

Kutasi Csaba

# Mikroműanyagok – textiles szemmel is

*Az egyre terjedő mikroműanyagokkal az utóbbi évtizedben foglalkoznak behatóan a kutatók. Elsődleges előfordulásuk parányi méretű, a másodlagosak a különböző műanyagtörmelékek aprózódásából származnak. Sajnálatos módon az élővizekben, a talajokban és a légtérben is előfordulnak mint környezetterhelő tényezők. A textíliákból készült konfekcionált termékek (ruházat, lakástextil stb.) mosása során nagyszámú szál – mint szálas mikroműanyag – kerül a mosófürdőbe, a centrifugált vízbe (pl. 6 kg-os töltet esetén 700 ezer szál válik le), ami a szennyvízbe távozik.*

A műanyagok közismerten mesterséges úton előállított vagy átalakított nagy molekulájú anyagok. Gyártásuk szintetikus úton (monomerekből képzett nagymolekulás anyagok) vagy ritkábban természetes alapú polimerekből kiindulva történik. 1838-ban Victor Regnault laboratóriumában polivinil-kloridot (PVC) állított elő, azonban ennek gyártása csak az 1920-as évek végén kezdődött. Így az első – hőre keményedő – polimer az 1900-as évek elején Leo Baekeland belga vegyész nevéhez fűződik, aki fenol és formaldehid reagáltatásával állított elő mesterséges anyagot (róla kapta a bakelit a nevét). Ő alkotta meg a „műanyag” kifejezést is. Sorra fedeztek fel újabb műanyagokat, pl. 1930-ban jelent meg a polisztirol (PS), ennek habosított – épületszigeteléshez, csomagoláshoz használt – változatát 1954-től gyártják. 1933-ban Reginald Gibson és Eric Fawcett kutatók fedezték fel a polietilént (PE). 1938-ban szabadalmaztatta az amerikai DuPont cég a Wallace Carothers által feltalált poliamidot (PA). 1942-ben a polieti-

lén-tereftalát (PET), 1954-ben a polipropilén (PP) felfedezésére került sor. Számos nagy hírvégyész járult hozzá az új polimer anyagtudományához, köztük a Nobel-díjas Hermann Staudinger (a polimerek kémiájának atyja) és Herman Mark (a polimerek fizikájának atyja) (1. ábra).

A feldolgozási technológia alapján leegyszerűsítve hőre keményedő (thermoset) és hőre lágyuló (thermoplastics) műanyagok ismertek. A tulajdonságok, képességek alapján számos különleges típus is létezik (többek között pl. belsőleg vezetőképes típusokat vagy akár géntechnológiával módosított baktériumokkal rendelkező és biológiailag teljesen lebontható műanyagokat is készítenek).

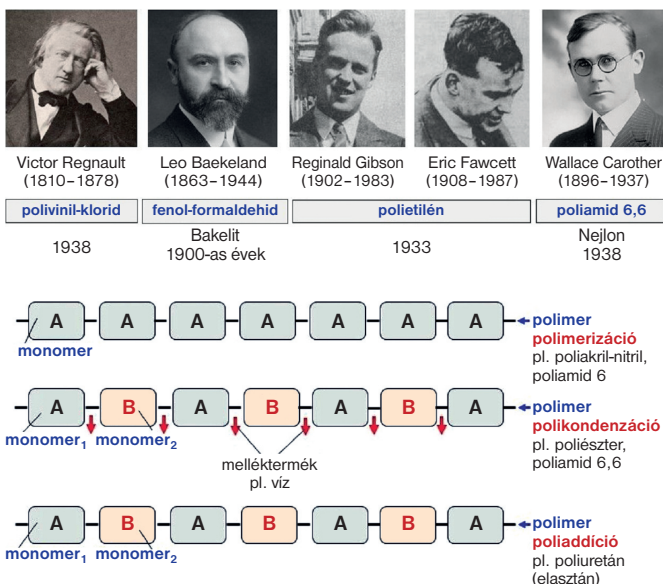
## Műanyagból mikroműanyag

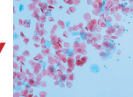
A mikroműanyag kifejezést Richard Thompson professzor, tengerbiológus (Plimouth-i Egyetem) vezette be 15 éve. A környezetet szennyező, kisméretű – 5 mm-nél rövidebb – műanyagdarabkákat, -törmelékeket sorolják ide, az USA Nemzeti Óceáni és Atmoszférai Igazgatósága (NOAA) definíciója szerint. Ezeket nem egyfajta műanyag alkotja, bármilyen típusú polimerrészecskékből állhatnak. Ezek különböző forrásokból kerülnek be az ökoszisztémákba, lebomlásuk gyakran száz vagy annál is több év alatt következhet be. Egyelőre a mikroműanyagok teljes ciklusa és környezeti mozgása nem ismert, kutatásuk a közelmúltban felgyorsult.

A mikroműanyag eredet szerint elsődleges és másodlagos lehet:

- Az elsődleges csoportba azokat a kisméretű műanyagokat sorolják, amelyeket pl. eleve szálasanyagként, ill. mikrogömbök formájában állítanak elő vagy pelletként (összepréselt rostos anyag) forgalmazznak. Fő képviselőik közé tartoznak a különböző ipari súrolószerek, amelyeket a légfúvástechikában (rozsdá, festékréteg stb. eltávolítása) alkalmaznak. Felhasználásuk többszörös, mindaddig kifejtik tisztító hatásukat, ameddig méretük és vágási képességük nem csökken kritikus határ alá. Hulladékuk veszélyességét fokozza, hogy nehézfémekkel (króm, kadmium, ólom) is telítődhetnek. A másik fő szennyezőforrást az egyéb „mikrosúrolók” jelentik, pl. az arctisztítóknál (bőrradírt) régen őrölt mandula, ill. zabliszt volt a fő hatóanyag, ezeket váltották fel az alkalmas – szabad szemmel nem látható – mikroműanyagok. Egyébként ezek elfordulhatnak hordozóként a gyógyszerekben is.
- A másodlagos csoportba az egyes műanyag termékek, műanyag törmelékek aprózódásából származók tartoznak. Az idő múlásával a fizikai és biológiai lebontás is hozzájárul a kisebb méretű műanyag kialakulásához. Ebben meghatározó a napfénynek kitett műanyagtörmelék fotodegradációja, ami

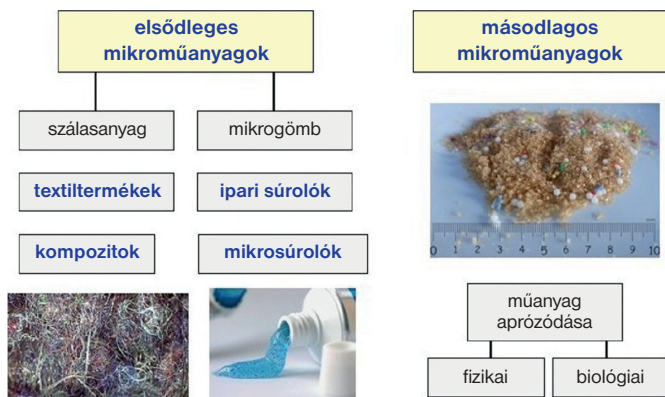
1. ábra. Az első műanyagok feltalálói és polimerképző folyamatok





a tördeléses belsőszervezet-változással parányi részecskéhez vezet (a kisebb részekre történő darabolást fragmentációnak nevezik). Egyelőre az óceánokban 1,6 µm-es átmérővel rendelkező mikroműanyagokat találnak, de várható a további méretcsökkenés (2. ábra).

2. ábra. A mikroműanyagok csoportjai



### Mikroműanyagok a környezetben

Az Európai Unió tudományos tanácsadó testülete 2019-ben közzétett tanulmánya szerint a mikroműanyagok a környezet minden részében jelen vannak, azonban szennyezésük ökológiai kockázata jelenleg még tudományosan, ill. pontosan nem bizonyított. Ugyanakkor az már most megállapítható, ha a szennyezés az ismert ütemben folytatódik, úgy a kockázatok széles körben elterjednek évtizedek múlva.

A Washingtoni Egyetemen egy nemzetközi kutatási workshop résztvevői kiemelten a tengeri (és részben az édesvízi) környezet problémájának tartották a mikroműanyagok jelenlétét, miután a tengeri szervezetekbe különböző módon bejutnak. A nagyobb műanyag tárgyak veszélye sem elhanyagolható, lenyelve (tápcsatornában lerakódás, elzáródás), légszervbe kerülve (fulladás) pusztulást okoznak. Egyes állatoknál a belegabalyodás is lehet végzetes (3. ábra).

Az állatokba bejutott mikroműanyagok esetleg 14 nap után ürülnek ki, egyébként 2 napos az emésztési periódus. A kopoltyús élőlényeknél sajnos nincs teljes ürülés, mert ezek a részecskék raktározódnak. Az apró műanyagtól terhelt állatokat fogyasztó ragadozók közvetítésével, a magasabb trópuszintű „etetől” testébe is bekerül a zavaró idegenanyag.

A mikroműanyagok beágyazódhatnak az állati szövetekbe. A gyűrűsférgék gyomor- és béltraktusában kötődve jelen vannak, egyes rákok légző- és emésztőrendszerükbe integrálják a parányi

3. ábra. Műanyag hulladékba gabalyodott élőlények



idegenanyagokat. Az óceánok fenekén levő üledékből táplálkozó, tüskésbőrűk közé tartozó tengeri uborka négy faja, a PVC- és poliamid- (nejlon) részecskéből 20–100 szoros mennyiséget nyel adott méretnagyságokból, a többihez képest.

Az édesvízi halak is fogyasztanak mikroműanyagokat, pl. az argentin tengerparton, a Rio de la Plata torkolatánál 11 fajnál kimutatták, amelyek egyébként különböző táplálékokat vesznek fel. A halakban, rákfélékben levő parányi műanyagrészecskék fogyasztással az emberi szervezetbe is bekerülnek. Egyes kutatások szerint a mikroműanyag szálak akár kémiai kapcsolatra is képesek pl. poliklórozott bifenilekkel (PCB, toxikus és valószínűsíthetően rákkeltő vegyület), a veszélyes nehézfémeket megkötik, amelyek így bejutnak az élő szervezetekbe is.

Az elsődleges zátonyépítőknél számító korallak a kísérletek során magukba vették a mikroműanyagokat, aminek hatására kifehéredtek. Egyébként ezek a parányi részecskék akadályozzák az üledékkezelést. A korallokra feltapadt mikroszennyezések eltávolításához folyamatosan termelt nyálkahártya sok energiát felmésztve a virágállatok pusztulását gyorsíthatja. Belize (kis ország Közép-Amerika keleti partján) Turneffe Atoll környezetében a tengeri fű ¾-éhez mikroműanyag szálak, szilánk- és gyöngyszerű törmelék tapadnak.

A zooplankton 2–30 µm-es mikroműanyag gyöngyöket fogyaszt, így ürülékével ezek visszakerülnek a vízbe. Egyes polimerek [pl. nagy sűrűségű polietilén (HDPE) és kis sűrűségű változata (LDPE), ill. a poli-propilén (PP)] kedvező táplálékot jelentenek, mert dimetil-szulfid infokémiai anyagot bocsátanak ki, ami a növényi (fito) plankton szagkibocsátásra jellemző. Ezek a vegyületek a műanyag zacskókban, flakonok zárókupakjaiban, több műszaki textíliában is előfordulnak. Hasonlóan kockázatos a biszfenol [A(BPA)], amely mint műanyagadagoló terjedt el, pl. a polikarbonátban törésgátlóként alkalmazzák. A tetrabrom-biszfenolt (TBBPA) égésgátló képessége miatt alkalmazzák több műanyagban, ezek bizonyítottan a pajzs-, ill. agyalapi mirigy működését zavarják.

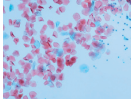
A nanoműanyagok csoportjába a kb. 100 nm-ig terjedő részecskeméretűeket sorolják.

A talajokba került műanyagalapú mikroszennyezők területén még kevés kutatás ismert. A talajfauna ún. geofágikus (földevő) élőlényei (földigiliszta, ízeltlábúak egy csoportja, atka) a mikroszennyezők előfordulását fokozzák (a műanyag-törmelék az emésztési folyamat során részben lebontva ürítik). A szennyvíziszapokban előforduló szálal mikroműanyagok csökkentésére a visszanyeréssel is elkezdtek foglalkozni.

Egy átlagos emberbe évente legalább 50 ezer mikroműanyag-részecske kerül étkezéssel és beléggzéssel. Többek között a tengeri és részben a kősóban is kimutatható ez a szennyezőanyag, főként polietilén-tereftalát (PET) formájában. A levegőben való megjelenésüket és terjedésüket az is bizonyítja, hogy a Sziklás-hegység esővízében is találtak mikroműanyagot, szálal mikroműanyagot. Más helyeken a hórétegben is megjelent ez a szennyező. A hóeséskor a pelyhek elfognak a levegőből részecskéket, pl. a Grönland és a Spitzbergák közötti tengeren lévő jégtáblákról vett hóminták átlagosan 1760 mikroműanyag-részecskét tartalmaznak literenként.

### A műanyag szennyezők viselkedése a tengerben

A bekerült műanyag-részecskék vízben való mozgását az anyag sűrűsége, mérete és alakja is befolyásolja. A víz felszínén úszó műanyagok filmet alkotnak. Az egyes műanyagok sűrűsége álta-



lában 1 g/cm<sup>3</sup> feletti (pl. polietilén-tereftalát 1,38–1,41, poliamid 1,13–1,16, polivinil-klorid 1,38–1,41, politetrafluor-etilén 2,10–2,30, poliakril-nitril 1,14–1,18, cellulóz-triacetát 1,30 g/cm<sup>3</sup>), néhány olefin 1 g/cm<sup>3</sup> alatti (pl. polietilén 0,94–0,98, polipropilén 0,85–0,92 g/cm<sup>3</sup>). A műanyag-törmelék egy része a tengerfenékre süllyed, ezzel zavarva az üledékben élő fajokat és rontva az üledékes gázcserét. A megkötődött mikroműanyagokra kevesebb felhajtóerő hat, ami a fotoszintézisre is kedvezőtlen.

A mikroműanyagok a környezetből felvett, nehezen lebomló perzisztens vegyületek (POP – persistent organic pollutants) hordozói is, ezek a főként aromás klórozott szénhidrogén-származékok mérgezők. Főleg a lassan lebomló, zsírban oldódó vegyületek hosszú ideig az élő szervezetben maradhatnak (pl. a policiklusos aromás szénhidrogének „felezési ideje” több évtized lehet).

Az ipari eredetű mikroműanyagok felhalmozódnak a tenger gyümölcseiben. Egyes madarak gyomrában kimutatható a polibrómozott difenil-éter (PBDE), ami a zsákmányaikban nem fordul elő. A szárnyasokba mikroműanyaggal kerülnek a veszélyes vegyületek.

## A levegő műanyag szennyezői

A légkörben is jelen vannak a mikroműanyagok. A szennyezett utcai levegő köbméterében 30 g por mellett 2649 db mikrorészecskét detektáltak, a beltéri levegőben 1–60 db ilyen részecskét mutattak ki.

A gépkocsi-gumiabroncsok, a lábbelitalpak kopása is hozzájárul az első-, és főleg a másodrendű mikroműanyagok fokozódásához. Ezek egy főre eső globális átlaga 0,81 kg/év (kisebb mértékben a repülőgépkerekek, fékbetétkopások és a műfüves sportpályák a további szennyezők). A légszennyezők között is előfordulnak, a PM<sub>2,5</sub> (2,5 µm-nél kisebb részecskék) 3–7%-át okozza gumiabroncskopás, ami a WHO (Egészségügyi Világszervezet) szerint hozzájárul a globális légszennyezés terhelő tényezőihez, évente 3 millió ember halálát okozva (figyelembe véve, hogy ezek a részecskék az élelmiszerláncba is bekerülnek) (4. ábra).

### 4. ábra. Gumiabroncs, cipőtalp, műfüves pálya okozta mikroműanyag szennyezés



## Jellegzetes, mikroműanyag szennyezést kibocsátó területek

### Műanyaggyártás

A műanyag-előállításnál a granulátum a fő alapanyag, ill. a gyan-tapellet (összprezseltsz kiserelés). Az USA-ban a pellettermelés 1960-tól kezdve közel 30 év alatt meghétszereződött. A feldolgo-

zóüzemekből – a különböző mulasztások miatt – közvetlenül a környezetbe távozó alapanyagok okoznak kockázatokat. A szárazföldi és vízi szállítás során – a csomagolási problémák okaként – bekövetkező kiömlés az ökoszisztémák szennyeződéséhez vezet. Egy skandináv műanyaggyártó üzemmel szomszédos kikötő vízének egy köbméterében 102 ezer műanyag-részecskét találtak!

### A kozmetikai ipar termékeinek hatása

A mikroműanyagok – mint parányi sűrűlőszerek – az ún. hámlasztó (arcmosó, szappan, egyes testápolók) és tisztító (pl. fogkrém) készítményekben vannak jelen. Ezeket a gyöngy alakú mikrogranulátumokat elsősorban polietilénből, valamint polipropilénből, polietilén-tereftalátból, poliamidból készítik. Az ilyen tartalmú készítmények lemosásuk után a szennyvízbe távoznak. A szennyvíztisztító telepek szűrői a nagyobb részecskéket leválasztják, azonban a kisebb mikroműanyagok 7 db mikrogömb/liter mennyiségben az élővizekbe kerülnek. Ez becslések szerint napi 8 trillió darab szennyezőt jelent. Ezenfelül további mikroműanyag-terhelést okoz a szennyvíziszap kezelés utáni, mezőgazdasági felhasználása. A problémát fokozza, hogy a mikrogömbök kockázatot jelentő vegyületeket vesznek fel, így például a policiklikus aromás szénhidrogéneket (PAH), peszticideket (növényvédő szerek).

### A hajózás, halászat szennyezése

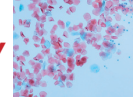
A kereskedelmi hajózási flották már 1970-ben 23 ezer tonna műanyagot dobtak a tengerekbe. 1988-ban nemzetközi megállapodás tiltotta a hajók hulladékának vízbe öntését. Sajnos továbbra is meghatározó műanyagszennyező a hajózás, 1990-ben 6,5 millió tonnára nőtt ennek mértéke.

A kereskedelmi, de a szabadidős halászat is jelentős mikroműanyag-szennyező. A tönkrement, ill. elveszett halászeszközök (kötelek, hálók) az óceánon nemcsak lebegnek, hanem mélyebbre is sodródnak.

### Műanyag palackok

Az egyszer használatos PET ásványvízes palackok mechanikai igénybevételnek kitett különböző részeiből leváló műanyag-részecskék felületének morfológiai jellemzőit és összetételét vizsgálták, ezzel együtt a mintavételi víz részecskékonzentrációjának alakulását. Az elemzés kiterjedt a PET palack szűk keresztmetszetű anyagrészeinek és a HDPE (nagy sűrűségű polietilén) kupakok hatására, azaz arra, hogy miként változik a mikroműanyag-felzabadosulás közvetlen a felületükön, valamint a nyitások-zárások alkalmával. Ennek során megállapították, hogy a mikroműanyag-részecskék előfordulását – mind a falakon, mind a kupakoknál – fokozottan megnövelte a palackok kinyitása, ill. bezárása. Jelentős különbségeket tapasztaltak a különböző ásványvíz-márkákhoz tartozó kupakok kopását illetően. A kísérletek során sajtoló igénybevételeknek is kitették a palackokat. Így az ásványvíz részecskékonzentrációja nem növekedett szignifikánsan az expressziós kezelés hatására (a palackfalon feszültségrepedések nem fordultak elő).

Egy kiterjedt külföldi vizsgálat során a palackozott víz 93%-ánál kimutatták a műanyag szennyezőket. Literenként átlagosan 325 db mikroműanyagot találtak (sőt 800 részecské is volt egyes palackokban). Bizonyára főleg a víz palackozása során kerültek bele (5. ábra).



5. ábra. PET palack és kupakjának mikroműanyag szennyezése

A textiltermékekből leváló szálak mikroműanyagok

A mesterséges szálgyártáshoz a szilárd nagy molekulájú anyagot folyékony halmazállapotúvá kell alakítani. A hőre lágyuló műanyagok (pl. poliészter, polilaktid) esetében ez olvasztással egyszerűen megoldható. Amelyik polimer nem olvasható, annál az iparilag könnyebben elérhető, gazdaságosan alkalmazható oldószerezrel (pl. poliakril-nitril) alakítható ki a folyékony állapot. Előfordul olyan, szálképzés céljára alkalmas természetes eredetű polimer (pl. cellulóz), amely nem termoplasztikus, ugyanakkor oldószere speciális és nagyon drága, így ipari méretekben ez nem jelent megfelelő megoldást. Ilyen esetben vagy átmeneti kémiai átalakítást végeznek (pl. a viszkózszál gyártásához cellulóz-xantogenátot képeznek), vagy véglegesen kémiailag átalakított származék (pl. a cellulóz ecetsavas észterezésével kialakított cellulóz-triacetát) adja a szálgyártás aránylag egyszerűbben oldható alapanyagát.

A folyékony halmazállapotú polimert fogaskerék-szivattyú szállítja a szálképző fejhez, amelynek parányi csatornáin átpréselve alakulnak ki a szálak. A szálképző lemez apró nyílásain kiszajtoló képződmények megszilárdulnak – olvadékból történő előállításnál hűtő légáram hatására, oldószeres módszernél ennek meleg levegős elpárologtatásával, az átmenetileg kémiai átalakítású polimernél a nedves szálképzés során a kicsapófürdőben.

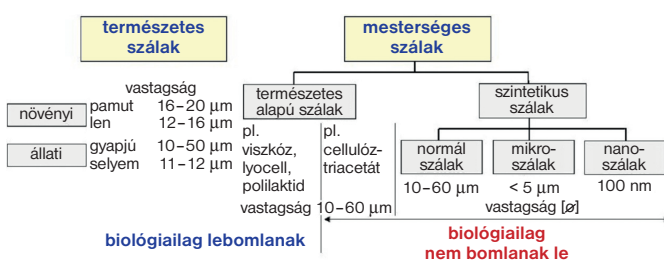
Az eddig említett normálszálakon (átmérőjük kb. 10–60 µm) kívül vékonyabb szálanyagokat is gyártanak.

A nagy finomságú mikroszálak [az 1 dtex-nél finomabb (10 000 m szál 1 g-nál kisebb tömegű), kb. 5 µm alatti szálátmérős szálanyagok; a legfinomabb gyapjú 10 µm Ø-vel jellemezhető] mint egyenletesen hengeres képződmények előállításánál a legelterjedtebb a bikomponenses (a szálát felépítő anyag mellett ún. átmeneti kötőkomponens a másik összetevő) módszer.

A nanoszál elnevezés a nanomolekuláris méretre utal. Jelenleg alapvetően nanoszál csak vágottszál formájában állítható elő (6. ábra).

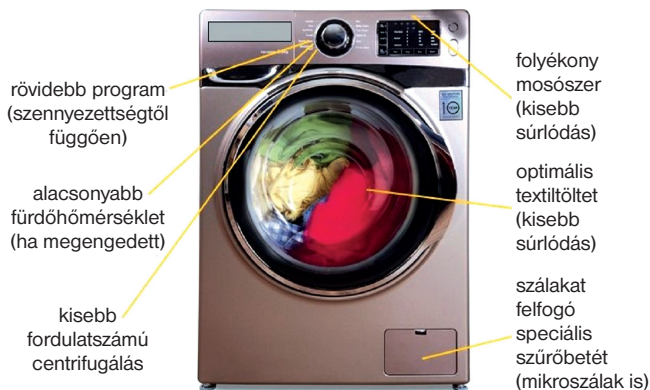
A textíliákból készült konfekcionált termékek (ruházat, lakástextil stb.) mosása során nagyszámú szál kerül a mosófürdőbe,

6. ábra. Különböző szálanyagok vastagsága és környezeti hatások



centrifugált vízbe (pl. 6 kg-os töltet esetén 700 ezer szál válik le). Ezt a szálak fonalsodratból való kiszabadulása, használati és mosásmechanikai töredezése, természetes elhasználódásból eredő hullása stb. idézi elő (7. ábra).

Néhány javasolt mosási módszer, amivel csökkenthető a szálak mikroműanyagok leszakadása: Célszerű a szintetikus szálanyagokból készült ruhaipari termékek rövidebb programmal történő gépi mosása és alacsonyabb fordulatszámon végrehajtott



7. ábra. Szálak mikroműanyagok szennyezésének csökkentése a háztartási mosásnál

centrifugálása. Az optimális mosógéptöltet kihasználásával kisebb a textiltermékek közötti sűrűlódás, így kevésbé fognak leszakadni a szálak. A folyékony mosószer kisebb sűrűlódással veszi igénybe a ruhákat, továbbá a mosógél vagy a tökéletesen feloldott mosósóda kedvezőbb körülményeket biztosít, mint a por alakú mosószer. Az alacsonyabb hőmérsékleten végzett mosást is javasolják [persze a kezelési jelképsor teknő/kád piktogramjában szereplő számadat (°C) az irányadó], mert a melegebb vízben több szál szakadhat le. Több fejlesztés is folyik a mosógépből távozó víz hatékonyan szűrő betétek alkalmazására, hogy a szálak mikroműanyagokat már a háztartásokban leválasszuk.



8. ábra. Néhány újrahasznosítható műanyag jelölése

- 1 – PET vagy PETE – polietilén-tereftalát
- 2 – HDPE – nagy sűrűségű polietilén
- 3 – PVC – polivinil-klorid
- 4 – LDPE – kis sűrűségű polietilén
- 5 – PP – polipropilén
- 6 – PS – polisztirol
- 7, ill. alul O – egyéb újrahasznosítható anyag

Az egyes műanyagok lehetőség szerinti újrahasznosítása valamennyire csökkentheti a mikroműanyagok felhalmozódását a környezetben (8. ábra).

IRODALOM

[1] Paulik Katalin: Innotéka, 2019. május.  
 [2] <https://www.nationalgeographic.com> › magazine › 2019/05  
 [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Microplastics>  
 [4] Wessling Hungary Kft.: Élet és Tudomány (2018) 35. szám  
 [5] Kutasi Csaba: Magyar Textiltechnika (2018) 3. szám.  
 [6] Textilipari Műszaki és Tudományos Egyesület: A magyar textil- és ruhaipar kutatás-fejlesztési és innovációs stratégiája, 2009.