli, mikroszkópos elemzésre, tekintve, hogy rendkívül időigényes eljárást igényel, ugyanis a vizsgáló személy mikroszkóppal kell, hogy manuálisan végig pásztázza, az előkészített szűrőpapírokat, s összeszámolja a megtalált mikroműanyagokat, melyek jellemzően szabad szemmel nem/nehezen látható szálak (*fiberek*) a szennyvíz esetében. Lévé, hogy a folyami minták elemzése is rendkívül időigényes volt (ld. előző pont), a szennyvízminták mikroszkópos elemzése a dolgozat keretén kívülre került.

A Duna vizéből vett minták vizsgálata és elemzése:

A Dunából vett mintákat FTIR (*Fourier-transform infrared spectroscopy*; Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia) műszerrel vizsgáltam (8. ábra), mely a Raman-spektroszkóphoz hasonlóan szintén a rezgési spektroszkópiához tartozik. Ennek a működési elve az, hogy a műszer egy infravörös fénynyalábot kibocsátva megállapítja, hogy a vizsgált anyag az adott hullámhosszon milyen mértékben nyeli el a fényt (abszorpció). A műszer ebből tud következtetni a vizsgált minta atomjai közötti kémiai kötések energiatartalmára. Minden polimer egyedi „energia-ujjlenyomattal”, vagy ún. spektrállal rendelkezik, mely alapján beazonosítható a minta kémiai összetételére. A Raman műszerrel ellentétben az FTIR műszer csak 1 pontban képes mérni, mely jelentősen lassítja az analízist, így idő hiányában csak egy

kiválasztott pontban gyűjtött mintában található mikroműanyagokat vizsgáltam meg egyesével. Az anyagvizsgálat eredménye alapján a vizsgált mintaterület folyami mikroműanyag-szennyezettségét alkotó műanyag típusok statisztikai azonosítását végezhettem el, amely alapján becsülhető az egyes akár már potenciális mikroműanyag-források is beazonosíthatók (pl. egy átlátszó, PET anyagú mikroműanyag legvalószínűbb forrása egy üdítőspalack).

Ez a vizsgálat úgy zajlott, hogy a műanyagokat egyesével beraktam a FTIR műszerbe, amihez számítógépen a QGIS program csatlakozott. A program egy olyan grafikont rajzolt ki (8. ábra), ami az elnyelődést ábrázolta a hullámhossz függvényében. Ezt követően egyezést kerestem a program könyvtárában már meglévő anyagok (pl. polisztirol, polietilén, polipropilén) elnyelődést ábrázoló grafikonjaival. Fontos megjegyezni, hogy mivel egy ilyen könyvtárban jellemzően újonnan gyárilag előállított, steril minták spektráljelei találhatók, az általam vizsgált minták szennyezettsége, illetve anyaguk degradálódása jelentős mértékű bizonytalanságot vitt az elemzésbe. Vizsgálataim során mindig a legnagyobb százaléku egyezést fogadtam el, az előző okból kifolyólag azonban az egyezés rendszerint 60-80% között mozgott. Amikor egy anyagnál csak kb. 20%-os egyezést találtam, azokat különválogattam további vizsgálat céljából.



8. ábra FTIR műszer

3. Eredmények, értékelés

3.1. Vízhozam a mérés során

A mérés napján mozgóhajós ADCP mérést végeztünk és megmértük a dunai vízhozamot a két mintavételi szelvényben. Erre azért van szükség minden mérés előtt, mert így a mért mikroműanyag terhelési értékeket vízjárási állapotokhoz tudjuk majd kötni és megvizsgálhatjuk kapcsolatukat. A vízhozam 1500 m³/s-ra adódott jelen mérési kampányunk során, ez a Duna középvízi hozamánál (kb. 2200 m³/s) valamivel alacsonyabb, de a tipikus kisvízi hozamoknál magasabb.

3.2. Mikroműanyag-hozam

A mikroműanyag tömegáramának meghatározásához először kiszámoltam a mikroműanyag-koncentrációt, valamint a fajlagos mikroműanyag-hozamot az összes mintavételi pontban az alábbiak szerint. A mikroműanyag-koncentrációhoz meg kellett határoznom a szűrt víz térfogatát (V), amit a következő képlet alapján számítottam:

$$V = A \cdot v \cdot t$$

ahol: A – a háló területe (ez minden hálónál 0,36 m² volt),

v – a víz áramlási sebessége a mintavételi pontban,

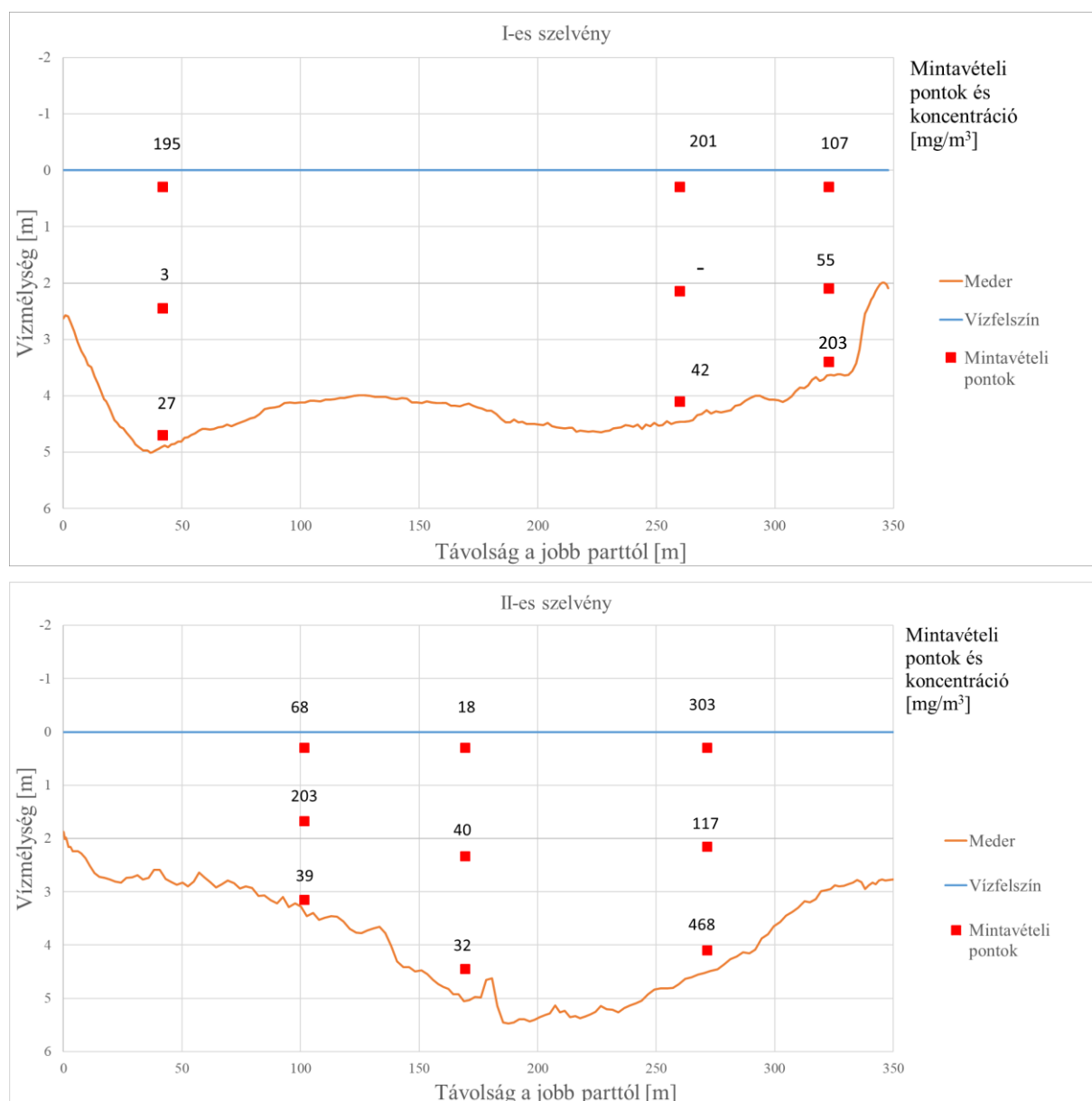
t – a mérés időtartama.

A kapott víztérfogat és az előzőleg mért mikroműanyag-tömegek alapján meghatároztam a koncentrációkat (C) az alábbi képletet használva:

$$C = m / V.$$

Az így előállított mikroműanyag-koncentrációkat a következő ábra (9. ábra) mutatja be (megjegyzés: az I-es szelvényben az egyik eredmény (”-”-vel jelölve) hiányzik, mert a minta a szállítások során elveszett). A szám adatok alapján megfigyelhető, hogy a Duna ezen szakaszán, a vizsgált vízjárási állapotban jellemző mikroműanyag-koncentráció értékek 0-500 mg/1000 m³ között alakultak, tehát 1000 m³ vízben maximum fél grammnyi műanyag szennyezést találtunk. A kapott töménység értékek nagyságrendileg összhangban vannak a Duna bécsi szakaszán végzett mérések alapján meghatározott adatokkal. Liedermann és társai (2018) 0-3000 mg/1000 m³ közötti értékeket kaptak, azonban magasabb, 3400 m³/s-os vízhozam mellett.

A szelvényen belüli eloszlásukat tekintve nem mutatható ki egyértelmű viselkedés, hogy hol vándorol több vagy kevesebb műanyag. A mederfenék közelében ugyanúgy megtalálhatók alacsony és magas értékek is, mint a vízfelszínnél. Ezen eredményeink rámutatnak arra, hogy a gyakorlatban elsődlegesen alkalmazásban lévő mintavételi módszerek, vagyis a vízfelszíni hálós, illetve a kanalas medermintázás önmagukban valóban nem feltétlenül reprezentatívak. A különböző anyagú és típusú mikroműanyagok sűrűsége döntően befolyásolhatja, hogy a vízoszlopon belül éppen melyik rétegben utaznak, fizikai aprózódásuk, bomlásuk (degradáció) csoportosulásuk (aggregáció) vagy éppen szerves anyaggal történő bevonódásuk mind sűrűségváltozással járó folyamatok.

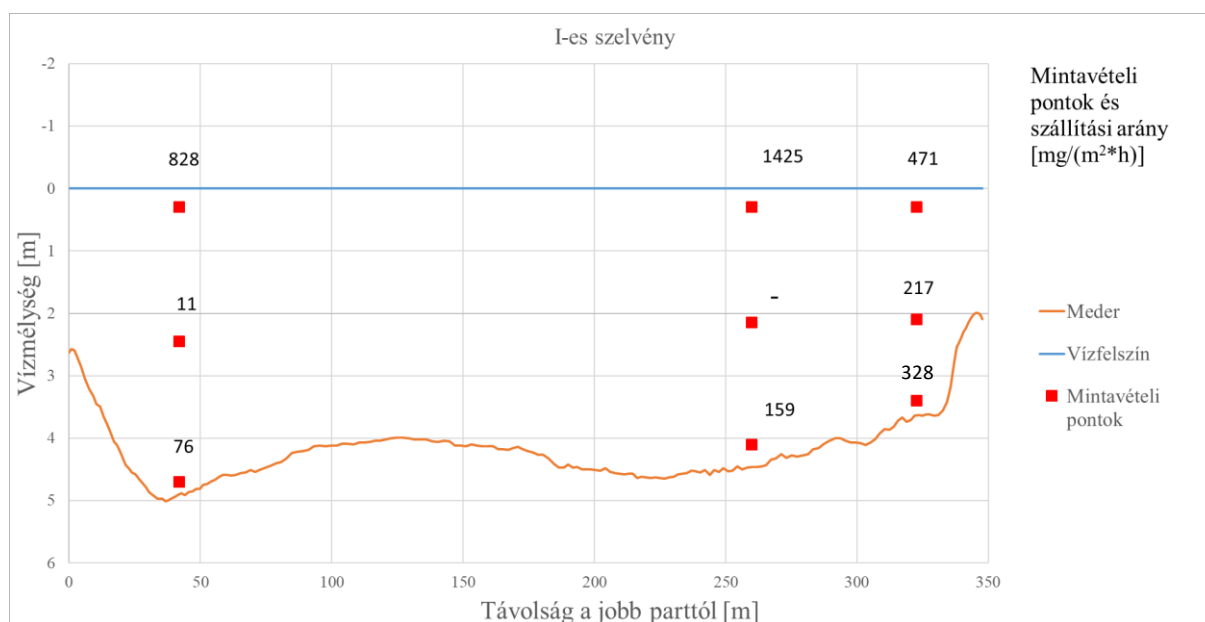


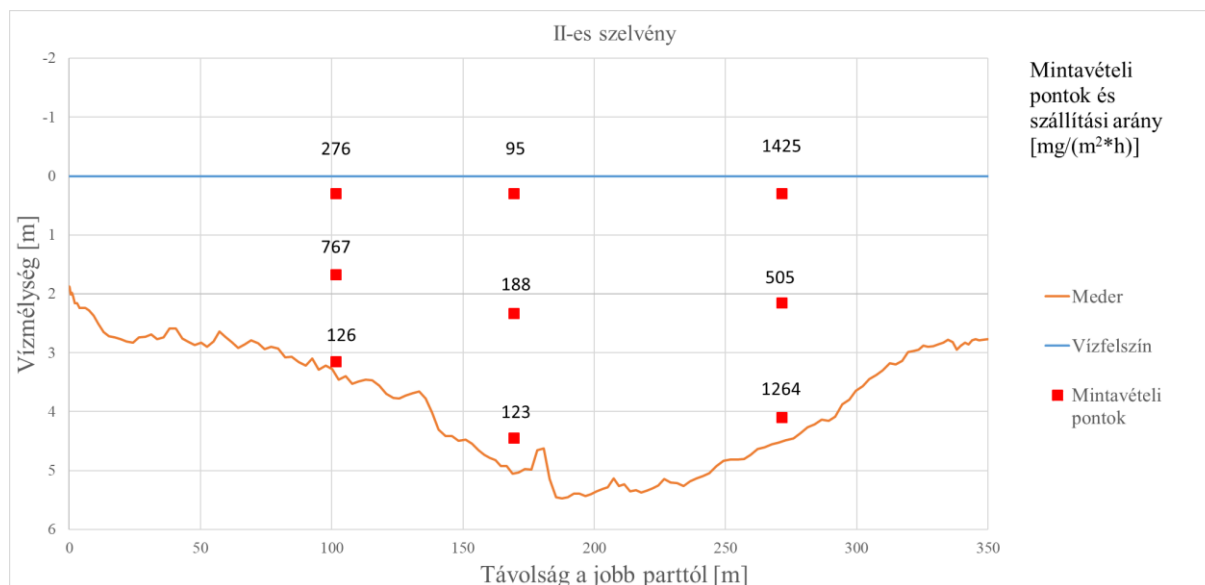
9. ábra A mikroműanyag-koncentráció alakulása a szennyvízbevezetés fölötti (I-es;fent), illetve alatti (II-es; lent) szelvényekben

A kapott koncentrációkat felhasználva minden pontban meghatároztam a fajlagos mikroműanyag-hozamot (q) a következő képlettel, ami a mintavételi pontra jellemző tömegáramot fejezi ki:

$$q = C \cdot v.$$

A teljes szelvény menti mikroműanyag-hozam a fajlagos töménység értékek (10. ábra) szelvény menti integrálásával kapható meg. Belátható, hogy az áramlási sebesség szintén meghatározó paraméter, homogén mikroműanyag-koncentráció mellett a magasabb áramlási sebességű rétegben szállítódna a legnagyobb tömegáram. Dolgozatomban jó közelítésként az átlagos koncentráció és a vízhozam szorzataként adom meg a teljes szelvényen átáramló műanyag tömegáramát. A mikroműanyagok szelvényátlagolt koncentrációja 104 és 143 mg/1000m³-re adódott az első és a második szelvényre. Ha ezeket az értékeket felszorozzuk a Duna vízhozamával (a méréskor 1500 m³/s), 156 és 215 mg/s tömegáramokat kapunk a két szelvényre. Ez tehát azt jelenti, hogy a vizsgált vízjárási állapotban a Duna vizsgált szakaszán egy másodperc alatt kb. 0,2 g mikroműanyag áramlik át, ami egy nap alatt kb. 17 kg, egy év alatt pedig kb. 6 tonna tömegáramot jelent. (Összehasonlításképpen a Duna vizsgált szakaszán az átlagos évi lebegtetett hordalékhozam ennek kb. 200 000-szerese, 1,3 millió tonna évente.)

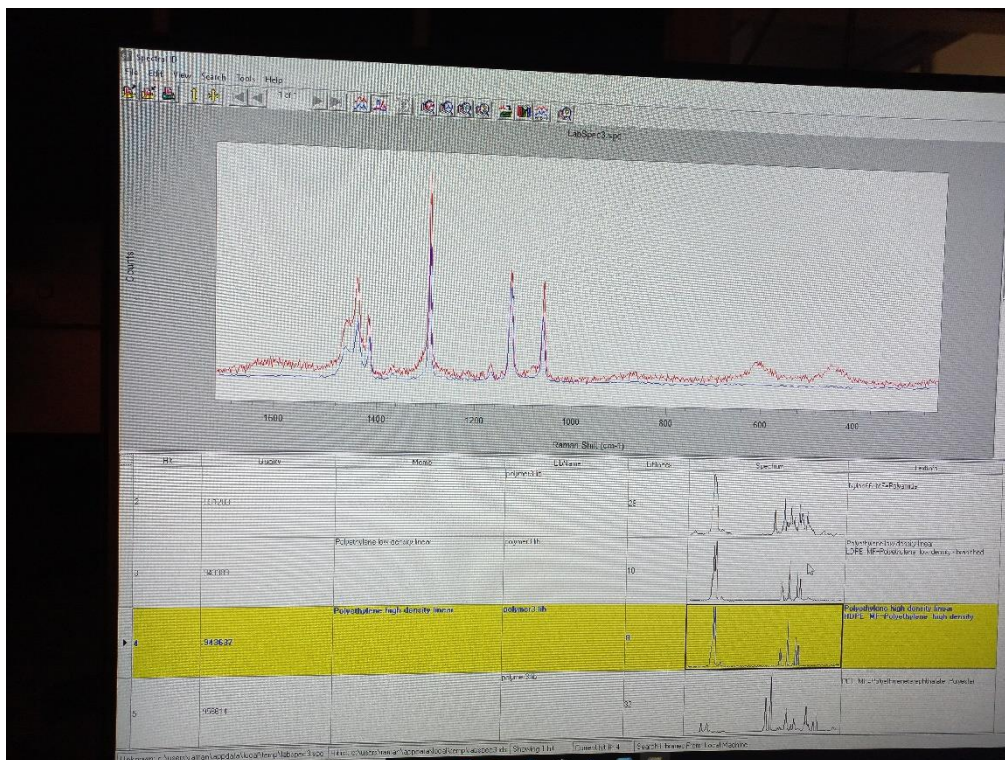




10. ábra A fajlagos mikroműanyag-hozamok alakulása a szennyvízbevezetés fölötti (I-es;fent), illetve alatti (II-es; lent) szelvényekben

3.3. FTIR eredmények bemutatása

Az FTIR elemzésre a begyűjtött minták ránézésre „legszínesebb”, legváltozatosabb műanyagokat tartalmazó tagját választottam ki, hogy várhatóan minél többféle típusú és anyagú mikroműanyagot tudjak vizsgálni, illetve beazonosítani. Az elemzés fő célja az volt, hogy megértsük, milyen műanyag fajták fordulnak elő a Dunában ebben a formában, miáltal esetleg a szennyezés forrására is tudunk következtetéseket levonni. Az FTIR elemzés során több fajta anyagot detektáltam: polisztirol (PS), polietilén (PE), polipropilén (PP), szén (C) (vagyis szerves anyag), termoplasztikus elasztomerek (TPE/TPS), egyéb műanyagok és egyéb nem műanyagok. A 11. ábrán egy nagy sűrűségű polietilén (HDPE) darab beazonosításának eredménye látható. Az elemzett minta (piros) és a polimerkönyvtárból kiválasztott (kék) spektráljelek tüskéi (azaz azok az ún. Raman-távolságok, amelyeknél egy kémiai kötés energiát nyel el a besugárzott fényből) meglehetősen jól egymásra esnek.



11. ábra Egy HDPE minta beazonosítása spektroszkópiai vizsgálattal

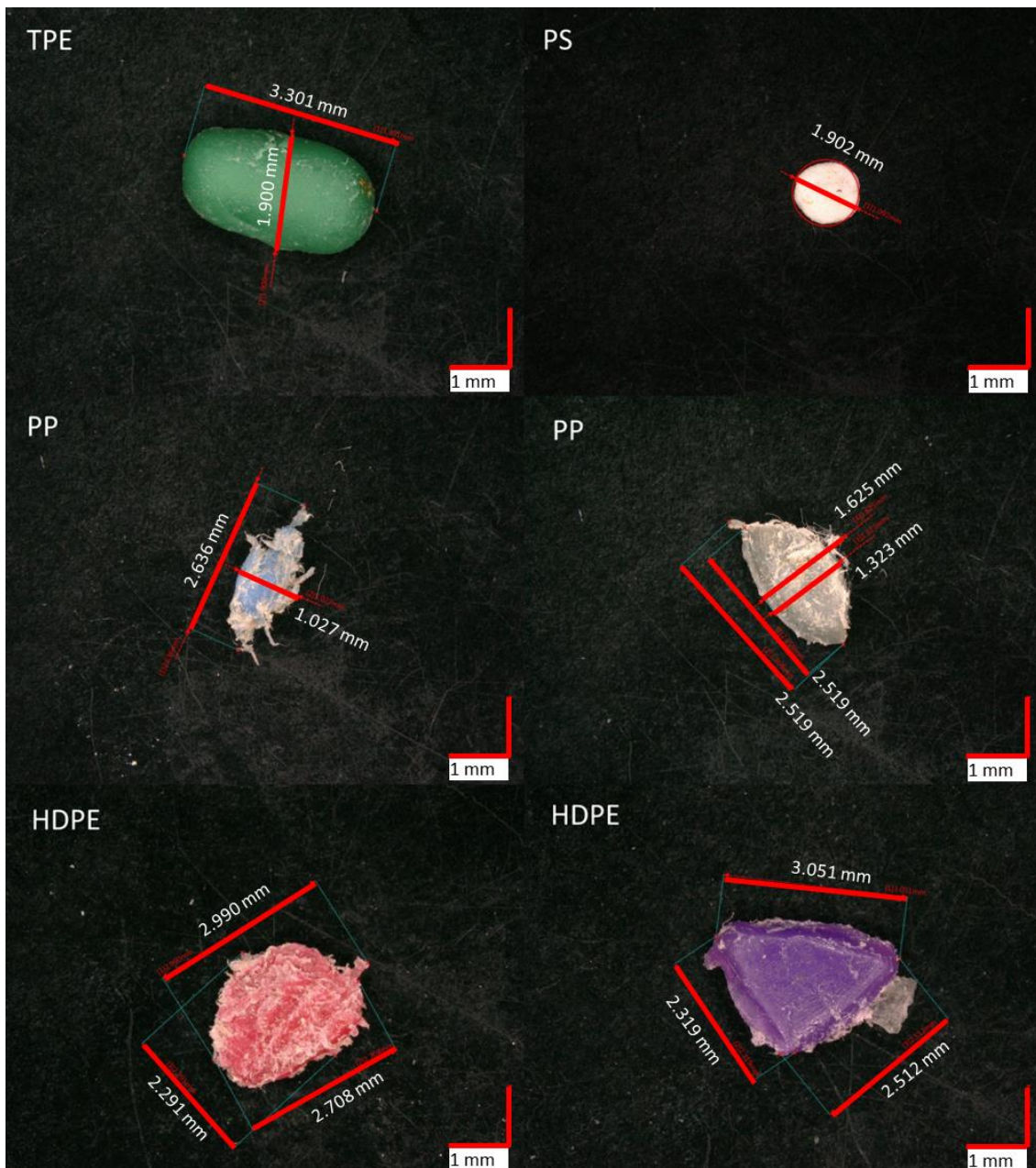
Kísérletet tettem a beazonosított műanyagok lehetséges forrásának meghatározására is. A PE és a PP számítanak a legnagyobb mennyiségben előállított műanyagoknak, egyik elsődleges felhasználójuk a csomagolóipar (Bordós 2021 ^[10]). A PE-ből jellemzően csomagolások, zacskók, flakonok készülnek. A PP szintén kedvelt csomagolóanyag, emellett leggyakrabban kupakok és tárolódobozok formájában találkozhatunk velük. A polisztirolokat főként csomagolásokhoz, valamint szigetelőanyagként használják az építőiparban, háztartásokban. Mindhárom beazonosított műanyag forrásaira egyaránt igaz, hogy nagyon könnyen válik belőlük hulladék, amely aztán a nem megfelelő tárolás miatt például a szél útján igen rövid úton bekerülhet a felszíni vizekbe. A termoplasztikus (hőre lágyuló) elasterek lényegében nagy szilárdságú és nagy rugalmasságú gumik, melynek szokásos felhasználási területeik pl. a fogkefék, ablaktömítések, műszerfal burkolatok, kábelbevonatok, stb. (forrás: www.resinex.hu). A hőre lágyuló műanyagok egyik legszélesebb körben alkalmazott polimere a közismert ABS (akrilnitril-butadién-sztirol). Mivel ezek Egyéb gyakori felhasználású műanyag pl. a PVC (polivinil-klorid), amiből csövek, padlóburkolatok, kábelszigetelések készülnek; a PET (polietilén-tereftalát), ami a műanyag flakonok általános alapanyaga; a PUR (poliuretán), amiből szigetelések, matracok és szivacsok, de akár kisebb kerekek is készülhetnek. A mintaterületen talált mikroműanyagok lehetséges eredetének illusztrálása érdekében összegyűjtöttem néhány fényképet (12. ábra) az egyes műanyagokból előállítható dolgokról:



12. ábra A mintaterületen azonosított műanyagok lehetséges forrásai (a képek forrása: www.thisisplastics.co.nz)

3.4. Mikroszkópos méretelemzés

A mintákon végeztünk mikroszkópos elemzést is azzal a céllal, hogy megismerhessük a mikroműanyagok méret szerinti eloszlását. Ez egy nagyon hosszadalmas munka, aminek csak az első lépéseit tettük meg, és a jövőben fogjuk folytatni. Az alábbi ábra tipikus mintákat mutat be, azok jellemző méreteivel. A mintavételi módszerünk alapján (fél mm-es háló alkalmazása) nem vártunk 0,5 mm alatti mérettartományban műanyagokat. A mikroszkópos elemzés alapján jól látszik, hogy az egyes műanyag darabok tényleg a várt mérettartományba esnek, néhány mm-es kiterjedéssel. Alakjuk és színük szerint nagyon változatosak, megtalálhatók szabályos és szabálytalan alakú minták is, a legkülönbözőbb színekben.



12. ábra Jellemző mikroműanyagok mikroszkópos képe és jellemző dimenziói

3.5. Kritikák, tanulságok

A mintavevő elkészítése, a mérési és az elemzési folyamat során több tanulság is megfogalmazódott bennünk. Az alábbiakban ezeket foglalom össze azért, mert ez biztosíthatja a további fejlődést a mikroműanyagok mérésének területén.

A mintavevő készítésének tanulságai:

1. A mintavevő összeállításánál Liedermann és társai (2018) mérését vettük alapul. A hálók összeszerelésénél ők több fajta lyukbősséggel is próbálkoztak, viszont a kisebb lyukú hálók nagyon gyorsan eltömődtek. Ebből tanulva, mi már csak 500 μm -es hálót használtunk, azonban emiatt a kisebb mérettartományú műanyagokat már nem tudtuk kiszűrni. Valószínűleg erre a mérettartományra valamilyen más módszert kell a jövőben alkalmazni (pl. a Bordós (2021) által kifejlesztett vízszivattyús eljárást).
2. Vizsgálataink arra is rámutattak, hogy a szennyvíztisztító telepekről jellemzően nagyon finom szálak (ún. fiber) műanyagok érkeznek. Mivel a mi mintavételi módszerünknel alkalmazott hálolyukak nagysága nagyobb volt, mint a fiber anyagok mérete, ezért a telep hatását nem lehet detektálni a hálós mintavétellel. A szennyvíztelepről emiatt külön vízmintákat gyűjtöttünk tárolóedényekbe a tisztított, Dunába közvetlenül visszavezetett vízből.

A minták előkészítésének és szeparálásának tanulságai:

1. A minták előkészítése és szeparálása során is számos kezelendő kérdés felmerült. Nincsenek szabványok arra vonatkozóan, hogy a mintát milyen töménységű NaCl oldatba kell rakni a megfelelő szétválogatáshoz (az oldat töménysége miatt beálló sűrűségkülönbség determinálja, hogy milyen testsűrűségű (anyagú) műanyagokat tudunk elkülöníteni).
2. Az anyagi összetétel és a tömegméréshez szükséges kézi válogatás nagyon időigényes volt és nehézségeket okozott, például amiatt, hogy az átlátszó darabokat egyszerűen nehéz volt észrevenni, vagy hogy a nagyon apró darabokat nem lehetett csipesszel megfogni. Fontos megjegyezni, hogy természetesen kritikus pont az is, hogy mit határozunk meg ránézésre műanyagként, s mit nem.

Az FTIR elemzés tanulságai:

1. A minta valószínűleg roncsolódott a szárítások és a hidrogén-peroxid használata során, valamint a műanyagok felületéről sem mindig sikerült teljesen eltávolítanunk a szerves anyagokat. Emiatt a gép sokszor nem, vagy csak kis százalékos egyezést talált a könyvtárban lévő grafikonokkal, melyek mind steril, gyárilag előállított polimerekről készültek.
2. A program nem tudta megvizsgálni a nagyon vékony műanyagokat, hiába próbálkoztam az anyagok félbehajtásával. A minta mérete tehát korlátozó tényező az elemzéseknél.
3. Kísérletet tettem az 1 mm-nél kisebb anyagok beazonosításával is, de a műszer ezekben az esetekben is legtöbbször csak alacsony százalékos egyezést talált.
4. Mivel a műanyagokat egyesével lehet csak elemezni, az is egyértelműen kijelenthető, hogy a vizsgálati eljárás különösen időigényes.

4. Kitekintés

A TDK keretében elvégezett mintavételezéssel az volt a célunk, hogy részt vegyünk egy egységesebb mérési protokoll kialakításában. Emiatt döntöttünk úgy, hogy nem saját ötletből alakítjuk ki a mintavevőt, hanem egy, a mások által már kipróbált eljárást igyekszünk mi is megvalósítani, továbbfejleszteni.

Véleményem szerint a problémát az okozza, hogy a kitapasztalt mérési eljárások nincsenek pontosan dokumentálva, így ez nehezíti a megismételhetőséget, a mérési eszközök egységes kialakítását. Ahhoz viszont, hogy egy egységes mérési protokoll kialakulhasson, fontos a legjobb módszer kikísérletezése, e mellett a mérések korlátjainak a feltérképezése. Amennyiben kialakul egy protokoll, az lehetővé teszi, hogy mások könnyebben végezzék a kutatásokat. Ennek következtében több adat gyűjtése válik lehetővé, ez növeli a megbízhatóságot, és jobban megismerhetjük a szennyezések természetét is.

Másik jelen levő probléma, hogy a mérések eredményét nem egy egységes mértérendszerben közlik, ezáltal az eredményeket nem lehet összehasonlítani. Szükséges lenne egy olyan nemzetközi szabvány, amely mindenki által elfogadott és elérhető. Ennek a kialakítására már vannak világszintű kezdeményezések, melyek folytatása a jövő feladata.

A műanyagokról szóló kutatás fontos eleme, hogy az adatgyűjtés minél szélesebb körben valósuljon meg, így biztosítva a nagy számú adatot. Több kezdeményezés is létezik arra vonatkozóan, hogy a környezetünkben, folyóinkban detektálni lehessen a műanyagokat. Ezek között vannak országos vagy akár világszintű projektek, ezekből mutatok be hármat.

Az egyik ilyen indítványozás az ún. Citizen Science (Közösségi tudomány) keretein belül zajlik, aminek egyik jó példája a Plastic Pirates (plasticpirates.eu). Ennek a kezdeményezésnek a lényege, hogy a méréseket, kutatásokat amatőr tudósok, vagy akár hétköznapi emberek is el tudják végezni, ezzel hozzájárulva egy széleskörű adatgyűjtéshez, amihez nélkülük nem feltétlen lenne kapacitás. Emiatt is nagyon fontos egy egységes, precíz protokoll kialakítása, ami bárki által könnyen nyomon követhető. Ebben a projektben sok magyarországi iskola is részt vesz, ahol tanórák keretében a Duna és más folyók partjairól és vizéből műanyag mintát gyűjtenek (13. ábra), és ezt feltöltve egy közös adatbázisba, ők is hozzájárulnak az adatok gyűjtéséhez. A projekt fontos célja, hogy tudatosítsa az emberekben a műanyag hulladék káros hatásait.



13. ábra Mikroműanyag mintázás a Plastic Pirates citizen science programban a BME K épület előtti Duna szakaszon

Magyarországon a PET Kalózok az egyik legismertebb projekt, melynek célja a Tisza megtisztítása a műanyag hulladékoktól. A szemétszedés egész évben zajlik, a műanyagokat pedig az összegyűjtés után újrahasznosíthatóság szerint szétválogatják. Évente PET palackokból épült hajókkal rendeznek versenyt, és eddig összesen 119 tonna hulladékot gyűjtöttek össze a Tisza vízből és ártereiből. Fontos céljuk még a kezdeményezésük népszerűsítése és a műanyagok káros hatásainak tudatosítása.

Bízom abban, hogy a kutatások és azok tapasztalatai hozzájárulnak ahhoz, hogy az emberek minél szélesebb rétege ismerje meg a műanyag hulladékok emberi szervezetre gyakorolt káros hatását, ezzel növelve a műanyagok tudatosabb felhasználását.

5. Összefoglalás

A TDK dolgozatomban a mikroműanyagok jelenlétét, mennyiségét, összetételét lefolytató kutatást mutattam be. Ez a téma felkeltette az érdeklődésemet, kíváncsi voltam korunk egyik kiemelkedő problémájára, a hazai vizekben található mikroműanyag szennyezés mértékére. A kutatás hazánk legnagyobb folyójában, a Dunában zajlott.

A vizsgálat célja volt a mintavétel és elemzés tesztelése mellett, hogy meg tudjuk határozni a Duna mikroműanyag tartalmát egy adott vízjárásnál, a kijelölt mintaterületen. A kijelölt célokat sikeresen teljesítettem és további, részletesebb vizsgálatokat is elkezdtem. Ez a kutatás azért is fontos, mert ezzel hozzá tudunk járulni a világban zajló hasonló kutatások fejlesztéséhez, ugyanis ezek még gyerekcipőben járnak, így a tapasztalatcsere és a rendszerszemlélet kiemelkedő fontossággal bír. Saját méréseim és elemzéseim alapján bemutattam, hogy a 0,5-5 mm-es mikroműanyag mérettartományban a Duna vizsgálat szakaszán nagyságrendileg napi 10-20 kg ilyen típusú szennyezés vándorol át, ami éves léptékben 5-10 tonnát jelent. Fontos megemlíteni, hogy a koncentráció értékek változhatnak, akár jelentős mértékben a vízhozamtól, de akár a napszaktól vagy az évszaktól függően is, ezért a bemutatott szám adatok csak nagyságrendi becslést adnak.

A vizsgálat során több problémával is találkoztunk, mint például: nem volt pontos protokoll, amit követni tudtunk volna, kézzel nehezen lehetett szétválogatni a mintákat, az FTIR műszer nem tudta megvizsgálni az apróbb, vékonyabb műanyagokat, valamint a műanyagok szennyezettsége is problémát okozott a géppel való vizsgálat során.

Sikert értünk el abban, hogy meg tudtuk határozni a mikroműanyagok koncentrációját mindkét szelvényben, valamint megállapítottuk a minta kémiai összetételét is. További vizsgálatok szükségesek viszont, a százalékos összetétel meghatározásához. Sikeresen elkezdtük a mikroműanyagok mérettartományának meghatározását és mintákat gyűjtöttünk a szennyvíztisztító telepből is, melyeket aztán elő is készítettünk jövőbeli mikroszkópos elemzésre.

Fontos eredmény, hogy az általunk kifejlesztett mintavevő alkalmas a folyó mikroműanyag terhelésének mérésére és folyamatos megfigyelésére. A szennyvíztelep hatásának megismeréséhez azonban más elven működő mintavevőt kell készítenünk, ami képes megmérni a finom, szál as anyagokat is, és pontosabb képet ad a kisebb mérettartományba eső ($< 500 \mu\text{m}$) mikroműanyagok mennyiségéről. A jövőbeni kutatáshoz végig kell gondolni azt is, hogy hogyan lehetne jobban kivitelezni a minták szétválasztását és elemzését. Bízom abban, hogy a

kutatás továbbfejlesztésének hatékony szereplője leszek a jövőben és tovább tudok foglalkozni a témával, ezzel is hozzájárulva ezen érdekes terület vizsgálatához.

Köszönetnyilvánítás

A bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

[1] Lebreton, L., van der Zwet, J., Damsteeg, JW. et al. River plastic emissions to the world's oceans. Nat Commun 8, 15611 (2017).

<https://doi.org/10.1038/ncomms15611>

[2] Mani, T., Hauk, A., Walter, U. et al. Microplastics profile along the Rhine River. Sci Rep 5, 17988 (2016).

<https://doi.org/10.1038/srep17988>

[3] Conley, K., Clum, Allan, Deepe, J., Lane, H., Beckingham, B.: Wastewater treatment plants as a source of microplastics to an urban estuary: Removal efficiencies and loading per capita over one year. 2019. Water Research X, Volume 3, 1 April.

<https://doi.org/10.1016/j.wroa.2019.100030>

[4] Sherri A. Masson, Victoria G. Welch, Joseph Neratko: Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. Frontiers (2018).

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2018.00407/full>

[5] Marcel Liedermann, Philipp Gmeiner, Sebastian Pessenlehner, Marlene Haimann, Philipp Hohenblum and Helmut Habersack: A Methodology for Measuring Microplastic Transport in Large or Medium Rivers. Water (2018).

<https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/414>

[6] Cristopher Blair Crawford, Brian Quinn: 8 – Microplastic collection techniques. Microplastic Pollutants, 2017, Pages 179-202. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00008-6>, (2017).

[7] Tímea Kiss, Sándor Gönczy, Tibor Nagy, Minucer Mesáros, Alexia Balla: Deposition and Mobilization of Microplastics in a Low-Energy Fluvial Environment from a Geomorphological Perspective. Appl. Sci. 2022, 12, 4367. <https://doi.org/10.3390/app12094367>, (2022).

[8] Cristopher Blair Crawford, Brian Quinn: 9 – Microplastic separation techniques. Microplastic Pollutants, 2017, Pages 203-218. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00009-8>. (2017).

[9] Anita Galir Balkic, Tanja Zuna Pfeiffer, Karla Cmelar, Dubravka Spoljaric Maronic, Filip Stevic, Nikolina Bek, Ana Martinovic, Rahela Nikolasevic: Footprint of the plastisphere on freshwater zooplankton. *Environmental Research* 212 113563 (2022).

[10] Bordós Gábor: Mikroműanyagok környezeti előfordulásának vizsgálata. MATE https://uni-mate.hu/documents/40312/0/Bordos_Gabor_tezis.pdf (2021).

[11] Felix Pfeiffer, Elke Kerstin Fischer: Various Digestion Protocols Within Microplastic Sample Processing—Evaluating the Resistance of Different Synthetic Polymers and the Efficiency of Biogenic Organic Matter Destruction <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2020.572424/full?fbclid=IwAR3kaEHRR86SfREhN2lpG-fXNuBM5SpHo50sSAIIZirLH1Glck6hNwS7nqA> (2020).

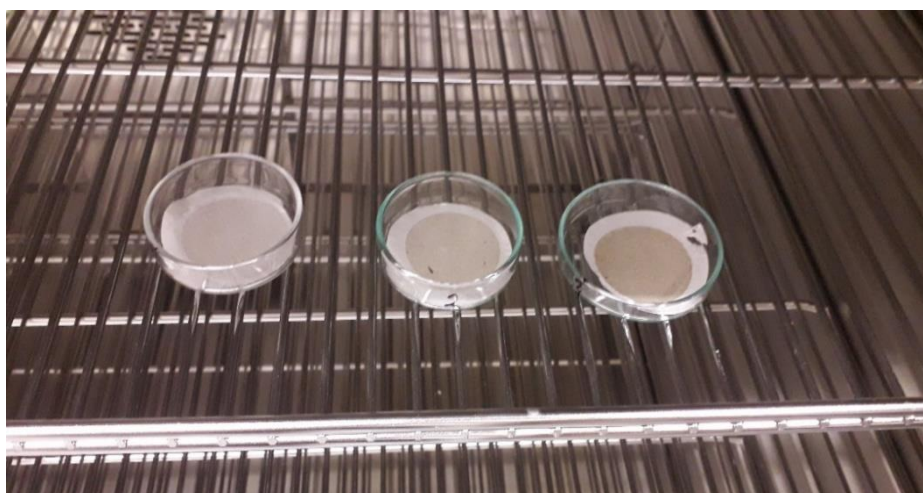
Egyéb linkek:

<http://www2.sci.u-szeged.hu/inorg/MOMA/ch07s02.html>

Függelék



14. ábra A háló összetűzése



15. ábra Szennyvízminta a szűrőpapírokon



16. ábra Minták a hidrogén-peroxidban



17. ábra A kiszárított minta