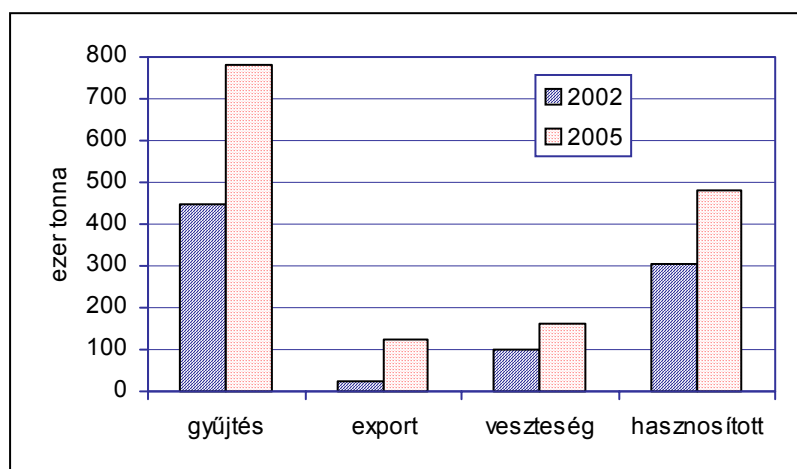


## Műszaki fejlesztések a PET újrahasznosításához

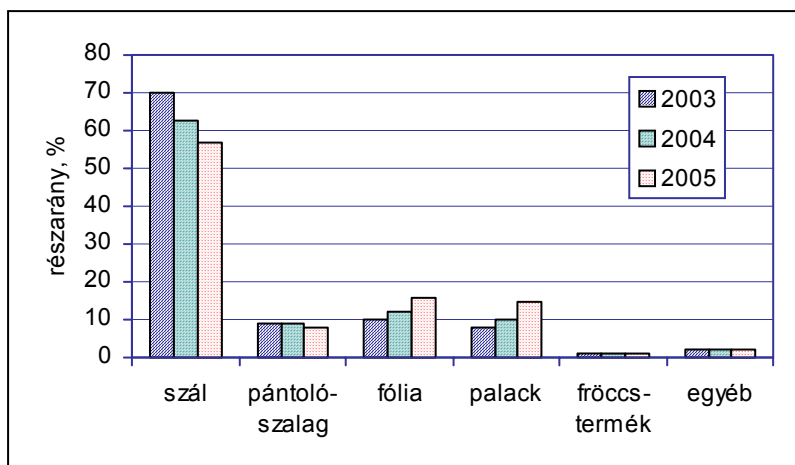
Európában egyre nő a PET-palackok felhasználása, de egyre nagyobb hányadukat gyűjtik össze anyaguk ismételt felhasználására. Jelenleg változatlanul elsősorban szálát, abból hőszigetelő paplant gyártanak, de nő az igény a PET hulladékot is tartalmazó síkfóliára, és erős a törekvés arra, hogy a használt palackokból újra palackokat gyártsanak. Az utóbbi csak akkor valósítható meg, ha nagyon jó hatásokkal távolítják el a hulladékból a szennyeződést. Erre egészen új eljárást fejlesztettek ki.

*Tárgyszavak: hulladékhasznosítás; PET; palack; hőszigetelés; hangszigetelés; síkfólia; gyártóberendezés; palackgyártás; szupertisztítás.*

A poli(etilén-tereftalát) (PET) palackok felhasználásának növekedése az italok forgalmazásában töretlen; Európában ezeket használat után egyre nagyobb arányban sikerül visszagyűjteni és anyagukat újrahasznosítani. 2005-ban ez a forgalmazott palackok 34,6%-a, 2006-ban 36,8%-a volt. *Előrejelzések szerint 2011-ben 1,5 millió tonna PET-et nyernek majd a palackok anyagából.* A visszagyűjtésben a szelektív hulladékkezelésnek köszönhetően Németország jár az élen (28%), a második Franciaország (16%), ezt Olaszország követi (13%). *Évről-évre 7,4%-kal csökken az Európán kívüli országokba szállított PET-hulladék mennyisége.* Az 1. ábra a 2002-ben és a 2005-ben összegyűjtött, exportált, újrafeldolgozás közben elveszett és újrahasznosított PET mennyiségét mutatja. A palackokból előállított másodlagos alapanyag (reciklátum, PET-R) felhasználási területek szerinti megoszlása Európában 2003–2005 között a 2. ábrán látható.



1. ábra  
Az Európában visszagyűjtött PET palackok tömege, az ebből exportált, újrafeldolgozás közben elveszett, ill. hasznosított mennyiség 2002-ben és 2005-ben



2. ábra  
Az Európában PET palackokból visszanyert reciklátum felhasználásának megoszlása a különböző alkalmazási területek között 2003–2005-ben

Az újrahasznosítás érdekében az összegyűjtött palackokat először ún. pehelyé őrlik, majd alapos mosásnak vetik alá, eközben eltávolítják a címkék, a zárókupakok, az ital- vagy ételyomok és más szennyeződések maradványát. Az így megtisztított pehely alkalmas arra, hogy élelmiszerrel közvetlenül nem érintkező terméket (szálat, szalagot, fóliát stb.) gyártsanak belőle. Egyre inkább törekszenek arra is, hogy a palackok anyagából ismét palackot készítsenek. Ilyenkor el kell távolítani a többnyire üdítőitalokat tartalmazó palackok anyagából a benne esetleg még meglévő aromaanyagokat is.

## Hő- és hangszigetelő paplan PET-R-ből

A használt PET palackok anyagának legnagyobb részéből szálakat készítenek, amint az a 2. ábrán látható. Ezeket a szálakat elsősorban a ruházati ipar használja fel téli és sportöltözetek hőszigetelésére. Újabban épületek hő- és hangszigeteléséhez alkalmas paplanokat is gyártanak belőle. Erről egy olaszországi adatbank, az „ökodizájn” **Matrec** ([www.matrec.it](http://www.matrec.it)) tudósít, amelyet olasz kutatóintézetek és iparvállalatok hoztak létre abból a célból, hogy elősegítsék a hulladékból visszanyert másodlagos alapanyagok széles körű és szakszerű felhasználását.

Az *Edilfiber* nevű hőszigetelő paplant az **ORV Manufacturing** cég gyártja, 80%-ban lakossági hulladékból elkülönített PET palackokból. A szálak közötti kötéseket termomechanikus eljárással hozzák létre. A zöld színű, meleg és puha tapintású szálpaplanok nagyon jó a hő- és hangszigetelő képessége, és bármilyen épület külső vagy belső oldalán is alkalmazható. Ezzel az anyaggal hangszigetelték a római Music Auditórium helyiségeit. Lakóépületekben a szellőzők, elszívók, hűtőgépek, klímaberendezések zajának csökkentésére is bevált. A paplanok hosszú ideig megőrzik mechanikai és szigetelőképességüket; anyaguk újra feldolgozható; nem tartalmaznak ragasztót, adalékot, mérgező komponenseket; könnyen kezelhetők. Tekercsben vagy 600x1200 mm-es lemezek formájában, 10–100 mm-es vastagságban kaphatók. A tekercsben forgalmazott paplanok sűrűsége 10–12 kg/m<sup>3</sup>, a lemezeké 20, 30 vagy 40 kg/m<sup>3</sup> lehet.

## Síkfólia a palackok anyagából

Nem csak italokat, hanem pasztaszerű vagy szilárd élelmiszereket is egyre gyakrabban csomagolnak PET-ből készített edényekbe. Az utóbbiakhoz szívesen alkalmaznak PET fóliát, amelyet ún. FFS (form-fill-seal) gépsorokon dolgoznak fel, azaz egyetlen munkamenetben alakítják ki hőformázással az edényt, töltik meg azt az élelmiszerral, majd zárják le ráhegesztett fedőlappal. A fóliagyártók az utóbbi években szívesen adagolnak hulladékból visszanyert PET-R-t friss PET-A granulátumhoz, mert ezáltal csökkentik a gyártási költségeket. Hozzájárult a másodlagos alapanyagok nagyobb mértékű felhasználásához ezek könnyebb hozzáférhetősége és a tulajdonságok szavatolása (1. táblázat). A gépgyártók fejlesztéseikkel ugyancsak igyekeznek segíteni a másodlagos alapanyagok felhasználását. Síkfóliák gyártásához fejlesztett ki közösen új gyártósort a **Brückner Formtec GmbH (BFT)** és a **Kreyenborg GmbH**. Az előbbi a PET-A előzetes szárítás nélküli feldolgozásában volt járatos; az utóbbi az ömledék útjának legcélszerűbb kialakításában és az ömledékszűrésben rendelkezett hasznos tapasztalatokkal.

1. táblázat

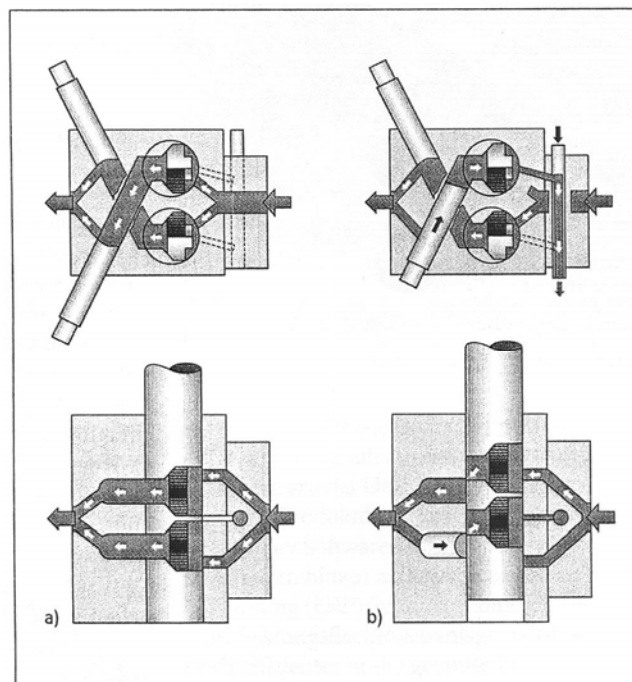
PET-R palackörlemények és friss PET-A granulátum szavatolt jellemzői

Alapanyag jellege	Egység	Palackörlemény szálak közvetlen extrudálásához	Palackörlemény síkfólia közvetlen extrudálásához	PET-A granulátum síkfólia közvetlen extrudálásához
Fizikai jelleg	–	1–20 mm-es pehely, amorf	1–20 mm-es pehely, amorf	2,5 mm-es granulátum; amorf vagy kristályos
Eredet	–	használt palack	használt palack	friss polimer
Feldolgozási arány	%	0–100	0–100	0–100
Belső viszkozitás ( $\eta$ )	dl/g	0,7–0,9	0,7–0,9	0,75–0,81
Rázótömeg	kg/dm <sup>3</sup>	0,25–0,5	0,25–0,5	0,75–0,85
Maradék nedvesség szárítás nélkül	ppm	3000-5000	3000-5000	<3000
Por részaránya	%	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 1$
Szennyezés				
PE, PP	%	$\leq 6$	$\leq 6$	–
PVC	ppm	$\leq 300$	$\leq 10$	–
fém	ppm	$\leq 100$	$\leq 20$	–
papír	ppm	$\leq 100$	$\leq 10$	–
más polimer	ppm	$\leq 50$	$\leq 50$	–
ragasztó	ppm	$\leq 20$	$\leq 20$	–

A közösen elkészített gyártósor két kétcsigás extrudert tartalmaz. Mindkét extruderbe gravimetriás adagoló táplálja be a polimert. A 2000 kg/h teljesítményű változatban az egyik extruder 105 mm, a másik 60 mm átmérőjű csigát tartalmaz; a 3000 kg/h teljesítményű 120, ill. 75 mm-eset. Az L/D arány mindkét esetben 34.

Mindkét extruderben egymástól független, modulszerűen felépített kétlépcsős vákuumrendszer van levegőszűrővel és levegőhűtéssel. Az elszívás ezért mind a fő, mind pedig a mellékextruderben (koextruderben) külön-külön állítható be. A modulokból felépített rendszer lehetővé teszi, hogy több egység párhuzamos összekapcsolásával tetszőleges mértékű elszívást létesítsenek.

A gyártósor újdonsága a szabadalommal védett *K-SWE-4K-V-RS* szűrőrendszer (3. ábra), amelynek alkalmazásával erősen szennyezett ömledéket is jó hatásfokkal és csekély nyomásváltozás mellett lehet megszűrni. A kihordóegység részei: egy szivattyúvédő szűrő és az ehhez kapcsolódó, megfelelő nyomásról gondoskodó szivattyú; egy visszaöblíthető szűrő, utána csatolt finomszűrővel; továbbá egy második ömledékszivattyú, amely a fonószivattyú szerepét tölti be. A két szivattyú együttesen része a szabályozórendszernek, és ezek határozzák meg a szűrés határértékeit és biztosítják a fűvókán áthaladó konstans ömledékáramot. Az ömledéket négy szűrőhelyen hajtják át. A szűrő visszaöblítéssel való tisztításához egy leválasztott ömledékáramot használnak fel. Az ömledékáram a szűrőegységen belül négy csatornában oszlik el, és ezekben hatol át a szűrőkön, amelyek a haladási irányra merőleges dugattyúkba vannak beépítve. A szűrőn áthaladva a részáramok ismét egyesülnek.



3. ábra A K-SWE-4K-V/RS szűrőcserélő rendszer vázlatos működési elve  
(a: folyamatos ömledékáramlás; b: szűrőtisztítás visszaöblítéssel)

Ha a szűrőn már sok szennyeződés fennakadt, megnövekszik a szűrő előtt a nyomás. Egy előre meghatározott határérték túllépésekor megindul a visszaöblítés. Ilyenkor a dugattyú előre hatol, az addig nyugalomban lévő vésőszerű szerszámot egy hidraulika beállított sebességgel végigvezeti a szűrő külső oldalán, leválasztja a kiszűrt „pogácsát” és lelöki az ún. öblítőcsatornába, amelyen keresztül az kiesik a gépből. A szabályozórendszer gondoskodik arról, hogy eközben az ömledékáram haladása a fűvóka felé zavartalan legyen. A szűrőtisztítás után a dugattyú és a tisztítószerszám visszaáll az eredeti helyére.

A megszűrt ömledék a T-alakú szerszámnyíláson keresztül áramlik ki az extruderből. Szélességét (ezáltal a fólia szélességét) betéttel lehet szabályozni, magasságát (a fólia vastagságát és annak egyenletességét) egy szabályozó algoritmus automatikusan optimálja.

A fólia az extruderből kilépve három vízszintes hengerből álló simítóművön halad át. A nagyon vékony fólia egyenletes nyomásáról, a hengerek közötti „vonalerő” egyenletességéről a hengerek „púposságát” szabályozó és a **Brückner** cég által ugyancsak szabadalmaztatott *JuBo technológia* gondoskodik. Ennek lényege, hogy a hengerek palástja alatt elhelyezett, vízzel temperált olaj egyenlíti ki a hengerpár közötti nyomást. A fólia vastagságának mérését a folyamatvezérlő és -ellenőrző rendszer maga végzi, a megrendelő kívánságának megfelelően radioaktív sugárzáson vagy kapacitás, ill. induktív mérésen alapuló mérőeszközzel.

A simítómű és a tekerceselő közé beiktatott lehúzószerkezet függetleníti egymástól a két műveletet, ezáltal azok nem zavarják egymást.

## Palackból palack

A valódi újrahasznosítás az volna, ha a PET palackok anyagából újra PET palackokat gyártanának. Ez műszakilag ma már lehetséges, többféle eljárást is kifejlesztettek erre a célra. Egy *európai nonprofit szervezet*, a **Petcore (PET Container Recycling Europe)** tevékenysége nyomán *Európában a visszagyűjtött PET palackok 15%-ából készül ismét palack.*

### *A szupertisztítás*

A hulladékból készített és mosással megtisztított PET pehely nem alkalmas élelmiszerrel közvetlenül érintkező edények, és különösen italok csomagolására szánt palackok gyártására, azt további, ún. „szupertisztító” eljárásoknak (*Super-Clean process*) kell alávetni, amelyekben hőkezelést, inert gázos műveleteket, vákuumos beavatkozást is alkalmaznak, és amelyek meglehetősen időigényesek. Magas hőmérsékleten a szennyezőanyagok felszabadulnak, elbomlanak, elpárolognak; a PET reciklátum idegenanyag-tartalma a friss granulátum koncentrációjára csökken. Ehhez Európában és az USA-ban ipari méretekben is kifejlesztett többféle módszer áll rendelkezésre. Létezik egy olyan eljárás is, amelyben a polimert kémiai eljárással monomerjeire bontják,

majd ezekből ismét polimert gyártanak; ezt az eljárást azonban kedvezőtlen energiameérlege miatt ipari méretben eddig nem alkalmazták.

A „szupertisztítás” hatásfokát laboratóriumi körülmények között, migrációra képes anyagokkal mesterségesen szennyezett PET pehellyel vizsgálták (challenge-test, megfelelési próba). A tisztítás hatásfokát a stabil, könnyen migráló és jól kimutatható vegyületek szupertisztítás előtti és utáni koncentrációjának különbségével jellemezték.

A visszagyűjtött palackokban visszamaradó idegen anyagok koncentrációja több tényezőtől függ. A visszaváltható (többször felhasznált) palackokban pl. több volt az aromaanyag, mint az eldobható (egyszer használt) palackokban. Az előbbieken kevesebb volt a „nem jellemző” idegen anyag, mint az utóbbiakban. Ez arra figyelmeztet, hogy a szupertisztítás módját össze kell hangolni a palackok típusával és eredetével.

A megtisztított modellanyagokban visszamaradt szennyeződés koncentrációjának ismeretében azt is vizsgálták, hogy ennek mekkora hányada képes az élelmiszerbe migrálni. Ha ez 10 ppb alatt volt, az eljárást biztonságosnak ítélték.

### *A Flake-to-Resin eljárás*

Valamennyi eddigi szupertisztítási eljárást a friss granulátum figyelembevétele nélkül fejlesztették ki. A regranulátumot is alkalmazó korábbi eljárásokban ugyanis a friss és a visszanyert anyagot csak közvetlenül az előforma gyártása előtt keverték össze. Egy új eljárásban azonban a szokásosan – tehát csak mosással – megtisztított pelyhet már korábban bevezetik a PET-A granulátum gyártási folyamatába. Az **Uhde Inventa-Fischer GmbH** (Berlin) *Flake-to-Resin (FTR, pelyhet a gyantához)* eljárása az ún. *Melt-to-Resin (MTR, ömledéket a gyantához)* technikán alapul, és ez lehetővé teszi, hogy egyetlen lépésben kapjanak PET előpolimerből ömledékkondenzáció révén PET granulátumot vagy gyártsanak előformát palackfűváshoz. A belső viszkozitásnak a PET polimerizációja során fellépő növekedése, a magas hőmérséklet, az ömledék gáztalanítása nyomán a reakcióelegyhez adott pehely szennyeződései elbomlanak és eltávoznak.

Az eljárásban speciális reaktorba tereftálsavat és monoetilénglikot adagolnak, amelyek az ún. 2R-folyamatban PET prepolimert alkotnak. Egy másik gyártósorban kétszágás extruderben megömlesztik a hulladékból visszanyert PET pelyhet, és etilénglikol hozzáadásával részlegesen depolimerizálják. Amikor a depolimerizáció szintje elérte a prepolimer polimerizációs szintjét, egyesítik a két anyagáramot és egy polimerizáció céljára optimalizált reaktorba vezetik. A növekedő belső viszkozitású reakcióelegy melléktermékeit (acetaldehid, etilénglikol, továbbá a pehelyből képződő szennyeződések bomlástermékei) elszívják. A reaktorból kijövő gyantát granulálják vagy előformát fröccsöntenek belőle. Az ömledékhez még a reaktorban adalékokat vagy színezéket keverhetnek.

Modellanyagokon a *challenge-teszt*tel vizsgálták az eljárás előtt mesterségesen szennyezett 15, 25 vagy 50% pehely okozta szennyeződést a polimerizációs reakció végén. Szennyezőanyagként az USA-ban és Európában is a hulladékhasznosítás tisztítási eljárásának hatásfok-ellenőrzéséhez ajánlott vegyszereket: toluolt, kloroformot,

klór-benzolt, szalicilsav-metilésztert, fenil-ciklohexánt, benzofenont és hexaklór-ciklohexánt (Lindan márkanevű rovarölő szert) használtak. A tisztulás hatásfoka valamennyi kísérletben 99,9%-nál jobb volt akkor is, ha a modellanyagban a szennyeződés koncentrációja meghaladta a 1000 ppm-et; a reaktorból kijövő PET granulátumban az analitikai kimutathatósági határérték (anyagtól függően 0,2–0,1 ppm) alatt volt. A szalicilsav-metilésztert már a polimerizációs reaktorban sem lehetett kimutatni, ami nem dekontaminálódás, hanem a polimerömléddel végbement átésztereződés eredménye, és arra utal, hogy ez a vegyület a tisztítási folyamat hatásfokának ellenőrzésére nem alkalmas, és arra, hogy a challenge-tesztet mindig össze kell hangolni az éppen aktuális hasznosítási eljárással.

Az FTR eljárásról viszont bebizonyosodott, hogy gyors, gazdaságos és megbízható. Engedélyeztetése az USA élelmiszer és gyógyszerügyi hivatalánál, a FDA-nál folyamatban van.

Összeállította: Pál Károlyné

Record levels. = Macplas International, 4. szám, 2007. nov. p. 15.

Jebsen, U.; Wöstmann, S.: PET-Folien mit hohem Rezyklatanteil. = Kunststoffe, 97. k. 4. sz. 2007. p. 90–93.

Recycled on display. Materials included in Matrec ecodesign database. = Macplas International, 4. sz. 2007. nov. p. 15.

Welle, F.: Reinigen bis zum Neuwareniveau. = Kunststoffe, 97. k. 5. sz. 2007. p. 82–85.

## Röviden...

### **Poliolefin szigetelőhab építőipari felhasználásra**

Egy Svájcban működő, japán tulajdonú cég, az **Sekisui Alveo AG** (Luzern) az építőipar számára kínál egy közelebbről meg nem nevezett poliolefin alapanyagú szigetelőhabot az erre a célra szokásos PUR vagy PVC habok helyett. Az *Alveo-Soft*-nak elnevezett új hab sokkal lágyabb versenytársainál, az ajtók, ablakok és más rések szigetelésére használt szokásos szalagoknál sokkal jobban követi az akár szabálytalan formájú felületet, és már kis nyomás mellett is sokkal kevesebb levegőt enged át. A hab szendvicsszerkezetű homlokzati elemekben, pl. hullámlemezek között is jó hőszigetelőnek bizonyult.

A cég ragasztós habszalagok céljára ultra vékony habot gyárt *Alveolit UTF* néven. Ezek a ragasztószalagok a *fóliás ragasztószalagokat helyettesíthetik*. A habra kevesebb ragasztót kell felvinni, mert az jobban követi a ragasztandó felület alakját. Alkalmazható gépkocsik külső visszapillantó tükrének felerősítésére, emblémák durva felületre ragasztásához, bútorok díszítő elemeinek felerősítéséhez, villamos vezetékek rögzítéséhez.

P. K-né

Anpassungsfähige Energiesparer. Polyolefin-Schaumstoffe. = Kunststoffe, 98. k. 2. sz. 2008. p. 55.