Mik is azok a biopolimerek?

A „biopolimer” kezdetben a „biodegradálható műanyag” szinonimája volt. Ma már gyűjtőfogalom, különböző tulajdonságú műanyagcsoportokra használják ezt a megnevezést. Leginkább arra utalnak ezáltal, hogy a műanyag alapanyaga részben vagy egészben megújuló (növényi) forrásból származik, de vannak közöttük biodegradálható és nem biodegradálható típusok, és vannak kőolajalapú biodegradálható polimerek is. Hosszú évek óta a piacon vannak, de a világ műanyagtermelésének még ma is csak kb. 1%-át teszik ki. Előrejelzések szerint a következő 5 évben felhasználásuk 20%-kal növekszik majd.

Tárgyszavak: biopolimer; bioműanyag; biodegradálható; megújuló forrás; gyártók; kapacitások; újdonságok; Európai Bizottság

A biopolimerek fejlesztése hosszú utat járt be, mióta a keményítőalapú első típusok feldolgozását a legtöbb feldolgozó vállalat lehetetlennek ítélte. Ennek a műanyagcsoportnak a fejlesztése az elmúlt évtizedben igen intenzív volt, a fejlesztés célkitűzései is erőteljesen változtak, de napjainkban is bizonytalan, hogy melyik polimer nevezhető egyáltalán bioműanyagnak.

Kezdetben az volt a cél, hogy a rövid használatra szánt műanyagok hulladékából származó és a környezetet egyre jobban elcsúfító „szemetet” eltüntessék, mert ennek látványa egyre jobban irritálta és a műanyagok ellen hangolta a társadalmat. Úgy gondolták, hogy a hosszú használatra szánt, jól stabilizált műanyagok mellett kifejlesztenek olyan műanyagfajtákat is, amelyek a *szabad természetben a környezeti hatásokra lebomlanak* (azaz „biodegradálhatók), és ezzel megoldódnak a műanyag hulladékok okozta problémák. Az első alkalmazások a csomagolóeszközök (pl. hordtáskák) mellett olyan termékek voltak, mint pl. a golflabdatartó, virágcserép stb.

Volt egy időszak, amikor előrejelzések a kőolaj belátható időn belüli elfogyását jelezték. Ekkor került be a köztudatba (és a politikába) a biogazdálkodás fogalma, és fordult a figyelem a „megújuló források” felé. Kiderült, hogy növényi anyagból is lehet a műanyaggyártás számára alapanyagokat gyártani. A belőlük gyártott műanyagokat is kezdték biopolimernek nevezni, bár közöttük olyan műanyagok is voltak, mint a polietilén vagy a PET, amelyek tulajdonságai semmiben nem különböznek kőolajalapú változataikétól, és természetesen a környezetben is ugyanolyan hosszú idő alatt bomlanak le.

A biogazdálkodás elve Európában különösen erős támogatást kapott. 2012-februárjában az Európai Bizottság bemutatta első biogazdálkodási stratégiáját (2012 EC Bioeconomy Strategy), amelynek lényege a megújuló biológiai erőforrások előállítása és a hulladék hasznosítása olyan módon, hogy belőlük értékes termékek (élelmiszer, takarmány, biobázisú készítmények vagy bioenergia) készüljenek. Az ebben foglaltakat számos nemzeti és regionális biogazdálkodási stratégiában felhasználták, nemcsak az EU-ban, hanem a világ számos más térségében is. 2015 decemberében az Európai Bizottság elfogadta az EU körkörös gazdálkodásra vonatkozó akciótervét (Action Plan).

Ezekben a stratégiákban a bioműanyagok fontos szerephez jutnak, mivel az EU kutatási tervek révén támogatja a műanyagipar átalakítását, fejlődésük ugyanis a jövőben a gazdaság növekedésének és a foglalkoztatás kiterjesztésének jelentős forrása lehet. Ezért 2018 januárjában az Európai Bizottság elfogadta a műanyagipar Európa egészére kiterjedő stratégiáját, tervét (EU Strategy for Plastics in the Circular Economy).

Az új terv szerint 2030-ig az EU piacán műanyag csomagolási célú gyártmány csak ismételten hasznosítható műanyagból gyártható; ennek mértéke jelenleg csak 30%. Az egyszer felhasználható műanyag termékek kiszorítása ugyancsak célul kitűzött követelmény, a mikroműanyagok alkalmazását pedig megtiltják.

Az EB múlt év októberében sajtóközleményben nyilvánította ki, hogy a bioműanyagok fontos szerepet játszhatnak a várható fejlődés általános folyamatában. Felölelhetnek különböző tulajdonságú anyagcsoportokat és azok alkalmazásának körét; a bioműanyagok előállíthatók megújuló anyagok széles választékából: növények és fák, háztartási hulladékok legkülönbözőbb fajtáiból, az élelmiszer-termelés hulladékaiból.

Hogy végül is eldönthető legyen, hogy melyik műanyag minősíthető biopolimernek vagy bioműanyagnak, az Európai Bioműanyag-gyártók Ipari Szövetsége (European Bioplastics Trade Association) kialakította a lehető legegyszerűbb meghatározást: *egy műanyag akkor nevezhető biopolimernek vagy bioműanyagnak, ha bioalapú, ill. biodegradálható, vagy ha egyszerre mindkét tulajdonságot hordozza.*

Miért érdemes bioműanyagot alkalmazni?

A biodegradálhatóság a hagyományos műanyagok tulajdonságai között nem szerepel, ezért az eredeti célkitűzés, a természetben rövid idő alatt lebomló anyagok iránti igény kielégítése bővebb magyarázatot nem követel.

A nem feltétlenül biodegradálható bioműanyagok alkalmazásának egyik legfontosabb célja, hogy azokat nem megújuló források (kőolaj, szén) helyett megújuló forrásból (biomasszából) állítják elő. Ilyen biomassza lehet a gabonaféle, a fa, a cukornád vagy annak a szára, de pl. a szennyvízből kiszűrt szerves anyag is. Az élelmiszer-termelésre alkalmas termőföldet azonban vétek volna ipari alapanyagok céljára lefoglalni. Felmérések szerint az ilyen terület a mezőgazdaságban művelésbe vont területeknek viszonylag jelentéktelen hányada. Egy hannoveri intézet, az Institute for Bioplastics and Biocomposties (IfBB) elemzése szerint a bioműanyagok számára termelt növények területe 15,7 millió hektárra becsülhető, ez pedig a világ mezőgazdaság céljaira igénybe vett összes területének csupán mintegy 0,3%-a és a megművelhető területnek mindössze 1%-a.

[Becslések szerint a globális földterület kb. 13 milliárd ha (100%), ebből mezőgazdasági terület 4,9 milliárd ha (38%). A mezőgazdasági terület (100%) a következőképpen oszlik meg: legelő 3,3 milliárd ha (67%), szántóföld 1,4 milliárd ha (25%), élelmiszert vagy takarmányt termelnek 1,24 milliárd ha-on (25%), alapanyagtermelésre használnak 106 millió ha-t (2%, ebből 2017-ben bioműanyagokhoz 0,82 millió ha földet használtak, ami 0,016%; 2022-ben várhatóan 1,03 millió hektárt vesznek igénybe, ami 0,021%), bioüzemanyagot 53 millió ha-on termeltek (1%)].

A föld hasznosításán túlmenően az élelmiszernövényeknek – vagyis a mezőgazdasági termelés „első generációs termékeinek" – felhasználása műanyaggyártásra elfogadhatatlan. Ezért arra törekszenek, hogy az ipari alapanyagokat az élelmiszergyártás vagy a más növényi feldolgozó technológiákban képződő melléktermékekből vagy hulladékból állítsák elő. A bio-PA alapanyagának forrása pl. az emberi fogyasztásra alkalmatlan, mérgező ricinusmagból kivont ricinusolaj. A PHA-t cukor- vagy zsírtartalmú anyagok fermentálásakor, esetleg üvegházhatású metán jelenlétében mikroorganizmusok közreműködésével állítják elő. Más bioműanyagok – bio-PE, PLA – kiinduló anyagai szénhidrátokban gazdag élelmiszernövények (például a cukornád, a gabona, a cukorrépa vagy a manióka) hulladéka,

A bioműanyagokat gyártó iparág olyan új eljárások kifejlesztésén is dolgozik, amelyekkel az élelmiszer-növények cellulóztartalmú „második generációs nyersanyagaiból" (szalmából, kukoricaszárból, cukornád hulladékából) lehet majd műanyagipari alapanyagokat készíteni. „Harmadik generációs nyersanyagként" szóba jöhet a kávéőrlemény, a gyümölcshéj, sőt a bogáncstól a szennyvíziszapig sok minden, pl. a metán és a szén-dioxid is.

A víz körforgásáról már mindenki hallott, a szén körforgásának fontossága azonban kevésbé van benne a köztudatban, pedig ez legalább olyan fontos a Föld eltartó képességéhez. A szén körforgásának természetes harmóniáját az emberi tevékenység az elmúlt két évszázadban megzavarta azzal. hogy túlontúl sok erdőt taroltak le, rengeteg termőföld szerves széntartalmát tették tönkre, a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével pedig a föld alatti szenet az levegőbe exportálták szén-dioxid formájában.

A bioműanyagok értékét növeli az a tény, hogy szerves széntartalmuk a természetben megújuló biomasszából származik, amely a levegő szén-dioxidjából a növények fotoszintézise révén kerül oda. A bioműanyagok élettartamának végén ez a szerves szén ugyan ismét visszakerülhet az atmoszférába, de a későbbi növények ugyancsak felhasználják, belőlük pedig újra műanyagokat lehet gyártani és így tovább… A Michigani Egyetem egyik professzora szerint a *bioműanyagok ökológiai (vagy karbon) lábnyoma emiatt 0-nak tekinthető*. Ez a modell nagyon jól beleillik az EU-ban megvalósítandó körkörös gazdaság elvébe.

A belgiumi Vincotte Intézetben eljárást fejlesztettek ki a biobázisú C14 radiokarbon kimutatására. Ezzel meg tudják határozni a megújuló növényi anyag „fiatal" (0–10 éves) C14 tartalmát, amelynek aktivitása ebben az időszakban 100% körül van. A több millió éves fosszilis anyagokban a C14 aktivitása már 0. A módszer alkalmas arra, hogy meghatározzák egy termékben a biobázisú anyagok részarányát.

Egy anyagok újrahasznosításával foglalkozó szakember az Egyesült Királyságban azonban rámutatott arra, hogy a bioműanyagok fosszilis energiát kímélő előnye mellett nem lehet elfeledkezni arról, hogy a világ gazdasága ma mégis elsősorban a kőolajra támaszkodik, és ennek feldolgozásakor nagy mennyiségű melléktermék képződik, amelyeket botor dolog volna „szemét”-ként kezelni. Ezért a kőolajalapú műanyagok valószínűleg még sokáig a piacon lesznek.

A hulladékhasznosítók viszont attól tartanak, hogy a bioműanyagok megnehezítik az újrafeldolgozást, esetleg rontják a reciklátumok minőségét. Jelenleg a polietilén és a PET a leggyakrabban és a legnagyobb mennyiségben visszaforgatott műanyag. A bio-PE és bio-PET a biobázisú, de nem biodegradálható műanyagok közé tartozik, tulajdonságai teljesen azonosak a kőolajalapú polimerekével, ezért azokkal együtt kezelhetők újrafeldolgozáskor. A feldolgozók aggodalma akkor indokolt, ha biodegradálható műanyagok, pl. PLA kerül a hulladékáramba, ilyenkor azokat ki kell válogatni, de célszerűbb őket elkülönítetten gyűjteni. Belgiumban egyetlen hulladékhasznosító cég, a LoopLife vállalja PLA újrahasznosítását.

A biodegradálható műanyagok között vannak olyanok, amelyek egyszerű komposztálással is megsemmisíthetők, másokat csak ipari eljárással lehet komposztálni. Az előbbi csoporthoz tartozó hulladék a háztartási szeméttel együtt, akár házilag megsemmisíthető. A másik csoport komposztálása a célnak megfelelő, szelektált eljárással gyűjtött, erre a célra optimális megoldásokkal, átfogóan irányított hulladékhasznosító program keretében kifejlesztett eszközöket igényel.

Gyártók, kapacitások, gyártmányok, újdonságok

A világon évente jelenleg 320 millió tonna műanyagot gyártanak és ennek valamivel kevesebb mint 1%-a bioalapú.

A 2017 novemberében Berlinben rendezett Európai Bioplastic konferencián a European Bioplastics e.V. és a német Nova kutatóintézet közös elemzése alapján ismertették az ágazat gazdasági helyzetét. Eszerint 2017-ben a bioműanyagok gyártási kapacitása 2017-ben a világon 2,05 millió tonna volt. A következő 5 évben 20%-os kapacitásnövekedésre számítanak, ezért 2022-re várhatóan ez 2,44 millió tonnára bővül. 2022-ben a kapacitások területi megoszlása a következőképpen alakulhat: Ázsia 52%, Európa 25%, Észak-Amerika 14%, Afrika 9%, Ausztrália nagyon kis kapacitása globálisan 0%-nak tekinthető. Ázsiában lesz a kapacitások több mint fele. Thaiföld – ahol bőségesen képződik biomassza – különösen sokat tesz a bioműanyagok gyártásának bővítéséért: adókedvezményekkel ösztönzi a beruházásokat, támogatja a témába vágó kutatásokat és fejlesztéseket, ilyen irányba tereli az oktatást, ilyen ismeretek bővítésére új tanszékeket alapít.

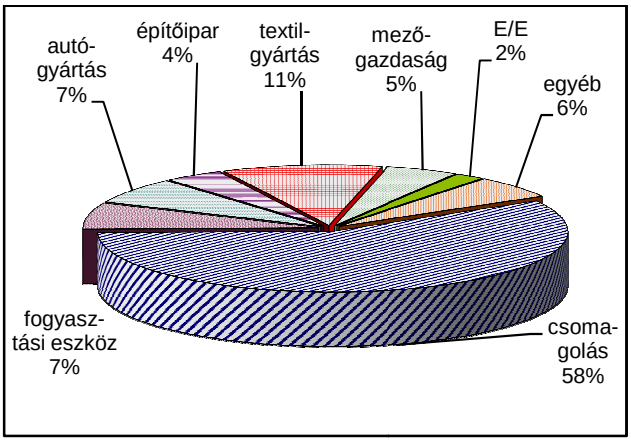
A bioműanyagok legnagyobb hányadát, majdnem 60%-át (1,2 millió tonnát) csomagolóanyagként használják fel *(1. ábra)*.

A gyorsan növekvő igények fejlesztésre sarkallják a gyártókat. Egyre többféle új biopolimer jelenik meg a piacon, és ma már szinte valamennyi hagyományos műanyagnak van bioalapú változata.

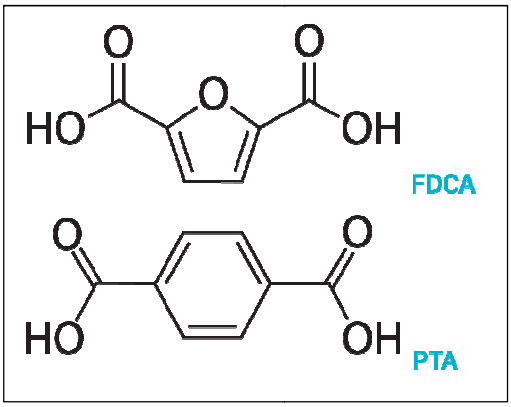
Nem biodegradálható biopolimerek

A ma gyártott biobázisú műanyagok többsége nem biodegradálható. Ilyen a bio-PA, a bio-PUR, és az angolul „drop in” („csak pottyantsd be”) anyagok, pl. a bio-PE és a bio-PET, amelyek tulajdonságai tökéletesen megegyeznek a kőolajalapú változatokéval, és feldolgozásuk, alkalmazásuk, újrafeldolgozásuk semmiféle külön törődést nem igényel. Az utóbbi két polimer teszi ki a bioműanyagok többségét (56%, 1,2 millió tonna).

A bio-PUR-ok szintézisekor szójababból, napraforgó-, repce- és ricinusmagból sajtolt olajokból készített poliolokat reagáltatnak diizocianátokkal; az ilyen poliuretánok bioanyag-tartalma 30–70% között változhat. A biopoliuretánok felhasználása évente átlagosan 4,04%-ot ért el, 2016-ban 20,4 millió USD forgalmat eredményezett, 2021-ben gyártói összesen 27,6 millió USD-re számíthatnak.



1. ábra A biopolimerek 2017-ben meglévő globális gyártókapacitásainak megoszlása a különböző iparágak igényei szerint



2. ábra A PEF és a PET tulajdonságait meghatározó monomerek kémiai képlete. FDCA: furán-dikarbonsav, PTA: tereftálsav

Biobázisú PP-ről eddig nem sokat lehetett hallani. Nem kétséges azonban, hogy ha megjelenik a piacon, rövid idő alatt széles körben el fog terjedni.

A bio-PET elsősorban az italos palackok fúvásában számíthat sikerre. A Danone és a Nestle Waters nagy erőfeszítéseket tesz arra, hogy 2020-ig 100%-ban lignocellulóz-alapú PET tartályokban forgalmazza termékeit. Az European Bioplastics e.V. szerint a bioalapú PET [poli(etilén-tereftalát)] gyártókapacitása 30%-kal elmaradt a tervezett mértéktől, aminek oka a 100%-ig bioalapú PEF megjelenése, és ez került a fejlesztések céljának előterébe.

A PEF [poli(etilén-furanoát)] egy teljesen új biopoliészter, amelytől azt remélik, hogy a jövőben a műanyag palackok leggyakoribb alapanyaga lesz. Szintézise 2,5-furán-dikarboxilsav (FDCA) és monoetilénglikol reakcióján alapul. (A PET és PEF meghatározó monomerjeinek képletét a *2. ábra* mutatja.) A PEF oxigénzáró képessége

10-szer, CO_2-záró képessége 5–10-szer nagyobb a PET-énél, és a PET feldolgozásához használt berendezéseken minden gond nélkül („drop in” módon) feldolgozható.

Ez a polimer még nincs kereskedelmi forgalomban. A furánkémiában járatos Syvina, az Avantina és a BASF cég 2016-ban alapított közös vállalata tervezi egy FDCA gyártására szánt referenciaüzem építését, amelynek beindítása 2023-24 körül várható. Két további cég is foglalkozik ennek a bioműanyagnak a gyárthatóságával. A Corbion kifejlesztette saját eljárását a megújuló forrásból előállítható FDCA gyártására, az Avalon Industries pedig már gyárt biobázisú 5-hidroxi-metil-furfurolt-t (5-HMF), amely kiinduló anyaga lehet a PEF gyártásának.

A DuPont és az ADM egy évvel ezelőtt jelentette be, hogy kidolgozott egy fruktózalapú eljárást furándikaboxilsav metilészterének (FDME) szintézisére. Az ezzel készített új poliésztert poli(trimetilén-furándikarboxilát)-nak nevezték el (PTF). A PTF a PEF-hez hasonlóan 100%-ban biobázisú. A másik monomer bio-1,3-propándiol, amelyet ugyancsak a DuPont gyárt. A PTF újrafeldolgozható polimer, és szintén jók a gázzáró tulajdonságai. Az ipari méretű üzemet tervezik.

Biodegradálható biopolimerek

A két jobban ismert biopoliésztert, a PLA-t (politejsav) és a PHA-t [(poli(hidroxi-alkanoát)-ok] évek óta kereskedelmi forgalomban értékesítik.

A PHA-t energiatároló baktériumok közreműködésével állítják elő. Ezek a poliészterek 100%-ig bioalapúak, környezeti hatásokra elbomlanak. Fizikai, mechanikai és kémiai tulajdonságaik kémiai felépítésüktől függően változnak. A PHA-t előállító üzemek jelenlegi kapacitása 2022-ig várhatóan megháromszorozódik. Világszerte számos vállalat állít elő PHA-t, többek között az USA-ban a Danimer Scientific, a Newlight Technologies; Japánban a Kaneka, Olaszországban a Bio-on, Németországban az Akro-Plastic.

A PLA kapacitások 2017-hez képest 2022-ig ugyancsak 50%-kal nőhetnek. Fő gyártói jelenleg a NatureWorks és a Total-Corbion. A PLA-nak különböző típusai kaphatók, jellemző rájuk a kitűnő záróképesség. Ipari eljárással komposztálhatók. Főképpen csomagolóanyagok gyártására alkalmazzák őket; de tartósabb és hőálló változataikat PS, PP és ABS kiváltására is lehet alkalmazni.

A bioműanyagok gyártása gyorsan fejlődő ágazat, amely nagyon erőteljes hatással lehet jövő évtizedek gazdasági eredményeire. A foglalkoztatás terén is módosulhatnak a jelenlegi arányok, mert ezen a területen az átlagosnál gyorsabban nő a munkavállalók száma. 2016-ban 23 ezer embert foglalkoztatott ez az iparág, az egyre jobban képzett szakemberek száma 2030-ig azonban megtízszereződhet, elérheti a 300 ezret.

A bioműanyagok feldolgozása

Az utóbbi 50 évben a műanyagok gyártása, felhasználása megsokszorozódott, ezen belül a bioműanyagok részaránya jelenleg is mindössze 1%-ot tesz ki. A bioműanyagok jelentőségének és térhódításának növelése az iparág finanszírozóitól, a

gyártóktól, a kereskedőktől és a felhasználóktól jelentős munkát és ismeretszerzést követel. A törvényhozás is segítséget nyújthat a feldolgozás és felhasználás szabályozása terén, sőt a tájékoztatás és a meggyőzés érdekében is.

A feldolgozók többsége keveset vagy semmit sem tud a bioműanyagokról. A Sumitomo Demag egyik menedzsere a leggyakrabban feltett kérdésekre próbált válaszolni.

Az elő kérdés az szokott lenni, hogy kell-e új gyártóberendezést beszerezni, ha bioműanyagot akarnak fröccsönteni. A válasz: nem szükségképpen. A fő cél az, hogy a késztermék minősége megfelelő legyen. A bioműanyagokat elvileg ugyanúgy kell feldolgozni, mint hagyományos változataikat. Ez főként a bio-PE-re, a bio-PET-re és a bio-PA-ra igaz, amelyek ún. drop-in polimerek, azaz műszaki és funkciós tulajdonságaik ugyanolyanok, mint a szokásos műanyagoké. Ezeket a tartós használatra szánt műanyagokat az elektromos és elektronikai (E/E) iparban, az autógyártásban is más ipari ágazatokban is használják, és hulladékuk kőolajalapú változataikkal együtt visszaforgatható. Más a helyzet a biodegradálható műanyagok (PLA, keményítőtartalmú műanyagok) esetében, amelyeket főképpen csomagoláshoz és mezőgazdasági célokra használnak. Ezek pozitív tulajdonságai a komposztálhatóság és a jó záróképesség.

Gyakori kérdés, hogy hogyan viselkedik a bioműanyag a végtermékben. Mennyire hasonlít a lecserélt anyaghoz. A belőle készített végtermék kielégíti-e a rá vonatkozó követelményeket. A válasz: ezeket elsősorban a biopolimer gyártójától kell megkérdezni. A tartós használatra szánt bioműanyagtól elvárható, hogy hőállósága, vízállósága, merevsége vagy rugalmassága hasonló legyen a helyettesítendő hagyományos műanyagéhoz. Bio-PE-t és bio-PET-et ma már alkalmaznak a gépkocsik műszerfalához, de tény, hogy a bioműanyagok legnagyobb része még a csomagolóipart szolgálja.

Hogyan kell a bioműanyagokat feldolgozni? A fröccsöntött termék minőségét nagymértékben az ömledék minősége határozza meg. Az ömledékstabilitásról célszerű a szállítóval konzultálni.

Mit kell tenni megrendelés előtt? A biopolimer szállítójától megrendelés előtt célszerű olyan ajánlatot kérni, amelyben összehasonlítják a különböző adatokat, beleértve a költségeket, a feldolgozhatóságot, a polimerből készített termék küllemét és tapintását, szilárdságát stb. Nem árt próbagyártást végezni a feldolgozó saját gépén.

A Sumitomo Demag arra is utalt, hogy a bioműanyagok nagyobb arányú alkalmazása növeli a munkahelyek számát. Úgy gondolja, az ilyen polimerek feldolgozása nem elsősorban a gépen múlik, hanem azon, hogy beszerezhetők-e a piacon és hogy mennyire költséghatékonyak. Rámutatott arra is, hogy az európai fogyasztók 80%-a szívesen vásárol olyan terméket, amelynek minimális a környezeti hatása. Egyre érzékenyebb arra is, hogy mennyibe kerül az a csomagolás, amelyet az áru megvásárlása után rövid idővel a szemétgyűjtőbe dob.

Összeállította: Pál Károlyné

Bioplastics: Facts and figures = Plastics News Europe, 2018. 3. sz. p. 12.
Bioplastics here to stay = Plastics News Europe, 2018. 3. sz. p. 10.
Flowers, N.: Moulding bioplastics: making a difference together = Plastics News Europe, 2018. 3. sz. p. 14.