

# PET ili staklo - pitanje je sad!

**Priredila:** Maja RUJNIĆ-SOKELE, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

S početkom provođenja *Pravilnika o postupanju s ambalažnim otpadom* u medijima su se proteklih mjeseci mogli čuti i pročitati razni netočni navodi vezani uz PET ambalažu. Primjerice, u *Vjesniku* od 16. siječnja 2006. predsjednica *Zelene akcije* Jagoda Munić tvrdi da proizvodnja PET boce od pola litre stvara 100 puta više toksičnih emisija koje odlaze u zrak i vodu nego proizvodnja staklene boce iste veličine, a za proizvodnju jednog kilograma PET-a potroši se gotovo devet puta više energije nego što je potrebno za proizvodnju kilograma stakla. Jedan od argumenata protiv PET-a jest i taj što se staklo poslije može iskoristiti za izradbu novih boca, a PET boce se više ne mogu upotrijebiti za čuvanje napitaka, nego, na primjer, u vlaknima za sagove, u odjeći, građevinarstvu i drugim proizvodima koji se više ne mogu reciklirati.<sup>1</sup>

Jesu li tvrdnje *Zelene akcije* o ekološkoj prihvatljivosti PET boca utemeljene, pokušat će se odgovoriti u sljedećem tekstu.

Staklena ambalaža više je od 1 000 godina bila odlično rješenje za čuvanje kapljevine. Međutim, današnje moderno doba zahtijeva jeftiniju ambalažu, koja se lako transportira, a većega je korisnog volumena, što je dovelo do razvoja plastičnih, posebno PET boca. Staklo je još konkurentno pri izradbi specijalnih boca manjeg volumena, no za pakiranje gaziranih napitaka u količinama većima od 1 L, PET ambalaža bolji je izbor. PET boca je prilagođena današnjem načinu života, a svoju popularnost temelji na izvrsnoj prozirnosti, sposobnosti održavanja svježine (posebno gaziranih napitaka), odličnoj žilavosti pri maloj masi boce te nelomljivosti. U slučaju izbora PET ambalaže, omjer mase ambalaže prema masi napitka vrlo je povoljan, čime se bitno smanjuju troškovi transporta. Primjerice, uobičajeno transportno vozilo prevozi 93 % pića i samo 7 % PET ambalaže u usporedbi s 57 % pića zapakiranog u čak 43 % (neželjenog) stakla.<sup>2</sup> Omjer je posebno povoljan za PET boce kada se mjeri potrošnja goriva prema jednoj litri dostavljenog napitka.

PET boce prave se postupkom injekcijskoga razvlačnog puhanja. Pripremak se pravi injekcijskim prešanjem, razvrstava se i postavlja u peć da bi se toplinski kondicionirao i puhao. Toplinski kondicionirani pripremak umetne se u kalup za puhanje, a zatim naglo rastegne. Za aksijalno razvlačenje najčešće se primjenjuje šipka za razvlačenje u kombinaciji s visokim tlakom zraka koji raz-

vlači pripremak radijalno. Dvoosnim razvlačenjem poboljšavaju se svojstva proizvoda: čvrstoća, prozirnost, žilavost, nepropusnost na plinove i pare. Parametri koji utječu na postupak razvlačenja jesu temperatura, stupanj i brzina razvlačenja te brzina hlađenja. Puhalice za izradbu dvoosno orijentiranih PET boca razlikuju se u veličini ovisno o zahtjevima linije za punjenje, budući da se boce najčešće prave u punionici napitaka. Uobičajene puhalice imaju učin od 200 do 850 kg PET-a na sat, a u jednom se ciklusu može izraditi i 96 boca.

Jedna od osnovnih prednosti PET-a kao ambalažnog materijala jest mogućnost oporabe (recikliranja). Od otpadnih PET boca prave se poliesterska vlakna za proizvodnju cipela, prsluka i majica (za izradbu jedne *flis* majice potrebno je samo 35 PET boca), a mogu se uporabiti i u proizvodima kao što su sagovi ili automobilski dijelovi. No sve se više reciklirani PET rabi za proizvodnju novih boca (postupak recikliranja *boca u bocu*), budući da posjeduje jedinstvenu karakteristiku da tijekom procesa recikliranja poboljšava svoja svojstva pa se unatoč različitoj

kvaliteti ulaza može postići konstantna kvaliteta proizvoda.

Naposlijetku, treba napomenuti da je otpadni PET i vrijedno gorivo, s visokim sadržajem energije (23 MJ/kg), što je ekvivalentno energijskom sadržaju drvenog ugljena. Izgaranje PET ambalaže s oporabom energije, bilo samostalno ili s ostalim čvrstim kućnim otpadom, prema tome je energijski opravdano. Izgaranjem PET-a ne stvaraju se dioksini, tvari koje su štetne za ozonski sloj, a količina stakleničkih plinova koja se stvara ne razlikuje se od one količine koja se stvara izgaranjem bilo kojega fosilnoga goriva. Od preostalih tvari koje se mogu naći u plinovima izgaranja, niti jedna nije klasificirana kao otrovna.

Za proizvodnju jednog kilograma stakla za boce potrebno je utrošiti bruto energiju od 12,7 MJ, dok je za proizvodnju iste količine PET-a potrebno utrošiti gotovo 6,5 puta više - 83,8 MJ (slika 1).<sup>3</sup> Prema europskom udruženju plastičarskih proizvođača *Plastics Europe*, za proizvodnju 1 kg PET boca potrebno je utrošiti 104 MJ energije (tablica 1).<sup>4</sup>

TABLICA 1. Bruto energija potrebna za proizvodnju 1 kg PET boca<sup>4</sup>

Vrsta goriva	Energija za proizvodnju i dostavu goriva, MJ	Sadržaj energije goriva, MJ	Potrošnja energije u transportu, MJ	Energija sirovine, MJ	Ukupna energija, MJ
Električna energija	27,07	11,8	0,54	-	39,4
Nafta	0,49	9,64	0,08	22,5	32,7
Ostala goriva	0,64	13,9	0,03	17,3	31,9



SLIKA 1. Bruto energija potrebna za izradbu 1 kg materijala<sup>3</sup>

Međutim, jednostavna usporedba energije potrebne za proizvodnju staklene i PET boce vodi na krive zaključke. Obje boce služe za dostavu napitaka do potrošača, no kada se usporede sredstva (sirovine, energija itd.) iskorištena za dostavu jedne litre napitka, situacija je posve drukčija. Uobičajena boca volumena 1,5 L za pakiranje mineralne vode ima masu od 28 g, dok staklena boca volumena 1 L ima masu od 450 do 500 g. Od jednog kilograma stakla mogu se izraditi samo dvije boce, odnosno mogu se zapakirati 2 L napitka, dok se od 1 kg PET-a može izraditi 35 boca, odnosno zapakirati više od 50 L napitka. Jednostavan izračun potrošnje energije po jednoj litri napitka tada ide u korist PET-a, budući da se u slučaju pakiranja u staklenu bocu potroši 6,5 MJ/L, a u slučaju pakiranja u PET 2 MJ/L.

Svaki proizvod, bio on načinjen od drva, stakla, plastike, gume, papira ili metala, utječe na okoliš. Taj utjecaj ovisi o različitim čimbenicima tijekom proizvodnje sirovina, proizvodnje tvorevina, uporabe proizvoda, pa sve do njegova konačnog zbrinjavanja. Analiza životnog ciklusa jedna je od metoda kojom se definira, kvantificira i vrednuje utjecaj proizvoda na okoliš od početka proizvodnje do njegova uništenja, *od kolijevke do groba*. Okoliš pritom djeluje kao izvor svih ulaza, ali i kao konačnica svih izlaza iz sustava. Popis utjecajnih čimbenika praktički je neograničen: utrošak materijala i energije, opterećenje vode, zraka i tla, buka, utjecaj na klimu i oštećivanje ozonskog omotača, mogućnosti i troškovi uporabe i uništenja proizvoda itd.

U Belgiji je 1994. godine načinjena analiza životnog ciklusa PVC, PET i staklene boce, a rezultati su prikazani u tablici 2.<sup>5</sup> Analiza se temeljila na pakiranju 1000 L mineralne vode, pri čemu je pretpostavljen broj povrata staklene boce od 30 puta, a udaljenost od punionice do distribucijskog centra 200 km.

Iz tablice 2 vidljivo je da, ako se usporede utjecaji na okoliš nepovratne (jednokratne) plastične i povratne staklene ambalaže na temelju 1 000 L zapakirane mineralne vode, staklena boca ne pokazuje veću prihvatljivost u mnogim parametrima (posebno je povećana potrošnja vode i njezino onečišćenje), pa nema osnove za ekološko davanje prednosti staklenoj ambalaži.

Vrlo je zanimljiv njemački primjer postupanja s ambalažnim otpadom. Njemačka reciklira najviše kućnog otpada po stanovniku u razvijenom svijetu. Kućanstva su od 1991. godine obvezna odvajati ambalažni otpad (staklo, plastiku, aluminij i ostale materijale) u posebne spremnike *DSD (Duales System Deutschland GmbH)* sustava, službene organizacije za sakupljanje i recikliranje ambalažnog otpada. Proizvođači pića obvezni su pakirati osvježavajuća pića, pivo i vino u ambalažu prihvatljivu za okoliš, a visoke kvote

za recikliranje ambalaže za osvježavajuća pića (staklo - 90 %, aluminij - 90 % i plastika - 80 %) dovele su do rasta udjela povratne ambalaže.

Obvezni depozit na jednokratnu ambalažu za mineralnu vodu, osvježavajuća pića i pivo uveden je 1. siječnja 2003., a obvezivao je kupce da plate depozit od minimalno 0,25 eura za jednokratnu ambalažu za gazirana pića (0,50 eura za ambalažu volumena 1,5 L i veću). Povrat depozita mogao se tražiti isključivo u trgovinama gdje je piće kupljeno uz predočenje računa, a cilj uvođenja depozita bio je stabiliziranje udjela nepovratne ambalaže na tržištu (kao *ekološki prihvatljivije*) i promjena mentaliteta *kupi i baci*. Od svibnja 2005. depozit na jednokratnu ambalažu ujednačen je na 0,25 eura za bilo koji volumen ambalaže.

Od svibnja 2006. depozit će postati obvezan za svu jednokratnu ambalažu volumena od 0,1 do 3 L, što uključuje ambalažu za pivo, mineralnu vodu i gazirana bezalkoholna pića, ali i negazirana bezalkoholna pića (npr. ledene čajeve) te osvježavajuća pića s malim postotkom alkohola. Izuzeta od depozita ostaje ambalaža za voćne sokove, mlijeko i vino te složenci, kompoziti.

*Institut za istraživanje energije i okoliša (IFEU)* za njemačko je *Ministarstvo okoliša (UBA)* proveo dvije analize životnog ciklusa ambalaže za pića. Prvo istraživanje, *UBA* <sup>6</sup>, provedeno 1995., usporedilo je ambalažu za svježe mlijeko (povratna staklena boca, PE vrećica i složenac) i pivo (povratna i nepovratna staklena boca, aluminijska i čelična limenka).

TABLICA 2. Utjecaji na okoliš staklene, PVC i PET boce (na temelju 1000 L mineralne vode)<sup>5</sup>

Pakiranje 1 000 L mineralne vode	Staklena boca, povratna, 1 L	PET boca, nepovratna, 1,5 L	PVC boca, nepovratna, 1,5 L
<i>Potrošnja fosilnih goriva</i>			
Potrošnja fosilnih goriva - ukupno, MJ	1 780	2 610	1 970
Potrošnja fosilnih goriva - energija, MJ	1 780	1 880	1 240
Potrošnja fosilnih goriva - materijal, MJ	0	736	724
Potrošnja anorganskih sirovina, kg	26,7	0,18	11,6
Potrošnja procesne vode, kg	2 110	402	521
<i>Onečišćenje</i>			
Efekt globalnog zagrijavanja, kg CO <sub>2</sub> -ekv.	168	191	116
Fotokemijski oksidanti, g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekv.	260	333	206
Acidifikacija (zakiseljavanje tla), g SO <sub>2</sub> -ekv.	995	761	1060
Eutrofikacija*, g PO <sub>4</sub> -ekv.	126	93,7	83,1
Kemijska potrošnja kisika (COD), g	245	65,3	46,0
Neradioaktivni otpad, kg	18,18	14,45	14,3
Radioaktivni otpad, g	3,72	3,54	3,22
<i>Toksičnost</i>			
Onečišćenje zraka, m <sup>3</sup> jedinica onečišćenog zraka	306 000	216 000	232 000
Onečišćenje vode, m <sup>3</sup> jedinica onečišćene vode	246	27,3	60,0
Dioksini, ng TEQ (ekvivalent toksičnosti dioksina) - proizvodnja	137	-	1,07
Dioksini, ng TEQ - energija	9,62	8,03	3,12

\*postupno obogaćivanje ekosustava elementima kao što su dušik i fosfor

Zaključak je prve studije da jednokratna polietilenska vrećica za mlijeko ima najmanji utjecaj na okoliš za većinu parametara, a iza nje slijedi povratna staklena boca. Rezultat studije pokazao je da uobičajeno davanje prednosti povratnoj ambalaži nije uvijek opravdano s motrišta utjecaja na okoliš.

Drugo istraživanje, *UBA II*<sup>7</sup> iz 2000., usporedilo je ambalažu za mineralnu vodu, vino, sokove i bezalkoholna gazirana pića. Studija je pokazala da su ekološki profili povratne i nepovratne ambalaže bitno različiti (slika 2).<sup>8</sup> U slučaju povratne ambalaže, distribucija i pranje boca najviše utječu na okoliš, dok u slučaju jednokratne ambalaže proizvodnja ambalaže i ambalažnog materijala ima najveći utjecaj. Za sve sustave ambalaže, rezultati dobro koreliraju s ukupnom potrošnjom energije. Drugim riječima, potrošnja energije ambalažnog sustava gotovo određuje njegov utjecaj na okoliš.

Zaključci studije *UBA II*, koje je iznijelo Ministarstvo okoliša, bili su sljedeći:

- za mineralnu vodu i gazirana bezalkoholna pića - postojeća povratna PET boca ekološki je prihvatljivija od postojeće povratne staklene boce

- za gazirana osvježavajuća pića - nepovratne staklene boce te aluminijske i čelične limenke ekološki znatno nepovoljnije utječu na okoliš u usporedbi s usporedivim povratnim sustavima.

No sa zaključcima studije nisu se svi slagali. Tvrtka *Prognos AG*, koja je sudjelovala u izradi studije *UBA II*, objavila je svoje zaključke:<sup>9</sup>

- sustav povratne ambalaže nije sam po sebi ekološki povoljniji od sustava nepovratne ambalaže

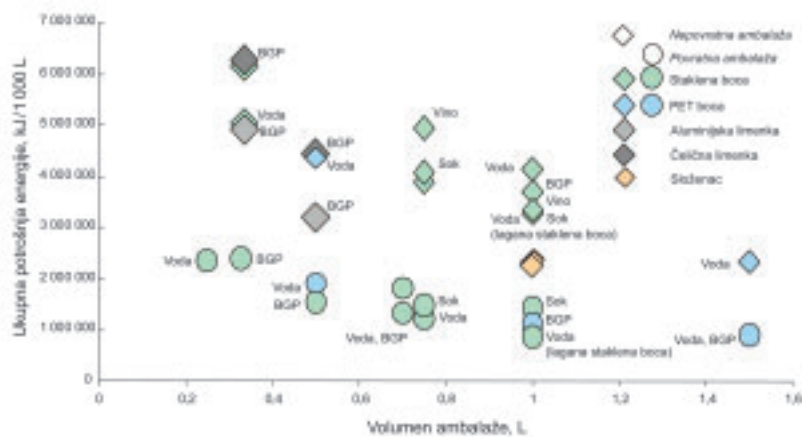
- razlike u utjecaju na okoliš različitih ambalažnih sustava za pića u velikoj mjeri ovise o volumenu ambalaže i o transportnim udaljenostima u distribuciji.

Potvrda, odnosno dokaz ekološke prednosti ili nedostatka jednokratne prema povratnoj ambalaži prema tome nisu mogući jer se može zaključiti sljedeće:

- što je volumen ambalaže veći, manji su specifični utjecaji na okoliš (na 1 000 L) (Povratna i jednokratna ambalaža većeg volumena imat će manji utjecaj na okoliš od malih spremnika napravljenih od istoga ambalažnog materijala.)

- pri malim transportnim udaljenostima povratna staklena ambalaža ekološki je prihvatljivija od jednokratne ambalaže, no s povećanjem udaljenosti lagana jednokratna ambalaža (svi ambalažni materijali osim stakla) manje utječe na okoliš od povratne staklene ambalaže.

Povratne staklene boce relativno su teške i nespretne, pa zahtijevaju gotovo dva puta više kamiona na cesti za distribuciju ekvivalentne količine napitaka u PET bocama, stoga nakon određene transportne udaljenosti jednokratne PET boce imaju manji negati-



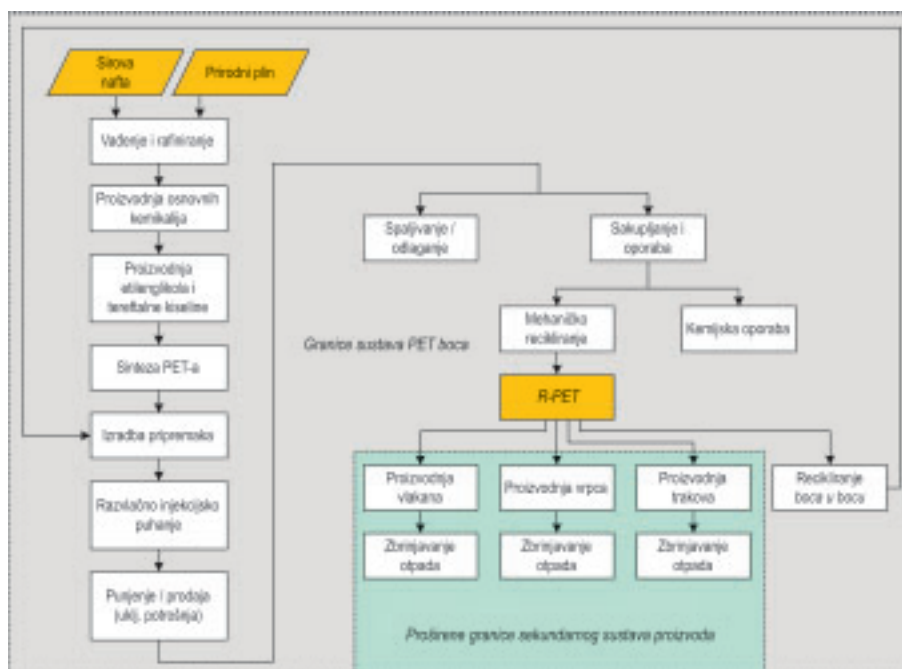
SLIKA 2. Analiza životnog ciklusa ambalaže za pića - ukupna potrošnja energije na 1 000 L zapakiranog pića, BGP - bezalkoholno gazirano piće<sup>8</sup>

van utjecaj na okoliš. Studija je procijenila da točka kada povratni sustavi prestaju biti prihvatljiviji za okoliš leži u rasponu od 100 do 1 000 km, što znači da su lokalni proizvodni sustavi mogući kandidati za povratne sustave ambalaže koji su ekološki prihvatljiviji, nacionalni sustavi su granični (zavisni od slučaja do slučaja), a internacionalni sustavi koji bi radili s povratom ambalaže uopće nisu ekološki prihvatljivi.

Međutim, studija je naišla i na prigovore stručnjaka koji su smatrali da je PET u njoj prikazan *nefer* budući da je samo 50 % ekoloških povlastica pripisano PET boci, a ostalih 50 % daljnjoj (krajnjoj) upotrebi. Staklo se reciklira u staklo, metal u metal, karton u karton, no situacija s PET-om je drukčija. Većina PET boca reciklira se u ne-PET-ne primjene kao što su poliesterska vlakna, trake i ploče. Samo se relativno malen postotak reciklira u PET boce. U takvim slučajevima,

LCA znanstvenici primijenili su *salamonsko rješenje* i PET bocama dodijelili 50 % koristi, a reciklatima (npr. poliesterskim vlaknima) preostalih 50 %. Međutim, u normi ISO 14 040 stoji da se u takvim slučajevima mogu primijeniti *proširene granice sustava* (slika 3)<sup>10</sup>, a u slučaju PET boca analiza bi trebala obuhvatiti sve glavne sustave recikliranja PET boca.

PETCORE, neprofitno europsko udruženje koje promiče razvoj i primjenu PET spremnika, 2004. godine naručilo je studiju koju je proveo *Institut za istraživanje energije i okoliša (IFEU GmbH)* iz Heidelberga. Studija je, uzimajući u obzir *proširene granice sustava*, usporedila nepovratnu PET bocu za mineralnu vodu, gazirana i negazirana pića i povratnu staklenu bocu za iste napitke s obzirom na dva načina uporabe - preko odvojenog sakupljanja (*DSD* sustav) i preko sustava depozita.



SLIKA 3. Pojednostavnjeni model *proširenih granica* jednokratne PET ambalaže<sup>10</sup>

Rezultati su svedeni na jedinicu od 1 000 L, a najvažniji zaključci studije pokazali su sljedeće:<sup>10</sup>

- uz uvjete odvojenoga sakupljanja PET boca, staklena i plastična boca imaju isti utjecaj na okoliš, odnosno nema jasne prednosti za okoliš primijeni li se staklena ili pak plastična ambalaža (slika 4)
- uz uvjete depozita, utjecaj jednokratne PET boce na okoliš se smanjuje, što uglavnom duguje činjenici da se većina PET depozitnih boca šalje na recikliranje na Daleki istok. Razlika u utjecaju na okoliš nestala bi ako bi se boce reciklirale u Europi, kao što je slučaj s DSD bocama.

Studija je pokazala da su jednokratne PET boce podjednako ekološki prihvatljive kao i povratne staklene boce pod uvjetom odvojenog sakupljanja (unutar DSD sustava), što bi značilo da bi se PET boce trebale izdvojiti iz sustava depozita i vratiti u DSD sustav.

Studija je također pokazala da nema razlike reciklira li se PET u vlakna ili vrpce za pakiranje ili se vraća u boce postupkom boca u

bocu, odnosno da svaki postupak recikliranja ima pozitivan utjecaj na okolišni profil PET boca.

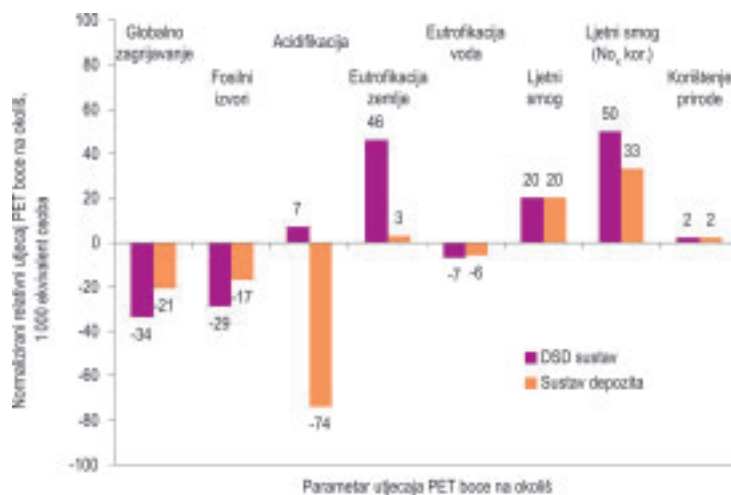
Iz svega bi se moglo zaključiti da niti jedna studija ne daje rezultate koji bi bili prihvatljivi svima, budući da se čak i suradnici na istim projektima razilaze u interpretaciji rezultata, najvjerojatnije zbog razilaženja u političkoj ideologiji. No niti jedna studija nije dokazala ekološku neprihvatljivost PET ambalaže u korist staklene ambalaže, pa su neargumentirane tvrdnje o ekološkoj prednosti staklene ambalaže potpuno neprihvatljive. Posebno treba napomenuti da su sve studije osnovnom ekološkom prednosti staklene ambalaže smatrale sposobnost njezine ponovne uporabe, odnosno mogućnost povrata, no svjedoci smo sve veće količine nepovratne staklene ambalaže, koja pokazuje iznimno loš utjecaj na okoliš, posebno u usporedbi s jednokratnom PET ambalažom.

Štoga se i na stranici DSD sustava na pitanje: Što je prihvatljivije za okoliš: staklena ili pla-

stična ambalaža?, može naći sljedeći odgovor: *Predrasuda o povoljnijem utjecaju staklene ambalaže na okoliš danas više univerzalno ne vrijedi. Na temelju analize životnoga ciklusa, jednokratna PET ambalaža za mineralnu vodu, gazirana bezalkoholna pića i pivo bolji je izbor sa stanovišta utjecaja na okoliš u usporedbi s povratnom staklenom ambalažom.*<sup>11</sup>

## LITERATURA:

1. Petrović, G.: *Stimulirati korištenje staklene ambalaže*, Tema dana, www.vjesnik.hr/html/2006/01/16/
2. N. N.: *DiscoverPlastics > Plastics Families > PET*, www.plasticseurope.org, 16. 1. 2006.
3. Hekkert, M. P., Joosten, A. J., Worell, E., Turkenberg, W. C.: *Reduction of CO<sub>2</sub> emissions by improved management of material and product use: the case of primary packaging*, Resources, Conservation and Recycling 29(2000) 33–64.
4. Boustead, I.: *Eco-profiles of the European Plastics Industry: PET bottles*, PlasticsEurope, ožujak 2005.
5. Borgo, E. et al.: *Retour of wegwerp?*, Bond Beter Leefmilieu Vlaanderen, www.bblv.be/dl.php/9/1/.pdf, 20. 3. 2006.
6. Schmitz, S. et al.: *Life cycle assessment for drinks packaging systems*, Umweltbundesamt, Berlin, ožujak 1996.
7. N. N.: *Life Cycle Assessment (LCA) for Drinks Packaging Systems II - Summary*, www.euroopen.be/issues/lca/LCA\_workshop/Presentations/UBA%20II%20Summary.doc
8. N. N.: *ECOLAS - PIRA Annexes 03/07884 - Implementation of Packaging Directive, Prevention and Reuse - draft* (23. 4. 2004.), europa.eu.int/comm/environment/waste/pdf\_commments/040702interim\_report.pdf, 20. 3. 2006.
9. N. N.: *Conclusions published by Prognos AG in October 2002 following the last results of phase II of the UBA II project LCA for drinks packaging*, www.apecal.org/Contents/Environment/PROGNOS.pdf
10. N. N.: *LCA Summary: One-way PET levels with refillable glass*, IFEU, PETCORE, rujun 2004.
11. N. N.: *Verpackungen Grüner Punkt*, www.gruener-punkt.de, 20. 3. 2006.



SLIKA 4. Normalizirani relativni rezultati utjecaja na okoliš jednokratne PET boce volumena 1,5 L (predočeno u jedinici ekvivalent osoba) u usporedbi s povratnom staklenom bocom volumena 0,7 L (referentna os, vrijednosti utjecaja stakla na okoliš = 0)<sup>10</sup>

## KALENDAR STRUČNIH SKUPOVA

Priredila: Gordana BARIĆ

### 2006. godina

8. – 9. 5.

#### PETnology Forum Europe 2006, München, Njemačka

**Obavijesti:** Barbara Appel, Conference Organization, PETnology Forum Europe 2006, Tel.: +49 941 87 02 374, Faks: +49 941 87 02 373, E-mail: bappel@petnology.com, www.petnology.com

11. – 15. 9.

#### TMT 2006 - 10<sup>th</sup> International Research/Expert Conference Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, Lloret de Mar, Španjolska

**Obavijesti:** Dr. sc. Sabahudin Ekinović, University of Zenica, Faculty of Mechanical Engineering, Fakultetska 1 BIH-72000 Zenica, Tel.: +387 32 444 430, Faks: +387 32 444 431, E-mail: sekinovic@mf.unze.ba, www.mf.unze.ba

25. - 27. 10.

#### ENERGIJA I OKOLIŠ 2006, Opatija, Hrvatska

**Obavijesti:** Prof. dr. sc. Bernard Franković, Hrvatski savez za sunčevu energiju, Vukovarska 58, HR-51000 Rijeka, Tel./Faks: +385 51 675 801, E-mail: hsse@riteh.hr, www.riteh.hr/ee2006