

# A MŰANYAGOK TULAJDONSÁGAI

## 1.1 | Polimerek mint polimeradalékok

2.9

*Tárgyszavak: polimeradalék; módosítás; ütésállóság; összeférhetőség; töltőanyag; PPO; metallocénes polietilén; PEBA; ESI; akrilát.*

A hőre lágyuló és hőre keményedő anyagok tulajdonságait hagyományosan töltő- és erősítőanyagokkal módosítják. Újabban megjelentek a piacon olyan új hőre lágyuló műanyagok, amelyeket más polimerek módosítására fejlesztettek ki. A következőkben ezek közül mutatunk be néhányat.

### **PPO mint adalék hőre lágyuló elasztomer és hőre keményedő műanyagok tulajdonságainak javítására**

A GE Plastics cég a poli(fenilén-oxid) (PPO, a Noryl ötvözetek fő alkotórésze) olyan új, kis molekulatömegű, kis viszkozitású változatait fejlesztette ki, amelyek módosító adalékként alkalmazhatók más polimerekben.

A hőre lágyuló (termoplasztikus) elasztomerek (TPE-k) egyik képviselője a sztirol/etilén-butilén/sztirol blokk-kopolimer (SEBS), amelyet Kraton márkanéven ugyancsak a GE gyárt. Fő felhasználója az autóipar, ahol gépkocsikba szánt rugalmas tömlőket, tömítéseket készítenek belőle. Magasabb hőmérsékleten azonban ezek deformálódnak, és később sem nyerik vissza eredeti alakjukat. Ha azonban PPO-t kevernek a SEBS-hez, csökken a maradó összenyomódása, és a keverékkel helyettesíthetők a PP-alapú ún. termoplasztikus vulkanizátumok (TPV-k) vagy a térhálós olefinelasztomerek.

Az 1. táblázatból látható, hogy hogyan változnak meg 13% Blendex márkanévű PPO hatására a Kraton eredeti tulajdonságai. A HPP820 típus már kereskedelmi termék, és motortéri Kraton alkatrészek gyártásához használják. A HPP830 új termék, amely szélesebb hőmérséklet-tartományban dolgozható fel, és mivel kevésbé intenzív szaga van, utastéri gumielemegek gyártásához is alkalmazható TPV helyett. A TPV-k ára 3–5 USD/kg körül van, a Kratoné 1,5–3 USD/kg. A PPO adalék ugyan drágább, de mivel kis mennyiségben kell alkalmazni, a keverékből készített gumialkatrészek megtakarítást jelentenek a gyártóknak. A vegyszerálló és magas hőmérsékleten is visszaalakuló HPP830

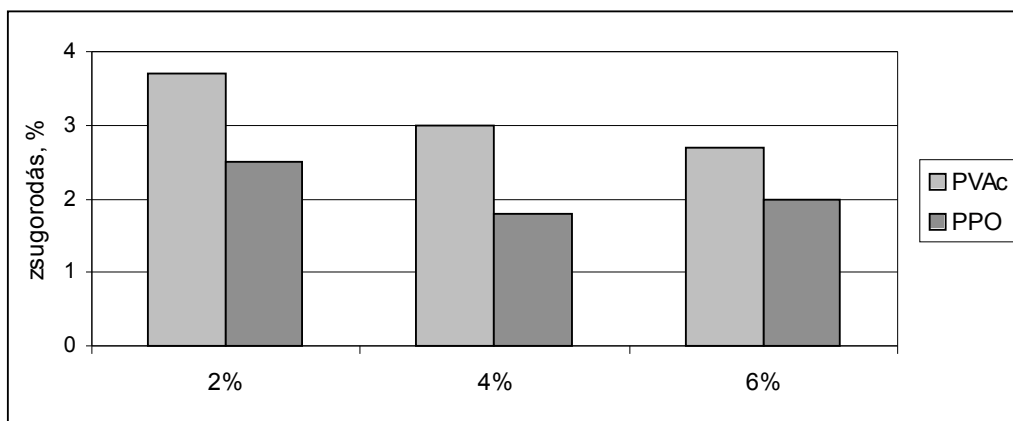
alkalmazása orvosi eszközökben és az ipari berendezésekben is hasznos lehet.

1. táblázat

Blendex poli(fenilén-oxid) adalék hatása egy termoplasztikus elasztomer (TPE: Kraton G-1651 SEBS) tulajdonságaira

Blendextípus	Egység	Adalékmentes	HPP820	HPP830
Adalék mennyisége	%	0	13	13
Szakítószilárdság	MPa	7	8	7
Modulus (300%)	MPa	1,9	3,5	3,2
Szakadási nyúlás	%	800	650	650
Keménység, Shore A	fokozat	48	51	53
Maradó össze- nyomódás	70 °C-on	35	22	21
	100 °C-on	95	45	46
A keverék szaga	–	gumiszerű	erőteljes PPO	gyenge PPO

A GE kifejlesztette a PPO egy speciális típusát (jele MX5587), amely összefér a telítetlen poliészterekkel, és nagyobb mértékben csökkenti azok zsugorodását, mint az erre a célra általában használt poli(vinil-acetát) (PVAc) (1. ábra), emellett nem rontja a gyanta átlátszóságát és hőállóságát. Ezt a PPO-t üvegszálás poliészter (SMC, BMC) módosítására és gépkocsi külső karosszériaelemeinek, háztartási gépek burkolatának gyártásához szánják.



1. ábra Poli(vinil-acetát) és poli(fenilén-oxid) (MX5587) hatása a telítetlen poliészter zsugorodására az adalék mennyiségének függvényében

Epoxigyantákba is bekeverhető a PPO, amelynek törési szívósságát akár 300%-kal is növelheti, de javulnak a nagyfrekvenciás térben mutatott tulajdonságai is. 30% PPO SA120 hatására jelentősen csökken a gyanta dielektromos állandója és veszteségi tényezője, ami előnyös pl. az elektronikus csipek tokozásakor vagy az áramköri lapok gyártásakor.

### **Metallocénes polietilén és polipropilén keverékei**

Az ExxonMobil Chemical cég a Minnesotai Egyetem kutatóival közösen vizsgálta annak lehetőségét, hogy hogyan lehet hexén komonomert tartalmazó metallocénes mPE-LLD-vel szívósabbá tenni a PP homopolimereket. Mindenekelőtt alacsony hőmérsékleten is jó mechanikai tulajdonságú fröccsönthető keverékeket akartak előállítani.

30% mPE-LLD-ből és 70% PP-ből készített keverékeket hasonlítottak össze hasonló összetételű, de Ziegler-Natta katalizátorral szintetizált, ugyancsak hexén komonomerrel készített PE-LLD-t tartalmazó keverékekkel. Szakítóvizsgálatokban eltört próbatestek törési felületeiről készített transzmissziós elektronmikroszkópos felvételek azt mutatták, hogy a ZN-PE-LLD/PP keverékek törése a PE és a PP határfelületein következett be, a mPE-LLD/PP keverékek ezzel szemben a PP fázison belül törtek el. Az utóbbiak szakadási szilárdsága és nyúlása  $-10\text{ °C}$  körüli hőmérsékleten 40%-kal nagyobb volt, mint az előbbieké.

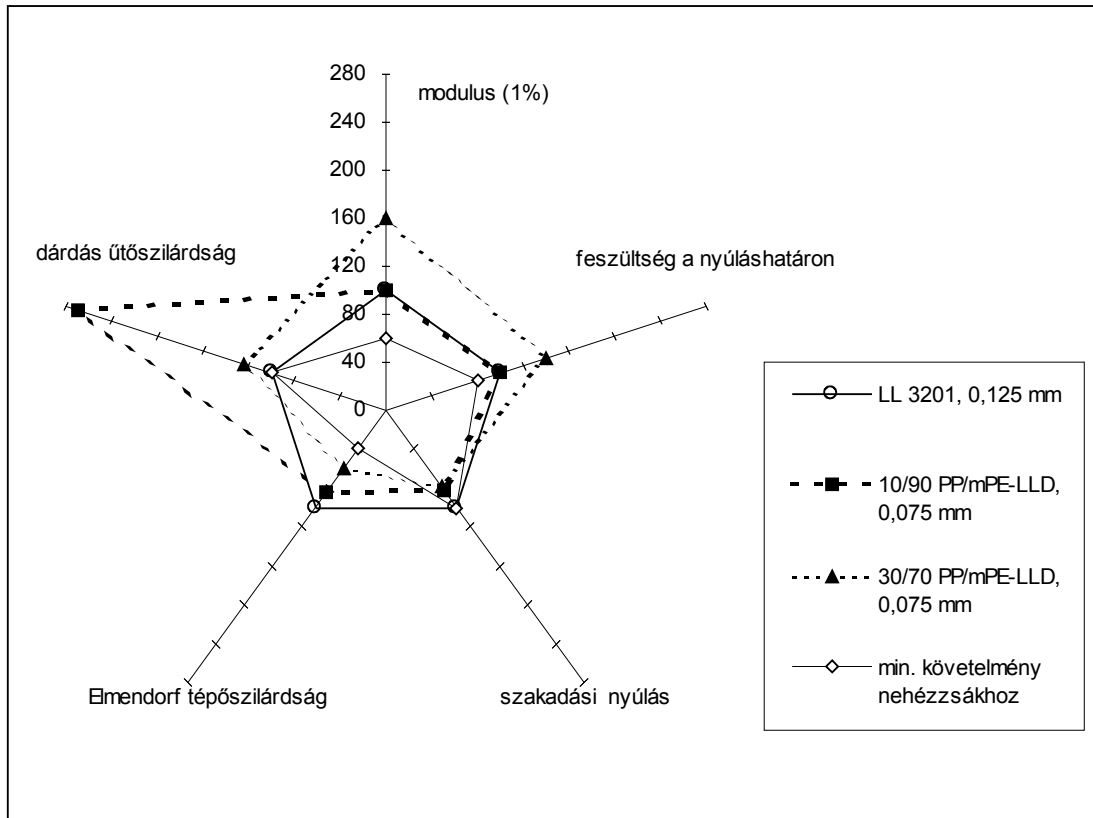
A kutatók ennek okát a nagyobb kristályossági fokban látják, és abban, hogy a mPE és a PP molekulái a határfelületen egymásba akaszzkodnak. A ZN-PE és a PP határfelületén ezzel szemben egy vastag amorf, kis molekulájú ragacsos réteg képződik, amely megakadályozza az összeépülést.

A kutatások azt sugallják, hogy a mPE-LLD-vel szívósabbá tett PP helyettesítheti a drága E/P elasztomereket vagy az ugyancsak drágább plasztomereket. Alkalmazását hűtőszekrényekben, gépkocsik utasterében látják megvalósíthatónak.

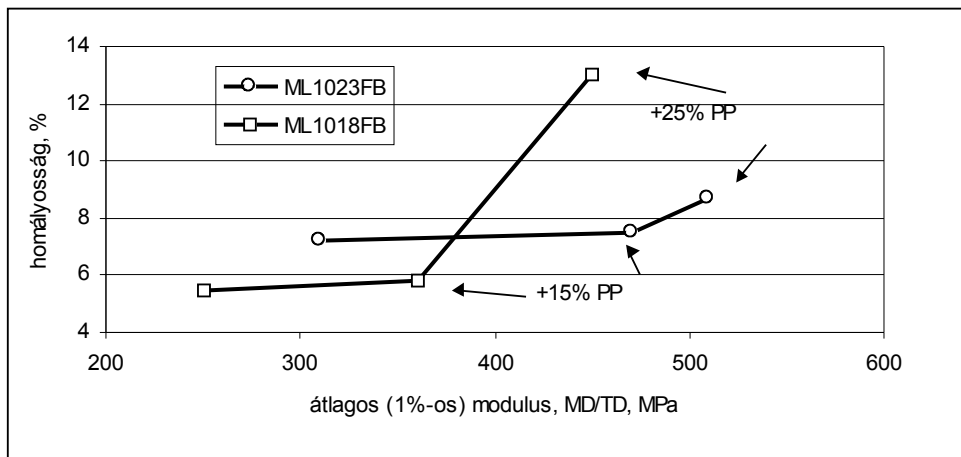
A mPE és a PP meglepően jó összeférhetőségét a fóliagyártásban is kipróbálták. Fúvott és öntött fóliákat készítettek 5–20% mPE-LLD-t tartalmazó PP-ből és fordítva: 5–30% PP-t tartalmazó mPE-LLD-ből. A kísérletek azt mutatták, hogy ha 10–30% mPE-LLD-t kevernek a nehézsákok gyártására szánt PP-be (vagy PE-HD-be), csökkenthető a fólia vastagsága. Jelenleg az ExxonMobil cég hexén komonomert tartalmazó PE-LLD-jéből (LL 3201, sűrűsége  $0,925\text{ g/cm}^3$ , folyási száma  $0,8\text{ g/10 min}$ ) nem tudnak  $125\text{ }\mu\text{m}$ -nél vékonyabb fóliát gyártani, mert a belőle készített nehézsákok nem elégítik az erre a termékre előírt szilárdsági követelményeket. Hasonlók voltak a tapasztalatok a fordított arányú keverékek esetében. A kísérleti eredmények egy része a 2. ábrán látható.

Két másik Exceed polietilénhez, ML 1023FB-hez (MFI  $1\text{ g/10 min}$ , sűrűség  $0,923\text{ g/cm}^3$ ), és ML 1018FB-hez (MFI  $1\text{ g/10 min}$ , sűrűség  $0,918$

g/cm<sup>3</sup>) 15, ill. 25% PP homopolimert kevertek. A 3. ábrából látható, hogy a 15% PP-t tartalmazó keverékből fűjt fóliák merevsége az átlátszóság csekély mértékű csökkenése mellett nőtt. 25% PP is bekeverhető a szivósság növelése érdekében, ha a fóliák átlátszósága nem elsőrendű követelmény.



2. ábra Szokásos LL 3201 típusú PE-LLD-ből gyártott 125 µm vastag és Exceed 350D64 típusú mPE-LLD és PP keverékekből gyártott 75 µm vastag öntött fólia gyártásirányban mért tulajdonságainak összehasonlítása (%)



3. ábra Kétféle mPE-LLD-ből fúvott fólia 1%-os deformációnál mért (szekant) modulusa és homályossága az alapanyaghoz hozzákevert PP mennyiségének függvényében

### **Poliolefinhulladék mint ragasztóanyagok töltőanyaga**

A kaunasi egyetemen (Litvánia) felfedezték, hogy az öregedés folyamán bekövetkezett oxidáció, hidrolízis következtében részlegesen degradálódott poliolefinnek mechanikai tulajdonságai romlanak, ha azonban az ilyen polimereket ragasztóhoz, nevezetesen kloropénalapú ragasztóhoz adagolják, a ragasztónak nő a ragasztási szilárdsága és az időjárás-állósága.

A poliolefinhulladékot finom őrlemény formájában keverik a ragasztóhoz. A polipropilén az öregedés folyamán ridegedik, de nem olyan mértékben, hogy könnyen őrlhetővé váljék. Ezért a hulladékot mesterséges öregítésnek vetik alá, és a jó eredmény érdekében öregedést gyorsító anyagokat is adnak hozzá. Gyorsítja az öregedést az ataktikus PP (PP-a) és a már öregített PP, ha azt 5–10%-ban adják az előőrölt PP hulladékhoz. Az öregítést általában 150 °C-on 100 óra hosszat végzik. Az öregítés paramétereivel befolyásolható a PP folyási száma. Tapasztalatok szerint jól őrlhető a PP keverék, ha folyási száma eléri a 400 g/10 min értéket.

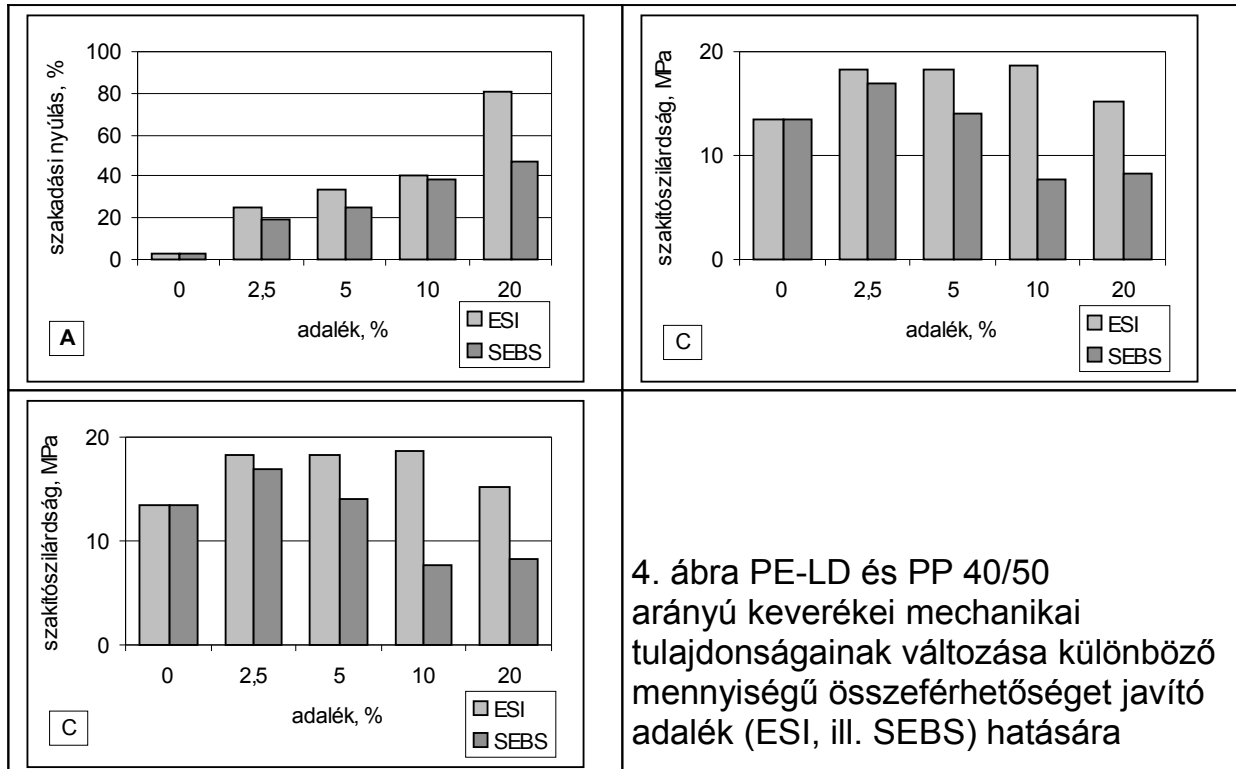
A polietilén öregedés hatására nem válik merevvé, ezért őrléséhez más eljárást kell alkalmazni. PE-hulladékot (pl. fóliasátrakból származó fóliahulladékot) úgy őrltek finom porrá, hogy a PE-nél magasabb üvegedési hőmérsékletű polimert, poli(vinil-acetát)-ot adtak hozzá 20%-os mennyiségben.

### **Etilén/sztirol interpolimer mint összeférhetőséget javító adalék PS/PE keverékekben**

A Dow Plastics cég metallocén katalizátorokon alapuló Insite technológiájával teljesen új polimercsaládot, etilén/sztirol kopolimereket, ún. interpolimereket (ESI) kezdett gyártani. A polimercsaládnak az Index márkanévet adta. Mivel ezek a polimerek olefint és sztirolt is tartalmaznak, kapcsolóanyagként szolgálhatnak az egyébként nagyon nehezen keveredő poliolefinnek és polisztirolnak összeépüléséhez.

A PE és PS keverékek 50–60%-os keverési arány mellett és 10% kapcsolóanyag jelenlétében adják a merevség és a szívósság optimális arányát. 22–77% közötti sztiroltartalmú interpolimerekből, ill. az ugyancsak kapcsolóanyagként használt Kraton G1657 típusú SEBS blokk-kopolimerből 10%-ot adtak 40/50 arányú PE-LD/PS, ill. 30/60 arányú PE-HD/PS keverékekhez. Kiderült, hogy a PE-LD esetében 48-57% közötti, a PE-HD esetében az 55% sztiroltartalmú interpolimereknek van a legjobb kompatibilizáló hatása.

A 4. ábrán 40/50 arányú PE-LD/PS keverékek mechanikai tulajdonságai láthatók, amelyekhez változó mennyiségű kapcsolóanyagot adtak. Az alkalmazott interpolimer sztiroiltartalma 48,4% volt. Már 2,5% adalék erősen megváltoztatta a keverék tulajdonságait. A adalék mennyiségének növekedésével nyilvánvalóvá vált az ESI előnye a Kratonnal szemben; ugyanis nemcsak a szakítószilárdság és a nyúlás nőtt erőteljesebben, de emellett a modulus gyakorlatilag a legkisebb adalékmennyiséggel kapott értéken maradt.

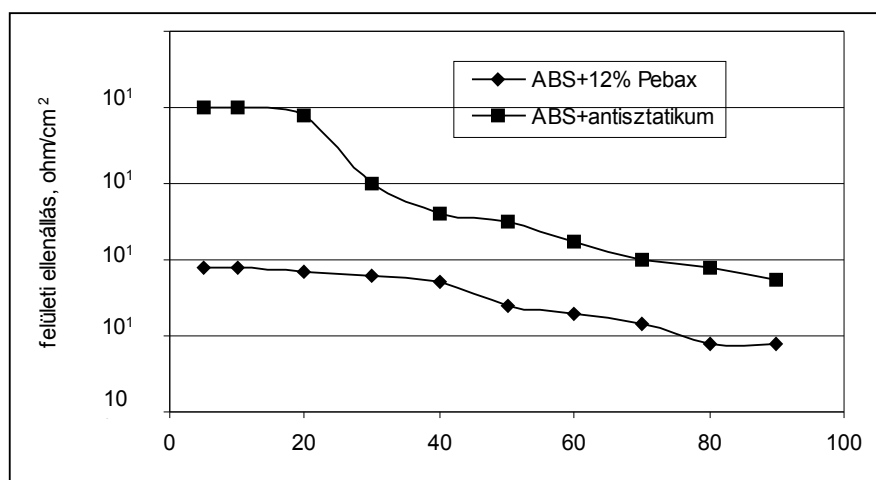


## A poli(éter-észter)-blokk-amid mint antisztatikum

Az Atofina Chemicals cég Pebax márkanevű poli(éter-észter)-blokk-amidjáról (PEBA) kiderült, hogy számos polimerbe (ABS, PS, PC, PBT, POM, PVC, PET, PETG, ABS+PC, poliolefinok) 5–30%-ban bekeverve tartósan antisztatikus hatást fejt ki. Hatása kevésbé függ a levegő nedvességtartalmától, mint a kémiai antisztatikumoké (5. ábra). Az Atofina megállapodást kötött a Ciba céggel, hogy az utóbbi kizárólagos joggal világszerte forgalmazhat két PEBA típust (P22 és P18) antisztatikumként Irgastat márkaneven.

## Időjárás-állóságot és ütésállóságot adó akrilátadalék

Az akrilátok már eddig is alkalmazott módosító adalékok, de az Atofina Chemicals cég Durastrength 400 jelű terméke mégis újdonságnak számít. Ez az alacsony hőmérsékleten is ütésállóságot biztosító adalék egyben a műszaki műanyagok (PC, PBT, PET, poliészterek) időjárás-állóságát is javítja. Anyagában színezett kerti traktorok elemeihez, kerti bútorokhoz, szabadban használt sporteszközökhöz ajánlják alkalmazását. Míg a szokásos akrilátadalékokkal  $-40\text{ °C}$ -on 50-70%-os szívósságnövekedést lehet elérni, az új termékkel a metakrilát/bütadién/sztirol (MBS) kopolimer adalékhoz hasonlóan 100%-osat. A MBS időjárás-állósága viszont nem kielégítő; az új adaléké ezzel szemben éppen olyan jó, mint más akrilátoké. Ajánlott mennyisége polikarbonátban 5%, poli(butilén-tereftalát)-ban 25%. Ára nem tér el erősebben a többi akrilátétól.



5. ábra 12% Pebaxot, ill. kémiai antisztatikumot tartalmazó ABS felületi ellenállásának függése a levegő nedvességétől

(Pál Károlyné)

Manolis Sherman, L.: Polymers as additives. = Plastics Technology, 47. k. 7. sz. 2001. p. 52–53, 55–57.

Barkauskas, R.; Simonaitiene, A.B. stb.: Polyolefine als Füllstoff für Klebstoffe. = Kunststoffe, 91. k. 9. sz. 2001. p. 92.

Weatherable modifier stays tough in the cold. = Plastics Technology, 47. k. 7. sz. 2001. p. 35.

## HÍREK

### PA 46 új gyártótól

Az RTP Co. (Winona, Minn., USA) hőálló PA 46-tal bővítette termékeit. Ezt az alapanyagot eddig csak a holland DSM gyártotta Stanyl márkanéven. Az új RTP 200 PA-oknak nagy a szilárdsága, kopásállósága. A polimerek vezetőképesek, lángállóak és színtartók. Alkalmazhatók dugaszoló aljzatokhoz, motorházi alkatrészekhez, ipari szerelvényekhez.

*(Plastics Technology, 47. k. 4. sz. 2001. p. 31.)*

## **Új anyag helikopter forgószárnyához**

A nagy-britanniai GKN Westland Helicopters cég az 1990-es években habosított maggal tervezte a helikopterszárnyakat. Ennek az volt a célja, hogy minél tartósabb, kedvezőbb formájú, hatékonyabb és olcsóbb szárnyakat készítsenek. A Röhm céggel szoros együttműködésben a PMI\*-alapú kemény habot találták a legmegfelelőbbnek. Az eredeti elképzelés szerint a habot mintegy segédeszközként alkalmazzák, amelyre mint egy tüskére felépítik a szendvicsszerkezetet, és amelynek a későbbiekben tartóelemként elhajlás nélkül el kell viselnie a levegőterhelés nyíró és nyomó hatását. A kipróbált anyagok közül a Rohacell 71 WF jelű bizonyult a legmegfelelőbbnek.

Különleges vizsgálati módszert dolgoztak ki annak a nyomásnak a mérésére, amely a szerszámban a habosítás következtében alakul ki. Fűthető és hűthető kísérleti fémszerszámot készítettek, hogy utánozzák a keményedés alatt lejátszódó ciklusokat, és nyomásérzékelővel is ellátták. Azt találták, hogy ha nagy szerszámnyomás lép fel, az csökkenti a hidegfolyást és javítja a hab rugalmasságát. Ezért kidolgozták a „szerszámban összenyomás”-os eljárást, amelynek lényege, hogy a habmagot kb. 3%-kal nagyobbra méretezik.

Az üveg- és szénszálalás epoxigyantát (prepreget) az erre a célra tervezett fektetőgéppel a szerszám két felére fektetik, és a habmagot közvetlenül erre helyezik rá. A két szerszámfelet fokozatosan egymásra zárják és melegítik. A túlméretezett hab rugalmasan összenyomódik, és már a kikeményedési ciklus kezdetén, 70 °C-on, kellő nyomás lép fel. Ez a nyomás felszabadul és bizonyos mértékű hidegkúszás figyelhető meg. A hőmérsékletet 90 °C-re emelve a hab hőkiterjedésével a kúszás kiegyenlítődik. 125 °C-on a hab mérete tovább nő, és ezzel a kemény hab hidegfolyását ismét kompenzálja. A melegítés alatt a szerszámban meglehetősen nagy nyomás, 0,5–0,6 MPa alakul ki. Ezzel eléri, hogy a gyanta teljesen kikeményedjék, és a felületi réteg a kívánt tulajdonságokkal rendelkezzen.

A fenti technológiát sikerrel alkalmazzák a Lynx típusú helikopterek szárnyainak gyártásához. Az új EH 101 modellnél is bevezették, amelynek 7 m hosszú forgólapátjai vannak. Ez a legnagyobb habosított maggal készített szárny. Kiválóak a tulajdonságai, 10 E repülési órát értek el vele, ami a

---

\* Valószínűleg polimaleinimid.

helikopter teljes élettartamának felel meg. A szokásos szárnyak 1500 óra alatt elhasználódnak.

(Macplas International, 2001. 2. sz. máj. p. 81.)

## A MŰANYAGOK FELDOLGOZÁSA

### 2.2 Új megoldások a vékony falú termékek fröccsöntésében: az expansziós fröccsöntés

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; expansziós fröccsöntés; technológia; gépgyártó; feldolgozógép.*

#### A fröccsöntés fejlesztési irányai

A fröccsöntés céljai nem sokat változtak: ma is gyorsabban, könnyebben, pontosabban szeretnének gyártani, ami különösen élesen vetődik fel a vékony falú termékek gyors fröccsöntésénél. Mivel a gépamortizációt időre számolják, az egységnyi idő alatt előállított darabszám növekedésével csökkennek az egy fröccsdarabra jutó költségek is. A ciklusidő csökkentéséhez vagy a gépre vagy a szerszámra vonatkozó részidőket kell csökkenteni. Ami a gépeket illeti, a mai gyártók a nagy verseny következtében szinte azonos, magas színvonalat képviselnek, ezért ott viszonylag kevés a javítani való. A szerszámoknál leginkább a hűtési idő csökkentésére koncentrálnak, és mivel a falvastagsággal ez az idő négyzetesen csökken, a kisebb falvastagság gyorsabb, ezért gazdaságosabb termelést is jelent.

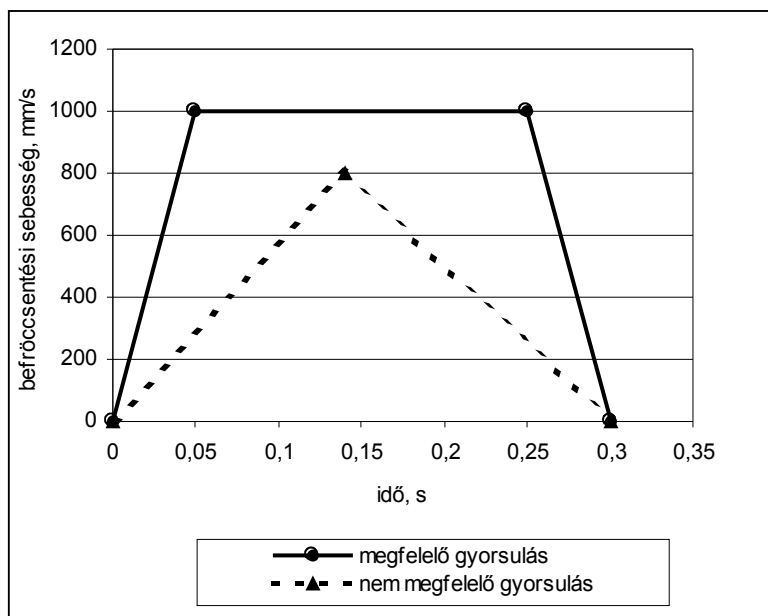
A falvastagság csökkentése természetesen nem csak a hűtési időt csökkenti, hanem a termék tömegét is, vagyis az anyagköltségeket. A kisebb falvastagság a tervezőmérnökök számára is előnyös, mert több hely marad pl. a mobiltelefon vagy a számítógép alkatrészei számára. Az elektronikai terméknel azonban igen nagy méretpontosságot is követelnek. Az ilyen pontosság elérésének feltétele a jó fröccsöntő gép és a megfelelő szerszám. A

jó reprodukálhatóság mellett azonban a fröccsöntő gépnek alkalmasnak kell lennie a nagy sebességű fröccsöntésre is.

### **A vékony falú termékek fröccsöntése**

A vékony falú termékek fröccsöntése önmagában nem új. Több mint 20 éve állítanak elő 0,5–0,6 mm falvastagságú poharakat polipropilénből és polisztirolból. Ehhez nagy folyóképességű alapanyagok és 300 mm/s befröccsentési sebesség szükségesek. Az ilyen nagy befröccsentési sebesség hidraulikus tárolóval érhető el (amelyet a szakirodalom „akkumulátornak” nevez). A mai vékony falú termékekhez azonban nem a könnyen folyó PP és PS típusokat használják, hanem ABS-t (akrilnitril-butadién-sztirol kopolimer), ABS/PC (ABS/polikarbonát) keverékeket és LCP (folyadékkristályos polimer) típusokat. Az LCP kivételével a többi polimer viszkozitása sokkal kisebb, mint a poháröntéshez használt típusoké. Ennek ellenére elérhető a 0,6 mm-s falvastagság, de csak speciális feltételek mellett. A folyási úthossz nem lehet túl nagy, és a befröccsentési sebességnek el kell érnie legalább az 1000 mm/s értéket. Több gépgyártó kifejlesztette az ehhez szükséges gépészeti megoldásokat. Eközben új ötletek születtek a fröccsöntés lehetőségeinek kibővítésére.

Az 1000 mm/s befröccsentési sebesség eléréséhez speciális hidraulikus tárolókat kellett kialakítani. Gondoskodni kell megfelelő mennyiségű hidraulikaolajról és elegendően nagy nyomásról. Különösen fontos a befröccsentési idő beállítása. Miután vékony falú és kis tömegű termékekről van szó, a csiga elmozdulása, és a befröccsentési idő is kicsi. Tipikusak a 0,1 s és ennél rövidebb befröccsentési idők, ezért nagyon fontosak a nagyon gyorsan záró szabályzó szelepek. A mozgó alkatrészeket igen rövid idő alatt kell felgyorsítani, majd ugyanolyan gyorsan le kell fékezni. Ha nem elég nagy a gyorsulás, a befröccsentési idő feléig el sem érhető a kívánt maximális sebesség (1. ábra). Az Engel cég erre a célra hidrodinamikus szervoszelepet alkalmaz speciális dugattyúval és akkumulátorral.



1. ábra A csigasebesség a befröccsentési idő függvényében. (Ha a gyorsulás nem elég, a csiga nem éri el a maximális sebességet.)

### Az 1000 mm/s befröccsentési sebesség csak elméleti érték

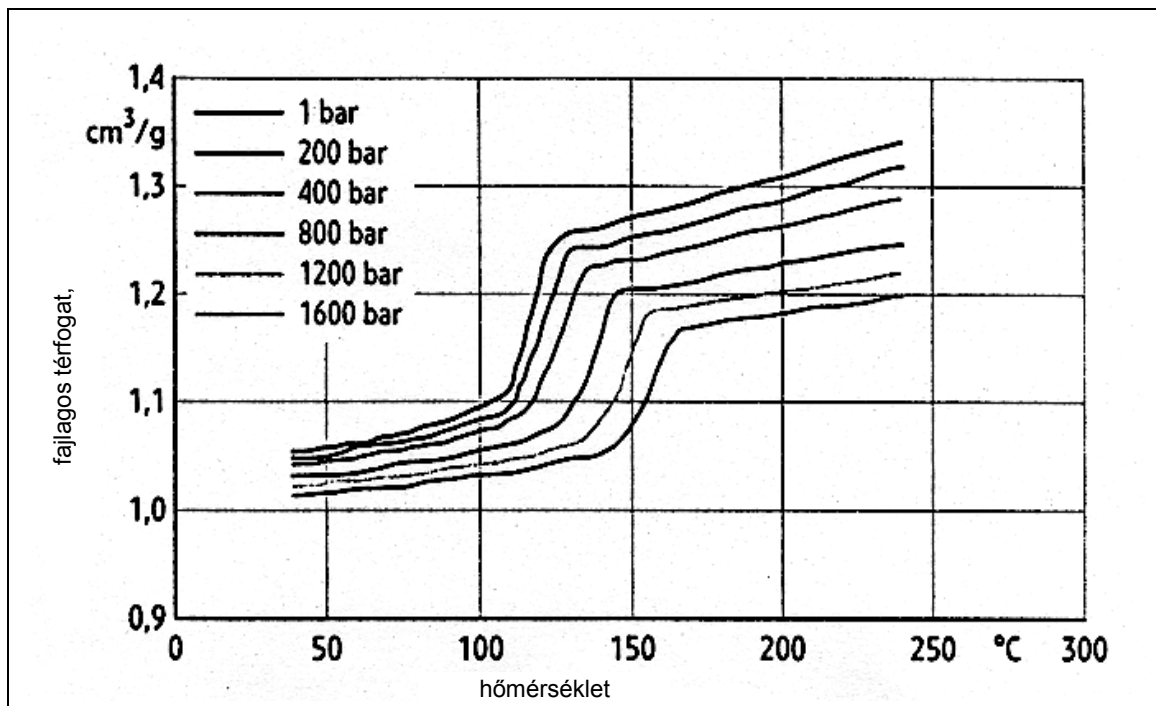
A szabályozás másik fontos szempontja a befröccsentési idő beállítása. 600 mm/s befröccsentési sebességig elegendők a hagyományos szabályozási módszerek, afölött azonban már más eszközökhöz kell folyamodni, és úgynevezett adaptív, indirekt szabályozást kell alkalmazni. Ehhez nem áll rendelkezésre az effektív sebesség, hanem csak a következő injektálási ciklust számítják és korrigálják. A gyakorlatban a harmadik ciklus után beállnak a megfelelő értékek. Így kézben lehet tartani a folyamatokat, ezért ma már az 1000 mm/s befröccsentési sebességű berendezések az ipari gyakorlat részévé váltak.

A fejlesztési időszakban olyan speciális szerszámokat használtak, amelyekben több nyomásérzékelőt helyeztek el, és meg lehetett határozni az ömledékfront valóságos haladási sebességét. Azt tapasztalták, hogy az ömledékfront sebessége akkor is jóval kisebb, ha a befröccsentés sebessége (a csiga mozgási sebessége) valóban eléri az 1000 mm/s értéket. A valóságos áramlási sebesség alig tizenötöde (!) volt az elméletileg várhatónak. Ez azzal magyarázható, hogy a polimerfolyadék (ömledék) nem tekinthető összenyomhatatlannak, ezért a gyors csigamozgás hatására a befektetett energia egy része az ömledék sűrítésére fordítódik. Ennek eredményeként a kísérleti szerszámban az ömledéksebesség 650–700 mm/s befröccsentési sebesség érték fölött már nem nőtt tovább, vagyis a szerszám nem telt meg gyorsabban. Jelentkezett viszont egy másik hatás: az áramlás akkor is

folytatódott, amikor a csiga mozgása már leállt, ugyanis a túlnyomás alatt levő ömledék kiterjedt, és kitöltötte a szerszámüreget, amíg csak ki nem alakult a nyomásegyensúly. Az ömledék viszkoelasztikus tulajdonságaira építve kezdődött meg az Engel cégnél az expandáló (kiterjedő) ömledék technológiájának (X-Melt) fejlesztése.

### **Az expanziós fröccsöntés fizikai alapjai**

Régóta ismert tény, hogy a polimerömledékek összenyomhatók, amit a  $pVT$  diagramok is igazolnak (2. ábra). Ha egy komprimált (összenyomott) ömledékről leveszik a nyomást, az robbanásszerűen kitágul. Itt nem izoterm, hanem a sebességtől függően adiabatikus vagy politróp folyamatról (tágulásról) van szó. Ezért a hirtelen kiterjedés során nemhogy további hőkárosodás nem éri az anyagot, hanem még meg is gyorsítja annak lehűlését a szerszámban. A  $pVT$  diagram alapján meghatározott expanziós térfogatnövekedés 2000 bar előnyomás után mintegy 10%, ami azonos termikus feltételek esetén reprodukálható. (A 10%-os összenyomhatóság inkább az amorf műanyagokra jellemző, a részlegesen kristályos rendszerekben viszont a 30–35%-ot is elérheti). A reprodukálhatóság feltétele, hogy az előzetesen komprimált ömledéktérfogatnak mindig azonosnak kell lennie. Ehhez arra van szükség, hogy a sűrítés után a csigát rögzítsék, különben a szelepek megnyitása után a szerszámot túltöltené. Ez a hagyományos hidraulikus fröccsöntő gépek esetében, ahol az ömledék, a csiga és a hidraulika egy egymást befolyásoló egyensúly részesei, szinte lehetetlen. Az expanziós fröccsöntésben ezért teljesen villamos vezérlésű fröccsgépet kell használni. Itt ugyanis a csigát axiálisan tetszőleges helyzetbe lehet hozni, majd ott rögzíteni.



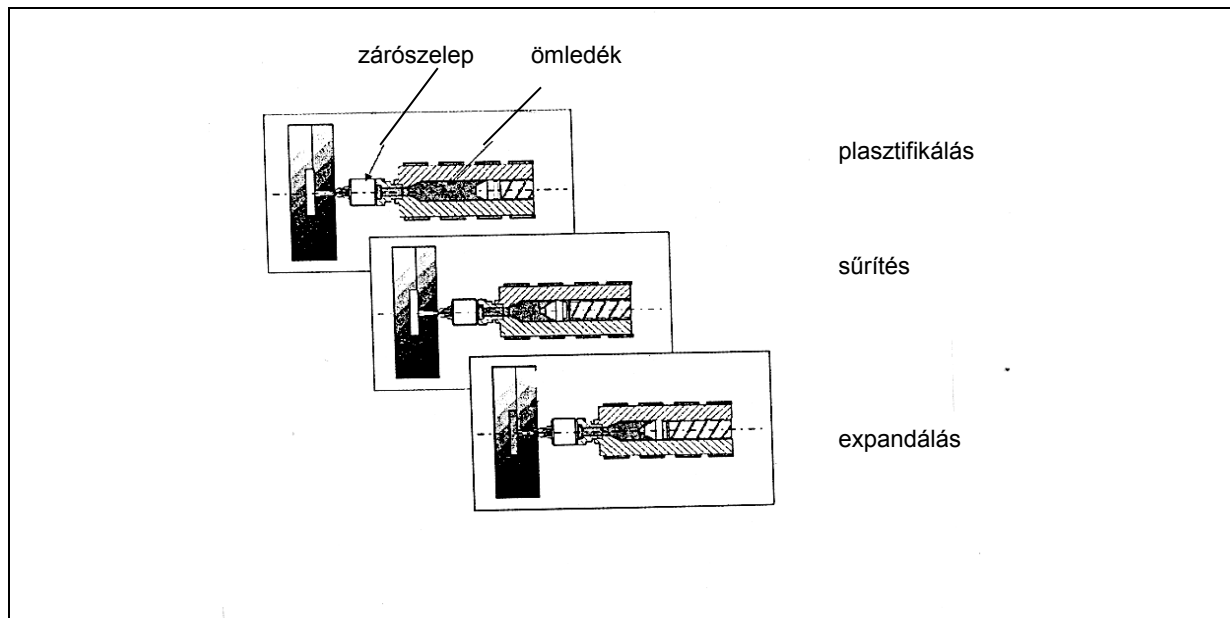
2. ábra A kis sűrűségű polietilén (PE-LD) pVT diagramja.  
(A kompressziós energia kihasználható az expanziós fröccsöntésben.)

### „Testre szabott” fröccsgépek

Az expanziós fröccsöntő gépek csak néhány vonásukban térnek el a hagyományosaktól. Az egyik ilyen már említett különbség, hogy az expanziós fröccsöntéshez teljesen villamos fröccsgegyeséget használnak. Az Engel cég villamos „e-motion” gépsorozatával az ezzel az eljárással előállítható terméktartomány teljesen lefedhető. A másik jellegzetes eltérés az a reteszelő rendszer, amellyel komprimálás után a csiga rögzíthető. Az arretáló rendszerre kétféle megoldás van. Az egyik esetben a rögzítés a gép zárószelepen keresztül történik, bár speciális módszerrel. A normál gépeken a zárószelep csapszegét a fröccsnyomás nyitja, és azt hidraulikusan vagy pneumatikusan zárják. Az expanziós fröccsöntésben a csapszegnek a sűrítési fázisban is zárnia kell, és csak az expanziós fázisban nyithat. Ehhez a kényszerzárást fel kell oldani, és ekkor a felépült előnyomás azonnal megnyitja a szelepet. A második változat szerint az arretáló rendszer egy forrócsatorna-fúvókát is tartalmaz. Előnye nyilvánvaló: ezzel növelik az elősűrítési térfogatot, ugyanakkor csökkentik az expanziós térfogatot, hiszen a beömlés megosztása mintegy megnöveli a csiga előtti térfogatot. Ebben az esetben a forrócsatornás rendszer játssza ugyanazt a szerepet, mint az előbb leírt zárószelep.

## Lépcsőzetes kiértékelés

A szerszám zárása és a fröccségység rájratása után az ömledéket zárt szelep mellett sűrítik (3. ábra). Ezt a sűrítést közepes csigasebesség mellett végzik, hogy elkerüljék a nyomáskülönbségek kialakulását a különböző pontok között. A nyomáskiegyenlítődést szolgálja a rövid késleltetési idő a sűrítési fázis végén. A csiga sebességét és a késleltetési időt a mindenkor sűrítési térfogat és a megkívánt sűrítési nyomás határozza meg. Ha kialakult az egységes nyomás, kinyit a zárószelep, és szabaddá válik az út a szerszámüreg felé. Ha kialakul egy előre meghatározott nyomás, a gép automatikusan átkapcsol az utónyomásprogramra. Az utónyomási idő rendszerint nagyon rövid, és a nyomásszint megegyezik az előbbi nyomásértékkel. Az ilyen eljárással öntött vékony falú és kis tömegű termékek esetében az utónyomásnak nincs túl nagy jelentősége.



3. ábra Az expanziós fröccsöntési eljárás lépései

A megfelelő paramétereket empirikusan határozzák meg. Ha ismerik a fröccsadag tömegét, annak kb. tízszeresét vetik alá a sűrítő nyomásnak. Ha a szerszámüreg nem telik meg, fokozatosan növelik a nyomást, amíg optimális terméket nem kapnak. Az így megállapított munkapont azonban csak egy a több lehetséges közül. A sűrítési térfogat és a sűrítési nyomás megfelelő változtatásával számos más munkapont is kialakítható. Általában igaz, hogy minél magasabb a sűrítési nyomás, annál nagyobb a töltési sebesség, és annál rövidebb a ciklusidő.

## **Gyors, precíz, reprodukálható fröccsöntés – akkumulátor nélkül**

Az expanziós fröccsöntés alkalmazhatóságát már sokféle anyaggal (PS, PP, ABS, ABS/PC stb.) és sokféle szerszámban vizsgálták. Az egyik példa egy billentyűzet ABS/PC keverékből készülő merevítőlemeze, amelyen nyílások vannak a nyomógombok számára. Várhatóan készítenek mobiltelefonházakat is hasonló anyagból ezzel az eljárással, mindössze 0,5 mm falvastagsággal. A billentyűzet esetében kétfézes szerszámban 875 mm/s ömledékfront-sebességet értek el. A befröccsöntés ideje 0,06 s volt hidraulikus akkumulátor nélkül. A zárószelep megnyitásakor az ömledék valószínűleg berobban a szerszámüregbe. A robbanás energiáját azzal lehet jellemezni, hogy ha az ömledéket szabadba eresztik, az átüt egy 3 mm vastag falemezt, és fényes felületű nyílást hagy rajta. Az expanziós fröccsöntéssel igen jól reprodukálható tömegű darabokat lehet kapni: egy 4,6 g-os terméknel a tömegszórás mindössze 0,1% volt. Ez egyben biztosítja a jó méretpontosságot is, amire a vékony falú termékeknel igen nagy szükség van.

## **Az X-Melt technológia kifejlesztése még csak a kezdeteknél tart**

Bármilyen vonzó is az új technológia, megvannak a maga korlátai. Alkalmazása egyrészt csak viszonylag kis fröccsdarabokra korlátozódik. Másrészt a hagyományos forrócsatornás szerszámok változtatás nélkül nem alkalmazhatók, mert azok általában legfeljebb 2000 bar-ig nyomásállóak, az expanziós fröccsöntéskor pedig tartósan legalább 2500 bar nyomás lép fel. A tűszelepnek a maximális sűrítő nyomás mellett is könnyen és gyorsan kell nyitnia, de ez is megoldható. Problémát jelenthet az, hogy az anyag tartózkodási ideje a fröccshengerben kb. tízszer olyan hosszú, mint a normál fröccsöntéskor.

Az Engel cég azt tervezi, hogy az expanziós fröccsöntést teljesen villamosan vezérelt „e-motion” elemeivel kombinálva nagy pontosság és reprodukálhatóság mellett valósítja meg a nagy sebességű fröccsöntést. Jelenleg úgy tűnik, hogy ez a technológia a könnyű, vékony falú termékekre korlátozódik, de lehetséges, hogy a folyamat jobb megismerésével alkalmazása szélesedni fog.

Elképzelhető, hogy ezzel az eljárással könnyebbé válik az 1 g alatti tömegű darabok mikrofröccsöntése. Ez ugyanis a hagyományos módszerekkel elég nehézkes, mert a megvalósítható legkisebb csigaátmérők mellett a csigaelőmozdulás túl kicsi, ami nehezíti a reprodukálhatóságot, és gyenge termékminőséget eredményez. Segíthetnek a modern dugattyús fröccsegységek, amelyekben kis dugattyúátmérőt is lehet használni. A módszer iránti érdeklődés mindenesetre igen nagy, és remélni lehet, hogy

hamarosan további fejlesztések és egyszerűsítések születnek ezen a területen.

(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)

Pokorny, P.: Brachliegende Potential genutzt. = Kunststoffe, 91. k. 7. sz. 2001. p. 51–54.

Wenn die Schmelze explodiert. = Kunststoffberater, 46. k. 7/8. sz. 2001. p. 8–11.

## 2.2 | **Kerámia és fém feldolgozása műanyagok segítségével**

*Tárgyszavak: kerámiapor; fémpor; műanyagmátrix; fröccsöntés; szinterezés; lézersugár; gyors szerszámgyártás.*

A „high-tech” anyagok kifejlesztése ellenére ma sem lehet nélkülözni az olyan ősi szerkezeti anyagokat, mint a kerámia és a fémek. A korszerű eszközökben viszont gyakran alkalmaznak nagyon bonyolult formájú elemeket, amelyek kimunkálása kerámiából vagy fémből nehézkes és főképpen nagyon időigényes, emiatt a XXI. századi tömegtermelés számára elfogadhatatlan. A megoldás: a műanyagok feldolgozásához alkalmazott termelékeny fröccsöntés ötvözése a kerámia-, ill. fémfeldolgozással.

### **Kerámiaporok fröccsöntése**

A kerámiák kemények, kopás-, hő- és korrózióállóak, emellett sűrűségük viszonylag kicsi. Emiatt számtalan műszaki célra kitűnően beváltak. A műszaki kerámiákat ugyanakkor legtöbbször por alakú szintetikus anyagokból – oxidokból, karbidokból, nitridekből stb. – készítik.

A kerámiákat ősi idők óta úgy dolgozzák fel, hogy a nyers alapanyagokból készített képlékeny masszából elkészítik az előformát, amely zsugorodással járó szárítás és hőkezelés után nyeri el végső formáját. A formaadáshoz sokféle eljárást használnak (1. táblázat). A módszerek egy része nem teszi lehetővé bonyolult formák előállítását, ezért a kiégetett anyagot utómegmunkálásnak kell alávetni. A fröccsöntésnek nincsenek formai korlátai, és ez az eljárás nagyon termelékeny is, viszont nagyon költséges a gyártószerszám, ezért csak nagy sorozatok gyártásához gazdaságos.

1. táblázat

A kerámiamasszák feldolgozási eljárásainak összehasonlítása

Eljárás	Forma bonyolultsága	Felület	Izo-trópia	Darab-szám	Szerszám -költség	Gép-költség
Egyirányú sajtolás	4	2	2	3	5	4
Izotaktikus sajtolás	3	4	1	5	1	5
Extrudálás	5	5	6	1	4	2
Fröccsöntés	1	1	4	2	6	3
Iszapöntés	2	6	5	6	2	1
Fóliaöntés	6	3	3	4	3	6

1 = nagyon kedvező, 6 = nagyon kedvezőtlen

Az ún. porfröccsöntés (powder injection molding, PIM) a következő lépésekből áll:

- a kerámiaporok hozzákeverése a kötőanyaghoz, majd a kerámiamassza ezt követő granulálása,
- fröccsöntés (a kapott előformát „zöld formá”-nak is nevezik),
- a kötőanyag eltávolítása (ezáltal jön létre a „barna forma”),
- kiégetés (szinterezés) után kapják meg a készterméket.

A legtöbb formázási eljárásban a kerámiapor minősége a legfontosabb, fröccsöntéskor viszont ugyanilyen fontos a kötőanyag helyes megválasztása. A kerámiamassza összetételének kialakításakor két ellentétes követelménynek kell eleget tenni:

- egyrészt kevés kerámiaport kell a polimer kötőanyaghoz keverni, hogy a massa könnyen feldolgozható legyen,
- másrészt kevés polimert szabad a kerámiaporhoz adni, hogy az jól szintereződjék.

Az ellentmondást az alapanyagok helyes megválasztásával lehet feloldani.

A *kerámiaporok* kiválasztásakor arra kell ügyelni, hogy azok kevés kötőanyaggal is jól folyjanak, hogy (lehetőleg alacsony hőmérsékleten is) könnyen szintereződjenek, és hogy folyamatos és egyenletesen zsugorodjanak. A poroknak egyenletesen kell eloszolniuk a mátrixban. Szemcseméretük a végtermék szilárdságát befolyásolja. Minél finomabb a kerámiapor, annál szilárdabb lesz a kész darab.

A *kötőanyagnak* többféle funkciót kell betölteni. Mindenekelőtt megfelelő folyóképességet kell adnia a kerámiamasszának, hogy könnyen fel lehessen dolgozni. De ez a kötőanyag adja a fröccsöntés után kapott „zöld forma” szilárdságát is. Követelmény továbbá, hogy az ezt szolgáló technológiai lépésben könnyű legyen eltávolítani. A kötőanyag ezért általában három komponensből áll: fő alkotója egy polimer, amelyhez a folyást könnyítő lágyítót és a kerámiaszemcsék polimer általi nedvesítését segítő adalékot kevernek.

A *kerámiamassza elkészítése* erősen befolyásolja a végtermék minőségét, bár erre a munkaműveletre gyakran kevés ügyet vetnek. Fő célja

- a kerámiaszemcsék agglomerátumainak szétosztása,
- a szemcsék felületének nedvesítése és a felületi feszültség megváltoztatása,
- a szemcsék bevonása műanyagmátrixszal,
- granulálás.

A *formaadás* kevésbé különbözik a műanyagok szokásos feldolgozásától. A magas portartalom miatt azonban a masszának nagyobb a viszkozitása, emiatt kisebb fröccssebességgel és rövidebb utónyomással kell dolgozni. A kerámiaporok erős koptató hatása miatt a fröccsszerszámot kemény fémből kell elkészíteni, ami nagyon megnöveli az árát.

A *kötőanyag eltávolítása* a gyártás legkényesebb és legidőigényesebb lépése. A kötőanyagnak széles (50–400 °C-os) hőmérséklet-tartományban kell elillannia. Rosszul végzett művelet eredményeképpen a darab deformálódhat, rajta repedések, pórusok képződhetnek. A folyamat során a „zöld forma” „barna formá”-vá alakul, amellyel nagyon óvatosan kell bánni, hiszen szilárdságát csupán a kevés maradék szerves kötőanyag és a szervesetlen kerámiaszemcsék laza érintkezése adja.

A *szinterező kemencében* a darabot fő alkotói olvadáspontjának közelébe, 1350–1750 °C-ra hevítik. Ennek következtében az erősen pórusos anyag tömörödik (a darab zsugorodik) és szilárdsága erősen megnő. A három tulajdonság változása révén követhető és szabályozható a szinterezés mértéke.

A szinterezés gyorsasága függ a kerámiapor anyagi minőségétől, szemcseméretétől és a szinterezés hőmérsékletétől. A finomabb szemcséjű kerámiapor gyorsabban szintereződik. A szinterezés elméleti végpontján tömör, pórusmentes, durván kristályos, de polikristályos anyag keletkezik. Ún. száraz szinterezéskor az eredeti kerámiapor valamennyi alkotója szilárd fázist képez. Ún. ömledékállapotú szinterezéskor egyes komponensek megolvadhatnak.

## **Fémszerszámok fröccsöntése**

A műanyag-feldolgozó iparban is csak az a cég marad versenyképes, amely új gyártmányait rövid időn belül képes forgalomba hozni. A fejlesztésre, ezen belül a prototípusgyártáshoz alkalmas szerszám elkészítésére emiatt a korábbi időnek csak töredéke áll rendelkezésre. Gyors szerszámkészítéshez (rapid tooling) sokféle eljárást dolgoztak ki, és ezekkel különféle minőségű szerszámokat lehet gyártani. Fémporok fröccsöntésével és ezt követő lézeres szinterezéssel olyan szerszámokat lehet előállítani, amelyek nem csak néhány prototípus elkészítésére, hanem kisebb sorozatok (pl. 100 E db) gyártására is alkalmasak.

Az EOS GmbH (Planegg, Németország) többféle módszert kínál gyors szerszámkészítéshez. Lézeres szinterező eljárásuk (Direktes Metall Laser-Sintern, DMLS), Direct-Tool nevű szerszámgyártó eljárásuk és DirectSteel 20 nevű fémporos fröccsanyaguk felhasználásával rövid idő alatt lehet fémszerszámokat fröccsöntéssel előállítani.

Egy nagy-britanniai egyetem a Volvo gyár részére szerszámbetéteket készített. A betétek átmérője 60 mm, magassága 22 mm volt, és belső részükben 90°-os görbületet tartalmaztak, amelyet nem lehetett hagyományos módon kimunkálni. A darabokat ezért az EOS cég Eosint 250 M Xtended nevű, teljesen automatikus berendezésén, DirectSteel 20 anyagból 16 óra alatt, rétegenként felépítve állították elő, majd nem egészen egy óra hosszat lézersugár hatásának tették ki őket. 4 óra hosszat tartott a kikészítés, további 4 óra hosszat beillesztésük és beszerelésük a fröccsöntő szerszámba. A szerszám ezután munkára kész volt, és vele (kidobók és polírozás nélkül) több száz formadarabot fröccsöntöttek polipropilénből.

Ez a munka is igazolta, hogy a számítógépes tervezés során előállított 3D-CAD adatok birtokában 3 nap alatt elkészíthetők az első fröccsöntött mintadarabok. A minőségben nem kell engedményeket tenni. A kérdéses betétek méreteit pl. 6 helyen ellenőrizték. A névleges méretekől a legnagyobb eltérés 0,068 mm, az átlagérték 0,032 mm volt. A felületi finomságot a következő adatok jellemzik: Rz = 20 µm, Ra = 3 µm.

A kísérletet megismételték, ezúttal magasabb követelményekkel. Egy másik, több kidobót tartalmazó szerszámhoz készítettek kiegészítő elemeket. A nagyon rövid idő alatt előkészített szerszámban több száz ABS formadarabot fröccsöntöttek az előbbieknél még jobb minőségben.

Hasonló kísérleteket végeztek a Siemens VDO Automotive cégnél is.

Egy prototípusgyártással foglalkozó finnországi vállalatnak (Rapid Product Innovation, Rusko) egy megrendelője kívánságára néhány hét alatt 10 E műanyag elosztóházat kellett elkészítenie. Az elosztóházak két részből álltak. A rendelkezésre álló rövid idő miatt a cég DMLS eljárással, DirectSteel 20-ból készített szerszámbetétet, és sikeresen teljesítette a megrendelést. Az elosztóházak sikeres kipróbálása után a vásárló egy másik cégnél megrendelte a gyártószerszámot, amely nem készült el időben. Ezért a sorozatgyártást is a kísérleti szerszámban kezdték meg, és rövidesen túl lesznek a 100 E darab fröccsöntésén. Közben elkészítették az elosztódoboz fedelének két újabb változatához a szükséges szerszámbetéteket is. A finn cég a DMLS eljárást besorolta más szerszámgyártó eljárásai sorába, és nagy jövőt lát ezeknek az eljárásoknak a kombinálásában.

Az EOS cég 1994-ben teremtett munkakapcsolatot a finnországi Electrolux céggel, amely Európában az elsők között kezdett gyors szerszámkészítéssel foglalkozni. Az Electrolux kifejlesztett egy nyomásmentesen szinterezhető fémport, az EOS-nak viszont volt egy műanyagok lézeres szín-

terezésére alkalmas eljárása. A két eljárás társításából született meg a DMLS eljárás és az Eosint M 250 berendezés. Az első fröccsönthető és lézeresen szinterezhető fémpor, a DirectMetal 100 bronzport tartalmazott, és egyszerre 100 µm vastag réteget lehetett felvinni. A következő termék a DirectMetal 50 (bronz, 50 µm), majd a DirectSteel 50 (acél, 50 µm) volt. A DirectSteel 20, a legújabb termék, 20 µm-es rétegekben vihető fel, emiatt sokkal finomabb részletek és szebb felület alakítható ki vele. Szilárdsága nagyobb az alumíniuménál, 600 N/mm<sup>2</sup>, emiatt nagy igénybevételnek kitett szerszámokat is lehet belőle készíteni. Ilyen szerszámban készítették el pl. nyomás alatti öntéssel 500 alumínium formadarabot.

**(Pál Károlyné)**

Kollenberg, W.; von Witzleben, M.: Keramikpulver spritzgießen. = Kunststoffe, 91. k. 9. sz. 2001. p. 53–56.

Fritz, E.; Shellabear, M.: Spritzgießwerkzeuge direkt per Laser. = Kunststoffe, 91. k. 9. sz. 2001. p. 69, 71, 74.

2.1  
2.9

## **Térhálósított hablemezek direkt extrudálása**

*Tárgyszavak: extrudálás, habosítás, hablemez; szalag; polietilén; polipropilén; térhálósítás; gyártó; gyártóberendezés.*

Az autóiparban, a gépgyártásban, a szabadidő- és sportcikk előállításában ma már olyan műanyag lemezeket is alkalmaznak, amelyeket az extrudálás után habosítanak vagy/és térhálósítanak. Alapanyaguk legtöbbször polietilén vagy polipropilén. A lemezek szélessége 80–150 cm, vastagságuk habosítás előtt 0,2–2 mm. Habosításkor – a habosító anyagtól függően – eredeti vastagságuk 3–10-szeresére növekednek, azaz 0,6–20 mm-re. Leggyakrabban lágy tapintású műszerfalként, szigetelő padlóként vagy acéllemezek közötti hangszigetelőként használják fel őket.

A gyártás különleges eljárást igényel, a következő alapvető szempontok figyelembevételével:

- az összes segédanyagot, elsősorban a habosítót és a térhálósítót, nagyon finoman és egyenletesen kell elosztatni az alapanyagban,
- az ömledék-hőmérsékletnek az egész folyamat alatt a habosítás és térhálósítás hőmérséklete alatt kell maradni, még helyi túlmelegedés sem engedhető meg,

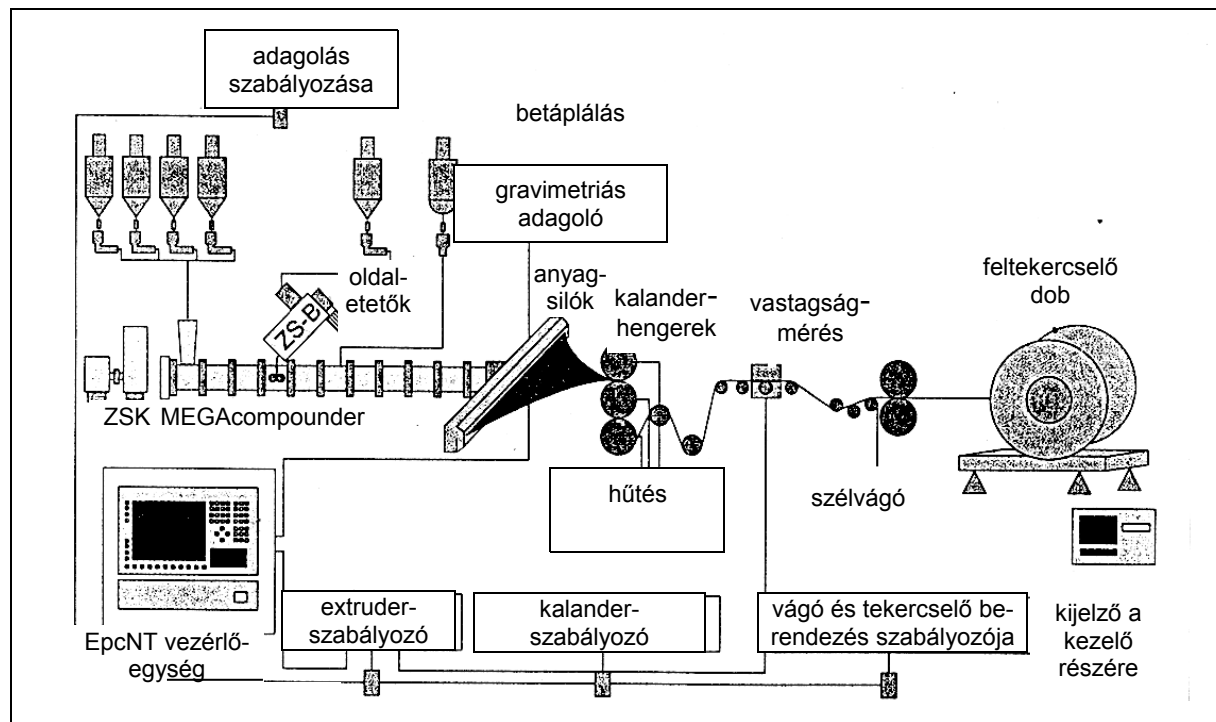
- a lemez vastagságetéréseit mind hossz-, mind keresztirányban nagyon szűk tartományban kell tartani, mert kis eltérések is nagy különbséget okozhatnak a habosítás után,
- ezek mellett a műszaki követelmények mellett fontos a gazdaságosság is, vagyis a lemez ára.

A hablemezek előállításához a Coperion Werner & Pleiderer cég fejlesztett ki gyártóberendezést.

### Kétszigás kompaundáló/extrudáló berendezés

A gazdaságosság érdekében olyan közvetlen, egylépcsős eljárást alkalmaznak, amely egyesíti a kompaundálást és extrudálást. Ezzel gépalapterületet, anyag tárolási területet takarítanak meg, és a többszöri feldolgozás miatti minőségromlást is elkerülik; továbbá a granulátum lehűtésének és ismételt felmelegítésének kiiktatása energiatakarékosabb megoldás. Kétszigás extruderrel mind a kompaundálás, mind az egyenes anyagelosztás rövid idő alatt elvégezhető.

A Coperion Werner&Pfleiderer gépgyártó cég előkísérleteket végzett a habosított és térhálósított lemezek gyártását optimálisan megvalósító gép tervezése előtt. Ez a berendezés, az ún. ZSK MEGAcoumpounder, sokban eltér az eddigi extruderektől. A gyártóberendezés vázlatát az 1. ábrán látható.



1. ábra A hablemezgyártó berendezés vázlatát

## **Tömeg szerinti adagolás**

Az adagolórendszert több mint 10 összetevő etetésére tervezték. A szigorú követelményeknek csak úgy tudnak eleget tenni, ha az etetési pontosság 3 percen belül eléri az 1%-nál kisebb eltérést, még a legkisebb mennyiség esetén is. Mivel a teljes folyamat alatt egyenletes minőséget kell biztosítani, a PP és PE alapanyagot „mesteranyagként” határozzák meg a szabályozórendszer számára, a többi anyagot segédanyagként definiálják.

A ZSK 70 SC extruder csigáinak átmérője 70 mm, munkahossza 36 D. Az extrudert oldaletetővel, 2 atmoszférikus szellőzővel és egy vákuumos gáztalanító berendezéssel látták el. A habosítószeren és a térhálósítón kívül az összes többi anyagot az etetőtölcséren keresztül adagolják. Az extruder első szakaszán nagy energiamennyiséget táplálnak be az anyagba, miközben 160 °C-ra beállított hőmérsékleten tartják. Az extruder további zónáiban sem lépik túl ezt a hőmérsékletet.

## **Ömlesztés, keverés, homogenizálás**

A megömlesztés és az első homogenizáló zóna után a porok beadagolására szolgáló oldaletetőn keresztül töltik be a habosítószer(ek)e)t (általában módosított azo-di-karbonamidot), amelyek a későbbi habosítást beindítják. Biztonsági okokból ezt az oldaletetőt robbanásbiztosan alakították ki. A habosítót és egy adott mennyiségű levegőt a keverőelemek osztatják el az ömledékben. A levegő fölös része kiszökik az oldaletetőn, majd eltávozik a gáztalanító nyíláson keresztül. Ezen a szakaszon egy folyadékadagolón át adják az anyaghoz a térhálósító peroxidokat. A folyékony térhálósítók már nagyon kis nyomáson kristályosodnak, ezért ebben a szakaszban csökkentett nyomást alkalmaznak, amelyet csak a következő zónában növelnek meg. A kilépés előtt 50 mbar-nál kisebb vákuummal gáztalanítják a keveréket, így elkerülhetők a zárványok okozta hibák a hablémezben.

A sok összetevő miatt fennállhat az a veszély, hogy valamelyik kiválik a csigán. Pontos szabályozórendszerrel és technológiabeállítással ez elkerülhető. A csiga felületét WP 15 jelű, kopásálló réteggel fedik, amely nagyon finom pórusos szerkezetet alakít ki. A jó csúszás következtében nincs feltapadás, és megnő az élettartam is. Az extruder teljesítménye a lemez típusától függően 200–350 kg/h.

## **Fogaskerék-szivattyú, extruderszerszám, lehúzóhengerek**

Az extruder végén a homogenizált és gáztalanított ömledék nyomása kb. 20 bar. Ezt a nyomást növeli meg a fogaskerék-szivattyú 100 bar-ra. A nem diszpergálódó gélrészeket egy automatikusan cserélődő szita szűri ki. Ez és a

szivattyú együttesen hozzák létre a végső hátnyomást, amire alig van hatással a hőmérséklet.

A megszárt ömledék 60 bar körüli nyomással halad át az alakadó szerszámon. A lemezzel érintkező felületet csúszást segítő anyaggal vonták be, így az ömledék áthaladási idejét állandó értéken tartják.

A lehúzó hengerek adják meg a végső vastagságot, amelyet radiometriásan ellenőriznek. Az 1 mm-es lemez vastagságeltérése  $\pm 0,01$  mm lehet.

### **A vastagságeltérés csökkentése**

A ZSK extruder EpcNT szabályozórendszere Siemens S7 szabályozóegységen alapul. Ez a legújabb generációs, átfogó ellenőrző rendszer az etetőtől a szivattyúkon át a hengerekig terjed. A rendszer könnyen kezelhető, a számítógép Windows programmal működik.

A lemez szűk vastagságtűrését úgy valósítják meg, hogy a szivattyú nyomásesését egy adott lemezgyártási teljesítményhez rendelik. A rendszer a nyomásszabályozással állandó értéken tartja az extruder sebességét, torlónyomását, az etető nyomását csakúgy, mint a szivattyú sebességét és a hengerek forgását, végső soron a lemez vastagságát. Az ellenőrző algoritmust a Coperion Werner & Pleiderer dolgozta ki és építette be.

A cég berendezésével számos üzemben sokféle anyagból készítenek térhálós hablemezeket, amelyek különböző előírásoknak felelnek meg, és nagyon gazdaságosan állíthatók elő.

### **Habosított tömítőszalagok térhálósított PE-ből**

Az olaszországi Alveo cég készíti a világon a legkisebb vastagságú habosított szalagokat térhálós polietilénből. Mintegy 40-féle terméket gyártanak, vastagságuk 0,35–0,8 mm között van. A habot a cég maga fejlesztette ki, márkanéve Alveolite TEE S 0400.3. A hab nagyon lágy, rugalmas, és hegeszthető. Mobiltelefonok, LCD-készülékek és más hasonló eszközök tömítésére, flexográfás berendezésekben rögzítőszalagként alkalmazzák.

**(Perényi Ágnes)**

Schneider, H.: Direct extrusion of foamable and crosslinkable sheets. = Plastics Additives & Compounding, 2001. szept. p. 24–26.

Thinnest foam. = Macplas International, 2001. 3. sz. aug. p. 119.

## 3.8 | Kazánvíz kezelése poliaminokkal és poliakrilátokkal

*Tárgyszavak: erőmű; vízkezelés; korrózióvédelem; gőztermelés; poliamin; poliakrilát.*

A korrózió megakadályozása érdekében a meleg vizet vagy gőzt szolgáltató kazánok csővezetékeit passziválni kell. A passziválódás magas hőmérsékleten, tiszta vízben adalékanyag nélkül is végbemegy. A passziválás során keletkező vékony oxidfilm erősen hozzátapad a fém felszínéhez, és megakadályozza a további korróziót. A tápvíz nyomokban jelen levő szennyezői (oxigén, szén-dioxid, sók) azonban gátolják ezt a folyamatot, és hozzájárulnak a korrózióhoz. A korrózió elkerülésére ezért a vizet olyan vegyszerekkel kezelik, amelyek maguk nem korrozívak. Ilyen vegyszerek pl. a foszfátok, a szóda (nátrium-karbonát), az ammónia, a szerves aminok, az oxigént megkötő anyagok stb. A kezelést általában ammóniával, szódával vagy más alkalikus vegyülettel és/vagy nátrium-foszfáttal végzik. Ennek a kezelésnek a legfőbb célja a vízkő lerakódásának vagy a fém-oxidok (pl. vas- és réz-oxid) kicsapódásának megakadályozása. Ha megfelelően kezelik a tápvizet, vas és a réz egyáltalán nem jut be a kazánba, az oxigén jelenlétét azonban nem lehet megakadályozni.

Az oxigén szénacéllal reagálva magnetitet [vas(II,III)-oxid,  $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ] képez, amely részben szuszpendálódik, majd a melegebb helyeken kicsapódik. Kis és közepes nyomású kazánokban diszpergálószerket, pl. poliakrilátokat használnak a fémkiválás megakadályozására. A nagynyomású kazánokban végbemenő folyamatok kevésbé ismertek, Belgiumban ezért felderítésükre vizsgálatokat végeztek.

### A szerves diszpergálószerke viselkedése

A polikarboxilátok gyengén savas ioncserélőként viselkednek, amelyek nagy affinitást mutatnak a többértékű fémionokhoz (pl. Ca, Mg), és ezeket nátriumionokkal váltják fel. A polikarboxilátok befolyásolják a magnetit oldhatóságát és a védőhatású oxidfilm kialakulását is. Magnetitképződés hiányában a vas-hidroxid képződése lép előtérbe. A polikarboxilát nagy

koncentrációban megakadályozza a magnetit képződését azzal, hogy komplexbe viszi a fémionokat. Ha anionos polielektrolitokat és filmképző poliaminokat együtt alkalmaznak kationos ioncserélőkkel, az szinergetikus hatást gyakorol a kicsapódás megelőzésére. A filmképződési folyamatban a korróziós termékek a fémfelületre jutnak az aminok felületaktív hatása miatt.

A szerves vegyületek magasabb hőmérsékleten általában elbomlanak, és a bomlástermékek legtöbbször korrozív hatással vannak a szénacélra. A poliakrilátokat a  $[-CH_2-CH(COO^-)]_n$  képlettel lehet jellemezni, ahol a karboxilcsoportok egy része lúgos környezetben szén-dioxid képződése közben lehasad, és karboxiltartalmú hosszabb szénláncú szénhidrogének keletkeznek. Végül az akrilát teljesen szénhidrogénné alakul, a szén-dioxid pedig a gőzbe kerül. A reakció időfüggő; a felezési idő a kazánnyomás függvénye: 140 bar nyomáson 16 perc, 110 bar nyomáson pedig 53 perc.

A poliaminok végső bomlástermékei savak, általában ecetsav, ami ellenáll az oxidációval és hőbomlással szemben. Az aminok bomlása során először a  $R-CH_2-CH_2-NH_2 \rightarrow R-CH=CH_2 + NH_3$  reakció játszódik le. Az ammónia a gőzfázisba jut. A jelen levő oxigén reakcióba lép a bomlás hatására keletkezett telítetlen szénhidrogénnel, és szerves savakat képez. A poliaminok bomlását jelző hidrogénionok és a szerves savak jelenlétét kísérleti úton is bizonyították.

## Kazánokban végzett mérések

A poliamin/poliakrilát elegy hatását kétféle nyomáson vizsgálták a kazánokban. Az elemzés eredményeit az *1. táblázat* összegzi. A kazánvízben összesen tizenegy szerves savat lehetett kimutatni; a táblázatban csak a mérési küszöb feletti koncentrációja szerepel. A poliamin/poliakrilát keverék alkalmazásakor nem használtak ammóniát a vízkezeléséhez, ezért a kimutatott ammónia csak az amin bomlásából származhatott.

Az *első kísérletsorozatban* egy 23 éve és egy 25 éve működő kazánt vizsgáltak meg, amelyek jellemzői a következő voltak:

- teljesítmény 275 t/h,
- nyomás 130 bar,
- túlhevítés 535 °C.

A vizsgálatok során erősen sérült, hidrogéntörékenységet mutató csöveket találtak, amelyeken legalább 500 µm vastag oxidfilm volt. A vizsgálatok előtt a csövek egy részét újakra cserélték. A kazán savas kezelése helyett, ami hosszú leállási időt követelt volna, poliakrilát/poliaminos kezelést alkalmaztak. A vizsgálat során egyforma összetételű elegyet használtak; a poliaminok mennyiségét 1–5 ppm-re, a poliakrilátokét 1–10 ppm-re állították be. A többi adalék mennyisége a szokásos volt. A kazán különböző pontjairól vett mintákban meghatározták a feloldott és kivált vas mennyiségét.

A 2. számú kazánt két hónappal az adagolás megkezdése után vizsgálták át. A tisztítás megkezdése előtt két tömör magnetitréteg is volt a csövek felszínén, tisztítás után viszont a réteget porózusabbnak, kevésbé tömörnek találták, vagyis már két hónap után megindult az oxidréteg lebomlása. Az újonnan behelyezett csöveken ugyanennyi idő alatt kialakult egy vékony, stabil magnetitfilm.

1. táblázat

A kazánvízben kimutatott vegyületek és a víz pH-ja  
poliamin/poliakrilát adagolása után

Kimutatott vegyületek, ill. pH	Koncentráció	110 bar gőznyomás <sup>1/</sup>	140 bar gőznyomás <sup>2/</sup>
Acetát	ppb <sup>3/</sup>	13	500–1200
Propionát	ppb	15	–
NH <sub>3</sub>	ppm <sup>4/</sup>	0,1–0,6	1,2–1,5
pH	–	9,6–10,0	9,8–10,2

<sup>1/</sup> vegyi üzemekben használt gőznyomás;

<sup>2/</sup> erőművekben használt nyomás;

<sup>3/</sup> parts per billion; 1 ppb = 10<sup>-7</sup>%; 1 g-ban 1 ng;

<sup>4/</sup> parts/million, 1 ppm = 10<sup>-4</sup>%, 1 g-ban 1 µg.

Az 1. számú kazánt 8,5 hónappal a kezelés megkezdése után vizsgálták meg, és ott is egyértelmű volt a tisztulás. A korábban 400 µm vastag film mintegy 90%-a eltűnt, 20–50 µm vastag réteg maradt vissza. A kezdetben porózus réteget tömör, vékony film váltotta. Az eltávolított oxid mennyiségét 690 kg-ra becsülik (feltételezve, hogy az 1100 m<sup>2</sup>-es csőfelületről átlagosan 0,25 mm-es réteget távolítottak el, és a pórusos magnetit sűrűsége 2,5 g/cm<sup>3</sup>). A kezelés során 2100 l adalék fogyott el.

A második kísérletsorozatban egy nagyobb kapacitású kazánt vizsgáltak, amelynek adatai a következők:

- kapacitás 550 t/h,
- nyomás 140 bar,
- túlhevítés 535 °C,
- a keletkezett gőzt egy kondenzátorral ellátott turbinában áramtermelésre használták.

Ebben a kazánban is komoly korróziós károsodás és hidrogéntörékenység lépett fel, a kezelés módja is azonos volt. A csövek egy részét itt is kicserélték, a bennmaradó csöveket 400–500 µm vastag oxidréteg fedte. A tápvízben az előmelegítőkből származó réz és réz-oxidok is jelen voltak.

Négy hónapig tartott a csövek vizsgálata és az előkészítés. Az első vizsgálatoknál 400 µm vastag oxidréteget észleltek. A réteg nem tapadt a felszínhez, és a réz valamint a réz-oxidok a legkülső részen voltak. Későbbi

vizsgálatok során a csövek bizonyos szakaszain többszörös rétegeket találtak, amelyek szerkezetét a következőképpen lehet jellemezni:

- a fémfelülettel közvetlenül egy 500 µm vastag magnetitréteg érintkezett,
- egy középső réteg, amelynek vastagsága 300 µm volt, rézet és réz-oxidot tartalmazott,
- a víz felőli fedőréteg magnetitből állt, és vastagsága 40–100 µm között volt.

A működés közbeni tisztítást 1998 novemberében indították. A poliamin/poliakrilát keveréket a kazán üstjébe adagolták. Rögtön a hozzáadás után zavarosodást figyeltek meg, ami a tisztulási folyamat kezdetét jelzi. A tisztítási folyamatot 1999 augusztusáig követték nyomon. 6 hónap alatt régi (ki nem cserélt) csöveken a magnetitréteg vastagsága 20 µm alá csökkent, a réz- és rézoxid-tartalom eltávozott, a maradék réteg vastagsága a korábbi 300 µm-ről 20 µm-re változott. Az újonnan beszerelt csövek felületén erősen tapadó, 10 µm vastag magnetitfilm alakult ki. A mérési adatokat a 2. táblázat foglalja össze. A kezelés végére mind a régi, mind az új csöveket vékony, tömör oxidfilm védte, ami csökkenti a korrózió vagy a hidrogén hatására bekövetkező ridegedés veszélyét. A régi csöveken a fedőréteg kettős: van egy erősen tapadó magnetitréteg (6–20 µm vastag) és egy porózus magnetitréteg némi rézzárványokkal. Az új csöveken vékony, erősen tapadó magnetitfilm alakult ki (10 µm vastag), amelynek tetején egy 4–12 µm vastag rézfilm található.

2. táblázat

A 2. kísérletsorozatban a különböző állapotú csöveken talált bevonatok szerkezete

Időszak	Csőtípus	Magnetitréteg vastagsága, µm	Rézfilm vastagsága µm
1998. augusztus		400	300
1999. február	régi	25–30	max. 20
	új	10	max. 12
1999. május	régi	max. 20	20
	új	10	max. 12
1999. augusztus	régi	20–40	nyomokban
	új	5	nyomokban

Az esettanulmányok a működés közbeni tisztítás hatékonyságát mutatták. A csövek minőségét és a védelem hatékonyságát az bizonyítja, hogy a vizsgált kazánok azóta is hibátlanul működnek. A poliamin/poliakrilát keverékek alkalmazásakor figyelni kell a bomlástermékekre, és az adagolást a helyi igényeknek megfelelően kell beállítani. Külön figyelmet igényel a réz- és

rézötövet-bélések jelenléte, mert ilyenkor általában csak korlátozott mennyiségben alkalmazhatók a kezelőszerek.

(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)

Roofthoof, R.; Eyckmans, M. stb.: Conditioning of water-steam cycles with a mixture of polyamines and polyacrylates. = VGBPower, 81. k. 3. sz. 2001. p. 83–85.

## A MŰANYAGOK ÉS A GAZDASÁG

### 4.1 | A poliuretán piaci helyzete

*Tárgyszavak: szervezeti átalakulás; gyártás; felhasználás; árolló.*

A poliuretánok alkalmazása a világon 1990 és 2000 között 5 M t-től 8,4 M t-ra bővült. Ezen belül 2000-ben 5,5%-kal nőtt, és 2005-re várhatóan 10,3 M t-ra emelkedik. A PUR részesedése a világ 170 M tonnára becsülhető műanyag-felhasználásának mintegy 5%-a (1. táblázat).

1. táblázat

A világ műanyag-felhasználásának megoszlása műanyagfajták szerint 2000-ben szintetikus kaucsuk és műszálak nélkül.  
(Összes műanyag 170 M t)

Műanyagfajta	Megoszlás, %
Tömegműanyagok:	
PE	31
PP	17
PVC	16
PS	8
PET	5
Hőre keményedő műanyagok	11
Műszaki műanyagok	7
PUR	5

A PUR legfontosabb alapanyagai a poliolok és az izocianátok, amelyek felhasználásának megoszlásáról és gyártásuk múltbeli és várható alakulásáról a 2. táblázat és az 1. ábra tájékoztat.

A műanyagiparban is élesedő verseny kihívásai a PUR alapanyagait gyártó vállalatokat is szervezeti változtatásokra kényszerítik. 1999-ben az ICI a Huntsman cégnek adta el PUR üzletágát, ezáltal javította az amerikai óriás

vállalat európai piaci lehetőségeit. 2000-ben a Bayer a Lyondell-Polyol cég üzletágát vette át, és ennek eredményeképpen a jövőben mindhárom alapanyag termelése révén jelentősen javította üzleti esélyeit. 2001 elején pedig a Dow vásárolta meg az EniChem PUR üzemait. Napirenden szerepel továbbá a Lyondell TDI gyárának értékesítése.

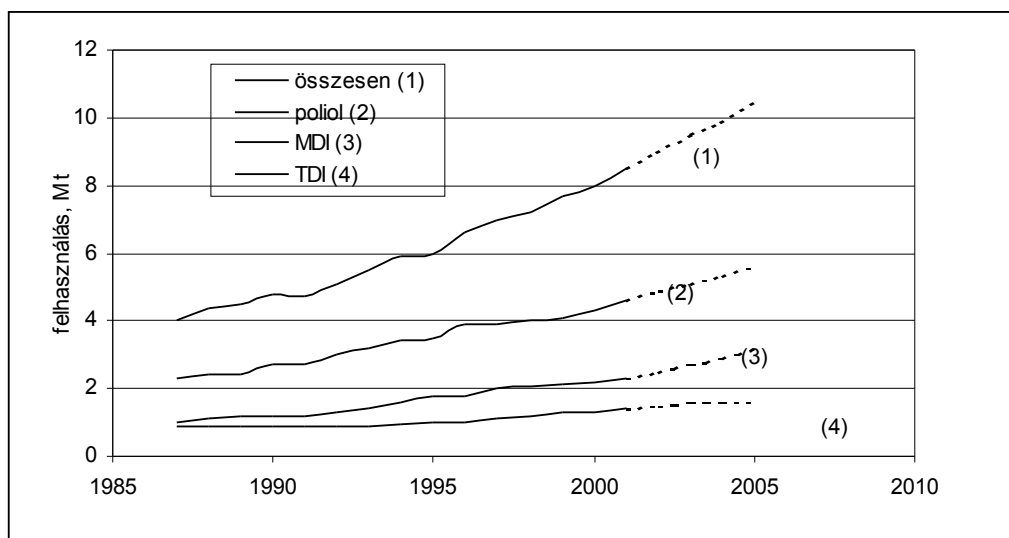
2. táblázat

A világ poliuretángyártásához felhasznált alapanyagok megoszlása 2000-ben.  
(Összesen 8,4 M t)

PUR alapanyag	Megoszlás, %
Poliol	53
MDI <sup>1/</sup>	30
TDI <sup>2/</sup>	17

<sup>1/</sup> difenil-metán-4,4-diizocianát

<sup>2/</sup> toluilén-diizocianát

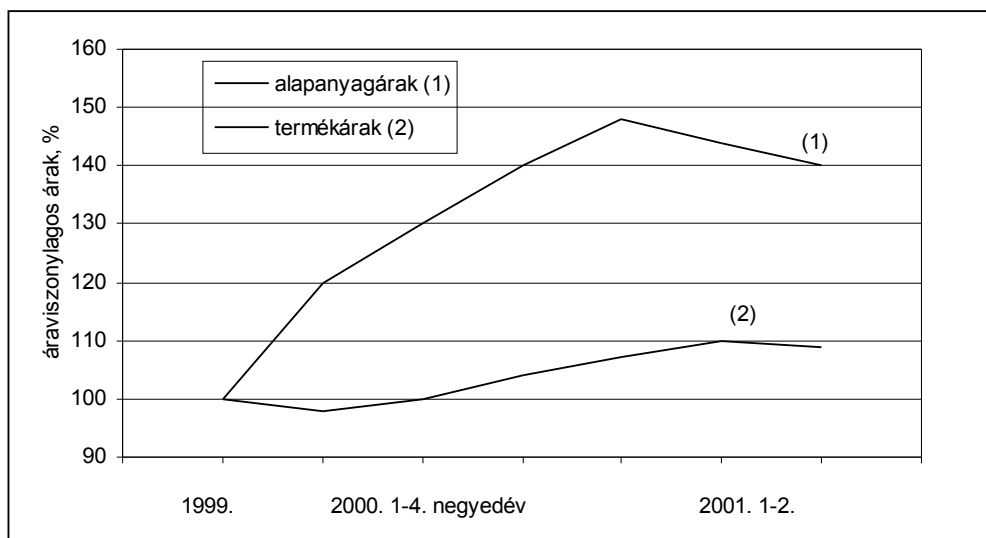


1. ábra A PUR gyártásához felhasznált alapanyagok mennyiségének változása a világon 1987–2005 között

A koncentrációs folyamatok megfigyelhetők a habok és az egyéb PUR termékek gyártóinak körében is. Európában és az USA-ban a lágy habok több mint 50%-át már ma is mindössze négy vállalat, a British Vita, a Carpenter, a Foamex és a Recticel állítja elő, és várható, hogy piaci részesedésüket tovább növelik.

A világ PUR felhasználásából 2000-ben Nyugat-Európa 30%-kal, a NAFTA államok 32%-kal, Ázsia 25%-kal részesedtek. 2000 és 2005 között a

PUR alkalmazása leggyorsabban várhatóan Ázsiában nő, évente átlagosan mintegy 7,5%-kal. Európában évi 4%-os, a NAFTA országokban 5%-os bővülésére számítanak. Ezek a mutatók mindenütt nagyobbak lesznek, mint az egész gazdaság növekedésének mértéke. Az említett három nagy nemzetközi vállalat a világ számos pontján jelentős beruházásokkal készül fel a növekvő igények kielégítésére. A kapacitásbővítést célzó döntéseket megnehezíti, hogy jelenleg kedvezőtlenek a megtérülési mutatók, mivel az árolló az izocianátok és a polioloak gyártáshoz szükséges nyersanyagok árának jelentős növekedése és a PUR alapanyagok árának kismértékű változása miatt erősen megnőtt. Így a gyártás nyereségessége messze elmarad attól, ami beruházásra ösztönözne (2. ábra).



2. ábra A PUR alapanyagok és a termékek árollójának alakulása (1999 = 100)

A PUR jó piaci esélyeit azonban valószínűsítik azok a különbségek, amelyek az egy lakosra számított felhasználásban mutatkoznak, mivel az „utolérési effektus” világszerte érezteti hatását. Az egy lakosra számított felhasználás a NAFTA országokban és Nyugat-Európában évente 6 kg, Japánban 4 kg, Dél Amerikában 1,3 kg volt, a világ többi térségeiben azonban nem érte el az egy kilogrammot.

A PUR 45%-ából lágy, 26%-ából kemény habot gyártanak, 10%-a integrál- és kontakthab, 19%-a egyéb termék.

A PUR 27%-át világszerte a bútor- és matracgyártásban, 14%-át az autógyártásban, 4%-át a cipőiparban alkalmazták, 26%-ából hőszigetelő anyag készül az építő- és hűtőgépgyártó ipar, ill. egyéb ágazatok számára. További 29%-át bevonatok, ragasztók, TPU, műbőrök, elasztomerek, szálak,

integrálhabok gyártására, továbbá elektronikai cikkek tokozására stb. alkalmazzák.

A PUR alapanyagok és a PUR rendszerek választékának bővítése, a feldolgozási eljárások fejlesztése, továbbá új gyártmányok bevezetése révén a piac jelentősen bővíthető. Az autógyártásban például a vékony falú termékek gyártásának fejlesztése új gyártmányok bevezetését alapozza meg. Új PUR rendszerekkel könnyebb és stabilabb homloklemek, sárvédők, sőt nagy felületű tehergépkocsi-alkatrészek gyárthatók.

A vállalatok egész világra kiterjedő piaci tevékenysége új magatartást és szervezeti formákat követel meg. A felhasználók esetenként messze kerülnek a gyártóktól, és igényeiket csak körültekintő szervezési megoldásokkal lehet kielégíteni. Ilyenek pl. a világ számos részén létesített rendszerházak, amelyek műszaki és kereskedelmi ismeretek birtokában képesek és készek a regionális különbségek miatt is eltérő igényeket kielégíteni. A logisztikai és kereskedelmi célok elérését megkönnyíti újabban az internet adta lehetőségek kihasználása.

**(Dr. Szabó Ferencné)**

Herne, S. H.: Es ist enger geworden. Know-how wird bei Polyurethanen zum Wettbewerbsfaktor. = Kunststoffe, 91. k. 8. sz. 2001. p. 62–64. 66–69.

Reichmann, W.: PUR wird weiter wachsen. = Kunststoffe, 91. k. 8. sz. 2001. p. 30, 32–33.

## 4.1 Magyar műanyagipari vállalatok nyugati tükörben

*Tárgyszavak: K'2001; kiállítók; műanyagipari vállalatok; Kelet-Európa; Magyarország.*

Az előzetes bejelentkezések alapján a kelet-európai műanyagipari vállalatok közül a legtöbb kiállító Csehországból jelentkezett; igaz, a 20 kiállító vállalat között túlsúlyban vannak az Unipetrol csoport tagjai. Magyarországot és Szlovákiát 9–9, Oroszországot és Horvátországot 7–7, Lengyelországot és Szlovéniát 6–6, Bulgáriát 2, Lettországot és Litvániát 1–1 kiállító képviselte. Ukrajna, Románia, Észtország és Belorusszia nem vett részt a K'2001 műanyagipari szakvásáron. A résztvevők rövid áttekintést adtak a kelet-közép-európai, köztük a magyarországi műanyag alapanyaggyártó és feldolgozó cégekről.

A TVK - Közép-Európa egyetlen poliolefingyártó cége, amely 30 vállalatot foglal magában - a régió gyártókapacitásának 20%-át fedi le. A TVK a PP mellett PE-HD és PE-LD polimereket gyárt, de foglalkozik fóliaextrudálással és fröccsöntéssel is. A BorsodChem, a térség legnagyobb PVC-gyártója, termékeinek 75%-át exportálja, főleg az Európai Unió országaiba. PVC-termékeivel és PVC-alapú keverékeivel a K' kiállítások hagyományos résztvevője. Mindkét vállalatot az orosz gázipari óriás a Gazprom szeretné megvásárolni, és ezáltal ellenőrzése alatt tartani a magyar petrokémiai ipart. Nemrég egy osztrák magáncég, a CE Oil and Gas szerzett további 43%-os részesedést a BorsodChem-ben, így a részvények 59%-a került a tulajdonába. Jelenleg a magyar Gazdasági Versenyhivatal vizsgálja a CE-t, mivel a szintén orosz Sibur előretolt bástyájának tekintik. Az orosz felvásárlásokat a magyar kormány azzal próbálja megakadályozni, hogy ösztönzi a hazai olaj- és gázipari céget, a MOL Rt-t, hogy nagyobb részt vásároljon meg a TVK-ból. A Sibur a TVK és a BorsodChem összevonását szeretné elérni.

A Győri Plast műanyagipari feldolgozó vállalatnál 3500 m<sup>2</sup>-en 55 Engel fröccsöntő géppel dolgoznak. A gépek záróereje 35–650 t, a feldolgozást 20 nyomdázó gép is segíti. 2002-re várható az ISO 9002 és a VDA 6.1 minőségbiztosítási rendszerek auditálása. A cégnek három részlege működik Győrben, a feldolgozás központja 50 km-re fekszik az osztrák határtól. Gyártanak élelmiszeripari adagolókat (35 millió db/év kapacitással), gépjármű- és elektromosipari műanyag alkatrészeket, gyógyszer- és élelmiszeripari nyomtatott tubusokat és szilikagél záróelemeket.

A Magyarországon, Sárváron működő, fröccsöntéssel és összeszereléssel foglalkozó Flextronics cég felerészben egyszer használatos Kodak fényképezőgépeket, valamint Epson és Hewlett Packard nyomtatókat, felerészben pedig videomagnókat, modemeket és CD-meghajtókat gyárt. A gyártást előmozdította, hogy a fényképezőgépek és a nyomtatók iránt igen nagy volt a kereslet ebben az évben. Az elektronikai, információs technológiai és tömegkommunikációs termékek élelciklusa 9–12 hónap, vagyis ez az az időtartam, amely alatt a szerződések lefutnak. Ha döntés születik arról, hogy valamilyen terméket gyártani kell, akkor a Flextronics általában megépíti a gyárat, és a gépeket 3 hónap alatt üzembe helyezi. A cégnek nincs éves költségvetése, és ritkán tudják előre, hogy mit fognak gyártani a jövőben.

Az Ericssonnal kötött szerződés értelmében növelik jelenlétüket a mobiltelefonok piacán is. Ehhez már megvásárolták az Alcatel franciaországi üzemét, és ha itt már teljes kapacitással működnek, akkor a többlettermelést valószínűleg Sárvárra helyezik át.

A Flextronics Central and Eastern Europe (FCEE) 15 üzemet működtet Magyarországon, 15 E dolgozóval, amelyek közül 4 E Sárváron dolgozik. A sárvári üzem minden évben megduplázza kapacitását, jelenleg 8 E t

műanyagot dolgoznak fel évente, főleg ütésálló polisztirolt (PS-HI), polikarbonátot (PC) és PC/ABS keveréket.

Sárváron 83 darab 25–1050 t közötti záróerejű fröccsöntő gépet helyeztek üzembe. Ebből 61 Ferromatik gép K-Tec hidraulikával, míg a többi robotokkal felszerelt Engel gép. 2000-ben vásároltak egy 100 tonnás, teljesen elektromos Ferromatik Elektra fröccsgépet, amely jelenleg próbaüzemben működik. Ezzel a géppel a közeljövőben gyógyszeripari csomagolóanyagokat szeretnének gyártani tisztaüzemi technológiával.

A Flextronics cég a fröccsöntött alkatrészek kb. 40%-át külső beszállítóktól vásárolja, pl. a Moldin cégtől. Évente 18–20 szerszámot gyártanak házon belül, de vásárolnak külső szerszámgyártóktól is. Korábbi szerződéses munkákból származóan gázzal segített és többkomponensű fröccsöntésre is be vannak rendezkedve.

2001 augusztusában kezdték el gyártani Sárváron a Microsoft Xboy játékkonzolt. Három 110 tonnás silóból adagolják az alapanyagokat, amelyeket hetente kétszer töltenek fel. Az alkatrészeket – nagy sebességgel és megbízhatóan – Ferromatic K-Tec gépekkel fröccsöntik.

**(Dr. Lehoczki László)**

Berenyi, I.: East meets West. = European Plastics News, 29. k. 9. sz. 2001. p. 61–62.

Vink, D.: Flexibility is the key. = European Plastics News, 29. k. 8. sz. 2001. p. 36.

# A MŰANYAGOK ÉS A KÖRNYEZET

## 5.4 | A műanyag hulladék mint másodnyersanyag felhasználása

*Tárgyszavak: műanyag hulladék; hulladékhasznosítás; újrafeldolgozás; másodnyersanyag; poliolefin; polisztirol; PET; PVC; poliamidok; kevert hulladék.*

A műanyag hulladék ismételt felhasználása folyamatosan növekszik minden olyan országban, amelyben felismerték, hogy a nagy sebességgel növekedő szemétkukák közvetlenül és közvetve is veszélyeztetik a környezetet. Egyes országokban törvények írják elő bizonyos típusú hulladék (pl. a csomagolóanyagok) ismételt felhasználását. Ez azonban csak akkor hajtható végre, ha kialakul a másodnyersanyagok piaca, azaz ha a belőlük készített termékeket a vásárlók elfogadják.

A hulladékból visszanyert polimerek tulajdonságai – mindenekelőtt mechanikai tulajdonságaik – gyakran rosszabbak a friss polimerénél, és a belőlük készített termékek sem esztétikusak. Áruk ugyanakkor alig kevesebb a friss anyagénál. Bár a vásárlók néha akár többet is hajlandók fizetni egy termékért, ha tudják, hogy az környezet- és energiakímélő eljárással készült, pl. általa kevesebb hulladék vagy levegőt szennyező gáz képződött, ill. kevesebb energiával állították elő.

A másodnyersanyagok felhasználási területeinek keresésekor természetesen arra kell törekedni, hogy a gyártott termék tulajdonságai ne legyenek rosszabbak, mint a friss műanyagból készített ugyanazon termék átlagos tulajdonságai. Az USA-ban jelenleg kb. 1400 terméket készítenek hulladékból visszanyert műanyagból.

A másodnyersanyagok felhasználásakor alapvetően két utat követnek. Az egyikben a jól definiált terméket használat után visszagyűjtik, és anyagából ismételten ugyanazt a terméket gyártják. Ezt „zárt láncú” újrafeldolgozásnak nevezik. Erre példa bizonyos palackok anyagának újrahasznosítása. Ha a másik utat követik, az ismételt újrafeldolgozások során egyre kevésbé igényes terméket gyártanak. Ezt alkalmazza pl. a Fiat autógyár, ahol a használt ütközőrendszer anyagából az első újrafeldolgozáskor levegőszívó csatornát, annak hulladékából pedig padlószőnyeget készítenek.

A hulladék ismételt feldolgozása nagy figyelmet igényel, mert a polimer használat során öregedhet, degradálódhat; a hulladékot idegen anyagok szennyezhetik. Emiatt a feldolgozóberendezéseken kisebb változtatásokat kell végrehajtani (pl. szűrőt, fémleválasztót kell beépíteni), és a feldolgozási paramétereket a hulladék tulajdonságaihoz (pl. megváltozott viszkozitás) kell hozzáigazítani. Ma azonban a gépgyártók kifejezetten hulladékfeldolgozáshoz tervezett berendezéseket is kínálnak. Ilyen pl. a Starlinger & Co. cég (Wien), amelynek berendezésein lemez, fólia, szál egyaránt előállítható. A másodnyersanyag tulajdonságainak javítása érdekében a hulladékhoz néha bizonyos adalékokat is hozzákevernek.

Vannak olyan országok, ahol törvény tiltja a hulladékból visszanyert anyag felhasználását élelmiszerekkel érintkező termékekben.

A következőkben bemutatjuk a legnagyobb mennyiségben újrahasznosított műanyagok néhány lehetséges felhasználási területét.

### **Kis sűrűségű és lineáris kis sűrűségű polietilén (PE-LD, PE-LLD)**

E két műanyag hulladékának fő forrása a csomagolófóliák és a mezőgazdasági fóliák.

A csomagolófóliákra jellemző a rövid élettartam, emiatt a fóliák kevésbé degradálódnak. Bizonyos mértékű degradáció éppen az ömledékállapotú újrafeldolgozás során következhet be a polimerben. A másodnyersanyag eredeténél valamivel csekélyebb mechanikai tulajdonságai abból is származhatnak, hogy a különböző típusú és molekulatömegű PE-LD-k és PE-LLD-k nem tökéletesen összeférhetőek. Általában azonban az ezekből visszanyert alapanyag feldolgozhatósága és tulajdonságai nagyon hasonlóak a friss polietilénéhez. Anyagukból – zárt láncú rendszerben – ismét csomagolófólia készülhet.

Más a helyzet a mezőgazdasági fóliák újrafeldolgozásakor. Az eredeti fólia hosszasan ki van téve a napsugárzásnak és az időjárási viszonyoknak, ezért a fóliák öregsznek, eredeti mechanikai tulajdonságaik jelentősen csökkennek. Az ilyen fóliák legtöbbször erősen szennyezettek, porosak, sárosak. Ezeknél az ismételt újrafeldolgozáskor lépcsősen csökkenő igényű terméket készítenek. A fóliasátrak anyagából szemeteszsák, azokból

talajtakaró fólia készül. Az újrafeldolgozás csak néhányszor ismételhető; a talajtakaró fólia általában a felhasználhatóság utolsó fokozata.

A hollandiai Wavin cég nagy mennyiségű csomagolófóliát dolgoz fel újra. Egy részéből újra csomagolófóliát, más részéből szemeteszsákot vagy mezőgazdasági fóliát gyárt. A hidegen nyújtható (stretch) feszítőfóliák újrafeldolgozása kevésbé egyszerű, mert anyaguk idegen polimeradalékokat tartalmaz, ami szennyező anyagként hat. Az ilyen fóliák hulladékához 15-25% friss polimert kevernek, hogy megkönnyítsék a feldolgozást.

A PE-LD (és más polimerek) hulladékának egy részéből olyan profilokat extrudálnak, amelyekkel faléceket, -deszkákat lehet helyettesíteni. A műanyag lécek előnye a fával szemben, hogy mikroorganizmusok nem támadják meg őket, ezért hosszabb az élettartamuk. Mechanikai tulajdonságaik növelésére és áruk csökkentésére inert töltőanyagokat (erősítőszálakat, fűrészport) kevernek a polimerhez. Az USA-ban az ilyen műanyag profilok piacát nagyon ígéretesnek látják, amely a becslések szerint 10 Mrd USD értékű terméket képes felvenni.

### **Nagy sűrűségű polietilén (PE-HD)**

A PE-HD hulladékot elsősorban a folyadékok forgalmazására használt palackok és tartályok, másodsorban a fóliák adják. Újrafeldolgozáskor a legnagyobb gondot a hulladék megtisztítása (pl. a motorolaj eltávolítása) és a bizonyos termékekhez használt polimer nagy molekulatömege jelenti. A polimerömladék az újrafeldolgozáskor a fellépő nagy nyíróerők miatt degradálódhat.

A visszanyert alapanyagból sokféle termék készíthető: fólia, palack, tartály, öntözőcső, félkész termék. Az egyes országokban különböző termékeket részesítenek előnyben.

A másodnyersanyag fő piaca a fúvott üreges testek gyártása. Ezek általában kis méretűek, mert a nagy molekulatömegű frakció miatti reológiai tulajdonságok, ill. a degradáció okozta lánctöredezés nem teszik lehetővé nagyméretű tartályok gyártását. A tartályokat leggyakrabban háztartási vegyszerek, pl. mosószerek forgalmazására használják.

A tartályok készülhetnek kizárólag hulladékból, de több gyártó olyan koextrudált üreges testeket állít elő, amelyek falának külső és belső rétege friss polimer, középső rétege hulladék. A Procter & Gamble és az Unilever cég ilyen tartályokban hozza forgalomba mosószereit, mert a friss polimerből készített felületi rétegek javítják a palack vagy flakon feszültségkorróziós ellenállását.

Ausztráliában több éve működő zárt láncú újrafeldolgozó rendszerben motorolajos flakonokból ismételten ilyen flakonokat gyártanak. Az eljárást azért tudták megvalósítani, mert tökéletesen el tudják távolítani az olaj legkisebb maradványát is.

Fontos felvevő területe a PE-HD hulladéknak az öntözőcsövek gyártása. Ezek anyagához gyakran friss polimert is kevernek. Az ilyen csövekben nem lép fel túlnyomás, ezért a mechanikai sziládsággal szemben nincsenek nagyon magas követelmények. Egy ausztráliai cég gyártmánykínálatában 630 mm átmérőjű öntözőcső is szerepel.

Sokféle célra használhatók fel a PE-HD hulladékból extrudált lemezek és „deszkák”, amelyekből hálókocsikba fekvőhelyeket, padlóburkolatot, utcai bútorokat, terelőkorlátokat, tengeri körülmények között használt eszközöket készítenek. Anyagukba gyakran akár 50% erősítőszálat vagy falisztet kevernek.

A PE-HD hulladék kis részéből lapokat, pallókat, szilárd szemét befogadására szánt tartályokat fröccsöntenek. Az USA-ban becslések szerint évente 2 Mrd padlóburkoló deszkát állítanak elő. Erre a célra a PE-HD hulladék is megfelel, amelyhez PE-LD és PE-LLD keverékét adják hozzá az ütésállóság növelése érdekében.

## **Polipropilén (PP)**

A PP-hulladék nagy része visszagyűjtött dobozokból, gépkocsi-akkumulátorok házából, szétszerelt gépkocsik ütközőrendszeréből és más alkatrészeiből származik. Csomagolási célra használt PP-ből csak kevés kerül vissza újrahasznosításra. A különböző eredetű PP-k szerkezete elég erősen eltérhet egymástól, és a hulladék egy része jelentősen degradálódott is lehet (pl. a gépkocsik külső alkatrészei).

Néhány esetben a hulladékból ismét az eredeti terméket készítik el. A Renault cég pl. Megane típusú használt gépkocsijainak ütközőrendszerét ismét ütközők gyártásához használja fel. Legtöbbször azonban kisebb igényű termék készül a hulladékból (pl. szellőzővezeték, tömítőelem, padlószőnyeg stb.).

PP-hulladékból fröccsöntenek dobozokat, extrudálnak lemezeket is. A hulladékot néha friss PP-vel vagy más poliolefinnel keverik.

## **Polisztirol (PS)**

Polisztirolhulladékból jóval kevesebbet hasznosítanak, mint poliolefinből, egyrészt mert a másodnyersanyag ára alig különbözik a friss műanyagétól, másrészt mert a polisztirolhulladék legnagyobb része habosított PS, amelynek újrafeldolgozása bonyolult és költséges.

Csak kevés polisztirolhulladékból készítenek az eredetihez hasonló terméket. Ilyenek lehetnek bizonyos csomagolóanyagok vagy csőszigetelő anyagok, amelyeknek jó hőszigetelő képességét, hangelnyelését, ütésállóságát használják ki. A habhulladék egy részét megömlesztik, és tömör

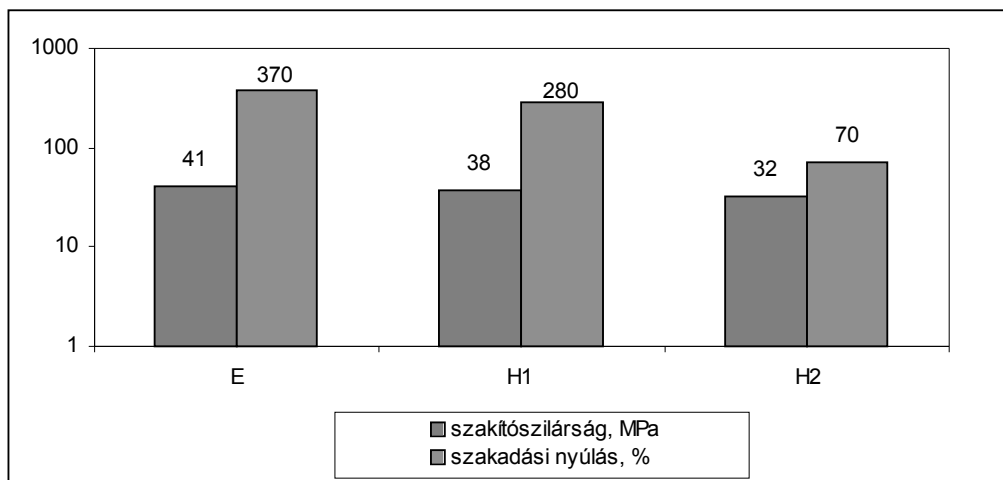
polisztirolként fát helyettesítő formadarabokat (ablakkeretet, padlóburkolatot stb.) készítenek belőle.

## Poli(etilén-tereftalát) (PET)

A PS-lal szemben a PET újrafeldolgozása szinte külön iparágga szélesedett. A világon évente kb. 1 M t PET hulladékot dolgoznak fel újra. Erre ugyanis megbízható technológiákat dolgoztak ki, és ebből a műanyagból nagy tömegben lehet viszonylag homogén terméket (mindenekelőtt palackokat) visszagyűjteni.

A PET hulladék nem igényel ömledékállapotú előkészítést (adagolást, keverékkészítést, granulálást). A visszagyűjtött palackok közül kiválogatják a PVC-ből és a PE-HD-ből készületeket, majd alapos mosás, címke- és ragasztóeltávolítás után a PET palackokat megőrlik, és örleményként adagolják a feldolgozógépbe.

A hulladékörlemény ugyanolyan érzékeny a nedvességre (amely hidrolizálja a polimert), mint a friss granulátum, ezért ki kell szárítani. A megömlesztett hulladékörlemény viszkozitása egyébként is kisebb, mint a friss granulátumé, mert a gondos tisztítás ellenére benne maradt szennyeződés (ragasztó, festékanyag) a hőterheléssel együtt bizonyos fokú molekulatördelődést okoz. Az 1. ábrán látható egy PET palackanyag szakítószilárdsága és szakadási nyúlása eredeti állapotában, majd szárított és szárítatlan örleményéből készített próbatesteken mérve.



1. ábra PET palackanyag szakítószilárdsága és szakadási nyúlása eredeti állapotában (E), és hulladékából szárítás után (H1), ill. szárítás nélkül (H2) extrudált próbatesteken mérve

A PET hulladék feldolgozásakor gondot okoz, hogy a palacktömegből soha nem távolíthatók el maradéktalanul a PVC palackok, és a PET mindig tartalmaz valamennyi PVC szennyeződést, ami a vízhez hasonlóan hidrolízist okozhat. Ennek mennyisége ezért nem haladhatja meg az 50 ppm-t (parts per million,  $1 \text{ ppm} = 10^{-4}\%$ ).

A polimerek különböző célú feldolgozásához különböző viszkozitású (molekulatömegű) ömledékeket alkalmaznak. PET esetében pl. szálgyártáskor 0,6–0,65 dl/g, palackgyártáskor 0,75–0,80 dl/g, gumiabroncs erősítéséhez használt kordszál készítésekor 0,85 dl/g belső (valódi, intrinzik) viszkozitású az ömledék. Ez irányadó a hulladék feldolgozásakor is. Ezért pl. palackhulladékból ismét palackot vagy szálát lehet gyártani. Élelmiszeripari palackot természetesen csak azokban az országokban fűjnek a hulladékból, ahol nincs tiltva a hulladék felhasználása élelmiszeripari csomagolóeszközökben. Másutt háztartási vegyszerek forgalmazására használják az ilyen palackokat, amelyek versenytársai a PVC és a PE-HD hulladékból készített palackoknak.

A PET újrahasznosításában is alkalmazzák a koextrudálást, amikor a palack falának külső és belső rétegét friss granulátumból, középső rétegét hulladékörleményből alakítják ki. Ilyen palackokat gyárt a Repete cég az USA-ban és az ACI Petalite cég Ausztráliában. Más cégek a hulladékot (pl. Coca-Cola palackok hulladékát) friss granulátummal keverik, és így állítják be az ömledék palackfúváshoz optimális viszkozitását.

A PET hulladék nagyobb részéből azonban szálát készítenek. A világ legnagyobb ilyen szálgyártója a Wellman cég (New Jersey, USA), amely két telephelyén évente 15 E t Fortrel Ecospun márkanévű PET szálát állít elő. Az USA-ban számos hasonló, de kisebb szálgyártó van. A szálakból szőtt és nemszőtt textíliák készülnek. Ezek nagy részét téli sportöltözetek hőszigetelő béléseként használják fel, de hangszigeteléseként, geotextíliaként, szűrőként is alkalmazzák őket.

A PET hulladék kisebb részéből autóalkatrészeket, villamosipari cikket, bútorelemeket fröccsöntenek.

## **Poli(vinil-klorid) (PVC)**

A PVC profilok, csövek lényegében tiszta polimerből készülnek, sokféle PVC alapú terméket azonban lágyítót, töltőanyagot és sokféle más adalékot tartalmazó polimerkeverékből gyártanak. A PVC hulladék ezért elég vegyes, és újrafeldolgozás előtt célszerű szétválogatni.

A legtöbb PVC hulladék a használt csövekből és kötőelemekből, kábelekből, ablakkeretekből, tartályokból származik. A hulladékgyűjtés kezdetekor néhány cég Európában és az USA-ban elkülönítve gyűjtötte a PVC palackokat, és ezekből jó minőségű új termékeket gyártott. Az utóbbi időben azonban a PVC újrahasznosítására berendezkedett cégek közül több

megszüntette tevékenységét, mert a PVC alkalmazásának visszaszorulása miatt elapadt a hulladékforrás is.

A PVC-t a PET-hez hasonlóan tisztítás és finom porszerű szemcsékké őrlés után közvetlenül fel lehet dolgozni. A palackok anyagából építőipari és mezőgazdasági csöveket, csőszerelvényeket, cipőtalpakat, kerti eszközöket, ereszcsonnát, kábelcsövet stb. gyártanak.

A Wavin és a Solvay cég többrétegű PVC csöveket állít elő, amelyek középső rétegét használt palackok anyagából nyerik vissza. A hulladékhoz stabilizátort adnak, mert a PVC eredeti stabilizátorai a használat közben veszítenek hatásukból. A palackok anyagában levő, ütésállóságot növelő adalék javítja a cső rugalmasságát.

Az a törekvés, hogy használt PVC palackokból ismét palackot gyártsanak, nem járt sikerrel. Egy-két helyen megvalósították azonban a zárt láncú hulladékhasznosítást, ahol csőhulladékból ismét csöveket extrudálnak.

Az Elf Atochem cég különleges eljárással hasznosítja a PVC palackok anyagát. A hulladékból szálát húz, amelyet 30% gyapjúval keverve zoknik, sálak, pulóverek készítéséhez alkalmaz.

Az elhasználódott ablakkeretek anyagát többrétegű ablakprofilok belső rétegébe dolgozzák vissza. A friss polimerből készített külső rétegek a profil tömegének legfeljebb 20%-át teszik ki.

### **Akrilnitril/butadién/sztirol kopolimer (ABS)**

Az ABS kopolimert főképpen a villamosiparban és az elektronikában használják különféle eszközök (számítógépek, telefonok, háztartási gépek, billentyűzetek stb.) házának, burkolatának anyagaként. Az elhasználódott eszközökből nem túlságosan bonyolult feladat a viszonylag homogén polimer-hulladék visszagyűjtése. Ezért a számítástechnikában feldolgozott ABS kb. 20%-át visszaforgatják a gyártásba. Az ABS-t feldolgozó nagy villamosipari cégek legtöbbször részt vesz a hulladékhasznosításban. Az ABS eredeti tulajdonságait többszöri újrafeldolgozás után is megőrzi, egyedül rugalmassága csökken kissé.

A hulladékból számítógép- és nyomtatóházakat gyártanak, legtöbbször zárt rendszerben. Másik alkalmazási terület a gépkocsielemekek és a háztartási gépek előállítására. A Wharrington cég Ausztráliában 25% friss polimer hozzákeverése után kerti bútorokat készít ABS hulladékból. A feldolgozott hulladékból extrudált félkész termékek a fához hasonlóan munkálhatók meg.

### **Poliamid (PA)**

Az újrafeldolgozható poliamid fő forrása az ipari eljárással gyártott szőnyegek, amelyek külső szálai legtöbbször PA 6-ból vagy 66-ból készülnek. A szőnyegek többi alkotója lehet PP vagy más polimer, és különböző

elasztomerek. Van olyan eljárás, amellyel szétválaszthatók a különböző anyagok, és elkülöníthető a kétféle PA is. A poliamidokat általában depolimerizálják, és a bomlástermékekből ismét poliamidot készítenek. A BASF cég azonban a PA hulladékot friss polimerrel keverve közvetlenül is tud új szőnyegfonalat gyártani.

A gépkocsik szétszerelésekor is keletkezik PA hulladék (radiátorelemek, ülések anyaga). Ebből új autóalkatrészeket, pl. üléseket, szellőzőelemeket, rácsokat fröccsöntenek.

## Kevert műanyag hulladék

A kevert műanyag hulladék feldolgozása a legnehezebben megoldható feladat, ami azonban nagyon fontos volna, mert általa el lehetne kerülni a körülményes fajta szerinti visszagyűjtést vagy a költséges kézi, ill. gépi szétválogatást.

A kevert hulladékból gyártott termékeknek gyengék a mechanikai tulajdonságai, mert a hulladékban egymás mellett található PE, PP, PS, PVC, PET stb. összeférhetetlen, és egymáshoz rosszul tapadó sokfázisú rendszert képez. A hulladékban előforduló más szennyezések (papír, fém, festékek) tovább rontják a mechanikai tulajdonságokat. Az 1. táblázat mutatja, hogy hogyan viszonyulnak egymáshoz a tiszta polimerek (PE-HD, PET, PVC) és ezek keverékének tulajdonságai.

1. táblázat

A PE-HD, a PET és a PVC, ill. ezek keverékének mechanikai tulajdonságai

Polimer	Modulus, GPa	Szakítószilárdság, MPa	Szakadási nyúlás, %	Ütésállóság, J/m
PE-HD	1–2	22–24	600–700	750–800
PET	12–14	33–36	350–450	40–50
PVC	13–16	6–8	30–40	60–90
Keverék	5–6	4–4,5	1,5–2	20–22

A kevert polimer feldolgozásakor alapvető szempont, hogy az minél alacsonyabb hőmérsékleten és minél rövidebb idő alatt legyen elvégezhető, hogy elkerüljék az egyes alkotók degradálódását. Emiatt egyes műanyagok, pl. a PET nem ömlik meg, hanem töltőanyagként lesz jelen a rendszerben. Az feldolgozás nem lehet költséges. Csak olyan terméket érdemes kevert hulladékból gyártani, amellyel szemben nincsenek sem nagyobb mechanikai, sem esztétikai igények. Ilyenek lehetnek az extrudált félkész termékek –

profilok és lemezek – amelyek hidegen megmunkálhatók és tovább alakíthatók. Jellegzetes alkalmazási területük a rakodólapok és az utcai bútorok. Egy hulladékfeldolgozó többrétegű cső belső rétegét készíti kevert hulladékból.

(Pál Károlyné)

La Mantia, F. P.: Applicability and applications of recycled plastics. = Macplas International, 2001. 3. sz. aug. p. 51–56.

Recycling auf dem Vormarsch. Neue Anlagen mit breitem Einsatzspektrum. = Kunststoffe, 91. k. 9. sz. 2001. p. 94.

## HÍREK

### Az újrafeldolgozott műanyagok ára 2001 közepén

2001 második negyedévében nem változott az újrafeldolgozott PET, PP és PVC ára. A PE-HD ára egyáltalán nem, vagy csak kismértékben, 0,11 USD/kg-mal emelkedett, míg a PS reciklátum ára 0,22–0,24 USD/kg-mal csökkent. Feltételezhető volt, hogy a lassuló gazdaság és az olajár növekedése erősebben hat az újrafeldolgozott műanyagok árára is, de ez nem következett be, ami a bőséges piaci kínálattal magyarázható. A júniusi árakat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

#### A hulladékból visszanyert műanyagok ára

Hulladéktípus	Granulátum, USD/kg	Pehely, USD/kg
<b>PET palack, tiszta</b>		
fogyasztói hulladék, üvegtiszta	1,02–1,15	0,84–0,93
fogyasztói hulladék, zöld	0,88–0,97	0,75–0,84
<b>PE-HD, tiszta</b>		
fogyasztói hulladék, natur	0,81–0,93	0,53
kevert színes	0,64–0,75	0,42–0,51
<b>Polisztirol</b>		
fogyasztói hulladék		
<i>ütésálló</i>		
fekete	0,77–0,82	0,62–0,66
natur	0,75–0,79	–
<i>általános</i>		
fekete	0,55–0,60	0,24–0,31

natur	0,75–0,79	0,49–0,55
<b>Polipropilén</b>		
ipari hulladék	0,46–0,51	0,33–0,38
fogyasztói hulladék	0,46–0,51	–
<b>Polietilénfólia</b>		
fogyasztói hulladék		
nyújtható (stretch)	0,62	–
nyomtatott/kevert	0,29	–
ipari hulladék		
nyomtatott	0,44	–
nem nyomtatott	0,53	–
<b>PVC</b>		
ipari hulladék		
lágú	0,70–0,88	–
kemény	1,01–1,45	–

Azt várták, hogy május elején emelkedik a hulladékból visszanyert PET (R-PET) ára is, mivel a friss PET is drágább lett. A várakozások nem teljesültek, mert elegendő hulladék állt rendelkezésre, és a kínaiak is csökkentették a másodlagos alapanyag vásárlását. Egyes hírek szerint új poliészterüzemeket építettek, amelyek termékei versenyre keltek a visszadolgozott poliészterszállakkal. A gyapottermés is jónak ígérkezik és kiszorítja egyes területeken a poliésztereket.

Az újrafeldolgozott PE-HD ára az utóbbi 3 hónapban típustól függően kicsit emelkedett, de mostanra stabilizálódott. Néhány vállalat kilépett az újrafeldolgozó iparból, ezzel a többieket többletbevételhez jutatta.

Az elmúlt negyedévi drasztikus áresés után néhány vevő nagyobb mennyiséget raktározott el „reciklált” polisztirolból (R-PS). Friss PS-ből jelenleg is széles választék található a piacon, amelynek ára a hulladékkal párhuzamosan tovább csökken. R-PS-t a legnagyobb mennyiségben a kertészetek igényelnek, de itt is telített a piac, és mindez további árcsökkenést von maga után.

*(Plastics Technology, 47.k. 6. sz. 2001. p. 71.)*

## Hulladékból készült élelmiszeripari PET-palack

Először készült eldobható PET vizespalack kizárólag hulladékból. A Lucas County cég (Ohio) „Get Green” programja 400 E USD állami támogatást kapott, hogy elterjessze a palackokat az iskolákban és a közösségi rendezvényeken. A palackgyártás technológiáját a Plastics Technologies Inc. (PTI, Holland, Ohio) laboratóriumában dolgozták ki.

A hulladékot szabadalmaztatott eljárással tisztítják meg. A kereskedelmi PET pelyhet tovább aprítják, hogy minél kedvezőbb legyen a felület/térfogat

aránya, és a lehető legnagyobb felületen legyen képes az anyag leadni a szennyezést az alkalmazott magas hőmérsékleten és vákuumban.

A „reciklált” R-PET 1999-ben kapta meg a FDA engedélyét élelmiszeripari felhasználásra. Ez volt az első eset, hogy lakossági hulladékból készült termék elnyerte ezt a besorolást.

A PTI az R-PET két típusát forgalmazza, az egyik pehely, a másik granulátum formájú. A PTI/Phoenix eljárást Ausztráliában is szabadalmaztatták, ahol Coca-Colás palackokat készítenek R-PET-ből.

*(Plastics Technology, 47. k. 7. sz. 2001. p. 70.)*