



www.ror.edu.rs

UDK: 502.131.1:678.7

ODRŽIVI RAZVOJ I POLIMERNI MATERIJALI

SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND POLYMER MATERIALS

Slobodan Jovanović^{1, #}, Jasna V. Džunuzović²

¹Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

²IHTM-Centar za Hemiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

IZVOD – U poslednjih dvadesetak godina došlo je do naglog porasta primene polimernih materijala u praktično svim oblastima ljudskih delatnosti, a naročito za izradu ambalaže. I pored toga, u svetu, a i kod nas, dosta često se čuju ideje da polimerni materijali zadovoljavaju sve tehničke i ekonomske uslove, ali zbog toga što ne mogu da se uklape u kružni tok materije u prirodi oni zagađuju životnu sredinu i samim tim ne zadovoljavaju ekološke kriterijume, pa ih ne treba koristiti npr. za izradu ambalaže, a naročito ne ambalaže za pakovanje životnih namirnica.

U prvom delu ovoga rada ukazano je na razloge koji su doveli do zagađenja naše planete zemlje i šta se čini u cilju očuvanja životne sredine i prihvatanju i uvođenju u život ideje o održivom razvoju. U drugom delu rada je na izabranim primerima pokazano koliki doprinos održivom razvoju se ostvaruje primenom polimernih materijala na bazi fosilnih ili obnovljivih sirovina. Pokazano je takođe da se recikliranjem polimernog otpada u nove materijale i sirovine ili njegovim sagorevanjem mogu ostvariti značajne uštede u sirovinama i energiji i tako dodatno doprineti održivom razvoju. Pored toga, polimerni materijali su značajno uticali na ubrzan razvoj velikog broja tehnologija, kao što su npr: tehnologija proizvodnje transportnih sredstava, građevinarstva, elektronike i elektrotehnike, grafičke tehnike, tekstila, sportske opreme i tako na jedan specifičan način doprineli smanjenoj potrošnji sirovina, energije i emisije CO₂. Na osnovu prikazanih podataka može se zaključiti da su polimerni materijali ekološki materijali i da je to jedan od razloga što je za polimerne materijale za sledećih dvadeset godina predviđen godišnji porast proizvodnje od 4 do 8 %.

Ključne reči: održivi razvoj, polimerni materijali

ABSTRACT - *In the last twenty years, a rapid growth in the application of polymer materials occurred in practically all fields of human activities, especially for packaging. Never the less, in the world and our country, quite often one can hear the ideas that polymer materials satisfy all the technical and economic requirements, but because they cannot fit into the circular flow of matter in nature, they pollute the environment and therefore do not satisfy the environmental criteria, so they should not be used for example, for packaging and in particular not for food packaging.*

In the first part of this article the reasons which led to the pollution of our planet earth are pointed out and also what is done in order to preserve the environment and to accept

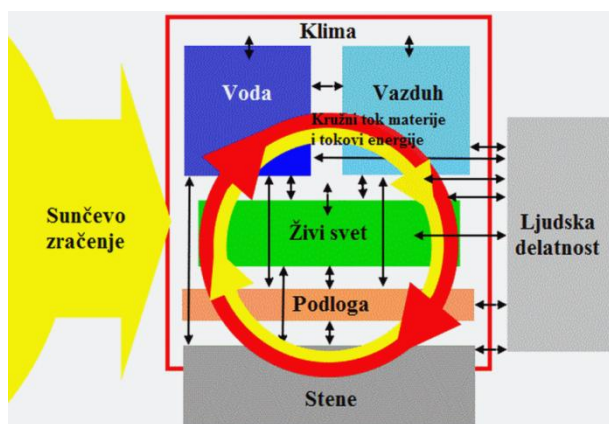
[#] Kontakt adresa autora: S. Jovanović, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, 11000 Beograd, Srbija.
E-mail: bobajov@open.telekom.rs

and introduce into the life ideas of sustainable development. In the second part it is shown, on selected examples, in which amount application of polymer materials based on fossil or renewable raw materials contributes to sustainable development. It is also shown that by recycling of polymer waste into new materials and raw materials or its combustion, significant savings in raw materials and energy can be achieved, which further contributes to sustainable development. In addition, polymer materials have significantly contributed to the rapid development of many technologies, such as: technology of transport vehicles production, construction, electronics and electrotechnics, graphic techniques, textiles, sports equipment and in a specific manner contributed to the reduced consumption of raw materials, energy and CO₂ emission. Based on the presented data it can be concluded that the polymer materials are environmentally friendly, which is one of the reason for planned annual polymer production growth of 4 to 8% in the next twenty years.

Key words: sustainable development, polymer materials

1. STANJE ZAGAĐENOSTI ZEMLJE

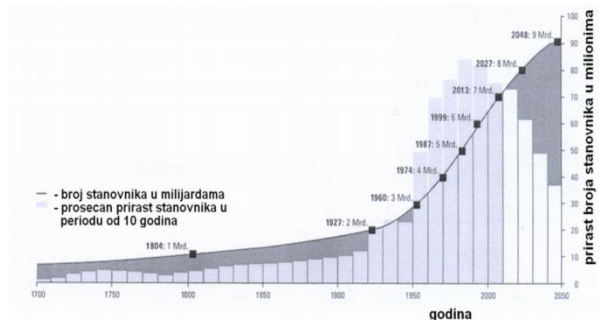
Eko sistem naše planete – zemlje čine, kao što se vidi na slici 1, stene, podloga, voda, vazduh i između njih živi svet. Energija za opstanak eko sistema zemlje dolazi od sunca [1].



Slika 1. Šematski uprošćen prikaz ekosistema naše planete – zemlje

Kao što se vidi na slici 1 između svih komponenata eko sistema dolazi do interakcija različitih vrsta, koje su označene vertikalnim strelicama. Približno konstantan priliv energije sunčevog zračenja u toku jedne godine ima za posledicu uspostavljanje dinamičke ravnoteže između komponenata eko sistema i per-manentnog kružnog toka energije i materije. Sveukupnost ovih interakcija određuje klimu na zemlji, a samim tim i uslove opstanka živog sveta. Na promene klime na zemlji do početka dvadesetog veka odlučujući uticaj imao je priliv sunčeve energije. Situacija se menja tokom dvadesetog veka.

Na slici 2 prikazan je porast broja stanovnika na zemlji.



Slika 2. Porast broja stanovnika na zemlji od 1700. do 2007. godine i prognoza do 2050. godine

Kao što se vidi na slici 2, broj stanovnika na zemlji počeo je ubrzano da raste od 1910. godine i već u oktobru mesecu 2011. godine dostigao cifru od 7 milijardi. Prema predviđanjima, koja su do sada rađena u 2050. godini, ako ne bude nepredviđenih katastrofa, broj stanovnika treba da dostigne brojku od 9 milijardi.

Ubrzano povećanje broja stanovnika na zemlji u periodu od 1910. godine do danas posledica je naglog razvoja industrije, mehanizacije poljoprivrede i proizvodnje sve većih količina hrane, razvoja hemije i medicine, kao i sve veće industrijske proizvodnje različitih vrsta dobara. Ubrzan razvoj industrije je praćen nekontrolisanim porastom potrošnje raspoloživih sirovina i energije, kao i nastajanjem ogromnih količina otpada svih vrsta. Na slici 1 prikazano je da proizvodi ljudske delatnosti na zemlji u tome periodu počinju da utiču na sve komponente eko sistema zemlje (horizontalne strelice) i remete uspostavljenju ravnotežu i kružne tokove materije i energije na zemlji. Eko sistem

zemlje ima sposobnost da određene količine otpada prihvati bez posledica po uspostavljeno ravnotežno stanje. Međutim, kada količina otpada koju ljudi odbacuju pređe jednu kritičnu količinu dolazi do narušavanja uspostavljene ravnoteže i trajnih promena u eko sistemu zemlje sa nesagledivim posledicama.

Razvoj društva, kao i izvori sirovina nisu geografski ravnomerno raspoređeni, pa je došlo do podele na mali broj razvijenih – bogatih zemalja u kojima živi oko 15 % stanovništva koje raspolaže sa oko 80 % svetskog kapitala i koje troši prekomerne količine sirovina i energije i permanentno vodi ratove. Sa druge strane 85

% stanovnika raspolaže sa 20 % svetskog kapitala troše samo toliko sirovina i energije koliko im je potrebno, a vrlo često i nedovoljno za održavanje života. Oko 20 % stanovnika zemlje živi u siromaštvu i troši maksimum 1 dolar dnevno. Prema podacima svetske banke razlike u standardu građana razvijenih i nerazvijenih zemalja će rasti do 2015. godine [2]. U tim zemljama godišnje umire veliki broj dece i građana zbog nedostatka hrane i čiste vode. Ilustracije radi, u tabeli 1 prikazano je koliko jedna hiljada stanovnika neke razvijene zemlje (npr. Nemačka) i nerazvijene zemlje učestvuje u korišćenju opštih dobara.

Tabela 1. Učešće u korišćenju zajedničkih dobara i opterećenju životne sredine 1000 stanovnika Nemačke i neke prosečno nerazvijene zemlje u toku jedne godine

Učešće u korišćenju dobara i opterećenju životne sredine	Razvijena zemlja	Nerazvijena zemlja
korišćenjem energije, TJ	158	22
emisija CO ₂ , tone	13.700	130
fluorovani i hlorovani ugljovodonici, kg	450	16
transport roba, tkm	4.391.000	776.000
transport putnika kolima, Pkm	9.126.000	904.000
putničkih automobila, kom.	443	6
potrošnja cementa, tone	413	56
potrošnja čelika, tone	665	5
specijalni otpad, tone	187	oko 2

Prekomerna proizvodnja i potrošnja dobara u razvijenim zemljama ima za posledicu i nastajanje velike količine otpada. Ilustracije radi u tabeli 2 prikazana je samo količina komunalnog otpada po glavi stanovnika i godini za nekoliko izabranih zemalja.

Za zbrinjavanje otpada USA i Kanada potroše zajedno godišnje 47,6, EU zemlje 42,0, Japan 30,5 i

Švajcarska 2,3 milijarde dolara. Zemlje u razvoju imaju daleko manju količinu otpada, ali nemaju dovoljno sredstava za zbrinjavanje ni te količine otpada. Komunalni otpad u tim zemljama delimično se odlaže na neuređene deponije, a najveća količina se odlaže na mesta koja nisu prihvatljiva za odlaganje otpada.

Tabela 2. Količina komunalnog otpada u kilogramima po glavi stanovnika i godini za nekoliko izabranih zemalja (OECD, 1994, 2007)

Zemlja	Otpad, kg/stanovnik	
	1994. god.	2007. god.
EU (27)	-	522
USA	744	-
Norveška	538	-
Luksemburg	504	-
Holandija	500	-
Danska	399	801
Nemačka	374	-
Švajcarska	336	-
Engleska	335	-
Švedska	301	-
Francuska	260	-
Italija	249	-
Austrija	216	-
Češka Republika	-	294
ZEMLJE U RAZVOJU	<< 100	-

Cena rešavanja problema otpada u Evropi je vrlo visoka. Primera radi, kada je grad Napulj (Italija) imao poznate probleme sa otpadom, Švajcarska je ponudila Italiji da prihvati taj otpad i da ga spaljuje po ceni od 110 do 150 €/toni.

Različitim ljudskim aktivnostima u poslednje vreme u atmosferi je povećana koncentracija svih relevantnih štetnih otpadnih gasova (CO₂, CO, NO_x, SO₂, O₃, hlorovani i fluorovani ugljovodonici) i time je značajno pojačan efekat "staklene bašte", odnosno uticaj na klimu [3]. Primera radi, u periodu između 1990. i 2007. godine emisija CO₂ nastalog iz fosilnih goriva i industrijskih procesa u svetu porasla je (prema različitim izvorima) za

34 do 38 % i u 2007. godini dostigla količinu od 32 milijarde tona. Između 1990. i 1999. godine emisija CO₂ je rasla po stopi od oko 1 % godišnje, a u periodu od 2000. do 2007. godine po stopi od 3,5 % godišnje. Ovakav porast emisije CO₂ nije predviđen ni jednom prognozom rađenom pre 2000. godine. Brzina rasta emisije CO₂ u poslednje tri godine blago je usporena samo u nekim razvijenim zemljama, zbog svetske finansijske krize i obustave rada određenog broja fabrika.

U tabeli 3 prikazan je udeo emisije CO₂ pet najvećih zagađivača u ukupnoj emisiji CO₂ u svetu.

Tabela 3. Udeo emisije CO₂ najvećih zagađivača u ukupnoj emisiji CO₂ u svetu

Zemlja	Kina	USA	EU - 17	Indija	Rusija
Udeo CO ₂ (mas.%)	24	21	12	8	6
Masa CO ₂ , t po glavi stanovnika	5,1	19,4	8,6	1,8	11,8

Do zagađenja planete zemlje došlo je zbog:

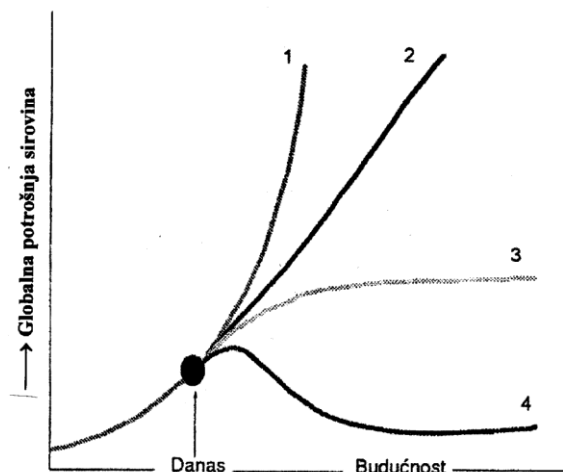
- naglog povećanja broja stanovnika na zemlji i sa tim povezanom prekomernom potrošnjom sirovina i energije i nastajanja neprihvatljivih količina otpada različitih vrsta i
- ograničenog kapaciteta eko sistema zemlje da bez posledica prihvati nastale količine otpada.

Prateći dinamiku potrošnje zajedničkih resursa i ugrožavanja životne sredine na zemlji, veliki broj naučnika je shvatio da će tolerisanje takvog stanja imati katastrofalne posledice za sve stanovnike zemlje. Naučnici su shvatili da je neophodno sa mogućim posledicama ovakvog stanja upoznati što veći broj stanovnika, a naročito političke elite svih zemalja sveta, koje su pojedinačno i zajedno najodgovornije za usmeravanje društva u pravcu koji će ljudima obezbediti dugoročni opstanak na zemlji.

U literaturi je objavljen veliki broj scenarija u kojima se daju prognoze o potrošnji sirovina i energije, i o merama, koje je neophodno sprovesti da bi se obezbedio čoveka dostojan život na zemlji. Na slici 3 prikazan je takav jedan scenario, koji je predložio S. Schmidt – Bleek [4].

U svojoj knjizi S. Schmidt – Bleek je detaljno obrazložio da brzina potrošnje sirovina na zemlji prikazana krivama 1, 2 i 3 vrlo brzo, brzo i usporeno, ali sigurno, vode svet u katastrofu. Jedino scenario prikazan krivom 4 na slici 3, koji podrazumeva uvođenje eko faktora 1:10, odnosno smanjenje sadašnje potrošnje

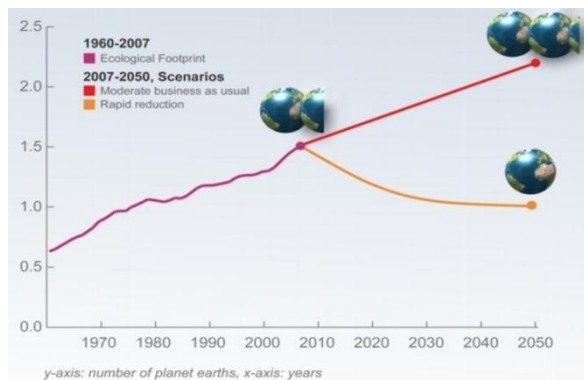
sirovina za 90 %, može da obezbedi i generacijama ljudi koje dolaze dugoročni boravak na zemlji.



Slika 3. Scenario potrošnje sirovina po S. Schmidt-Bleek-u i posledice (1–bez preduzimanja mera štednje, 2–zadržavanje sadašnjeg tempa potrošnje, 3–optimizacija proizvodnje i privatna štednja, 4–uvođenje eko-faktora 1:10 obezbeđuje dugoročni boravak ljudi na zemlji) [4]

Na slici 4 stručnjaci Komisije za zaštitu životne sredine UN prikazali su realne podatke o promeni stepena zagađenja naše planete sa vremenom do 2007. godine i svoju prognozu do 2050. godine. Stepenn zagađenja sa vrednošću 1 predstavlja kritični stepen zagađenja iznad kojeg naša planeta nije više u stanju da prihvati povećane količine otpada bez trajnih posledica

na stanje ranije uspostavljene ravnoteže u eko sistemu. Kao što se vidi na slici 4, kritični stepen zagađenja na zemlji je dostignut oko 1980. godine, a već 2007. godine stepen zagađenja je povećan za 50%.



Slika 4. Prikaz zagađenja planete zemlje do 2007. godine i scenario razvoja događaja do 2050. godine

Ako se ništa ne preduzme stepen zagađenja zemlje će u 2050. godini dostići vrednost 2,3, odnosno došlo bi do ireverzibilnih promena i drastičnog narušavanja stabilnosti eko sistema zemlje i promena klime, koje bi imale vrlo štetan uticaj na živi svet. Stručnjaci UN su ukazali da bi u periodu koji sledi bilo neophodno stepen zagađenja smanjiti ispod kritične vrednosti i tako obezbediti ljudima normalan život na zemlji.

1.1. Šta se preduzima u svetu u cilju zaštite životne sredine

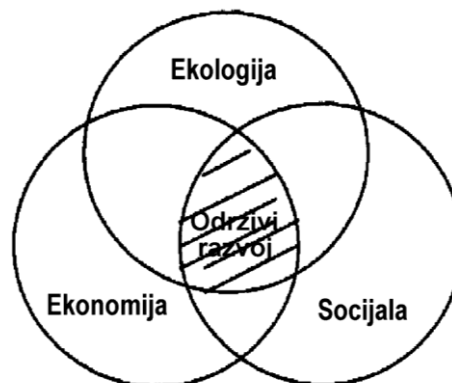
Pored naučnika i istraživača, i veliki broj političara i u najrazvijenijim zemljama sveta je shvatio da:

- planeta zemlja nije više u stanju sama da reši probleme izazvane prekomernom potrošnjom sirovina i prekomernim zagađenjem tla, voda i atmosfere, kao i da je opasnost od globalnog zagrevanja planete potpuno realna,
- nijedna zemlja na svetu, ma koliko bila velika i jaka, nije u stanju da samo svojim građanima garantuje bezbedne uslove za život, već da to može da se realizuje samo zajedničkim naporima svih zemalja sveta delovanjem npr. kroz Ujedinjene nacije.

U poslednjih tridesetak godina Ujedinjene nacije su organizovale veliki broj skupova na kojima su doneti različiti predlozi i neke najznačajnije odluke vezane za očuvanje životne sredine. U ovome tekstu će biti navedene neke od njih.

1987. godine jedna Komisija UN, koju je vodila premijerka Norveške (G.H.Brundtland) u svome izveštaju predložila je definiciju pojma održivog razvoja

po kojoj je to: "Razvoj koji zadovoljava potrebe čovečanstva danas, bez umanjavanja mogućnosti da buduće generacije zadovolje svoje egzistencijalne potrebe" [5]. Brandtland-komisija je u obrazloženju pojma održivog razvoja navela da on ne obuhvata samo zaštitu životne sredine, već ima i ekonomsku i socijalnu komponentu, kao što je to prikazano na slici 5.



Slika 5. Tri komponente održivog razvoja

Kao što se vidi na slici 5 ekološka, ekonomska i socijalna komponenta treba da budu ravnopravno zastupljene u održivom razvoju, jer se samo tako mogu smanjiti postojeće razlike u kvalitetu života i jednoga dana ostvariti ravnopravnost među stanovnicima na zemlji. Komisija je takođe konstatovala da održivi razvoj u budućnosti ne treba shvatiti kao jedan krut koncept, već da je on fleksibilan i da zavisi od vremena, obrazovanosti građana, stepena uređenosti država i njihovog bogatstva.

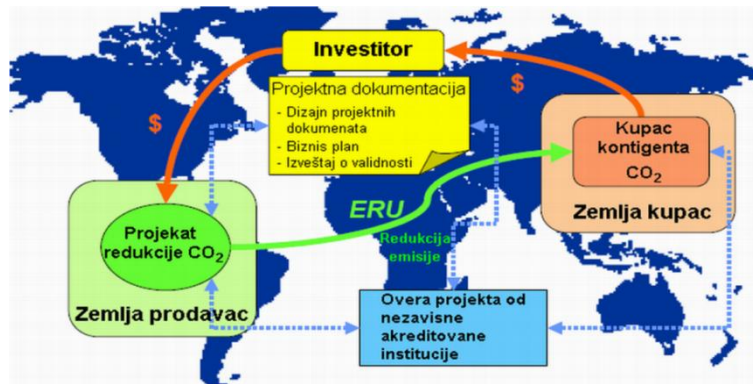
Od značaja je da se pomene i svetska konferencija o razvoju i zaštiti životne sredine, koja je održana 1992. godine u Rio de Ženeiru i na kojoj je održivi razvoj prihvaćen kao zajednički cilj svih članica UN (globalno partnerstvo) i na kojoj je sačinjena Agenda 21 u kojoj je opisan kompletan program rada na uvođenju održivog razvoja. 1997. godine su UN organizovale u Njujorku skup pod nazivom Rio-5-Konferencija „UNGAS“, na kojoj je Agenda 21 prihvaćena kao obavezujuća i svaka zemlja učesnica se obavezala da donese svoju Agendu 21 u kojoj ekološka, ekonomska i socijalna komponenta održivog razvoja moraju da budu ravnopravno zastupljene. Uspešna realizacija ciljeva Agende 21 u jednoj zemlji može da se realizuje samo pod uslovom da se svi građani informišu i prihvate ideju održivog razvoja i motivišu za rad na realizaciji ciljeva detaljno opisanih u Agendi 21 [6].

Ujedinjene nacije su 1997. godine organizovale sastanak u japanskom gradu Kyoto, koji je bio posvećen očuvanju klime na zemlji. Zemlje učesnice su prihvatile

da u periodu od 2008-2012. godine smanje za 5 % emisiju šest relevantnih gasova (CO₂, N₂O, metan, delimično halogenovani fluoro-ugljovodonici, perfluorougljovodonici i sumpor-heksafluorid) u odnosu na emisiju iz 1990. godine i tako doprinesu usporavanju globalnog zagrevanja. Uobičajeno je da se u komunikaciji ne navode svi navedeni štetni gasovi već se govori samo o količini emitovanog CO₂, ali se podrazumeva da su u toj količini drugi štetni gasovi uračunati tako što se njihova masa množi sa odgovarajućim koeficijentom, koji ukazuje koliko puta dati gas više doprinosi zagađenju životne sredine od CO₂. EU zemlje su se prihvatile da do 2012. godine smanje emisiju štetnih gasova za 8%. EU je objavila smernice RL 3003/87 i RL 2004/101 u kojima je definisala proceduru određivanja emisije CO₂ i zaduženja pojedinih članica.

U februaru 2005. godine stupio je na snagu Kyoto – protokol. Obaveze zemalja potpisnica, koje su učestvovali na skupu u Japanu i prihvatile da smanje emisiju CO₂, time su ozvaničene, odnosno postale obavezujuće. Zahvaljujući takozvanim „fleksibilnim mehanizmima“ Kyoto – protokola, danas je moguća međunarodna trgovina CO₂-kontigentima uz osnovnu ideju da je za klimu na zemlji u principu svejedno na kom delu zemlje će doći do emisije CO₂, odnosno na kom delu zemlje će se smanjiti emisija CO₂.

Zahvaljujući mogućnosti trgovine kontigentima CO₂ već je formiran određen broj firmi koje se profesionalno bave ovim poslom, odnosno, posredovanjem između prodavaca i kupaca CO₂ kontigenata. Na slici 6 prikazan je model njihovog funkcionisanja.



Slika 6. Model funkcionisanja trgovine sa CO₂ u svetu [7]

Kao što se vidi na slici 6 za funkcionisanje predloženog modela mora da postoje tri partnera: investitor, zemlja koja želi da se na njenoj teritoriji realizuju projekti koji doprinose smanjenju emisije CO₂ (prodavac) i firme ili institucije, koje imaju obavezu da smanje emisiju CO₂ (kupci) i kojima je povoljnije da tu svoju obavezu namire “kupovinom” odgovarajućeg kontigenta CO₂ bilo gde u svetu, nego u svojoj zemlji. Investitor formira projekte koji doprinose smanjenju emisije određene količine CO₂ i obezbeđuju sredstva za njihovu realizaciju na najpovoljnijim lokacijama u svetu. U najvećem broju slučajeva takvi projekti se realizuju u slabije razvijenim zemljama i delimično se finansiraju iz fondova za humanitarnu pomoć, pa se prodajom kontigenata CO₂ dobijaju dodatna sredstva za realizaciju ovih projekata. Na taj način su usmereni tokovi novca iz razvijenih u nerazvijene zemlje. Na slici 6 je takođe pokazano i da svi predlozi projekata, kao i gotovi

projekti, moraju da budu kontrolisani od strane nezavisnih institucija.

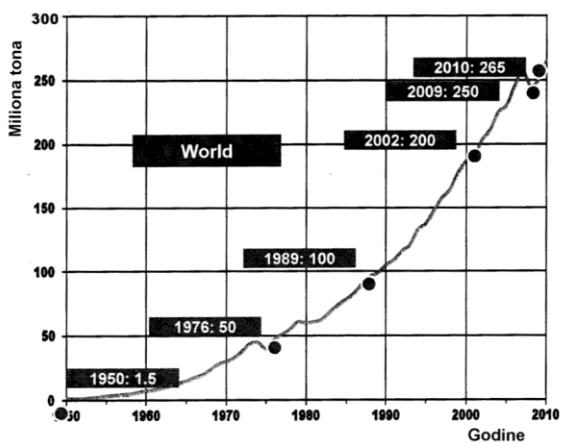
Rad na smanjenju emisije CO₂ može da se preduzme tek kada se npr. za jednu firmu, ustanovu, grad, regiju i celu zemlju odredi ukupna godišnja emisija CO₂ i definišu izvori emisije. Svaki emiter CO₂ dobija od odgovarajućih državnih organa zvaničnu informaciju sa kolikom emisijom štetnih gasova je zadužen i kolika mu je taksa za licencu da te gasove može da emituje. Procedura za ova određivanja je definisan normom ISO 14064-1. Svako verifikovano smanjenje emisije CO₂ ima za posledicu smanjenje takse. Ako neki emiter CO₂ bilo gde u svetu otkupi kontigent CO₂ koji odgovara njegovoj ukupnoj emisiji on dobija sertifikat da je njegova proizvodnja CO₂ neutralna i oslobađa se plaćanja taksi. Da bi “motivisala” svoje članice da ulažu u smanjenje emisije CO₂ EU će od 2013. godine značajno povećati takse. Ove mere će znatno pogoditi sve intenzivne potrošače energije. Predstavnici

proizvođača stakla, papira, hemijskih proizvoda, čelika i nemetala u Nemačkoj su već izračunali da će im obaveze za emisiju CO₂ u toku 2013. godine biti povećane za oko 4,5 milijardi evra.

2009. godine UN su organizovale svetski skup u Kopenhagenu, koji je bio posvećen održivom razvoju (promeni klime). Rezultati ovoga skupa su bili samo delimično uspešni, zato što najveći svetski zagađivači životne sredine nisu hteli da prihvate veće finansijske obaveze i svoje veće ušesće u smanjenju zagađenja životne sredine i smanjenju razlika u standardu razvijenih i nerazvijenih zemalja.

2. POLIMERNI MATERIJALI

Proizvodnja polimernih materijala u svetu, kao što je to prikazano na slici 7, porasla je od 1,5 miliona tona u 1950. godini do 265 miliona tona u 2010. godini. Ovako brz porast proizvodnje nije do sada zabeležen ni za jednu drugu vrstu materijala [8].



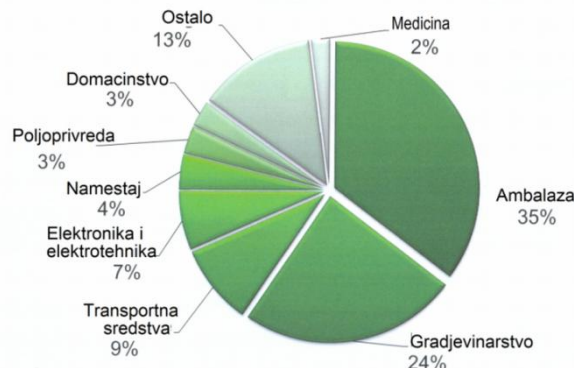
Slika 7. Porast proizvodnje polimernih materijala u svetu u periodu 1950. – 2010. godine

Brz porast proizvodnje i primene polimernih materijala praktično u svim oblastima ljudske delatnosti uslovljen je:

- postojanjem relativno jeftinih i za sada dostupnih sirovina za njihovu proizvodnju (nafta, zemni gas, ugalj, obnovljive sirovine),
- malom gustom polimernih materijala,
- povoljnim odnosom svojstvo/cena,
- jednostavnim i brzim postupcima prerade, kojima se mogu prevesti u predmete vrlo složenog oblika,
- mogućnošću prilagođavanja svojstava različitim oblastima primene,
- njihovom inertnošću (bezopasni za ljude i okolinu) i

– činjenicom da su oni u pravom smislu te reči **ekološki materijali**.

Zbog navedenih razloga polimerni materijali se smatraju materijalima druge polovine dvadesetog veka, a prema svim prognozama očekuje se da će tu poziciju zadržati i u dvadeset prvom veku. Na slici 8 prikazani su udeli polimernih materijala koji se koriste u različitim oblastima ljudskih delatnosti [8].

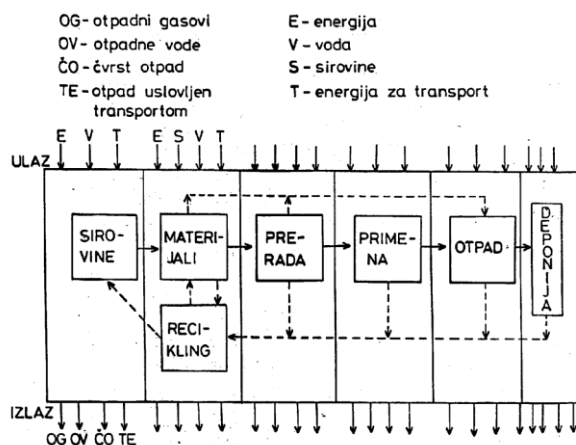


Slika 8. Udeli polimernih materijala (mas.%) koji se koriste u najznačajnijim oblastima primene (Ukupna masa polimera 265 miliona tona)

2.1. Doprinos održivom razvoju primenom polimernih materijala

Saznanje i prihvatanje činjenice da su izvori sirovina i energije u svetu ograničeni i da ih treba štedeti, kao i narasla svest o neophodnosti zaštite životne sredine od štetnih supstanci i sve većih količina različitih vrsta otpada, doveli su do toga da se u poslednjih dvadesetak godina sve ozbiljnije postavlja pitanje o potrebi provere ekološke opravdanosti kako proizvodnje tako i primene svih, pa prema tome i polimernih materijala. Pod ekološkim materijalom se danas podrazumeva materijal pri čijoj se proizvodnji, primeni i recikliranju utroši manje sirovina i energije i manje zagađi životna sredina nego pri korišćenju drugih materijala, koji mogu da se koriste za istu namenu.

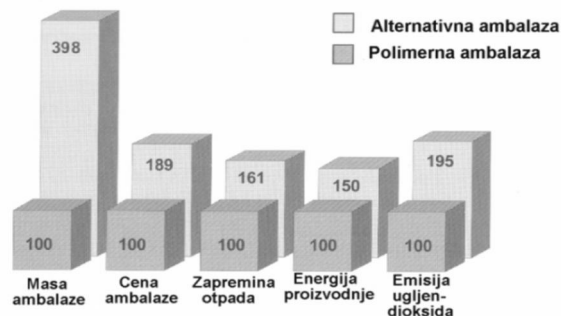
Poređenje ekoloških svojstava materijala počelo je još osamdesetih godina dvadesetog veka. U tome periodu istraživači su za određivanje ekološkog bilansa koristili različite procedure, pa su dobijeni rezultati bili praktično neuporedivi. Ovaj problem je rešen objavljivanjem serije normi DIN EN ISO 14040/14044. Određivanje eko-bilansa je vrlo složeno i mora se izvoditi tačno po proceduri opisanoj u navedenim normama. Za pojašnjenje pojma ekobilansa na slici 9 prikazana je vrlo uprošćena šema njegovog određivanja.



Slika 9. Uprošćeni prikaz određivanja ekobilansa materijala

Kao što se vidi na slici 9, pri pravljenju ekološkog bilansa za neki proizvod neophodno je za svaku „fazu života“ proizvoda polazeći od sirovina, dobijanja materijala, izrade predmeta koji ima neku upotrebnu vrednost, njegovog korišćenja, odlaganja na deponiju i recikliranja odrediti koliko se utroši sirovina, vode, energije za transport i koliko pri tim fazama nastaje otpadnih gasova, otpadne vode, čvrstog otpada i otpada pri transportu. Pre nego što se počne sa pravljenjem energetske i materijalnog bilansa treba fiksirati ciljeve i okvir rada, način obrade i interpretacije rezultata. Ekološki bilansi omogućavaju korektno poređenje različitih materijala, svih faza njihove proizvodnje, prerade, upotrebe i recikliranja, kao i doprinosa svake faze zagađenju živote sredine. Pored toga, omogućavaju i poređenje različitih postupaka proizvodnje jednog te istog proizvoda, pa samim tim i optimalan izbor kako materijala tako i postupka njegove proizvodnje, korišćenja i recikliranja. U okviru ovoga teksta neće biti prikazani kompletni ekološki bilansi za polimere i druge materijale koji se koriste za iste namene, već će samo na nekoliko primera biti ukazano na prednosti korišćenja polimernih materijala i njihov doprinos zaštiti životne sredine i održivom razvoju [9a].

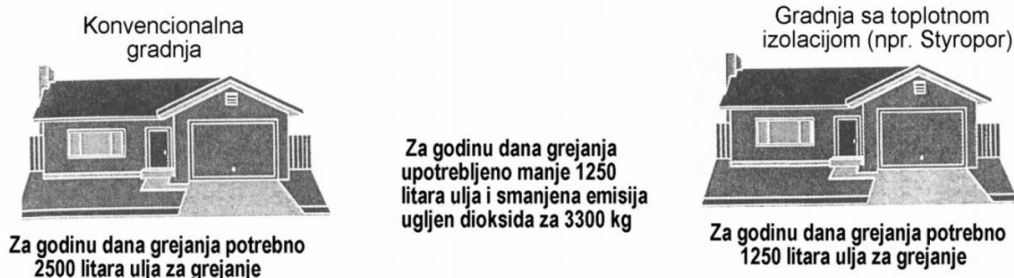
Ilustracije radi, na slici 10 prikazano je kakve bi posledice imala zamena ambalaže od polimernih materijala sa ambalažom od alternativnih materijala (staklo, papir, karton, beli lim, čelik, aluminijum i drvo). Za izradu ambalaže u svetu je u toku 2010. godine utrošeno oko 80 miliona tona polimernih materijala.



Slika 10. Doprinos održivom razvoju primenom polimernih materijala za izradu ambalaže

Kao što se vidi na slici 10, korišćenjem ambalaže od alternativnih materijala umesto od polimernih materijala za pakovanje iste količine nekog proizvoda u Evropi, masa ambalaže porasla bi skoro četiri puta, odnosno za oko 40 miliona tona, cena ambalaže bi se povećala 1,89 puta, za odlaganje otpada bilo bi potrebno na deponijama obezbediti 1,61 puta veći prostor, za proizvodnju ambalaže bilo bi potrebno potrošiti 1,5 puta više energije, odnosno 1240 miliona GJ i došlo bi do 1,95 puta veće emisije CO₂ u atmosferu, odnosno 61 milion tona CO₂ [9b]. Ovi podaci nedvosmisleno ukazuju na ekološke i ekonomske prednosti primene polimernih materijala za izradu ambalaže u odnosu na alternativne materijale.

Na slici 11 prikazano je kolika ušteda u potrošnji energije i emisiji CO₂ može da se ostvari pri grejanju jedne porodične kuće sa korisnom površinom od 132 m² u slučaju kada je pri gradnji kuće korišćena toplotna izolacija od stiropora prema standardu DIN 4108 [10].



Slika 11. Razlike u potrošnji energije i emisije CO₂ pri grejanju dve porodične kuće (132 m²) u slučaju kada je jedna građena bez, a druga sa toplotnom izolacijom

Stručnjaci su proračunali da bi se primenom toplotne izolacije pri novogradnji i renoviranju starih kuća u svakoj zemlji moglo ostvariti značajno smanjenje emisije CO₂, koje bi omogućilo ispunjavanje obaveza o smanjenju emisije štetnih gasova preuzetim potpisivanjem Kijoto-protokola.

Korišćenjem polimernih materijala i u drugim oblastima primene ostvaruju se značajne uštede u energiji, a samim tim doprinosi i smanjuju emisije štetnih gasova. Primera radi industrija transportnih sredstava (automobili, avioni, vozovi i parobrodi) ispunjava sve oštrije ekološke zahteve (smanjenje potrošnje energije i emisije štetnih gasova) ne samo poboljšavanjem pogonskih agregata, već i ugradnjom u svoje proizvode sve više lakih polimernih materijala i samim tim i supstitucijom materijala sa većom gustinom (metali, staklo). Slično se može konstatovati i za korišćenje polimernih materijala u svim drugim oblastima primene. To praktično znači da se proizvodnjom i primenom polimernih materijala značajno doprinosi zaštiti životne sredine, odnosno održivom razvoju.

Kada se razmatraju ekološka svojstva polimernih materijala treba uzeti u obzir da su makromolekulske supstance - polimeri vrlo stabilne (sem biodegradabilnih) i da se vrlo sporo razgrađuju, pa da prema tome i ne mogu u pravom smislu te reči zagađivati čovekovu sredinu. Kada se ovaj problem korektno razmatra mora se, istini za volju, reći i da se polimerni materijali ne sastoje samo od makromolekulskih supstanci, već da u njihov sastav ulaze i različiti aditivi, koji su niskomolekulske supstance i koji bi u principu mogli da difuzijom pređu npr. u pakovani proizvod i da ga eventualno zagade. Međutim, polimerni materijali su "najmlađi" materijali, pa je i njihova primena npr. u medicini (implanti), farmaciji (ulaze u formulacije lekova) ili za izradu ambalaže u razvijenim zemljama u potpunosti regulisana vrlo strogim zakonskim propisima [11]. Zbog toga do sada nisu zabeleženi slučajevi da je primena polimernih materijala imala štetne posledice po zdravlje ljudi u bilo kojoj oblasti primene.

2.2. Doprinos održivom razvoju recikliranjem polimernih materijala

Kada se govori o primeni polimernih materijala, mora se imati u vidu da se značajan deo ovih materijala, a naročito pri izradi ambalaže, koristi za proizvodnju predmeta koji se jednokratno primenjuju i da se posle

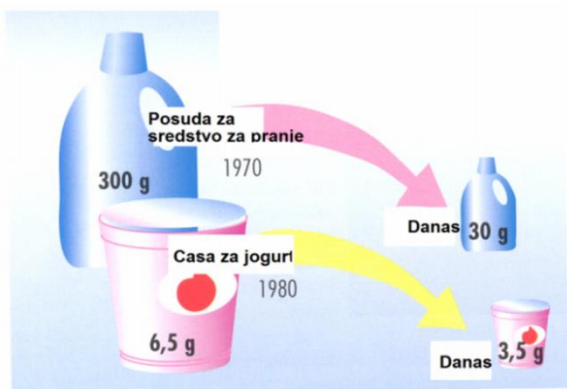
kraćeg vremena nađu u komunalnom otpadu, odnosno na deponijama za odlaganje komunalnog otpada. U svetu se nagomilavaju ogromne količine komunalnog otpada u kojem značajno mesto imaju i polimerni materijali. Činjenica, da polimerni materijali imaju malu gustinu i da se često radi o šupljim telima različitih boja, stiče se pogrešan utisak da je udeo polimernih materijala u komunalnom otpadu mnogo veći nego što u stvari jeste i da zauzima preveliki deo i onako oskudnog prostora na deponijama. Cena odlaganja komunalnog otpada u savremeno uređenim deponijama je vrlo visoka i iznosi npr. oko 70 dolara u Americi, a oko 60 evra po toni otpada u Nemačkoj. Deponije velikog broja gradova i u razvijenim zemljama su praktično popunjene, a nove se zbog visokih cena ne grade odgovarajućom brzinom. Zbog toga se oko jedan milion tona polimernog otpada, zajedno sa komunalnim otpadom nađe u moru. Zbog ljudske nebrige, polimerni materijali se i na kopnu vrlo često sreću van deponija, što iritira ekološka društva koja su i u nekoliko razvijenih zemalja pokrenula inicijativu za zabranu korišćenja polimernih materijala npr. za izradu ambalaže i to posebno kesa za pakovanje prehrambenih proizvoda. Zbog toga su u velikom broju razvijenih zemalja u periodu od 1980 do 1990. godine angažovana značajna sredstva i naučni potencijali u cilju rešavanja problema komunalnog, a zajedno sa njim i polimernog otpada. Na osnovu rezultata sprovedenih istraživanja konstatovano je da se rešenje problema polimernog otpada može ostvariti:

- smanjenjem mase otpada,
- recikliranjem otpada u cilju dobijanja:
 - "novih materijala" i
 - sirovina (hemijsko recikliranje),
- korišćenjem otpada u cilju dobijanja energije,
- odlaganjem polimernog otpada u korektno uređene deponije i
- primenom biodegradabilnih polimera i njihovim kompostiranjem ili korišćenjem za dobijanje biogasa.

Zemlje u Evropi su, na osnovu rezultata navedenih istraživanja, počele da donose propise kojima se reguliše način rešavanja polimernog, a naročito ambalažnog polimernog otpada. Ovi propisi su se značajno razlikovali, pa je i Evropska unija 1994. godine u cilju harmonizacije ovih propisa donela direktivu kojom se ova materija reguliše (94/62/EG) i određuju količine (kvote) polimernog otpada koji svaka zemlja članica treba da zbrine na jedan od predloženih načina. Revizijom stare i donošenjem nove direktive u 2004. godini (2004/12/EG) ove kvote su značajno povećane i

predloženo je da svi načini rešavanja problema polimernog otpada budu ravnopravni.

Smanjenje mase polimernog otpada u komunalnom otpadu može se ostvariti poboljšanjem svojstava polimernih materijala, što omogućava da se za dobijanje nekih proizvoda utroši manja masa polimernog materijala, a zadrži njihov kvalitet. Na primeru ambalaže od polimernih materijala pokazano je koliko je moguće poboljšanjem svojstava polimernih materijala, kao i postupaka izrade ambalaže doprineti smanjenju mase polimernog otpada na deponijama. Ilustracije radi na slici 12 prikazano je kako se menjala masa izabranih posuda za pakovanje iste vrste i količine nekog proizvoda od 1970. do 2005. godine.



Slika 12. Smanjenje mase ambalaže za dva izabrana proizvoda sa vremenom (danas: 2005. god.)

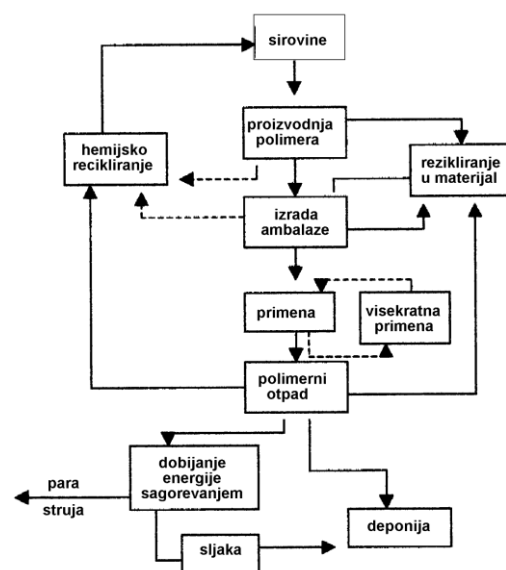
Posebno značajni rezultati su ostvareni pri proizvodnji poliolefina primenom novih metalocenskih katalizatora. Pomoću ovih katalizatora moguće je uvođenjem dugih bočnih grana u makromolekule ili definisanom ugradnjom komonomera dizajnirati makromolekule polietena (PE) i polipropena (PP) u odnosu na molekulska svojstva, molarnu masu, raspodelu molarnih masa i tako poboljšati njihova mehanička i barijerna svojstva, kao i preradljivost. Zahvaljujući poboljšanju preradljivosti i svojstava npr. PP sada je moguće proizvoditi folije npr. za pakovanje cigareta debljine 16 do 18 μ m umesto 24 μ m, folije za pakovanje hleba debljine 35 μ m umesto 45 μ m ili metalizirane folije za pakovanje čipsa i različitih peciva debljine 25 μ m umesto 35 μ m. U proseku u poslednjih dvadesetak godina masa ambalaže od polimernih materijala za pakovanje prehrambenih proizvoda smanjena je u proseku za oko 28 mas.%, pa je samim tim pored uštede sirovina, energije i emisije CO₂ smanjena i količina ambalažnog otpada.

Međutim, ovo značajno smanjenje potrošnje polimernih materijala pri izradi ambalaže nije doprinelo

trajnom smanjenju mase polimernih materijala na otpadu, zato što je u međuvremenu značajno povećan broj proizvoda koji se pakuje u ambalažu od polimernih materijala, kao i broj pakovnih jedinica.

Prema prognozama stručnjaka u narednom periodu se ne može očekivati značajan skok u poboljšanju svojstava polimera koji se koriste za izradu ambalaže, pa samim tim ni značajno smanjenje mase ambalaže po pakovnoj jedinici. Međutim, očekuje se da će se većom primenom kompjutera pri izboru vrste polimera, a naročito pri dizajnu oblika ambalaže u bliskoj budućnosti ostvariti značajne uštede polimernih materijala, a samim tim i doprineti zaštiti životne sredine, odnosno održivom razvoju.

Najveći doprinos rešavanju problema polimernog otpada, smanjenju njegove količine na deponijama, kao i doprinosa održivom razvoju za sada se ostvaruje recikliranjem, odnosno ponovnom upotrebom polimernog otpada u cilju dobijanja novih materijala, sirovina i energije. Na slici 13 je šematski prikazan opšteprihvaćeni koncept recikliranja polimernog otpada [12].



Slika 13. Šematski prikaz koncepta rešavanja problema polimernog otpada recikliranjem i spaljivanjem

Najjednostavniji način recikliranja polimernog otpada u cilju dobijanja novih materijala je moguće ostvariti kada se radi o čistom otpadu termoplastičnih polimera. Takav otpad nastaje pri proizvodnji polimernih materijala i izradi različitih proizvoda od polimernih materijala, pa se i najčešće koristi direktno na mestu nastajanja ili se posle regnanulacije i eventualnog dodavanja aditiva iznosi na tržište. Transportna i pomoćna ambalaža (palette, folije, itd.) je

uglavnom nezaprļana i može se takođe direktno reciklirati u materijal. Prema evropskoj direktivi 94/62/EG za prikupljanje ove vrste polimernog otpada zaduženi su proizvođači polimera i proizvoda od polimernih materijala kao i trgovina.

Najveći deo ambalaže u koju su direktno pakovani prehrambeni, farmaceutski, kozmetički i proizvodi za održavanje higijene u razvijenim zemljama se posle upotrebe proizvoda nađe u komunalnom otpadu. Da bi takav polimerni otpad, koji se sastoji od većeg broja različitih, najčešće jako zaprljanih posuda i folija od različitih polimernih materijala i u komunalnom otpadu se nalazi zajedno sa drugim vrstama otpada, mogao da se reciklira, neophodno ga je prvo pripremiti za recikliranje.

U okviru pripreme za recikliranje, polimerni otpad je neophodno [13]:

- odvojiti od drugih grupa materijala prisutnih u komunalnom otpadu,
- klasirati prema vrsti polimernog materijala,
- usitniti,
- oprati,
- osušiti,
- umešati sa različitim aditivima i prevesti u granulat.

Kao što se vidi, za dobijanje reciklata iz ove vrste ambalažnog polimernog otpada, neophodno je izvesti veliki broj operacija, za koje mora da se koristi specifična oprema, pa je i stvarna cena dobijanja reciklata visoka. Kada se za recikliranje u nove materijale koristi sadašnje stanje tehnike moguće je dobiti reciklate sa kvalitetom koji odgovara kvalitetu svežih polimera, pa ih je moguće ponovo koristiti i za proizvodnju ambalaže i za prehrambene proizvode. Kada se za recikliranje ne koristi sadašnje stanje tehnike dobijaju se reciklati različitog kvaliteta, koji imaju užu oblast primene i nižu cenu.

Pri recikliranju polimernog otpada u materijal zadržava se makromolekulska struktura reciklata.

Hemijskom i termičkom obradom polimernog otpada moguće je dobiti čitav niz korisnih gasovitih i tečnih niskomolekulskih produkata. Kod nekih polimera, kao što su polimetilmetakrilat, poli(α -metilstiren) ili polioksimetilen pri zagrevanju dolazi do odigravanja reakcije depolimerizacije i dobijanja monomera od kojih su polimeri sintetizovani. Posle prečišćavanja ovi monomeri se mogu ponovo koristiti za sintezu polimera. Pri zagrevanju najvećeg broja polimera dolazi do statističke razgradnje i nastajanja čitavog niza niskomolekulskih supstanci. Ovim načinom recikliranja polimernog otpada, koji se najčešće naziva hemijskim recikliranjem, dobijaju se produkti, koje se posle

prečišćavanja i dorade koriste kao petrohemijske sirovine umesto nafte ili zemnog gasa. Za razliku od recikliranja polimernog otpada u cilju dobijanja materijala, kod hemijskog recikliranja se makromolekuli razgrađuju do niskomolekulskih supstanci. Za hemijsko recikliranje je razrađen čitav niz postupaka od kojih su neki univerzalni, a neki prilagođeni samo jednoj vrsti polimernog otpada [14].

Postupci hidrolize, alkoholize i glikolize se već primenjuju u industrijskim razmerama za razgradnju PET-a i nekih drugih poliestara, poliamida, poliuretana i polikarbonata do polaznih monomera. Produkti dobijeni glikolizom boca od PET-a upotrebljavaju se za sintezu PET-a, koji se ponovo može koristiti za izradu boca za osvežavajuće napitke.

Recikliranjem polimernog otpada u materijale i sirovine ostvaruju se značajne uštede u sirovinama, energiji proizvodnje polimera i emisiji CO₂, pa samim tim i doprinosi održivom razvoju.

Polimerni materijali su petrohemijski proizvodi i u njima je sačuvana kompletna energija nafte. U tabeli 4 su prikazane vrednosti toplote sagorevanja za nekoliko polimernih materijala i standardnih goriva.

Tabela 4. Toplota sagorevanja nekih materijala

Materijal	Toplota sagorevanja, MJ/kg
poliolefini, polistiren	46,0
polivinilhlorid	18,8
papir, drvo	15 - 17
komunalni otpad	6 – 10
Standardna goriva:	
ulje za grejanje	43,9
zemni gas	33,0
kameni ugalj	28,0
mrki ugalj	18,0

Imajući u vidu podatke iz tabele 4 bilo je blisko pameti da se polimerni otpad, koji više nije moguće reciklirati na druge načine, koristi za dobijanje energije sagorevanjem. Izdvojeni polimerni otpad iz komunalnog otpada koristi se direktno najčešće kao pomoćno gorivo u visokim pećima i cementarama. Ispituju se mogućnosti primene polimernog otpada kao goriva i u drugim oblastima industrije. Interesantno je da je u razvijenim delovima sveta (Evropa, Japan, USA) sadržaj polimernog otpada u komunalnom otpadu od 6 do 8 mas.%. Toplota sagorevanja komunalnog otpada se kreće od 9 do 12 MJ/kg. Polimerni otpad u toploti

sagorevanja komunalnog otpada učestvuje sa 25 do 30 %, a pored toga olakšava i njegovo sagorevanje.

Sva savremena postrojenja za sagorevanje, kako komunalnog tako i izdvojenog polimernog otpada, su snabdevena efikasnim pećima za potpuno sagorevanje otpada i uređajima za prečišćavanje otpadnih gasova i otpadnih voda. Novoizgrađena postrojenja za sagorevanje polimernog i komunalnog otpada su bezbedna i ne zagađuju životnu sredinu. Zbog toga u razvijenim zemljama veliki broj gradova pokriva značajan deo potreba za toplotnom i električnom energijom sagorevanjem polimernog otpada zajedno sa komunalnim otpadom koji i nastaje u tim gradovima.

Spaljivanjem otpada se koristi njegov energetski sadržaj i tako štede prirodni resursi. Šljaka koja zaostaje posle sagorevanja otpušta malo štetnih supstanci u okolinu i prema sadašnjim propisima može se bez problema odlagati na deponije ili npr. koristiti pri izradi podloge za puteve.

Rešavanje problema komunalnog otpada njegovim odlaganjem na deponije je i pored velike primene, najnepovoljnije rešenje, jer se njime praktično na neodređeno vreme odlaže korišćenje sirovina i energije vezane u polimerima a značajno povećava količina otpada na već skoro popunjenim deponijama.

Na slici 14 prikazano je na koji je način dalje obrađivan sakupljeni polimerni otpad nastao u zemljama EU+2 u toku 2009. godine.

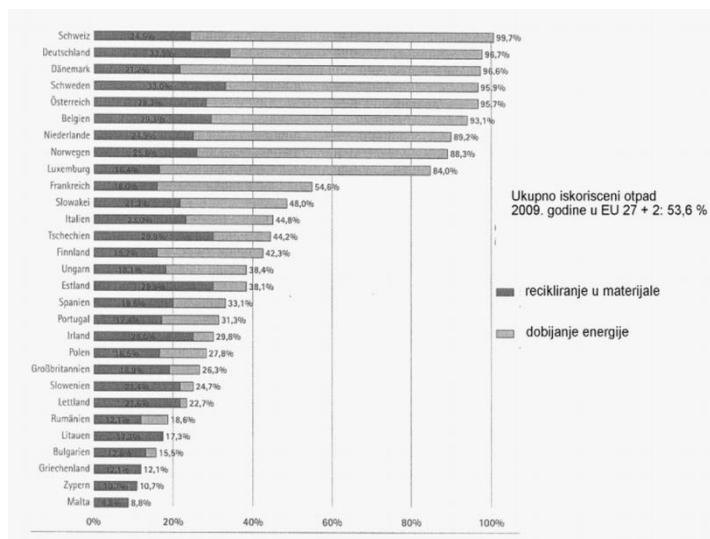
Kao što se vidi na slici 14 i u zemljama EU je u toku 2009. godine za recikliranje i sagorevanje korišćeno samo 53,6 % polimernog otpada, dok je 46,4 % odloženo na deponije. Za sada, samo 9 zemalja EU ima dobro razvijene sisteme za prikupljanje i ponovno

korišćenje polimernog otpada. U zemljama EU stručnjaci predviđaju da posle 2020. godine neće više koristiti deponije za odlaganje kako polimernog tako i nekih drugih vrsta otpada. Prema podacima prikazanim na slici 14 teško se može očekivati ispunjenje ovih prognoza u predviđenom roku.

U poslednjih petnaestak godina razrađeni su postupci proizvodnje čitavog niza biorazgradivih i bionerazgradivih polimera na bazi obnovljivih sirovina. U tabeli 5 prikazani su kapaciteti za proizvodnju ovih polimera u 2010. godini i prognoza za 2015. godinu [15].

Tabela 5. Kapaciteti za proizvodnju biopolimera u tonama u svetu za 2010. god. i prognoza za 2015. god.

Vrsta biopolimera	2010. god.	2015.god.
Bio – PE	200000 (28 %)	450000 (26 %)
Bio – PET	50000 (7 %)	290000 (17 %)
PLA	112500 (15 %)	216000 (13 %)
PHA	88100 (12 %)	147100 (9 %)
Biorazgradivi poliestri	56500 (8 %)	143500 (8 %)
Biorazgradive blende skroba	117800 (16 %)	124800 (7 %)
Bio – PVC	-	120000 (7 %)
Bio – PA	35000 (5 %)	75000 (5 %)
Regenerisana celuloza	36000 (5 %)	36000 (2 %)
PLA - blende	8000 (1 %)	35000 (2 %)
Bio –PP	-	30000 (2 %)
Bio –PC	-	20000 (1 %)
Ostali biopolimeri	7500 (1 %)	22300 (1 %)
Ukupno	724500 (100%)	1709700 (100%)



Slika 14. Udeli polimernog otpada nastalog u EU+2 korišćenog za recikliranje u materijale, dobijanje energije i odlaganje na deponije

Očekivani vrlo veliki porast proizvodnje polimera na bazi obnovljivih sirovina (biomase) u budućnosti je vrlo verovatan, kada se ima na umu da su obnovljive sirovine praktično jedina alternativa fosilnim sirovinama, kojih je sve manje, kao i kolika sredstva se u svetu ulažu u razvoj tehnologija korišćenja obnovljivih sirovina za dobijanje hemijskih proizvoda, a među njima i polimera. Sa porastom proizvodnje polimera na bazi obnovljivih sirovina ostvariće se značajne uštede fosilnih sirovina i smanjiti potrošnja energije i emisije CO₂. Do problema može da dođe samo u slučaju ako se za proizvodnju obnovljivih sirovina počne koristiti još veća površina zemljišta koje se danas koristi za proizvodnju hrane.

Na kraju treba napomenuti da je primena polimernih materijala značajno uticala na ubrzan razvoj velikog broja tehnologija, kao što su npr.: tehnologija proizvodnje transportnih sredstava, građevinarstva, elektronike i elektrotehnike, grafičke tehnike, tekstila, sportske opreme itd. i na taj način dodatno doprinela očuvanju životne sredine i održivom razvoju na zemlji.

Do sada je jedino majka priroda mogla da od CO₂ i vode uz pomoć enzima i sunčeve energije sintetizuje polimere i neke druge hemijske supstance. Međutim, u toku ove godine (2011.) stručnjaci firme Bayer (Nemačka) i nekih univerziteta u Nemačkoj su u Hemijskom parku u Leverkusenu pustili u pogon poluindustrijsko postrojenje u kome proveravaju novorazvijeni katalitički postupak korišćenja CO₂ za sintezu jedne supstance, koju su zatim ugradili u jedan poliuretan. Ovim otkrićem mogu da se ostvare neverovatni uspesi u hemiji i nauci o materijalima. Ono će uticati da se sva organska jedinjenja u koja je ugrađen ugljenik potpuno drugačije vrednuju i da se npr. CO₂ uključujući u kružni tok materije u prirodi na jedan do sada nepoznat način [16] i tako spreči suvišna emisija u atmosferu.

ZAKLJUČAK

Primenom i recikliranjem polimernih materijala značajno se doprinosi održivom razvoju zato što se:

- pri proizvodnji polimera ostvaruju uštede u sirovinama i energiji (nafta),
- pri korišćenju polimera od polimernih materijala smanjuje potrošnja energije i emisija CO₂,
- polimerni materijali mogu na različite načine ponovo upotrebiti (reciklirati) i na kraju iskoristiti za direktno dobijanje energije,

- primenom polimernih materijala u različitim oblastima život građana čini jednostavnijim, zdravijim i jeftinijim. To svakako doprinosi boljem kvalitetu života ljudi, a samim tim posebno doprinosi i socijalnoj komponenti održivog razvoja.

LITERATURA

1. Okosystem Erde. <http://www.oekosystem-erde.de/html/system-erde.html>
2. Nachhaltige zukunftsverträgliche Chemie, Verband der Chemischen Industri, Frankfurt, 2000.
3. Johnke, B.; Scheffran, J.; Soyez, K. *Abfall, Energie und Klima*; Erich Schmidt Verlag: Berlin, 2004.
4. Schmidt-Bleek S., *Wieviel Umwelt braucht der Mensch?*, MIPS – Das Maß für ökologisches Wirtschaften, Berlin, 1994.
5. UN Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development . <http://www.un.org/esa/sustdev> .
6. www.un.org-esa-sustdev-agenda21.htm
7. Neosys AG. *Entwicklung von CO₂ – Handelsprojekten*; <http://www.neosys.ch>
8. PlasticsEurope. *Grafiken zur Wirtschaftspressekonferenz*; Mai, 2011 (Interpack, 2011).
9. a) Baumast, A.; Pape, J. (Hrsg) *Betriebliches Umweltmanagement*; Eugen Ulmer Verlag: Stuttgart, 2001.
b) Denkstatt Experten, Studie: Die Auswirkung von Kunststoffen auf Energieverbrauch und Treibhausgas emissionen in Europa. <http://www.denkstatt.at>
10. Huckenstein, B.; Plesnivy, T. *Chemie in unserer Zeit* **2000**, 5, 226.
11. Bergmaier, J.; Washüttl, M.; Wapner, B. *Prüfpraxis für Kunststoffverpackungen*; Behr's Verlag: Hamburg, 2010.
12. Kosmidis, V.; Achilias, D.; Karayannidis, G. *Macromol. Mater. Eng.* **2001**, 286, 640.
13. Jovanovic, S. *Hemijaska industrija* **1999**, 53, 31.
14. Wolters, L.; Marwick, J. V.; Regel, K.; Lackner, V.; Schär, B. (Hrsg) *Kunststoff-Recycling*; Carl Hanser Verlag: München, 1997.
15. European Bioplastics. <http://www.european-bioplastics.org>
16. <http://research.bayer.de/de/co2.asp>