

A mikroműanyagok és polimerek lebonthatóságának vizsgálati lehetőségei a HOHENSTEIN Intézetben

Albert Adrienn

Dr. Kokasné dr. Palicska Livia

INNOVATEXT Zrt.

*Kulcsszavak/Keywords: Mikroműanyagok, Polimerek, Fast fashion, Újrahasznosítás
Microplastics, Polymeres, Fast fashion, Recycling*

Bevezetés

A modern divatipar problémája nagyon komplex: a gyártástól az elkészült ruhák szállításán, majd a megmaradt vagy használtan visszavett ruhák kezelésén át számtalan olyan kivetnivaló dolgot felsorolhatunk, amit meg kellene oldani ahhoz, hogy ezt a szakterületet ne a világ egyik legszennyezőbb iparágaként emlegessék.

A különböző fenntarthatósági mozgalmak és a fast fashion márkák körül kialakult botrányok miatt egyre többen szeretnék átláthatóbb képet kapni az egyes márkák működéséről. A fast fashion márkák ugyan próbálják titokban tartani, milyen embertelen körülmények uralkodnak Távol-Keleten némely gyárakban, valamint azt is, hogy mennyire környezetszennyező a tömeggyártás folyamata, de egyre több „sötét titokra” derül fény.

A gyárak tömegével ontják magukból a legújabb divattrendek alapján készült ruhákat, hogy azok hetente kerüljenek készletváltásba a boltok polcaira. Ezek a márkák alacsony áráikkal, de széles választékkal versenyeznek a fogyasztókért, akik észre sem veszik az árverseny elmaradhatatlan következményét, hogy ugyanis a termékek minősége egyre romlik. Nem a hordhatóság és a tartósság a fontos, hanem az, hogy mi újat látunk meg holnap a kirakatban, vagy mi az, ami eddig nem volt, és most megszerezhető.

A divatipar már most is óriási mértékben használ fel kőolaj-alapú szálanyagokat, a népesség számának gyors növekedése miatt ez a felhasználás a közeljövőben a mainak többszörösére duzzad. A szintetikus szálakból készült termékek gyártása és használata pedig egyre inkább hozzájárul a mikroműanyagok okozta környezet-szennyezéshez is.

Mivel a kínálat mindig nagyobb, mint a kereslet, a divat pedig gyorsan változik, naponta több száz tonnányi textilhulladék keletkezik, egyrészt a meg nem vásárolt, valamint a fogyasztók által kidobott ruhákból.

De mi történik ezzel a rengeteg holmival? Természetesen a használt ruha, sőt a hulladék is üzlet. Kelet-Európában, így hazánkban is nyomon követhető, hogy a használt ruha-üzlet jól jövedelmező üzletág, hiszen számos bolt nyílt az elmúlt években, amelyeknek többsége nyugat-európai árut értékesít.

Európa hatalmas mennyiségben exportál textilhulladékot harmadik országokba. A világ számos fejlődő országába, köztük pl. a nyugat-afrikai Ghánába hetente 15 millió használt ruhanemű érkezik. Ennek egy részét újrahasznosítják, de 40%-uk a szemétre kerül. A textilhulladék kezelése a divat ökoszisztémájának fontos része, amit azonban többnyire figyelmen kívül hagynak. Ghánában sincs ellenőrzött hulladéklerakó vagy hulladékégető. A ruhák bekerülnek a környezetbe; egy részük az óceánban köt ki, hogy aztán az áramlatok több száz kilométerrel odébb a partra mossák őket.



A hulladékok az élővizet is szennyezik

Nem csupán a mértéktelen termelés okoz azonban problémákat. Nem tekinthetünk el a fast fashion világ háttérében megbúvó súlyos szociális problémáktól sem, melyek komoly etikai kérdéseket vetnek fel. A világ vezető divatmárcáinak beszállító gyáraiban gyakori a szexuális zaklatás és bántalmazás. Az ázsiai ruhagyárak, amelyek legtöbbször általunk Európában is ismert nagy márkáknak dolgoznak, szinte kizárólag nőket foglalkoztatnak. Nemi erőszak, sőt gyilkosság is gyakran megesik az elmaradott, szociális egyenlőtlenségben működő munkaközösségekben.

Világos, hogy a divatipar és minden bizonnyal valamennyi iparág, amely a mértéktelen fogyasztói társadalmat szolgálja, szigorú rendszabályozásra szorul.

A 2022. márciusában elfogadott európai textilstratégia új irányt szab a divatiparnak. A Fenntartható és Körforgásos Textiliáról szóló Unió Stratégia szerint 2030-ra az Európai Unió piacán forgalomba hozott textiltermékek

- hosszú élettartamúak és
- újrahasznosíthatóak lesznek, nagyrészt újrahasznosított szálanyagokból készülnek,
- nem tartalmaznak veszélyes anyagokat, és
- a szociális jogok és a környezet tiszteletben tartásával készülnek.

A fogyasztói tudatosság erősödésével várhatóan egyre általánosabb lesz a vásárlás előtti tájékozódás, amellyel kiszűrhetőek lesznek az uniós elvárásoknak nem megfelelően előállított termékek, és várható a túlfogyasztás csökkenése is.

A minőségi, tanúsított termék mindenképpen jó választás, hiszen az arra is garanciát adhat, hogy az áru élettartamát tekintve is hosszán szolgálhat majd bennünket, így nem kell hamar lecserélni.

A mikroműanyag-szennyezés oka és vizsgálatai

Évente mintegy 500 000 tonna mikroműanyag kerül a világ óceánjaiba. A mikroműanyag-szennyezés az élővizek mellett a levegőben is kimutatható, leggyakoribb



Szálas mikroműanyag-szennyeződés mikroszkóp alatt

forrása a csomagolóanyagokban található polipropilén és a műanyag palackok gyártásához használt PET, de nagymértékben hozzájárul a szennyezéshez az autógumik kopása is.

Az általunk hordott ruhák és lábbelik is felelősek a mikroműanyag-szennyezésért. A divatiparban egyre több szintetikus anyagot (poliészter, poliamid, poliakrilnitril, elasztán stb.) használnak. Terjednek a bőr utánzatai is, mint például az úgynevezett „textil bőr”, „vegán bőr” vagy „őko-bőr” anyagok is, amelyekhez általában poliuretán (PU) vagy polivinil-klorid (PVC) felhasználása is szükséges. Amíg a szintetikus szálak és a műbőrök fosszilis energiahordozókból, kőolajból alacsony áron előállíthatók, addig használatuk növekedni fog, az élettartamuk végén jelentkező környezeti hatásokkal együtt. Ilyen káros hatás a mikroműanyag-szennyezés, amely még az újrahasznosítást követő második életciklus után is jelenthet problémákat.

Mikroműanyag-szennyezést okoz, hogy a szintetikus textiliákból a textilgyártás során, valamint a használat és a mosás/gépi szárítás során száldarabkák szabadulnak fel. Ha ezeket nem távolítják el hatékonyan a későbbi tisztítási folyamatok, akkor a szennyvízzel a folyókba, belvizekbe és óceánokba kerülnek. A kutatók azt is megállapították, hogy a textiliák használata során nagy mennyiségben válnak le azok felületéről természetes szálak is, amelyek később az élővizekben is kimutathatók. Bár ezek hamarabb lebomlanak, mint a műanyagok, nagy mennyiségük miatt mégis nem elhanyagolható problémát jelenthetnek.

A csomagolásban, a mindennapi tárgyainkban, a textiliákban, vagy akár az autógumiban felhasznált műanyagok hajlamosak arra, hogy széttöredezzenek: felületükről 5 mm-nél kisebb, ún. mikroműanyagok válnak le, amelyek a természetben lassan vagy sosem bomlanak le.

A műanyagok lebomlása igen hosszú ideig tart. Egy eldobott műanyag bevásárlótászkánál ez akár 200–1000 év, a PET palacknál 450 év, míg a természetes eredetű anyagoknál ez az idő lényegesen rövidebb: pl. egy gyapjúzokni lebomlási ideje 1–5 év, míg egy pamutkesztyűnél ez alig 3 hónap is lehet.

A műanyag hulladékok aprózódásából keletkező mikrorészecskéket az 1970-es években figyelték meg először, de csak a 2000-es évektől kezdődően kerültek fokozottabban a figyelem középpontjába. Ezeket másodlagos mikroműanyagoknak nevezik, hiszen azok nem rendelkeznek fogva ilyen méretűek, többnyire a hétköznapi

életünk során használt tárgyak kopásából eredeztethetőek.

A mikrorészecskék káros anyagokat bocsáthatnak ki és nagyon hosszú ideig szennyezhetik a környezetet. Számos tanulmány mutatta ki a mikroműanyagok növekvő mennyiségét a sós és édes vizekben.

A bőrünkön viselt textiltermékekből is felszívódhatnak a szervezetünkbe egészségre ártalmas vegyi anyagok, amelyek ugyancsak beszívároghatnak a vizekbe és az élőlények szervezetébe.

Bizonyos szennyezőanyagok képesek a műanyag-hulladék felszínére is kötődni. Ennek különösen akkor van nagy jelentősége, ha a műanyagok már nem eredeti formájukban, hanem lassú szétesésük eredményeképpen mikroműanyagokként vannak jelen. Laboratóriumi kísérletek igazolták a szennyezőanyagok megkötődését, illetve azt a tényt, hogy a szerves szennyezőkkel kialakított kapcsolat után azokat koncentráltabb formában juttatják az élőlények szervezetébe, így még veszélyesebbek. Tipikusan ilyenek a gyártás során használt toxikus vagy hormonháztartást zavaró anyagok (biszfenol-A, ftalátok és polibromozott-difenil-éter égésgátlók).

A Felső-Tisza egyik leginkább szennyezett partszakaszának vizéből vett minta vizsgálati eredményei sajnos igazolták a szervezők és a független laboratórium munkatársainak félelmét: a műanyagpalackokból is kioldódó anyagok, a ftalátok hat vizsgált vegyületéből három is jelen volt a folyóból vett vízmintákban.

Az élőlények belélegezhetik a mikrorészecskéket, vagy lenyelhetik azokat a táplálkozás során. A mikroműanyagok apró részecskéit jelentős mennyiségben találták meg már a tápláléklánc tetején élő rákokban és más vízi élőlényekben is. A tudósok egészséges felnőtt donorok vérmintáit is elemezték, és a legtöbb mintában mikroműanyag-részecskéket találtak.

A mikroműanyagok vizsgálati módszerei a HOHENSTEIN Intézetben

A HOHENSTEIN Intézet analitikai módszerekkel képes meghatározni a textilanyagokról leváló száltöredékeket, a szálkibocsátási hajlandóságot, valamint a technológiai lépcsőkben és a szennyvízben lévő mikroműanyag-tartalmat.

Az intézet a következő vizsgálati módszerek szerint végzi az elemzést:

- a szálkibocsátás és a szálhossz-eloszlás számszerűsítése HOHENSTEIN által kifejlesztett módszerrel: dinamikus képelemzés (DIA),

- a szál- és részecskeleválás teljes mennyiségének mérése szűrőssel a University of Leeds/The Microfiber Consortium (UoL/TMC) módszere szerint.

A DIA módszer során megállapítható a szálak száma, a formája, hossza és eloszlása, megkülönböztethető a cellulóz és nem-cellulóz szálak mennyisége, valamint a textilről leváló száltöredékek összes mennyisége is.

A vizsgálat előnyei:

- a textiliák és a szennyvíz elemzése (különböző mintatípusok egy forrásból),

- a felszabadult szálak mennyiségének, típusának és formájának meghatározása HOHENSTEIN -módszerrel (DIA),

- a mikroműanyag-szennyezést okozó száltöredékek kibocsátásának objektív mérése,

- a szennyvíz minőségének ellenőrzése, a meglévő folyamatok és kezelési lépések optimalizálási lehetőségei.

A HOHENSTEIN Intézet kutatója, dr. Jasmin Jung kapta meg a Dornbirni Mesterségesszal Konferencián a neves Paul Schlack/Wilhelm Albrecht-díjat a mikroműanyag-kutatás területén írt disszertációjáért. A munkát



A HOHENSTEIN Intézet textilvizsgálati tanúsítása

Prof. Dr. Jochen Gutmann felügyelte a Duisburg-Essen Egyetem Fizikai Kémiai Intézetéből. Dr. Jung Dinamikus képelemzés létrehozása és alkalmazása a textilmosási folyamatokból származó szennyvízben lévő szálak meghatározására című disszertációjának részeként egy teljesen új analitikai módszert dolgozott ki a nagyüzemi mosodákból származó szennyvízben lévő szálak meghatározására. A nagyüzemi mosás során a szálak kioldódását okozó tényezőket még nem igazán vizsgálták, az eddigi tanulmányok elsősorban a háztartási mosás hatására összpontosítottak. Dr. Jung a ruházati textiliákról a nagyüzemi mosási folyamatokban leváló szintetikus szálak, például a poliészter, valamint a pamut és ezek keverékeinek új elemzési módszerét dolgozta ki, szimulálva azokat a hatásokat és folyamatokat, amelyekkel a ruhákat a nagyüzemi mosodai gyakorlatban feldolgozzák.

A kifejlesztett módszer segítségével keverék összetételű textilanyagoknál is megállapítható a leváló poliészter és pamut aránya a kibocsátott száltöredékek összmennyiségére vonatkoztatva. A kísérletek során 50/50 százalékos és 65/35 százalékos poliészter/pamut keverékű kelméket vizsgáltak. Az eredmények azt mutatták, hogy a szennyvízbe kibocsátott száltöredékek túlnyomó része (kb. 90 százalék) pamut volt. A használat során bekövetkező kopással csak kis mennyiségben (kb. 10 százalék) került poliészterszál-töredék (mikroműanyag) a szennyvízbe.

A HOHENSTEIN erre a doktori disszertációjára alapozva dolgozta ki az új módszert a szálak mikroműanyagok textiliákból való kioldódásának elemzésére. A kioldódási viselkedés elemzésével a kutatók, az anyagtudomány területén dolgozó fejlesztők és a márkák pontosabban meg tudják határozni, hogy a szálak és az anyagszerkezetek mely típusai járulnak hozzá leginkább a mikroszálak kioldódásához. Ez lehetővé teszi, hogy megalapozott döntéseket hozzunk a fenntarthatóbb, kevesebb mikroműanyagot és száltöredékeket kibocsátó textiliák kifejlesztése során.

A textilanyagok újrahasznosításának és lebonthatóságának egyes kérdései

Az egyre fogyóban lévő fosszilis energiák megtakarítását eredményezi, hogy a hagyományos műanyagokat és a biopolimer termékeket is újra lehet hasznosítani. A szintetikus szálak újrahasznosítása mellett a műanyag-palackokból származó PET-et is egyre gyakrabban dolgozzák fel ruházati termékek és lábbelik gyártására. Az újrahasznosítás (a termék bontása, tépése, aprítása és újbóli termék gyártása) során a molekulaszervezet károsodik és így az újrahasznosított anyag mennyiségétől függően gyengébb lesz a termék minősége. Ezért előbb-utóbb érdemes azt egy magasabb rendű

újrahasznosításnak alávetni. A biopolimerek esetében erre tökéletes megoldás például a komposztálás.

A divatipar „zöld” átmenetét szolgálja, hogy egyre több organikus természetből származó természetes anyagot használnak. Az organikus természetű szálak ugyan csökkenthető a vegyszerigény, de pl. a gyapotföldök öntözése to-

vábbra is komoly kérdéseket vet fel. A növényi alapú mesterséges szálak, nyersanyagok felhasználásánál sem szabad szem előtt tévesztetni, hogy attól, hogy megújuló a nyersanyag, még nem biztos, hogy az alapanyag (a biopolimerből készült termék) is környezetbarát és mentes az egészségre ártalmas anyagoktól. A biopolimereket megújuló erőforrásból állítják elő, így általuk a fosszilis energiahordozókat kiválthatják, de környezeti hatásuk a gyártás szempontjából nem feltétlenül pozitív. Bár egy „bambuszából készült” textília a cellulóz tartalma miatt biológiailag gyorsabban lebontható, mint egy szintetikus szálakból készült termék, de tévhit azt gondolni, hogy egyúttal környezetbarát is, hiszen anyaga viszkóz szálgyártással készül, amelynek során környezetszennyező vegyületek kerülnek kibocsátásra.

A biopolimerek használatának nagy előnye, hogy azokat megújuló erőforrásból állítják elő (pl. cellulóz, keményítő, cukor), előállításuk során légköri szén-dioxid megkötése megy végbe, égetése nem juttat többlet CO₂-t a légkörbe (mivel anyagában CO₂ semleges), valamint az, hogy komposztálhatók és a komposztálás során természetes, a környezetre ártalmatlan anyagokra bomlanak. Amennyiben mikroszemcsére bomlanak, akkor az nem okoz gondot, hiszen lebomlási idejük rövidebb, mint a szintetikusoké.

A polimereknél lebonthatóság szempontjából az alábbiakat különböztetjük meg:

- **A komposztálható polimer** a lebomlás során vízzé, szervesetlen anyagokká és biomaszává alakulnak, szén-dioxid és – oxigénmentes környezetben – metán képződése mellett. A folyamat hónapok, maximum egy év alatt végbemegy.

- **A biológiailag lebomló polimer** biotikus környezetben vagy komposztban a mikroorganizmusok enzimatis bontó hatásának következtében képes vízzé, szervesetlen vegyületekké és biomaszává lebomlani szén-dioxid és – oxigénmentes környezetben – metán képződése mellett. A lebomlási folyamat hónapok, maximum egy év alatt megy végbe.

- **A bio-eródálható polimer** nem enzimatis úton, tehát általában hő-, és/vagy oxigén-és/vagy UV-sugárzás hatására bekövetkező öregedés miatt bomlanak le, de a töredékek további lebomlásra nem képesek. Nem lebomlók a hagyományos értelemben, csak „szétesők”.

A biológiai lebonthatóságnál általában a természetes alapú, megújuló erőforrásból előállított polimereket vizsgálják, aminek során azt állapítják meg, hogy a talajban komposztálva vagy biotikus környezetbe helyezve a gombák, baktériumok vagy algák enzimatis bontó képességének hatására hány hét, hónap, esetleg év alatt bomlanak szemmel nem látható részre (humusz, víz, szén-dioxid). A biológiai lebonthatóság esetén a bomlástermékek nem szennyezik a környezetet vagy a komposztot.

A lebontható polimerek esetében a fő lebomlási mechanizmus a hidrolízis, amely lehet enzimatis

(baktériumok által segített) vagy nem enzimatis (kémiai). A biológiai lebomlás folyamán csökken a polimer molekulatömege, és a lánc töredékeket és oligomereket a bontó baktériumok már fel tudják dolgozni. A lebomlás során víz, humusz (szerves anyagokban gazdag föld) és szén-dioxid, egyes esetekben pedig metán is képződik (levegőtől elzárt, anaerob bomlás).

A mikroorganizmusok bontó hatását (bomlás sebességét) befolyásoló tényezők:

- hőmérséklet,
- páratartalom (vagy víztartalom),
- napfény,
- oxidáció,
- hidrolízis,
- a polimer molekulaszervezete (molekulatömeg, eloszlás, kristályosság stb.).

A biológiai lebonthatóság megítélésénél négy szempont játszik szerepet:

- fizikai lebomlás, méretcsökkenés, széthullás,
- kémiai lebomlás,
- toxicitás – mérgező termékek nem keletkezhetnek,
- az így kapott komposzt minősége és eladhatósága.

Csomagolóanyagoknál a biológiai lebonthatóság szabványa az MSZ EN 13432: Csomagolás. Komposztálással és biológiai lebomlással hasznosítható csomagolás követelményei. Vizsgálati program és a csomagolás végleges elfogadásának értékelési feltételei.

E szabvány előírja, hogy a mikroorganizmusok vagy gombák jelenlétében meghatározott hőmérséklet, oxigén- és páratartalom mellett 6 hónap alatt az anyag 90%-ának vízre, széndioxidra és biomasszára kell bomlania.

A HOHENSTEIN Intézetben a textilanyagok lebonthatóságára vonatkozó vizsgálatai módszerek a következő szabványokon alapulnak:

- DIN EN ISO 11721-1: Textilák – Cellulóz tartalmú textilák mikroorganizmusokkal szembeni ellenállásának meghatározása. Földbe temetéses vizsgálat. 1. rész: A rothadást csökkentő kikészítés értékelése.
- DIN EN ISO 846: Műanyagok. A mikroorganizmusok hatásának kiértékelése.
- OECD 207 – Földigiliszták akut toxicitási teszt.
- OECD 208 – Szárazföldi növények vizsgálata: Palánta kikelési és palánta növekedési vizsgálat

A vizsgálat természetes vagy természetes eredetű mesterséges szálakból készült textilanyagoknál alkalmazható. Elvégzésére legalább 0,5 m² kelmére, fonal esetén mintánként 50 g mennyiségre (2 csévéből), míg konfekcionált késztermékből legalább 9 db mintára van szükség. A vizsgálat időtartama 6 hét, de akár 12 hónap is lehet. Amennyiben a vizsgálat eredményes volt, akkor a termék egy megkülönböztető jelzést kap. A kiadott minőségjel a vizsgált mintára vonatkozóan a következőket tanúsítja: *a termék 12 hónap alatt legalább 90%-ban lebomlik, teljesíti az öko-toxicitás követelményeit.*

A HOHENSTEIN kutatóinak kezdeményezésére jött

létre a DINSpec 4872 szabvány is, amely nemcsak a kelmék szálak mikroműanyag-kibocsátását határozza meg és osztályozza, hanem a textilszálak lebomlását/biodegradációját és ezzel egyidejűleg az ökotoxikológiai tulajdonságokat is.

Az intézet kutatói egy gyorsított vizsgálati eljárás is dolgoznak a textilanyagok lebomlására vonatkozólag, amelynek során nem komposztálással, hanem laboratóriumi körülmények között, zárt térben, mesterséges körülmények között vizsgálják a lebomlást.

Zárszó

A textiliák környezeti hatását vizsgálva nem lehet megkerülni a mikroműanyagokat, de az újrahasznosítást és a textilanyagok lebonthatóságát sem.

A mikroműanyagok mérésére és meghatározására rendelkezésre állnak már módszerek, de mindezek még nem elegendőek a körforgásos gazdaság összefüggésében. Szükség lenne a mikroműanyagok terminológiájának európai szintű egységesítésére is.

Az INNOVATEXT Zrt. a textiliák újrahasznosításra vonatkozó projektjeivel, a textilanyagokban és a bőrtermékekben előforduló, egészségre káros vegyi anyagok vizsgálatával, valamint az OEKO-TEX® tanúsításaival (többek között a fenntartható gyártás tanúsításával) is hozzájárul a textil beszállítói lánc átláthatóságához és nyomon-követhetőségéhez.

Az intézet anyavállalata, a HOHENSTEIN 2016 óta élen jár a mikroműanyagokra vonatkozó kutatásokban, ami a kutatási és szabványosítási testületekben való aktív részvételének is köszönhető. A Mikroszálak Konzorcium (TMC) tagjaként a Leedsi Egyetemen és a textilipar más szereplőivel együtt dolgozik a textiliákból származó mikroműanyag-kibocsátás minimalizálásán, a textilipar fenntarthatóságának növelésén a textil-bőr ökoszisztéma egyensúlyának és körforgásának megteremtéséhez.

Források

- <https://mikromuanyag.hu/>
- ChenyeXua, GangZhoua, JiaweiLua, ChensiShena, ZhiqiangDongb, ShanshanYinc, FangLia: Spatio-vertical distribution of riverine microplastics: Impact of the textile industry, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935122001165>
- Cost-benefit analysis of policy measures reducing unintentional release of microplastics A study for the European Commission (DG Environment), https://microplastics.biois.eu/microplastics_textiles.pdf
- <https://www.etk.pte.hu/public/upload/files/hirek/2018/09/csomagolas.pdf>
- <https://www.hohenstein.com/en/>
- Dissertation Dr. Jasmin Jung https://duepublico2.uni-due.de/servlets/MCRFileNodeServlet/duepublico_derivate_00071821/Diss_JasminJung.pdf
- Awards Dissertation Dr. Jasmin Jung <https://www.zuse-gemeinschaft.de/presse/news/hohenstein-forscherin-mit-preis-ausgezeichnet>
- DINSpec 4872 Business Plan <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/din-spec/alle-geschaeftsplaene/wdc-beuth:din21:334327733>