

Bioszintetikus szálanyagok

Lázár Károly

Kulcsszavak/Keywords: Szálanyagok, Bioszálak, Bioszintetikus szálak, Bio-polimerek, Bio-poliészter, Bio-poliamid, Bio-elasztán, Pókselyem
Textile fibres, Bio-synthetic fibres, Bio-polyester, Bio-polyamides, Bio-elastane, Spider silk

A szintetikus szálanyagokat a világ óriási mennyiségben gyártja és használja ruházati és nem ruházati (bútor- és háztartási textíliák formájában, valamint műszaki és egészségügyi) célokra. Hogy ezek a szálanyagok milyen óriási jelentőségűek, az mutatja, hogy a világ teljes szálanyag-termelése 2019-ben (a természetes és mesterséges szálanyagok együttevén) 111 millió tonna volt, amiből a szintetikus szálak 70 millió tonnát, a teljes termelés 63%-át tették ki.[1]

A szintetikus szálanyagokat manapság általában kőolajszármazékokból, egyszerű szerves vegyületekből (monomerekből) állítják elő. Ezekből kémiai úton, polimerizáció ill. polikondenzáció útján lineáris nagymolekulájú anyagokat, polimer láncmolekulákat állítanak elő, amelyek alkalmasak szálak készítésére. A szálképzés kétféleképpen történhet. Az egyik eljárásnál a hő hatására megömlasztett polimer a szálképző fej apró nyílásain préselik át, majd erősen megnyújtva lehűtéssel szilárdítják meg. A nyújtás hatására a szálakat alkotó polimerláncok rendeződnek, a száltengely irányában párhuzamosodnak, közöttük kötések jönnek létre és így elnyerik kívánt szilárdságukat. Így készül például a poliamid- és a poliészterszál. A másik eljárásnál alkalmas oldószerrel oldatba viszik a polimer anyagot,

az így nyert folyadékot ismét apró nyílásokon átpréselve keletkeznek a szálak, amelyeket az oldószer elpárologtatásával, vagy kicsapó fürdőben a folyadéksugár koagulálása révén szilárdítanak meg, ugyancsak erős nyújtás mellett. Ezt az eljárást alkalmazzák például a poli(akrilnitril)- és az elasztánszálak gyártásában.[2]

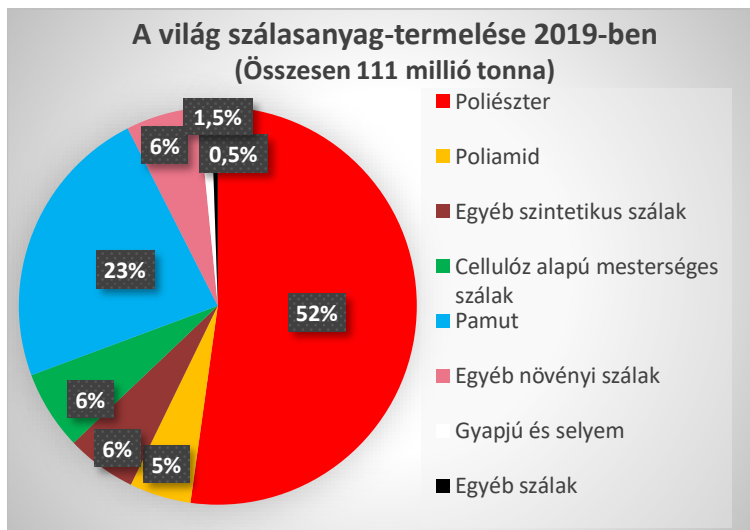
Ezeknek a szálanyagoknak az alapanyaga tehát a fosszilis (az ősidőkben lebomlott növények és állatok maradványaiból keletkezett) kőolaj, aminek mennyisége a világban óriási ugyan, de egyre fogy. Azonkívül a kőolaj kitermelése, majd abból azoknak a monomer vegyületeknek az előállításuk, amelyek a szintetikus szálak anyagát képezik, rendkívül energiaigényes és sokszor környezet-szennyező. A fosszilis eredetű anyagokból előállított szálanyagok ill. a belőlük gyártott termékek hátrányos tulajdonsága az is, hogy biológiailag nem bonthatók le, vagy csak rendkívül hosszú idő alatt bomlanak le, ezért nem újrahasznosítható hulladékaik nagyon terhelik a környezetet. Manapság ezért egyre nagyobb törekvés van olyan eljárások kifejlesztésére, amelyek más kiinduló anyagokból képesek a szálgyártáshoz szükséges monomer vegyületek előállítására. Kézenfekvő, hogy ehhez a lehető legnagyobb mértékben a természetben megújuló

forrásokat igyekeznek keresni, amiket különböző növényekben, elsősorban a kukoricában, cukorrépában, cukornádban, növényi (pl. szója-, ricinus-) olajokban sikerült megtalálni. Az ezekből készült szintetikus szálanyagokat nevezik *bioszintetikus szálaknak*.

Nem hagyható azonban figyelmen kívül, hogy épp ezek a növények egyúttal a táplálkozásban is igen fontos szerepet töltenek be, ezekkel kell a szálanyaggyártásnak versenyeznie, ezért ezek mellett más, táplálkozásra nem alkalmas anyagokkal, mezőgazdasági vagy erdészeti maradványokkal (biomasszából), algákkal, gombákkal, baktériumok felhasználásával is próbálkoznak.

Azonban a bioalapú szintetikus anyagoknak csak egy része képes biológiailag (élő szervezetek, többnyire mikrobák hatására) az ipari komposztáló létesítményekben lebomlani. Az összes jelenleg gyártott bioszintetikus

anyagnak csak mintegy 40%-a ilyen – és sajnos nem tartozik ide például a bio-poliészter, a bio-etilén, a bio-poliamid, azaz a leggyakrabban használt fajták. Ezek ill. a belőlük készült textíliák az idők folyamán oxidatív úton (napfény és oxigén együttes hatására) legfeljebb apró részecskékre bomlanak szét, így ún. mikroműanyagok formájában továbbra is környezetszennyezők maradnak.



Biztató eredmények

Az Európai Bizottság által meghirdetett 7. keretprogram egyik témája bioalapú szintetikus textilszálak (bioalapú elasztán és poliészter) kifejlesztése olyan ipari technológia optimalizálásával, amely lignocellulóz alapanyagokból (fa, növényi maradványok stb.) kiindulva 100%-ban bioalapú vegyi anyagokat: furfurolt, hidroximetil-furfurolt (HMF), tetrahidrofuránt (THF) és 2,5-furán-dikarboxil savat (FDCA) állít elő. Cél a poliészter- és elasztánszálak gyártásában meghatározó fontosságú furfuroll szintézisének optimalizálása a hozam növelése, a költségek csökkentése, az oldószerek és az ecetsav visszanyerése, a cellulóz felértékelése a HMF előállításához és a ligninből üzemben belül égethető bioszén előállítására hőtermelés céljából. A furfurolból optimalizálják a 100%-ban bioalapú THF szintézisét, amely a gumirugalmas elasztánszál tömegének 70%-át teszi ki. A HMF-ből egy új, 100%-ban bioalapú poliészter textilszálát kívánnak kifejleszteni.

A furán és egyes furánszármazékok, mint például a furfuroll a műanyagok gyártásában használatosak. A furfuroll megtalálható a fenyő- és bükkfakátrányban,

korpában, és előállítható mezőgazdasági hulladékokból is. Felhasználható bioalapú poliészter- és elasztánszálak gyártásában. Az *EcoLASTANE* néven futó fejlesztésen egy francia, egy spanyol és egy cseh vegyipari vállalat konzorciuma dolgozik, több kutatóintézetrel együttműködve, ők a furfurolt facellulózsból állítják elő. Az igéretes kísérletek a textilipari próbafeldolgozásban igen jóminőségű elasztán- és poliészterszálakat eredményeztek.[3,4,5]

Bioszintetikus poliészterek

A poliészter a legnagyobb mennyiségben gyártott szintetikus szálanyag: a teljes szálanyag-termelés mintegy 52%-át képviseli, tehát jelentősége igen nagy. Ennek egyelőre hozzávetőlegesen csupán 1%-át állítják elő bio-poliészter formájában, de a mennyiség növekvő tendenciát mutat.[6]

A hagyományos, fosszilis alapú poliészter anyaga a poli(etiléntereftalát). Megközelítőleg hasonló tulajdonságú szálanyag a poli(trimetilén-tereftalát) (PTT) és a politejsav (polylactic acid, PLA).

A DuPont *Sorona* márkanevű poliészterszálának anyaga például a poli(trimetilén-tereftalát), amit 37%-ban megújuló növényi eredetű anyagból állítanak elő. Legfontosabb összetevője az 1,3-propándiol (PDO). Míg a szálmínőségű PDO-t hagyományosan petrokémiai eljárással állítják elő, a DuPont erre egy új módszert fejlesztett ki. Kukoricából vagy biomasszából származó keményítőtől glükózt (cukrot) vonnak ki és mikroorganizmusok hozzáadásával fermentálják. Az eredmény természetes úton nyert PDA. Ehhez kőolaj alapú tereftálsavat (TFA) adnak, így keletkezik a szál előállításához szükséges makromolekula. A *Sorona* szálát ruházati és bútorigipari textiliák gyártására ajánlják, köztük autók kárpitozására is. A gyártó szerint a szokványos poliészterszálhoz képest gyártása 30%-kal kisebb energiafelhasználást igényel és 63%-kal kevesebb üvegházhatású gáz keletkezésével jár.[7]

A NatureWorks LLC cég gyártmánya, az *Ingeo* anyaga politejsav, amit cukorrépából, búzából, kukoricából vagy más, keményítőt tartalmazó növényből állítanak elő. A növényből kivonják a keményítőt (glükózt). Enzimek hozzáadásával a glükózt hidrolízis révén dextrózzá alakítják, amit mikroorganizmusok tejsavvá erjesztik. A következő folyamatban a tejsavmolekulákat laktidgyűrűkké alakítják és ebből képezik polimerizáció útján a hosszú polilaktid láncmolekulákat, az *Ingeo PLA* anyagát.[8]

A japán Toray cég *Ecodear PET* néven hozza forgalomba bio-poliészter típusú szálanyagát, amelyet cukornád melaszából kivont etilén-glikol és kőolajból származó tereftálsav polimerizációjával és olvadátfonásával állítanak elő.[9]

A *PLA* néven ismertté vált szálanyag politejsavból készül és legalább 85%-ban növényi eredetű: cukorrépából, búzából, kukoricából vagy más, keményítőt tartalmazó növényből, a keményítő cukorra alakításával és ennek fermentálásával előállított tejsav-észtert tartalmazó anyag. A szálát olvadékos szálképzéssel készítik. Mechanikai tulajdonságai a polietilénhez és a poliészterhez hasonlítanak. Kémiaiilag a poliészter családdhoz tartozik. Gyártása mintegy 65%-kal kisebb energiafelhasználást igényel, mint a kőolaj alapú szintetikus szálanyagoké. Nagy előnye az is, hogy nedves közegben és 60 °C feletti hőmérsékleten lebomlik; a lebontható szintetikus szálanyagok kb. 19%-át képviseli, tehát jelentős mennyiséget tesz ki.[10,11,12] Ruházati, műszaki (pl. bútor- és autókárpit-anyagok), egészségügyi (kötészer) és higiéniai (pl. pelenkák) textiliák gyártására használják.

A Toray *Ecodear PLA*, az ugyancsak japán Kanebo *Lactron* márkaneven hozza forgalomba PLA típusú szálanyagát.

Bioszintetikus poliamidok

A különböző típusú poliamid-szálanyagok a világ teljes szálanyag-termelésének 5%-át képviselik.[13]

A bio-poliamidok alapanyagát növényi zsírokból vagy olajokból nyerik. Legtöbbjük anyaga szebacinsav-alapú, kivéve a poliamid 11-et, amit ricinusolajból nyert aminoundekánsavból állítanak elő. A szebacinsav-alapú poliamidokat a diacidnak egy diaminnal, például 6 szénatomot tartalmazó hexametiléndiaminnal és 10 szénatomot tartalmazó dekametiléndiaminnal történő lépcsőzetes polimerizációjával állítják elő, így poliamid 6.10 és poliamid 10.10 keletkezik. A poliamid 11-et úgy állítják elő, hogy először brómozza a 11 szénatomot tartalmazó undecilénsav kettős kötését, majd ammóniával reagáltatják, így 11-aminoundekánsav keletkezik, amelyet ezután poliamid 11-é polimerizálnak.

Mindhárom poliamid kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik: nagy szakítószilárdságúak, rugalmasak, szívóvak, kopásállóak, jó kémiai ellenállást mutatnak – értékes versenytársai a jól ismert poliamid 6 ill. poliamid 6.6 szálaknak.[14]

A *poliamid 6* (PA 6) nagyon széles körben elterjedt szálanyag. A kaliforniai Genomatica Inc. biotechnológiai és az olasz Aquafil SpA szálgyártó cég sikeresen befejezte a növényi alapú poliamid 6 első kísérleti gyártását. Előállították az első néhány tonna növényi alapú kaprolaktámmot, a poliamid láncmolekula monomerjét, átalakították azt PA 6 polimerré, és az Aquafil szlovéniai gyárában megkezdtek a nagyüzemi próbagyártást, hogy ennek eredményeként értékeljék a termék viselkedését, tulajdonságait a ruházati felhasználású és szőnyegfonalak körében.[15]

Az Arkema cég által gyártott *Rilsan* márkanevű poliamid 11-et ricinusolajból nyert aminoundekánsavból állítják elő. Ruházati és műszaki textiliák gyártására egyaránt alkalmas. Kis, 1,04 g/cm³ sűrűségével, jó mechanikai szilárdságával és kiváló vegyszerekkel szembeni ellenállóképességével tűnik ki.[16]

Bioszintetikus elasztánszál

A poliuretán anyagú, Európában *elasztán*, az amerikai angolban *spandex* néven ismert szálanyag fő tulajdonsága nagy rugalmas nyúlása, ami alkalmassá teszi, hogy igen sok helyen helyettesítse a gumifonalakat.

Az Invista cég által gyártott *Lycra* az egyik legismertebb elasztánszál-fajta. Bioalapú változatában fő összetevőjének az 1,4-butándiolnak (BDO) kukoricából nyert származékból állítják elő.[17]

A dél-koreai Hyosung TNC cég *Creora Bio-Based* márkanevű bio-elasztánszála a gyártó szerint a szén-dioxid-kibocsátást 23%-kal, a vízfelhasználást 39%-kal csökkenti a hagyományos gyártási módhoz képest.[18]

Kitin eredetű szálak

A kitin egy hosszú polimer láncmolekula, amely a természetben sok helyen előfordul: gombák sejtfalában, valamint ízeltlábúak (rákok, rovarok) külső vázának alkotóelemeként. A szálgyártásban elsősorban a rákok pánccsanyagából nyert kitinnek van jelentősége, amiből vegyi úton kitozánt állítanak elő. Ez alkotja a szálak alapanyagát. A kitozán ecetsavban oldódik, így oldott állapotban lehet belőle szálakat képezni, amelyeket nátrium-

hidroxidban csapatnak ki. A *kitozánszál* erős antibakteriális tulajdonságú, jó nedvszívó képességű és – ami nagyon fontos – biológiailag lebontható. Hátrány viszont, hogy szilárdsága viszonylag gyenge, ami korlátozza az alkalmazási lehetőségeket. Ezért főleg más szálanyagokkal keverve – például viszkózzal keverve *Crabylon* néven forgalomba hozva – használják könnyű ruházati, ágynemű-, háztartási, gyógyászati és kozmetikai célú textiliák gyártására.[19]

Bioszintetikus szálak algákból

A tengerekben és tavakban tenyésző, nagy cellulóz tartalmú algákból előállított szálanyagok biológiailag lebonthatók és jól színezhető természetes alapú festékanyagokkal. Előnyük, hogy nagy mennyiségben állnak rendelkezésre és porrá őrölt tengeri algákból (alginátból) vizes alapú gélt képeznek, amelybe természetes alapú – például rovarok páncéljából nyert – festékanyagot kevernek és ebből a színes gélből képeznek szálakat, amik azután textilipari eljárással feldolgozhatók. Ezek a szálak erősek, hajlékonyak, lángálló tulajdonságúak, ezért például bőrutánzatok készítésére is alkalmasak. Pamuttal keverve alsóruházati cikkeket készítenek belőlük.[20, 21]

Kazeinszálak

A tej kazein fehérjeje, mint textilszálak gyártásának alapanyaga, nem újdonság, az 1930-as évek óta ismert. Az 1930-as, 1940-es években nagy népszerűségnek örvendett, amit később elnyomott a poliamid elterjedése. A tejből savakkal történő koaguláltatással állítják elő és nátronlúgban feloldva készítik el a szálhúzásra alkalmas pépet, ami az utánkezelések végén tulajdonképpen regenerált fehérje. Jó nedvszívó képessége és antimikrobiális tulajdonságánál fogva előnyös alsóruházati és ágynemű-alapanyag. Az utóbbi években ismét elővették és a gyártási eljárás korszerűsítésével *Qmilk* néven állítja elő a német *Qmilch GmbH* cég. Előszeretettel készítik olyan tejből, ami egyébként veszendőbe menne a tejtermékek gyártása és kereskedelme során.[22, 23]

Szintetikus pókselyem

A pókselyemnek kiváló mechanikai tulajdonságai vannak, amelyek az acéllal és a para-aramidok csoportjába tartozó Kevlarral vetekednek, miközben jóval könnyebb is azoknál. Jó hőállóságú, sav- és lúgálló, és gyógyászati szempontból is jó tulajdonságokat mutat (vérzéscsillapító hatású, elősegíti a sebek gyógyulását).

Mindezek a tulajdonságok nagyon fontosak lehetnek a műszaki ill. gyógyászati felhasználású textiliák számára, ezért érthető, hogy számos tudományos munka folyik a pókselyem szintetikus úton való előállítására, hiszen a természetes pókselyem „begyűjtése” kereskedelmi mennyiségben reménytelen vállalkozás lenne.

A biotechnológiával foglalkozó japán *Spiber Inc.* cég *Brewed Protein* néven állít elő a pókselyemnek megfelelő molekulaszervezetű szálanyagot cukorrépból és kukoricából nyert cukor, valamint mikrobák felhasználásával, fermentáció útján.[24] A kaliforniai Bolt Threads cég

Microsilk szálanyagát szintén mesterségesen előállított pókselyem, amelynek proteinjét fermentációval, élesztő, cukor és víz alkalmazásával állítják elő.[25] Az izraeli Seewix vállalat genetikailag módosított egyedi DNS-szekvenciát hozott létre, és egy baktériumokat, cukrot, élesztőt és vizet használó erjesztési folyamat révén olyan anyagot állít elő, amely utánozza a pókselyem természetes keletkezési folyamatát és a pókselyem tulajdonságait. A terméket SVX néven forgalmazzák.[26] A német Kraig Biocraft Laboratories intézet géntechnológiával módosított selyemhernyók által előállított, a pókselyemhez hasonló selymet fejlesztett ki: a szálak a selyemhernyó által természetes módon termelt, de a pókselyem fehérjéjéből állnak. A *Dragon Silk* így a pókselyemfehérje és a selyemhernyó selyemfehérje egyedülálló kombinációjából állnak.[27]

Felhasznált szakirodalom

- [1] <https://textileexchange.org/2020-preferred-fiber-and-materials-market-report-pfmr-released-2/>
- [2] Rusznák István: *Textilkémia I.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
- [3] <https://cordis.europa.eu/project/id/298619>
- [4] <https://cordis.europa.eu/article/id/169404-plant-material-to-replace-synthetic-textile-fibres>
- [5] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Fur%C3%A1n>
- [6] <https://sustainfashion.info/biobased-polyester-rejecting-the-use-of-petroleum-in-fashion/>
- [7] <https://cfda.com/resources/materials/detail/duPont-so-rona>
- [8] <https://www.natureworksllc.com/What-is-Ingeo/How-Ingeo-is-Made>
- [9] <https://www.toray.com/global/products/fibers/fibers015.html>
- [10] <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/6028/pla-poly-lactic-acid-new-era-of-textiles>
- [11] <https://encyclopedia.pub/entry/10809>
- [12] <https://www.gminsights.com/industry-analysis/bioplastic-textile-market>
- [13] <https://textileexchange.org/2020-preferred-fiber-and-materials-market-report-pfmr-released-2/>
- [14] <https://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/Biopolyamides.html>
- [15] <https://www.textiletechnology.net/fibers/news/aquafil-start-of-commercial-plant-based-pa6-production->
- [16] <https://www.innovationintextiles.com/sustainable/ifg-launches-pa11-biobased-fibre/>
- [17] <https://www.innovationintextiles.com/fibres-yarns-fabrics/biobased-bdo-in-lycra-fibre-in-2024/>
- [18] <https://www.textiletechnology.net/fibers/news/hyosung-tnc-bio-based-elastane-fiber-32726>
- [19] <http://old.swicofil.com/products/055chitosan.html>
- [20] <https://www.onlineclothingstudy.com/2020/09/biobased-fibres-in-textile-bio-fabrics.html>
- [21] <https://www.algaeing.com/>
- [22] Zilahi Márton: *A textilipar nyersanyagai.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1953.
- [23] <https://cordis.europa.eu/article/id/135536-making-clothes-from-milk>
- [24] <https://edition.cnn.com/2022/05/22/business/spiber-spider-silk-fabric-hnk-spc-intl/index.html>
- [25] <https://boltthreads.com/technology/microsilk/>
- [26] <https://www.timesofisrael.com/the-other-web-startup-says-it-has-produced-material-as-strong-as-spider-silk/>
- [27] <https://www.kraiglabs.com/spider-silk/>