

## Nem szőtt kelmék előállítása ömledékfúvással

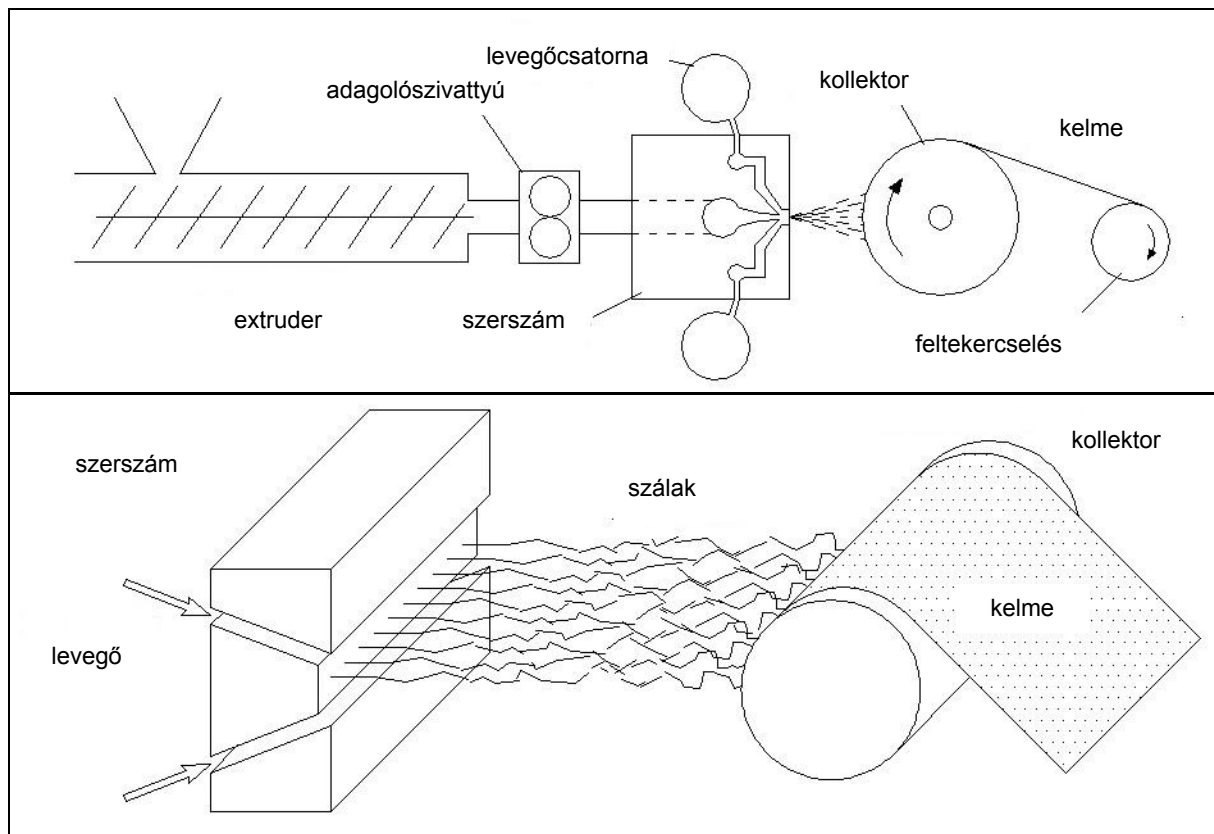
*Tárgyszavak: szálgyártás; PP; PET; kétkomponensű szál;  
ömledékfúvás; gyártóberendezés; technológia;  
paraméterek hatása; szálátmérő.*

### Az ömledékfúvás elve és a gyártóberendezés

Az ömledékfúvás az ultrafinom (3–10  $\mu\text{m}$  átmérő) és mikroszálak (3  $\mu\text{m}$ -nél kisebb átmérő) és a belőlük készült nem szőtt kelmék előállításának egyik legelterjedtebb módszere. Ezeket a textíliákat egyre több területen alkalmazzák, a ruházati cikkeken kívül szűrők és egészségügyi, higiéniai termékek előállítására.

Az ömledékfúvás egyike a legújabb, nem szőtt kelme előállítására szolgáló technológiáknak. Legfontosabb jellemzője, hogy a szokásos mesterséges és természetes textilipari szálaknál sokkal vékonyabb szálak előállítására is alkalmas. A szálak átmérője általában 2 és 4  $\mu\text{m}$  között változik, de 0,1  $\mu\text{m}$  is lehet. Az ömledékfúvást az Egyesült Államokban fejlesztették ki az 1950-es években olyan szűrők előállítására, amelyekkel radioaktív részecskéket lehet befogni a magas légkörben. A mikroszálak kedvező tulajdonságait felismerve az **Exxon** cég az 1960-as évek közepére kifejlesztette és piacra dobta az ömledékfúvó berendezés kereskedelmi változatát. Az Exxon sokáig egyeduralkodó volt ezen a területen, de az utóbbi 20 évben több más cég is bekezdett az ömledékfúvó berendezések gyártásába. Napjainkban az alábbi vállalatokat tartják nyilván a legfontosabb gyártóként: **Eastman Kodak, Hollingsworth and Vose, Kimberley-Clark, 3M, Fleetguard Filter**. Természetesen ezek mellett más cégek is foglalkoznak ilyen berendezések előállításával.

Az 1. ábrán látható az ömledékfúvás elvi vázlata. Lényege, hogy a hőre lágyuló polimer ömledékét egy extruderből az apró lyukakkal rendelkező szerzámba vezetik, amelyből az anyagot nagy sebességű forró légáramlatba bocsátják ki. Ennek hatására a polimerömledékből kialakult szálak erősen megnyúlnak és elvékonyodnak. A légáramlat a szálakat egy speciális hengerre, az ún. kollektorra vezeti, amelyen a szálak összetapadnak és egyfajta nem szőtt kelmét alkotnak.



1. ábra. Az ömledékfűvás elvi vázlata

Az ömledékfűvó berendezés fő elemei az extruder, az adagolószivattyú (többnyire fogaskerék-szivattyú), a szerszám, a kollektor és feltekeréselő henger. Az adagolószivattyú feladata az extruderből érkező ömledék továbbítása a szerszamba a megfelelő nyomás és tömegáram mellett. A temperált szerszámnak három fő része van: az ömledékelosztó csatorna, a szálképző furatok és a levegőcsatornák. Az elosztócsatorna feladata – a szélesrésű lemezgyártó extruderszerszámokhoz hasonlóan – az ömledék egyenlő áramlási sebességének biztosítása minden szálképző furat számára. A legelterjedtebb a vállfa típusú elosztócsatorna. A szálképző furatokat magában foglaló egység a szerszám legdrágább része, mivel igen szűk tűrésekkel, nagy pontossággal kell elkészíteni. Ebben az egységben több száz, általában 0,4 mm átmérőjű furat van elhelyezve egy sorban, 1–4 furat/mm sűrűségben. A levegőbevezető csatornák a szálképző furatok alatti és feletti hosszanti résekben bocsátják ki a nagy sebességű forró levegőt. A kompresszor által szállított levegőt elektromosan vagy gázzal fűtött hőcserélőkben melegítik fel a kívánt hőmérsékletre. A levegő hőmérséklete többnyire 230 és 360 °C, míg sebessége 0,5 és 0,8 Mach között változik. (Mach a hang terjedési sebessége az adott közegben. 0,5–0,8 Mach kb. 600–960 km/h.) A forró légáram megnyújtja a szerszamból

kilépő szálakat, miközben nagy mennyiségű hideg levegőt ragad magával, ezáltal hőmérséklete lecsökken. A szálak a turbulens áramlás miatt összekuszálódva és összetapadva rakódnak le egy lyukacsos felületű forgó dobra, az ún. kollektorra, amelynek a belsejéből folyamatosan elszívják a levegőt. A kollektor és a szerszám távolságának, valamint a kollektor fordulatszámának változtatásával széles határok között lehet szabályozni a kész kelme tulajdonságait. A kollektorról továbbhaladó kelmét egy dobra tekerceslik, majd a kívánt felhasználásnak megfelelő további feldolgozás következik.

Noha az ömledékfúvást már 50 évvel ezelőtt kifejlesztették, pontos működéséről mindmáig keveset tudnak, mivel a szálak mozgása a légáramlatban rendkívül bonyolult, és erősen befolyásolja a kész kelme jellemzőit. A mérnökök igyekeznek jobban feltérképezni a technológiai folyamatot. Világszerte számos, cégeknél és egyetemeken folyó kutatási programon keresztül próbálják mélyebben megismerni az ömledékfúvás működését és a termék minőségét befolyásoló tényezőket. Jelen cikkben két kutatás eredményeit foglaljuk össze röviden. Mindkét kísérletsorozatot a knoxville-i **University of Tennessee** anyagtudományi tanszékén folytatták. Az első célja egy új technológia, a kétkomponensű szálak előállításának vizsgálata, a másik pedig a hagyományos PP szálak gyártási folyamatával és tulajdonságaival foglalkozik.

## Kétkomponensű szálak vizsgálata

Az egyik kutatás célja az ömledékfúvással gyártott kétkomponensű (PP és PET) szálak átmérőváltozásának vizsgálata volt. *A kétkomponensű szálakból készült nem szőtt textilekhez gyártott úgynevezett „syde-by-side” (S/S) keresztmetszetű szálak* a gyártó cégek és a kutatók érdeklődését egyaránt felkeltették. Az S/S szálak egyesítik a kétféle polimer kedvező jellemzőit, ezért a szövetnek különleges tulajdonságokat kölcsönöznek. Így például a feldolgozás során különbözőképpen zsugorodó polimerek felhasználásával hullámos, kunkorodó szál készíthető. Az egykomponensű szálakhoz hasonlóan a technológiai paraméterek változtatásával sokféle nem szőtt kelmét lehet előállítani. A szabályozható paraméterek közé tartoznak a szerszámhőmérséklet, az ömledék-hőmérséklet, a kihozatal (az időegység alatt feldolgozott anyagmennyiség), a szerszámgeometria, a levegő áramlási sebessége és hőmérséklete, a szerszám és a kollektor közötti távolság és a kollektor forgási sebessége. Az S/S kétkomponensű szálakból készült nem szőtt textilek előállítását a kétféle polimer jellemzőinek (például reológiai tulajdonságok, ömledéksűrűség, kristályolvadási hőmérséklet stb.) különbsége igen bonyolulttá teszi. Az ömledékfúvással gyártott kétkomponensű szálakból készült nem szőtt textilek minőségének javítása érdekében részleteiben meg kell ismerni a szál kialakulásának és elvékonyodásának folyamatát a gyártás során.

A kísérleteket a **University of Tennessee Reicofil** típusú ömledékfúvó berendezésén végezték el. A szerszámon a lyukak 1 mm-enként helyezked-

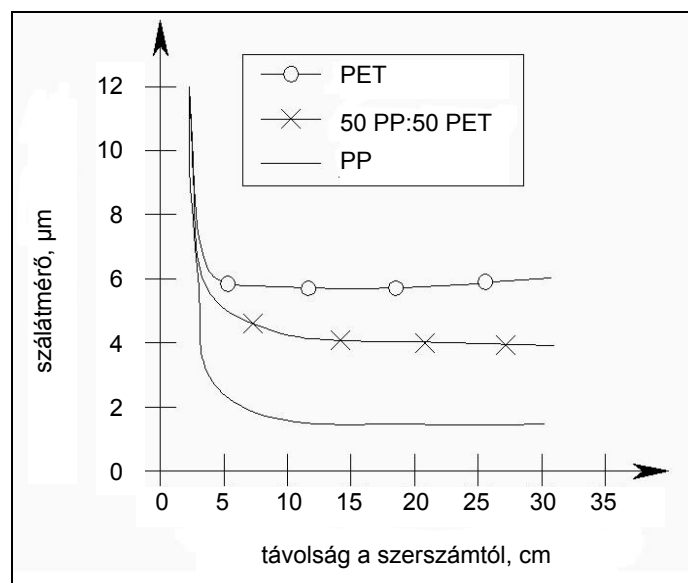
nek el a sorban, átmérőjük 0,38 mm. A szerszám hosszúsága 61 cm, a légrés 0,8 mm. A feldolgozási paraméterek az 1. táblázatban láthatók. A szerszám- és levegőhőmérséklet minden esetben 315 °C volt.

1. táblázat

A kétkomponensű PP/PET szálak ömledékfúvásakor alkalmazott gyártási paraméterek

Jelzés	Kihozatal kg/h	Levegő térfogatárama m <sup>3</sup> /min	A szerszám és a kollektor távolsága cm	A PP aránya %(m/m)
Prof-1	15	12,74	48,3	100
Prof-2	15	9,91	48,3	50
Prof-3	15	12,74	48,3	25
Prof-4	15	12,74	48,3	75
Prof-5	15	12,74	38,1	0

A vizsgálandó szálak begyűjtését egy speciális berendezés segítségével végezték, amely lehetővé tette a szálak befogását a szerszám és a kollektor közötti térben, bármely meghatározott helyen. A szálátmérőt Olympus optikai mikroszkóp segítségével mérték meg.



2. ábra. Az egy- és kétkomponensű szálak átlagos átmérőjének változása a szerszámtól való távolság függvényében

A szálátmérő-diagramokat a szerszámtól meghatározott távolságra begyűjtött szálak átmérőjének mérésével határozták meg. Az 2. ábrán a szálátmérő

csökkenése látható a szerszámtól távolodva. Az átmérő a szerszámtól számított 5 cm-es távolságon belül csökkent a legnagyobb mértékben. A PP szálak gyorsabban vékonyodtak, mint a PET szálak, a kétkomponensű szálak értékei pedig az előbbi kettő között helyezkednek el. Az 5 centiméteres távolságon túl a PP szálak lassan tovább vékonyodtak, míg meg nem dermedtek a szerszámtól 10–13 cm-re. Ezt követően a szálátmérő alig változott. Az 50% PP-t és 50% PET-et tartalmazó szálak viselkedése ehhez hasonló volt. A PET szálak átmérője 6,3 cm-es távolságig csökkent, ezután körülbelül 20 cm-ig kismértékben növekedett. A kétkomponensű szálak esetében a PP lelassította a PET dermedését, így a dermedés helye távolabb került a szerszámtól. Az 50% PET-et és 50% PP-t tartalmazó kétkomponensű szálak görbéje közelebb van a tiszta PET görbéjéhez, mint a PP-éhez, ami arra enged következtetni, hogy a kétkomponensű szálaknál a tulajdonságok tekintetében a PET a meghatározó.

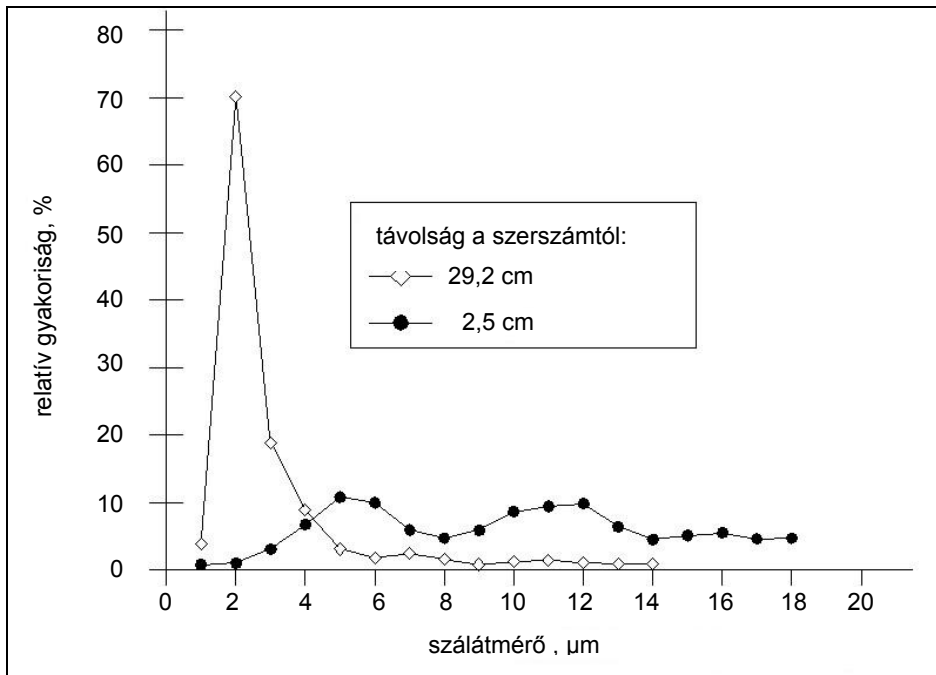
A szerszám közvetlen közelében a szálak csaknem párhuzamosak a légáramlással. A szerszámtól távolodva azonban a szálak egyre inkább összekuszálódnak. Ennek során a szálak kötegekbe, csomókba állnak össze. A légáramlás a szerszámtól mintegy 5 cm-re erősen turbulenssé válik. Habár a szerszám közelében a szálak felgyorsulnak, sebességük a maximum elérése után ismét csökkenni kezd, ennek következtében a szálak összesűrűsödnek. A légáramlat turbulenciája mellett ez a szálak összekuszálódásának fő oka.

Noha az átlagos szálátmérőt már számos alkalommal tették tárgyává, eloszlásával és annak a gyártás során történő változásával ez idáig kevesen foglalkoztak. Az eloszlás meghatározása a gyártási paraméterek hatását és a szálvékonyodás folyamatát illetően sok érdekes összefüggésre rámutatott.

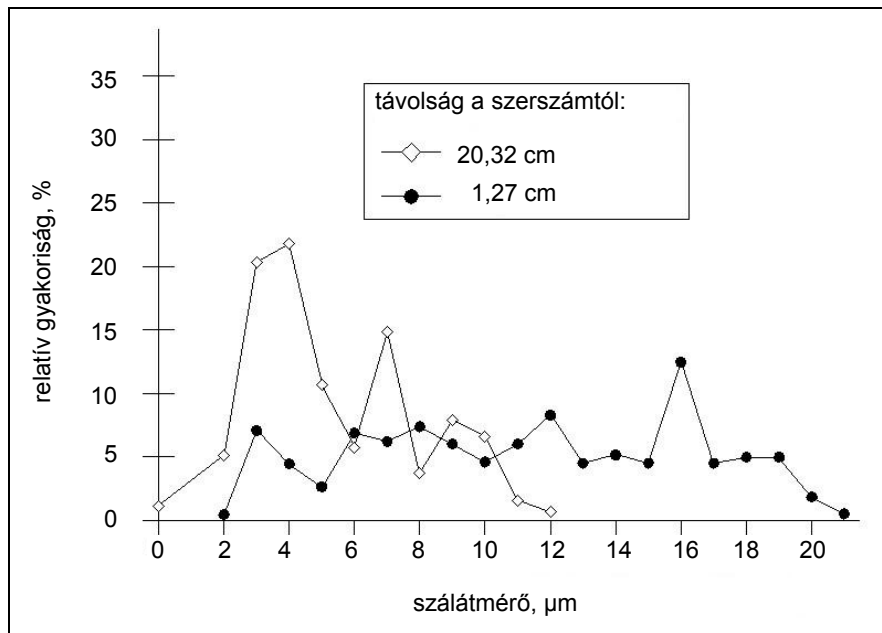
A 3. ábrán a PP szál átmérőeloszlása látható a szerszámtól való távolság függvényében. 2,5 cm-re a szerszámtól az eloszlás igen egyenletes és széles, 1-től 20  $\mu\text{m}$ -ig terjedően. A szerszámtól távolodva növekszik a vékonyabb szálak aránya, és az eloszlás keskenyebbé válik. 29,2 cm-nél már a szálak 98%-a 0,5 és 4  $\mu\text{m}$  közötti tartományba esik. Eszerint tehát a PP szálak elvékonyodása a szerszám és a kollektor közötti térben végig zajlik, miközben a szálátmérő egyre egyenletesebbé válik. A légáramlat sebességének növelésével az eloszlás hasonló jellegű marad, azonban a nagymértékű elvékonyodás a szerszámhoz közelebb történik. Ez a szerszám közelében a szálra ható nagyobb légerők következménye.

Hasonló feldolgozási paraméterek mellett a PET szálak szélesebb eloszlást mutattak, két csúccsal (4. ábra). Ez arra enged következtetni, hogy a PET szálak elvékonyodása korántsem egyenletes, sőt a megfigyelések szerint egy adott szálon belül is jelentős átmérőkülönbségek lehetnek.

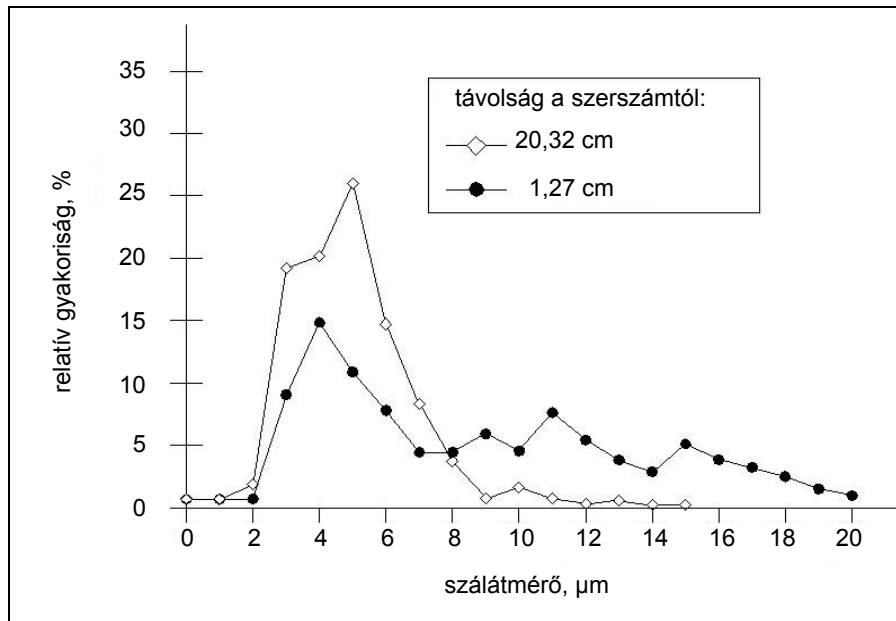
Az 5. ábrán az 50% PET-et és 50% PP-t tartalmazó kétkomponensű szálak átmérőeloszlása látható. Ezeket a méréseket az 1. táblázatban Prof-2-vel jelölt paraméterek mellett végezték. A szerszámtól távolodva itt is keskenyebbé válik az eloszlás.



3. ábra. A PP szálak átmérőeloszlása a szerszámtól való távolság függvényében



4. ábra. A PET szálak átmérőeloszlása a szerszámtól való távolság függvényében



5. ábra. Az 50% PET-et és 50% PP-t tartalmazó kétkomponensű szálak átmérőeloszlása

Az eloszlást összevetve a tiszta PET és a tiszta PP szálakéval látható, hogy a kétkomponensű szálak átmérőeloszlása szélesebb, mint a PP szálaké, és nagyon hasonló a PET-éhez. Emellett a kétkomponensű szálak átmérőeloszlása a PET-hez hasonlóan gyakran két csúccsal rendelkezik. Világosan látható, hogy a két komponens közül a PET a meghatározó az átmérőeloszlás szempontjából. A kettős csúcs kialakulásának oka még nem tisztázott, ennek kiderítése további kutatásokat igényel.

*Összefoglalva:* a tapasztalatok szerint mind az egy-, mind a kétkomponensű szálak a szerszámtól számított 5 cm-es távolságon belül vékonyodnak el a legnagyobb mértékben, ennek során többségük átmérője több százzal néhány  $\mu\text{m}$ -re csökken, míg egy részük átmérője alig változik. Ebben a tartományban tehát igen nagy a szálátmérő szórása. A szerszámtól távolodva erősen csökkent a szálvékonyodás sebessége és a szálátmérő szórása. A kétkomponensű szálak átmérője a tiszta PP és PET szálak jellemző átmérője közé esik. A PET arányának növelésével az átmérő rohamosan közeledik a tiszta PET szálak átmérőjéhez, ami arra enged következtetni, hogy a kétkomponensű szálaknál elsősorban a PET határozza meg az átmérőt. A szerszám közelében a szálak a légáramlással párhuzamosan haladnak, és a szerszámtól körülbelül 2,5 centiméterre kezdenek összekuszálódni, ettől kezdve a szerszámtól távolodva orientációjuk egyre véletlenszerűbbé válik. A szálátmérő eloszlása igen széles a szerszámtól mért 5–7 cm-en belül, ennél távolabb az eloszlás keskenyebbé vált. A szálátmérő szórása a kétkomponensű szálak

esetében nagyobb, mint a PP szálaknál. A légáramlat sebességének növelésével csökkenthető a kétkomponensű szálak átmérőjének szórása.

## PP szálak vizsgálata

A másik kísérletsorozat célja az *ipari ömledékfúvási technológia mélyebb megismerése* volt. A kísérletek során a következő paramétereket mérték: *szál-átmérő, szásebesség, szálgyorsulás, a levegő áramlási sebessége, a szálak összekuszálódása, szálhőmérséklet, emellett röntgendiffrakciós és mikroszkópos vizsgálatokat is végeztek.*

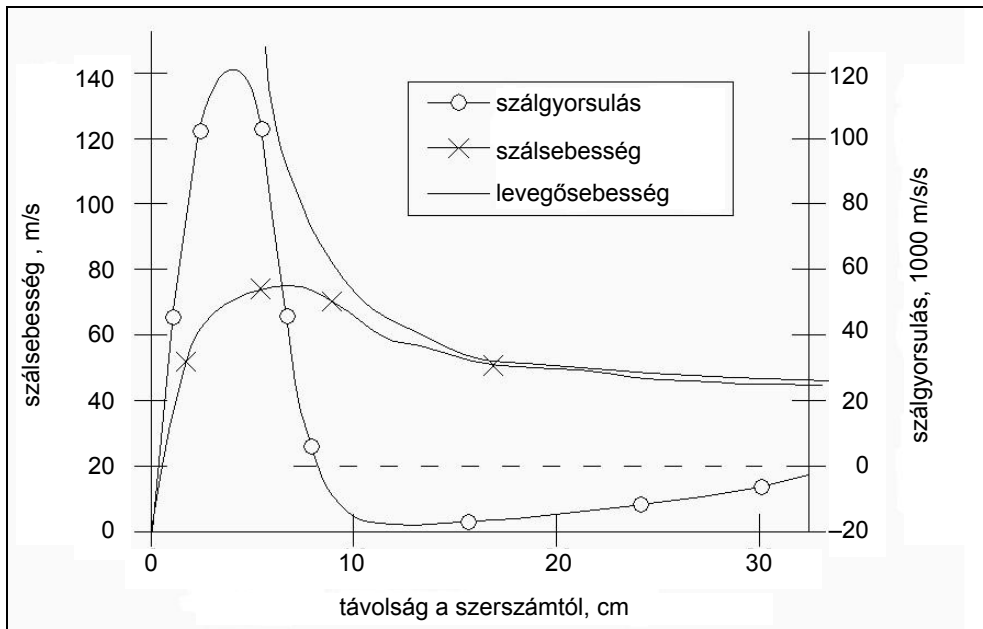
Az elmúlt évtizedben laboratóriumi méretű egylyukú berendezéseken vizsgálták a szálak mozgását nagy sebességű légáramlatban, és ezekből a vizsgálatokból igen sok hasznos információt sikerült leszární. Az ipari ömledékfúvási eljárás azonban sokkal bonyolultabb a laboratóriuminál, mivel az ipari berendezéseken nagyszámú nyílás található, ami jelentős összekuszálódással járó összetett szálmozgási viszonyokat eredményez. A kialakuló szövetstruktúra folyamatosan mozgásban van, és csak akkor rögzül, amikor a kollektor felszínére kerül. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a szálak összekuszálódása nagymértékben befolyásolja a szásebességet, a szálatméretet, a szálak orientációját és a kelme tulajdonságait (fajlagos tömeg, mechanikai tulajdonságok, egyenletesség), ezért nagyon lényeges a szálak mozgását és összekuszálódását kísérő folyamatok mélyebb megértése annak érdekében, hogy a technológiát javítani és fejleszteni lehessen.

Ezekhez a kísérletekhez az *ExxonMobil Co.* által gyártott polipropilént (PP) használtak alapanyagként. Az ömledékfúvó gép *Accurate Products* gyártmányú volt, 600 lyukkal ellátott, 51 cm széles szerszámmal felszerelve. A feldolgozási paraméterek alapvetően megegyeztek az iparban alkalmazottakkal. A szerszám lyukainak átmérője 0,37 mm, a légrés pedig 1,5 mm volt. A szerszám és a kollektor távolsága 30 cm. A szálak hőmérsékletét digitális infravörös termométerrel követték. A levegő sebességét és hőmérsékletét egy speciális berendezéssel mérték, amely egy hőmérőből és egy Pitot-csőből állt, és kézzel lehetett mozgatni a munkatérben. A szásebesség és -gyorsulás megállapítását egy gyors kamera segítette, amely 1000 képet készít másodpercenként. A sebességet és a gyorsulást az ismert időintervallum elteltével készített képek összevetésével határozták meg. A befogott szálak szálatméretjét optikai mikroszkóppal vizsgálták.

A 6. ábrán a szásebesség és -gyorsulás, valamint a levegősebesség látható a szerszámtól való távolság függvényében. A kezdeti szásebesség igen alacsony volt, de ezt követően hamar felgyorsultak a szálak. A legnagyobb sebességet a szerszámtól körülbelül 6 cm-re érték el. Mivel a kollektort többnyire a szerszámtól 25–30 cm-re helyezik el, a sebesség növekedése ennek a távolságnak csak egy kis hányadában tapasztalható, a fennmaradó úton a sebesség kismértékben csökken. Itt kell megjegyezni, hogy a szerszám közvet-



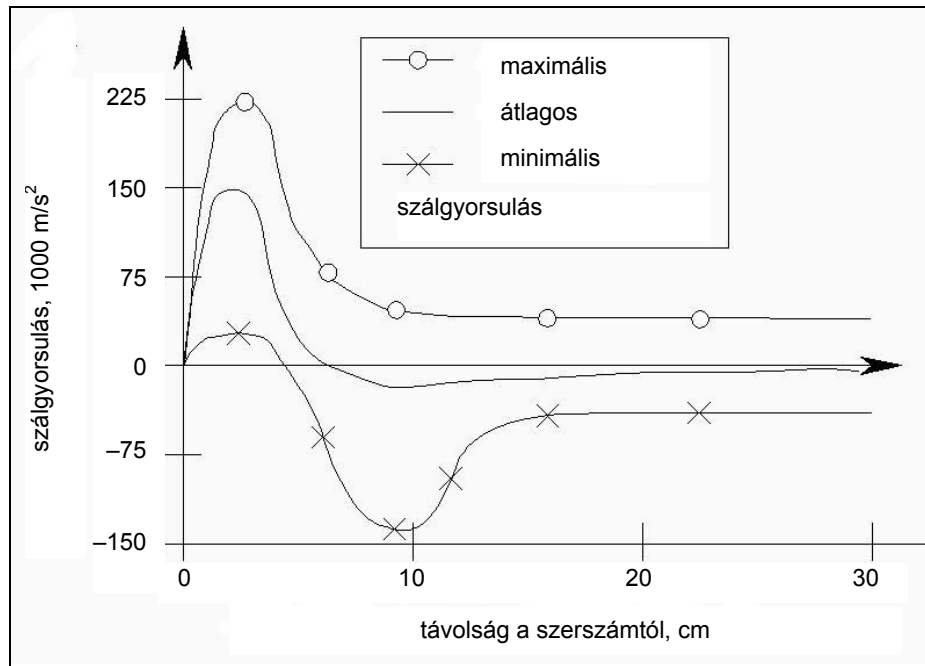
len környezetét kivéve a kontinuitási egyenlet segítségével nem lehetséges a szálsebesség függvényében a szálvékonyodást kiszámítani az ömledékfúvás során, ami abból látszik a legjobban, hogy a szálak kismértékben még ott is nyúlnak és vékonyodnak, ahol a szál- és a légssebesség folyamatosan csökken.



6. ábra. Az átlagos szálsebesség, szálgyorsulás és levegősebesség a szerszámtól való távolság függvényében

Az ömledékfúvás egyik jellegzetessége, hogy nagyon könnyen lehet vele rendkívül finom és vékony szálakat előállítani. A szálátmérő eredeti értékének 15%-ára csökken már a szerszámtól 1 cm-re. A 6. ábrán megfigyelhető, hogy ebben a tartományban a légssebesség maximális, míg a szálsebesség minimális, ami valószínűvé teszi, hogy kezdetben a hatalmas légerők (a tulajdonképpeni légellenállás) nyújtják a szálát. A 6. ábrán az is jól látható, hogy a szál- és a levegősebesség a szerszámtól körülbelül 10 cm-re közelítőleg megegyezik, így valószínűleg e pont után a szálra ható légerők már nem számottevőek. Ennek ellenére a szerszámtól távolabb is folytatódik a szálak elvékonyodása. Ez arra utal, hogy a szerszámtól távolabb is jelentős légerők lépnek fel, amelyek azonban különböznek a szerszám közelében tapasztalható légellenállástól. Miből eredhet ez az erő? A 7. ábrán megfigyelhető, hogy a szerszám és a kollektor közötti térben a szálgyorsulás nagymértékben ingadozik az átlagérték körül. Így például a szerszámtól 9 cm-re a gyorsulás  $-122\ 000$  és  $+77\ 000$   $\text{m/s}^2$  között változik. Még azokon a helyeken is tapasztalható pozitív gyorsulás, ahol egyébként az átlagos gyorsulás negatív. Ebből arra lehet következtetni,

hogy az ömledékfúvás közben a szálak folyamatosan ütköznek egymással, és ennek során gyorsítják és fékezik egymást. Feltehetőleg az összekuszálódás során más szálakhoz hozzátapadt szálak egy része a sebességváltozás hatására megnyúlik. Mivel az összekuszálódás már a szerszámtól 1 cm-re kezdődöt veszti, könnyen elképzelhető, hogy a szálak összetapadásával együtt jelentősen hozzájárul a szálak megnyúlásához és elvékonyodásához.



7. ábra. A szálgyorsulás ingadozása a szerszám és a kollektor közötti térben

A fentiek mellett valószínűleg a kollektoron való lerakódás közben is jelentős szálátmérő-csökkenés következik be. Noha ennek igazolására nem folytattak vizsgálatokat, a folyamat a jelenlegi elképzelések szerint a következőképpen zajlik: a kollektorhoz érve a szálak sebessége közel nullára csökken, míg a levegő a kollektor mellett majdnem változatlan sebességgel áramlik tovább. Ennek következtében a kollektornál hirtelen megnőnek a légerők, a szálak pedig ezáltal tovább nyúlnak.

Összességében a szálak elvékonyodásának három fő oka van: a nagy légerők a szerszám közelében, a szálak összekuszálódásából és összetapadásából eredő nyúlás a szerszám és a kollektor között, valamint a kollektornál ismét fellépő nagyobb légerők.

A PP-nek az ömledékfúvás közben történő kristályosodásának felmérése érdekében nagyszögű röntgendiffrakciós vizsgálatokat végeztek. Ennek eredménye azt mutatta, hogy a szerszám és a kollektor között befogott szálak többsége majdnem teljesen amorf volt, míg a kollektorról vett minták már

nagymértékben kristályosak voltak. Ez arra vall, hogy a szálak többsége alig vagy egyáltalán nem kristályosodott, mielőtt elérte volna a kollektort. Az optikai mikroszkóppal végzett vizsgálatok szerint a szerszám és a kollektor között begyűjtött szálak nem tartalmaztak szferolitokat, míg a kollektorról származó vastagabb szálakban nagyméretű szferolitokat találtak. A röntgendiffrakciós és a mikroszkópos vizsgálatok egyaránt azt mutatják, hogy a szálakban kristályos szerkezet lényegében csak a kollektor elérése után alakul ki.

*Összefoglalva: A szálak elvékonyodásának alapvetően három fő oka van: a nagy légerők a szerszám közelében, a szálak összekuszálódásából és összetapadásából eredő nyúlás a szerszám és a kollektor között, valamint a kollektornál ismét fellépő nagyobb légerők. A legnagyobb mértékű szálrövidülés a szerszám közvetlen közelében következett be, de a szerszám és a kollektor közötti térben kisebb mértékben bár, de folyamatosan tartott.*

*A szálak többségében a kollektor eléréséig nem alakult ki kristályos rész, ahol azonban a vastagabb szálakban nagyméretű szferolitok jöttek létre.*

**Deák Tamás**

Breese, R. R.; Wen-Chien Ko: Fiber formation during melt blowing. = International Nonwovens Journal, 2003. Summer, p. 21-27. ([www.inda.org/subscrip/inj03\\_2/p21-28.pdf](http://www.inda.org/subscrip/inj03_2/p21-28.pdf))

McCulloch, W. G. J.: The history of the development of melt blowing technology. = International Nonwovens Journal, 1. k. 8. sz. 1999. p. 66–72.

Yin, H.; Yan, Z.; Breese, R. R.: Experimental study of the meltblowing process. = International Nonwovens Journal, 1. k. 8. sz. 1999. p. 60–65.

Rongguo, Z.; Wadsworth, L. C.: Attenuating PP/PET bicomponent melt blown microfibers. = Polymer Engineering and Science, 2. k. 43. sz. 2003. p. 463–469.

Yin, H.; Yan, Z. stb: Fundamental description of the meltblowing process. = International Nonwovens Journal, 4. k. 9. sz. 2000. p. 25–28.

## **Röviden...**

### **A Ticona növeli LCP-gyártó kapacitását**

A **Ticona** cég 40%-kal növeli a *Vectra* folyadékkristályos polimer gyártási kapacitását. A cég eredeti tervei szerint a termelékenység ilyen fokú növelése csak 2005-ben vált volna esedékessé, azonban a növekvő igények hatására már ez évben növelni kell a teljesítményt.

*(Plastics Technology, 50. k. 6. sz. 2004. p. 61.)*