

## Biopolimerek: eljött az idejük?

A magas kőolajárak és a környezettudatos társadalmi elvárások világszerte törvényi szabályozásokat váltottak ki, aminek következtében fellendült a megújuló természetes alapanyagokkal kapcsolatos K+F tevékenység, egyre több gyártó jelenik meg biológiailag lebomló műanyag alapanyaggal és termékkel. Egyes vélemények szerint a műanyagipar jelentős mértékben új nyersanyagforrásokhoz juthat. A szakirodalom is gyakran foglalkozik a témával, amelyből az alábbiakban adunk válogatást. A biopolimerek hazai felhasználását is vizsgáljuk.

*Tárgyszavak: biopolimerek; bioműanyagok; degradáció; környezetvédelem; csomagolástechnika; termékdíj.*

*Az égbeszökő energiaárak a biopolimerek fejlesztését és alkalmazását meg fogják gyorsítani, ezt jósolják a műanyagipari trendeket vizsgáló szakértők. Az USA Energiaügyi Minisztériuma szerint 2030-ban a vegyipari termeléshez szükséges alapanyagok 25%-a a mezőgazdaságból származik majd. Ennek eléréséhez azonban a természetes alapanyagokon nyugvó termékek, s így a biopolimerek kínálatának is jelentősen kellene bővülnie, az átlagos feldolgozók számára kereskedelmileg könnyen elérhető választékot kínálva. A másik fontos tényező a biopolimerek ára, amelynek csökkennie kell ahhoz, hogy a felhasználás gyorsabban növekedjen.*

### A biológiai úton lebomló polimerek típusai

*Biológiai úton lebomló polimerek (biopolimerek) előállíthatók fosszilis alapanyagból és megújuló nyersanyagból is. Az első csoportban általában a már ismert polimerek adalékolásával érik el a degradációt, míg az utóbbiaknál a szerkezeti felépítésből adódóan következik be a teljes lebomlás, vízre, szén-dioxidra és humuszra. A műanyagok szabályozott lebomlására az ASTM D 6954 szabvány („Természetes környezetben oxidáció és biodegradáció révén lebomló műanyagok vizsgálata”) az irányadó.*

A biopolimerek versenyképességéhez – bármelyik forrásból is állítják elő azokat – az alábbi feltételek szükségesek:

- a biopolimerekből előállított késztermékek minőségi, fizikai-mechanikai jellemzői hasonlóak legyenek a hagyományos műanyagtermékekéhez,
- feldolgozásuk (fóliafűvés, fröccsöntés stb.) megoldható legyen a hagyományos műanyag-feldolgozó berendezéseken,

- áruk a hagyományos, nem lebomló műanyagokkal összehasonlítva versenyképes legyen,
- a csomagolóanyagokra vonatkozó licenrdíjából kedvezményt kapjanak illetve, fejlesztésüket ezekből a pénzekből támogassák,
- felhasználási területeiket folyamatosan bővítsék, egyes különleges tulajdonságaik (pl. a rétegelhetőség) javításával.

## A biopolimerek piaci helyzete, prognózisok

A biopolimerek világpiacát legutóbb a **Business Communication Co., Inc.** (USA) mérte fel. Eszerint a biopolimerek piacát alkalmazási területekre bontva az 1. táblázat adatai jellemzik.

1. táblázat

Biopolimerek felhasználása alkalmazási területek szerint 2000–2010 között,  
ezer tonna

Terület/Év	2000	2005	2010	Éves növekedés, %
Csomagolás*	15	24	38	9,4
Zsákok	11	22	43	14,6
Egyéb**	2	6	13	16,6
<b>Összesen</b>	<b>28</b>	<b>52</b>	<b>94</b>	<b>12,6</b>

Megjegyzés: \* kétharmada párnázóanyag; \*\* orvosi, higiéniai, mezőgazdasági termékek, papírbevonó anyagok stb.

Európában és Japánban a biopolimerek alkalmazása gyorsabban nő, mint az Egyesült Államokban. Ennek oka, hogy az USA-ban a szemétklerakás költségei még viszonylag alacsonyak, és a törvények sem olyan szigorúak, mint Európában és Japánban.

Más piackutató cégek a fenti prognózisnál jóval merészebb jövőt jósolnak a biopolimereknek. Szerintük az *EU országokban 2010-ben várhatóan 1,2 millió tonna biopolimert fognak használni*. A bioműanyagok 30–40%-át csomagolóanyagként alkalmazzák majd, és több mint 60%-uk növényi eredetű lesz. Az előrejelzések szerint 2020-ig a piac az EU-ban 3–6 millió tonnára bővül, miközben a növényi alapanyagok részesedése 70–80%-ra növekszik.

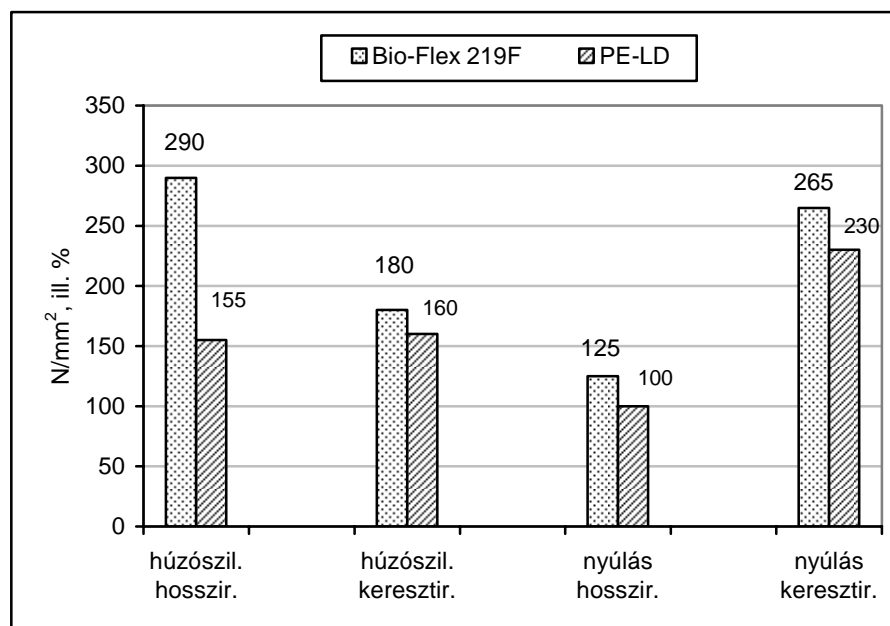
## Gyártók, termékek

A világ vezető biopolimer-gyártói: a **NatureWorks** (USA), a **Novamont** (Olaszország), a **BASF** (Németország) és a **Rodenburg-Biopolymers** (Hollandia). Japánban sok gyártó van, egyenként kis kapacitással.

2005-ben biológiai úton lebontható műanyag granulátum ipari gyártása indult meg a **Dresdner BIOP Biopolymer Technologies AG** telephelyén, Schwarzheidében. Németországban ez az első gyártósor, ahol „*Biopar*” granulátum készül. A speciális granulátum előállítás technológiáját szabadalom védi. *Alapanyagként elsősorban növényi eredetű anyagokat, pl. burgonyakeményítőt használnak.* A granulátumból biológiai úton 100%-ban lebomló csomagolófólia, hordtáska, szemeteszsák, agrofólia, virágtartó, kötözőzsineg stb. állítható elő. Az új, 10 000 tonna évi kapacitású üzembe a **BIOP** kb 7 millió EUR-t ruházott be és 34 munkahelyet hozott létre.

A **BASF** biodegradábilis műanyagterméke az *Ecoflex*, amelyhez a schwarzheidei *Biopar* granulátumot is használják. Az *Ecoflex* egy kopoliészter, amelyet más polimerekkel társítva dolgoznak fel késztermékekké.

Az **FKuR Kunststoffe GmbH** (1992-ben reciklás céljából alapított vállalat, 2000-től foglalkozik biopolimerekkel) a **Fraunhofer Intézzettel** együttműködve polilaktid (PLA)/kopoliészter keverékeket (*Bio-Flex 219F*) fejlesztett ki, amelyekből hagyományos fóliafűvások technológiával a PE-LD-hez hasonló tulajdonságú fóliákat állítottak elő (1. ábra). Az összeférhetőség növelésére egy speciális kapcsolóanyagot alkalmaznak. Ez lehetővé teszi a PLA komponensnek az eddigieknél nagyobb arányú bekeverését és szervesen töltőanyagok adagolását. *Egy 110 µm vastagságú fólia a komposztban 12 hét után 90%-ban degradálódik a DIN EN 13432 szerint.*



1. ábra. Bio-Flex és PE-LD fólia mechanikai tulajdonságainak összehasonlítása

A *Bio-Flex 219F* családot elsősorban bevásárlótasakok és különböző célú mezőgazdasági fóliák előállításához, valamint tálcák laminálásához ajánlják. Típusai közül

a *Grade 466F* (több mint 20% PLA tartalmú) és a *Grade 467F* (több mint 30% PLA tartalmú) a bevásárlótasakokhoz, a *Grade 482F* (több mint 70% PLA tartalommal) az öntött fóliához alkalmas.

Az **FkuR** cég másik természetes alapú kompaundja módosított cellulózalapú termék, amelynek feldolgozási jellemzői és mechanikai tulajdonságai hasonlóak a polisztiroléhoz. A fehér, természetes töltőanyagokat és speciális növényi olajat tartalmazó, a szokásos gépeken fröccsönthető *Biograde 300A* élelmiszeripari alkalmazásra ajánlott. A *Biograde 500A* hőformázható típusból élelmiszeripari csomagolások készíthetők. A *Biograde 200C* egy töltetlen cellulózalapú keverék, amely öntött fólia, fröccstermék előállítására alkalmas, de felhasználható fúváshoz (pl. palackfúváshoz) vagy hőformázáshoz is. *A biopolimerek között különleges tulajdonsága, hogy kicsi a gázáteresztő képessége.* A cég termékeinek ára: 2,85–3,70 EUR/kg.

Egy másik német biopolimergyártó *Biomer PHB* [poli(hidroxi-butirát)] és *Biomer PLA* (polilaktid) néven poliészterrel kevert termékeket kínál. *A gyártó szerint az 1,2 mm vastag termék, amely a gyártó adalékával készül, komposztálás során hat hét alatt bomlik le.* A *Biomer PLA* alapú termékből átlátszó gyógyászati diagnosztikai eszközök készülnek fröccsöntéssel. Felhasználják a terméket élelmiszeripari csomagolóanyagként is pl. joghurtos pohár és italos palackok céljára.

A polilaktid-kopoliészter keverék és a cellulózalapú fóliák többnyire megfelelnek a követelményeknek. A fólia- és fröccstermékek után már a biológiailag lebomló öntapadó szalagok fejlesztésénél is mutatkoznak az első eredmények.

A kanadai **Omnoplast** cég az első kanadai vállalat volt, mely környezetbarát tasakot gyártott. A vállalat a *Totally Degradable Plastic Additives (TDPA)* adalékot alkalmazza, amelyet az **EPI Environmental Products Inc.** technológiája biztosít. Az adalék a műanyag oxidációját indítja meg UV-fény, hő vagy nedvesség hatására. A környezeti hatások erősségével a bomlás ideje szabályozható, akár hónapra vagy évre. A bomlás során toxikus termék nem keletkezik.

A **Plastic Suppliers Inc.** (Ohio/Columbus, USA) PS fóliafúvó extruderén – az eljárás módosításával – a világon elsőként gyártott *PLA alapú biopolimer fóliát*. A termék teljesen komposztálható. Az egyrétegű fólia átlátszó, karcálló és ráncmentes. A fóliákat többutas palackok címkézésére és borítékablakok készítésére próbálták ki.

Az ausztráliai **Plantic Technologies** cég egy úgynevezett „gyors” terméket fejlesztett ki. *A kukoricakeményítő-alapú Plantic nevű termék néhány másodperc alatt vízben oldódik.* A termék hőformázható és elsősorban édességek csomagolására készül. Jelenleg még csak Hollandiában és Angliában alkalmazzák, de várhatóan bevezetik Németországban is.

A kínálat–kereslet „tyúk–tojás” vitájában az amerikai **Metabolix** konkrét lépésre határozta el magát, amikor a biopolimerek széles termékpalettájával lépett a piacra. Véleményük szerint a biopolimerek ára még a magas olajárak esetében is csak akkor lesz versenyképes, ha ezek a termékek a kutatás és kísérleti gyártás kezdeti fázisából végre eljutnak a tömegtermelésig. *A biopolimerek gyártásában a NatureWorks LLC (korábban Cargill Dow) rendelkezik a legnagyobb, évi 150 ezer tonna politejsav alapú (PLA) granulátumgyártó kapacitással.* Ez a méret már lehetővé teszi, hogy a fajlagos

gyártási költségek észrevehetően csökkenjenek. Az USA feldolgozói úgy vélik, hogy a biopolimerek tömeges elterjedése az 1 USD/font, azaz kb. 2 USD/kg körüli ár esetén indulna meg. A **Metabolix** stratégiai szövetséget kötött a **British Petroleum** (BP) és egy másik jelentős amerikai céggel, hogy biopolimer-termelését tovább bővítse a versenyképes árak elérése érdekében.

A **SIG Corpoplast GmbH**/Hamburg és a **Husky Injection Molding Systems Ltd.**/Bolton, Kanada valamint a **Nature Works LLC**/Minnesota, USA közösen fejlesztették ki a PLA alapanyagú palack gyártását. A PLA kiindulási anyaga a kukoricakeményítő, amelyet fermentálás, szétválasztás után polimerizálnak polilaktiddá. Ebből a biológiai úton lebomló és komposztálható polimer alapanyagból átlátszó és a PP-hez hasonló tulajdonságú palackot készítettek. A PLA palack a New York-i **Biodegradable Products Institute** (Biodegradable Products Institute) véleménye szerint komposztálható, és 75–80 nap alatt bomlik a szükséges körülmények (50–60 °C, mikroorganizmusok és nedvesség) biztosítása esetén. Ilyen körülmények között a palack vízre, szén-dioxidra és szerves anyagra bomlik, ami megtörténik akár az erdőben is. Ugyanakkor a hagyományosnak számító PET palack bomlása ezer évig is eltarthat. *A PLA palack formálása lényegében a hagyományos eljárással és berendezéssel lehetséges.* A fejlesztés elején a PLA palack drágább volt, mint a PET-palack, de mára a kétféle palack ára nagyon közel van egymáshoz. Jelenleg csendes vizet forgalmaznak a lebomló palackban, de a többrétegű technológiával a záróképesség még növelhető és ezzel az alkalmazási terület kiszélesíthető. Időközben több amerikai cég is megjelent PLA csomagolásokkal: a világhírű **Del Monte Fresh Produce N.A.** „frissen szeletelt” zöldségeket, gyümölcsöket kínál PLA-ból hőformázott átlátszó dobozokban, míg egy másik cég biotej- és joghurtkészítményei számára választotta a PLA csomagolást.

Az eddig elvégzett vizsgálatok szerint a PLA palackok, dobozok a szokásos komposztálási körülmények között 75–80 nap alatt bomlanak le.

A **Treofan-csoport** keményítőből készülő *Biophan* fóliája magas felületi fényével és jó átlátszóságával kiváló csomagolófóliának mutatkozik. A vízgőzátereszítő képessége miatt a becsomagolt termékek (pl. kenyér és péksütemény) frissessége megmarad, de alkalmas zöldségek, gyümölcsök, édességek, sajtok és száraz húskészítmények csomagolására is. Feldolgozható mindenféle csomagolásformázó gépen és töltő-, ill. zárógépen. Perforálható forrón vagy lézerrel, nyomtatható, ragasztható, kasírozható papírral vagy önmagával. Irodai felhasználása is lehetséges akár papírral kombinálva, így a papírral együtt is újrafeldolgozható vagy komposztálható. Ipari komposztálókban 45 nap alatt bomlik. A *Biophan* fóliát borítékok ablakaként a Deutsche Post 2003. decembere óta alkalmazza.

## **Bioműanyagok az érdeklődés fókuszában**

A bioműanyagokkal kapcsolatos fokozott érdeklődést jelezte a 2005-ös *düsseldorfi Interpack kiállításon* a „Bioplastics in Packaging”/„Biopolimerek a csomagolásban” bemutató, ahol több gyártó jelent meg termékeivel: a **Natura Packaging GmbH**/Rheine (Németország) cég növényi alapú élelmiszeripari csomagolóanyagokat

és konfekcionált termékeket, szemeteszsákokat és bevásárlótasakokat, a **Biophan** cég komposztálható PLA-fóliákat állított ki. Ez utóbbi termék kis mennyiségben készült eddig, mert elterjedését akadályozta a magas ár. Bemutatták a kiállításon az **Innovia Film Ltd./Köln** termékeit, a **Natureflex**-fóliákat, amelyeket a Bosch feldolgozógépein alakítják bonbonos csomagolóanyaggá. A termékek cellulózalapúak, és ebből készülnek a ragasztószalagok is. A lebomló fóliát rétegzéssel teszik nedvességállóvá.

*Naro-tech* néven rendezték meg a megújuló növényi alapanyagok kiállítását 2005. szeptember 1–4-ig Erfurtban. Ez alkalommal a biológiai úton lebomló bioműanyagok, és ezek előállítására alkalmas gépek és berendezések voltak a középpontban. A kiállítással egy időben zajlott le az „5. Megújuló alapanyagú termékek” című szimpózium, ahol a szálerősített termékek, keményítő- és szénhidrátalapú termékek, lipid és proteinalapú termékek előállításáról, szerkezetéről és alkalmazásáról hangzottak el előadások.

## **A biológiai úton lebomló csomagolások helyzete Európában**

Az utóbbi három évben a biológiailag lebomló csomagolások piaci bevezetése látványosan bővült. Erre Európában a szupermarketekben, különösen Franciaországban, Nagy-Britanniában, Olaszországban és Hollandiában került sor, ahol a vezető kereskedelmi láncokban tesztelték ezeket a termékeket friss gyümölcs és zöldség vagy higiénias termékek csomagolására.

Európában 2003-ban 40 ezer tonnára becsülték a biolebomló csomagolások felhasználását, ez a 2001-es évinek a duplája volt. A komposztálható csomagolóanyagok mindenütt a szupermarketekben találhatók.

*Németországban a komposztálható anyagok korábban nem kapták meg a törvényi támogatást, de 2005. májusától a megújított csomagolási jogszabály a minősített, ún. újratermelődő/megújuló alapanyagú, komposztálható csomagolásokra felmentést adott a termékdíjból a piacbevezetési időszakra, egészen 2012-ig. A lebomló csomagolóanyagok megkapták a „zöld pont” tanúsítványt, ezáltal megszűnt a csomagolóanyagok újrahasznosítására kivetett illeték, és ez a bioműanyagokból készülő csomagolóanyagok árát akár 1 EUR/kg-mal csökkentheti.*

Németországban a Fogyasztóvédelmi és a Mezőgazdasági Minisztérium a kutatás-fejlesztést és a piacbevezetést 2005-ben 54 millió EUR összeggel támogatta, és ezt várhatóan a következő években meg fogja duplázni. A biológiai úton történő hulladékkezelés körülményei alá kerülő, biológiailag lebomló komposztálható termékek szigorú minőségi követelményekkel kerülnek szembe. Ez három elemet tartalmaz:

- DIN EN 13432/ASTM D 6400 ill. 6868,
- tanúsítvány,
- ismérvek (kritériumok).

Ezekkel biztosítható, hogy a termék valójában komposztálható. A komposztálhatóság vizsgálata céljából Németországban bevezettek egy szabványt (DIN V 54900), azzal a céllal, hogy a biológiailag lebomló anyagok (BAW – biologisch abbaubare Werkstoffe) komposztálhatósága előírt feltételek mellett vizsgálható legyen. A tanúsi-

tott termékek használhatják a komposztálhatóság jelzést, ezzel megkülönböztetve magukat a hagyományos műanyagoktól. Az **IBAW** által kialakított jelzés nemzetközi szinten védett, és azt a **DIN Certo Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH** ítéli oda a kérelmezőnek.

## **A biológiai úton lebomló műanyagok hazai helyzete**

A 90-es évek elején az egyik hazai ipari kutatóintézetnél, a SZEVIKI-nél kifejlesztettek és szabadalmaztattak a poliolefinék fény hatására történő lebomlását elősegítő adalékot. Ennek felhasználásával készült a *Sensilene* márkanévű fólia, amelyet sikerrel próbáltak ki a zöldségtermesztésben növény- és talajtakaróként, de a termék piaci bevezetése – elsősorban gazdaságossági okok miatt – már nem sikerült. Azóta jelentősen megváltozott a gazdasági környezet, és az EU-ba való belépésünk után a hulladékokkal kapcsolatos törvényi szabályozás is. Eszerint évente csökkenteni kell a hulladéklerakókba kerülő csomagolási hulladék – köztük a bevásárlótáskák – mennyiségét.

*Az Európai Unió követelményeinek megfelelően 2005. április 6-án érvénybe lépett a biológiai úton lebomló bevásárlótáskákra vonatkozó új környezetbarát pályázati kritériumrendszer.* A pályázók környezetbarát védjegy használatára jogosultak, amennyiben a feltételi rendszernek megfelelnek. A védjegy birtokában ezek a csomagolások részben (jelenleg 25%-ban) felmentést kapnak a csomagolóeszközökre vonatkozó termékdíj (53/2003. IV. 11. Korm. Rendelet) fizetési kötelezettsége alól.

A környezetbarát védjegy használatával kapcsolatos minősítési és egyéb feladatokat a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium 100%-os tulajdonában lévő **Környezetbarát Termék Közhasznú Társaság** koordinálja, azaz kiírja a pályázatokat, megszervezi a szakértői vizsgálatokat és megkötí a védjegyhasználati szerződést. A védjegy, az ún. ökocímke, megkülönböztető jelzésként jelenik meg a terméken, ezzel javítja a gyártók piaci lehetőségeit. Az így minősített termék felirata: „Biológiai úton lebomló és komposztálható termék”.

A **Környezetbarát Kht.** szerint a környezetbarát termékek körébe tartozik a biológiai úton lebomló és komposztálható műanyag bevásárlótáska, amely *természetes nyersanyagforrásból* (cellulózból, textilből vagy természetes polimerből) vagy *lebomló műanyagból* (hagyományos műanyagok adalékkal előidézett bomlása) készül. Míg az első csoportot az EN 13432 szerint vagy az ezzel harmonizáló ASTM D6400-99, vagy a DIN V 54900 szerint minősítik, a poliolefinékből előállított bevásárlótáskákra az ASTM D 3826-98-at vagy ezzel egyenértékű szabványt alkalmazza a minősítő.

A hazai helyzetet jellemzi, hogy a lebomló hulladékok is a települési lerakókba kerülnek, mert az üzemi mértékű komposztálótelepek még nem épültek ki. A szelektív gyűjtési rendszerek kiépítése is még csak most alakul, ami azért is halaszthatatlan, mert a hulladékgazdálkodási törvény előírása szerint a települési lerakókban a biológiai úton lebomló hulladék mennyiségét fokozatosan csökkenteni kell.

A környezetbarát pályázati rendszer meghirdetése óta tizenegy cég minősítette bevásárlótáska termékét, azonban ezeknek a zöme lebomló adalékkal készült PE-fólia,

és csak elvértve jelent meg kukoricaalapú biotermékből gyártott tasak. A lebomlást előidéző adalék és a kukoricaalapú fólia is exportból kerül hazai feldolgozásra.

Mindent összevetve, ökológiai és ökonómiai szempontból is megérett a helyzet a biológiai úton lebomló műanyagok és elsősorban a csomagolóanyagok elterjedésére, de talán több támogatásra lenne szükség, pl. pályázatokra, hogy a K+F területén is felzárkózhassunk az európai szintre, megoldjuk a hazai alapanyaggyártást, amihez a hazai mezőgazdasági termelést lehetne hasznosítani.

Összeállította: Langer Zsuzsa és Dr. Orbán Sylvia

Michels, C.; Kabasci, S. stb.: Bioabbaubare Folien. = Kunststoffe, 95. k. 6. sz. 2005. p. 57–60.

Biokunststoffe sollen durchstarten. = K-Zeitung, 2005. 11. sz. jún. 9. p. 11–12.

[www.ibaw.org](http://www.ibaw.org)

Natürliches Wasser in natürlicher Verpackung. = K-Zeitung, 9. sz. 2005. május 6. p. 30.

[www.sig.biz](http://www.sig.biz)

Standardlösungen sind heute out. = K-Zeitung, 2005. 3. sz. febr. 10. p. 11–12.

Bundesregierung fördert Biokunststoffe. = K-Zeitung, 2005. 1. sz. jan. 4. p. 3.

Innovationpark Bioplastics. = K-Zeitung, 2005. 7. sz. ápr. 7. p. 16.

Gut zu bedrucken, thermoformbar und biologisch abbaubar. = K-Zeitung, 2004. 9. sz. máj. 6. p. 10. [www.treofan.com](http://www.treofan.com)

Von der Natur eingepackt. = K-Zeitung, 2003. 18. sz. szept. 18. p. 45.

100% Degradable plastic bags. = Plastics Engineering, 61. k. 2. sz. 2005. p. 38.

[www.omniplast.com](http://www.omniplast.com)

Expansion. = Plastics Engineering Europe, Summer 2005. p. 41.

Bioplastics making good progress in Europe. = Plastics Engineering Europe, Summer 2005. p. 36.

Higher-Performing biopolymers seek new market opportunities. = Plastics Technology, 51. k. 4. sz. 2005. p. 43–45.

European Plastics News, 32. k. 7. sz. 2005. p. 24.

First PLA blown film. = Plastics Technology, 51. k. 1. sz. 2005. p. 13.

Zukunft für Biokunststoffe in der EU. = GAK-Magazin (Gummi Fasern Kunststoffe), 58. k. 5. sz. 2005. p. 282.

Biológiai úton lebomló bevásárlótásakák. Minősítési feltételek (érvényes: 2005. április 6-tól). KvVM. Környezetbarát Termék Kht. [www.kornyezetbarat-termek.hu](http://www.kornyezetbarat-termek.hu)

Modern Plastics, 82. k. 8. sz. 2005. p. 36–37.

Plastics Engineering, 2005. ápr. p. 43.

#### *Egyéb irodalom*

Dominik, M.: Kontinuierliches Verfahren für Platten aus Naturfaser-gefülltem Kunststoffgranulat. (Folyamatos technológia lemezek előállítására természetes szálat tartalmazó műanyag-granulátumból.) = Kunststoffe, 96. k. 2. sz. 2006. p. 88–91.

Giehl, S.; Mitschang, P.: Faserverstärkte Sandwich- und Profilstrukturen in einem Schritt. (Szálerősítésű szendvics- és profilszerkezetek előállítása egy lépésben.) = Kunststoffe, 95. k. 11. sz. p. 76–78.