

DIPLOMADOLGOZAT

Bogoly Richárd
2024.



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet
Környezetgazdálkodási agrármérnök, MSc

**MŰANYAGOK FELHASZNÁLÁSA ÉS
MIKROMŰANYAGOK JELENLÉTÉNEK KIMUTATÁSA
KERTÉPÍTÉSI TEVÉKENYSÉG SORÁN**

Belső konzulens: **Dr. Szoboszlai Sándor**
egyetemi docens

Külső konzulens: **Prikler Bence**
laboratóriumi mérnök
Eurofins Kft.

Készítette: **Bogoly Richárd**
I095MD

**Gödöllő
2024.**

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	4
1.1. CÉLKITŰZÉS	5
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1. A MŰANYAGOK SZEREPE A MEZŐGAZDASÁGBAN	6
2.2. MEZŐGAZDASÁGI CÉLOKRA FELHASZNÁLT FONTOSABB MŰANYAG TÍPUSOK	8
2.3. MIKROMŰANYAGOK KELETKEZÉSE ÉS VESZÉLYEIK.....	14
2.3.1. A MIKROMŰANYAGOK JELENLÉTE AZ ÖKOSZISZTÉMÁBAN	15
2.4. SZELEKTÍV HULLADÉK GYŰJTÉS AZ AGRÁRIUMBAN	22
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	24
3.2. KERTÉSZETI TELEPHELY, FAISKOLAI ADATOK	25
3.2. A HÁROM MIKROMŰANYAG MINTAVÉTELI HELYSZÍN BEMUTATÁSA.....	26
3.2.1. TÖKÖLI MINTAVÉTELI HELYSZÍN (A TATÖ, KTTÖ MINTÁK SZÁRMAZÁSI HELYE).....	26
3.2.2. BUDAPEST 17. KERÜLETI MINTAVÉTELI HELYSZÍN (A TA17, KT17 MINTÁK SZÁRMAZÁSI HELYE).....	28
3.2.3. BUDAPESTI KÖZMŰVEK (BKM) - FŐKERT (FŐKERT KERTÉSZETI DIVÍZIÓ) KOMPOSZTTELEPÉRŐL SZÁRMAZÓ KOMPOSZT (A KOMP JELŰ MINTA SZÁRMAZÁSI HELYE)	29
3.2.4. MINTAVÉTEL ÉS A MINTÁK TÁROLÁSA	30
3.3. KÉT ZÖLDHULLADÉK KOMPOSZTÁLÓ NAGYÜZEM BEMUTATÁSA.....	30
3.3.1. BKM - FŐKERT KOMPOSZT	31
3.3.2. BKM - PUSZTAZÁMORI KOMPOSZT	34
3.4. A MIKROMŰANYAGOK MINTAEELŐKÉSZÍTÉSI, AZONOSÍTÁSI ÉS SZÁMLÁLÁSI MÓDSZEREINEK A BEMUTATÁSA.....	35
4. EREDMÉNYEK	37
4.1 A KERTÉPÍTÉS SORÁN FELHASZNÁLT MŰANYAGOK	37
4.2. A KOMPOSZT ÉS TALAJMINTÁK MIKROMŰANYAG TARTALMA.....	48
4.2.1. A BKM-FŐKERT KOMPOSZT MINTA (KOMP) MIKROMŰANYAG TARTALMA	48
4.2.2. A TÖKÖLI MINTAVÉTELI HELYSZÍNEN VETT TALAJMINTA (TATÖ) MIKROMŰANYAG TARTALMA	49
4.2.3. A TÖKÖLI MINTAVÉTELI HELYSZÍNEN VETT KOMPOSZT-TALAJ KEVERÉK MINTA (KTTÖ) MIKROMŰANYAG TARTALMA.....	50
4.2.4. BUDAPEST 17. KERÜLETI KERTÉPÍTÉS SORÁN FELHASZNÁLT TALAJBÓL VETT MINTA (TA17) MIKROMŰANYAG TARTALMA.....	52
4.2.5. BUDAPEST 17. KERÜLETI KERTÉPÍTÉS SORÁN VETT KOMPOSZT-TALAJ KEVERÉK MINTA (KT17) MIKROMŰANYAG TARTALMA.....	53
4.2.6. A MINTÁK MIKROMŰANYAG TARTALMÁNAK ÖSSZEHOSONLÍTÁSA.....	55
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	58
6. ÖSSZEFOGLALÁS	62
7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	63
8. IRODALOMJEGYZÉK	64

1. Bevezetés

A FAO adatai szerint évente 12,5 millió tonna műanyagot használ fel a mezőgazdaság, ez többségében talajtakarásra szánt fólia (FAO, 2023).

Szakedolgozatom középpontjában a *„Csemegeuborka termesztése különböző közegkeverékekben, edényes termesztő rendszerben”* témaköre állt. Ebben a kontextusban a talajok minőségét vizsgáltam, és az ennek során szerzett tapasztalatom azt mutatta, hogy a talajkeverékekben használt komposzt darabos, idegen anyagokat tartalmaz, köztük műanyagokat. Feltételezésem szerint ennek egyik oka lehet, hogy az előállítási folyamat során műanyag cserepek, zsákok, kötegelő anyagok kerülhetnek a komposztáló telepre érkező zöldhulladékba, majd a műanyag részek a kezelési műveletek folyamán apróbb darabokra eshetnek szét, ezzel teret adva a mikroműanyagok képződésének.

Fentiek felkeltették az érdeklődésemet aziránt, hogy a mezőgazdasági tevékenység során, illetve a komposztok előállításakor keletkező mikroműanyagok miként kerülnek a talajba, és ez milyen hatással van a környezetünkre, az elfogyasztott élelmiszerekre.

A mikroműanyagok olyan műanyag részecskék, amelyek 5 mm-nél kisebbek. Ezek lehetnek eredetileg is kis méretűre gyártott műanyagok, vagy pedig nagyobb műanyag tárgyak széteséséből származó apróbb darabok. Így a mikroműanyagok számos forrásból kerülhetnek a környezetbe, például kozmetikumok, mosószerek, autógumik, műanyag csomagolások alkalmazása során.

A kertépítésben a mikroműanyagok általában nem használatosak tudatosan, viszont ennek a tevékenységnek a során műanyagok kerülnek alkalmazásra, például öntözőrendszerek részeiként, geotextília, műfű, tófólia, kerti szegélyek, vakondháló, cserepek, csomagoló anyagok formájában, illetve a hozatott, úgynevezett ömlesztett áruval, amely általában termőföld, sóder, kavics és komposzt lehet. A kertépítésben felhasznált műanyagok részecskékre szakadozhatnak, törhetnek, belőlük mikroműanyagok képződhetnek. Ezek a mikroműanyagok azután bekerülhetnek a talajba, a levegőbe, a vízbe vagy a növényekbe. Jelenlétük a környezetben aggodalmat kelt, mivel hosszú távon negatív hatással lehetnek az ökoszisztémák állapotára. Amennyiben a kertépítés során műanyagokat használunk, fontos odafigyelni a hulladékkezelésre és a környezettudatos megoldásokra, így például keresni kell a lehetőségeket olyan alternatív anyagok használatára, amelyek nem tartalmaznak műanyagokat.

Fontos megemlíteni, hogy a kertek gondozásakor alkalmazott növényvédő szerek műtrágyák is tartalmazhatnak mikroműanyagokat, illetve a mezőgazdasági termesztés során használt

csávázott vetőmagok is. Ezért érdemes olyan termékeket választani, amelyek környezetbarátok és minimalizálják a mikroműanyagok kibocsátását. Rendszeres talajvizsgálatok és ökológiai módszerek alkalmazása a kertgondozás során segíthet csökkenteni a mikroműanyagok mennyiségét és környezeti hatásaikat.

Magyarországon a lakosság több mint 60%-a él családi házban (http1), az ezekhez tartozó kertek kialakítása, művelése, átépítése folyamatos és nagy volumenű hazai kertépítési tevékenységet feltételez. Ennek ellenére a szakirodalomban közelítőleg sem találtam olyan adatokat, amelyek bemutatnák, hogy a kertépítési tevékenységek során az átlagos méretűnek mondható kertekben (230 - 900 m²) milyen mennyiségű műanyag felhasználásával lehet számolni. Olyan hazai adatokat sem találtam, amelyek a kertekben terített zöldhulladék komposztok, talajok, komposzt-talaj keverékek mikroműanyag tartalmával foglalkozott volna.

1.1. Célkitűzés

Diplomadolgozatomban a kertépítés során felhasznált műanyagokra és a keletkező hulladékok kezelési lehetőségeire összpontosítok. Tíz, Budapesten és vonzaskörzetében lévő helyszínen keresztül bemutatom az elmúlt években végzett kertépítési munkám gyakorlatát, ezen belül a különböző projekteken felhasznált műanyagokat. Ezzel az a célom, hogy először közöljek tájékoztató jellegű hazai adatokat a kertépítések során alkalmazott műanyagok fajtáiról és mennyiségéről. Emellett a Főváros zöldhulladékának kezelési tevékenységébe is bepillantást nyújtok a Budapesti Közművek Nonprofit Zrt. FŐKERT Kertészeti Divízió és a BKM FKF Hulladékgazdálkodási Divízió - Pusztazámori Regionális Hulladékkezelő Központ példáján keresztül.

Az Eurofins Kft. budapesti munkatársainak jóvoltából vizsgálhattam a kertépítési tevékenységem során vett zöldhulladék komposzt, talaj és komposzt-talaj keverék mintáimat, annak megállapítására törekedve, hogy milyen mennyiségben és minőségben tartalmaznak mikroműanyagokat.

Diplomamunkámban szeretném igazolni vagy elvetni a szakirodalomból nyert adatok alapján felállított hipotézisemet, miszerint a zöldhulladék komposztok jelentős mikroműanyag mennyiséggel terhelhetik a kertépítésben felhasznált, illetve gondozott talajokat Magyarországon is.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A műanyagok szerepe a mezőgazdaságban

A műanyagok alkalmazása a mezőgazdasági/kertészeti tevékenységben segítette a gazdákat a termelés növelésében, az élelmiszeralapanyagok minőségének javításában, a vízfogyasztás minimalizálásában és az ökológiai lábnyomuk csökkentésében. A műanyagok nemcsak lehetővé teszik, hogy zöltségek és gyümölcsök bármely évszakban megteremjenek, hanem ezek a termékek gyakran jobb minőségűek, mint a szabadban termesztett változataik ([http2](#)).

Ugyanakkor hiányosak az ismereteink a mezőgazdasági/kertészeti tevékenységek által kiváltott, a mikro- és nanoműanyagokhoz köthető, talaj-, víz- és levegőszennyezésről. A különböző műanyagok nagyarányú használata elsősorban a betakarítási munkák után fennmaradó hulladékok miatt fenyegeti a környezeti elemeket. Világszerte a műanyagok globális felhasználása az agrárágazatban 2012-ben körülbelül 4,4 millió tonna volt, ami 2019-ben elérte a 7,4 millió tonnát ([http2](#)).

A nagyméretű műanyagok felhasználása, mozgatása, hulladékká válása a környezet mikroműanyag terhelését okozhatja a kisebb részecskékre aprózódásuk révén. Ezek mikroműanyagokra (legnagyobb méretük <5 mm) és nanoműanyagokra ($<0,1$ μm mérettartomány) oszthatók (Yueling Qi et al., 2020, Wang et al, 2020) szerint a mikroműanyagok ökológiai hatásai már mérhetőek a talaj-ökoszisztémákban, a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaiban, a szárazföldi növények, a talajfauna és a talajmikrobák vonatkozásában.

A műanyagok lebomlása nagyon lassú (akár több száz évben mérhető), miközben számos másodlagos szennyező anyag keletkezhet, ideértve a különféle illékony szerves anyagokat, pl. benzol, xilolok, toluol, etil-benzol, trimetil-benzol izomerek, valamint pl. a hormonháztartást megzavaró BPA-t (biszfenol-A), amelyek a talajvíz szennyeződésének a kockázatát is hordozhatják. Ugyanakkor a BPA elősegíti a hidrogén-szulfid keletkezését, ami a talajokban csökkenti a baktériumok számát, aktivitását (Rhodes, 2018). A mikroműanyagok jelenléte és gyarapodása az élelmiszertermelésre használt talajokban, ráirányítja a figyelmet az agrár használatból származó műanyagmaradványok megfelelő kezelése és ártalmatlanítására, a környezetbe történő beviteli forrásaiknak az azonosítására.

A világszerte növekvő mezőgazdasági műanyaghasználat alátámasztására példaként megemlíteném a portugáliai Alqueva-gát öntözési területét, ami 130 000 ha, ezzel Portugália

egyik legnagyobb öntözött területe, amelyen a különféle alkalmazásokban az évente becsült mezőgazdasági műanyag mennyiség jelenleg 1880 tonna és az öntözött terület növekedésével a következő években elérheti a 3500 tonnát (http3). Összehasonlításként Magyarországon 2021-ben az öntözött területek nagysága 110 506 ha volt, 2022-ben pedig 133 126 ha (http4).

A műanyag a XX. század sláger terméke lett, a praktikus és széleskörű felhasználhatóság (pl. csomagolóanyagként, az építőanyagokban, műszaki cikkekben), a könnyű előállíthatóság, a másodlagos hulladéktermékek feldolgozhatóságának lehetősége miatt. Ugyanakkor a műanyagtermelés és a műanyag hulladékok jelentős problémát jelentenek a környezetünk és a társadalom számára. A műanyagok előállítása fosszilis tüzelőanyagok, például olaj és a földgáz felhasználásával történik, így gyártásuk hozzájárul az üvegházhatású gázok kibocsátásához és a klímaváltozáshoz. Lassú lebomlásuk miatt a műanyag hulladékok hatalmas és növekvő mennyiséget képeznek a természetben, például az óceánokban, erdőkben és a szárazföldön is halmozódnak. Az óceánokban található műanyag hulladékok a tápláléktévesztés miatt különösen jelentős problémát jelentenek és a hullámozás és az UV-sugárzás hatására a műanyagok apró részecskékre, mikroműanyagokra bomlanak, amelyeket az élőlények szintén lenyelhetnek vagy felszívhatnak. Ezek a jelenségek komoly veszélyt jelentenek az óceáni ökoszisztémára és a halak, madarak, delfinek és más tengeri élőlények populációira. Az EU-ban az óceánokba kerülő műanyag hulladék tömegét évi 150 000 és 500 000 tonna közé teszik, a környezetbe jutó mikroműanyagok mennyiségét pedig évi 75 000 és 300 000 tonna becsülik (http3). A műanyag hulladékok kezelése és csökkentése érdekében számos intézkedést hoztak világszerte. Ezek közé tartozik a műanyag csomagolóanyagok korlátozása, a műanyag zacskók adóztatása vagy betiltása, valamint az újrahasznosítás és az alternatív, fenntartható anyagok előnyben részesítése. Fontos szerepet játszanak az egyéni cselekvések is, például a műanyag palackok és zacskók szelektív gyűjtése, a szemét szétválogatása, az újrahasznosítás, az energetikai felhasználás, a körforgásos műanyaggazdaságra való törekvés, valamint a felelős vásárlási szokások kialakítása (http5).

Az innováció és a tudományos kutatás is nagy figyelmet szentel a műanyagok környezetbarátabb alternatíváinak fejlesztésére. Például keresik azokat az új anyagokat, amelyek könnyen lebonthatók vagy biológiailag teljesen lebomlanak a természetben. Emellett olyan technológiák és eljárások kidolgozása is folyamatban van, amelyek lehetővé

teszik a műanyag hulladékok hatékony újrahasznosítását és újrahasznosított műanyag termékek előállítását.

Összességében a műanyag termelése és a műanyag hulladékok kezelése komplex probléma, amely megköveteli a több nézőpontú megközelítést és a társadalmi, gazdasági és technológiai változásokat. A fenntartható anyagokra való áttérés és a hulladékcsökkentés előmozdítása kulcsfontosságú a környezetünk védelme és a jövő generációk életminőségének biztosítása szempontjából.

2.2. Mezőgazdasági célokra felhasznált fontosabb műanyag típusok

A szintetikus műanyagok közé sorolhatjuk az olyan nagy tömegben előállított műanyagokat, mint a polietilén (PE), a polipropilén (PP), a poli(vinil-klorid) (PVC), a polisztirol (PS), és a poli(etilén-tereftalát) (PET). A szintetikus műanyagok közé tartoznak emellett a műszaki műanyagok – poliamid (PA), poliuretán (PU) –, a nagy hőállóságú polimerek, valamint a szekunder műanyagok – poli(vinil-alkohol) (PVAL, PVOH), etilén-vinil-alkohol kopolimer (EVAL). Ezeket az anyagokat az 1. ábrán foglaltam össze. A szintetikus műanyagok közé tartozó anyagokat elsősorban csomagolóanyagként hasznosítják, flakonokat, fóliákat, hordókat, kannákat, tasakokat, zsákokat stb. állítanak elő belőlük (Kerekes, 1996).

Anyag	Rövidítése	Számozás	Példa
Polietilén-tereftalát	PET	1	palackok, kupakok
Nagysűrűségű polietilén	HDPE	2	cserepek, csövek, flakonok
Polivinilklorid	PVC	3	csövek
Kissűrűségű polietilén	LDPE	4	zacskók, fóliák
Polipropilén	PP	5	geotextil
Polisztirol	PS	6	csomagoló anyag, szigetelő

1. ábra Műanyagok számozási és azonosítási rendszere, példákkal

Az uniós tagállamokban felhasznált évi kb. 49 millió tonna műanyag (http3) 3,4%-át veszi igénybe a mezőgazdaság (http5). A mezőgazdaságban sokféle különböző műanyagfajtát alkalmaznak, leggyakrabban a polietiléneket (PE), polipropiléneket (PP), etilén-vinil-acetát kopolimert (EVA)], és ritkábban a polivinil-kloridot (PVC), polikarbonátot (PC) és polimetil-metakrilátot (PMMA) (http2).

Ezek a műanyagok – környezetterhelő hatásaik mellett – innovatív és fenntartható megoldásokat kínálnak a mezőgazdaságban, hozzájárulva a víztakarékossághoz, a hőmérséklet szabályozásához, a növények és termények fokozott termeléséhez, valamint lehetővé téve a termesztést sivatagos területeken is. Ezek a célok, alkalmazások alátámasztják a műanyagok sokoldalú előnyeit a mezőgazdaság területén is ([http2](#)).

2.2.1. A műanyagok fontosabb felhasználási területei a mezőgazdaságban

A fóliákról általában: A hagyományos műanyag fóliák főként polietilén (PE)-alapú műanyagokból készülnek, ezt használja a termelők többsége az elérhetősége, átlátszósága, tartóssága, szilárdsága, rugalmassága és könnyű alkalmazhatósága miatt. Az alapanyagok általában alacsony sűrűségű PE (LDPE), valamint etilén-vinil-acetát (EVA) vagy etilén-butil-akrilát (EBA) kopolimerek a fedőrétegekhez, és lineáris alacsony sűrűségű PE (LLDPE) a mulcsozáshoz, talajtakaráshoz (Espi et al., 2006). Az LDPE fólia önmagában körülbelül 60%-át teszi ki az összes mezőgazdasági műanyag gyártásának, ami körülbelül 502 000 tonnát jelent (APE Europe, 2012).

Üvegházak, fóliasátrak:

Üvegházakhoz és nagy- és kis fóliasátrakhoz használt fóliák a kertészeti kultúrákat védik a különböző évszakok szigorú időjárási viszonyaitól. Az üvegházak intenzív termesztőegységekként szolgálnak a növényeknek, optimális napfény expozícióval és ideális fejlődési körülményekkel. Ezek lehetőséget biztosítanak a gazdáknak a megfelelő környezeti feltételek kialakítására, gyorsabb és biztonságosabb termesztés érdekében, miközben védelmet nyújtanak a szélsőséges hőmérsékletek és az időjárási viszonyok ellen ([http2](#)).

A fóliasátor hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, mint az üvegház, csak kevésbé összetett és alacsonyabb költségvetésű. Általában olyan növények termesztésére használják, mint a spárga, a görögdinnye, eper stb. ([http2](#)).

A mikroklíma paraméterei szabályozhatók az üvegházakban és a nagy vagy kistéliákban (kihasználva a fóliák speciálisan kialakított radiometriai tulajdonságait), hogy magas termelékenységet érjenek el, és eltolják a szokásos termelési időszakot, miközben hatékonyan bevezethető az integrált kártevőkezelés és az ökológiai termesztés. Ezeknek az LDPE-alapú fóliáknak a tulajdonságait általában speciális adalékokkal módosítják. Ezek egyrészt a növény növekedésének, a talaj hőmérsékletének és a vízvesztésnek, a gyomok és a rovarok elleni küzdelem segítéséhez járulnak hozzá, másrészt az ultraviola (UV)

stabilizációhoz, csepegés-/ködfogás elleni tulajdonságokhoz, infravörös (IR) átláthatósághoz, UV- és közeli IR (NIR)- blokkoláshoz, miközben fluoreszkáló és ultratermikus fóliákat is kifejlesztettek (Dilara és Briassoulis, 2000; Espi et al., 2006; Hemming et al. 2006; Kittas et al., 2012; Kumar et al., 2009, hivatkozva Briassoulis et al., 2013).

Mulcsolás műanyag fóliával:

A mulcsolás vagy a talaj lefedése műanyag fóliával (fekete, átlátszó vagy fehér) csökkenti az párolgást, megőrzi a nedvességet, javítja a növény gyökereinek hőmérsékleti körülményeit, megakadályozza a növény talajjal való érintkezését és megakadályozza a gyomok növekedését, amelyek vizet és tápanyagokat vonnak el a termőrétegből ([http2](#)).

Ha a mulcsfóliák nem megfelelően kerülnek begyűjtésre (akár szándékosan, akár véletlenül), a műanyag a talajban marad. A legtöbb mulcsfólia polietilénből (PE) készül, amely kémiaiilag ellenálló és a mikroorganizmusok szintén nem okoznak gondot a szerkezetébe és minőségében, így ezek a mulcsfóliák rendkívül hosszú ideig maradhatnak a környezetben a lebomlásig. Például laboratóriumi kísérletek kimutatták, hogy az LDPE, amelyet talajba temettek, éves szinten csak 0,2%-kal csökkentette a súlyát. Míg a polietilén teljes lebomlásához becsült 300 év szükséges a talajban.

A talajban hagyott mulcsfólia idővel apró darabokra eshet szét, különféle méretű műanyagmaradványokat képezve. A mulcsfóliák ismétlődő éveken át történő helytelen gyűjtése ezért nagy valószínűséggel vezet a műanyagmaradványok (beleértve a mikroműanyagokat is) felhalmozódásához a talajban ([http6](#)).

Talajban lebomló mulcsozási fóliák:

A talajban lebomló bioalapú mulcsozási fóliák fejlesztése új kihívást jelentő kutatási területet képvisel, amely vonzó piachoz kapcsolódik (Martin-Closas és Pelacho, 2011). A hagyományos polietilén mulcsozási fólia utólagos visszanyerésének nehézsége miatt lebomló fóliákat fejlesztettek ki és hoztak forgalomba. Ezek olyan fóliák (általában bioalapú anyagokból készültek), amelyek használatuk után eltemethetők a talajban a növényi maradványokkal együtt és mikroorganizmusok által feldolgozhatók. A kritériumok szerint a lebomlásnak nem szabad toxikus anyagokat vagy más nem kívánatos melléktermékeket hagynia a talajban és elég gyorsnak kell lennie annak érdekében, hogy ne halmozódjon fel a műanyag az egymást követő termesztési időszakok alatt. A biodegradáció vagy biotikus lebomlás olyan anyagok (például polimerek) kémiai lebomlása, amelyet a természetes mikroorganizmusok, mint a baktériumok, gombák és algák, hatására következnek be (Gross

és Kalra, 2002; Kyrikou és Briassoulis, 2007; Nayak, 1999 hivatkozva Briassoulis et al., 2013). Ahogy a biodegradáció halad, széndioxidot és/vagy metánt, valamint vizet, ásványi anyagokat és új biomasszát termel, ha oxigén jelen van, akkor az aerob biotikus lebomlás következik be, és széndioxid és víz keletkezik. Elérhető oxigén hiányában (általában sokkal lassúbb) anaerob biotikus lebomlás következik be, és széndioxid helyett metán keletkezik. Bizonyos körülmények között mindkét gáz keletkezése megfigyelhető. A műanyagok „lebomlásának” függvénye a nyersanyagoktól, a végső termék kémiai összetételétől és szerkezetétől, valamint attól a környezettől függ, ahol a terméktől a lebomlást várják (Leja et al., 2010).

Pro-oxidánsokkal dúsított fóliák:

A különleges pro-oxidánsokat tartalmazó polietilén fóliákat kereskedelmi bomló jellegűekként hozzák forgalomba különféle alkalmazásokra (beleértve a bomló mulcsozási fóliákat is). Ezek a fóliák nagyon kis darabokra esnek szét napfény (UV) és/vagy hő hatására. Ezek a műanyagok nem felelnek meg a biodegradabilitás specifikációinak semmilyen standard biodegradációs teszt során, miközben nyitott kérdések vannak a maradványok sorsával és a mezőgazdasági talaj esetleges visszafordíthatatlan szennyeződésével kapcsolatban (Briassoulis és Dejean, 2010; Grima et al., 2001, Kyrikou és Briassoulis, 2007 hivatkozva Briassoulis et al., 2013). Az Európai Unió döntött, az egyszer használatos termékek mellett az oxo-műanyagokat sem lehet forgalomba hozni 2021-től (<http5>).

Mezőgazdasági hálók:

Az utóbbi évtizedekben bevezették a különböző rendeltetésű, lyukbőségű, színű, hálók használatát a mezőgazdaságban, pl. védő termesztési takaróként és más alkalmazásokra, így árnyékoló, belátásgátló, bálázó, rakománytakaró funkciókkal. Az agrár műanyag hálók ipari termelése Európában folyamatosan bővül. Például Olaszországban évente több mint 5300 tonna, nagy sűrűségű PE (HDPE) alapú hálót állítanak elő mezőgazdasági alkalmazásokra. Műanyag hálók (Raschel) széles körben használatosak, például a gyümölcstermesztésben, valamint a jég, a madarak és a rovarok elleni védelemben, így az üvegházak szellőztetési nyílásainál és árnyékolóként az üvegház tetején. Az utóbbi években a hálókot használják kötözésre is a hagyományos kötelek helyett. A háló típusait különböző szerkezeti jellemzők jellemzik, mint például az anyag típusa, a szálak típusa és mérete, a textúra, a hálózem mérete, a porozitás/sűrűség és a súly; a tulajdonságok, mint például a szín, az áteresztőképesség/visszaverődés/árnyékolási tényező; fizikai

tulajdonságok, mint például a levegőáteresztő képesség és számos mechanikai jellemző, például a húzófeszültség, az erő, a nyúlás és a tartósság (Castellano et al., 2008).

Az agrár hálók nemcsak a termelés növekedéséhez járulnak hozzá, hanem pozitív hatással vannak a termékek minőségére is, mivel enyhén mérséklik a háló alatti mikroklímát. A hálók segítségével a szokásos termelési időszakot is ki lehet bővíteni, így a pl. a korai piaci megjelenéssel plusz bevételre lehet szert tenni, egyenletesebben lehet elosztani a friss, magas minőségű termékek rendelkezésre állását. A hálókat emellett az időjárás káros hatásai ellen is használják, mint például az eső, jégeső, erős napfény ellen (Castellano et al., 2008).

Öntözési rendszerek:

A műanyag tartályokból és csővezetékekből kialakított öntözési rendszerek jelentősen javítják a talajok minőségét és vízgazdálkodását. A víz műanyagtárolókban van, vagy épített ciszternákban. Csővezetékeken keresztül jut el az öntözni kívánt területre. A csővezetékek megakadályozzák a szivárgást és csak a kijelölt helyre jut el az öntözővíz. A csővezetékek, egy fő gerincből áll, ami mellékágakon, csepegtető öntözés révén jut ez a növényhez. Ezt egy szivattyú berendezés és nyomáskapcsoló szabályozza a megfelelő víz mennyiségét ([http2](#)).

Az öntözőrendszer általában segítik a növények termesztését száraz területeken és az elégtelen csapadék időszakaiban. A csepegtető öntözési csövek olyan csővezetékekből állnak, amelyeket kifejezetten úgy terveztek, hogy lassú ütemben vezessék a kis mennyiségben adagolt vizet, pontosan a növények gyökérzónájába. Így a nedvességszint optimális marad, javítva a termelékenységet és a minőséget. A legtöbb használatban lévő öntözőrendszerben ma műanyag csövek, nyomócsövek, amelyeket HDPE-ből és közepes sűrűségű PE-ből, PVC-ből vagy keresztkött PE-ből készítenek, mivel ezek könnyen telepíthetők és ellenállnak a környezeti hatásoknak (Briassoulis et al., 2013).

Műtrágya és más agrokémiai termékek csomagolóanyagai

A műtrágyákat széles körben használják tápanyagpótlásra. Ezeket az anyagokat vagy a talajba (a növény gyökerei általi felvételre) vagy lombtrágyázással (a leveleken keresztül történő felvételre) alkalmazzák. Ezeket a szilárd termésfokozó anyagokat speciális műtrágya zsákokba csomagolják, amelyek általában LDPE-ből, HDPE-ből vagy polipropilénből (PP) készülnek (Briassoulis et al., 2013).

Műanyagok egyéb célú alkalmazása a mezőgazdaságban:

Egyéb műanyag alkalmazások közé tartoznak pl. a gyűjtéshez, kezeléshez és szállításhoz, tároláshoz használt ládák, dobozok, az öntözési rendszerekhez tartozó alkatrészek, mint a csatlakozók és permetezők, a szalagok és kötözőanyagok, amelyek segítik a növények levegőben lévő/függő részeit, rögzítését az üvegházakban, ilyen az uborkatermesztésnél a háló használata vagy paprika termesztésnél a kötözőanyag függőlegesen kihúzása, de ide tartoznak a munkavédelmi eszközök pl. kesztyűk, vízhatlan ruházatok ([http2](#)).

Európai intézkedések a műanyag hulladék kezelésére:

Az elmúlt évtizedekben a műanyagok termelése ugrásszerűen megnőtt, az 1950-es években még csak 1,5 millió tonna volt világszerte, de 2018-ra ez a szám már 359 millió tonnára emelkedett. Ennek következtében pedig a műanyag hulladék mennyisége is jelentősen megnőtt. Bár a Covid-19 járvány miatt 2020 első felében a műanyaggyártás hirtelen visszaesett, az év második felére újra növekedésnek indult. Az Európai Unió számos intézkedést hozott a műanyag hulladék csökkentése érdekében, azonban ennek ellenére is jelentős mennyiségű hulladék keletkezik. Az EU-ban az energetikai hasznosítás a legelterjedtebb módja a műanyag hulladék kezelésének, de ezt követi az újrahasznosítás. Azonban még mindig mintegy 25%-a a hulladéknak a szeméttelpekre kerül ([http7](#)).

Az újrahasznosított műanyag hulladék mintegy felét az EU-n kívüli országokba exportálják, mivel az EU-n belül kevés az erre alkalmas infrastruktúra és technológia. 2020-ban az EU-n kívüli országokba irányuló hulladékexport elérte a 32,7 millió tonnát. Többek között vas-, színesfém-, papír-, műanyag-, textil- és üveghulladékot exportálnak, főként Törökországba, Indiába és Egyiptomba. Korábban a hulladék jelentős részét Kínába exportálták, de a kínai korlátozások várhatóan csökkentik az EU exportját. Ez növeli az EU-ban történő hulladékégetés és szeméttelrakás kockázatát. Az EU olyan körkörös és környezetbarát megoldásokat keres, amelyek segítségével hatékonyabban kezelhető a műanyag hulladék. Az alacsony újrahasznosítási arány nemcsak gazdasági problémákat okoz, hanem jelentős környezeti károkat is. Például a műanyag csomagolások körülbelül 95%-át egyszer használjuk csak el. 2019-ben a műanyag előállítása és elégetése több mint 850 millió tonna üvegházhatású gázt bocsátott ki a légkörbe. Ezeket a kibocsátásokat 2050-re 2,8 milliárd tonnára becsülik, ami hatékonyabb újrahasznosítással csökkenthető lenne. A műanyagok újrahasznosítását nehezíti az újrahasznosított termékek minősége és ára, valamint a magas költségek. Ezért csak a műanyagok mintegy 6%-át használják újra. Az EU

új szabályokat fogadott el a tengeri műanyag hulladék csökkentése érdekében. Céljuk, hogy 2025-re a műanyag palackok 25%-a, 2030-ra pedig 30%-a legyen újrahasznosított anyag. Emellett 2021-től betiltják az EU-ban a 10 leggyakoribb egyszer használatos műanyag termék gyártását. A Bizottság 2022-ben új, az egész EU-ra kiterjedő csomagolási szabályokat javasolt, amelyek közé tartozik az egyértelmű címkézés, az újrafelhasználás és az újrahasznosítás ösztönzése, valamint a bioalapú, biológiailag lebomló és komposztálható műanyagok használatának ösztönzése. Az EU célja, hogy 2030-ig a műanyag csomagolási hulladék 55%-át újrahasznosítsák. Ehhez további lépésekre van szükség, például a másodlagos műanyagok minőségének javítására, kötelező érvényű szabályok bevezetésére és az újrahasznosított termékek adóterheinek csökkentésére. Az Európai Parlament olyan intézkedéseket is elfogadott, mint például a nejlonzacsók használatának korlátozása és a mikroműanyagok elleni fellépés. A hulladékszállítási szabályokkal kapcsolatban 2023 januárjában elfogadott álláspontjukban ragaszkodnak ahhoz, hogy ne exportálják a műanyag hulladékot nem OECD-országokba, és az OECD-országokba történő exportot is fokozatosan csökkenteni kell ([http7](http://7)).

2.3. Mikroműanyagok keletkezése és veszélyeik

A mikroműanyagok keletkezése

A környezetbe kerülő műanyagok fizikai és kémiai változásokon mennek keresztül (Ainali et al. 2021). A műanyag egy rendkívül sokoldalú anyag, melyet viszonylag költséghatékonyan lehet előállítani. Az 1900-as évek közepétől kezdve globálisan tömegesen gyártják, évente több mint 300 millió tonna műanyag kerül a piacra. Ennek eredményeként mintegy 8 millió tonna műanyag szennyezi az óceánokat (MTA ÖKVK Csoportja, 2018). Az öt milliméternél kisebb műanyagrészeszkéket mikroműanyagoknak nevezzük, és ezek megtalálhatók a levegőben, tengerekben, felszíni vizekben, talajban, valamint a csapvízben is. Az élelmiszerekben is egyre több kutatás igazolja a mikroműanyagok jelenlétét (Parrag, 2021).

A mikroműanyagok két fő csoportra oszthatók eredetük alapján: az elsődleges mikroműanyagokat már a gyártás során kisméretűvé alakítják (például kozmetikumok alkotórészei), míg a másodlagos mikroműanyagok a használat során képződnek, például a műanyag tárgyak szétesése, avagy az autógumik kopása révén.

A műanyagoknak számos változatával találkozunk a mindennapi életben. A legismertebb műanyagok között szerepel például az 1838-ban Victor Regnault által először előállított

polivinil-klorid (PVC). Ennek gyártását 1930-as évek végén kezdték meg. A polisztirol (PS) 1930-ban került be a köztudatba és leginkább az építészet, valamint csomagolóüzemek használják 1954-től. Reginald Gibson és Eric Fawcett kutatók 1933-ban találták fel a polietilént (PE), míg 1942-ben jött létre a polietilén-tereftalát (PET). Az 1954-ben létrehozott polipropilén (PP) is jelentős ipari felhasználású műanyag (Kutasi, 2020). A mikroműanyagok előfordulásával foglalkozó kutatók, mint például Bordós Gábor és Reiber Jens, részletesen összegyűjtötték a világon leggyakrabban előforduló mikroműanyag típusokat és azok mátrixait (Bordós és Reiber, 2016).

2.3.1. A mikroműanyagok jelenléte az ökoszisztémában

Mikroműanyagok a tengervízben

A mikroműanyagok jelenléte főként az óceánokban és tengerekben vált szembetűnővé, már az 1970-es években (Kutasi, 2020). A kereskedelmi célú halászhajó flották már az 1970-es évektől kezdve súlyosan szennyezték a tengervizet, körülbelül 23 ezer tonna műanyag hulladékot, például elveszett vagy elszakadt hálókat juttatva a tengerekbe és óceánokba. Az 1990-es évek elejére ez a hulladékszennyezés már elérte a 6,5 millió tonnát (Kutasi, 2020). A kikerült műanyagok nagy része nem bomlik le, hanem kisebb, szilárd részecskékre kopik, esik szét, és ezek a mikroműanyagok felhalmozódnak a tengerekben és óceánokban, kihívást jelentve az ott élő fajoknak. A tengeri állatokra gyakorolt hatások sokszínűek; például a műanyag nem csak elfogyasztható, hanem az állat testére tekeredve akár halálos is lehet. Emellett a műanyagok a táplálékláncba is bekerülhetnek, és a hagyományos műanyaggyártás során használt kémiai adalékanyagok rákkeltő vagy egyéb toxikus hatást fejthetnek ki az élőlényekre (Bordós és Reiber, 2016).

Az óceánokban található mikroműanyagok apró részecskéi le is ülepedhetnek a tengerfenékre, ahol az ott élő szervezetek táplálékává válhatnak. Kutatások kimutatták, hogy a mikroműanyagok felületén lerakódó szennyeződések komoly problémát okozhatnak, amikor a kagylók, halak és madarak ezen szennyező anyagokkal együtt fogyasztják el őket. Az így fertőzött táplálék gyulladást okoz az élőlények szervezetében, ami emésztési problémákhoz vezet. Ezt a káros hatást megfigyelték a tengeri gerinces és gerinctelen állatoknál egyaránt (Kashwida, 2006). Például, egy kísérlet során a nagy vízi bolha (*Daphnia magna*) nőtényét etették mikroműanyagokkal. Az eredmények azt mutatják, hogy a műanyag szemcsék még a harmadik nemzedékben is jelen voltak, nem bomlottak le (Svigruga et al., 2019.)

A mikroműanyagok jelen vannak sok olyan fajban, melyeket az emberi fogyasztásra szánnak, ideértve a gerincteleneket, rákokat és halakat is. A műanyagrészeszkék gyakran koncentrálnak az élőlények emésztőrendszerében, így a kagylók és az egészben elfogyasztott kisebb halak nagyobb valószínűséggel teszik ki a mikroműanyagokat az emberi étrendnek. Például a tenyésztett kagylók sokkal magasabb mikroműanyag-koncentrációval rendelkeztek (178 mikroszál), mint a vadon élő kagylók (126 mikroszál). Emellett azonosították a mikroműanyagok jelenlétét (> 500 µm) kereskedelmi forgalomban kapható, vadon fogott halakban Indonéziában (a feldolgozott halak 28%-ában találtak mikroműanyagot), és USA, Kaliforniában (a kereskedelmi forgalomban lévő halak 25%-ában találtak mikroműanyagot). Harminc közönségesen fogyasztott szárított hal fajból négyben azonosítottak műanyag polimereknek. A mikroműanyag-részecskék átvitele az emésztőrendszerből a májba igazolt a pl. zebraadánió, a tengeri süllő és a parti géb esetében. Ezek a tanulmányok együttesen alátámasztják a mikroműanyagok táplálékláncban való halmozódási lehetőségét (Smith et al., 2018).

Mikroműanyagok a talajban és komposztban

Svájci kutatók 28 védett ártéri terület talaját vizsgálták meg. Az 5 cm mélyről származó minták alapján megállapították, hogy mintegy 600 db/kg, illetve 55,5 mg/kg mikroműanyag részecske (PE, PS, PVC, szintetikus gumi-SBR) volt jelen a talajban (Scheurer és Bigalke., 2018). Defu He és munkatársai által összegyűjtött további adatok szerint ipari talajokban 300 - 67 500 mg/kg (80%-ban PVC, ezen felül PE, PS); tengerparti talajokban 1,3 - 14 712 db/kg (PE, PS, szintetikus gumi-SBR, PVC); erdősített talajokban 7 100-42 000 db/kg (polimer specifikáció nélkül), termőföldön pedig 62,5 - 78 db/kg (PE, PP, PES) (Defu He et al., 2018).

A talajban megtalálható mikroműanyag részecskék a trofikus (táplálkozási) szinteken halmozódhatnak: míg a talajban a mikroműanyag koncentráció 0,9 db/g, addig a földi gilisztákban 14 db/g, a csirke ürülékben 129 db/g volt (Lwanga et al., 2017).

Települési szilárd hulladékok komposztálható szerves anyagait vizsgálva öt különböző begyűjtési rendszer és komposztáló telep vonatkozásában spanyol kutatók úgy találták, hogy a zöldhulladékból készült komposztok 8 - 20 db/g szárazanyag mikroműanyagot (1 mm alatt) tartalmaztak és a domináns polimerek (94%) a polietilén, a polisztirol, a poliészter, a polipropilén, a PVC és az akril voltak. Azokban a komposztokban, amelyeknél a zöldhulladék begyűjtését házhoz menő módon végezték alacsonyabb tartományba esett a mikroműanyagok száma (8-12 db/ szárazanyag g). Az is kiderült, hogy a minták egyikében

sem találtak komposztálható bioműanyagból származó részecskéket, ami azt jelentheti, hogy megfelelő komposztálás esetén ezek felhasználása nem járul hozzá az ilyenfajta antropogén szennyezés terjedéséhez. Eredményeik azt erősítették meg, hogy a komposztálható polimerek használata és a háztól házig gyűjtő rendszerek bevezetése csökkentheti a műanyag szennyeződések koncentrációját a zöldhulladék eredetű komposztokban (Edo et al., 2022).

Német kutatók nyolc különböző zöldhulladék komposztban vizsgálva 12- 46 db/kg mikroműanyag részecskét találtak, ami 0,05-1,36 g/kg számított tömegnek felelt meg. Mivel a német gyakorlat szerint 7-35 t komposzt jut a mezőgazdasági területekre hektáronként, így évente kb. 84 000 -1 610 000 db /ha mikroműanyag részecske kerül a talajokba, ami 0,34-47,53 kg tömeget tesz ki. Kertészeti talajokra 6,48-19,44 t/ha a kiadagolt komposzt mennyisége, ami minimálisan évi 77 700 db/ha, illetve 0,31 kg/ha, maximálisan 894 000 db/ha, illetve 26,4 kg/ha mikroműanyag kijutását eredményezi. A szerzők eredményeik alapján megállapítják, hogy a komposzt alkalmazását potenciális műanyag szennyezőforrásnak kell tekinteni mind a mezőgazdasági, mind a kertészeti talajok esetében, és műszaki megoldásokra van szükség e szennyeződési kockázatok minimalizálására, mivel a komposztra szükség van a talaj egészségének megőrzése szempontjából (Braun et al., 2021).

A műanyagok a talajba kerülhetnek mezőgazdasági tevékenységek során, például hideg és a gyomok elleni védekezés alatt, vagy a víz megőrzése érdekében alkalmazott talajfóliázás esetén, a levegőből kiülepedéssel, öntöző vízzel, szerves trágyával, komposzttal, műtrágyával, szennyvíziszappal. Német biológusok növénytermesztési kísérletekkel vizsgálták a mikroműanyaggal szennyezett vízzel öntözött növények hatásait a talajban, azt tapasztalták, hogy minél nagyobb az öntözött vízben lévő vagy a talajban a mikroműanyag tartalom, a növekedést abban a mértékben gátolja (Rilling és Lehmann, 2020).

A mikroműanyagok, mint például a műanyag fóliák és szálak, megváltoztathatják a víz áramlását a talajban, beleértve a párolgást is. Ezáltal kialakulhatnak az ökoszisztémára gyakorolt hatások, például a víz dinamikája és az energiaegyensúly változásai, amelyek közvetetten vagy közvetlenül befolyásolhatják a növényeket. A mikroműanyagok koncentrációja negatív hatással lehet az arbuszkuláris mikorrhiza szimbiózisra, ami fontos szerepet játszik mind a növény növekedésében, mind a tápanyagfelvételben (Rilling és Lehmann, 2020).

A mikroműanyagok lerakódása és felhalmozódása a talajban megváltoztatja a talaj sűrűségét, tömegét, vízmegkötő képességét, valamint a bakteriális és gombás lebontó

képességét. A mikroműanyagok megváltoztathatják a növény gyökerénél a szén megkötődését, a nitrogén metabolizmust, így befolyásolva a légköri széndioxid és a levegőben található más üvegházhatású gázok mennyiségét, valamint a talaj szerkezetét és sűrűségét. A mikroműanyagok hatnak a talaj-növény közötti folyamatokra, beleértve a foszfor körforgását, a denitrifikációt és a vízben található anyagok koncentrációját. A megváltozott légköri széndioxid és a talajban található mikroműanyag befolyásolja a gyökér biomassa tömegét és a termelhető növény mennyiséget. A mikroműanyagok egyéb közvetett hatásai valószínűleg a részecske alakjától és méretétől is függenek. A talaj aggregátumai meghatározzák a pórustér alakulását a talajban, amely befolyásolja a gázok és víz mozgását, valamint a szemcsékhez kapcsolódó mikrobiota mennyiségi és minőségi összetételét, aktivitását. A mikroműanyagok további közvetett hatása az alacsonyabb térfogattömeg lehet, ami befolyásolhatja a növények növekedését, mivel a gyökerek kevesebb ellenállással találkoznak a fejlődésük során (Rilling és Lehmann, 2020).

Mikroműanyagok felszíni vízfolyásokban

Németországban, a Rajna 11 különböző mintavételi pontján elemzést végeztek a folyó mikroműanyag tartalmáról, ami kiterjedt a 300 µm és 5 mm közötti mérettartományára. Valamennyi mintavételi helyen kimutatták a mikroműanyagok jelenlétét a folyóban. A legmagasabb koncentrációt (15-20 részecske/m³) a Ruhr-vidék iparosodott területén észlelték (Mani et al., 2015). Az ásványvizes palackok, amelyek műanyagból készülnek és a mindennapos használatban jelen vannak, szintén hordoznak mikroműanyagokat, azok mennyisége egy friss tanulmány szerint akár elérheti a literenkénti 110.000 részecskét is. Ebből a mennyiségből 90%-a nanoműanyag a fennmaradó 10%-a pedig mikroműanyag. (http8).

A Duna mikroműanyag tartalmát Magyarországon a Wessling Hungary Kft. független laboratórium kutatói vizsgálták. Az eredmények alapján megállapították, hogy a Duna mikroműanyag tartalmát főleg polietilén és polipropilén alkotja. A vizsgálatok során kimutatták, hogy az elmúlt években a Duna szennyezettsége háromszorosára emelkedett, elérve a 147 részecske/m³ értéket (http9).

Mikroműanyagok a vezetékes vízhálózatban

A Wessling Hungary Kft. két budapesti iskolában végzett vizsgálata rávilágított arra, hogy a dunai parti szűréssel tisztított budapesti csapvíz mikroműanyag tartalma kevesebb,

mint a palackozott vizekben. A mintavétel során összesen 1500 liter vizet szűrtek meg, majd FT-IR mikroszkóppal vizsgálták. A budapesti ivóvizek összesen 7 és 10 mikroműanyag darabot tartalmaztak, a vizsgált 1500 literben, ami elenyésző mennyiség az előbb említett dunai vizsgálattal szemben ([http3](#)).

Az ivóvíz mikroműanyag tartalma valószínűleg kis mértékben származik a parti szűréssel tisztított Dunából, inkább az feltételezhető, hogy az ivóvíztisztításhoz használt technológiákból, víztározókból vagy a hálózatokban használt műanyag csővezetékekből származnak. További kutatásokra van szükség ahhoz, hogy pontosabban meghatározzuk a mikroműanyag szennyező forrását. Bár a literre vonatkoztatott ivóvíz mikroműanyag tartalom alacsony, még így is potenciális aggodalomra és egészségügyi kockázatra utal. Világszerte különböző élelmiszervizsgálatok kimutatták a mikroműanyagok jelenlétét palackozott sörökben, ásványvizekben, sóban, mézben és tengeri halakban. Az Incshon Nemzeti Egyetem és a Greenpeace Kelet-Ázsia kutatói 21 országból származó 39 ismert sómárkában találtak műanyag szemcséket, a tengeri sókban pedig a legmagasabb műanyag szennyeződést figyelték meg (Európai Bizottság, 2018). Ami kg-ként 600 darab részecskét jelent ([http10](#)).

A bécsi Orvostudományi Egyetem és az Osztrák Környezetvédelmi Hivatal kutatói kimutatták, hogy az emberi széklet is tartalmazhat műanyagdarabkákat. Az általuk végzett kutatásban a világ különböző országaiban élő emberek székleteit vizsgálva tíz különböző műanyag típust azonosítottak, és az átlagosan 10 gramm székletben 20 részecskét találtak. (Cox D. et al., 2019).

Mikroműanyagok az emberi szervezetben

A tengeri állatoknál felfedezett mikroműanyagok képesek elzárni az állatok emésztőrendszerét, károsítani a tápcsatorna különböző részeinek felületét, ezzel gátolva a tápanyag felszívódását. Wright és munkatársai (Wright et al., 2013) kutatása kimutatta, hogy a mikroműanyagok hatással vannak a hormonháztartásra, beleértve a szaporodást és a növekedést is (Schwabl et al., 2019). Ezek a hatásoknak az alapján arra lehet következtetni, hogy az emberi szervezetben a műanyagok főként a bélrendszerben halmozódnak fel, ami súlyos egészségügyi kockázatokkal járhat, különösen azoknál az embereknél, akik valamilyen bélrendszeri betegségben szenvednek (Parrag, 2021).

A mikroműanyagok mindenhol jelen vannak az ökoszisztémákban, mégis az emberek számára jelentett expozíciós kockázat még megoldatlan. Az amerikai étrendre

összpontosítva értékeltük a mikroműanyag-részecskék számát a gyakran fogyasztott élelmiszerekben az ajánlott napi bevitelhez viszonyítva. Vizsgáltuk továbbá a mikroműanyagok belélegzésének potenciálját, valamint azt, hogy hogyan befolyásolhatja a ivóvíz forrása a mikroműanyag-fogyasztást. Elemzésünkhöz 26 tanulmány 402 adatpontját használtuk fel, ami több mint 3600 feldolgozott mintát képvisel. Az amerikai kalóriabevitel kb. 15%-át értékelve becsléseink szerint az éves mikroműanyag-fogyasztás 39 000 és 52 000 részecske között változik az életkor és a nem függvényében. Ezek a becslések 74 000 és 121 000-re növekednek, ha figyelembe vesszük a belélegzést is. Továbbá azok az egyének, akik csak palackozott forrásból fedezik vízszükségletüket, évente további 90 000 mikroműanyagot fogyaszthatnak, szemben azokkal, akik csak csapvízből fogyasztanak, és 4000 mikroműanyagot fogyasztanak. Ezek a becslések nagy mértékű változékonyságnak vannak kitéve; azonban a módszertani és adatkorlátok miatt valószínűleg ezek az értékek alulbecsültnek tekinthetők (Cox et al. 2019).

A mikroműanyagok káros hatásait fizikai, kémiai és biológiai módon is kifejtetik. A különböző méretű és alakú részecskék közvetlenül irritálhatják az emésztőrendszert és a légzőszerveket, fizikai gyulladást okozva ezen területeken. Emellett a műanyag részecskékből kémiai anyagok is felszabadulhatnak és bekerülhetnek a szervezetbe, például monomerek (például akrilamid) vagy adalékanyagok (például biszfenol-A, kadmium). Fontos megjegyezni, hogy nemcsak a gyártás során bejutó vegyületek jelenthetnek problémát, hanem a műanyagok felületén is megtelepedhetnek káros anyagok (például poliklórozott-bifenilek, poliaromás szénhidrogének, peszticidek), amelyek később leoldódhatnak, amikor a részecskék a szervezetbe, a tápcsatornába vagy a tüdőbe kerülnek. Ezenkívül a mikroműanyagok felületén patogén mikroorganizmusok is megtapadhatnak, amelyek közvetve hozzájárulhatnak különféle megbetegedések kialakulásához (Izsák és Vargha, 2020).

A polipropilén (PP), mint az egyik leggyakrabban használt műanyag, egy olyan polimer, amely hő hatására lágyul. Ebből az anyagból készülnek a műanyag kávéspoharak az italautomatákhoz, poharak, cumisüvegek. A polipropilén termékek forró folyadékkal való érintkezéskor mikroműanyag részecskéket oldanak bele az italokba és ételekbe (Parrag, 2021).

Mikroműanyagok a szennyvíztisztítóban

Egy hazai kutatás során egy a magyarországi nagyváros szennyvíztelepén vizsgálták a tisztítási technológiák különböző lépéseinek hatását mikroműanyagok számának

alakulására. A technológiai sor első lépése a mechanikai szűrés, egy 5 mm-es rácsszűrő, levegőztetett homokfogó, hosszanti átfolyású előülepítő, melynek kapacitása 80 000 m³/nap. A második lépésben két párhuzamosan üzemelő, eleveniszapos biológiai medence működik, szervesanyag lebontó kapacitása 60 000 m³/nap. A harmadik tisztítási fázisban a nitrogén-foszfor eltávolítás történik, 40 000 m³/nap kapacitással. A foszfor eltávolítása biológiai úton zajlik (Parrag, 2021).

A rendszerben vett minták vizsgálatai alapján kimutatták, hogy a nyers szennyvízben található mikroműanyag 12%-a bekerül a tisztított elfolyó szennyvízbe, míg 88%-a a szennyvíziszapba (Wright et al., 2013). A szakértők szerint a tengeri műanyag hulladék 80%-a szárazföldről származik és a szennyvíztisztító telepeken keresztül jut ki a természetbe a mikroműanyag szennyezés egy része (Európai Bizottság, 2013). A szennyvíztisztító telepekre gyakran nagy mennyiségben érkező mikroműanyagoknak egy része áthalad a tisztítási ciklusokon, így végeredményben megjelenik a felszíni víztestben. A mikroműanyagok koncentrációja a nyers szennyvízben 1 és 10 044 részecske/L között változik, a tisztított szennyvízben pedig 0 - 447 részecske/L tartományba tehető. Leggyakrabban PE, PP, PET és PA van jelen a szennyvízben ([http11](http://11)).

Ugyanakkor a szennyvizek esetében a vízszennyező anyagok kibocsátására vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk szabályairól szóló 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet és a szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználását szabályozó 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet egyike sem tartalmaz mennyiségi korlátozásokat a mikroműanyagokra vonatkozóan [(28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet és 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet)].

A csökkentett mikroműanyag-bejutás érdekében Huerta-Fonte és munkatársai tanulmányában (Huerta et al., 2011), valamint Boleda és kutatócsoportja 2011-ben (Boleda et al., 2011) különböző eljárásokat vizsgáltak a mikroszennyező anyagok hatékony eltávolítására. Egy hazai egyetemi kutatás 2019-ben a szennyvíztisztítás során a mikroműanyagok hatékonyabb eltávolítására irányuló különböző technikákat elemezte. Az élővízbe való mikroműanyag-bejutás megakadályozása érdekében különböző szűrőtechnológiákat alkalmaznak, például kavics-, homok- és membránszűrőket. A kavics- és homokszűrők hatékonyak lehetnek magas lebegőanyag-tartalmú vizek szűrésére, míg a membránszűrők célzott komponensek és méretű anyagok szűrésére szolgálnak (Parrag, 2019).

A különböző vizsgált technológiák közül, mint például a membránbioreaktor, korongszűrő, homokszűrő, oldott levegős flotálás (DAF), a membránbioreaktor bizonyult a

legkifinomultabbnak a mikroműanyagok eltávolítása szempontjából, 99,9%-os eltávolítási hatékonysággal (Talvitie et al., 2019).

Mikroműanyagok a levegőben

A légköri mikroműanyag ülepedését vizsgálták Párizs területén, egy sűrűn lakott belvárosi területen, valamint egy ritkábban lakott külvárosi térségben. Az elemzések során megfigyelték, hogy a kiülepedett részecskék túlnyomó többsége műanyag szál volt, és ezeknek közel 30%-a erősített műanyagból készült. A szálak átmérője változatos volt, a leggyakoribb méret 7-15 µm között mozgott, míg a szálak hossza 100-500 µm terjedt, ami a minták 25%-át tette ki. A kutatók azt állapították meg, hogy akár 355 mikroműanyag részecske is kiülepedhet a levegőből naponta és négyzetméterenként (Dris et al., 2016).

Az emberi populáció sűrűségével együtt járó mikroműanyag előfordulás jelentősen különbözött a városközpontok és a peremterületek között. Az emberek ki vannak téve elsősorban a mikroszálak műanyagoknak, melyeket az emberek belélegezhetnek, a levegőből ülepedve, vagy az eső által kimosódva a termőföldekre, illetve a később elfogyasztott gyümölcsökre és zöldségekre kerülhetnek. Ezáltal lehetséges, hogy az ilyen módon bekerülő mikroműanyagok az elfogyasztott élelmiszerek révén az emberi táplálkozás részévé válnak, különösen azokon a területeken, ahol az esővizet ivóvízként is használják (Parrag, 2021).

2.4. Szelektív hulladék gyűjtés az agráriumban

A műanyag mulcsok használata mezőgazdasági rendszerekben számos komoly problémát vet fel. Például aggodalmak merülnek fel a polietilén esetében annak fosszilis tüzelőanyagokra való támaszkodása miatt a gyártás során, a következő hulladékprobléma miatt, valamint a hagyományos eltávolítási eljárások következtében a környezetbe kerülő veszélyes vegyi anyagok kibocsátása miatt. A polietilén (PE) mulcsfóliák élettartama általában egy termesztési szezon, mielőtt eldobásra kerülnének (Xiong et al., 2023).

A környezeti kockázatok miatt, amelyek a műanyag fóliák felhalmozódásával járnak a környezetben, különösen a mezőgazdasági rendszerekben, azokat gyűjteni és újrahasznosító cégeken keresztül kellene megsemmisíteni. Azonban az használt PE takarófólia újrahasznosításának lehetőségei korlátozottak. Kérdések merültek fel a közönséges mezőgazdasági gyakorlatokkal kapcsolatban, mint például a műanyag vízcsövek, üvegházak és mulcs eldobása. Világszerte a műanyag hulladék mindössze 9%-a lett újrahasznosítva

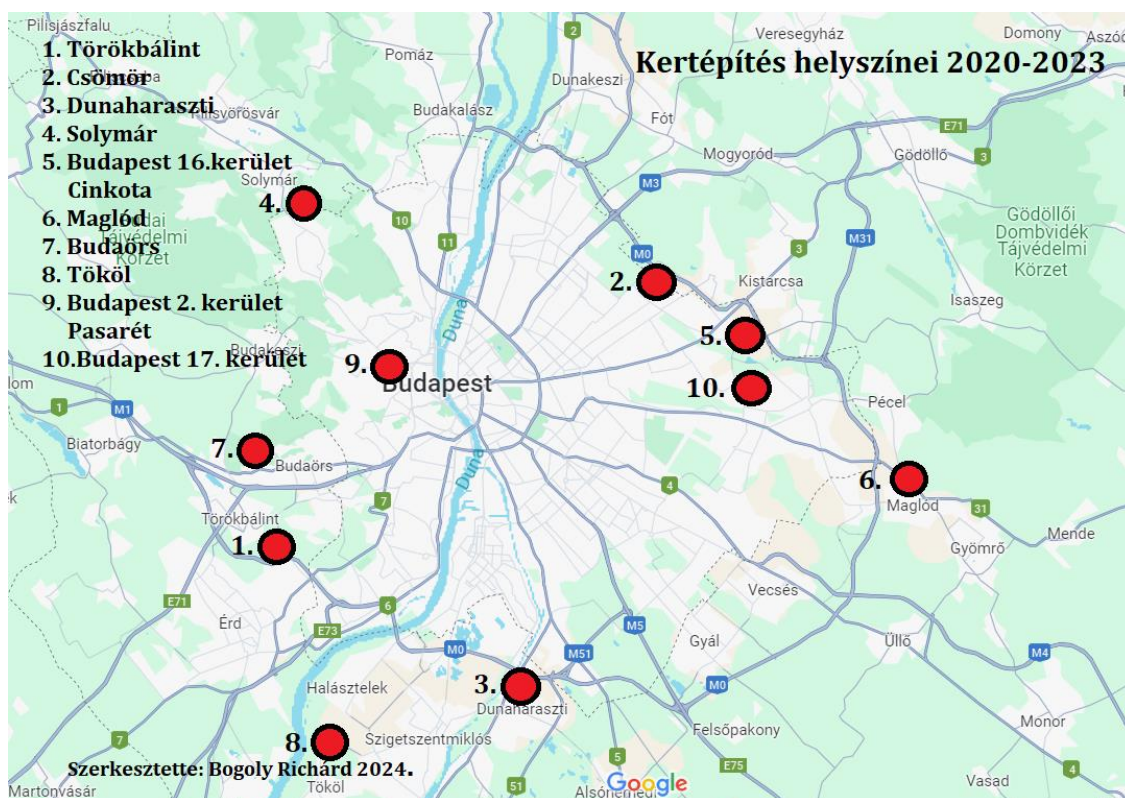
2019-ben, és annak 19%-a elégett, hogy elektromosságot termeljen. Az OECD arra számít, hogy a globális műanyagtermelés tovább fog nőni, elérve 2050-re az összesen 25 000 millió tonnát. Ugyanakkor a kidobott, elégett és újrahasznosított műanyag mennyisége is növekedni fog. Először is, a kidobott hulladék mennyisége 2050-től kezdve csökkenni fog. Egy 2016-os World Economic Forum tanulmány szerint csak a csomagolási hulladék 14%-a kerül újrahasznosításra, és több mint 80%-a eldobásra vagy szemétbe kerül, amiből 40%-a szeméttelre kerül, 14%-a elégetésre, és 32%-a a környezetbe kerül kibocsátásra. A mulcs fóliák csak az EU piacán lévő agroműanyag tömegének 12%-át teszik ki. A Plastics Europe szerint közel 29,5 millió tonna (34,6%) utófelhasználói műanyag hulladékot gyűjtöttek össze és szállítottak újra hasznosító létesítményekbe Európán belül és kívül egyaránt (Salama és Geyer, 2023).

3. Anyag és módszer

Ebben a fejezetben térképi ábrázolással bemutatom azt a 10 helyszínt, amelyeken kertépítési munkáim során 2020 és 2023 között műanyagokat használtam fel. Ezek közül kiemelem azt a hármat, ahonnan mikroműanyag vizsgálatra 2 db talaj, 2 db komposztal kevert talaj és 1 db komposzt mintát adtam le az Eurofins Analytical Services Hungary Kft számára. Ezt követően a fejezetben ismertetem a környezetanalitikai cég által a mikroműanyagok számának és minőségének meghatározására használt módszerét.

3.1. A saját kertépítési tevékenységeim helyszíneinek térképi ábrázolása

A 10 kertépítési helyszínt a 2. ábrán jelöltem. Ezeket a munkákat Budapesten (XVII., XVI., és II. kerületben) és a vonzaskörzetében elhelyezkedő helyszíneken végeztük, 2020 és 2023 közötti kezdésekkel. Az összes helyszínről együttesen elmondható, hogy újonnan épülő, körülbelül azonos méretű családi házak kertjeinek kiépítése történt ez alatt az időszak alatt. A telkek mérete 230 - 900 m² között változott. A kertek beépítésének egyedi méreteit az egyes helyszíneknél mutatom be.



2. ábra Kertépítések helyszínei 2020-2023 között

3.2. Kertészeti telephely, faiskolai adatok

Erre a budapesti kertészeti telephelyre csak azért utalok diplomamunkámban, mert ez az öt legforgalmasabb faiskola egyike, gyakorlati időm alatt az ottani hulladékkezeléséről, illetve az előforduló műanyagokról is gyűjtöttem információkat. Ezen a telephelyen is vettem mintákat, de ezek laboratóriumi mérési kapacitás hiányában jelenleg nem kerülhettek be a vizsgálati mintáim közé. Az üzem már több mint 25 éve működik ugyanazon a telephelyen, azonban az idén már megkezdték az átköltözésüket egy másik helyszínre. A telephelyen az elmúlt 25 év alatt évente mintegy 30 000 műanyag cserep került felhasználásra. Ezek nagy része nem maradt az üzem területén, hanem értékesítésre kerültek a növényekkel együtt. Egy kertészeti idényszazon alatt, amely kora tavasztól késő őszig tart, a műanyag cserepes növények egy kijelölt helyen vannak, ágyásokban elhelyezve. Így ki vannak téve az UV sugárzásnak, a szélnek, fagynak és a csapadéknak. Az egyik visszatérő probléma azonban a telephelyen maradó cserepek mennyisége, melyek többségében, kissűrűségű polietilén (LDPE), nagysűrűségű polietilén (HDPE) és polipropilén (PP) anyagokból készültek. A fóliák és kötözőanyagok használatának szintén gyakori az előfordulása, mely többségében polipropilén (PP). A telephelyen összegyűlő, fel nem használt műanyag cserepek száma évente kb. 6 000 db-ra becsülhető, ami a selejtes termékekből és a kertépítők által visszavitt műanyag cserepekből tevődik össze. Idővel ezeket már nem tudják tárolni, ezért egy hulladékudvarba szállítják, ahol általában darálják, majd továbbadják őket újrahasznosításra. Nem minden esetben fogadják szívesen ezeket műanyagokat a hulladékudvarok, mivel nehéz őket újrahasznosítani, hasonlóan a PET palackokhoz. A gyűjtési/újrahasznosítási problémát az okozza, hogy sokféle, különböző gyártótól származó műanyag cserep kerül forgalomba, így változatos méretűek és anyagösszetételűek. Ezeket a műanyag cserepeket nehéz egységes rendben tárolni, mozgatni, szállítani, feldolgozni, ráadásul több helyet foglalnak/igényelnek a sok fajta minőségű és méretű/formájú kialakításuk miatt.

A telephelyen, ahol a növényi árukészlet a vásárlóknak kihelyezésre kerül, több mint 25 éve már, hogy folyamatos öntözés és talajtakarás történik. A talajtakarás alatt a növények téliesítését értjük, amikor mulccsal és szalmával takarjuk a műanyag cserepes növényeket a fagy elleni védelem miatt. A téli takarást biztosító növényi hulladék otthagynak és bomlásuk során jó minőségű humuszos talaj keletkezik. Ezt a talajt 35 cm vastagságban át is szállítják az új telephelyre, mert minőségileg kiváló. Ebből a talajból is mintáztam, ezt érdekességképpen a jövőben lehet vizsgálni, mert valószínűleg mikroműanyaggal ez is

szennyezett, a műanyag cserepek hosszú időn keresztül aprózódása és a különböző műanyag kiegészítők jelenléte miatt (Szabó Dávid, interjú, 2024).

3.2. A három mikroműanyag mintavételi helyszín bemutatása

A talaj- és komposzt mintákat 3 különböző helyszínről vettem, ezeket a következő alfejezetekben mutatom be.

3.2.1. Tököli mintavételi helyszín (a TATÖ, KTTÖ minták származási helye)

Az első mintavételezési helyszínem Tököl, mely a Csepel-szigeten helyezkedik el. A 2. ábra térképén a 8. sorszám alatt helyezkedik el „Tököl” elnevezéssel. Egy újépítésű családiház kertjének kialakítását vállaltuk el, a mintavételezés időpontja 2023.04.12. volt. A terepszint kialakításához 6 m^3 termőföldre, a gyeper alá és az ágyásokba a növényültetéshez további $12,5 \text{ m}^3$ komposzttal kevert darált termőföldre volt szükségünk. A komposzttal kevert földet a megrendelő igényei szerint állítják elő, jelen esetben $\frac{1}{4}$ komposzt és $\frac{3}{4}$ darált föld volt a kívánt arány. A termőföld a komposzttelep közvetlen szomszédságában található építőanyag forgalmazó cégtől származik. A termőföldet ez a cég szállítja számomra több mint 10 éve ugyanazon forrásból. A keverés a földdel és komposzttal a telephelyen történik, egy daráló keverő géppel. Itt a kért mennyiségű komposztot keverik a talajhoz és együtt darálják össze. A termőföld minőségének egy adott időszakban azonosnak kell lennie, ez időben változhat a készletezési felhalmozás vagy értékesítés függvényében.

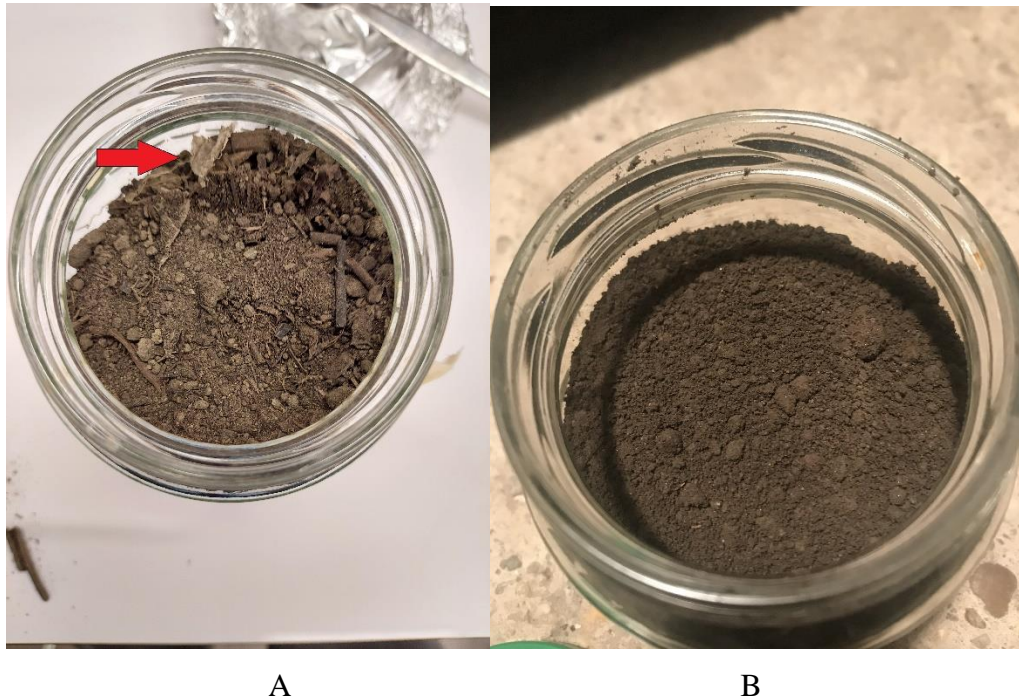
A példaként bemutatott 3. ábrán látható a tököli kertépítés helyszíne, itt az 1. számú nyíllal jelölt talaj halomból történt a mintavételezés. A talajminta a **TATÖ**, a komposzttal kevert talajból származó minta a **KTTÖ** jelzést kapta.

A példaként bemutatott 3. ábrán megtalálható sok olyan műanyag termék, amit egy kertépítés során gyakran felhasználunk, így a 2. számú nyíllal jelölt részen műanyag cserepek figyelhető meg, még szétszórva. A 3. számú nyíllal jelölt termék a geotextília, amit az ágyásokba teszünk, illetve a drén rendszerek kialakításához is alkalmazunk. A 4. nyíllal jelölt részen vannak az öntözőrendszerekhez felhasznált műanyag csővezetékek.



3. ábra A tőköli mintavételezési helyszín, a kertépítés során gyakran felhasznált anyagok megjelölésével (1. mintázott talaj, 2. műanyag cserepek, 3. geotextília, 4. az öntözőrendszerek műanyag csővezetéke)

A 4. ábrán a **TATÖ** (tőköli talajminta) és a **KTTÖ** (a komposzttal kevert talajból származó minta) látható a laboratóriumba szállítás előtt. Az „A” jelű fotón nyíllal jelöltem, hogy a komposzttal kevert talajban már a mintavételezés időpontjában is szabad szemmel látható volt egy műanyag részecske, ami nagyobb volt 5 mm-nél, így mérete már meghaladta a mikroműanyagokét.



4. ábra A tököli kertépítés mintái, A: **KTTÖ** (komposzttal kevert talaj) balra és B: **TATÖ** (talaj) jobbra. Nyíllal jelölve egy 5 mm-nél nagyobb műanyag részecske a mintában.

3.2.2. Budapest 17. kerületi mintavételi helyszín (a TA17, KT17 minták származási helye)

Második mintavételezési 2024.02.08-án volt, Budapest 17. kerületében. A 2. ábra térképén a 10. sorszám alatt helyezkedik el „Budapest 17.. kerület” elnevezéssel. Itt egy kertátalakítás történt korábban. A régi növényzetet teljesen el kellett távolítanunk, új szegélyeket alakítottunk ki, öntözőrendszert építettünk ki. A felhasznált talaj és a komposzttal kevert talaj származási helye és keverési aránya ($\frac{1}{4}$ komposzt és $\frac{3}{4}$ darált föld) ugyanaz volt, mint a tököli helyszín esetében, viszont a tíz hónapos időbeli különbség esetleg más talaj, illetve komposzt minőséget eredményezhetett, még akkor is, ha ezek beszerzési forrása azonos volt. A terepmunkákhoz 2 m^3 talajt (**TA17** minta jellel) hozattunk, majd ezt követően még $2,5 \text{ m}^3$ darált komposzttal kevert termőföldet (**KT17** minta jellel). A kialakítandó gyepek alá a komposztos talaj, míg az ágyásokba a termőtalaj került. Az 5. ábrán a **TA17** (talajminta) és a **KT17** (komposzttal kevert talajból származó minta) látható a laboratóriumba szállítás előtt.



A

B

5. *ábra* A Budapest 17. kerületi kertépítés mintái. A: **KT17** (komposzttal kevert talaj) balra és B: **TA17** (talaj) jobbra.

3.2.3. Budapesti Közművek (BKM) - FŐKERT (FŐKERT Kertészeti Divízió) komposzttelepéről származó komposzt (a KOMP jelű minta származási helye)

A komposzt mintavételezésre a BKM-FŐKERT Komposzt Üzemének telepén került sor, 2023.09.07-én. Itt a körbejárást követően a rostált és már érett, eladásra szánt komposztból vettem a mintámat (**KOMP**) (6. ábra). Ez már a kész, előállított, értékesítésre szánt termék, melyet bárki vásárolhat a helyszínen. A tököli és a Budapest 17. kerületi kertépítésem során a talajhoz kevert komposzt erről a telephelyről származott.



6. ábra A BKM-FŐKERT Komposzt Üzeméből származó komposzt minta (**KOMP**)

Ennek a komposztnak az előállításával és értékesítésével külön fejezetben (3.3.1.) foglalkozom. Amennyiben figyelembe vesszük a komposztálási folyamat idejét - hozzávetőleg 1 év alatt készítik el - a mintázott komposzt valószínűsíthetőleg ugyan az a komposzt-sarzs, ami a tököli és a Budapest 17. kerületi helyszíneken is felhasználásra került.

3.2.4. Mintavétel és a minták tárolása

A mintavételezéseket az MSZ 21470-1:1998 „Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Mintavétel.” és a már visszavont MSZ-08-0202-1977 „Helyszíni mintavétel mezőgazdasági célú talajvizsgálatokhoz” szabványok figyelembevételével végeztem. Ennek során kézi fűtóval 1 m³ térfogatra vetítve 20-20 pontmintát gyűjtöttem talajból, komposzttal kevert talajból és komposztból. A pontminták azonos térfogatát alaposan összekeverve átlagmintákat képeztem, kb. 1,5 kg mennyiségekben (http12). Az átlagmintákat felhasználásig fénytől elzárt helyen (picében), üvegedényben, alufóliával letakarva tároltam. A tárolt mintákból szintén alufóliával takart üvegedényekben 300-300 g mennyiségeket szállítottam a mikroműanyag vizsgáló laboratóriumba .

3.3. Két zöldhulladék komposztáló nagyüzem bemutatása

Egy kertépítés során az első felmerülő hulladék, az a zöldhulladék. Egy telek kitisztítása, egy terület megtisztítása a feleslegessé váló növények eltávolításával kezdődik. A kertépítési munkánk során keletkező a zöldhulladékokat engedéllyel rendelkező cég

szállítja el hulladékkezelő telepre, ami Budapesten többségében a BKM-FŐKERT komposzt.

3.3.1. BKM - FŐKERT komposzt

Személyes látogatás, interjú készítés tapasztalatai

Személyes találkozó alkalmával a BKM - FŐKERT Kertészeti Divízió Komposzttelepén voltam bejáráson, ahol Pelyva László üzemvezető bepillantást nyújtott a zöldhulladék feldolgozás, érés és értékesítés folyamatába. A kertépítési tevékenység során keletkező zöldhulladékot az átvételére engedéllyel rendelkező befogadó telepre kell szállítani és kezelni. A zöldhulladék akkor minősül veszélyes hulladéknak, amennyiben a 72/2013(VIII.27.) VM rendelet 2.§. szerint megjelölt valamilyen veszélyes összetevőt hordoz. Egyébként a rendelet szerinti 02 főcsoport szám (Mezőgazdasági, kertészeti...hulladék) alá tartozik.

A komposzt az 559/2023. (XII. 14.) Korm. rendelet 1. melléklete „szerinti hulladék, továbbá háztartásokban képződő zöldhulladékból és a konyhai zöldhulladékokból, segédanyagok felhasználásával, házi és közösségi vagy telepi komposztálás során előállított, magas szervesanyag-tartalmú, növényi tápanyagban gazdag – külön jogszabályban meghatározott – humuszszerű anyag, amelynek megszűnt a hulladékstátusza” (559/2023. (XII. 14.) Korm. rendelet).

A környezetvédelmi intézkedések újabb előrelépéseként 2024 elején megkezdődött a biohulladék, ideértve a konyhai zöld- és élelmiszer-hulladékot is, széles körű, elkülönített gyűjtése. Ez a lépés kívánja elősegíteni a biológiailag lebontható anyagok minél tisztább visszajuttatását a természetes szervesanyag-körforgásba, egyúttal csökkentve ezzel a hulladéklerakókban ezeknek az anyagoknak a vegyes hulladékként való deponálását.

A kormányrendelet meghatározza, hogy az érintett háztartások az elkülönített gyűjtési rendszer keretében az erre a célra kialakított hulladékgyűjtő edényzetben gyűjthetik: a konyhai zöldhulladékot (pl. nyers zöldség- és gyümölcs maradék, kávézacc, teafű, fűszerek, gyógynövények, tojáshéj), a konyhai élelmiszer-hulladékot (az étel és élelmiszerből keletkező hulladék). A hulladékgyűjtő edényzetet, valamint a biohulladék átvételét, gyűjtését és elszállítását a MOHU MOL Hulladékgazdálkodási Zrt. biztosítja. A koncessziós társaság elsősorban házhoz menő gyűjtést indít, de lehetőség lesz a

biohulladékot kijelölt hulladékgyűjtő pontokon, valamint később a társaság vagy koncesszori alvállalkozó által üzemeltetett hulladékgyűjtő udvaron is leadni.

A MOHU MOL Hulladékgazdálkodási Zrt. által végzett hulladékgazdálkodás a megújult koncessziós modell keretében történik. Az EU-s előírásoknak megfelelően már bevezették a kiterjesztett gyártói felelősségi rendszert, és 2024 év elejétől kötelező visszaváltási díjas rendszer lép életbe Magyarországon. Ez a lépés hozzájárul ahhoz, hogy néhány év alatt elérjük a PET palackok 90 százalékos visszaváltási arányát.

A telep egy közel 1 ha-os területen fekszik (7.ábra) Budapest X. kerületében, a Keresztúri út 102-ben. 20.000 tonna zöldhulladék befogadó képességgel rendelkezik, évente mintegy 50-60.000 m³ szerves hulladék kerül feldolgozásra, melyből körülbelül 5-6.000 m³ komposztot állítanak elő. Zöldhulladékot ezen a telephelyen kizárólag ömlesztve vesznek át, zsákos és kötegelt kiszerezésben nem. Így ezen a telepen a Budapesten rendszeresített zöldhulladékos zsákban gyűjtött kerti hulladékot nem fogadják. Ide kizárólag a regisztrált partnerek, cégek tudják bevinni a hulladékot. A kertvárosi Budapesten keletkező zöldhulladék, amit az arra vásárolható gyűjtőzsákban szednek össze, az a Pusztázalmori telephelyre kerül (lásd 3.3.2. fejezetet). Pozitív változásként 2023. augusztus 1-étől, már a lakosságot is kiszolgálja a telep, mind a zöldhulladék lerakásában, mind a komposzt értékesítésében. A telepvezető elmondása szerint a lakossági leadással az a probléma, hogy szinte mindent behoznak, zsákosan, kötegelve is. Ezek közül a leggyakrabban PET, PP, nejlon, kötegelő anyagokat látnak a darálást követően, mivel ezeket nem tudják leválasztani, mert nincs hozzá a megfelelő infrastruktúra. A közeljövőben, pályázat útján tervben van egy műanyag leválasztó gép beszerzése. Ezáltal a műanyagot ki lehetne zárni a rendszerből. Sajnos jelenleg nincs számszerűsíthető adat arról, hogy mekkora műanyag mennyiség, milyen méret frakciókban és alakban kerül bele az előállított komposztba. Ezzel igazából nem is foglalkoznak, hiszen nincs jogszabályi előírás arra, hogy a műanyagokat/mikroműanyagokat mérjék az előállított komposztból. A műanyagok komposztbeli méretének felső határát jó közelítéssel a rostálási átmérő adja.

A telepen a komposztálási folyamat a zöldhulladék behordásával kezdődik. Ekkor a zöldhulladék, ami lehet pl. ágnyesedék, falevelek, gallyak, levágott gyeper, mérlegelés után egy előkezelő térbe kerül, ahol prizmákba rendezik őket. Az átvehető átmérő 30 cm-ben van maximalizálva, ennyit bír feldarálni a telephelyen alkalmazott Willibald MZA 4300-as kalapácsos ágaprító. 4-5000 m³ prizma térfogatnál, megkezdődik az aprítás, ami ezt

követően a darált mennyiség 1-3 hónapig úgynevezett nagyprizmákban áll. Ha túl nedves a prizma akkor az összeaprított zöldhulladék nem kezd el megfelelően érní, anaerob folyamat indul be, ha túl száraz, akkor pedig nem kezdődik el a humifikáció. A prizma forgatásával, az oxigén ellátás biztosításával, öntözéssel, rendszeres ellenőrzéssel optimalizálják a komposztálási paramétereket. Fő cél 75 °C higienizációs hőmérséklet elérése. Ezen a hőmérsékleten már minden kórokozó és gyommag elpusztul. A kész komposzt kémhatása 7.5 -8.5 közötti pH érték tartományban van, és 40 °C-os hőmérséklettel rendelkezik. A teljes komposztálási folyamat kb. egy évet vesz igénybe.

A beérkező zöldhulladék aprítása a fent említett kalapácsos aprítógéppel történik, egységesen 2-3 cm-es darabokra. A rostálás egy Farwick Primus dobrostával történik, nagyüzemi eljárásban, ami egy, 100m³/h anyagáramlással megy végbe. Rostálás 3 fragmentumra történik: 0-15 mm, 15-60 mm és 60+ mm. A zöldhulladék aprítását követően az aprított mennyiség 50%-a lesz nagyjából kész, rostált komposzt.

A csurgalékvíz felhasználásra kerül, amikor a prizmáknak öntözésre van szükségük, tehát nem kell elvitetni a telephelyről.

A komposzt, mivel termésmnövelő anyagról van szó, engedélyköteles terméknek minősül. Forgalomba hozatalukhoz ki kell elégíteni a 36/2006. (V.18.) FVM rendelet előírásait. A FŐKERT telephelyén előállított készítmény típusa: komposzt. Kereskedelmi neve: CITY komposzt. Ez kiolvasható a 36/2006. (V.18.) FVM rendelet szerint kiadott engedélyokiratból. A forgalomba hozatali és felhasználási engedély bizonyítja azt, hogy a rendeletben foglaltaknak megfelelő paraméterekkel bír a komposzt, és rendelkezik mindazokkal a tulajdonságokkal, amelyek alapján termésmnövelőként lehet értékesíteni, illetve alkalmazni. A minőségi paraméterek között vizsgálják többek között a pH értéket, ammónium N-NH₄, Nitrát (N-NO₃), Nitrit (N-NO₂), ásványi N, szárazanyag-tartalmat, szervesanyag-tartalmat, a szennyező anyagokat pl. toxikus elemek, PAH, TPH, PCB. Az ISO 9001 és ISO 14001 tanúsítvány, minőségbiztosítási és környezetvédelmi rendszer garantálja, hogy környezetközpontú irányítási rendszert alkalmaznak a tevékenységük során. (Pelyva, 2023 szóban elhangzottak).



7. ábra BKM-FŐKERT komposzttelep madártávlattól

3.3.2. BKM - Pusztazámori komposzt

Fontos megemlíteni azt a telephelyet is, ahová a Budapesten keletkező zöldhulladékos zsákban gyűjtött hulladékot szállítják és hasznosítják.

A BKM-Pusztazámori Hulladéklerakó és annak komposzttelepe olyan sajátosságokat mutat, amelyek eltérnek a korábban említett BKM-FŐKERT komposztteleptől. A 2023-as adatok szerint évente mintegy 25.000 tonna zöldhulladék érkezik a komposzttelepre, amiből mindössze 42%-ot hasznosítanak komposztként. A zöldhulladék főként Budapest külső kerületeiből érkezik, biológiailag lebomlónak minősített zsákokban összegyűjtve. A hulladék darálás után nagyüzemi prizmákba kerül, majd rostálják, a FŐKERT-hez hasonlóan. Azonban itt csak egy frakciót állítanak elő (1-60 mm), a maradék rostaanyagot pedig deponálják. Ezeket az anyagokat az Fővárosi Hulladékhasznosító Műbe lehetne vinni égetés céljából, de logisztikai szempontok miatt ez nem történik meg. A gyűjtőzsákok, amelyekben a zöldhulladékot a lakosság gyűjti/tárolja, majd a BKM munkatársai beszállítják a telephelyre, biológiailag lebomlóak (MSZ 13432 szerint) és kukoricakeményítőt tartalmaznak.

A hulladék novemberi beérkezése 20%-kal növekszik, amely összhangban van az őszi kerti munkákkal és az ebből adódó zöldhulladék képződéssel. Ez a növekvő hulladék mennyiség komoly kihívást jelent a telepvezető számára, tekintettel arra, hogy a komposzttelep csak egy kis részét képezi az egész Pusztazámori Hulladékkezelő telepnek.

A kész komposzt hivatalosan termésként van nyilvántartva, mint BKM Komposzt, ami engedélyköteles termék. Az előírtaknak megfelelően, a 36/2006 (V.18.) FVM rendeletben foglaltak szerint történik a forgalomba hozatala.

A kész komposzt felvásárlására nincs igény. A helyi gazdák számára nem gazdaságos elszállítani és bekeverni a talajba, mivel nagyobb költséggel jár, mint műtrágyával pótolni a tápanyagszükségletet a földeken. Ezért a legtöbb kész komposztot energetikai hasznosító műbe szállítják, ahol különböző komponensekből keveréket állítanak elő, majd elégetik azt,

és áramot termelnek belőle. Kérdésekre árat nem mondtak, hogy mennyiért adják el a kész komposztot, de minden évben lehetőség van pályázat útján ezt felvásárolni (Mile Gábor, interjú, 2024).

3.4. A mikroműanyagok mintaelőkészítési, azonosítási és számlálási módszereinek a bemutatása

Talajok, illetve komposzt mintavételek homogén mintavétele zajlott, mely során kerültem a műanyag eszközök felhasználását (lásd 3.2.4. fejezetet). A mintákat (5 db), az Eurofins Kft laboratóriumába szállítottam, ahol elvégezték a mikroműanyagok kvantitatív és kvalitatív vizsgálatát. A mikroműanyag vizsgálatra szánt natív minták először egy oxidációs fázison estek át, melyhez 30%-os hidrogén peroxidot használtak fel, majd a minták egy éjszakán keresztül ebben roncsolódtak. Amellett, hogy a hidrogén peroxid elkezdte a szerves anyagok oxidációját egyben meg is szünteti a talajmintákban lévő aggregátumokat. Az oxidáció után a minták frakcionált szűrésen estek át, melyhez a használt rozsdamentes acél szűrők pórusátmérője 1000, illetve 50 μm volt, így a továbbiak során az 1000 - 50 μm méret tartományba eső részecskék képezték a minták részét.

Oxidáció, illetve frakcionált szűrést követően a minták enzimátikus emésztésen estek át, melyhez összesen négyféle enzimet használtak fel és kétféle puffert. Először TRIS pufferbe helyezték a mintákban lévő részecskéket, amelyhez egymás után lipáz, illetve proteáz enzimet adagoltak, majd a mintákat újból leszűrték (50 μm pórusú rozsdamentes acél szűrőn), és acetát pufferbe helyezték őket, melyhez egyszerre adagoltak celluláz és viszkozim enzimeket. Az enzimátikus emésztést ismételt szűrés követte, majd a minták átestek egy utolsó szerves anyag eltávolítást célzó mintaelőkészítési lépésen, mely az úgynevezett Fenton-reakció volt. A Fenton-reakció egy erélyes oxidációs folyamat, mely hidrogén peroxid alapú, de a peroxid bomlását vas (II)-szulfát katalizátorral segítjük elő, amely hidroxil (szabad) gyökök képződéséhez vezet. A Fenton-reakciót ismételt szűrés követte. Szűrleteteket kis térfogatú üvegszeparálókba (small volume glass separator; SVGS) helyeztük, melyeket cink-klorid oldattal töltöttük fel (sűrűsége 1,7 g/cm^3). Ez a sűrűség alapján történő elválasztás 4 órát vett igénybe, melynek során azon részecskék (műanyagok), amelyek sűrűsége kisebb mint 1,7 g/cm^3 az SVGS tetejére úsztak (Mári et al., 2021).

Az elválasztott mintáinkat egy speciális IR permeábilis ANODISC filteren ($\text{Ø} = 25 \text{ mm}$; pórus = 0,2 μm ,) szűrtük át. Az ANODISC szűrőket két kalcium-fluorid (CaF_2) optikai ablak közé helyeztük, annak érdekében, hogy a részecskék egy síkban helyezkedjenek el. A

részecskék anyagtípusának megállapítását FTIR mikroszkóp (Nicolet iN10, Thermo Fisher Scientific, USA) segítségével végeztük transzmissziós üzemmódban. A mikroszkóp a szűrő felszínét 25 μm -es pixelenként pásztázta végig. A részecskék FTIR spektrumai 4000- 1250 cm^{-1} hullámhossz tartományban kerültek felvételre.

A mintákról több mint félmilliónyi spektrumot képződik, amelyeket a siMPle szoftver segítségével értékelték. A szoftver a mintánkban lévő spektrumokat összehasonlítja egy spektrális könyvtárral, és ha 70% vagy annál nagyobb hasonlóságot talál a spektrumok között, akkor a részecskét műanyagként tekinti és megadja az anyagfajtáját (Prikler et al., 2024).

4. Eredmények

4.1 A kertépítés során felhasznált műanyagok

Ebben a fejezetben az elmúlt tíz évben összegyűjtött kertépítési tapasztalataimra támaszkodva bemutatom azokat a műanyag típusokat, amelyekkel a helyszíneken az építkezések befejeztével hátramaradó hulladékok között találkozunk a talajon és a talajban, illetve azokat a polimer alapú anyagokat, tárgyakat, amelyeket mi használunk a munkánk során.

Egy kertépítést mindig megelőzi a házépítés. A jelenlegi építőipari technológiák már túlléptek azokon az anyagfelhasználási szinteken, amelyek az 1960-as években voltak jellemzők. Korábban főként betont, habarcsot és égetett anyagokat alkalmaztak, leginkább cserép és téglá formájában. Emellett faanyag is használatos volt, amelyet különféle módon kezeltek. A festékanyagokban különféle lágyító vannak jelen. A mai technológia már széles körben alkalmaz polimer alapú termékeket, amelyek javítják az építőanyagok tulajdonságait és meghosszabbítják azok élettartamát. Ez megkönnyíti többek között a szakemberek munkáját és egyszerűsíti az építkezések folyamatát.

Az építkezések után hátramaradó anyagok, amelyek a talajban is megtalálhatóak, és annak részeivé válnak, magukban foglalhatnak festékanyagokat ólomtartalmú vegyületekkel, különféle szilikonokat, tömítőanyagokat, polisztirol habot, azbesztet tartalmazó hullámpalát, fóliákat és építési csomagolóanyagokat, valamint megmaradt betont, cserépet és ragasztómaradványokat. Ezért a kertépítés megkezdése előtt gyakran szembesülünk azzal a problémával, hogy az építkezés után rosszabb esetben akár jelentősen szennyezett talaj marad hátra.

Ha nem az építkezés után lépünk be a projekt folyamatába, hanem egy már meglévő kertet kell újjáépítenünk, akkor az első lépések közé tartozik azoknak a növényeknek az eltávolítása, amelyeket nem kívánunk megtartani a megépülő kertben. Ekkor a fás és zöld növényzetet metsszük és vállalkozó segítségével befogadóba elszállíttatjuk. A zöldhulladékba kerülhetnek műanyagdarabok is, például, ha egy rosszul ültetett növény cserépben van vagy különféle kötőanyaggal van körül tekerve a gyökérzónája. Ezután ez az anyag komposzttelepre kerül, ahol kezelést követően komposztot állítanak elő belőle, majd talajjavítás céljából értékesítik azt.

A felhasznált műanyagok közé tartoznak különféle öntözéstechnikai rendszerek részei, mint például csővezetékek lágy polietilén és a kemény polietilén (LPE és KPE), a

lágypolietilént többnyire a kisebb kötésekre használjuk, a kemény polietilént meg a magasnyomású csővezetékekhez, illetve idomok és egyéb illesztőelemek. Gyakran alkalmazunk geotextíliát és agroszövetet, valamint vakondhálót is, amelyek a talajba kerülnek telepítésre. Az egyes faiskolai növények cserépben és szállításhoz alkalmas védőhálóval körültekerve érkeznek (8. ábra), leggyakrabban Olaszországból. Ezeket az óvintézkedéseket a növények megóvása miatt kell megtenni, ugyanis az olaszországi szállítás általában 32 tonnás nagyméretű kamionnal történik, ahol a növények ömlesztve kerülnek a szállítójárműre és hosszú utat tesznek meg a faiskolai lerakatig.



8. ábra Olaszországi eredetű, faiskolából származó, hálóval védett, cserepes import növények, 2023 tavaszán

Az épített kertekben gondoskodni kell a vízelvezetéséről, ezért drénrendszereket alakítunk ki, amelyeket legtöbbször PVC csővezetékekkel építünk meg és a drénlyukakat geotextíliába csavart kavicságyba helyezjük. A műanyag (PVC) termékekből történő vágás során részecskék válnak le, amelyek vagy a helyszínen maradnak, vagy a szél tovább szállítja, attól függően, hogy mekkora a levált anyag nagysága és súlya.

Törökbálint 2021.08.

Törökbálinti munkánk során egy kis alapterületű, 230 m²-es kertet építettünk meg. Egy társasházi újjépítésű területen a házépítést követően kezdtük meg az kert kivitelezését. Elsőnek a talaj szintbehozásával kezünk, ahol 3,5 m³ darált komposztos földet terítettünk el a területen. Ezt követően betonszegélyt raktunk le, majd az öntözőrendszert építettük ki, itt egy 4 zónával rendelkező rendszert terveztünk, ahol a víznyomás probléma kiküszöbölésére bevett módszerünk, hogy osztjuk a meglévő vízmennyiséget. Volt egy korábbi építésünk Pécelen, ahol sokszor nyomásprobléma volt, mert a vízhálózatra túl sok társasház épült, így alkalmanként olyan magas a vízfogyasztás, hogy a víznyomása és a mennyisége változó

lesz (csökken), ekkor az öntözőfejek nem tudnak a talajból kiemelkedni. Így ennél a kertenél, úgy számoltunk, hogy több öntözőfejet tettünk egy zónára, így kiküszöbölhetővé vált a víz nyomásának és mennyiségének ingadozásából adódó probléma. Csővezetékekkel és idomokkal összesen 42 kg műanyagot használtunk fel az öntözőrendszer kialakításához. Az ágyásba geotextíliát tettünk, ugyanis kavics zúzalékot helyeztünk a növények közé. Itt a felhasznált mennyiség 30 m² volt, ami 150 g/m² anyagsűrűséggel számolva 4,5 kg. A növények ültetéséből adódó műanyagcserepek száma, mivel több kisebb növényt palántáztunk, a K2-es cserepekből összesen 70 darabot használtunk fel, ezek teljes mennyisége hulladék lett, ami szelektív hulladéktárolóba tettünk. Ami 17.5 kg volt. A vakondháló mennyisége 200 m² volt, így a felhasznált tömege 9 kg. A vakondhálót mi nem műanyag leszúrókkal rögzítjük a talajhoz, hanem erre a célra fémből készült leszúró tuskéket alkalmazunk. Fenyőkéreg mulcsot is használtunk egy keskeny sávnál, ott még egy korábbi partnertől fóliába csomagolt mulcsot vettünk, ezeknek a mennyisége 8 zsák volt, a műanyagcserepekkel együtt tettük az erre kijelölt szelektív hulladékos edénybe. 4 kg csomagoló anyag került felhasználásra. A cserepek nagysága és súlya változó, ez függ, hogy mekkora növény kerül elültetésre, minél értékesebb egy növény annál nagyobb cserépben van tárolva. Vannak Kis 9x9 cm-es cserepek is amik 0,03 kg és vannak olyan cserepek is amik, akár 8 kg-ot is nyomhatnak

Csömör 2021.10.

Budapest közvetlen határában elhelyezkedő Csömör kertvárosi részében hoztunk létre egy 600 m² kertet, ahol burkolási munkákat végeztünk és drénrendszert is kialakítottunk. A térkővel burkolt felületünk 110 m² volt, ennek kiépítése műanyag felhasználással nem járt. A talajunk kiegyenlítésével kezdődött a munkánk. Itt a meglévő talajt mozgattuk és szinteztük munkagép segítségével. Kiépítésre került egy kerti tó, ahol a mederszigeteléshez alsó műszaki védelemként Pondline tófóliát használtunk. Ez egy magyar termék, lágy PVC fólia, mely 2,1 kg/m² tömeggel rendelkezik. Elmondható róla, hogy a téli időszakban keményedik, így akár törhető is, meleg időszakban meg lágy. A tófóliák szerepe, hogy a vizet az arra kijelölt területen tartsa és szivárgásmentes legyen. A tófóliák alá a gyártó utasítása/ajánlása szerint szükséges 150g/m² anyagsűrűségű geotextíliát tenni, hogy ne sértse fel a talajban esetlegesen ott hagyott kő vagy egyéb éles tárgy. Ebben a kertben felhasznált tófólia nagysága 40 m² volt, ami a 2,1 kg/m²-re számított értéke 84 kg. Ugyanerre a területre felhasznált geotextília mennyisége 6 kg volt. Az ágyásokba is felhasználásra került geotextília a bazaltzúzalék alá, illetve a drénrendszerhez is, itt egy teljes tekercs került

felhasználásra, ami 200 m², tehát beleszámolva a tó építésére is, összesen 200 m² került felhasználásra, ami 30 kg geotextília. A gyepfelületünk alá összesen 280 m² vakondháló került beépítésre, ami 12.6 kg-nak felel meg. Ami számottevő volt ebben a kertben az drénrendszer kialakítása, ugyanis 35 fm-nyi KG PVC csővezetékét használtunk fel a víz elvezetésére, ami 1 fm-re vetítve 1,57 kg PVC, tehát összesen az idomokkal együttesen 62 kg. Így a tófólia és a drénrendszer együttes PVC anyag felhasználása 146 kg volt. Öntözőrendszerbe 61 kg PE került beépítésre. További 1 kg fólia hulladék keletkezett. Ezen a helyszínen a teljes kertépítést (pl. növényzet kialakítása) nem tudtuk befejezni, mivel a lakóépület kivitelezése elhúzódott, így ezt valószínűleg a tulajdonos a későbbiekben végezte/végeztette el.

Dunaharaszti 2022.02.

Dunaharasztiiban nagyjából 340 m² épített kertet kellett kialakítanunk. Ebből a területről 240 m² gyepfelület volt, ahol vakondhálót használtunk és automata öntözőrendszert telepítettünk. A vakondháló használata 270 m² volt, amelyet az illesztéseknél fedésbe kell tenni, így alakul ki a többlet. 12 kg került be így a talajjal érintkezve, további 64 kg öntözőrendszerhez használt műanyag került beépítésre. Az ágyásokat kőzúzával alakítottuk ki, így fel kellett használnunk geotextíliát, ami a nálunk megszokott 150g/m² anyagsűrűséget jelentett. Az ágyás nagysága 100 m², így a felhasznált geotextília mennyisége 15 kg volt. A kiültetett növények száma 90 darabra tehető, ahol a műanyag cserepek szinte egésze LDPE volt, mivel nagy növényeket vettünk, és általában a nagyobb növényeket ilyen cserépben forgalmazzák, hogy a szállítás és anyagmozgatás során ne repedjenek meg. Ezeket a nagy méretű cserepeket a faiskola szívesen visszafogadja újra használat céljából, így ültetést követően visszavittük számukra. Így a cserépből hulladék nem keletkezett. Ami hulladék termelődött, azok az öntözéstechnikai termékek csomagolása.

Solymár 2022.06.

Solymáron volt egy 700 nm-es kertfelületet alakítottunk ki. Összesen 10 m³ daráltföldet használtunk fel a talajfelszín kiegyenlítésére. A terület tisztának volt tekinthető, kevés építési hulladék volt jelen. Az ágyások kialakításához 75 folyóméternyi műanyag szegélyt használtunk, ami egy keményített tőszegély volt. Ez tekercsben kapható, melynek darabja 25 folyóméter, 27 kg súllyal. Anyagát tekintve újrahasznosított PVC. Három darab tekercs lett felhasználva, ami 81 kg.

A drénrendszerhez elhasználtunk 32 darab esővíz szikkasztót, mely darabonként 16 kg és polietilénből (PE) készül. Ezeket a helyszínen kell összeállítani, majd geotextíliába (polipropilén, PP) tekerni és rákötni az esővízgyűjtő hálózatra. A betekerésre szánt geotextília 150g/m^2 anyagsűrűségű és a tárgyalt kertben ebből összesen 36 m^2 került felhasználásra (ez 5,4 kg). Egyéb fedési, illetve burkolási munkákhoz további 200 négyzetmétert használtunk fel belőle (ez 30 kg). A vakondháló a gyepfelület alatt a földdel érintkezve található. Ennek mennyisége az említett kertben 250 m^2 , ami 1 m^2 -re vetítve 45 gramm, tehát összesen 11,25 kg, és szintén polipropilénből készült (PP). Az öntözőrendszerhez felhasznált csőmennyiség és idomai nagyjából 81 kg, ami UV stabil polietilénből (PE) készülnek.

A fenyőkéreg 60×120 cm-es méretű terményes zsákban kapható. A zsák polipropilénből (PP) készül, és egy darab 80 gramm. Enyhén UV-álló, ugyanakkor 1 év múlva, ha közvetlen napfény éri, foszlásnak indulnak és aprózódnak. Ebben a kertben 200 db zsákot használtunk fel, de az üres göngyölegeket azonnal összegyűjtöttük és tovább értékesítettem őket, így minimalizálva az általuk okozható környezeti terhelést, illetve ezzel csökkentettem az anyagköltségemet. A növények ültetésekor felhasznált műanyag cserepek száma 450 volt, ami változatos méretben. A kis cserepek darabszáma 320 db (kb. 0,055 kg darabja) PP, a nagyobb cserepek 130 db (kb. 0,25-5 kg között vannak) általában LDPE anyagokból készülnek. A cserepekről általánosságban elmondható, hogy szinte mind hulladék lesz. Amiből több van, ugyanazon minőségből és méretből, azokat visszaszállítom a kertészetbe, ahol vásárlom őket. A többségük (kb. 85%-a) viszont a szelektív hulladékgyűjtőbe kerül, ahol sajnos ezt a minőségű műanyagot még nem tudják megfelelően újra hasznosítani. Így a végső sorsa: hulladék. Az így hulladékká váló cserepek mennyisége hozzávetőleg ebben a kertben 135 kg volt. Egyéb csomagoló anyag 3 kg, ami PE fóliákból tevődik össze.

Budapest, 16. kerület, Cintkota 2022.07.

Ennek a feladatnak a megoldását egy félkész kertben kezdtük el, sok növény már el volt ültetve és geotextília volt körülötte. A kert nagysága 900 m^2 volt. Javaslatomra a geotextíliát felszedtük és fenyőkéreggel szórtuk fel. Az építésem során törekszem arra, hogy minimalizálva legyen a műanyagfelhasználás, kerüljük az olyan helyen való alkalmazásukat, ahol nem feltétlenül szükséges, ebben az esetben is ez volt az egyik cél. A másik cél annak a biztosítása volt, hogy a kúszó növényzet megfelelően tudjon terjedni/növekedni, ebben a geotextília viszont hátráltatta. Így ebből a kertből kiszedtünk 200 m^2 geotextíliát, ez teljes

mértékben hulladék lett, mert vágott és sérült volt a kiszedést megelőzően már, de ugyanakkor egy kavicsos burkolat részre, illetve egy nem használt rézsűre, újra 200 m²-t használtunk fel, ennek tömege 30 kg volt. A geotextília polipropilénből (PP) (vagy poliészterből) a mi általunk felhasznált geotextília az polipropilénből (PP) készül, mely hőre lágyuló geoműanyag. A geoműanyag olyan műanyag, mely kapcsolatba kerül talajjal, vízzel. Két tulajdonsága a mérvadó: a sűrűsége és a szakítószilárdsága. Tulajdonságát tekintve, hosszú élettartamú a föld alatt, jó szűrőképességgel rendelkezik, illetve az UV sugárzásnak csak mérsékelten állnak ellen.

Az öntözött gyepfelület az 200 m² volt, illetve további 600 m² növényágyás, ahol csepegtető öntözés került kiépítésre, a felhasznált műanyag mennyisége 86 kg volt. Vakondháló mennyisége a gyepfelülettel volt egyenlő, ami 200 m², így 9 kg volt a súlya a 45g/m² anyagsűrűséggel. A cserepek száma, az általunk ültetett növények szerint 54 db volt. Ebbe benne volt 5 nagy HDPE cserép, ami darabonként 3,93 kg volt, és ürtartalmát tekintve 110 literes, a maradék cserepek a szokásos K2-es K5-ös műanyagcserepek voltak, ezek súlyban 0,2-0,5 kg darabonként. A cserepek össztömege 37,2 kg volt. Ezeket a cserepeket hulladéklerakóba vittük, ahol szelektíven veszik át a hulladékot, külön fahulladék, silt- és építőanyag hulladék, műanyag hulladékok. Korábban ettől a hulladéklerakótól is kértem diplomadolgozatomhoz segítséget, hogy mi lesz a hulladékok sorsa és további felhasználásra, az üzenetre választ soha nem kaptam. Ez egy XVII. kerületi hulladékudvar, mely lakossági hulladéklerakásra is ad lehetőséget, költségtérítés mellett. Mulcsot több mint 200 zsáknit szórtunk szét. A műanyag zsákokat (16 kg) tovább értékesítettem, így ezek nem váltak hulladékká. Csomaglóanyagként további 2 kg lett felhasználva.

Maglód 2022.07.

Maglódon egy 640 m²-es területen végeztünk kertépítést. A gyepfelületünk alatt elhelyezett vakondháló mérete itt 240 m² volt, ami 10,8 kg-nak felelt meg. Itt geotextíliát nem alkalmaztunk, csupán fenyőkérget. Az öntözőrendszerhez felehasznált műanyag mennyisége 48 kg volt. Ez egy minimalista kert lett, így a cserepek száma is csupán 42 db, mely súlyban körülbelül 12 kg-ot tett ki. Ezek a tulajdonos számára még használatban maradtak, így részünkről hulladék nem keletkezett. A kertben 100 zsák mulcsot terítettünk szét, ami zsákonként 80 g, ami 8 kg PP-t jelent. A zsákokat további felhasználásra tároltam. Az építés során további 2 kg csomaglóanyag lett felhasználva.

Budaörs 2022.11.

A budaörsi munkahelyünk volt szakami életünk hulladékokkal leginkább terhelt építkezése. Egy négy lakásos társasház leghátsó épületének a kertjét alakítottuk ki, ami körülbelül 300 m² volt. A kertépítéssel párhuzamosan még folytak az építkezések a maradék 3 lakásnál. A helyszínen megtalálható volt mindenfajta építési hulladék, többek között: festékek, ragasztók, szilikonok, műanyag kábelek, építési és bontási hulladék, azbeszt tartalmú palalemez (9.ábra).



9. ábra – Budaörsi kertépítés helyszíne 2022-ban

A terepi felvonulásunk után, az első feladatunk ennek a kertnek a megtisztítása volt, a nagyobb darabos hulladékokat deponáltuk és a kivitelezővel elszállítottuk. Ezután kanalas munkagéppel, lézeres szintező segítségével, 10 m³ talajt megmozgatva „szintre húztuk” a talajfelszínünket. Erre az alaptalajra hozattunk 12 m³ darált földet, illetve további 2 m³ komposztot. Ezt eldolgoztuk majd kialakítottuk az öntözőrendszert, ami 56 kg műanyag felhasználását jelentette. A vakondháló itt sem maradt el, ami 200 m² területen tekertünk ki ez 9 kg műanyagot tett ki. A növénytelepítés 50, kisebb fajta növény ültetésével folytatódott, ami többségében PP műanyag cserép volt. Ezt teljes egészében hulladék lett, amit a szelektív hulladéktároló edénybe tettünk, ez kb. 15 kg hulladékot tett ki. Itt nem volt alkalmunk visszavinni a faiskolába őket. Felhasználásra került még 50 zsák fenyőkéreg, ami a terményes zsákban érkezett kiszállításra, ezeket a zsákokat egyből csomagoltuk és tovább értékesítésre elraktároztam, ennek tömege 4 kg. Ami hulladék keletkezett ebben a kertben, azok a cserepek 100%-a, az öntözőrendszer és vakondháló vágása és illesztéseiből adódó maradék anyag, illetve a vágásból leeső műanyag részecskék, nagyjából 2 kg hulladéknak felelt meg. Hozzáadva az öntözőrendszerhez, illetve a vakondhálóhoz. A talajban rejtve

maradó műanyagok mennyisége valószínűsíthetőleg ebben a kertben nagy, a sok építési hulladék nem megfelelő és szakszerűtlen kezelése miatt.

Tököl 2023.04.

A tököli kertépítésünk egy 350 m²-es kert volt, egyben a mintavételezéseink egyik helyszíne is. Itt egy újépítésű ház magánkertjét hoztuk létre. Az alapföldmunkához szükségünk volt 6 m³ termőföldre, ennek segítségével alakítottuk ki a terepszintünket. Ezt követően alkalmaztunk további 12,5 m³ komposzttal kevert darált termőföldet. Ezt tettük a gyeper alá, illetve az ágyásokba a növényekhez és az ültetéskor a növények köré. Komposzttal kevert földet a megrendelőn igényei szerint állítják elő, jelen esetben ¼ komposzt és ¾ darált föld volt a kívánt arány. A talajmunkát követően kialakításra került az öntözőrendszer, melynek a vízforrását korábban már kútforrással kiépítették a gépész szakemberek, így a kertben nem hálózati ivóvíz kerül felhasználásra öntözési célra, hanem kútvíz. Ez annyiban érdekes, hogy a kútnál lévő és keletkező PVC cső és egyéb műanyag hulladékok adataival nem rendelkezem. Az öntözőrendszerhez felhasznált műanyag mennyisége 63 kg volt. Ezek többnyire, PE, a PE-n belül használunk LPE és KPE csővezetéseket. A KPE cső egy közkedvelt rövidítés, de kevesen tudják, hogy mit is jelent a mozaik szó. A megnevezés mind két esetben a cső anyagára, minőségére utal. A KPE megnevezés kemény polietilénre utal, azaz nagy szakítószilárdsággal és sűrűséggel rendelkezik. Ellenben az LPE az a lágy polietilén, ezek anyagukat tekintve kis sűrűségűek és könnyűek.

A felhasznált vakondháló mennyisége 200 m² volt, melynek így a tömege 9 kg. Az ágyásokba kavics zúzalékot tettünk, így alá geotextília került beépítésre. A felhasználási területe 50 m² volt, így a mennyisége 7,5 kg. A felhasznált műanyag cserepek száma ennél a kertén csekélynek minősült, összesen 65 db volt, ami K2-es és K5-ös cserepek voltak. 10. ábra A részén. Ezek teljes mennyisége hulladék lett. Ezt egy hulladéklerakóba vittük, ahol pénzért vették át a hulladékot. Ami hulladék lett ebben a kertben azt fotóztam is, ezt a 10. ábra mutatja B részén van PE fóliák, KPE és LPE csőmaradékok és teflon (PTFE) is, ez minimális általában. Próbálok minden építés során figyelni arra, hogy a műanyag mennyisége csökkenjen vagy minimális legyen. Ebbe beleértve azt a műanyagot is amit beépítünk egy kertbe, illetve a maradék fel nem használt anyagokat is. A képen látható, hogy többnyire fólia (PE) az, ami hulladék, illetve van közöttük még teflon szalag maradék és különböző apró műanyag illesztő- és cső alkatrészek. Egyes műanyag idomokat, fóliákba (PE) csomagolják, mert egy féle alkatrész, akár 5-6 darabból is állhat. Ezeknek a csomagoló

anyagoknak a súlya 2 kg. A cserepek száma a 10. ábra mutatja, ezek K2 konténertől K5-ös konténerig vannak vegyesen, és van még K8-as is. Súlyuk összesen 19,5 kg.



A

B

10. ábra – Tököli kertépítés során képződött műanyag hulladék

Budapest 2. kerület, Pasarét 2023.06.

A Pasaréti kertépítés folyamatát több lépésben valósítottuk meg. A kert mérete 520 m² volt. Először is, a területre szállítottuk a 25 m³ földet és megcsináltattuk a talajmunkát munkagépekkel, hogy megfelelő alapot biztosítsunk a kert kialakításához. Ezt követően nekiláttunk az öntözőrendszer kialakításának, melyhez 59 kg műanyag került felhasználásra, valamint PVC csöveket alkalmaztunk a csapadékvízvezetés kialakításához. Ahhoz, hogy a területen ne legyen pangó víz, kialakítottunk egy hatékony drénrendszert. Ehhez használtuk a PVC csöveket, biztosítva a megfelelő vízvezetést. 4 fm hosszan, ami 14 kg. A fm KG PVC cső súlya 3,5 kg.

Ezek után került sor a vakondháló fektetésére, ehhez összesen 300 m² vakondhálót helyeztünk el a területen, melynek súlya 13,5 kg. A következő lépésként növényeket ültettünk a kertbe, ami 78 darab műanyag cserep felhasználásával járt, beleértve a 25 literes HDPE anyagú változatokat is. Végül, a kert kialakításának befejező lépéseként mulcsot szórtunk a területre. Összesen 100 zsák mulcsot használtunk fel, melynek célja a talaj

nedvességének megőrzése, a gyomok visszaszorítása és a talaj hőmérsékletének szabályozása, itt 8 kg lett felhasználva. Ezen munkafázisok végrehajtása során kiemelkedő figyelmet fordítottunk a hulladékok kezelésére is. Például a 25 literes cserepeket visszajuttattuk a kertészetbe, valamint a mulcsos zsákokat ismételten tovább értékesítettük. 23.4 kg cserép keletkezett. A csomagolások során 2 kg, fólia keletkezett és használtunk fel. A projekt teljes folyamata a környezetvédelem és fenntarthatóság elvei mentén zajlott, az eredmény pedig egy harmonikus és élhető kert lett Pasaréten, Budapest II. kerületében.

Budapest, 17. kerület 2024.02.

Budapest 17. kerületében egy régi kertet újíttunk fel, ahol a korábbi növények teljes mennyiségét kiszedtük és elvitettük. Itt a talajkiegyenlítésre összesen 2 m³ darált földet hoztunk, majd további 2,5 m³ komposzttal kevert daráltföldet. Ez a kertméret teljes egészében megegyezett az előző, törökbálinti építésünkkel, kb. 230 m² volt. A gyepfelületünk 200 m², az ágyásunk 30 m²-re tehető. A területen a szegélyek lerakását követően öntözőrendszer kiépítése történt meg. Itt 40 kg műanyagot használtunk fel hozzá. Az ágyásban lévő geotextília 30 m² volt, ami 4.5 kg-nak felel meg, a vakondháló mennyisége a 200 m²-hez mérten 9 kg. Beüzemeltünk egy robotfűnyírót is, ami gyárilag egy karton tárolódobozban volt elhelyezve, a sérülések elkerülése miatt polisztirolba ágyazva. A kibontását körültekintően végeztük, hogy ne aprózódjon a polisztirol, ezt a tulajdonos minden tartozékával eltette megőrzésre, így abból hulladék nem keletkezett. A műanyag cserepek száma 62 db, melyet a megrendelő megtartott későbbi, esetleges felhasználás céljából. Így abból sem keletkezett a mi esetünkbe hulladék, de 18,6 kg volt tömegben. Ami hulladék lett, az az öntözőrendszer kialakításból származó fólia és műanyag cső maradékok, körülbelül 2 kg. Vízvezetésre 2 fm KG PVC csővezetékét használtunk. Ami 1 fm-re vetítve 3,5 kg, így összesen 7 kg.

A kertépítési adatok táblázatos összefoglalása

A mellékelt táblázatban (11. ábra) összefoglaltam a tíz különböző kertépítési helyszínen felhasznált műanyagtermékeket és meghatároztam azok súlyát kilogrammban. A súlymeghatározás technikailag nem volt bonyolult, mivel minden terméknek megvannak a saját műszaki adatai, amelyek a szállítóleveleken megtalálhatók. A táblázatban kiértékeltem és összesítettem, hogy egy adott termékből a 10 építés során mennyi került felhasználásra.

Építés helyszíne, terület nagysága		Törökbálint 230 m ²	Csömör 600 m ²	Dunaharaszti 340 m ²	Solymár 700 m ²	Cinkota 900 m ²	Maglód 640 m ²	Budaörs 300 m ²	Tököl 350 m ²	Pasarét 520 m ²	Bp. 17.kerület 230 m ²		
Anyag felhasználás	Műanyag típus	kg											Összesen
Öntözőrendszer, csövezetékek, szikkasztórekesz	PE (KPE,LPE)	42,0	61,0	64,0	593,0	86,0	48,0	57,0	63,0	59,0	40,0	1113,0	
Geotexil	PP, PET	4,5	30,0	15,0	35,4	30,0	-	-	7,5	-	4,5	126,9	
Zsák (terményes zsák)	PP	-	-	-	16,0	16,0	8,0	4,0	-	8,0	-	52,0	
Drén csövezés, kerti szegély, tófolia	PVC	-	146,0	-	81,0	-	-	-	-	14,0	7,0	248,0	
Vakondháló	PP	9,0	12,6	12,0	11,2	9,0	10,8	10,0	9,0	13,5	9,0	106,1	
Cserepek, edények	HDPE, LDPE, PP	17,5	-	-	135,0	37,2	12,0	15,0	19,5	23,4	18,6	278,2	
Csomagoló anyag	PS, PE	4,0	1,0	1,0	3,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	20,0	

11. ábra Kertépítés során felhasznált műanyagok mennyisége

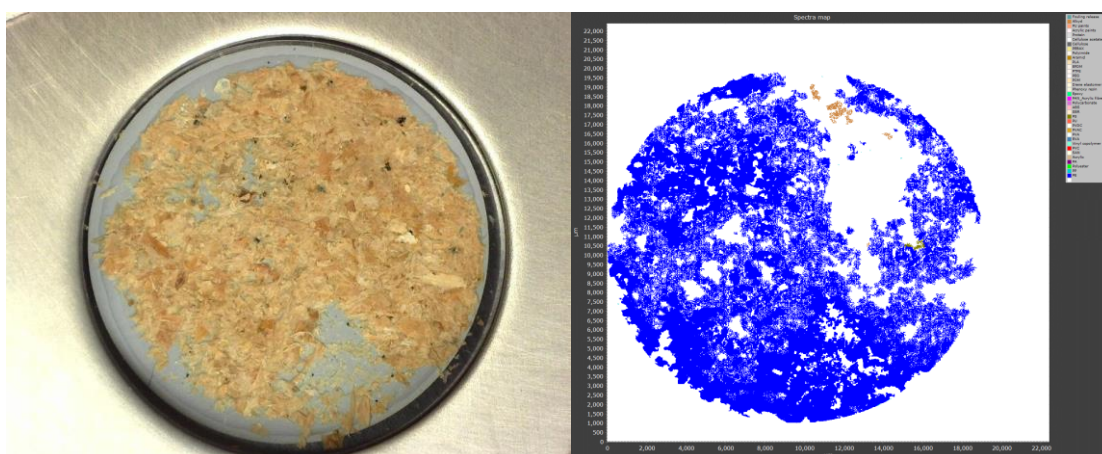
A táblázatból (11. ábra) látható, hogy az átlagos méretűnek tekinthető családi kertekben, mennyi műanyagot használtunk fel. Itt megfigyelhető, hogy az öntözőrendszerek polietilén (PE) alkotórészei tették ki a műanyagok használatának nagy részét, ami több mint 1 tonna. A második nagy felhasználási volument pedig a polietilén (PE) és polipropilén (PP) anyagú cserepek, edények (kb. 280 kg), illetve a polivinil-klorid (PVC) drén csövek/kerti szegélyek/tófoliák (kb. 250 kg) adták. A tíz helyszínen összességében majdnem 2 tonna (kb. 1 944 kg) műanyag került felhasználásra, aminek döntő többsége polietilén (PE) volt, ezt követte a polipropilén (PP), a polivinil-klorid (PVC), majd kisebb mennyiségekben a polietilén-tereftalát (PET) és a polisztirol (PS).

4.2.A komposzt és talajminták mikroműanyag tartalma

Ebben a fejezetben ismertetem a laboratóriumi mérési eredményeket, az egyes mintákból kimutatható mikroműanyag részecskék fajtáit és számát.

4.2.1. A BKM-FŐKERT komposzt minta (KOMP) mikroműanyag tartalma

A komposzttelepről vett minta mikroműanyag tartalma azért fontos a számunkra, mert a kertépítési munkáimnál felhasznált talaj-komposzt keverékek alapjául ez BKM-FŐKERT komposzttelepről származó komposzt szolgált. A **KOMP** jelzésű mintában, amely vizsgálathoz bemért mennyisége 2,66 g volt, összesen 89 db mikroműanyag részecskét lehetett azonosítani (12.ábra). A mintában meghatározó a 81 db polietilén (PE) részecske volt, ezen felül 4 db alkid, 3 db polisztirol (PS) és 1 db polipropilén (PP) részecske volt jelen.



A

B

12. ábra – **KOMP** jelzésű komposztminta. A: a szűrt, natív minta, B: mikroműanyag részecskék FTIR azonosítás után. A részecskék színezését anyagfajtanként az értékelő program végzi.

A **KOMP** mintában részecske/szárazanyag g-ra kiszámítva, 76%-os szárazanyag-tartalom mellett, a 40,52 db polietilén (PE), 2 db alkid, 1,5 db polisztirol (PS) és 0,5 db polipropilén (PP), vagyis összesen 44,52 db mikroműanyag részecske volt jelen. Százalékos eloszlásban az alábbi értékek figyelhető meg: a mintában felelhető mikroműanyag részecskék számának 91%-a PE, 4,5%-a alkid, 3,4 %-a PS és 1,1%-a PP volt. A számítógépes program becslése szerint a **KOMP** minta szárazanyag g-onként 255 531,75 µg polietilént (PE), 47,2 µg alkidot, 4,56 µg polisztirolt (PS) és 0,02 µg polipropilént (PP) tartalmazott, ami összességében kb. 255 583 µg, azaz 255 mg/szárazanyag g műanyag jelenlétét feltételezi A mért és számított adatokat táblázatos formában a 13. ábrán mutatom be.

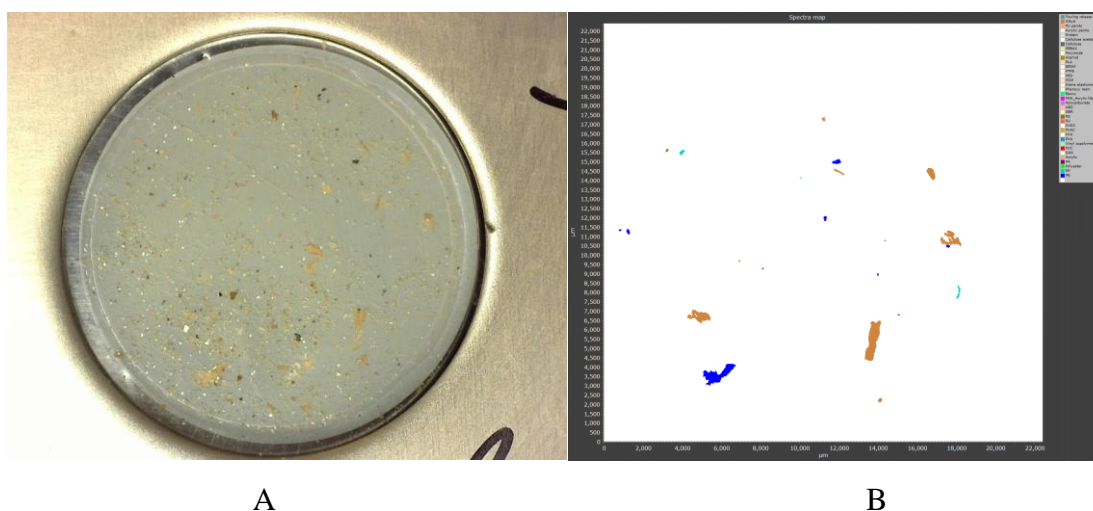
Adatok/polimer típus	MP szám a 2,66 g bemért mintában (db)	MP részecske db/sza. g	MP részecskék megelosztása szá. g-ra vetítve (%)	MP számított mennyiség µg/sza. g
PE	81	40,52	91	255 531,75
Alkid	4	2	4,5	47,2
PS	3	1,5	3,4	4,56
PP	1	0,5	1,1	0,02
Összesen:	89	44,52	100	255 583,53

MP: mikroműanyag, szá.: szárazanyag, PE: polietilén, PS: polisztirol, PP: polipropilén

13. ábra A **KOMP** jelű komposztminta fontosabb mért és számított paramétereit táblázatba foglalva

4.2.2. A tököli mintavételi helyszínen vett talajminta (TATÖ) mikroműanyag tartalma

A tököli kertépítés során vett **TATÖ** jelzésű talajmintában, amely vizsgálathoz bemért mennyisége 10,45 g volt, összesen 22 db mikroműanyag részecskét lehetett azonosítani (14.ábra). A mintában meghatározó a 9 db polietilén (PE) részecske volt, emellett 7 db alkid, 5 db polisztriol (PS) és 1 db polipropilén (PP) részecske volt jelen.



14. ábra – **TATÖ** jelzésű talajminta. A: a szűrt, natív minta, B: mikroműanyag részecskék FTIR azonosítás után. A részecskék színezését anyagfajtként az értékelő program végzi.

A **TATÖ** mintában részecske/szárazanyag g-ra kiszámítva, 87%-os szárazanyag tartalom mellett, a 0,99 db polietilén (PE), 0,77 db alkid, 0,55 db polisztriol (PS) és 0,11 polipropilén (PP), vagyis összesen 2,42 db mikroműanyag részecske volt jelen. Százalékos

eloszlásban a mintában található mikroműanyag részecskék számának 40,9%-a PE, 22,7%-a PS, 31,8 %-a alkid és 4,5%-a PP volt.

A számítógépes program becslése szerint a **TATÖ** minta szárazanyag g-onként 15,76 µg polietilént (PE), 43 µg alkidot, 0,12 µg polisztirolt (PS) és 0,29 µg polipropilént (PP) tartalmazott, ami összességében kb. 59,18 µg, azaz 0,059 mg/szárazanyag g műanyag jelenlétét feltételezi a talajmintában. A mért és számított adatokat táblázatos formában a 15. ábrán mutatom be.

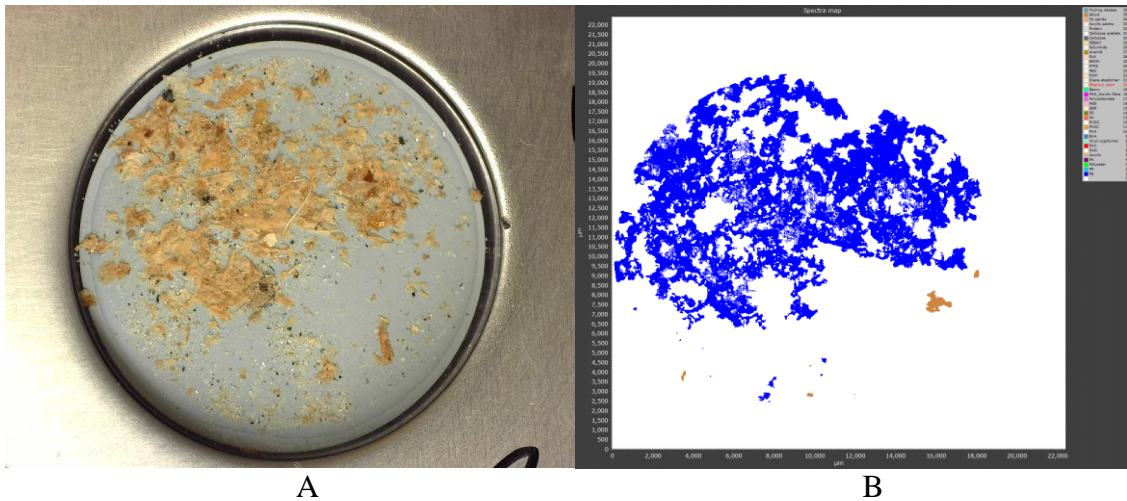
Adatok/polimer típus	MP szám a 10,45 g bemért mintában (db)	MP részecske db/sza. g	MP részecskék megelosztása sza. g-ra vetítve (%)	MP számított mennyiség µg/sza. g
PE	9	0,99	40,9	15,76
Alkid	7	0,77	31,8	43
PS	5	0,55	22,7	0,12
PP	1	0.11	4,5	0,29
Összesen:	22	2,42	100	59,18

MP: mikroműanyag, sza.: szárazanyag, PE: polietilén, PS: polisztirol, PP: polipropilén

15. ábra TATÖ jelű talajminta fontosabb mért és számított paramétereit táblázatba foglalva

4.2.3. A tököli mintavételi helyszínen vett komposzt-talaj keverék minta (KTTÖ) mikroműanyag tartalma

A tököli kertépítés során vett minta egy komposzttal kevert talajból származott, ez azért volt fontos számunka mert ebbe a talajkeverékbe már a vizsgált komposztot (KOMP) is belekevertettük. A komposzttal kevert földet a megrendelő kerttulajdonos igényei szerint állították elő, jelen esetben ¼ komposzt és ¾ darált föld volt a kívánt arány. A **KTTÖ** jelzésű mintában, amely vizsgálathoz bemért mennyisége 5,23 g volt, összesen 26 db mikroműanyag részecskét lehetett azonosítani (16.ábra). A mintában meghatározó a 18 db polietilén (PE) részecske volt, ezen felül 5 db alkid, 2 db polisztirol (PS) és 1 db poliamid (PA) részecske volt jelen.



16. ábra – *KTTÖ* jelzésű komposzt-talaj keverék minta. A: a szűrt, natív minta, B: mikroműanyag részecskék FTIR azonosítás után. A részecskék színezését anyagfajtánként az értékelő program végzi.

A **KTTÖ** mintában részecske/szárazanyag g-ra kiszámítva, 89%-os szárazanyag tartalom mellett, a 3,87 db polietilén (PE), 1,07 db alkid, 0,43 db polisztirol (PS) és 0,21 db poliamid (PA), vagyis összesen 5,58 db mikroműanyag részecske volt jelen. Százalékos eloszlásban az alábbi értékek figyelhető meg: 69,2%-a PE, 19,2%-a alkid, 7,7 %-a PS és 3,8%-a PA.

A számítógépes program becslése szerint a **KTTÖ** minta szárazanyag g-onként 42 401,2 µg polietilént (PE), 41,51 µg alkidot, 0,03 µg polisztirolt (PS) és 0,03 µg poliamidot (PA) tartalmazott, ami összességében kb. 42 442 µg, azaz 42 mg/szárazanyag g műanyag jelenlétére utal a komposzt-talaj keverék mintában. A mért és számított adatokat táblázatos formában a 17. ábrán mutatom be.

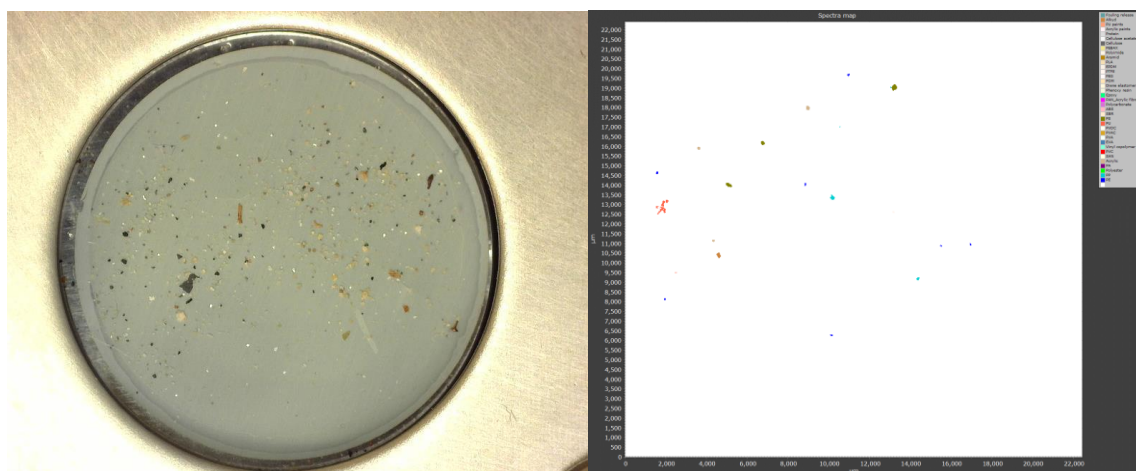
Adatok/polimer típus	MP szám a 5,23 g bemért mintában (db)	MP részecske db/sza. g	MP részecskék megelosztása szá. g-ra vetítve (%)	MP számított mennyiség µg/sza. g
PE	18	3,87	69,2	42 401,2
Alkid	5	1,07	19,28	41,51
PS	2	0,43	7,7	0,03
PA	1	0,21	3,8	0,43
Összesen:	26	5,59	100	42 442,77

MP: mikroműanyag, szá.: szárazanyag, PE: polietilén, PS: polisztirol, PA: poliamid,

17. ábra KTTÖ jelű komposzt-talaj keverék minta fontosabb mért és számított paraméterei táblázatba foglalva

4.2.4. Budapest 17. kerületi kertépítés során felhasznált talajból vett minta (TA17) mikroműanyag tartalma

A Budapest 17.kerületi kertépítés során vett **TA17** jelzésű talajmintában, amely vizsgálathoz bemért mennyisége 10,13 g volt, összesen 20 db mikroműanyag részecskét lehetett azonosítani (18.ábra). A 7 db polietilén (PE) részecske mellett 6 db polisztirol (PS), 4 db akril, 2 db poliuretán (PU) és 1 db alkid részecske volt jelen.



A

B

18. ábra TA17 jelzésű talajminta. A: a szűrt, natív minta, B: mikroműanyag részecskék FTIR azonosítás után. A részecskék színezését anyagfajtánként az értékelő program végzi.

A **TA17** mintában részecske/szárazanyag g-ra kiszámítva, 87%-os szárazanyag tartalom mellett, 0,79 db polietilén (PE), 1,07 db alkid, 0,68 db polisztirol (PS), 0,45 db akril,

0,23 db poliuretán (PU) és 0,11 db alkid, vagyis összesen 2,27 db mikroműanyag részecske volt jelen. Százalékos eloszlásban a mintában a mikroműanyag részecskék aránya 35%-a PE, 30%-a PS, 20 %-a akril, 10%-a PU és 5%-a alkid volt.

A számítógépes program becslése szerint a **TA17** minta szárazanyag g-onként 0,16 µg polietilént (PE), 0,28 µg alkidot, 1,18 µg polisztirolt (PS), 0,71 µg poliuretán (PU) és 0,53 µg akrilt tartalmazott, ami összességében kb. 3,5 µg, azaz 0,003 mg/szárazanyag g műanyag jelenlétét feltételezi a talajmintában. A mért és számított adatokat táblázatos formában a 19. ábrán mutatom be.

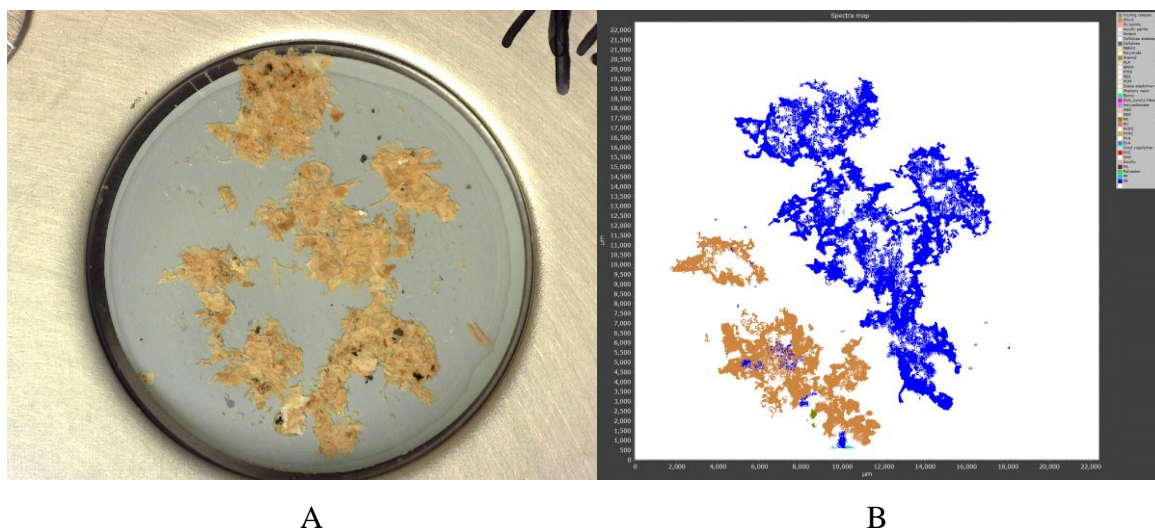
Adatok/polimer típus	MP szám a 10,13 g bemért mintában (db)	MP részecske db/sza. g	MP részecskék megelosztása sza. g-ra vetítve (%)	MP számított mennyiség µg/sza. g
PE	7	0,79	69,235	0,16
Alkid	6	0,11	19,28	0,28
PS	4	0,68	1,18	1,81
PU	2	0,23	7,7	0,71
Akril	1	0,45	3,8	0,53
Összesen:	20	2,27	100	3,5

MP: mikroműanyag, sza.: szárazanyag, PE: polietilén, PS: polisztirol, PU: poliuretán

19. ábra TA17 jelű talajminta fontosabb mért és számított paramétereit táblázatba foglalva

4.2.5. Budapest 17. kerületi kertépítés során vett komposzt-talaj keverék minta (KT17) mikroműanyag tartalma

A Budapest 17. kerületi kertépítés során vett (**KT17**) minta egy komposzttal kevert talajból származott és ebbe a már a vizsgált (KOMP) komposztot is belekevertettük (¼ komposzt és ¾ darált föld). A **KT17** jelzésű mintában, amely vizsgálathoz bemért mennyisége 5,22 g volt, összesen 48 db mikroműanyag részecskét lehetett azonosítani (20. ábra). A mintában meghatározó a 31 db polietilén (PE) részecske volt, ezen felül 10 db alkid, 5 db polisztirol (PS) és 2 db polipropilén (PP) részecske volt jelen. 13. ábrán, táblázatosan összefoglalva.



20. ábra *KT17* jelzésű komposzt-talaj keverék minta. A: a szűrt, natív minta, B: mikroműanyag részecskék FTIR azonosítás után. A részecskék színezését anyagfajtként az értékelő program végzi.

A **KT17** mintában részecske/szárazanyag g-ra kiszámítva, 84%-os szárazanyag tartalom mellett, 7,07 db polietilén (PE), 2,28 db alkid, 1,14 db polisztirol (PS) és 0,46 db polipropilén (PP), vagyis összesen 10,95 db mikroműanyag részecske volt jelen. Százalékos eloszlásban az alábbi értékek figyelhető meg a mintában: 64,6%-a PE, 20,8%-a alkid, 10,4%-a PS és 4,2%-a PP.

A számítógépes program becslése szerint a **KT17** minta szárazanyag g-onként 9738,96 μg polietilént (PE), 4213,58 μg alkidot, 2,86 μg polisztirolt (PS) és 0,43 μg polipropilént (PP) tartalmazott, ami összességében kb. 13 955 μg , azaz 13 mg/szárazanyag g műanyag jelenlétére utal a komposzt-talaj keverék mintában. A mért és számított adatokat táblázatos formában a 21. ábrán mutatom be.

Adatok/polimer típus	MP szám a 5,22 g bemért mintában (db)	MP részecske db/sza. g	MP részecskék megelosztása szá. g-ra vetítve (%)	MP számított mennyiség µg/sza. g
PE	31	7,07	64,6	9 738,96
Alkid	10	2,28	20,8	4213,58
PS	5	1,14	10,4	2,86
PP	2	0,46	4,2	0,43
Összesen:	48	10,95	100	13 955,83

MP: mikroműanyag, szá.: szárazanyag, PE: polietilén, PS: polisztirol, PP: polipropilén,

21. ábra KT17 jelű komposzt-talaj keverék minta fontosabb mért és számított paramétereit táblázatba foglalva

4.2.6. A minták mikroműanyag tartalmának összehasonlítása

Az alábbi fejezetben táblázatos formában (22. ábra) összehasonlítom a minták mikroműanyag tartalmát. A táblázatban a mikroműanyag részecskék darabszámai vannak feltüntetve, darab/szárazanyag grammra vetítve.

Mintajel/MP főkomponens	KOMP	TATÖ	KTTÖ	TA17	KT17
PE	40,52	0,99	3,87	0,79	7,07
Alkid	2	0,77	1,07	0,11	2,28
PS	1,5	0,55	0,43	0,68	1,14
PP	0,5	0,11	0,0	0,0	0,46
PU	0,0	0,0	0,0	0,23	0,0
Akril	0,0	0,0	0,0	0,45	0,0
PA	0,0	0,0	0,21	0,0	0,0
Összesen:	44,52	2,42	5,59	2,27	10,95

MP: mikroműanyag, PE: polietilén, PS: polisztirol, PP: polietilén, PU: poliuretán, PA: poliamid
KOMP: BKM-FŐKERT komposztminta, **TATÖ:** Tököli kertépítés talajminta, **KTTÖ:** Tököli kertépítés komposzt-talaj keverék minta, **TA17:** Budapest 17. kerületi kertépítés talajminta, **KT17:** Budapest 17. kerületi kertépítés komposzt-talaj keverék minta.

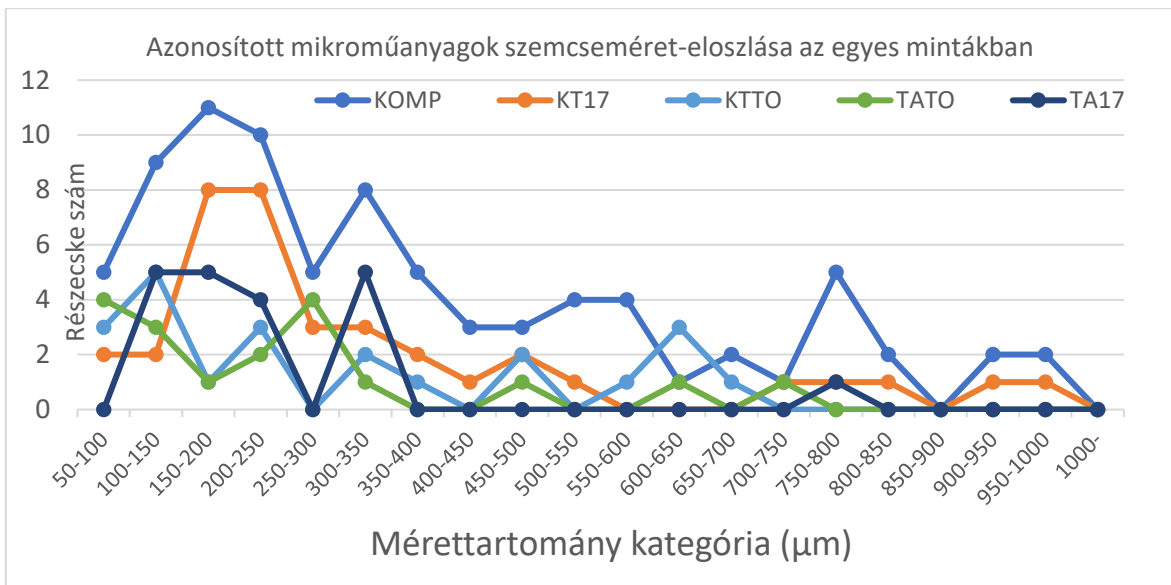
22. ábra. Mikroműanyag (MP) részecskék darabszáma szárazanyag g-ra vetítve a különböző komposzt, talaj és komposzt-talaj keverék mintákban.

A táblázatban (22.ábra) megfigyelhető, hogy a BKM-FŐKERT komposztminta (**KOMP**), szárazanyag-tartalomra vetített mikroműanyag tartalma a legmagasabb 44,52 db részecskével. A legalacsonyabb értékeket a talajminták mikroműanyag koncentrációi mutatják: a tököli talajmintában (**TATÖ**) 2,42 db, a Budapest 17. kerületi (**TA17**) talajmintában pedig 2,27 db mikroműanyag volt. A BKM-FŐKERT komposzt (**KOMP**) talajokhoz való bekeverése (1/4 arányban) viszont rendre megnövelte a komposzt-talajkeverék **KTTÖ** és **KT17** mintákból kimutatható mikroműanyag mennyiségeket. A tököli (**TATÖ**, **KTTÖ**) minták esetében ez kétszeres (2,42 db, illetve 5,59 db), a Budapest 17. kerületi mintáknál (**TA17**, **KT17**) négyszeres (2,27 db, illetve 10,95 db) növekedést jelentett.

A táblázat adatai szerint a polietilén (PE), az alkid és a polisztirol (PS) minden mintában előfordult, számuk tekintve ugyanebben sorrendben. A polipropilén (PP) három mintában volt jelen: a komposztmintában (KOMP), a tököli talajmintában (TATÖ) és a Budapest 17. kerületi komposzt-talaj keverék mintában (KT17). A három mintában a polipropilén (PP) mennyisége a polietilén (PE), az alkid és a polisztirol (PS) mennyiségét követte. Ezek alapján az öt mintában a leggyakrabban előforduló mikroműanyag típusok a polietilén (PE), az alkid, a polisztirol (PS) és a polipropilén (PP) voltak.

Megfigyelhető, hogy a **KTTÖ** komposzt-talaj keverék mintában kimutatható volt poliamid (PA) is, ami más mintában nem jelentkezett, de ugyanúgy komposzttal volt keverve, és sem a komposztban, sem a másik komposzttal kevert talajban nem volt kimutatható mennyiségben. Érdekes még a **TA17** minta, amiben akril és poliuretán (PU) is kimutatható volt, ez más mintában nem volt jelen, ez arra enged következtetni, hogy ez a talajunk szennyezett volt építési hulladékból bekerülő műanyaggal. (A poliuretán hőszigetelő, porladó anyag, az akril pedig víztiszta vagy színezett, legtöbbször fóliává, lapokká formulázott anyag, „plexi-üvegként” is ismeretes.) A komposzt bekeverése viszont kihígíthatta ezeket a kis mennyiségeket, ezért már a komposzttal kevert talajból (**KT17**) egyik anyagot sem lehetett kimutatni.

Az azonosított mikroműanyagok szemcseméret-eloszlását a bemért mintákban a 23. ábrán mutatom be.



KOMP: BKM-FŐKERT komposztminta, **TATÖ:** Tököli kertépítés talajminta, **KTTÖ:** Tököli kertépítés komposzt-talaj keverék minta, **TA17:** Budapest 17. kerületi kertépítés talajminta, **KT17:** Budapest 17. kerületi kertépítés komposzt-talaj keverék minta.

23.ábra Az azonosított mikroműanyagok szemcseméret-eloszlása az egyes mintákban

A 23. ábrán szereplő diagramból kiolvasható, hogy jellemzően az 50 és az 500 µm között volt a legtöbb mért mikroműanyag részecske, ebből is kifejezetten sok a **KOMP** komposztmintában.

5. Következtetések és javaslatok

A dolgozatban bemutatott kertépítési munkáimat az időütemezés, a felhasznált anyagok és a hulladékok minimalizálása és szakszerű elhelyezése szempontjából mindig gondos tervezés és a megrendelővel való egyeztetés előzi meg. Munkáim során mindig törekedtem arra, hogy műanyagokat – mint természetidegen és fokozottan perzisztens anyagokat – csak a legszükségesebb mennyiségben használjak fel. Sajnos a kertépítési tevékenység során nem lehet mellőzni a műanyagokat egyszerűen azért, mert a legtöbb beépítendő anyag, eszköz a formázhatóság, az alakíthatóság, a könnyűség, a tartósság és a jó ár/érték arány miatt ebből készül, a gyártók és a megrendelők is ragaszkodnak hozzájuk. Igazából az ipar és a kereskedelem jelenleg nem biztosít a műanyagokat kiváltó alternatívákat, megoldásokat a létező környezettudatos kertépítők és megrendelők számára.

Ebben a helyzetben a magam eszközeivel annyit tudok tenni, hogy a kivitelezés során igyekszem a műanyagok közül az újrahasznosított termékeket előnyben részesíteni, illetve pl. a műanyag zsákokat, cserepeket összegyűjtöm, értékesítem, a műanyag hulladékokat szelektíven gyűjtöm és adom le a megfelelő helyen. Emellett az igénybe vett anyagokat próbálok minimális veszteséggel alkalmazni, így csak a további felhasználásra ténylegesen alkalmatlanok kerülnek a kommunális hulladékba. Ezzel a felfogással és tevékenységgel igyekszem a körforgásos gazdaság/gazdálkodás igényeit - még ha csak kis lépésekben és léptékben is - teljesíteni a magam szakterületén.

A tíz kertépítési helyszínen összességében majdnem 2 tonna (kb. 1 944 kg) műanyag került felhasználásra. Ezen belül az öntözőrendszerek polietilén (PE) alkotórészei tették ki a műanyagok használatának nagy részét, ami több mint 1 tonna volt (1113 kg). Ezek többségében mindig a talajba kerülnek és a termék életciklusának végéig ott is maradnak, de ugyan ez igaz a legtöbb műanyag fajtára, amit beépítünk, így szinte mindegyik a talajba kerülve veszi fel a végső felhasználási helyét. A második nagy felhasználási volument a polietilén (PE) és polipropilén (PP) anyagú cserepek, edények (kb. 280 kg), illetve a polivinil-klorid (PVC) drén csövek/kerti szegélyek/tófóliák (kb. 250 kg) adták. Ezek közül kiemelkedő egészségügyi kockázatot jelenthet a PVC. A WHO IARC szerint a monomerje, a vinil-klorid, emberben bizonyítottan rákkeltő anyag, amely daganatokat képezhet főként a tüdőben, a gégefőben, a petefészekben ([http13](http://13)). Kertépítés során PVC csövek használatosak pl. drén rendszerek kialakításához (esővíz mentése, elvezetése öntözési célra), a felesleges víz elvezetéséhez, kútvíz kinyeréséhez béléscsőként, kerti szegélyként és tóbélelő fóliaként. A vinil-klorid ezekből átoldódhat, „átszivároghat” a vizes közegekbe, a talajba, ezzel

egészségügyi és környezeti kockázatot okozva. Mivel a mintázott kertépítési területekre érkező talajok és komposztok a saját vizsgálataink szerint nem tartalmaztak PVC-t, ezért ennek a polimernek a használata hosszú távon hozzájárulhat a kerti talajok PVC mikroműanyag és vinil-klorid terheléséhez.

Tartósságában és árában versenyképes helyettesítő terméket a PVC idomokra, csővezetékekre, tófoliára egyelőre nem lehet találni. Ágyásszegélyek vonatkozásában léteznek újrahasznosított anyagúak, ezeket alkalmazom. A későbbiekben ezt a PVC ágyásszegélyt is fel szeretném váltani vaslemez szegélyre, véleményem szerint ez sokkal praktikusabb, időtálló és környezetkímélőbb a műanyaggal szemben.

A kertépítésben felhasznált műanyagok közül a PVC-n kívül a polisztirol monomerje, a vinil-benzol is kiemelkedő egészségügyi kockázattal jár, a WHO IARC az emberben lehetséges rákkeltő anyagként (2B) tartja számon ([http13](http://13)). A kertépítés során a polisztirol leginkább a csomagolóanyagokból származik. A gyártói felelősség tárgykörébe tartozna ezek környezetbarát módon való kiváltása, helyettesítése, amit ösztönözni kellene. Ennek negatív hozadéka a felhasználók szempontjából valószínűsíthetően az lenne, hogy a gyártók az ezzel járó többletköltségeiket beépítenék a fogyasztói árakba.

A környezeti problémák körét tovább árnyalja, hogy a műanyagok összetevői közül az ökoszisztémába kerülő adalékanyagok, illetve bomlástermékek között kimutattak több, a polietilénhez és a polipropilénhez köthető neurotoxikus vegyületet pl. a 1,15-hexadekadiént, illetve a 2-metil-1-pentánt és a 2,4-dimetil-1-heptánt (Růžicková et al., 2022).

Diplomadolgozatom irodalmi áttekintés részében csak felvettem, de nem részleteztem a műfü egyre nagyobb mértékű használatának a problémakörét. Érdekes lenne ennek a környezeti hatásaival is foglalkozni, ugyanis az elmúlt 10 év sláger terméke lett az élő gyeppótlására. A legtöbb gyártó és forgalmazó 8 évet adott meg garanciának, tapasztalatom és véleményem szerint körülbelül ennyi idő kell annak, hogy az UV sugárzás hatására a polimer szálak elkezdjenek aprózódni és szétesni. Mi a múltban sem tettük, és a jövőben sem fogunk műfüves kerteket kivitelezni.

A munkám során vett komposzt, két talaj és két komposzt-talaj keverék mintáim mikroműanyag tartalmának vizsgálatánál megfigyelhető volt, hogy önmagában a vizsgált talajaink is mikroműanyaggal terheltek voltak, de amint komposzttal kevertük őket mennyiségük jelentősen megnőtt. Az öt minta közül a BKM-FŐKERT komposztminta (**KOMP**), szárazanyag-tartalomra vetített mikroműanyag tartalma bizonyult a legmagasabbnak 44,52 db részecskével, illetve 255 mg tömeggel. A legalacsonyabb értékeket a talajminták mikroműanyag koncentrációi mutatták: a tőköli talajmintában

(**TATÖ**) 2,42 db (0,059 mg), a Budapest 17. kerületi (**TA17**) talajmintában pedig 2,27 db (0,003 mg) mikroműanyag volt. A BKM-FŐKERT komposzt (**KOMP**) talajokhoz való bekeverése (1/4 arányban) viszont rendre megnövelte a komposzt-talajkeverék **KTTÖ** és **KT17** mintákból kimutatható mikroműanyag mennyiségeket. A tököli (**TATÖ, KTTÖ**) minták esetében ez kétszeres (2,42 db, illetve 5,59 db), a Budapest 17. kerületi mintáknál (**TA17, KT17**) négyszeres (2,27 db, illetve 10,95 db) növekedést jelentett. Mikroműanyag tömeg vonatkozásában még nagyobb arányú emelkedés figyelhető meg. Így a komposzt bekeverése a tököli minták ((**TATÖ, KTTÖ**) esetében 710-szeres (0,059 mg, illetve 42 mg), a Budapest 17. kerületi mintáknál (**TA17, KT17**) pedig 4300-szoros (0,003 mg, illetve 13 mg) mikroműanyag tömeg-növekedést okozott.

A talajmintáimban (**TA17, TATÖ**) mért, szárazanyag grammra vetített mikroműanyag darabszám (2,27 -2,42) az elején helyezkedik el annak a mennyiségi skálának, amelyeket a külföldi szakirodalmakból megismertem (0, 062 – 42 db). Tömegüket tekintve (**TA17: 0,003 mg, TATÖ: 0,059 mg**) az egyik talajmintám értéke egy nagyságrenddel alatta marad, a másiké éppen eléri szakirodalmi skála 0,055 – 67,5 mg alsó határát.

Sajnos a komposzt mintánál (**KOMP**) már nem ad ilyen jó eredményt az összehasonlítás, míg a szakirodalmi adatok 0,012 – 20 db/ szárazanyag g tartományt jeleztek, addig a **KOMP** mintából 44,52 db mikroműanyagot lehetett kimutatni. A szakirodalmi adatok 0,05- 1,36 mg/g tömegben adták meg a komposztokban a mikroműanyagok előfordulását, addig a **KOMP** mintában 255 mg/g koncentrációt lehetett mérni.

A begyűjtött mintákban a leggyakrabban előforduló mikroműanyag típusok a polietilén (PE), az alkid, a polisztirol (PS) és a polipropilén (PP) voltak, ez egyezést mutat a szakirodalmi adatokkal. Mintáinkban nem találtunk PVC-t a mikroműanyagok között, annak ellenére, hogy a külföldi tanulmányok mind a talajban, mind pedig a komposztokban jelzik a jelenlétét.

Mivel a begyűjtött és vizsgálható mintáim száma alacsony volt, ezért a nyert adatok statisztikai feldolgozásra, összehasonlításra nem alkalmasak, viszont jelzik és megerősítik azt a kiindulási hipotézisemet, hogy a zöldhulladék komposztok talajokhoz való keverésével jelentős mikroműanyag terhelést okozhatunk, akár a kertépítési tevékenységek során is. Ez egybevág azokkal a német kutatási eredményekkel (Braun et al., 2022), amelyek szerint a komposztok alkalmazását potenciális szennyezőforrásnak kell tekinteni mind a

mezőgazdasági, mind a kertészeti talajok esetében. A szerzők ugyanakkor sürgetik azokat a műszaki megoldásokat, amelyek minimalizálják a szennyeződési kockázatokat, hiszen a komposztokra az intenzív és egészséges talajélet biztosítása érdekében fokozottan szükség van. Véleményem szerint a komposztokban a mikroműanyag szám és tömeg csökkentésének a fővárosi, komposztálással foglalkozó telephelyeken az első lépése a beérkező zöldhulladékokból a bennük szemmel is látható műanyagok (pl. cserepek, kötöző, kötegelő anyagok, zsákok, fóliák, ezek darabjai stb.) eltávolítási határfokának a növelése lehetne.

6. Összefoglalás

Diplomadolgozatomban a világot évente elárasztó 400 - 500 millió tonna műanyag és a belőlük képződő mikroműanyagok kertépítési tevékenységemben való megjelenésével foglalkoztam. Budapesten és vonzaskörzetében lévő tíz helyszín példáján keresztül először gyűjtöttem össze tájékoztató jellegű hazai adatokat a kertépítések során alkalmazott műanyagok fajtáiról és mennyiségéről. Kiderült, hogy ezekben a 230-900 m² területű kertekben mintegy 2 tonna műanyag került felhasználásra. Ezen belül az öntözőrendszerek polietilén (PE) alkotórészei tették ki a műanyagok nagy részét (1113 kg). Ezt követték a polietilén (PE) és polipropilén (PP) anyagú cserepek, edények (kb. 280 kg), illetve a polivinil-klorid (PVC) drén csövek/kerti szegélyek/tófóliák (kb. 250 kg).

Személyes interjúk alapján bepillantást nyújtottam a Főváros zöldhulladék komposztálási tevékenységébe a BKM FŐKERT Kertészeti Divízió és a BKM FKF Hulladékgazdálkodási Divízió példáján keresztül.

Az Eurofins Kft. munkatársainak segítségével vizsgáltam a kertépítési tevékenységem során vett zöldhulladék komposzt (BKM FŐKERT), két talaj és két komposzt-talaj keverék mintáim mikroműanyag tartalmát. Önmagukban a talajok is mikroműanyaggal terheltek voltak (2,27- 2,42 db/g szárazanyag), de amint komposzttal (44,52 db/sza.) kevertük őket előfordulásuk duplázódott, illetve négyszereződött a komposzt-talaj keverékekben.

Mivel a begyűjtött és vizsgálható mintáim száma alacsony volt, ezért a nyert adatok statisztikai összehasonlításra nem alkalmasak, viszont jelzik és megerősítik azt a kiindulási hipotézisemet, hogy a zöldhulladék komposztok talajokhoz való keverésével jelentős mikroműanyag terhelést okozhatunk a kertépítési tevékenységek során.

Ez egybevág azokkal a külföldi kutatási eredményekkel, amelyek szerint a komposztok felhasználását potenciális szennyezőforrásnak kell tekinteni, mind a mezőgazdasági, mind a kertészeti talajok esetében. A kutatók ugyanakkor hiányolják azoknak a műszaki eljárásoknak az alkalmazását, amelyekkel minimalizálni lehet a szennyeződési kockázatokat, hiszen a komposztokra az egészséges talajélet biztosítása érdekében fokozottan és kikerülhetetlenül szükség van.

Tapasztalataim szerint a fővárosi telephelyeken a komposztokban a mikroműanyag csökkentés első lépése a beérkező zöldhulladékokból a bennük akár szabad szemmel is látható műanyagok (pl. cserepek, kötöző, kötegelő anyagok, zsákok, fóliák, ezek darabjai stb.) eltávolítási hatásfokának a növelése lehetne.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni konzulensemnek, Dr. Szoboszlai Sándornak a diplomadolgozatom készítéséhez nyújtott megannyi segítségét, folyamatos konzultációját és tanácsait. Az egész mesterszakra nyújtott támogatásáért. Hálás vagyok, hogy egy olyan témában tudtam megírni a diplomamunkámat, melyben, több mint egy évtizede állandó részese vagyok és melyben a szakma iránti elkötelezettségem szünetlen. Továbbá szeretném megköszönni az Eurofins Kft. együttműködését, külsős konzulensemnek Prikler Bencének, hogy mikroműanyag mérésének vizsgálatát tudták elvégezni, mely remélhetőleg a jövőben még lehetőséget biztosít ennek a szakmának a jobbá tételének. Köszönöm a Budapesti Közművek együttműködését, hogy lehetőséget biztosítottak két telephelyükön is a személyes részvételt. Diplomamunkám elkészítését a „Multiparaméteres vizsgálati rendszerek kifejlesztése a mikroműanyagok környezeti hatásainak elemzésére” című, 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2021-00239 számú kutatási projekt támogatta.

8. Irodalomjegyzék

- Ainali, Nina Maria, Dimitrios N. Bikiaris, Dimitra A. Lambropoulou (2021): Aging effects on low- and high-density polyethylene, polypropylene and polystyrene under UV irradiation: An insight into decomposition mechanism by Py-GC/MS for microplastic analysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 158, 105207, ISSN 0165-2370, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105207>.
- Boleda M.R., Galceran M. T, Ventura F (2011): Behavior of pharmaceuticals and drugs of abuse in drinking water treatment plant (DWTP) using combined conventional and ultrafiltration and reverse osmosis (UF/RO) treatments. *Environmental Pollution*, 2011. április 2, 159 (6): pp. 1584-1591.
- Bordós Gábor, Reiber, Jens (2016): „Mikroműanyagok a környezetben és a táplálékláncban,” *Élelmiszervizsgálati közlemények, kötet 2.*, pp. 1020-1037, LXXII. évf. 2. szám, 1025p.,
- Braun, M., Matthias Mail, Rene Heyse, Wulf Amelung (2021): Plastic in compost: Prevalence and potential input into agricultural and horticultural soils, *Science of The Total Environment*, 760, 143335, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143335>.
- Briassoulis D, Babou E, Hiskakis M, et al. (2013): Review, mapping and analysis of the agricultural plastic waste generation and consolidation in Europe. *Waste Manag Res.* 2013;31(12):1262-1278. doi:10.1177/0734242X13507968
- Castellano S, Scarascia Mugnozza G, Russo G, Briassoulis D, Mistriotis A, Hemming S and Waaijenberg D (2008): Plastic nets in agriculture: a general review of types and applications. *Applied Engineering in Agriculture* 24L 799–808
- Cox, D. Kieran, Garth A. Covernton, Hailey L. Davies, John F. Dower, Francis Juanes, and Sarah E. Dudas (2019): Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53 (12), 7068-7074
- Defu He, Yongming Luo, Shibo Lu, Mengting Liu, Yang Song, Lili Lei (2018): Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109: 163-172, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>.
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (2016): Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, 104, 290–293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>
- Edo, Carlos, Francisca Fernández-Piñas, Roberto Rosal (2022): Microplastics identification and quantification in the composted Organic Fraction of Municipal Solid Waste, *Science of The Total Environment*, 813: 151902, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>

- Espi E, Salmeron A, Fontecha A, Garcia Y and Real AL (2006): Plastic films for agricultural applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting* 22: 85–102.
- Huerta Fontela Mm, Galceran Mt, Ventura F.(2011): Occurance and removal of pharmaceuticals and hermones through drinking water treatment. *Water Research* 2011 Jan;45(3): doi: 10.1016/j.watres., pp. 1432-1442.
- Izsák Bálint & Vargha Márta (2020): Mikroműanyag az ivóvízben. *Egészségtudomány/ Health Science* 2020., <http://egeszsegtudomany.higienikus.hu/cikk/2020-1-2/EgTud.2020.1-2.105.pdf>
- Kashwidaa, Shosaku (2006): Distribution of Nanoparticles int he See-through Medaka(*Oryziaslatipes*. *Environ Healt Perspect.*114(11), pp. 1697-1702.
- Kerekes, T. (1996). Bevezetés a csomagolástechnikába. I. kötet. Budapest, Magyarország: Papír-Press Egyesülés. ISBN 963 85543 0 4
- Kutasi Csaba (2020): A műanyagok-textiles szemmel is, *Vegyipar és Kémiatudomány, LXXV. ÉVFOLYAM 6. SZÁM*, DOI:10.24364/MKL.2020.06 pp.178-181.(2020)
- Leja K, Lewandowicz G (2010): Polymer biodegradation and biodegradable polymers – a review. *Polish Journal of Environmental Studies* 19: 255–266
- Lwanga E. H., Mendoza Vega J, Ku Quej V, Chi JLA, Sanchez Del Cid L, Chi C, Escalona Segura G, Gertsen H, Salánki T, van der Ploeg M, Koelmans AA, Geissen V. (2017): Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. *Sci Rep.* 7(1):14071. doi: 10.1038/s41598-017-14588-2.
- Mani, T., Hauk, A., Walter, U., Burkhardt-Holm, P. (2015): Microplastics profile along the Rhine River. *Scientific Reports* 5.Articlenumber: 17988.pp. 1-7.
- Mári, Á., Gábor Bordós, Szilveszter Gergely, Mónika Büki, Judit Háhn, Zoltán Palotai, Gabriella Besenyő, Éva Szabó, András Salgó, Balázs Kriszt, Sándor Szoboszlay (2021): Validation of microplastic sample preparation method for freshwater samples, *Water Research*, Volume 202, 117409, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117409>.
- Martin-Closas L, Pelacho AM (2011) Agronomic potential of biopolymer films, biopolymers - new materials for sustainable films and coatings. In: Plackett D (ed) *Biopolymers*, pp. 354. Chichester: John Wiley Sons
- Parrag Tamás Károly (2019): A vízbe kerülő mikroszennyezők és mikroműanyagok kockázatának csökkentése, III: Tolna Megyei Polgári Védelem Munkaműhely Katasztrófák, kockázatok, önkéntesek tanulmánykötet, 2019., pp. 22-36.
- Parrag Tamás Károly (2021): MIKROMŰANYAGOK ELŐFORDULÁSA ÉS KOCKÁZATUK

CSÖKKENTÉSE - Védelem Tudomány –VI. évfolyam, 1. szám, 2021. 1.

- Prikler, B.; Svigruha, R.; Háhn, J.; Harkai, P.; Fodor, I.; Kaszab, E.; Kriszt, B.; Tóth, G.; Szabó, I.; Csenki, Z.; Bordós, G.; Micsinai, A.; Nyíró-Fekete, B.; Palotai, Z.; Lovász, Zs.; Pirger, Zs.; Szoboszlay, S. (2024): Spatial Variations in Microplastics in the Largest Shallow Lake of Central Europe and Its Protecting Wetland Area. *Water*, 16, 1014. <https://doi.org/10.3390/w16071014>.
- Rhodes, C.J. (2018): Plastic pollution and potential solutions. *Sci. Progr.* 2018, 231–232.
- Rilling M., Lehmann, A..(2020): Microplastic in terrestrial ecosystems, *Science*, Vol 368, 6, 1430-1431
- Růžicková, Jana, Helena Raclavská, Michal Šafář, Silvie Koval', Dagmar Juchelková, Marek Kucbel, Barbora Švédová, Karolina Slamová (2022): Fate of microplastics during composting and their leachability, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30, 100867.
- Salama, K.; Geyer, M. (2023): Plastic Mulch Films in Agriculture: Their Use, Environmental Problems, Recycling and Alternatives. *Environments* 2023, 10, 179. <https://doi.org/10.3390/environments10100179>
- Scheurer, M., Bigalke, M. (2018) : Environ: Microplastics in Swiss Floodplain. *Environ Sci Technol* 2018, 52, 6, Publication Date: February 15, pp. 3591–3598.(2018) <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b06003>
- Schwabl P, Köppel S, Königshofer P, Bucsecs T, Trauner M, Reiberger T, Liebmann B. (2019): Detection of Various Microplastics in Human Stool: A Prospective Case Series. *Ann Intern Med.* 2019 Oct 1;171(7):453-457. doi: 10.7326/M19-0618.
- Smith M, Love DC, Rochman CM, Neff RA. (2018): Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Curr Environ Health Rep.*;5(3):375-386. doi: 10.1007/s40572-018-0206-z.
- Svigruha Réka, Fodor István, Maász Gábor, Szoboszlay Sándor, Bordós Gábor, Pirger Zsolt (2019): Jelölt mikroműanyag partikulumok körforgása vízi teszt szervezetekben, Magyar Ökotoxikológia IX konferencia, Poszter szekció.
- Talvitie J., Mikola A., Koistinen A, Setälä O. (2019): Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies, *Water Res.* 123, 2017.07.pp. 401-407. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135417305687>
- Wang, W.J.; Yu, X.; Li, H. (2020): Environmental fate and impacts of microplastics in soil ecosystems: Progress and perspective. *Sci. Total Environ.* 2020, 15, 134841.

Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S. (2013): The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environ Pollut.* 178, pp. 483-492.

Xiong, X.-B.; Zhao, Z.-Y.; Wang, P.-Y.; Mo, F.; Zhou, R.; Cao, J.; Liu, S.-T.; Zhang, F.; Wesly, K.; Wang, Y.-B. (2023): Aging rate, environmental risk and production efficiency of the low-density polyethylene (LDPE) films with contrasting thickness in irrigated region. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 264, 115399.

Yueling Qi, Nicolas Beriot, Gerrit Gort, Esperanza Huerta Lwanga, Harm Gooren, Xiaomei, Yang, Violette Geissen (202): Impact of plastic mulch film debris on soil physicochemical and hydrological properties, *Environmental Pollution*, Volume 266, Part 3, 2020, 115097, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115097>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749120309945>)

Egyéb szakirodalmi források

1. APE Europe (Agriculture Plastic Environment) (2012) Press release. Available at: http://www.plastiquesagriculture.com/PDF_telechargeables/DP_APE_Europe_english.pdf (accessed 19 April 2013).
2. EURÓPAI BIZOTTSÁG: ZÖLD KÖNYV a környezetben található műanyag hulladékokkal kapcsolatos európai stratégiáról, Brüsszel, 2013.3.7., COM (2013) 123 final, pp. 1-24., 7p.(2013)
3. EURÓPAI BIZOTTSÁG (2018): A bizottság közleménye az európai parlamentnek, a tanácsnak, az európai gazdasági és szociális bizottságnak és a régiók bizottságának. A műanyagok körforgásos gazdaságban betöltött szerepével kapcsolatos európai stratégia, Strasbourg, 2018.1.16, COM (2018) 28 final, pp. 1-22.
4. Mile Gábor 2024. BKM - Hulladékártalmatlanítási üzem létesítmény főmérnök, interjú
5. Pelyva László 2023. FŐKERT üzemvezető, interjú
6. Szabó Dávid 2024. Zöld Király Bt. Kertészeti telephely, Ügyvezető, interjú

Jogszabályok

1. A vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól, 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet.
2. A szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól, 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet.

3. A veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről, 2011.évi 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet
4. A termésmnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 36/2006 FVM rendelet
5. A hulladék és biológia hulladékról szóló 559/2023. (XII. 14.) Korm. rendelet
6. A Kormány 559/2023. (XII. 14.) Korm. rendelete a biológiailag lebomló hulladék képződésének megelőzésére vonatkozó tevékenységekről, a biológiailag lebomló hulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységek részletes szabályairól és a biohulladékból előállított komposzt osztályozásának szabályairól

Internetes hivatkozások

- http1 - <https://www.penzcentrum.hu/gazdasag/20210522/a-magyarok-jelentos-resze-ilyen-ingatlanokban-lakik-a-szamok-azt-igazoljak-amit-sejtettunk-1114823>
- http2 - <https://plasticseurope.org/sustainability/sustainable-use/sustainable-agriculture/>
- http3 - <https://www.edia.pt/pt>
- http4 - <https://ksh.hu/s/kiadvanyok/fenntarthato-fejlodes-indikatorai-2022/3-2-sdg-2>
- http5 - https://www.greenpeace.org/static/planet4-hungary-stateless/2020/04/7b636405-594851_greenpeace_2020_k_01306_mikromuanyag_vizsgalat_duna.pdf
- http6 - <https://environment.ec.europa.eu/system/files/2021-09/Agricultural%20Plastics%20Final%20Report.pdf>
- http7 - <https://www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20181212STO21610/a-muanyag-hulladek-mennyisege-es-ujrahasznositasa-az-eu-ban-infografika>
- http8 - <https://lamont.columbia.edu/news/bottled-water-can-contain-hundreds-thousands-previously-uncounted-tiny-plastic-bits-study>
- http9 - <https://laboratorium.hu/a-korabbinal-tobb-mikromuanyagot-talaltak-a-dunaban.html>
- http10 - https://nepszava.hu/1163100_a-borzalmas-muanyag-mar-a-tengeri-soban-is

http11 - https://epa.oszk.hu/04000/04052/00055/pdf/EPA04052_vizmu_panorama_2022_02_037-050.pdf

http12 - <https://www.nak.hu/szolgalatasok-letoltheto-dokumentumai/tgt/3133-tgt-utmutato/file>

http13 - <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>

NYILATKOZAT

a diplomadolgozatnyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: **Bogoly Richárd**
A Hallgató Neptun kódja: **I095MD**
A dolgozat címe:
Műanyagok felhasználása és mikroműanyagok jelenlétének kimutatása kertépítési tevékenység során
A megjelenés éve: **2024**
A konzulens intézetének neve: **MATE, Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet**
A konzulens tanszékének a neve: **Környezetbiztonsági Tanszék**

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

Ha a fenti nyilatkozattal 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 könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

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

Gödöllő, 2024. április 19.



Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Bogoly Richárd (hallgató Neptun azonosítója: I095MD) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakedolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem²

Kelt: Gödöllő, 2024. április 19.



belső konzulens
Dr. Szoboszlai Sándor