

## Komolyan kell venni a biopolimereket

A biopolimerek lassan egyenjogú tagjaivá válnak a műanyagoknak, ezért a velük szembeni elvárások is szigorúbbak lettek. Csomagolóanyagként ugyanazt kell nyújtaniuk, mint a hagyományos műanyagoknak, és az sem baj, ha nem komposztálhatók. Hulladékaik hasznosítására is többféle módszert ajánlanak.

*Tárgyszavak: biopolimer, csomagolóanyag; gyártók; kapacitások; követelmények; áteresztőképesség; hulladékhasznosítás.*

### Jelenlegi helyzet, várható jövő

Mindennapi használati anyagaink – a mosó- és tisztítószeres, a kenőanyagok, a textilek, a hőre lágyuló műanyagok, a csomagolóanyagok – egy részének gyártása biomassán alapul. 87%-ukat a vegyipar ugyan ma még fosszilis alapanyagból állítja elő, de 13%-ot megújuló nyersanyagokból készít. Az utóbbiak kétharmadához Németországban főleg kókusz- vagy pálmaolajat használnak, amelyet importból szereznek be. Keresik azonban az olyan megújuló nyersanyagforrásokat, amelyekkel tartósan és klímabarát módon helyettesíthetők a fosszilis alapanyagok, és amelyek alkalmazása révén nem élesedik a verseny az élelmiszernövények és az ipari feldolgozásra szánt növényi alapú anyagok termelői között. A biomassza ipari feldolgozásának feltétele, hogy az nagy mennyiségben és állandó minőségben álljon rendelkezésre.

A mai bioműanyagok túlnyomóan mezőgazdasági eredetű alapanyagokból (főleg kukoricából, cukornádból és burgonyából) készülnek, ezért elvileg végtelen ideig, bár nem korlátlanul hozzáférhetők. Ezekből közvetlenül keményítőalapú vagy hibrid műanyagokat, közvetve pedig polimerek [politejsav (PLA), poli(hidroxi-alkanoát) (PHA), biopolietilén] szintéziséhez felhasználható vegyi anyagokat állítanak elő. A jövőben arra törekszenek, hogy alapanyagként élelmiszerként nem használható biomasszát (fát és szerves maradékokat) alakítsanak át értékes vegyipari termékekké.

Bár biobázisú műanyagokból ma számos terméket gyártanak, alkalmazásuk még gyerekcipőben jár, műszakilag sem elég érettek és 20–300%-kal drágábbak, mint a hagyományos műanyagok. Ennek ellenére jónéhány vállalat gyárt ipari méretekben bioműanyagokat: *Nature Works* (Blair, Nebraska, USA, 140 000 PLA t/év); *BASF* (Ludwigshafen, Németország; 72 000 t/év Ecoflex PBAT biodegradálható aromás-alifás kopoliészter); *Telles* (Cambridge, Massachusetts, USA, 50 000 t/év Mirel PHA), *Purac* (Gorinchem, Hollandia, 100 000 t/év tejsav PLA gyártásához), *Novamont* (Novara, Olaszország, 80 000 t/év Mater.Bi keményítőtartalmú polimerkeverék), *Braskem* (São Paulo, Brazília, 200 000 t/év bioalkoholalapú PE). A németországi Bad

Dürkheim körzetében 2011 áprilisa óta a BASF Ecovio FS márkanevű biológiailag lebomló fóliájából készített zacskókat használnak kísérleti céllal a kereskedelmi forgalomban. A zacskókat visszagyűjtik és a biohulladékot feldolgozó grünstadti komposztálóüzembe szállítják.

Piaci szakértők szerint a bioműanyagok műszaki szempontból a kőolajbázisú műanyagok 90%-át tudnák helyettesíteni. Az újabb kutatások arra irányulnak, hogy a jövőben közepes és hosszú élettartamra szánt bioműanyagokat is kifejlesszenek. Ezen a területen Németország az USA és Japán mögött a harmadik a benyújtott szabadalmi igények száma szerint; Európa viszont a világon az első a politejsavra vonatkozó szabadalmak birtokosaként.

2013-ig a bioműanyagok iránti igények évi 13%-os növekedését várják, ami abszolút mennyiségben nem túl sok, hiszen 2007-ben a bioműanyagok piaci részesedése mindössze 0,3% volt, de a növekedés a duplája a hagyományos műanyagokénak.

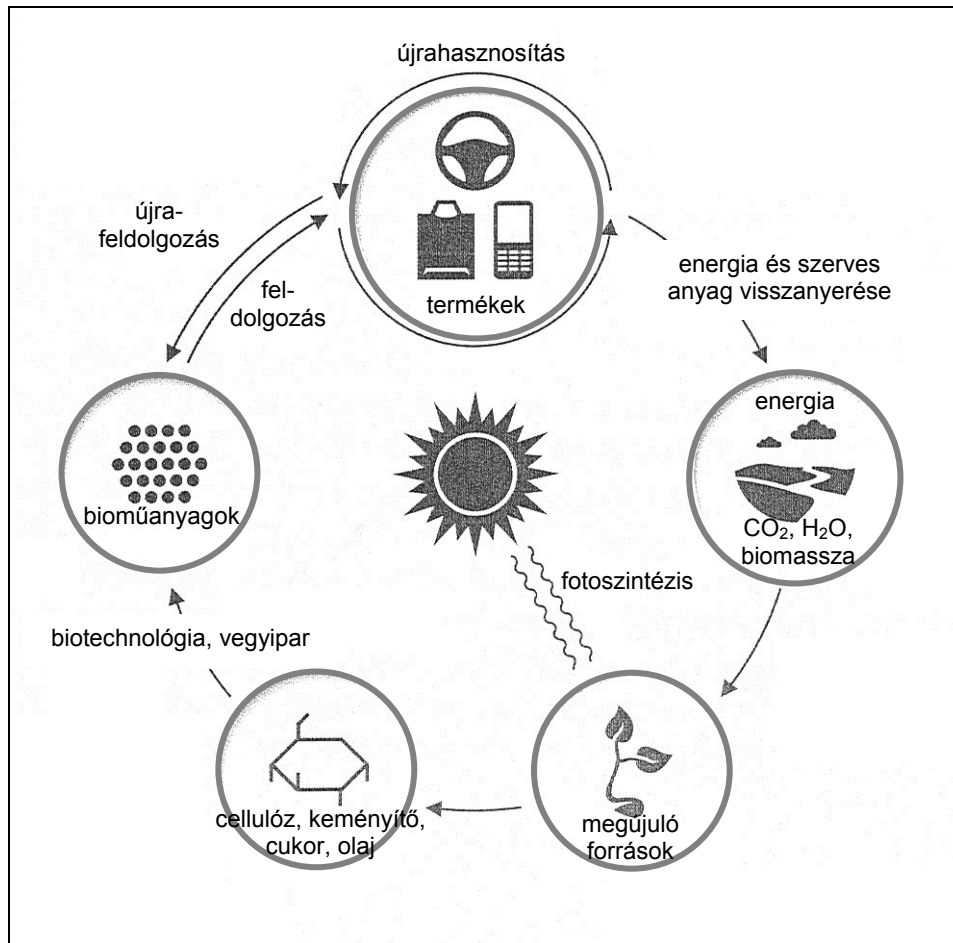
## Követelmények

A bioműanyagokat ma elsősorban a csomagolástechnikában alkalmazzák, és azt hangsúlyozzák ki, hogy a talajban vagy komposztálva elbomlanak, ill. hogy elégetéskor a belőlük felszabaduló szén-dioxid nem terheli üvegházhatású gázzal az atmoszférát, hiszen a gyártásukhoz felhasznált biomassza a levegő szén-dioxidjából vette fel a teste felépítéséhez szükséges szenet. Elterjedésüket segíti, hogy Németországban a bioműanyagból készített és igazoltan komposztálható csomagolószerek 2005-től kezdődően 2012-ig mentesülnek a hulladékot visszagyűjtő *Duális Rendszer* keretében alkalmazott „Zöld pont” utáni díj fizetésétől.

A biopolimerek tömegének növekedésével azonban felmerül az a kérdés, hogy komposztálás vagy az elégetés mellett a hulladékot más módon is hasznosítani kellene. Idealizált életciklusuk az *1. ábrán* látható. Elképzelhető egy többlépcsős hasznosítás: az első feldolgozás után a bioműanyag hulladékát egyszer vagy többször újra feldolgozzák, csak ezután komposztálják vagy más módon hasznosítják, pl. biogáz termelésére vagy kiegészítő tüzelőanyagként alkalmazzák.

A biopolimerektől azonban nem csak azt várják el, hogy biodegradálhatóak legyenek. A belőlük gyártott csomagolófóliáknak számos más igényt is ki kell elégíteniük. Európában 60 fóliagyártó megkérdezése alapján kiderült, hogy a biofóliák 41%-a politejsavat tartalmazó polimerkeverékből (PLA), 26%-a keményítőtartalmú keverékből, 10%-a poli(vinil-alkohol)-ból (PVAL), 5%-a regenerált cellulózból, 2–2%-a poli(hidroxi-butirát)-ból (PHB), ill. cellulózszármazékból, 1%-a biopolieszterből, 13%-a pedig más biopolimerből készül.

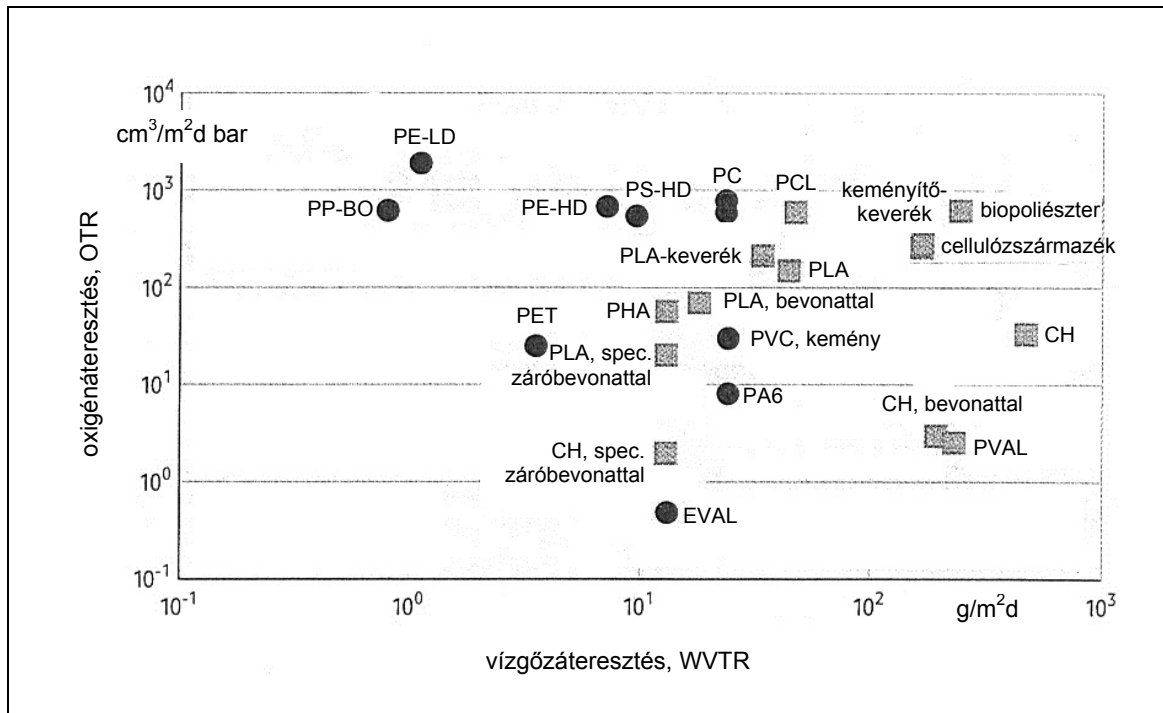
Az elmúlt három-négy évben fékeződött a biopolimer csomagolóeszközök gyártási kapacitásának növekedése. Ennek oka az élelmiszerek csomagolóeszközeire vonatkozó előírások szigorodása, amelyek ugyanolyan magas követelményekkel lépnek fel a bioműanyagokkal, mint a hagyományosakkal szemben. Ez vonatkozik arra, hogy a becsomagolt élelmiszerek összetétele, íze, szaga nem változhat a csomagolóanyag miatt, és vonatkozik mindenképp az áteresztőképességre.



1. ábra A bioműanyagok idealizált életciklusa

A bioműanyagok vízgőz- és oxigénáteresztő képessége nagyobb, mint a csomagolótechnikában leginkább alkalmazott kőolajalapú PE-LD-é, PP-BO-é és PET-é (2. ábra). A bioműanyagok közül (leg)nagyobb mennyiségben felhasznált PLA és PHA vízgőzáteresztése ugyan viszonylag korlátozott, de lényegesen nagyobb a PE és a PP-énél. Ezen felületi bevonat felvitelével vagy többrétegű fóliák gyártásával igyekeznek segíteni. A bevonatok azonban nem tartósak, könnyen karcolódnak vagy a fólia meg-törésénél leválnak.

Új anyagok kifejlesztésével is próbálkoznak. A **Coca Cola** és a **Danon** pl. bioetanolból előállított bio-PET palackokat és a **Braskem** cég bio-PE-jéből készített csomagolóeszközöket próbál ki, amelyek nem igényelnek külön bevonatot. Ezeknek a polimereknek a felépítése tökéletesen azonos a kőolajalapú polimerekével, ezért tulajdonságaik, így vízgőzáteresztő képességük is hasonló. Ezeknél a *harmadik generációs biopolimereknél* már elhanyagolható szempont a biológiai lebonthatóság, ehelyett a megújuló forráson alapuló fenntartható gyártás és a polimerek hosszú élettartama kerül előtérbe.



2. ábra Néhány hagyományos és bioműanyag vízgőz- és oxigénáteresztése 25 °C-on, 85% relatív nedvesség mellett

## Hulladékhasznosítás

A megújuló forrásra alapozott biopolimerek csomagolóanyagként való tartós alkalmazásának fenntarthatóságát nem elég csupán az alapanyagok hozzáférhetősége és a gyártás energiaigénye alapján megbecsülni, azaz életpályájukat a „bölcsőtől a kapuig” kísélni, hanem meg kell vizsgálni, mit lehet tenni a belőlük képződő hulladékkal, azaz „bölcsőtől a sírig” kell őket nyomon követni.

A biopolimerekből készített csomagolóanyagok hulladékának kezelésében ma a *komposztálást* tartják a legalkalmasabb eljárásnak. Ha egy bioműanyag megkapja a „komposztálható” minősítést, az azt jelenti, hogy egy ipari komposztálóberendezésben teljesen lebomlik CO<sub>2</sub> és H<sub>2</sub>O fejlődése mellett, vagy humusz, ill. biomassza lesz belőle. Ahhoz, hogy a csomagolóanyag eljusson az ipari komposztáló üzembe, a hulladékot elkülönítetten kell gyűjteni, összeszedni, a helyszínre szállítani, ami ismét környezeti károkat okozhat.

Mivel a szavatosság csak az ipari körülményekre vonatkozik, azaz feltételezi a megfelelő hőmérsékletet, az optimális mennyiségű oxigén és víz jelenlétét, a rendszeres átforgatást, bizonyos mikroorganizmusok közreműködését, kérdéses, hogy a házi komposztálás kielégítő eredményre vezet-e.

Ha a komposztálás csupán a hulladék megsemmisítését szolgálja, nincs összhangban azzal az elvvel, amely szerint a lebonthatóság a bioműanyagok egy külön

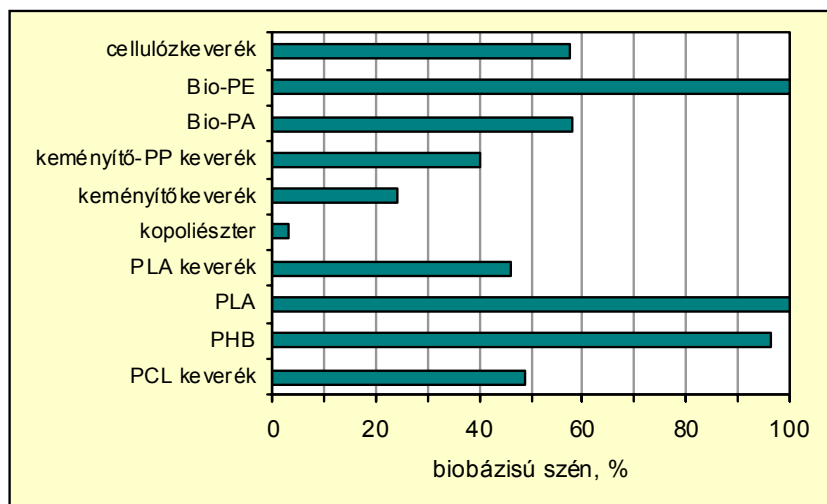
funkcionális tulajdonsága. Ez akkor érvényesül, ha pl. egy virágcserep vagy egy mezőgazdasági fólia a helyszínen, külön beavatkozás nélkül „tűnik el”, nem kell azt tárolni, összegyűjteni, elszállítani. Ilyen az a mosózsák is, amelynek anyaga feloldódik a mosóvízben és az az implantátum, amely felszívódik a szervezetben a gyógyulás időtartama alatt.

Komposztáláskor, amely „hideg égés”-nek is tekinthető, pontosan annyi CO<sub>2</sub> szabadul fel, mintha a polimert vagy az abból készített biogázokat elégetnék a hőenergia hasznosítása mellett..

A komposztálás mellett újabban előtérbe került a „klasszikus” *újrafeldolgozás* is. A hőre lágyuló bioműanyagok ismételt feldolgozásáról alig vannak tapasztalatok. Alighanem hasonló problémákra kell számítani, mint a hagyományos műanyagok újrafeldolgozásakor, de várható, hogy a megismételt újrafeldolgozások során a polimerek tulajdonságai nagyobb mértékben romlanak. Itt is szükség lesz a fajta szerinti szétválogatásra és a kiegészítő stabilizálásra. A bioműanyagok összeférhetősége egymással semmivel sem jobb, mint a hagyományos műanyagoké, ezért a hulladékból csak akkor lehet jó tulajdonságú másodlagos alapanyagot készíteni, ha fajtatiszta anyagáramokból állítják elő azt.

Keveset tudnak arról is, hogy milyen mértékben hatnak a könnyen lebomló biopolimerek a hagyományos műanyagokra, ha kis mennyiségű szennyezésként jutnak be azok közé. A szigorú elkülönítés nehezen megoldható, mert egy hulladék elkülönített kezelése csak legalább 10 000 t/év mennyiség esetén gazdaságos. Kevert hulladékáramból a biopolimerek is közeli infravörös spektrumuk (NIR eljárás) alapján választhatók ki.

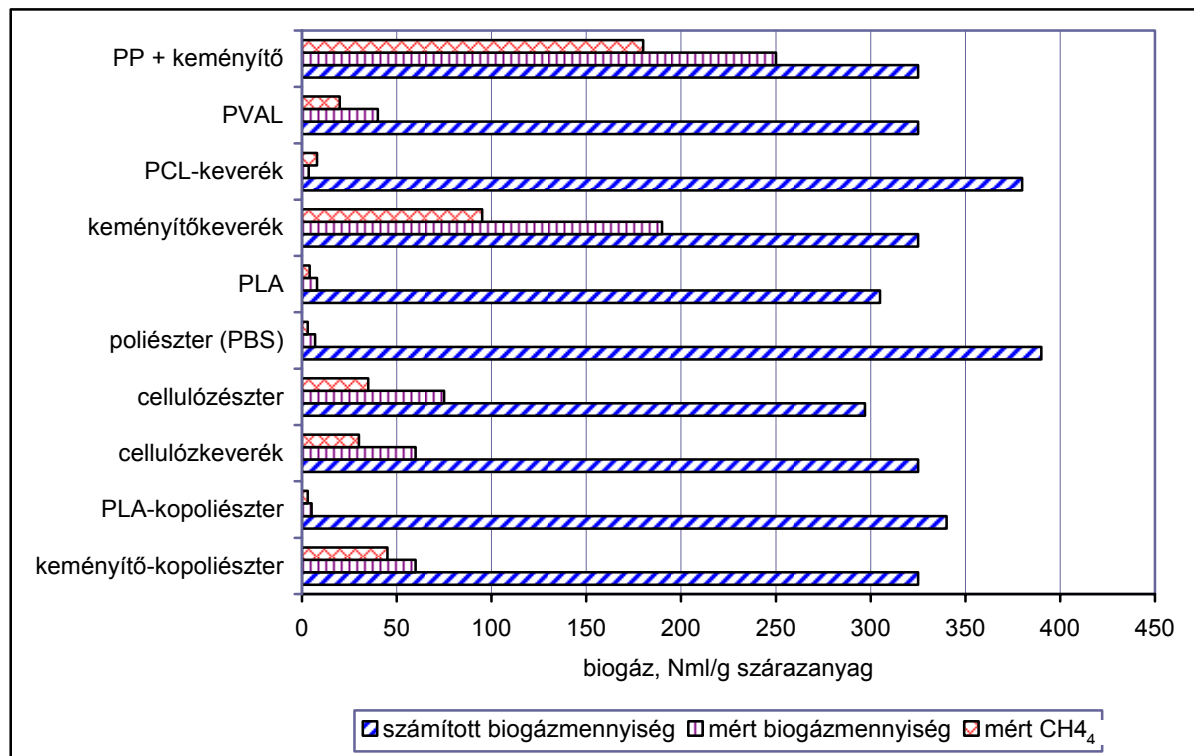
Nem kell bajlódni a szétválasztással, ha a műanyagáramot kiegészítő tüzelőanyagként valamilyen *égetőberendezésben elégetik*. Minél több a biobázisú szén aránya az ilyen tüzelőanyagban, annál inkább CO<sub>2</sub>-semleges lesz a belőle visszanyert energia. A 3. ábra a különböző bioműanyagok teljes széntartalmán belül a biobázisú szén százalékos arányát mutatja.



3. ábra  
A bioműanyagokban lévő biobázisú szén a teljes széntartalom százalékában

Az anyagok égéshője szinte teljes egészében elemi összetételüktől függ, ebben a szén eredete nem számít, annál inkább az oxidálható és nem oxidálható alkotórészek aránya, a polimerek esetében a szén és a hidrogén aránya az oxigénhez és a vízhez. Ezért nem meglepő, hogy a bio-PE és a fosszilis eredetű PE égéshője azonos. (A biopolimerek égéshőjének számszerű értékeit lásd a MISZ 2011. 3. számában.)

Az éghető anyagok égésgázai ugyancsak az összetételtől, továbbá az égés hőmérsékletétől függenek. A bioműanyagok égésgázainak összetétele hasonló a fáéhoz. Elégetésük a szokásos égetőberendezésekben semmiféle módosítást nem igényel.



4. ábra A különböző bioműanyagok-ból fejlődő biogáz számított és mért mennyisége

A biopolimerek hulladékának jelenleg kísérleti és gyakorlati szinten még alig vizsgált kezelésének módja lehet a *biogáztermelés*. Mivel a biogázt termelő berendezésekben anaerob körülmények között szerves anyagokból több lépésben nagy metántartalmú gáz képződik (ellentétben az aerob körülmények között végzett komposztálás CO<sub>2</sub>-fejlesztésével), feltételezhető, hogy ugyanez a folyamat biopolimerekkel is lejátszódik. A belőlük származó biogáz megfelelő kezelés után betáplálható volna a földgázhálózatba. A hulladékhasznosításnak ez a módja azzal az előnnyel jár, hogy nemcsak a műanyagokat nem kell szétválasztani, hanem pl. a lejárt szavatosságú vagy megromlott élelmiszermaradékot sem kell elkülöníteni. A Rostocki Egyetemen már működik egy kísérleti berendezés, amelyben anaerob körülmények között biopolimerekből próbálnak biogázt előállítani. Az első eredmények a 4. ábrán láthatók.

A sztöchiometrikus összetételből kiszámították hogy tökéletes átalakuláskor elméletileg mennyi biogáz fejlődhetne. A kezdeti kísérletekből kiderült, hogy a legtöbb biopolimerből, pl. a politejsavból (PLA), a polikaprolaktonból (PCL), a poli(butilén-szukcinát) (PBS) poliészterből, a poli(vinil-alkohol)-ból (PVAL) ennek a töredéke keletkezik. A legtöbb biogázt a keményítőtartalmú biopolimerekből kapták.

A további kísérletekben vizsgálni fogják a polimerek típusa, szerkezete, molekulatömege, kristályossága, adaléktartalma, továbbá a biogáztermelő berendezés jellemzői (hőmérséklet, tartózkodási idő) és az átalakulás sebessége, ill. metánfejlesztése közötti összefüggést, továbbá az esetleges előkezelés (termikus előkezelés, aprítás; mikrohullám) hatását.

Összeállította: Pál Károlyné

Grimm, V.; Schnarr, M. stb.: Biobewegung im Industriemaßstab. = UmweltMagazin, 2011. 6. sz. p. 46–47.

Endres, H.-J.: Biopolymere als nachhaltige Alternative? = Kunststoffe, 101. k. 5. sz. 2011. p. 34–40.