

Kutasi Csaba

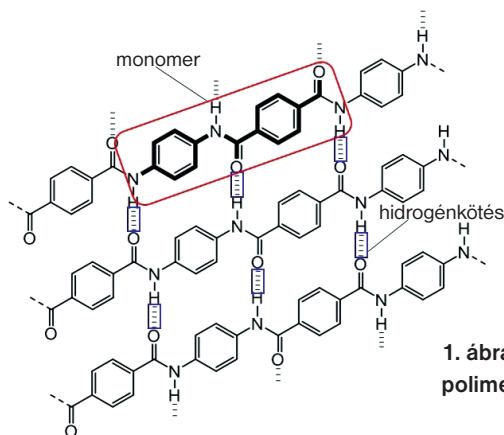
# 50 éve gyártják a kevlár szálanyagot

Az elmúlt évszázad 80-as éveinek elejétől egyre jelentősebbé váltak az egyedi teherbírású, hőstabil, lángálló szerves szintetikus szálanyagok. Ezeket harmadik generációs szintetikus szálaknak, nagy teljesítményű szálaknak (*high performance fibers*), speciális szálaknak egyaránt nevezték. Fő képviselőik az aromás poliamidok.

**A**z aromás poliamidok kifejlesztésében tevékenyen kivette részét Herman Francis Mark osztrák–amerikai kémikus. Megállapította, hogy a molekulaláncok merevsége nő, ha a nyílt polimetilén részeket alifás vagy aromás gyűrűkkel helyettesítik.

Az 1966-ban Stephanie Louise Kwolek által felfedezett poli-para-fenilén-tereftál-amid (PPTA), a Fiber B (Kevlar®) volt az első para-aramid, amely merev struktúrája miatt nagyon magas olvadásponttal rendelkezett. Ezért olvadékból nem lehetett szálát húzni, így a DuPont által felfedezett állapot – bizonyos körülmények között az ilyen polimerek oldatban folyadékkristályt képeznek – tette lehetővé a szálképzést.

A para-aramid szálak különleges tulajdonságai azzal is magyarázhatók, hogy a láncmolekulák kötéstengelyük körüli elfordulása térbelileg akadályozott, miután a nagy molekulák nem hajtogattak, hanem pálcika alakúak. A PPTA polimer akkor képez folyadékkristályt, ha kénsavban oldják. A folyadékkristályos polimeroldat a kritikus koncentrációnál maximális viszkozitást ér el (1. ábra).



1. ábra. A kevlárszál polimerláncai

## A feltaláló

Stephanie Louise Kwolek (2. ábra) Pennsylvániában, lengyel bevándorló szülők gyermekeként látta meg a napvilágot 1923-ban. Apja, John Kwolek – aki természettudós volt – a kislány tízéves korában meghalt. A természeti világ felfedezéséhez, a tudomány iránti érdeklődéséhez ő adott inspirációt. Édesanyjának, Nellie Kwoleknak – aki varrónőként dolgozott – tulajdonítható, hogy Stephanie a divatszakra is vonzódott. Ennek ellenére a fiatal lány úgy döntött, hogy orvos lesz. Az orvosi egyetemi tanulmányokhoz szükséges anyagiak előteremtése érdekében először kémiai területen kívánt dolgozni. Ezért 1946-ban Stephanie a



2. ábra. Stephanie Louise Kwolek, a kevlár feltalálója

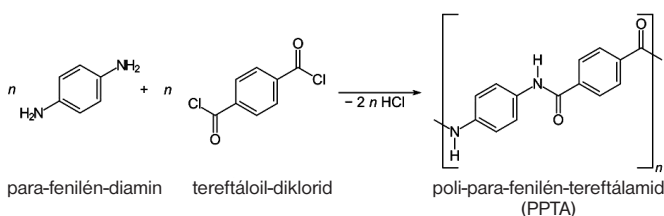
Carnegie Mellon Egyetem Margaret Morrison Carnegie Főiskoláján kémia szakon alapképzési fokozatot szerzett.

Az ideiglenesnek gondolt munkahelyen, a DuPont cégnél több mint 40 évig tevékenykedett, számos tudományos sikert megélve. Többek között nevéhez fűződik a kivételes szilárdságú és merevségű szintetikus aromás poliamid szálak első képviselőjének, a poli-para-fenilén-tereftál-amidnak a felfedezése. Kwolek 28 szabadalmat nyújt be a DuPontnál töltött 40 év alatt. A cég La Voisier-éremmel ismerte el kiemelkedő műszaki eredményeit. 1995-ben ő lett a negyedik nő, aki bekerült a Feltalálók Nemzeti Dicsőségcsarnokába (National Inventors Hall of Fame). Kwolek még számos kitüntetésben részesült polimerkémiai munkássága elismeréseként [többek között Nemzeti Technológiai Érem; az ipar fejlődését és a társadalom javát szolgáló, egyéni kreativitás és innováció kiemelkedő teljesítményének elismerése, az IRI (Industrial Research Institute) Eredmény-díja; Perkin-érem]. A kevlár feltalálója 2014-ben hunyt el.

## Az aromás poliamidok kutatása, fejlesztése

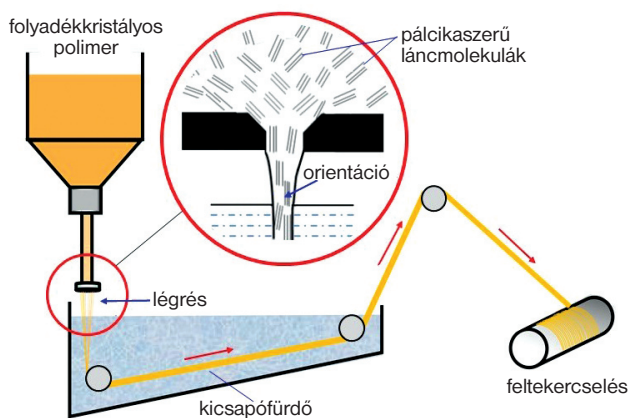
Az aromás poliamidból képzett harmadik generációs szál felfedezése Kwolek legismertebb munkája. Az 1950-es és 60-as években az aromás poliamidokkal kapcsolatos laboratóriumi munkáját Paul W. Morgan kutató irányítása alatt végezte, aki felismerte, hogy az aramidokból egyedi szerkezetük révén merev szálak képezhetők. Az is egyértelművé vált, hogy csak oldat formájában lehet folyékonyra tenni ezeket a polimereket, mert nagyon magas hőmérsékleten olvadnak, miután lángállóak. Kwolek meghatározta az alkalmas oldószereket és a polimerképzés körülményeit, amelyek alkalmasak a poli-meta-fenilén-izoftál-amid előállítására, amely a DuPont által 1961-ben létrehozott meta-aramid lángálló szál (Nomex) alapanyaga. Ezután tevékenységét kiterjesztette a poli-para-benzamidra és a poli-para-fenilén-tereftál-amidra (3. ábra), amelyek – megállapítása szerint – az oldatban rendkívül szabályos pálcikaszerű molekuláris elrendezést mutatnak. A folyadékkristályos polimerből előállított szálak addig nem tapasztalt merevséget és húzószilárdságot mutattak. A Kwolek által feltalált innovatív polimer Kevlar® márkanevvel került forgalomba.

## 3. ábra. A kevlár polimer előállításának kémiai reakciója



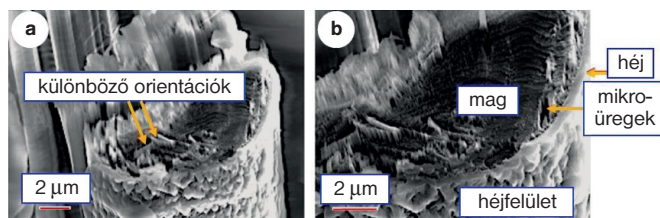
A szénhidrogénhiányra számítva 1964-ben Kwolek csoportja könnyű, mégis nagy szilárdságú szálak fejlesztésébe kezdett, az abroncsokban használt acél kiváltására. Azok a polimerek, amelyekkel akkor dolgozott, folyadékkristályokat képeztek oldatban, 200 °C-on megolvadtak, gyengébb és kevésbé merev szálakat eredményeztek. Új fejlesztései során és az egyedülálló olvadáskondenzációs polimerizációs eljárás alkalmazásával a hőmérsékleteket 0 és 40 °C közé csökkentette. Ekkor az oldat szokatlanul alacsony viszkozitású, zavaros, keverhető, opálos folyadék volt. A hagyományos polimeroldatok általában tiszták vagy áttetszők. A Kwolek által készített folyékony anyag diszperziójelleget mutatott, ugyanakkor finom porúsú szűrőn keresztül teljesen szűrhető volt. Ez folyadékkristály volt, de akkor még ezt nem tudta. Az ilyen anyagot általában további hasznosítási kísérlet nélkül eltávolították, kiöntötték. Ő azonban Charles Smullent, a szálképzéssel foglalkozó technikust megkérte, hogy tesztelje az anyagát. Az ebből előállított új szál nemcsak erősebb volt a nejlonnál (ismert alifás poliamid), hanem ötször szilárdabbnak bizonyult az acélnál is. A DuPont szakmai felügyelője és laboratórium igazgatója is jelentős kutatói felfedezésnek tartotta Kwolek munkáját, amely a polimerkémia új területét nyitotta meg. 1971-ben bevezették az ún. modern kevlárt, a szálakat hőkezeléssel még erősebbé lehetett tenni. A pálcika formájú polimermolekulák erős orientációja biztosította a kevlár rendkívüli szilárdságát.

A szálképzőfej nyílásainál a kipréselt folyadékkristályos polimer láncmolekuláit nyíróigénybevétel éri, ami száltengely irányú orientációt idéz elő. A nedves szálképzés során a parányi csatornákkal kialakított szálképző lapot a kicsapófürdő szintje felett úgy helyezik el, hogy légréven haladjon át a készülő szál-folyam. Ezzel érhető el a szálképző folyadék magasabb hőmérséklete, ami a folyadékkristályosság optimális szintjét biztosítja, garantálva a tökéletes orientációval járó nagy szilárdságot. A maximum 700 m/min sebességgel haladó szálköteget tízszeres nyújtásnak vetik alá, majd fűtött csőkemencében hőkezelik (4. ábra).



4. ábra. A kevlárszál előállításának elve

A kevlár számos fajtája elérhető, például Kevlar K-29° ipari alkalmazásokhoz, például kábelekhöz, gumibroncsokhoz és fékbetétekhez ill. azbesztkiváltásra (5. ábra); Kevlar K49° nagy modulusú kábel- és kötéltermékekben; Kevlar K100° a kevlár színes változata; K119° nagyobb nyúlás, rugalmasság és fáradtságállóság; Kevlar K129° nagyobb szívósság ballisztikus alkalmazásokhoz; Kevlar K149° maximális szívósság a ballisztikus, páncélos és űrhajózási alkalmazásokhoz;



5. ábra. A Kevlar 29° szál pásztázó elektronmikroszkópos keresztmetszeti képe

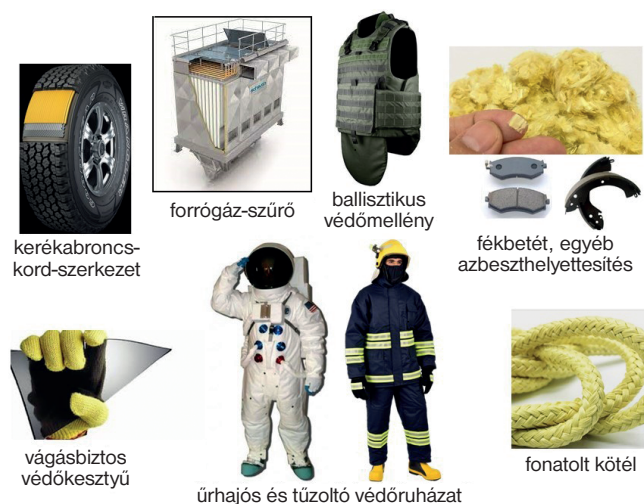
Kevlar AP° 15%-kal nagyobb szakítószilárdság, mint a K-29° esetében;

Kevlar KM2° fokozott ballisztikus ellenállás páncélos alkalmazásokhoz;

Kevlar XP° szálkombináció a könnyebb gyanta- és KM2°-felhasználáshoz.

A para-aramidok főbb fizikai jellemzői: sűrűség 1,44 g/cm<sup>3</sup>, bomlási hőmérséklet 500 °C, üvegesedési hőmérséklet 300 °C, nedvességfelvétel 3,5–7,0%, lángállóság: LOI-index 29 [limiting oxygen index (LOI): az a minimális oxigénkoncentráció százalékban, amely támogatja a polimer égését].

A kevlárszál felhasználása széles körű, a főbb alkalmazási területek a 6. ábrán láthatók. A napfény UV-összetevője károsítja a kevlárt, ezért ritkán használják a szabadban napfény elleni védelem nélkül.



6. ábra. A kevlár főbb felhasználási területei

Kwolek folytatta az alifás és klórcsoportokat tartalmazó termotróp (a folyadékkristály különböző hőmérsékleten különböző fázisokat mutat) kevlárszármazékok kutatását. 1985-ben munkatársaival szabadalmaztatott egy eljárást a poli-parafenilén-benzodioxazol (PBO) és a poli-butilén-terftalát (PBT) polimerek előállítására. A kevlár felfedezője további – mások által kifejlesztett – termékek előállításához is hozzájárult, pl. poliéter-poliuretán kopolimer (Spandex, Lycra), poli-meta-fenilén-izoftalamid (Nomex) és a poli-imid (Kapton) mű- és szálanyagok.

#### IRODALOM

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Stephanie\\_Kwolek](https://en.wikipedia.org/wiki/Stephanie_Kwolek)
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Kevlar>
- [3] <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/stephanie-l-kwolek>
- [4] <https://www.dupont.com/brands/kevlar.html>
- [5] Fenyvesi Éva: Újszerű textilipari és műszaki szálanyagok, Magyar Textiltechnika, 1994. évi különszám