



Istine i zablude o bioplastici

Priredila: Maja RUJNIĆ-SOKELE

Bioplastični ili biorazgradljivi materijali u okolišu se u potpunosti i brzo razgrade; načinjeni su od obnovljivih izvora pa su iz tog razloga prihvatljiviji za okoliš od sintetski načinjene plastike koja je na osnovi fosilnih goriva. Kada bi te tvrdnje bile istinite, bioplastika bi bila materijal bez mane. No takva predodžba o tim, danas vrlo popularnim materijalima, koja je u javnosti i najčešća, daleko je od istine.

Najprije treba razlikovati pojmove biorazgradljivost i bioosnova. Biorazgradljivost, odnosno kompostabilnost, svojstvo je materijala, a bioosnova, odnosno biomasa (materijal biološkog podrijetla), izvor je za osnovni sastojak bioplastike. Većina bioplastike je biorazgradljiva, no to nije intrinzično svojstvo, razumljivo samo po sebi. Biorazgradljivost je povezana s kemijskom strukturom, a ne s podrijetlom osnovnog sastojka. Posljedica toga je da su i neki sintetski polimeri biorazgradljivi. Istodobno, svi biorazgradljivi materijali ne mogu se i kompostirati.¹

Bioosnova i biorazgradljivost

Na slici 1 prikazana je klasifikacija materijala ovisno o njihovoj razgradljivosti, odnosno osnovi od koje su načinjeni.² U prvu skupinu pripadaju materijali načinjeni na bioosnovi koji nisu niti biorazgradljivi niti kompostabilni. Najčešće su to celulozni derivati, npr. celulozni acetat ili polietilen načinjen od etilena na bazi etanola dobivenoga od šećerne trske ili poliamid od ricinusova ulja. Drugu skupinu čine materijali na bioosnovi, npr. škrobne mješavine, odnosno materijali načinjeni od polisaharida kao što su kukuruz, krumpir ili pšenica, poliesteri načinjeni mikroorganizmima ili od biljaka kao što je poli(hidroksi-alkanoat) ili poliesteri od monomera načinjenih na bioosnovi, npr. polimeri mliječne kiseline (polilaktidi, PLA). Ti su materijali načinjeni od biomase i biorazgradljivi su, odnosno kompostabilni. U sljedećoj su skupini materijali načinjeni od fosilnih goriva, dakle od nafte, prirodnog plina ili ugljena. U nju pripadaju aromatski i alifatski poliesteri, poli(vinil-alkohol), polikaprolakton te modificirani polimeri, npr. polietilen s dodatcima koji iniciraju razgradnju. Ti su materijali biorazgradljivi, ali nisu na bioosnovi. I napokon, posljednju skupinu čine uobičajeni plastični materijali.

Ove je godine nerazgradljivih i nekompostabilnih materijala na bioosnovi u svijetu proizvedeno 30 000 tona (slika 2).³ Malo manje je

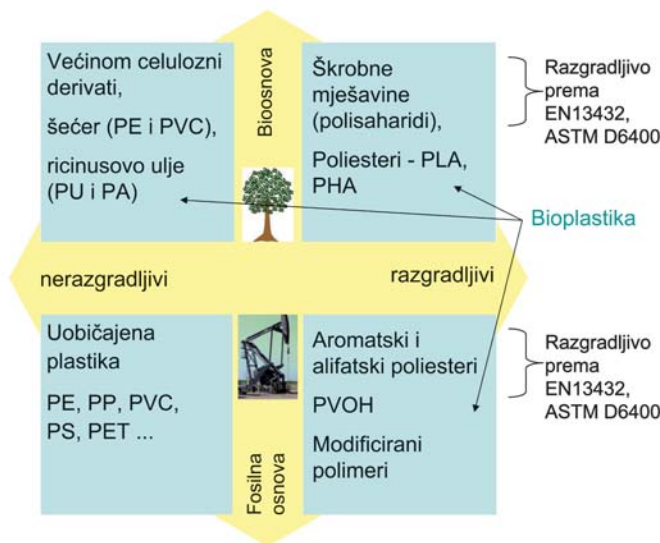
proizvedeno biorazgradljivih materijala na fosilnoj osnovi, oko 22 000 tona, a najviše se proizvelo biorazgradljivih materijala na bioosnovi, oko 210 000 tona. S obzirom na proizvodnju plastike u 2006. od 205 milijuna tona, to je samo 0,13 % ukupno proizvedene plastike. Predviđa se da će 2009. sveukupno biti proizvedeno 766 000 tona bioplastičnih materijala, a 2011. 1 500 000 tona. Jednako tako se predviđa da će najviše porasti proizvodnja materijala na bioosnovi koji nisu biorazgradljivi niti kompostabilni. U 2007. njihov udio iznosi oko 11 %, u 2009. 29 %, a u 2011. 38 %.

Slijedi jasan zaključak da će bioplastika uvijek biti specifičan materijal u količinama od oko 1 posto ukupno proizvedene plastike.

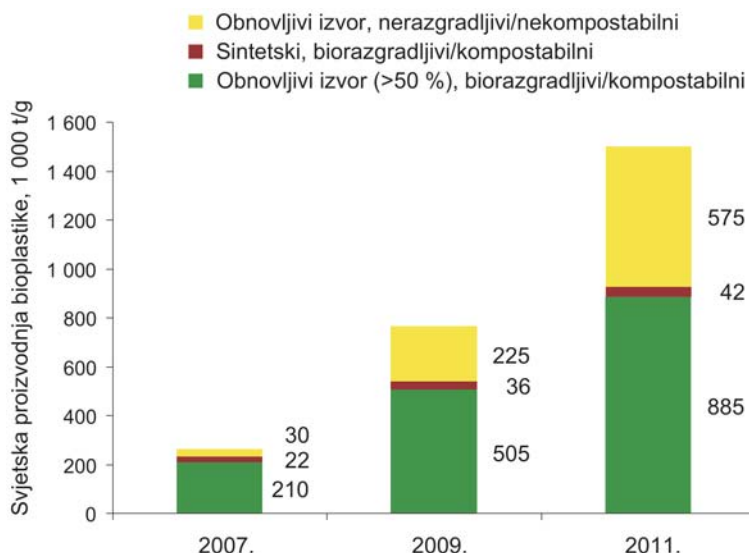
Definicije razgradljivosti

Pojam kompostabilne plastike podrazumijeva materijal koji se razgrađuje djelovanjem bioloških procesa tijekom kompostiranja (procesa koji kontrolira biološku razgradnju biorazgradljivog materijala u tvar nalik na humus – kompost).

Kompostabilna plastika je nakon biološke razgradnje vizualno nezamjetljiva, a raspada



SLIKA 1. Klasifikacija plastičnih materijala s obzirom na razgradljivost i osnovu od koje su načinjeni²



SLIKA 2. Proizvodnja bioplastičnih materijala u svijetu i prognoza njihove proizvodnje u budućnosti³

se na ugljikov dioksid, vodu, anorganske komponente i biomasu, bez otrovnih tragova. Brzina kompostiranja jednaka je kao kod poznatih materijala poput celuloze. Da bi plastika bila pogodna za kompostiranje, mora zadovoljiti tri kriterija:⁴

1. *biorazgradnja* – mora se razgraditi na ugljikov dioksid, vodu, biomasu istom brzinom kao celuloza (papir)
2. *dezintegracija* (raspadanje u djeliće) – razgrađeni materijal ne smije se razlikovati od ostalog komposta
3. *netoksičnost* – kompostiranjem ne smije nastati nikakav toksični materijal, a nastali se kompost smije koristiti kao gnojivo.

Biorazgradnja se utvrđuje mjerenjem količine CO₂ koja nastaje biorazgradnjom plastike tijekom određenog razdoblja. Norme iz sustava *ASTM* (*American Society for Testing and Materials*), *ISO* i *DIN*, zahtijevaju 60 % biorazgradnje za 180 dana, a norma *EN 13432* zahtijeva 90 % biorazgradnje tijekom 90 dana.⁴ Norme se odnose na industrijsko kompostiranje, koje je samo jedan, premda najvažniji od bioloških postupaka zbrinjavanja otpada. Druge metode su npr. kućno kompostiranje i proizvodnja bioplina. Industrijsko kompostiranje odnosi se na centralizirane pogone za kompostiranje velikih količina biootpada, gdje je moguće održavanje visokih radnih temperatura (60 – 65 °C). Industrijsko kompostiranje izvodi se u aerobnim (uz prisutnost kisika) uvjetima, dok je proizvodnja bioplina anaeroban postupak (bez prisutnosti kisika). Kompostiranjem u aerobnim uvjetima nastaje humus, ugljikov dioksid i voda, pri čemu se oslobađa znatna količina energije u obliku topline djelovanjem mikroorganizama, dok u anaerobnim uvjetima nastaje kompost i oslobađa se metan (koji se koristi za grijanje i proizvodnju električne energije).⁵

Pod pojmom biorazgradljiva plastika razumijeva se razgradljiva plastika kod koje je razgradnja rezultat djelovanja enzimske aktivnosti prirodnih mikroorganizama kao što su bakterije, gljivice ili alge. Materijal se pritom pretvara u vodu, CO₂ i/ili metan i novu biomasu. Tu nema vremenskog ograničenja niti uvjeta neotrovnosti.⁴

Razgradljiva je ona plastika koja bitno mijenja svoju kemijsku strukturu pod posebnim okolišnim uvjetima, što dovodi do gubitka nekih svojstava. Nema zahtjeva za djelovanjem mikroorganizama ili drugih kriterija koji se traže za kompostabilnu plastiku.⁴

Iako je biorazgradljivost, odnosno kompostabilnost, definirana europskom normom *EN 13432*, sljedeće vrste razgradljivosti nisu. Postoji oksidacijski biorazgradljiva plastika, odnosno plastika kod koje je razgradnja rezultat dodavanja dodataka koji potaknu i ubrzaju razgradnju. Razgradnja se inicira prirodnom svjetlošću, toplinom i/ili mehaničkim naprezanjem. Postoji i fo-

torazgradljiva plastika, odnosno ona koja se razgrađuje zbog djelovanja UV svjetlosti, koja razgrađuje kemijsku vezu ili kemijsku strukturu materijala. I, naposljetku, postoji i vodotopljiva plastika, koja se otapa u vodi u određenom temperaturnom rasponu, nakon čega se biorazgrađuje u dodiru s mikroorganizmima.⁶

(Ne)opravdanost korištenja biomase za izradbu plastičnih proizvoda

Koji su najčešći argumenti kojima se opravdava sve veća primjena biomase za izradbu plastičnih proizvoda?

Prvo, primjenom bioplastike smanjuje se korištenje neobnovljivih izvora, odnosno fosilnih goriva. To je točno, no treba imati na umu da se samo 4 % fosilnih goriva u svijetu troši za proizvodnju plastike (najveći dio, gotovo 90 %, otpada na transport i grijanje), a uz današnji udio bioplastike na tržištu, koji iznosi manje od 1 %, ukupni efekt zamjene fosilnih goriva biomasom bit će vrlo malen upravo zbog malenog udjela fosilnih goriva za proizvodnju plastike.⁶

Drugo, smatra se da se primjenom bioplastike snižava emisija stakleničkih plinova, što pridonosi zaštiti klime. No treba imati na umu da je CO₂ neutralnost bioplastike vezana uz korištenje biljaka. Međutim, faza proizvodnje, od sijanja preko žetve pa sve do proizvodnje materijala, zahtijeva konvencionalne izvore energije, koji pridonose emisijama CO₂. Ne treba zaboraviti da poljoprivredni uzgoj zahtijeva zemlju, vodu, gnojiva, proizvode za zaštitu usjeva, a uza sve to troši energiju i, dakako, uzrokuje emisije.

Biorazgradnja kompostabilnog proizvoda na kraju njegova životnog vijeka također može dovesti do dodatnih emisija. Pozitivna strana biorazgradnje je što se događa pri manjim brzinama nego pri spaljivanju koje usporava otpuštanje CO₂ 12 mjeseci ili više.

S druge strane, proizvodi na biosnovi mogu pozitivno pridonijeti sniženju emisija CO₂ samo ako se spale nakon uporabe, čime se osigurava da emitirani CO₂ zamijeni CO₂ dobiven izgaranjem fosilnih goriva.

A treba imati na umu da primjena plastike pridonosi djelotvornom korištenju energije i smanjenju stakleničkih plinova, posebno u fazi primjene. Primjerice, smanjenje mase vozila za 100 kg uštedi 0,3 – 0,4 L goriva na 100 km. Plastika u automobilima uštedi više od 2 milijuna tona goriva, odnosno više od 9 milijuna tona emisija CO₂ godišnje u Zapadnoj Europi.⁶

Studija udruženja *Gesellschaft für umfassende Analysen (GUA)* pokazala je da bi se sveukupnom zamjenom plastike drugim materijalima u svim primjenama u Europi potrošnja energije za proizvodnju tih proizvoda povećala 26 %, odnosno

potrošilo bi se 22,5 milijuna tona nafte više, što je količina koja bi pokrila potrebe za grijanjem i toplom vodom za 40 milijuna ljudi. Istodobno bi emisije CO₂ bile oko 56 % više, što je iznos od 90 % ukupnih emisija CO₂ od automobila u Njemačkoj.⁶

Političari podupiru korištenje tzv. obnovljivih izvora (iako izvori nisu obnovljivi, već najčešće uzgojeni, kultivirani izvori, uzgojene, koji se ne obnavljaju bez čovjekova djelovanja) te daju potporu poljoprivrednicima, jer to omogućuje novu primjenu i namjenu poljoprivrednih proizvoda. Uz to, promocija poljoprivrednih proizvoda za industrijske svrhe nije ograničena propisima *Svjetske trgovinske organizacije*.⁶ No neizbježno će doći do sukoba interesa budući da će se obradive površine dijeliti na uzgoj poljoprivrednih kultura za ljudsku hranu i ishranu životinja, proizvodnju biogoriva i sirovina za plastiku. Obradivo zemljište nije raspoloživo u neograničenim količinama, a podupiranje jedne primjene, bila to biogoriva ili bioplastika, dovest će do smanjene dostupnosti zemljišta za druga područja koja su važnija, a to je hrana. To je već dovelo do povišenja cijene hrane u svijetu, npr. cijene kukuruza zbog proizvodnje bioetanola.

Za usporedbu, maksimalni potencijal zamjene plastike bioplastikom u zapadnoeuropskim zemljama je 15,4 milijuna tona, što iznosi 33 % ukupne potrošnje plastike. Za to bi trebalo oko 5 milijuna hektara poljoprivrednih površina, odnosno 2 do 3 % ukupnih obradivih površina, što se ne čini prevelikim postotkom. Ali europski plan zamjene 20 % goriva (a to je količina od oko 62 milijuna tona) biogorivom do 2020. godine znači da se za njegovu proizvodnju procjenjuje potreba od 30 do 60 milijuna hektara poljoprivrednih površina. To je već mnogo veći udio u ukupno obradivoj površini, a iznosi od 16 do 33 %.⁶

Naposljetku, smatra se da se biorazgradljivi materijali u potpunosti razgrađuju na odlagalištu, a time se smanjuje ukupna količina otpada. No otpad je na odlagalištu sabijen i zarobljen pod zemljom, dotok kisika i vlage koji su nužni za mikrobiološku razgradnju biorazgradljivog materijala je smanjen, pa se takvi materijali na odlagalištu ne mogu razgraditi. Prema europskoj normi *EN 13432*, materijal se treba u potpunosti razgraditi u roku od 90 dana. No razgradnja na odlagalištu može trajati i godinama, a može uzrokovati i probleme, npr. s procjednim vodama. Jednako tako treba imati na umu i problem miješanja biorazgradljivog otpada s odvojenim plastičnim otpadom koji je u sustavu recikliranja. Primjerice, PET boce se jednostavno mehanički recikliraju, no kvaliteta reciklata izravno ovisi o čistoći ulaznog otpada. Rastuće tržište boca od polimera mliječne kiseline (PLA) (slika 3) može praviti smetnju pri recikliranju PET

boca. PLA može biti proizveden od kukuruza, pšenice ili šećerne trske, a iako je materijal još uvijek ograničene primjene, njegove su mogućnosti velike i može se očekivati njegov porast na tržištu ambalaža. No s povećanjem broja takvih boca na tržištu neizbježno će doći i do povećanja njihove količine u otpadu.



SLIKA 3. PLA boce tvrtke Natureworks LLC⁷

PLA se raspada na CO₂, vodu i biomasu u kontroliranim uvjetima kompostiranja za manje od 90 dana. No kontrolirani uvjeti kompostiranja su u pogonima gdje se

biljni otpad razgrađuje posredovanjem mikroorganizama u gnojivo, a temperatura komposta doseže i 140 °C tijekom 10 dana uzastopno. U uvjetima nereguliranog kompostiranja, odnosno na odlagalištu, pretpostavlja se da bi se PLA boca ponašala kao PET boca, odnosno razgrađivala bi se od 100 do 1 000 godina.⁸

Potrošači neće razlikovati PET i PLA bocu jer se vizualno ne razlikuju, i odlagat će ih zajedno. No tvrtkama za recikliranje PET otpada PLA boce su onečišćenje, dakle moraju ih odvojiti i zbrinuti, što donosi dodatan trošak.

Primjena bioplastičnih materijala

Neke od najvažnijih primjena biorazgradljive plastike navedene su na slici 4. Najveća je primjena ambalaža, s 39 %, slijedi ambalaža za popunu praznog prostora u paketima, zatim razne vreće i vrećice, vlakna i sve ostalo.

Mnogi su bioplastični materijali mješavine koje sadržavaju i sintetske komponente.

U tablici 1 navedene su vrste bioplastičnih materijala dostupne na tržištu. Sintetski dodaci dodaju se u malenim količinama u svrhu poboljšanja uporabnih svojstava gotovog proizvoda i širenja područja primjene. Također se različiti tipovi bioplastičnih materijala kombiniraju jedni s drugima i dobivaju se mješavine ili poluproizvodi poput višeslojnog filma. Npr. papir i bioplastika pokazuju izvrsne rezultate kada se kombiniraju i zajedno prerađuju.¹⁰



SLIKA 4. Primjena biorazgradljive plastike⁹

TABLICA 1. Vrste bioplastičnih materijala dostupne na tržištu¹⁰

Bioplastika	Osnova polimera	Prednosti	Nedostatci	Primjena	Proizvođač (tržišno ime)
škrob	bioosnova	niska cijena, brza biorazgradnja	loša mehanička svojstva, hidrofilnost	penasti proizvodi, filmovi i vreće, otpresci	Novamont (Materbi) Plantic Technologies Rodenberg (Solanyl) Biotec (Bioplast) National Starch (ECO-FOAM)
poli(hidroksi-alkanoat), PHA	bioosnova	iznimno brza biorazgradnja, postojan na utjecaj vode	visoka cijena	otpresci	Biomer (Biomer) Metabolix P&G
celuloza i celulozni acetat, CA	bioosnova	visoka čvrstoća, postojan na utjecaj vode	teškoće pri preradbi, vrlo loša biorazgradljivost	kompoziti, vlaknaste oplate	UCB (Natureflex) Mazzucchelli (Bioceta)
polimeri masnih kiselina (na osnovi trigliceridnih ulja)	bioosnova	visoka čvrstoća	krhki, loša biorazgradljivost	kompoziti, ljepila, kompatibilizatori	Dow UDelaware
ligninski polimeri	bioosnova	visoka čvrstoća	krhki, loša biorazgradljivost	kompoziti, ljepila, kompatibilizatori	Borregard (Lignopol)
kolagensko-želatinski polimeri	bioosnova	visoka čvrstoća	nereproducibilna svojstva	filmovi	
polilaktid, PLA	bio- i fosilna osnova	visoka čvrstoća	krhak	injekcijski prešane tvorevine, vlakna	Cargill-Dow (NatureWorks) Boehringer
poliglikolna kiselina, PGA	fosilna osnova	visoka čvrstoća	krhak, topljiv u vodi	vlakna, kirurški konci	Davis and Greck Ethicon
polikaprolakton, PCL	fosilna osnova	postojan na utjecaj vode	nisko talište	vreće za kompostiranje, ambalaža za zamrzavanje	Solvay (Capa)
poli(vinil-alkohol), PVOH	fosilna osnova	dobra barijerna svojstva	loša biorazgradljivost, topljiv u vodi	filmovi	
sintetski poliesteri	fosilna osnova	visoka čvrstoća, dobra preradljivost	relativno visoka cijena	filmovi, otpresci	BASF (Ecoflex) Shova (Bionolle) DuPont (Biomax) IRE Polymers Estman (Estar Bio)

Polimer mliječne kiseline američke tvrtke *NatureWorks* načinjen je od mliječne kiseline koja se dobiva fermentacijom od dekstroze dobivene od škroba, najčešće kukuruza. Za 1 kg PLA potrebno je oko 2,5 kg kukuruza. Od materijala se uglavnom izrađuje ambalaža, primjerice boce ili toplo oblikovana ambalaža (slika 5).



SLIKA 5. Toplo oblikovana ambalaža tvrtke *NatureWorks*⁷

Škrobno-poliesterske mješavine tvrtke *Novamont*, *Origo-Bi* i *Mater-Bi* bioplastični su materijali načinjeni na bio- i fosilnoj osnovi. Primjerice, za izradbu vrećice rabi se 50 % škroba iz kukuruza ili krumpira te 50 % polikaprolaktona koji se dobiva od cikloheksana i octene kiseline. Uobičajeni proizvodi su filmovi (slika 6), pjenasti proizvodi, prešani i ekstrudirani proizvodi, uglavnom ambalaža i higijenski proizvodi.



SLIKA 6. Ambalažni filmovi tvrtke *Novamont*¹¹

Biorazgradljivi materijal na fosilnoj osnovi, *Ecoflex*, alifatsko-aromatski poliestar tvrtke *BASF*, najčešće se rabi za miješanje s bioplastikom od škroba ili PLA radi poboljšanja svojstava ambalaže. Drugi materijal iste tvrtke, *Ecovio* (slika 7), mješavina je *Ecoflexa* s materijalom koji je načinjen od PLA od kukuruza. Najčešća primjena su filmovi i folije, vrećice i ostala ambalaža, a može se miješati i s nekim drugim biorazgradljivim polimerima.



SLIKA 7. Vrećica od materijala *Ecovio* tvrtke *BASF*¹²

Bilo bi neopravdano reći da biorazgradljivi polimeri nemaju opravdanu primjenu. Primjerice, ambalaža za prehrambene proizvode koja će se kompostirati zajedno sa sadržajem kojemu je prošao rok trajanja ili se pokvario. Ili filmovi za malčiranje (prekrivanje tla slojem za to prikladnog materijala koji sprječava isušivanje tla i rast korova, a istodobno postupnim raspadanjem obogaćuje tlo organskom tvari te tako poboljšava njegovu strukturu)¹³ u poljoprivredi, koji se polažu oko poljoprivredne kulture (slika 8). Nakon žetve se jednostavno ostave na tlu koje se preore, što je jednostavno rješenje, a uz to se i tlo obogaćuje ugljikom. Ili posude za sadnju u vrtlarstvu koje se ukopaju u zemlju zajedno s biljkom. I, dakako, već niz godina u primjeni, kirurški konci koji se nakon vremena razgrade, odnosno tijelo ih apsorbira.



SLIKA 8. Biorazgradljivi film za malčiranje¹¹

Zaključak

Ono što treba zapamtiti iz cijele priče jest da biorazgradljivost ili bioosnova nisu sinonim za prihvatljivost za okoliš, a za svaki pojedini proizvod mora se provesti analiza životnog ciklusa kako bi se uvidio njegov utjecaj na okoliš. Plastika na bioosnovi je dobrodošla, no samo u primjenama koje su uporabno i gospodarski opravdane, ne pod svaku cijenu i pogotovo ne ako ide nauštrb uzgoja poljoprivrednih kultura za potrebe hrane za ljude i životinje. Biorazgradljivost je samo dodatna funkcija plastike bez obzira na način na koji je dobivena sirovina, odnosno treba izbjegavati diskriminaciju bilo kojeg materijala ovisno o njegovoj osnovi. Biorazgradljivost ne rješava problem otpada jer otpad nije problem pojedinog materijala, nego društva u cjelini, odnosno potrošača koji ga ne zbrinjava na prihvatljiv način.

LITERATURA

1. N. N.: *Bioplastics*, www.european-bioplastics.org/index.php?id=131, 20. 7. 2007.
2. Johansson, J.-E.: *Plastics – a vital enabler in an integrated resource management strategy* Landfill to recovery, *PlasticsEurope*, Otepää, 11. 5. 2007.
3. Arras, S., Käh, H.: *Bioplastics*, *Kunststoffe international*, 97(2007)10, 109-115.
4. N. N.: *Compostable, biodegradable bioplastics*, www.worldcentric.org/store/bioplastics.htm, 20. 7. 2007.
5. De Wilde, B.: *Industrial composting*, *Bioplastics magazine* 03/2007, Germany, 2007.
6. N. N.: *Plastics Products made of Bioplastics*, Position paper, *PlasticsEurope*, Brussels, 19. 2. 2007.
7. www.natureworkslc.com
8. Royt, E.: *Corn plastic to the rescue*, www.smitsonianmagazine.com/issues/2006/august/pla.php?, 10. 9. 2007.
9. Platt, D. K.: *Biodegradable Polymers*, Market Report, *Smithers Rapra Limited*, Shawbury, 2006.
10. Smith, R.: *Biodegradable polymers for industrial applications*, *Woodhead Publishing Ltd*, Abington Hall, Cambridge, 2005.
11. www.novamont.com
12. www2.basf.de
13. Kukoč, M.: *Ušteda vremena i novca*, www.slobodnadalmacija.hr/20050209/vrt01.asp