



ambalaža i okoliš  
packaging and the environment

MAJA RUJNIĆ-SOKELE,  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

# BIORAZGRADIVA AMBALAŽA etičko pitanje

Opća je tendencija identificiranja prihvatljivosti nekog proizvoda za okoliš isključivo na temelju njegovih specifičnih svojstava.

Često se biorazgradivi ili bioplastični materijali smatraju boljima od plastičnih, budući da već sam prefiks *bio* dovodi do zaključka da takav proizvod mora biti bolji od proizvoda koji taj prefiks nema, no svojstvo biorazgradivosti ili bioosnova na kojoj je neki proizvod načinjen nije *a priori* sinonim za prihvatljivost za okoliš.

## BIORAZGRADNJA I BIOOSNOVA

Pojam biopolimer ili bioplastika ustvari sadrži dva značenja. Prvo je informacija o ponašanju materijala na kraju njegova životnog vijeka, a drugo osnova od koje je načinjen. Biorazgradivi polimeri se na kraju svog životnog vijeka razlažu uslijed djelovanja enzimske aktivnosti prirodnih mikroorganizama kao što su bakterije, gljivice ili alge, a pritom se pretvaraju u vodu, ugljikov dioksid i/ili metan i novu biomasu. Većina biopolimera je razgradiva, no svojstvo biorazgradivosti izravno je povezano s kemijskom strukturom materijala, a ne s izvorom sirovine. Kao posljedica toga, postoje sintetski polimeri koji su biorazgradivi, kao i polimeri načinjeni na bioosnovi koji to nisu. Svi

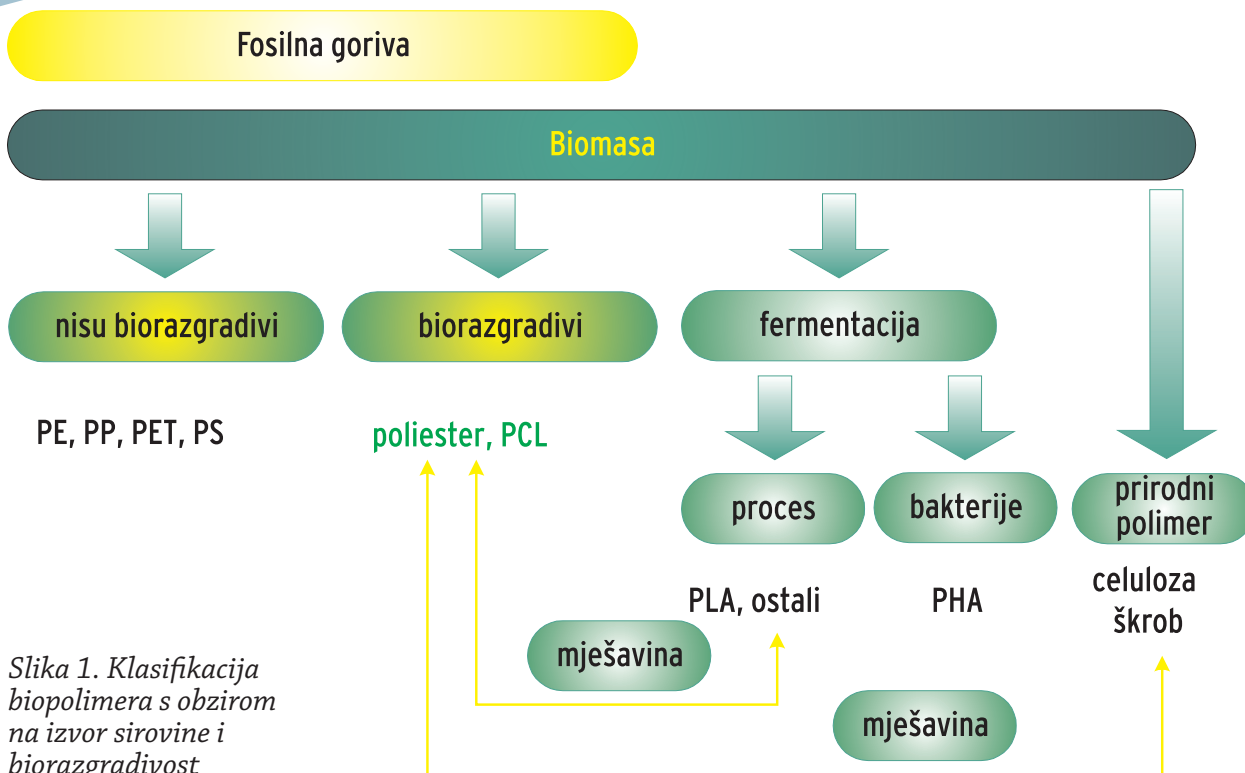
prirodni polimeri na osnovi ugljika, npr. škrob, celuloza, lignin, odnosno monomeri koji se od njih načine, su biorazgradivi, a najčešće se mogu preradivati na uobičajenoj opremi za preradu polimera. S druge strane, plastika na osnovi prirodnih materijala gubi svojstvo biorazgradivosti zbog kemijske modifikacije i polimerizacije. Na slici 1 prikazana je klasifikacija biopolimera s obzirom na izvor sirovine i biorazgradivost.

Europska norma EN 13432 definira kompostabilnost plastike, te opisuje metode za određivanje biorazgradnje polimera u industrijskim pogonima za kompostiranje. Materijal je biorazgradiv kada je razgradnja rezultat djelovanja mikroorganizama, a da bi biorazgradivi materijali bili podobni za kompostiranje, važna su dva svojstva: biorazgradivost i dezintegracija. Dezintegracija je fizičko raspadanje biorazgradivog materijala, ili preciznije proizvoda, u vrlo sitne vizualno nerazlučive djele, na kraju uobičajenog ciklusa kompostiranja. Kompostabilan materijal je onaj materijal kojem se polimerni lanci raspadaju pod djelovanjem mikroorganizama (bakterija, algi, gljivica), pri



Rad prezentiran na međunarodnom savjetovanju "Ambalaža – danas i sutra",  
15. - 17. svibnja 2008, NP "Plitvička jezera"

## BIORAZGRADIVA AMBALAŽA – ETIČKO PITANJE



Slika 1. Klasifikacija biopolimera s obzirom na izvor sirovine i biorazgradivost

čemu se postigne potpuna mineralizacija (razlaganje organske molekule u anorganske dijelove, odnosno pretvaranje u  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , anorganske spojeve i biomasu pod aerobnim uvjetima), pri čemu brzina mineralizacije treba biti visoka i kompatibilna s procesom kompostiranja. Većina postojećih međunarodnih normi zahtijeva biorazgradnju od 60% unutar 180 dana uz dodatne kriterije koje plastika mora zadovoljiti da bi se mogla zvati kompostabilnom. Važno je napomenuti kako svi biorazgradivi materijali nisu ujedno i kompostabilni.

No postoje i neke druge vrste razgradivosti koje nisu definirane normama. Oksidacijski biorazgradiva plastika razgrađuje se zbog dodatka koji potaknu i ubrzaju razgradnju, a inicira se prirodnim svjetlošću, toplinom i/ili mehaničkim naprezanjem. Fotoražgradiva plastika razgrađuje se zbog djelovanja UV svjetlosti, koja razgrađuje kemijsku vezu ili kemijsku strukturu materijala, a vodotopiva plastika otapa se u vodi u određenom temperaturnom rasponu nakon čega se biorazgrađuje u dodiru s mikroorganizmima.

Polimeri na bioosnovi koji nisu biorazgradivi niti kompostabilni najčešće su celulozni derivati, npr. celulozni acetat ili polietilen načinjen od etilena načinjenog od etanola dobivenog od šećerne trske ili poliamid od ricinusova ulja. Polimeri na bioosnovi, koji su ujedno i biorazgradivi, odnosno kompostabilni uključuju škrobne mješavine, odnosno materijale načinjene od polisaharida kao

što su kukuruz, krumpir ili pšenica, zatim poliestere načinjene mikroorganizmima ili od biljaka kao što je poli(hidroksi-alkanoat) (PHA) ili poliestere od monomera načinjenih na bioosnovi, kao što su polimeri mliječne kiseline, polilaktidi (PLA). Naposljetku, biorazgradivi, odnosno kompostabilni polimeri načinjeni od fosilnih goriva uključuju aromatske i alifatske poliestere, poli(vinil-alkohol)-e (PVOH), polikaprolakton (PCL), te modificirane polimere, npr. polietilen s dodacima koji iniciraju razgradnju.

Polimer mliječne kiseline, PLA, je biorazgradivi plastomer koji se dobiva iz obnovljivih izvora, najčešće od kukuruznog škroba. Iz kukuruza se izvlači dekstroza iz koje se bakterijskom fermentacijom dobiva mliječna kiselina koja se polimerizira u PLA. Za proizvodnju 1 kg PLA potrebno je u prosjeku oko 2,5 kg kukuruza. No taj materijal se može svrstati u skupinu biopolimera na fosilnoj osnovi, u alifatske poliestere, budući da ga je moguće proizvesti i od nafte.

Mnogi bioplastični materijali su mješavine koje sadržavaju i sintetske dodatke u svrhu poboljšanja uporabnih svojstava gotovog proizvoda i proširenja područja primjene. Također se različiti tipovi biopolimera kombiniraju jedni s drugima i dobivaju se mješavine ili poluproizvodi poput filma. Na slici 2 prikazana je pjenasta ambalaža od *Ecovio L Foam* materijala tvrtke BASF. Materijal se sastoji od *Ecoflex* materijala (alifatsko-aromatskog

kopoliestera) istog proizvođača i PLA (više od 75%), a može se prerađivati na istim strojevima koji se rabe za preradu pjenastog polistirena.

### JESU LI OPRAVDANI ARGUMENTI ZA PODUPIRANJE BIOPLASTIKE?

Tri su osnovna argumenta za podupiranje korištenja biosnove za proizvodnju plastike. Prvi je očuvanje prirodnih resursa, posebno nafte. Međutim, fosilna goriva se danas najviše koriste za transport i grijanje (87%), 9% otpada na kemikalije i ostalu primjenu, a samo 4% nafte služi kao sirovina za proizvodnju polimera. Uz današnji udio bioplastike na tržištu (2007. je proizvedeno oko 300 000 tona bioplastičnih materijala, što čini 0,12 % ukupne proizvodnje polimera), ukupni efekt zamjene fosilnih goriva biomasom bit će vrlo mali upravo zbog malog udjela fosilnih goriva za proizvodnju plastike. U budućnosti se ne očekuje puno veći udio bioplastičnih materijala na tržištu, odnosno bioplastika će uvijek biti specifični materijal u količinama oko 1% ukupno proizvedene plastike.

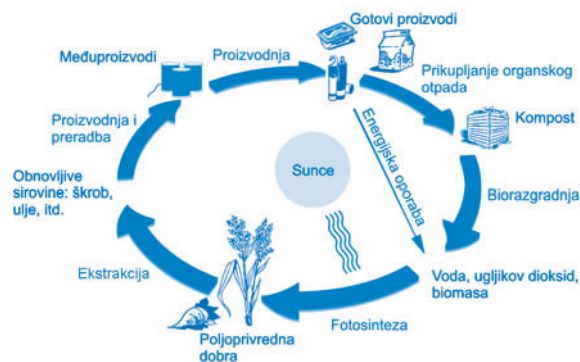
Drugi argument je ekološki, odnosno smatra se da se primjenom biopolimera smanjuju emisije stakleničkih plinova što pridonosi zaštiti klime. Na slici 3 prikazan je idealan životni ciklus biorazgradivih polimera, a osnovna ideja preuzeta je iz prirode. Diljem svijeta više od 100 milijardi tona organskog materijala nastaje fotosintezom, koji na kraju životnog ciklusa opet završe kao polazni produkti ( $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ ).

$\text{CO}_2$  neutralnost bioplastike vezana je uz korištenje biljaka. Međutim, faza proizvodnje, od žetve, proizvodnje materijala pa sve do kompostiranja, zahtijeva konvencionalne izvore energije, koji pridonose  $\text{CO}_2$  emisijama. Ne treba zaboraviti da poljoprivredni uzgoj zahtijeva zemlju, vodu, gnojiva, proizvode za zaštitu usjeva, a uz sve to troši energiju i dakako uzrokuje emisije. Na slici 4 prikazane su granice analize životnog ciklusa za ambalažu od PLA. Također treba imati na umu da primjena plastike pridonosi djelotvornom korištenju energije i smanjenju stakleničkih plinova posebno u fazi primjene, što se ne bi smjelo ugroziti neopravdanim usmjeravanjem pažnje samo na izvor sirovine.

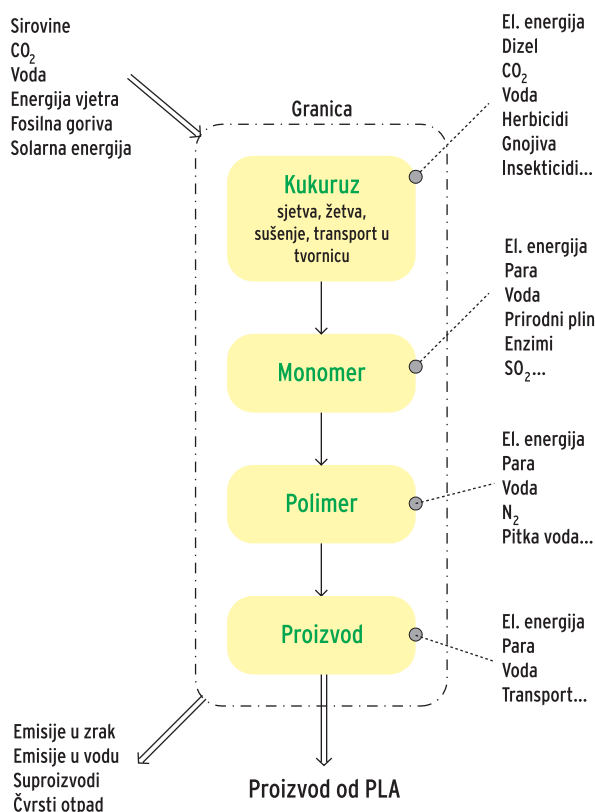
Treći argument je politički. Političari podupiru korištenje biomase za proizvodnju biopolimera (i biogoriva) i daju potporu poljoprivrednicima, jer to omogućuje novu primjenu i namjenu poljoprivrednih proizvoda. Uz to, promocija poljoprivrednih proizvoda za industrijske svrhe nije ograničena propisima Svjetske trgovinske organizacije. Proizvodnja bioplastike ima iste probleme kao i proizvodnja biogoriva ili bioetanola, budući da za sirovine konkurira proizvodnji hrane. Obradive površine, koje nisu neograničeno dostupne, moraju se dijeliti na uzgoj poljoprivrednih kultura za ljudsku hranu i prehranu životinja, proizvodnju biogoriva i sirovina za plastiku. Posljedica toga je porast cijena određenih poljoprivrednih proizvoda (kukuruz, uljana



Slika 2. Pjenasta ambalaža tvrtke BASF



Slika 3. Idealni zatvoreni životni ciklus biorazgradivih proizvoda



Slika 4. Granice za LCA analizu PLA proizvoda

## BIORAZGRADIVA AMBALAŽA – ETIČKO PITANJE

repica...) pa tako i hrane, na što poljoprivrednici odgovaraju povećanjem površina pod određenim kulturama (američki poljoprivrednici su prošle godine povećali površine pod kukuruzom 15%). Preusmjeravanjem proizvodnih resursa i obradive zemlje na proizvodnju kultura za biogoriva i bioplastiku dovodi se u pitanje proizvodnja dovoljnih količina hrane. Manjak obradivog zemljišta može pak intenzivirati raskršćivanje postojećih šumskih područja.

Nužna je promišljena upotreba obradivog zemljišta jer uzgoj monokultura (npr. kukuruza) za biogorivo ili bioplastiku može dovesti do smanjenja plodnosti tla i biološke raznolikosti. Industrijska proizvodnja kukuruza zahtijeva više dušičnih gnojiva, herbicida i pesticida (monokulture su podložne najezdama kukaca), što pridonosi eroziji tla i zagađenju voda.

### PREDNOSTI BIOPOLIMERA

Između biorazgradive i nerazgradive plastike postoje razlike koje su važne za neke posebne primjene. U načelu je plastika namijenjena izradi trajnih proizvoda (više od 60% plastičnih proizvoda namijenjeno je trajanju duljem od dvije godine)<sup>1</sup>, pa biorazgradivost treba smatrati funkcijskim svojstvom koje je na raspolaganju samo kada je to primjereno. Na kraju svog životnog vijeka biorazgradiva plastika ima dodatnu mogućnost zbrinjavanja – kompostiranje ili biorazgradnju u tlu. To dodatno svojstvo proizvoda, npr. ambalaže ili filma u poljoprivredi, najbolje je iskorišteno kada donosi jasnu prednost za korisnika, odnosno kada dopunjuje funkciju proizvoda pružanjem dodatne prednosti u usporedbi s nerazgradivim proizvodima. Primjer je kompostiranje proizvoda kojem je prošao rok upotrebe ili se pokvario zajedno s njegovom ambalažom, čime se uklanja potreba za uklanjanjem ambalaže i njezinim posebnim zbrinjavanjem. U poljoprivredi su posebno važni 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 popravlja njegovu strukturu) koji se polažu oko poljoprivredne kulture. Nakon žetve se jednostavno ostave na tlu koje se preore, što je jednostavno rješenje, a uz to se i tlo obogaćuje ugljikom.

Materijali na bioosnovi pridonose ostvarivanju ciljeva *Kyotskog protokola*, no njihov doprinos smanjivanju emisija plinova koji utječu na klimatske plinove ostat će relativno mali u predvidivoj budućnosti. Biorazgradnja kompostabilnog proizvoda na kraju njegova životnog vijeka također može dovesti do dodatnih emisija. No, pozitivna strana biorazgradnje je što je sporija od spaljivanja, čime se odgađa otpuštanje CO<sub>2</sub> 12 mjeseci ili više. S druge strane, proizvodi na bioosnovi mogu pozitivno pridonijeti sniženju emisija CO<sub>2</sub> samo

ukoliko se spale nakon uporabe, čime se osigurava da emitirani CO<sub>2</sub> zamijeni CO<sub>2</sub> dobiven izgaranjem fosilnih goriva. Dodatna prednost mogla bi se postići njihovim recikliranjem budući da će i to odgoditi otpuštanje CO<sub>2</sub> toliko dugo koliko se oni nalaze u sustavu recikliranja.

### ZBRINJAVANJE BIORAZGRADIVIH POLIMERA

Za otpadne tokove koje sadrže biorazgradivu i kompostabilnu plastiku, kao i za bilo koji drugi razgradivi otpad, trebale bi biti otvorene sve mogućnosti njegova zbrinjavanja, uključujući energijsku uporabu. Uz konvencionalne postupke uporabe, mehaničko recikliranje, kemijsko recikliranje i energijsku uporabu, biorazgradivi proizvodi mogu se kompostirati (aerobna razgradnja) ili razgraditi digestijom (anaerobna razgradnja).<sup>5</sup> Kako bi se izbjegle smetnje u postojećim sustavima recikliranja, važno je osigurati da samo otpad koji ispunjava zahtjeve postrojenja bude usmjeren na kompostiranje ili digestiju. Energijska uporaba često je bolja od kompostiranja, budući da se nazad dobije energijski sadržaj materijala.

Kada se biorazgradivi otpad odloži na odlagalište, dotok kisika i vlage koji su nužni za mikrobiološku razgradnju biorazgradivog materijala je smanjen, budući da je otpad sabijen i zarobljen pod zemljom, pa se ne može razgraditi u vremenu propisanom normom. Razgradnja na odlagalištu može trajati i godinama, a poznati su primjeri vrlo dobro čitljivih novina koje su na odlagalištu bile dulje od 50 godina. Prilikom razgradnje dolazi do stvaranja metana, ugljikovog dioksida i drugih kemijskih spojeva koji na odlagalištu nisu poželjni. U usporedbi s tim, plastični otpad se na odlagalištu razgrađuje vrlo sporo, pa iako to nije povoljno s obzirom na sve manje kapacitete odlagališta, to isto tako znači da je CO<sub>2</sub> uskladišten (sekvestriран) u tlu, a onečišćenje zraka i vode je svedeno na najmanju mjeru. Podaci o tome što se zaista događa s biorazgradivim polimerima na odlagalištu još uvijek nisu dostupni, no bilo koji plinovi koji se stvaraju razgradnjom mogu biti opasni za okoliš, pa moderna odlagališta zahtijevaju odvajanje ili predobradu bilo kakvog biorazgradivog otpada, čak i papira i kartona.

Treba imati na umu i moguć problem miješanja biorazgradivog 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 (slika 5) može praviti smetnju pri recikliranju PET boca, budući da potrošači neće razlikovati PET i PLA boce koje se vizualno ne razlikuju i odlagat će ih zajedno. No tvrtkama za recikliranje PET otpada PLA boce predstavljaju onečišćenje, dakle



Slika 5. PLA boca vizualno se ne razlikuje od PET boce

morat će ih odvojiti i zbrinuti, što će predstavljati dodatni trošak.

Isto tako treba imati na umu da biorazgradivost ne rješava problem otpada, budući da otpad nije problem pojedinog materijala, nego društva u cjelini, odnosno potrošača koji ga ne zbrinjava na prihvatljivi način. Posebno je opasna promocija biorazgradivih vrećica, koja može čak i povećati količinu otpada davanjem pogrešnog stava kako su te vrećice prihvatljivije za okoliš, čime se ustvari potiče njihovo odbacivanje u okoliš, a zaboravlja se da one do trenutka svoje razgradnje predstavljaju isti problem kao i obične plastične vrećice.

## ZAKLJUČAK

Nema jednostavnih, crnih i bijelih odgovora na pitanje što je bolje ili lošije za okoliš i društvo u cjelini, biorazgradiva ili nerazgradiva ambalaža. U usporedbi te dvije opcije, nema jasnog pobjednika, a za svaki pojedini proizvod mora se provesti

analiza životnog ciklusa kako bi se u potpunosti sagledao njihov utjecaj na okoliš. Plastika na bioosnovi, bilo biorazgradiva ili ne, je dobrodošla, no samo u primjenama koje su uporabno i gospodarski opravdane, ne pod svaku cijenu i pogotovo ne ako ide na uštrb uzgoja poljoprivrednih kultura za potrebe hrane za ljude i životinje. Biorazgradivost je samo dodatna funkcija plastike bez obzira na način na koji je dobivena sirovina, pa treba izbjegavati diskriminaciju bilo kojeg materijala ovisno o njegovoj osnovi. A naročito moramo biti svjesni posljedica koje nastaju korištenjem poljoprivrednih kultura za izradu potrošačkih proizvoda, čime se namjena obradivog zemljišta preusmjerava s proizvodnje hrane za rastuću svjetsku populaciju na neka druga, manje važna područja. Na svu sreću, i u svijetu je već došlo do spoznaje kako se za proizvodnju biogoriva ili bioplastike ne smije rabiti hrana, jer to dovodi do većih šteta nego koristi. Pa se tako smije iskoristiti stabljika kukuruza, ali ne i zrnje koje mora biti za hranu. Pogotovo se ne smiju krčiti šume i pretvarati u poljoprivredno zemljište, jer to dovodi do velikih poremećaja u okolišu.

## ZAHVALA

Rad je dio istraživanja u okviru projekta *Povišenje učinkovitosti razvoja i preradbe polimernih proizvoda* financiranog od Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske. Autorica zahvaljuje Ministarstvu na potpori tom projektu.

## LITERATURA

1. Vendrell, G.: *Polymers: Ffuture trends towards sustainability*, [http://journesdupetrole.aftp.net/files/24-Atelier7\\_AFTP\\_Vendrell.pdf](http://journesdupetrole.aftp.net/files/24-Atelier7_AFTP_Vendrell.pdf)
2. *Biodegradable Plastics - Developments and Environmental Impacts*, [www.environment.gov.au/settlements/publications/waste/degradables/biodegradable/chapter6.html](http://www.environment.gov.au/settlements/publications/waste/degradables/biodegradable/chapter6.html)
3. Bobić, V.: *Onečišćenje tla naftnim ugljikovodicima – bioobnova: mogućnosti, učinkovitost, iskustva, Goriva i maziva* 44(2005)1, 9-34.
4. *Compostable, biodegradable bioplastics*, [www.worldcentric.org/store/bioplastics.htm](http://www.worldcentric.org/store/bioplastics.htm)
5. *Plastics Products made of Bioplastics*, Position paper, PlasticsEurope, Brussels, 19.2.2007.
6. *Corn used as raw material for plastic bottles and fabrics*, [www.engineerlive.com/european-chemical-engineer/safety-in-the-plant/13234/corn-used-as-raw-material-for-plastic-bottles-and-fabrics.shtml](http://www.engineerlive.com/european-chemical-engineer/safety-in-the-plant/13234/corn-used-as-raw-material-for-plastic-bottles-and-fabrics.shtml)
7. *The development of biodegradable and biobased plastics goes on*, [www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU-en\\_GB/portal/show/common/plasticsportal\\_news/2007/07\\_269](http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU-en_GB/portal/show/common/plasticsportal_news/2007/07_269)
8. Arras, S., Käß, H.: *Bioplastics*, *Kunststoffe international*, 97(2007)10, 109-115.
9. *Commitee on agriculture, enviroment and agriculture*, [www.ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/011/j9289e.pdf](http://www.ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/011/j9289e.pdf)
10. Altieri, M. A., Bravo, E.: *The ecological and social tragedy of crop-based biofuel production in the Americas*, <http://www.foodfirst.org/node/1662>
11. Kukoč, M.: *Ušteda vremena i novca*, [www.slobodnadalmacija.hr/20050209/vrt01.asp](http://www.slobodnadalmacija.hr/20050209/vrt01.asp)
12. *Life cycle inventory of five products produced from polylactide (PLA) and petroleum-based resins*, Athena Institute International, 11.06.
13. [www.globalpackagegallery.com/main.php/v/bev/bottled+water/](http://www.globalpackagegallery.com/main.php/v/bev/bottled+water/)

