

A mikroműanyagok textiles szemmel is

Micro plastics from the point of view of a textile specialist

Kutasi Csaba textilipari igazságügyi szakértő

kutasicsa@gmail.com

Initially submitted Sept.25, 2019; accepted for publication Oct. 28, 2019

Abstract

The increasingly spreading micro plastics have become the subject of research only during the last decade. Their primary occurrence is really tiny, microscopic in size while the secondary ones are the result of the fragmentation of various plastic debris. Unfortunately, they can be found in living waters, soil and air as environmental pollutants. During washing of ready-made textiles (clothing, home textiles, etc.), a large number of fibres - such as fibrous micro plastics – get into the washing and centrifuged water (e.g. from a 6 kg washing load approx. 700 thousand fibres come off) which goes into the wastewater.

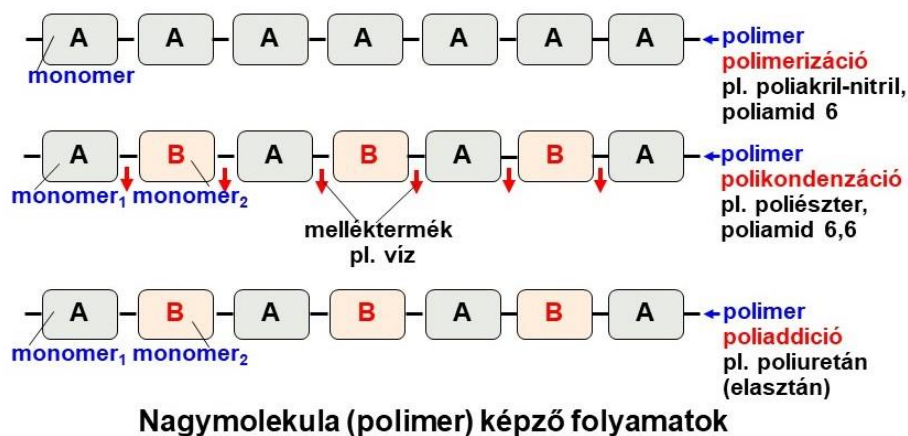
Kulcsszavak: Polimer, Mikroműanyag, Mikrosúroló, Élővilág, Hajózás, Halászat, PET palack, Szálképzés, Mesterséges szál, Mikroszál, Nanoszál, Gépi mosás, Újrahasznosítható műanyag

Keywords: Polymer, Micro plastic, Micro scrub, Wildlife, Shipping, Fishing, PET bottle, Fibre making, Artificial fibre, Microfiber, Nanofiber, Machine wash, Recyclable plastic

A műanyagok közismerten mesterséges úton előállított, vagy átalakított nagymolekulájú 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 (nevéről kapta a Bakelit elnevezést). 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 polietilén-tereftalát (PET), 1954-ben a polipropilén (PP) felfedezésére került sor stb.-stb. Számos nagy hírű vegyész járult hozzá az új polimer anyagtudományához, köztük a Nobel-díjas Hermann Staudinger (a polimerek kémia atyja) és Herman Mark (a polimerek fizika atyja).



1. ábra A műanyag első feltalálói



2. ábra polimerképzés

A feldolgozási technológia alapján leegyszerűsítve hőre keményedő (thermoset), a 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

Ezt a kifejezést Richard Thompson professzor, tengerbiológus (Egyesült Királyság Plimouth-i Egyetem) vezette be 15 éve. A környezetet szennyező, kisméretű – 5 mm-nél rövidebb – műanyagdarabkákat, -részecskéket sorolják ide, az USA Nemzeti Óceáni és Atmoszféra Igazgatósága (NOAA) definíciója szerint. Ezeket nem egyfajta műanyag alkotja, bármilyen típusú polimerrészecskékből állhatnak. Ezek különböző forrásokból kerülnek be az ökoszisztémákba, lebomlásuk gyakran száz-, vagy akár 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:

- 1) Az elsődleges csoportba azokat a kisméretű műanyagokat sorolják, amelyeket pl. eleve szálanyagként, ill. mikrogömbök formájában állítanak elő, vagy pelletként (összepréselt rostos anyag) forgalmazznak. Egyik fő képviselőik a különböző ipari súrolószerek, amelyeket légfúvástechnikában (rozsdá, festékréteg stb. eltávolítása) alkalmaznak. Felhasználásuk többszörös, mindaddig kifejtik tisztítóhatásukat, ameddig méretük és vágási képességük nem csökken kritikus határ alá. Hulladékuk veszélyességét fokozza, hogy nehézfémekkel (króm, kadmium, ólom) is telítődhetnek. Másik szennyezőforrást az egyéb „mikro súrolók” jelentik, pl. az arctisztítóknál (bőrradírnál) régen öröklött mandula, ill. zabliszt volt a fő hatóanyag, ezeket váltották fel az alkalmas - szabadszemmel nem látható - mikroműanyagok. Egyébként ezek elfordulhatnak hordozóként a gyógyszerekben is.
- 2) A másodlagos csoportba az egyes műanyagtermékek, műanyagtörmelék aprózódásából származók tartoznak. Az idő múlásával a fizikai és biológiai lebontás is hozzájárul hozzá a kisebb méretű műanyag kialakulásához. Ebben meghatározó a napfénynek kitett műanyagtörmelék fotodegradációja, ami a tördeléses belső szerkezet változással parányi részecskékhez vezet (a kisebb részecskékre történő darabolást fragmentációnak nevezik). Egyelőre az óceánokban 1,6 µm-es átmérővel rendelkező mikroműanyagokat találnak, de várható a további méretcsökkenés.

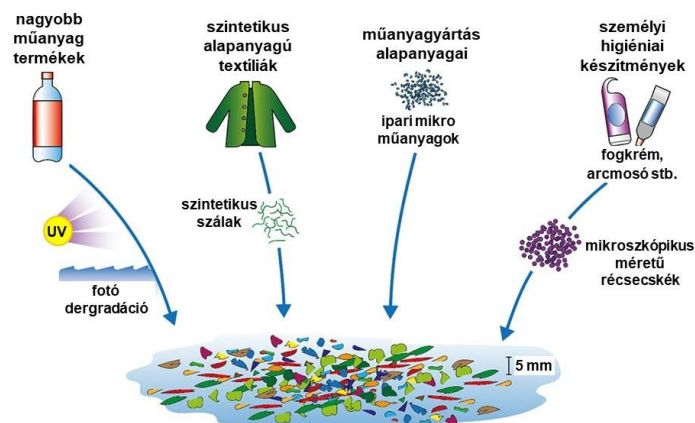


A mikroműanyagok csoportjai

3. ábra első és másodlagos mikroműanyagok

Mikroműanyagok a környezetben

Az Európai Unió Tudományos Tanácsadási Apparátusa 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.



Példák a környezetterhelő mikroműanyagokra

4. ábra Mikroműanyagok és környezeti hatása

A Washingtoni Egyetemen (a Washington állambeli Tacomában) 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), légzőszervbe kerülve (fulladás) pusztulást okoznak. Egyes állatoknál a belegabalyodás is lehet végzetes.



Műanyag hulladékba gabalyodott élőlények

5. ábra műanyag hulladék káros hatása az élővilágra

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

A mikroműanyagok beágyazódhatnak az állati szövetekbe. A gyűrűsféregek gyomor és béltraktusában kötődve jelen vannak, egyes rákok légző- és emésztőrendszerükbe integrálják a parányi idegenanyagokat. Az óceánok fenekén levő üledékből táplálkozó, tüskésbőrűk közé tartozó tengeri uborka négy faja, a PVC

<http://www.kaleidoscopehistory.hu>

Kutasi Csaba textilmérnök

és poliamid (nylon) részecskéből 20-100 szoros mennyiséget nyel adott méret nagyságokból, 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 műanyag részecskék 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 élőszervezetekbe 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 felemésztve a virágállatok pusztulását gyorsíthatja. Belize (kis ország Közép-Amerika keleti partján) Turneffe Atoll környezetében a tengeri fű $\frac{3}{4}$ -éhez mikroműanyag-szálak, szilánk- és gyöngyszerű törmelékek 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 polipropilén (PP)] kedvező táplálékot jelentenek, mert dimetil-szulfid infokémiai anyagot bocsátanak ki, ami a növényi (fito) plankton szag kibocsátásra jellemző. Ezek a vegyületek a műanyagzacskókban, flakonok zárókupakjaiban, több műszaki textíliában is előfordulnak. Hasonlóan kockázatos a biszfenol [A(BPA)], amely mint műanyag edző terjedt el, pl. a polikarbonátban törésgátlóként alkalmazzák. A tetrabrom-biszfenolt (TBBPA) égésgátló képessége miatt alkalmazzák több műanyagban, ezek bizonyítottan a pajzs-ill. agyalapimigrig működését zavarják.

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

A talajokba került műanyag alapú 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 szálak-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 esővizében is találtak mikroműanyagot, szálak mikroműanyagot. Más helyeken a hórétegben is megjelent ez a szennyező. A hóeséskor a pelyhek elfognak a levegőből részecskéket, pl. a Grönland és Spitzbergák közötti tengeren lévő jégtáblákról vett hóminták átlagosan 1.760 mikroműanyag részecskét tartalmaznak literenként.



Grönland és a Spitzbergák közötti tenger jégtábláinak hórétegéből vett minták literében 1.760 db mikroműanyag részecskét találtak

6. ábra hóréteg mikroműanyag szennyeződése

Műanyagszennyezők viselkedése a tengerben

A bekerült műanyagrészecskék vízben való mozgását az anyag sűrűsége, mérete és alakja is befolyásolja. A víz felszínén úszó műanyagok filmet alkotnak. Az egyes műanyagok sűrűsége általában 1 g/cm^3 feletti (pl. polietilén-tereftalát $1,38\text{-}1,41$, poliamid $1,13\text{-}1,16$, polivinil-klorid $1,38\text{-}1,41$, politetra-fluoretilén $2,10\text{-}2,30$, poliakril-nitril $1,14\text{-}1,18$, cellulóz-triacetát $1,30 \text{ g/cm}^3$), néhány olefin 1 g/cm^3 alatti (pl. polietilén $0,94\text{-}0,98$, polipropilén $0,85\text{-}0,92 \text{ g/cm}^3$). A műanyagtörmelék 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 kedvezőtlenül hat.

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 élőszervezetben 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), amelyek zsákmanyaikban nem fordulnak elő. A szárnyasokba mikroműanyaggal kerülnek a veszélyes vegyületek.

A levegő műanyag terhelőtényezői

A légkörben is jelen vannak a mikroműanyagok. A szennyezett utcai levegő m^3 -ében, 30 g por mellett 2.649 db mikrorészecskét detektáltak, a beltéri levegőben $1\text{-}60$ db ilyen részecskét mutattak ki.

A gépkocsi gumibroncsok, a lábbelitalpak kopása is hozzájárul az első-, és főleg a másodrendű mikroműanyagok fokozódásához. Ezek egy főre eső globális átlaga $0,81 \text{ kg/év}$ (kisebb mértékben a repülőgépkerekek, fékbetétkopások és a műfüves sportpályák a további szennyezők). A légszennyezők

<http://www.kaleidoscopehistory.hu>

Kutasi Csaba textilmérnök

között is előfordulnak, a PM_{2,5} (2,5 µm-nél kisebbek porok) 3-7 %-át okozza gumiabroncskopás, ami a WHO (Egészségügyi Világszervezet) szerint hozzájárul globális légszennyezés terhelő tényezőihez, évente 3 millió ember halálát okozva (figyelembe véve, hogy ezek a részecskék az élelmiszerláncba is bekerülnek).



Gumiabroncs, cipőtalp, műfüves pálya okozta mikroműanyag szennyezés

7. ábra egyéb szennyeződés mikroműanyaggal

Jellegzetes mikroműanyag szennyező szakterületek

A műanyagártás

A műanyagelőállításnál a granulátum a fő alapanyag, ill. a gyantapellet (összepréselt kiserelés). Az USA-ban a pellettermelés az 1960-tól kezdve közel 30 év alatt meghétszereződött. A feldolgozóüzemekből közvetlen - különböző mulasztások miatt - a környezetbe távozó alapanyagok okoznak kockázatokat. A szárazföldi és víziszállítás során - a csomagolási problémák okaként - bekövetkező kiömlés az ökoszisztémák szennyeződéséhez vezet. Egy skandináv műanyagártó üzemmel szomszédos kikötő vizének egy m³-ében 102 ezer műanyagrészecskét találtak!

A kozmetikai ipar termékeinek hatása

A mikroműanyagok - mint parányi súrolószerek - az ún. hámlasztó (arcmosó, kézzappan, egyes testápolók) és tisztító (pl. fogkrém) készítményekben vannak jelen. Ezeket a gyöngyalakú mikrogranulátumokat elsősorban polietilénből, valamint polipropilénből, polietilén-tereftaláttól, 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 db szennyezőt jelent. Ezen felül további mikroműanyag terhelést okoz a szennyvíziszap kezelés utáni, mezőgazdasági felhasználása. A problémát fokozza, hogy a mikrogömbök felvesznek kockázatot jelentő vegyületeket, így pl. a policiklikus aromás szénhidrogéneket (PAH), peszticideket (növényvédőszerke).

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 sodródnak.



A tönkrement és elveszett halászati eszközök is mikroműanyag szennyező források

8. ábra halászati hulladékok

Műanyag palackok

Az egyszer használatos PET ásványvizes palackok mechanikai igénybevételnek kitett különböző részeiből leváló műanyag részecskék felületének morfológiai jellemzőit és összetételét vizsgálták, ezzel együtt a mintavételi víz részecskekoncentrációjának alakulását. Az elemzés kiterjedt a PET palack szűk keresztmetszetű anyagrészeinek és a HDPE (nagy sűrűségű polietilén) kupakok hatására, azaz, miként változik a mikroműanyag felszabadulás 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 ásványvízmárkákhoz tartozó kupakok kopását illetően. A kísérletek során sajtoló igénybevételeknek is kitették a palackokat. Így az ásványvíz részecskekoncentrációja 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 műanyagszennyezőket. Literenként átlagosan 325 db mikroműanyagot találtak (sőt 800 részecske is volt egyes palackokban). Bizonyára főleg a víz palackozása során kerültek bele.



A PET palack és kupakjának mikroműanyag szennyezése

9. ábra Az ivóvíz mikroműanyag szennyezettsége

Textilipari termékek és mosásuk hatása

A leváló szálanyagok mikroműanyagok

A mesterséges szálgyártáshoz a szilárd nagymolekulájú anyagot folyékony halmazállapotúvá kell alakítani. A hőre lágyuló műanyagok (pl. poliészter, polilaktid stb.) esetében ez olvasztással egyszerűen megoldható. Amelyik polimer nem olvasható, azoknál az iparilag könnyebben elérhető, gazdaságosan alkalmazható oldószerrel (pl. poliakril-nitril stb.) érhető el 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 gyártáshoz a cellulóz-xantogenát képzés), vagy véglegesen kémiailag átalakított származék (pl. a cellulóz ecetsavas észterezésével kialakított cellulóz-triacetát) képezi a szálgyártás aránylag egyszerűbben oldható alapanyagát.

A folyékony halmazállapotú polimert fogaskerékszivattyú szállítja a szálképző fejhez, amelynek parányi csatornáin átréselve jönnek alakulni a szálak. A szálképzőfejsz perforált lemeze nemesfém-ötvezetekből (platina-arany, tantálfém) készül, mert a sav- és lúgállóság, jó megmunkálhatóság, megfelelő keménység és könnyű tisztíthatóság alapkövetelmény. A szálképző-lemez apró nyílásain kisajtott képződmények megszilárdulnak, olvadákból történő előállításnál hűtő légáram hatására, oldószeres módszernél ennek meglehetősen elpárolgatatásával, az átmenetileg kémiai átalakítású polimernél a nedves szálképzés során a kicsapódásban.

A szálképzőfejből kilépő, megszilárdult szálkötegekből összefogással kábelt képeznek, amelyben 2-3 ezer szál van. Már a szálelőállítás alatt is nyújtást végeznek, a szubmikroszkópos szerkezet rendezése, így a szál szilárdítása, ill. további finomítása céljából. Ezt követően mosás-öblítés, igény szerint fehérítés (kémiai- és optikai fehérítővel) és aviválás (a szálak bevonása lágyító, hajlékonyságot javító és elektrosztatikus feltöltődést csökkentő segédanyaggal), majd szárítás következik.



a szálképző
lap részei
szétszedve



szálképző
lap

Mesterséges szálképzés a gyakorlatban

10. ábra mesterséges szálképzés

Amennyiben nem végtelenszálként (multifilament, vagy filamentfonal) történik a felhasználás, úgy konvertálással (vágással vagy tépéssel) ún. vágott szálát gyártanak, igény szerint, pl. pamut- vagy gyapjútípusú stb., ehhez igazodó hosszúságban.

Az eddig említett normálszálakon (a szálanyagok átmérője mikrométeres - 10^{-6} méter nagyságrendű -, kb. 10-60 μm) kívül vékonyabb szálanyagokat is gyártanak.

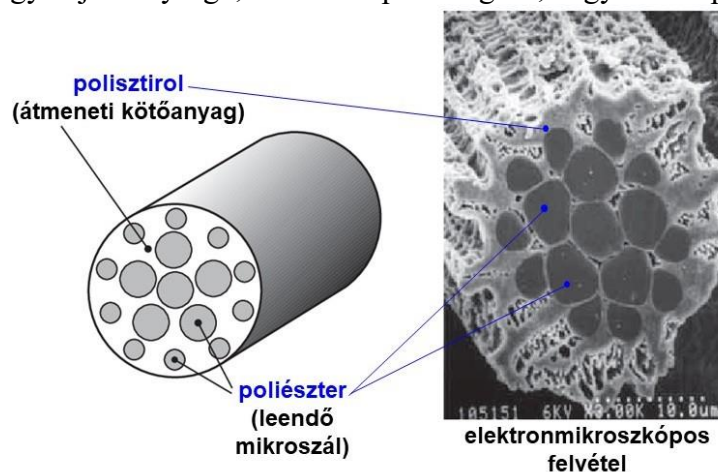
A mikro- és nanoszálak

A nagyfinomságú 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 előállítására jelenleg már történhet közvetlen szálképzéssel (direktfonó eljárás), vagy az elterjedtebb bikomponenses (a szál felépítő anyag mellett ún. átmeneti kötő-komponens a másik összetevő) módszerrel.

A direktfonó szálképzésnél nemcsak a szálképzőfej furatainak kiképzése igényel egyedi technikát, hanem a szálképzőmassza rendkívüli tisztasága és homogenitása is alapkritérium az egyenletesség elérésére.

A bikomponens mikroszál előállító módszerek közös elve abban nyilvánul meg, hogy a szálképzőfej nyílásai a normál szálakhoz hasonlóan „durvábbak” lehetnek (így többek-között az egyenletesség jobban biztosítható), majd a későbbiekben távolítják el a finomszálakat átmenetileg beágyazó, ill. körülvevő, már főlegessé vált másik összetevőt. Az ún. „sok-szigetes” (vagy „tengerben a szigetek”) elnevezésű módszerrel előállított szálképződmény 90 %-át kitevő leendő mikroszál polimerek (pl. poliészter, poliamid, stb.) alkotják a szigeteket, ezeket pedig egy másik (később eltávolítandó) nagymolekulájú anyagba (pl. polivinil-acetát, polietilén, stb.) ágyazzák. Az így megszilárdult bikomponens rendszerből a megfelelő textilgyártási fázisban szervesoldószerrel, lúgos hidrolízissel, ill. más eltávolító anyaggal kiválasztják az említett kötőanyagot, így kialakulnak a rendkívül nagy finomságú és egyenletességű mikroszálak. A „napraforgó” módszerrel (az átmeneti szál keresztmetszete a virágra hasonlít) sugárirányban foglalnak helyet a leendő mikroszál képződmények (pl. a 6-12 poliészterág a szirmok szerinti

metszetben helyezkedik el). A csillagszerű kötőváz (pl. polisztirol) a későbbi oldásnál (pl. az ilyen bikomponens fonalból képzett kelme kikészítésénél végrehajtott szétválasztás során) távolodik el, továbbiakban finom mikroszálakból épül fel a nagy hajlékonyságú, rendkívül puha fogású, nagy fedőképességű textil-felület.



Bikomponens módszerű mikroszál előállítás a „szigetek a tengerben” eljárással

11. ábra mikroszál előállításának módszere

Ismert egy korábbi módszer is, amelynél szintén a szokványos finomságban előállított szálakból képzett, nem kényes fonalakból lehetett kelmét gyártani, majd a kész textillap felépítő anyagát mechanikailag finomítva jön létre a mikroszálás felépítés. A speciális polimerbe helyenként gyenge oldalirányú kötéseket visznek be, ezek az adott mechanikai kelme-kikészítő műveleteknél (pl. csiszolás, bolyhozás) a szál fibrillálódásához vezető hosszirányú hasadások helyeivé válnak (a parányi rostok szétválását nagysebességű légárammal lehet fokozni, így az alapszál-finomság hatodának megfelelő mikroszálak alakulnak ki). A módszer nem nagyon terjedt el, mert a finomítási folyamat nem tartható tökéletesen kézben (inkább véletlenszerű a felhasadás), emiatt egyenlőtlen vastagságú finomszálak képződnek (rontva a termék egyenletességét).

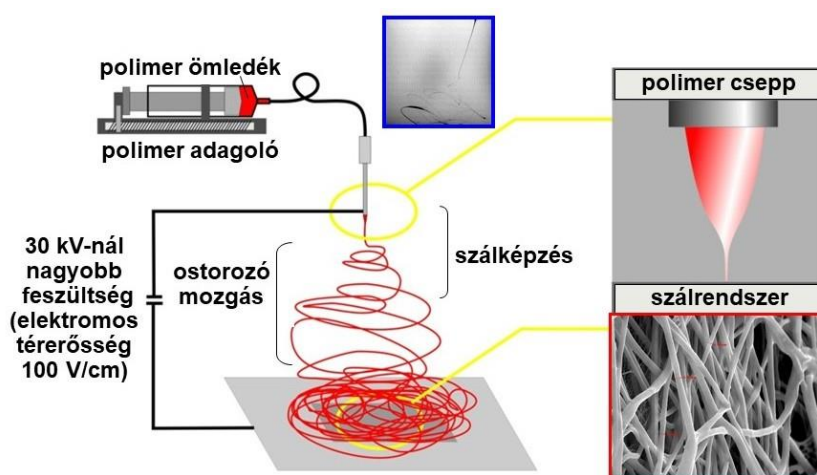
A mikroszálás kelmékből - a szintetikus szálasanyag ellenére komfortos - kellemes viseletű termékek képezhetők, miután a nedvességtranszponálási képesség fokozott (a nagyon finom hidrofób mikroszálak határoló felülete rendkívül nagy, és azonos finomságú fonal felépítésében sokkal több szál vesz részt, így a vízgőzfelvételnek és továbbításnak kedvező kapillaris hatás jobban érvényesül). Hasonlóan előnyös a mikroszálak alkalmazásával megnövekedett hőszigetelő képesség (a fonalon belüli számos finom-szál közötti üregek sok légzárványt tárolnak, ezzel a kimondottan rossz hővezetésű levegő szigetelőhatása megsokszorozódva érvényesül). A mikroszálakkal akár bárminemű kelmebevonat alkalmazás nélkül is elérhető, hogy csapadékos időben a konfekcionált termék vízzáró legyen (ill. a fokozott légáramlásnál szélzáró képességgel rendelkezzen), mert a nedvességre kismértékben duzzadó szálak sokasága végül gátló felületet képez a kívülről beható nedvességgel- és széllel szemben.

A nanoszál elnevezés a nano (10^{-9} m tartomány) molekuláris méreteire utal (összehasonlítással, a cellulózláncmolekula monomere mintegy 1 nm-es hosszúságú). A nanoszálak keresztirányú mérete esetenként kisebb a látható fény hullámhosszánál (így a nagy felbontóképességű fénymikroszkóppal nem elemezhetők).

A nanoszálak előállítása többféle módszerrel történhet. A dendritkristály képzés során az alkalmas folyékony polimert egy felületen szétterítik, az oldószereltávolítás után a nanoméretű képződmény szál vagy film formájában hasznosítható. Az olvadékból történő gyártásnál a megömlesztett polimert speciális szálképzőfejen (2-5 μm

átmérőjű nyílások) keresztül extrudálják. A fibrilláláson alapuló módszernél a szálát felépítő polimert kötegekké darabolva érhető el a nanotartományú szálvastagság.

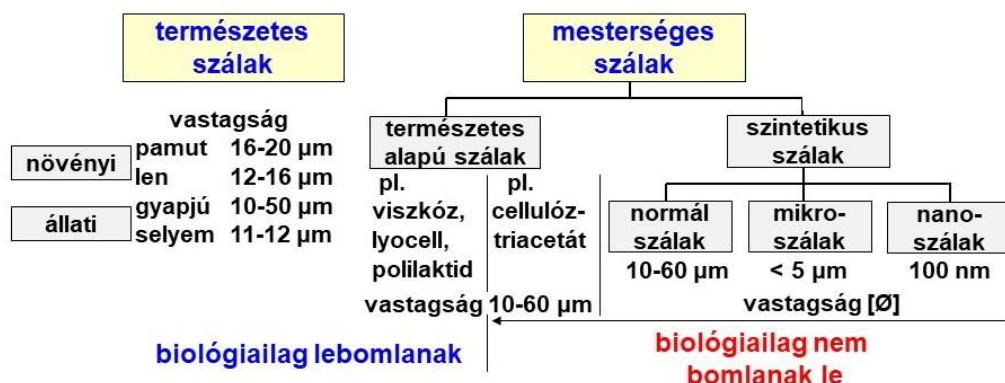
A legelterjedtebb, elektromos térben megvalósuló szálgyártásnál először a folyékony (megömlesztett, feloldott) polimert körmozgást végző szálképzőtű nyílásán préselik át, majd töltéssel látják el. A fokozott feltöltődést követően egy földelt, 0,1 mm-es tűt közelítenek a folyékony polimercsepphez, így megindul a folyadékáram. A töltéssel rendelkező polimersugár ostorozó mozgást végez, ennek megfelelően meghosszabbodik, elvékonyodik, közben megszilárdul. Nem minden polimer alkalmas elektromos szálképzésre, továbbá jelenleg alapvetően nanoszál csak vágotszál formájában állítható elő. Főként nemszőtt kelméket állítanak elő, amelyekben véletlenszerű a nanoszál elhelyezkedés. A sűrűn, egyvonalban elhelyezett elektromos szálképzőfejek alkotják a nanoszálás nemszött kelmét előállító berendezést (nanospider).



A nanoszál előállítása elektromos térben

12. ábra Nanoszál előállítása

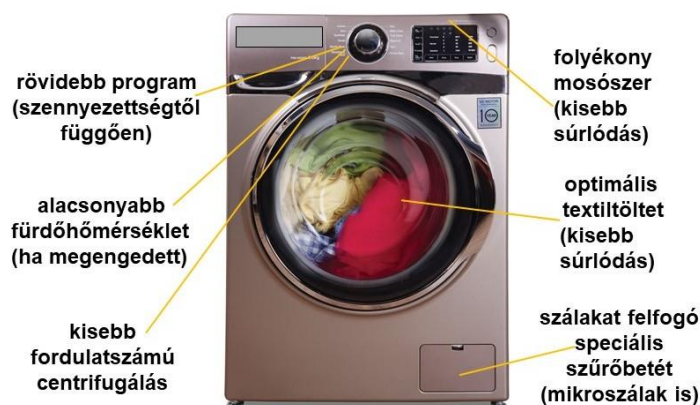
A nanotechnológia textilszakmai hasznosítása elsősorban a vegyi-szálak vastagságának radikális csökkenésével elérhető különleges tulajdonságoknak köszönhető. A mesterséges szálanyagok átmérőjének mikrométeres (10^{-6} méteres) mértékegységtartományából a 100 nanométeres (10^{-9} méter) nagyságrendre áttérve - miközben a szálfelület a térfogathoz képest jelentősen megnő -, pl. rendkívüli szilárdsági jellemzők érhetők el (a fajlagos szakítóerő a mikroszálakénál is nagyobb). A tömegükhöz képest extranagy húzóellenállást biztosító vékonyság áttetsző szálakat eredményez, szerkezetükben nagyszámú parányi pórus (néhány nanométeres méretű üregecske) különleges adottságokat kölcsönöz (a levegőrészecskék, ill. vízmolekulák behatolása egyértelmű, azonban pl. a mikroorganizmusok nem férnek be). Így a kórokozók elleni védelemre is hatékonyan használhatók a nanokelmékből készült kendők (pl. a madárinfluenza fertőzésre képes víruselemei akár 100 nm-esek, ezért tökéletesen felfoghatók egy ilyen anyagú védővel).



Különböző szálanyagok vastagsága és környezeti hatásuk

13. ábra természetes és mesterséges szálak vastagsága és környezeti hatásuk

A textíliákból készült konfekcionált termékek (ruházat, lakástextil stb.) mosása során nagyszámú szál kerül a mosófürdőbe, 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 kihullása stb. idézi elő. Szálás-mikroműanyagot (beleértve a mikro- és nanoszálakat is) főként a poliészter (a legnagyobb mennyiségben termelt mesterséges, szintetikus szálanyag), a különböző poliamidok (alifás poliamid, pl. a Nylon, Perlon; aromás pl. a Nomex, Kevlar), poliakril-nitril koopolimerizátumok (pl. Akрил, Modakril), elasztán jelent. Ugyanakkor a polivinil-klorid, a polietilén és -propilén, nagysűrűségű polietilén, főként a műszaki textíliákban fordul elő. Az eddig említett szálak vastagsága tízes nagyságrendű, μm-es Ø tartományba esik, ugyanakkor a még finomabb mikro- és nanoszálak is elsődleges mikroműanyag-szennyezők.



Szálás mikroműanyag szennyezés csökkentés a háztartási mosásnál

14. ábra szálás műanyag szennyezés csökkentése a háztartási mosásnál

Néhány javasolt mosási módszer, amivel csökkenthető a szálás-mikroműanyagok leszakadása. Célszerű a szintetikus szálanyagokból készült ruhaipari termékek rövidebb programmal történő gépi mosása, és

alacsonyabb fordulatszámon végrehajtott centrifugálása. Az optimális mosógéptöltet kihasználásával kisebb a textiltermékek közötti súrlódás, így kevésbé fognak leszakadni a szálak. A folyékony mosószer kisebb súrlódással veszi igénybe a ruhákat, továbbá a mosógél, vagy a tökéletesen feloldott mosószóda 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. Persze több fejlesztés is folyik a mosógépből távozó vizet hatékonyan szűrő betétek alkalmazására, hogy a szálak-mikroműanyagok már a háztartásokban leválasztásra kerüljenek.

Az egyes műanyagok lehetőség szerinti újrahasznosítása valamennyire csökkentheti a mikroműanyagok felhalmozódását a környezetben.



- 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

Néhány újrahasznosítható anyag jelölése

15. ábra Piktogram jelölés

Felhasznált irodalom:

Lázár Károly: Techtextil, Texprocess és társaik. INNOVÁCIÓMAGYAR TEXTILTECHNIKA LXIV. ÉVF.2011/3 108-122

A.P.W.Barrows, S.E.Cathey, C.W.Petersen: Marine environment microfiber contamination: Global patterns and the diversity of microparticle origins. Environmental Pollution Volume 237, June 2018, Pages 275-284 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.062>

J.GagoO.CarreteroA.V.FilgueirasL.Viñas: Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments. Marine Pollution Bulletin Volume 127, February 2018, Pages 365-376 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.070>