

# A mikroműanyagok – textiles szemmel is

Kutasi Csaba

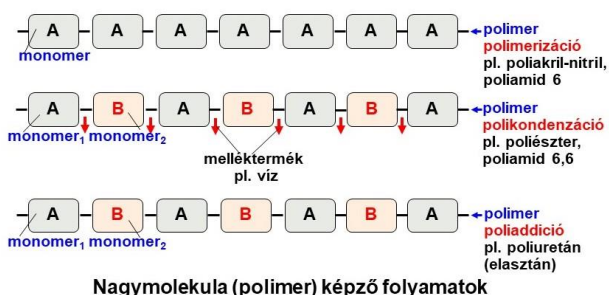
**Kulcsszavak:** Polimer, Mikroműanyag, Mikroszűrő, Élővilág, Hajózás, Halászat, PET palack, Szálképzés, Mesterséges szál, Mikroszál, Nanoszál, Gépi mosás, Újrahasznosítható műanyag

Az egyre terjedő mikroműanyagokkal az utóbbi évtizedben foglalkoznak behatóan a kutatók. Elsődleges előfordulásuk parányi méretű, a másodlagosak a különböző műanyaggyártási folyamatok aprózódásából származnak. Sajnálatos módon az élővizekben, a talajokban és a légtérben is előfordulnak, mint környezetterhelő tényezők. A textiliákból készült, konfekcionált termékek (ruházat, lakástextil stb.) mosása során nagyszámú szál – mint szálak 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 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 (nevére 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 –



1. ábra



2. ábra



A mikroműanyagok csoportjai

3. ábra

stb. stb. Számos nagy hírű vegyész járult hozzá az új polimer anyagtudományához, köztük a Nobel-díjas Hermann Staudinger („a polimerkémia atyja”) és Herman Mark („a polimerfizika atyja”) (1., 2. ábra).

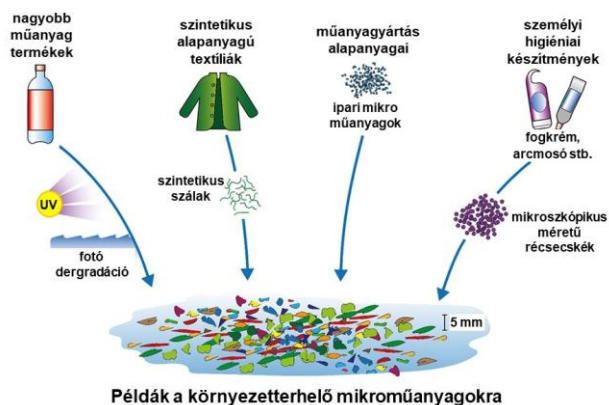
A feldolgozási technológia alapján leegyszerűsítve hőre keményedő (thermoset), a hőre lágyuló (thermoplastics) műanyagok ismertek. A tulajdonságok, képességek alapján számos különleges típus is létezik (többek között pl. belsőleg vezetőképes típusokat, vagy akár géntechnológiával módosított baktériumokkal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

## Műanyagból mikroműanyag

A „mikroműanyag” kifejezést Richard Thompson professzor, tengerbiológus (Egyesült Királyság, Plimouthi 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 polimer részecskékből állhatnak. Ezek különböző forrásokból kerülnek be az ökoszisztémákba, lebomlásuk gyakran száz, vagy akár több száz 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 (3. ábra):

- Az elsődleges csoportba azokat a kisméretű műanyagokat sorolják, amelyeket pl. eleve szálanyagként ill. mikrogömbök formájában állítanak elő, vagy pelletként (összepsréselt rostos anyag) forgalmaznak. Egyik fő képviselőik a különböző ipari szűrőszerek, amelyeket légfűvásttechnikában (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 „mikroszűrők” jelentik, pl. az arcisztitókban (bőrradírr) régen öröklött mandula, ill. zabliszt volt a fő hatóanyag, ezeket váltották fel az alkalmas – szabadszemmel



4. ábra

nem látható – mikroműanyagok. Egyébként ezek elfordulhatnak hordozóként a gyógyszerekben is.

- A másodlagos csoportba az egyes műanyagtermékek, műanyag-törmelékek aprózódásából származók tartoznak. Az idő múlásával a fizikai és biológiai lebontás is hozzájárul hozzá a kisebb méretű műanyag kialakulásához. Ebben meghatározó a napfénynek kitett műanyag-törmelék fotodegradációja, ami a tördeléses belső szerkezet változással parányi részecskékhez vezet (a kisebb részekre történő darabolást fragmentációnak nevezzük). Egyelőre az óceánokban 1,6  $\mu\text{m}$ -es átmérővel rendelkező mikroműanyagokat találnak, de várható a további méretcsökkenés.

## 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 (4. ábra).

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 (5. 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 ide bekerülve raktározódnak. Az apró műanyag-tól terhelt állatokat fogyasztó ragadozók közvetítésével, a magasabb trópuszintű „etető” testébe is bekerül a zavaró idegenanyag.

A mikroműanyagok beágyazódhatnak az állatok szöveteibe. A gyűrűsférgék 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 és poliamid (nylon) részecskéiből 20–100-szoros mennyiséget nyel adott méret nagyságokból, a többihez képest.

Az édesvízi halak is fogyasztanak mikroműanyagokat, ezt 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 élő szervezetekbe is.

Az elsődleges zátonyépítőknek számító korallak a kiserletek 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 háromnegyedéhez mikroműanyag-szálak, szilánk- és gyöngyszerű törmelékek tapadnak.

A zooplankton 2–30  $\mu\text{m}$ -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 információkémiai anyagot bocsátanak ki, ami a növényi (fito-) plankton szagkibocsátásra jellemző. Ezek a vegyületek a műanyagzacskókban, flakonok zárókupakjaiban, több műszaki textíliában is előfordulnak. Hasonlóan kockázatos a biszfenol A [BPA], amely mint műanyag-egzozterjedt el, pl. a polikarbonátban törésgátlóként alkalmazzák. A tetrabrom-biszfenolt (TBBPA) égésgátló képessége miatt alkalmazzák több műanyagban, ezek bizonyítottan a pajzs- ill. agyalapimirigy 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 (földdevő) élőlényei (földigiliszták, izeltlábak 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 belégzéssel. Többek között a tengeri és részben a kősován 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, szálal mikroműanyagot. Más helyeken a hórétegben is megjelent ez a szennyező. A hóeséskor a pelyhek elfognak a levegőből



Műanyag-hulladékba gabalyodott élőlények

5. ábra





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

6. ábra

részecskéket, pl. a Grönland és Spitzbergák közötti tengeren lévő jégtáblákról vett hóminták literenként átlagosan 1760 mikroműanyag részecskét tartalmaznak (6. ábra).

## 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  $1 \text{ g/cm}^3$  feletti (pl. polietilén-tereftalát 1,38–1,41, poliamid 1,13–1,16, polivinil-klorid 1,38–1,41, politetra-fluoretilén 2,10–2,30, poliakril-nitril 1,14–1,18, cellulóz-triacetát 1,30  $\text{g/cm}^3$ ), néhány olefiné  $1 \text{ g/cm}^3$  alatti (pl. polietilén 0,94–0,98, polipropilén 0,85–0,92  $\text{g/cm}^3$ ). A műanyag-törmelék egy része lesüllyed a tengerfenékre, 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, zsírszárban 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 polibromozott difenil-éter (PBDE), amelyek zsákányaikban 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 minden köbméterében 30 g por mellett 2649 db mikrorészecskét detektáltak, a beltéri levegőben 1–60 db ilyen részecskét mutattak ki.

A gépkocsi gumibroncsok, a lábbelitalpak kopása is hozzájárul az első-, és főleg a másodrendű mikroműanyagok előfordulásának 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  $\text{PM}_{2,5}$  (2,5  $\mu\text{m}$ -nél kisebb szemcsenagyságú porok) 3–7 %-át okozza gumibroncskopás, ami az Egészségügyi Világszervezet (WHO) szerint hozzájárul globális légszennyezés terhelő tényezőihez, évente 3 millió ember halálát okozva (figyelembe véve, hogy ezek a részecskék az élelmiszerláncba is bekerülnek) (7. ábra).



Gumibroncs, cipőtalp, műfüves pálya okozta mikroműanyag szennyezés

7. ábra

## Jellegzetes mikroműanyag szennyező szakterületek

### A műanyaggyártás

A műanyag előállításánál a granulátum a fő alapanyag, ill. a gyantapellet (összepréselt kiszerelés). Az USA-ban a pellettermelés 1960-tól kezdve közel 30 év alatt meghétszereződött. A feldolgozó üzemekből – különböző mulasztások miatt – közvetlenül a környezetbe távozó alapanyagok okoznak kockázatokat. A szárazföldi és vízi szállítás során – a csomagolási problémák miatt – bekövetkező kiömlés az ökoszisztémák szennyeződéséhez vezet. Egy skandináv műanyaggyártó üzemmel szomszédos kikötő vizének egy köbméterében 102 ezer műanyag-részecskét találtak!

### A kozmetikai ipar termékeinek hatása

A mikroműanyagok – mint parányi súrolószerek – az ún. hámlasztó (arcmosó, kézszappan, egyes testápolók) és tisztító (pl. fogkrém) készítményekben vannak jelen. Ezeket a gyöngy alakú mikrogranulátumokat elsősorban polietilénből, valamint polipropilénből, polietilén-tereftaláttól, poliamidból készítik. Az ilyen tartalmú készítmények lemosásuk után a szennyvízbe távoznak. A szennyvíz tisztító telepek szűrői a nagyobb részecskéket leválasztják, azonban a kisebb mikroműanyagok – 7 db mikrogömb/liter mennyiségben – az élővizetekbe kerülnek. Ez becslések szerint napi 8 trillió darab 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 (nővényvédőszerke).

### 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 műanyag-szennyező 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 halászkesztyűk (kötelek, hálók) az óceán vizén nemcsak lebegnek, hanem mélyebbre is sodródnak (8. ábra).



A tönkrement és elveszett halászati eszközök is mikroműanyag szennyező források

8. ábra

## Műanyag palackok

Az egyszer használatos PET ásványvizes palackok mechanikai igénybevételnek kitett különböző részeiből leváló műanyag részecskék felületének morfológiai jellemzőit és összetételét, ezzel együtt a mintavételi víz részecskekoncentrációjának alakulását vizsgálták. Az elemzés kiterjedt a PET-palack szűk keresztmetszetű anyagrészeinek és a HDPE- (nagy sűrűségű polietilén) kupakok hatására, azaz arra, hogy miként változik a mikroműanyag felszabadulása közvetlenül 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 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 (9. ábra).

## Textilipari termékek és mosásuk hatása

### A leváló szálanyag-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 oldószerekkel (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-xangtogenát 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 átpréselve alakulnak ki a szálak. A szálképző rózsza perforált lemeze nemesfém-ötvözetekből (platina-



A PET palack és kupakjának mikroműanyag szennyezése

9. ábra

arany, tantálfém) készül, mert a sav- és lúgállóság, a jó megmunkálhatóság, a megfelelő keménység és a könnyű tisztíthatóság alapkövetelmény. A szálképző lemez apró nyílásain kisajtolt képződmények megszilárdulnak, olvadékból történő előállításnál a hűtő légáram hatására, oldószeres módszernél ennek melegelegős elpárologtatásával, az átmenetileg kémiai átalakítású polimerrel a nedves szálképzés során a kicsapódófürdőben.

A szálképző fejből 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 (10. ábra).

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

Az eddig említett normálszálakon (a szálanyagok átmérője mikrométeres –  $10^{-6}$  méter nagyságrendű –, kb. 10–60  $\mu\text{m}$ ) kívül vékonyabb szálanyagokat is gyártanak.

### A mikro- és nanoszálak

A nagyfinomságú mikroszálak (ezek 1 dtex-nél finomabb – 10 000 m szál 1 g-nál kisebb tömegű –, kb. 5  $\mu\text{m}$  alatti szálátmérős szálanyagok; a legfinomabb gyapjú 10  $\mu\text{m}$  átmérőjével jellemezhető), mint egyenletesen hengeres képződmények előállítása jelenleg már történhet



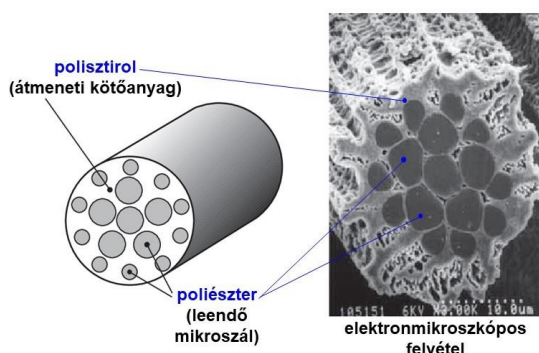
a szálképző lap részfelvételt szétválasztva



Mesterséges szálképzés a gyakorlatban

10. ábra





**Bikomponens módszerű mikroszál előállítás a „szigetek a tengerben” eljárással**

11. ábra

közvetlen szálképzéssel (direktfonó eljárás), vagy az elterjedtebb bikomponenses módszerrel (a szálát felépítő anyag mellett ún. átmeneti kötő-komponens a másik összetevő).

A direktfonó szálképzésnél nemcsak a szálképzőfej furatának 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 fölöslegessé vált másik összetevőt. Az ún. „sok-szigetes” (vagy „szigetek a tengerben”) 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 kötő-anyagtengert, így kialakulnak a rendkívül nagy finomságú és egyenletességű mikroszálak. A „napraforgó” módszernél (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 kötővázat (pl. polisztirol) a későbbi oldásnál (pl. az ilyen bikomponens fonalból képzett kelme kikészítésénél végrehajtott szétválasztás során) távolítják el, a továbbiakban finom mikroszálakból épül fel a nagy hajlékonyságú, rendkívül puha fogású, nagy fedőképességű textíli felület (11. ábra).

Ismert egy korábbi módszer is, amelynél szintén a szokványos finomságban előállított szálakból képzett, nem kényes fonalakból lehetett kelmét gyártani, majd a kész textíli felépítő anyagát mechanikailag finomítva jön létre a mikroszálás felépítés. A speciális polimerbe helyenként gyenge oldalirányú kötéseket visznek be, ezek az adott mechanikai kelmekikészítő 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).

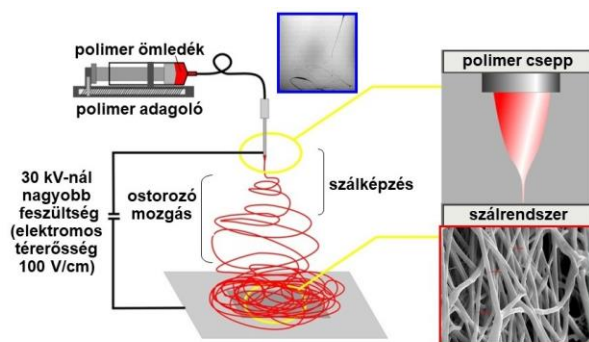
A mikroszálás kelmékből – a szintetikus szálanyag ellenére komfortos – kellemes viseletű termékek állíthatók elő, miután a nedvességtranszponálási képességük fokozott (a nagyon finom hidrofób mikroszálak határoló felülete rendkívül nagy, azonos finomságú fonal felépítésében sokkal több szál vesz részt, így a vízgőzfelvételnek és továbbításnak kedvező kapilláris 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 bármilyen 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 behatoló nedvességgel- és széllel szemben.

A nanoszál elnevezés a nano ( $10^{-9}$  m tartomány) molekuláris méreteire utal (összehasonlításképpen, a cellulóz-láncmolekula monomere mintegy 1 nm-es hosszúságú). A nanoszálak keresztirányú mérete esetenként kisebb a látható fény hullámhosszána (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 oldószer eltávolítása után a nanoméretű képződmény szál vagy film formájában hasznosítható. Az olvadékból történő gyártásnál a megömlesztett polimert speciális szálképző fejen (2–5  $\mu\text{m}$  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 nanoszál alapvetően csak vágott szál formájában állítható elő. Főként nemszótt kelméket állítanak elő, amelyekben véletlenszerű a nanoszálak elhelyezkedése. A sűrűn, egy vonalban elhelyezett elektromos szálképzőfejek alkotják a nanoszálás nemszótt kelmét előállító berendezést (nanospider) (12. ábra).

A nanotechnológia textilszakmai hasznosítása elsősorban a mesterséges szálak vastagságának radikális



**A nanoszál előállítása elektromos térben**

12. ábra



13. ábra

A textíliákból készült konfekcionált termékek (ruházat, lakástextília stb.) mosása során nagyszámú szál kerül a mosófürdőbe, centrifugált vízbe (pl. 6 kg töltet esetén 700 ezer szál válik le). Ezt a szálak fonalsodratból való kiszabadulása, használati és mosásmechanikai töredezése, természetes elhasználódásból eredő kihullása stb. idézi elő. Szálas-mikroműanyagot (beleértve a mikro- és nanoszálakat is) főként a poliészter (a legnagyobb mennyiségben termelt mesterséges, szintetikus szálasanyag), a különböző poli- amidok (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,  $\mu\text{m}$ -es átmérő tartományba esik, ugyanakkor a még finomabb mikro- és nanoszálak is elsődleges mikroműanyag-szennyezők (14. ábra).



14. ábra

- Több fejlesztés is folyik a mosógépből távozó vizet hatékonyan szűrő betétek alkalmazására, hogy a szálas-mik-



15. ábra

Az egyes műanyagok lehetőség szerinti újrahasznosítása valamennyire csökkentheti a mikroműanyagok felhalmozódását a környezetben (15. ábra).

- [1] Paulik Katalin: Műanyag hulladékok az ökológiai körforgásban, Innovéka, 2019. május
- [2] <https://www.nationalgeographic.com>, magazine, 2019/05
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Microplastics>
- [4] WESSLING Hungary Kft.: Új globális kihívás – Mikroplasztikok, Élet és Tudomány, 2018/35
- [5] Kutasi Csaba: A PET-palackok és egyéb poliészter hulladékok újrafeldolgozása és újrahasznosítása, Magyar Textiltechnika, 2018/3
- [6] Textilipari Műszaki és Tudományos Egyesület: A magyar textil- és ruhaipar kutatás-fejlesztési és innovációs stratégiája, 2009