

# Nanotechnológiák a textiliparban

Egy tudományos értelmező szótár a "nanotechnológiák" címszó alatt a következő meghatározást adja: "több tudományágat, szakterületet érintő technológiák, amelyeket nagyon kis –  $10^{-9}$  méter nagyságrendű – méretekkel rendelkező anyagok és/vagy eszközök készítésére használnak". A nanotechnológia nagy ütemben fejlődő, több tudományra kiterjedő technológia, amely az utóbbi évtizedben számos területen teret hódít, beleértve az anyagtudományt, a fizika és a kémia számos részterületét, az orvostudományt, a műanyag- és az energiaipart és az űrhajózást is. Mélyreható társadalmi hatását úgy tekintik, mint egy második ipari forradalom nyitányát.

A "nano-" előtag a görög "nanosz" szóból ered, ami azt jelenti: "törpe". A tudományban mint a mértékegységeknél használt prefixum az ezermilliomod (milliárdod) részt ( $10^{-9}$ ) jelöli, vagyis a szóban forgó nagyságrend a méter ezermilliomod, ill. a milliméter milliomod részének felel meg. 1 nanométer (nm) mintegy százezerszer kisebb méret, mint egy emberi hajszál vastagsága. Ez már a molekulák méreteinek tartományába, hiszen például a cellulóz molekulaláncának egy eleme kb. 1 nm hosszú.

A nanotechnológia alapját az képezi, hogy egy anyag tulajdonságai nagymértékben megváltoznak, ha méretei a nanométeres tartományba kerülnek. Ha egy nagyobb méretű anyagot egy vagy több dimenziójában (szélességében, hosszúságában vagy vastagságában) kisebb részekre darabolunk, a nanométeres vagy annál is kisebb tartományban az anyag egyes darabjai váratlan tulajdonságokat mutatnak, olyanokat, amelyek eltérnek az eredeti anyagétól. Az atomok és a molekulák tökéletesen más viselkedést tanúsítanak, mint a nagyobb anyagdarabok. Míg az előbbieik tulajdonságait a kvantummechanika írja le, az utóbbiakét a klasszikus mechanika. E két eltérő tartomány között az átmenet számára az anyagtulajdonságok viselkedését illetően a nanométer jelenti a küszöbértéket. A kerámiák például, amelyek normális körülmények között ridegek, könnyen alakíthatóvá tehetőek, ha szemcséik nagyságát a nanométeres tartományba csökkentjük. Egy 1 nm méretű aranyrészecske piros színű. Egy kis mennyiségű nanoméretű anyag megzavarhatja a szokásosan hasonló mérettartományú polimer szerkezetet, aminek eredményeként az anyag soha nem látott teljesítményre lehet képes. Ez magyarázza, hogy miért fektetnek ma a nanotechnológia kutatásába olyan óriási munkát és pénzeket, és hogy miért kap ez a téma oly nagy figyelmet a médiában is.

A nanotechnológia már megjelent a textiliparban is. Amikor a szálanyag polimerjének átmé-

rője a mikrométeres nagyságrendről a nanométeres nagyságrendre zsugorodik, számos jellemzője megváltozik. Ezek közül kettőnek van igen nagy jelentősége: az egyik az, hogy felülete nagy mértékben megnő a térfogatához képest, a másik pedig az, hogy merevsége és szakítószilárdsága nagyobb lesz, mint bármelyik másik ismert szálé.

Sokat ígérők azok a kutatások, amelyek a nanotechnológia alkalmazásával a textilanyag tulajdonságait kívánják megjavítani vagy újszerű tulajdonságokat akarnak adni a textíliáknak. Ezek a kutatások főleg a nanoméretű anyagokra és azoknak a gyártásban és a kikészítésben való felhasználására irányulnak.

## Nano-szálanyagok előállítás

A nanométer nagyságrendű vastagsági méretű szálanyagok előállítására az elektromos szálképzést használják, amelynek során a folyékony (olvadt vagy oldott) polimert elektromossággal töltik fel. Amikor a töltés nagysága elég nagy, egy 0,1–1 mm átmérőjű, földelt tűt közelítenek a felülethez, amelyre egy folyadékáram indul meg a folyékony polimerből. A töltéssel bíró folyadékáram instabil ostorozó mozgást végez, aminek következtében a sugár meghosszabbodik és elvékonyodik, miközben megszilárdul (lehül, ill. elpárolog belőle az oldószer). Vastagsága a 3 nm és 1  $\mu$ m közötti tartományban áll be. Elvileg folytonos nanoszál (filament) is készíthető így, ha a polimerfolyadék-sugár nem szakad meg. A nanoszálak szakítószilárdsága (a finomságukhoz viszonyított szakítóereje) nagyobb, mint a mikroszálaké s ez fokozza a jelentőségüket.

Jóllehet az elektromos szálképzésről a szakirodalomban már néhány évtized óta olvashatunk, és ismeretes, hogy nanoszálakat csakis ezzel a módszerrel lehet előállítani, ennek gyakorlati lehetősége még mindig nagyon korlátozott. Nem minden polimer alkalmas arra, hogy belőle nanoszálakat lehessen

húzni. Nagyon kevés ismeretünk van egyelőre arról, hogy hogyan lehet befolyásolni a polimersugár és ezzel a nanoszál vastagságát és annak egyenletességét. Az erre vonatkozó kutatások azt mutatták, hogy ebben főleg a töltés nagysága, a polimer és az oldószer aránya és az oldat hőmérséklete játssza a főszerepet.

A nanoszálakat ez idő szerint főként nemszőtt kelmék készítésére használják, ahol a szálak elhelyezkedése véletlenszerű. Ez az alkalmazás azonban viszonylag korlátozott. A nanoszálak jelentősége igen nagy mértékben megnőne, ha sikerülne folytonos szálakat (filamenteket) előállítani.

## Nanoméretű töltőanyagok a textilszálakban

Nanoméretű részecskéket (pl. fémoxidokat, agyagot, kormot) azért helyeznek el textilipari szálanyagok nyersanyagaiban (ez idő szerint főleg poliamid, poliészter, polipropilén, polivinilalkohol polimerjeiben), hogy tartós mikrobaellenes hatást, nagyobb elektromos vezető- és hővezető képességet, antisztatikus tulajdonságot, nagyobb mechanikai szilárdságot adjanak a szálaknak, sőt esetleg olyan járulékos fizikai és kémiai tulajdonságokat is adhatnak a szálaknak, amelyek az ilyen töltőanyaggal nem rendelkező szálakban nincsenek meg.

A nanoméretű töltőanyag-részecskék méretükhöz képest nagy felületűek, ennek folytán igen jól tudnak kölcsönhatásba lépni a polimer szerkezettel. Kis méretük következtében befolyásolni tudják a polimerlánc mozgását és így csökkenthetik annak mozgékonyosságát. Egyenletesen oszlanak el a polimer anyagban, ezért terhet viselhetnek és javíthatják az anyag szívósságát és kopásállóságát. Tehermentesíthetik a polimer molekulaszervezetét és ezzel fokozhatják a szál szilárdságát. Eloszlásuk a polimer szerkezeten belül alapvető fontosságú a szál minősége szempontjából. Habár az olyan töltőanyagok, mint pl. az agyag, a fémoxidok vagy a korom, mikrométer

nagyságrendben már korábban is használatban voltak a szálgyártásban, de nanométer nagyságrendben ezek még nagyobb teljesítményre képesek és új lehetőségeket teremtenek.

A szén nanoszálak (300–500 szénatomból alkotott molekulaláncok) és a korom nanorészecskék a legelterjedtebben használt nanoméretű töltőanyagok közé tartoznak. A szén nanorészecskék pedig azok szívósságát és kopásállóságát. Mindkettőnek nagy a vegyszerállósága és az elektromos vezetőképesége. Egyes szálképző polimerek, mint pl. a poliészter, a poliamid és a polietilén 5–20 %-ban tartalmazhatnak ilyen anyagokat.

A szén nanocsövek a ma létező legígéretesebb építőelemek közé tartoznak. Ezek parányi, henger alakúvá hajlított grafitlemezek. Nagyobb szilárdságuk és nagy elektromos vezetőképeségük jóval meghaladja a szén nanoszálakat. Szakitószilárdságuk százszorososa az acélénak, súlyuk ugyanakkor csak egy hatoda annak, hővezető képességük jobb, mint a legtisztább gyémánté, elektromos vezetőképeségük a rézéhez hasonló, de sokkal nagyobb áramerősséget tudnak átvinni. A lehetséges alkalmazások között számítástechnika, a nagy szilárdságú, elektromosan vezetőképes textilszálak, az energiatároló és energiaátalakító berendezések és az emissziós képernyők. Az egyik legsikeresebb példa a szén nanocsövekkel készült szálakra a többfalú nanocsöveket tartalmazó polivinilalkohol szál, amelynek átmérője a mikrométeres tartományban van, és amit kogulátum alapú fonási eljárással készítenek. Ez a szál kétszer merevebb és erősebb, és húszszor szívóssabb, mint egy ugyanolyan súlyú és hosszúságú acélhuzal, szívóssága négyszerese a pókselyemének és tizenhét-szer akkora, mint a golyóálló mellényekben használt aramidszálaké. Ez a szál tehát alkalmazásra találhat a biztonsági hevederek, a robbanás ellen védő takarók és az elektromágneses árnyékoló szerkezetek gyártásában.

Az agyag nanorészecskék vagy nanolemezek anyaga néhány fajta víztartalmú alumíniumszilikát, amelyek kémiai összetételükben és kristályszerkezetükben különböznek egymástól. Mindegyik hő- és vegyszerálló, elektromosan szigetelő és megakadályozzák az ibolyántúli sugarak áthatolását. Ezért az ilyen részecskékkel erősített szálak lángállóak és ellenállnak

a korrózióknak és az ibolyántúli sugárzásnak. Így például a montmorillonit-agyag nanorészecskéket – amely egyike a legelterjedtebben használt agyagtípusoknak – UV-blokkolóként használják poliamid kompozitszálakban. Az agyag 5 %-nyi mennyisége 40 %-kal növeli a szakítószilárdságot, 68 %-kal növeli a szilárdsági moduluszt, 60 %-kal javítja a hajlítószilárdságot és 126 %-kal a hajlítási moduluszt. A hőállóságra jellemző ún. hőtorzulási hőmérséklet 65 °C-ról 152 °C-ra emelkedik. A nanoméretű lemezek akadályt képeznek a víz, a vegyszerek és más káros anyagok behatolása előtt.

Az agyag nanorészecskék egy másik funkciója az, hogy a polipropilén szálakat színezhetővé tegyék. Ezekben a szálakban töltem szerkezetűek, és nincsenek olyan helyek, ahova a színezék kapcsolódhat, és a nanorészecskék feladata éppen ilyen helyek létrehozása. Ennek eredményeképpen az 5 % agyag nanorészecskéket tartalmazó polipropilén savas és diszperziós színezékekkel színezhetővé válik.

A titán, alumínium, cink és magnézium alapú fénoxid csoportok fotokatalitikus képességgel, elektromos vezetőképeséggel, az ibolyántúli sugarakat elnyelő képességgel és a kémiai és biológiai anyagokkal szemben fotooxidációs képességgel rendelkeznek. Az ezekből a fénoxidokból álló nanorészecskék kutatásának középpontjában a baktériumellenes, az öntisztuló és az ibolyántúli sugárzás ellen védő funkciók állnak, amit mind katonai, mind polgári célokra fel lehet használni. A cinkoxid nanorészecskékkel telített poliamid szál ibolyántúli sugarak elleni árnyékoló szerkezetekhez használható, és csökkenti az elektrosztatikus felöltődést. A titándioxid-mangánoxid nanorészecskékkel készült szál önsterilizáló hatású.

## Nanotechnológia a textil-kikészítésben

A nanotechnológia nemcsak a különböző szálanyagok készítésére van hatással, hanem a kikészítési eljárásokra is. Térhódítása a textil-kikészítésben már eddig is újfajta eljárásokhoz és új alkalmazásokhoz vezetett. A kikészítőszerkezetben lévő egyes molekulák vagy nanorészecskék termodinamikai, elektrosztatikai vagy más módszerekkel, ideális esetben egyedileg helyezhetők el bizonyos helyekre a textilyagyon, meghatározott irányítottsággal.

Az egyik irányzat a kémiai kikészítési folyamat lefolytatásában a nanoméretű emulgálásra való törekvés, aminek révén a textilyagoknak tökéletesebb, egyenletesebb és pontosabb kikészítést lehet adni. A kikészítőszerkezet nano-kolloidoldattá alakítva vagy nanokapszulákba csomagolva nanomicellákká emulgálható, amivel azután a kikészítőszerkezet egyenletesebben lehet szétosztani a textilyagon. Ezek a fejlett eljárások a szennyasztító, a nedvtszító, az antisztatizáló, a gyűrődés-feloldó és a zsgorodásmentesítő kikészítésben alkalmazhatók.

Olyan nanorészecskék, mint a fénoxidok és a kerámiák, szintén használhatók a textil-kikészítésben a felületi tulajdonságok javítására és a textil funkcióknak való jobb megfelelés érdekében. A nanoméretű részecskéknek viszonylag nagyobb a felülete és így hatékonyabbak, mint a nagyobb méretű részecskék. Emellett a nanoméretű részecskék átlátászók és nem zavarják meg a textília színét és fényét. Az azonban kulcsfontosságú, hogy a nanorészecskék ne gyűljenek egy csomóba.

Példának okáért titándioxid és mangánoxid nanorészecskékkel kezelt kelmékkel helyettesítik az aktív szénrel kezelt kelméket, amit korábban a vegyszerállóság és a biológiai hatásoknak való ellenállás érdekében alkalmaztak. Ezek a fénoxid nanorészecskék fotokatalitikus aktivitásuk miatt akadályozhatják a káros és mérgező vegyszerek és biológiai szerek hatását. A nanorészecskéket permetezéssel vagy elektrosztatikai eljárással lehet felvinni a textíliára és ezzel a textilyagok érzékelők alapanyagává tehetők. Ha a textilyagba nanokristályos piezokerámia részecskéket ültetnek, a kelmére ható mechanikai erő elektromos jellel alakítható és így lehetővé válik, hogy a test egyes funkcióit, pl. a szívritmust és a pulzust figyelemmel kísérjék egy közvetlenül a testfelületen viselt ruhadarab segítségével.

## Önfelepülő nanorétegek

Az önfelepülő nanorétegekből készült bevonat kihívást jelent a hagyományos textilbevonatok számára. Az ezzel kapcsolatos kutatások még kezdeti stádiumban vannak. Az ilyen bevonatban a molekulák 1 nm-nél vékonyabb réteget alkotnak a textilyag felületén és több ilyen réteg rakható egymás fölé. Többféle eljárással is kísérleteznek annak érdekében, hogy a textíliák különféle funkcióknak felelhessenek meg. Az elektrosztatikus feltöltődés okozta vonzás alapján alakítják ki például a védelmi funkciót betöltő és az önmagát kijavítani képes bevonatot. Az elektrosztatikai eljárás különösen jól bevált, mert ennek révén pontosan vezérelhető a molekulaszervezet kialakítása és ezzel a réteg vastagsága, homogenitása és a rétegek egymásra rakódása.

A rétegeket úgy építik fel, hogy egymás után ellenkező előjelű töltésekkel rendelkező ionokat tartalmazó oldatokat visznek fel a textilyag felületére. Amikor egy újabb, ellenkező előjelű ionokat tartalmazó oldattal érintkezik az anyag, egy újabb réteg képződhet rajta. Ez így ismétlődhet váltakozó előjelű töltéshordozókkal és ezzel lépésenként vastagítható a polimer bevonat.

Az itt leírt eljárás kivitelezése azonban sokkal bonyolultabb, mint ahogy látszik. Bár a technika azon alapul, hogy a pozitív és negatív ionok vonzák egymást, a kölcsönhatás nagy mértékben függ a felvitt anyagtól és az elektrolitok tulajdonságaitól. A rétegvastagság kialakításához a folyamatot

nagyon erős ellenőrzés alatt kell tartani. A rétegek felépülése függ a molekulasúlytól, a molekulalán-cok hajlékonyságtól, az ioncserélő kapacitástól, a töltésátviteltől, a hidrogénkötéstől stb. Mindezek még szerteágazó kutatások témái.

Egy másik eljárás szerint a szálak (pl. poliészter) felületén nanotechnológiai eljárással alakítják át a molekulák elrendezését és ezzel hoznak létre "bevonatot". Az alkalmazott hőmérséklettől, nyomástól, az eljáráshoz alkalmazott mágneses erőter erősségétől, a nedvességtől stb. függően 10–30 nm vastagságú réteg állítható így elő a monofilamenteken, jelentősen megváltoztatva azok fizikai tulajdonságait.

### Plazmatechnológia alkalmazása

Gázokból villamos energia segítségével ún. plazma állítható elő, amely elektronokból, pozitív ionokból és semleges atomokból vagy molekulákból, nagyon reakcióképes gyökökből áll. Ha egy reakciós kamrába megfelelő gázt és egy textilanyagot helyeznek, és létrehozzák a plazmát, akkor ezek a részecskék kölcsönhatásba lépnek a textilfelülettel. A gáz fajtája és a folyamat levezetése szerint a textilfelület szerkezete a célnak megfelelően alakítható, kémiaiilag átalakítható, vagy akár azon egy nanotartományba tartozó vastagságú bevonatot alakítható ki.

A textiliparban nagy igény van az ilyen eljárások alkalmazására, nem utolsósorban azért, mert nem igényel vizet és kevesebb vegyszerre van szükség. Ha például egy szála nanoméretű vastagságban ezüst bevonatot visznek fel, jelentősen megnő az elektromos vezetőképessége, amellől antibakteriális és gombásodás elleni hatásúvá válik. Az ilyen szálakat gyógyászati és sportruházati célokra vagy lakástextiliákhoz előnyösen lehet felhasználni. Plazmakezeléssel jelentősen javítani lehet a szűrőkermék szűrési tulajdonságait. Nanokristályokból álló piezokerámiai anyagok a szálakat alkalmassá teszik arra, hogy belőlük érzékelőket készítsenek, amelyek mechanikai hatásokat elektromos jelekké alakítanak át. Az emberi test egyes funkcióit, pl. a szívritmust ezen az úton közvetlenül lehet érzékelni és elektromos jelek formájában továbbítani. Indium-ón-oxid kerámia bevonat készíthető a plazmatechnológiával, ami a textilanyag optikai tulajdonságait változtatja meg – ezt álcázás céljára használják fel katonai felszerelések gyártásában. Egy másik, szintén plazmatechnológiával

készített, nanoméretű kerámiabevonatot a szálakat lángállóvá teszi.

### Jövőbeli kilátások

A nanotechnológiai eljárások révén módosított textilanyagok sokféle célra lehetnek alkalmasak, mert több újfajta tulajdonságot kölcsönözhetnek az anyagnak. Számos nagy gyártó vállalat és kutatóintézet foglalkozik ezekkel az eljárásokkal és az alkalmazási lehetőségekkel. Amennyire jelenleg látható, a nanotechnológiának a textiliparban való alkalmazása két területre összpontosul: a textilanyagok meglévő tulajdonságainak javítására, ill. a textilanyagok különleges, újszerű tulajdonságokkal való felruházására. Az utóbbi célt szolgáló technológia előrehaladottabb állapotban van és a következőkre terjed ki:

- a ruházatba beépített napelemek és energiatárolók,
- szervesen beépített érzékelők és ezeken keresztül információ fogadás, ill. továbbítás,
- különféle hatások észlelése és az ellenük való védelem,
- gyógyászat, egészségvédelem,
- öntisztítás és önmaga kijavítására való képesség.

A textil- és ruházati ipar számára fontos anyagok közül nanotechnológiával készülnek ma már olyan kapszulák, amelyekben rovarok elkeni szer, parfüm, bőrápoló anyag (pl. vitaminok), gyógyszer, hőszabályozó anyag, mikrobák megtelepedését gátló anyag (pl. nanoméretű ezüstrészecskék) stb. helyezhető el. Nagyon ígéretesek azok a nanotechnológiai eljárások, amelyeket vérszűrő vagy más testnedvek szűrésére használt berendezések számára membránok készítésére használnak fel, de előállíthatnak így kelméket implantátumok, katéterek számára, valamint a se-

bészetben használt egyéb anyagokat. A plazmabevonatok különösen érdekesek textíliákból készült bioanyagoknál, mert így fokozható vagy éppen csökkenthető a felület bioaktivitása, ezek steril kötszerek, vértartó tasakok előállításában használhatók. Víz- vagy olajlepergető felületek, mikrobaellenes bevonatok, lángálló, ibolyántúli sugárzás ellen védő rétegek is készíthetők nanotechnológiai eljárásokkal.

Kétségtelen, hogy a nanotechnológia hallatlanul ígéretes eredményekkel kecsegtet a textilipar számára. Úgy becsülik, hogy ez a technológia néhány évtizeden belül több száz milliárd dolláros piacot jelent és ebben a textiliparnak is jelentős része lesz.

### Felhasznált irodalom:

- Asian Textile Business, 2004. dec.  
Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, 2004/1  
Melliand Textilberichte, 2005/3  
The Textile Journal, 2005/1  
[www.empa.ch/plugin/template/empa/225/21999/---](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/225/21999/---)  
[www.innovationmagazine.com/innovation/volumes/v3n3/free/coverstry4.shtml](http://www.innovationmagazine.com/innovation/volumes/v3n3/free/coverstry4.shtml)  
[www.nano-products.info/nanotechnologie.php](http://www.nano-products.info/nanotechnologie.php)  
[www.salsgiver.com/people/forrest/IFA1\\_text.html](http://www.salsgiver.com/people/forrest/IFA1_text.html)  
[www.textileinfo.com/en/tech/nanotex/page02.html](http://www.textileinfo.com/en/tech/nanotex/page02.html)

Lázár Károly