

# Gospodarenje otpadnom plastikom

Ovo djelo je dano na korištenje pod  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License



M. Budiša<sup>a\*</sup> i A. Ptiček Siročić<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Zagrebački centar za gospodarenje otpadom d. o. o., Savska cesta 41, 10 000 Zagreb

<sup>b</sup> Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hallerova aleja 7, 42 000 Varaždin

## Sažetak

U zadnjih pedesetak godina zabilježen je značajan rast količina plastičnog otpada koji nekontroliranim odbacivanjem postaje sve veći problem za okoliš i sa značajnim posljedicama na živuće ekosustave. Plastika je važan i sveprisutan materijal u gospodarstvu i svakodnevnom životu i godišnje u zemljama Europske unije nastaje blizu 26 milijuna tona plastičnog otpada. Oko 30 % tog otpada se reciklira, znatan dio se energetske oporabljuje, a dio se još uvijek odlaže i na odlagališta otpada. Recikliranjem plastičnog otpada čuvaju se prirodne sirovine kao što su nafta i zemni plin koje se upotrebljavaju za proizvodnju plastičnih materijala te se smanjuju emisije u okoliš i potrošnja energije. Planom za resursno učinkovitu Europu, plastični otpad prepoznat je kao važna sirovina za proizvodnju novih proizvoda i jedna je od ključnih sirovina u prelasku na kružno gospodarstvo. U ovom je radu dan prikaz općih mogućnosti recikliranja tj. uporabe plastičnog otpada. Na temelju indikativnih rezultata ispitivanja sastava odvojeno prikupljenog plastičnog otpada u Zagrebu dana je procjena mogućnosti njegove reciklaže. U Republici Hrvatskoj plastični otpad velik je problem budući da se adekvatno ne sortira. Zbog toga je značajno financijsko opterećenje komunalnim društvima koja njime gospodare u sklopu javne usluge prikupljanja komunalnog otpada.

## Ključne riječi

Plastični otpad, polimeri, gospodarenje otpadom, sortirnice, komunalni otpad, reciklaža, uporaba

## 1. Uvod

Glavni ekološki problemi i problemi održivosti gospodarstva Europske unije (EU) vezani su uz prekomjerno iskorištavanje prirodnih resursa kao sirovina te uporabu fosilnih goriva kao primarnih izvora energije. U takvim okolnostima, gospodarstvo nije održivo na dulje vrijeme jer uzrokuje ne samo potrošnju enormnih količina energije već i proizvodnju većih količina otpada. U posljednjih nekoliko desetljeća posebno je prisutan znatan porast količine plastičnog otpada. Stalni porast količine plastičnog otpada i njegovo nekontrolirano odbacivanje u okoliš dovodi do onečišćenja voda, tla i mnogih drugih negativnih posljedica za biljni i životinjski svijet. Stoga je u srpnju 2021. stupila na snagu Direktiva kojom se zabranjuju neki proizvodi od plastike poput plastičnih tanjura, pribora za jelo, slamki, štapića za balone i štapića za uši.<sup>1</sup> U komunalnom otpadu prisutne su različite vrste plastičnog otpada poput prirodnih polimernih materijala koji se dobivaju od škroba, celuloze, kaučuka i sl. te sintetskih polimernih materijala, koji se dobivaju kemijskim reakcijama polimerizacije monomera iz prirodnog plina i nafte. Gospodarenje plastičnim ili polimernim otpadom u Republici Hrvatskoj (RH) veliko je financijsko opterećenje javnim komunalnim poduzećima koja ga prikupljaju. Prikupljeni otpad uglavnom se bez prethodnog sortiranja predaje ovlaštenim pravnim i fizičkim osobama na daljnje postupanje. U ovom radu dan je osvrt na plastični otpad s naglaskom na njegovu uporabu i reciklažu kao i postupke koje njegovo gospodarenje čini ekonomski prihvatljivim i ekološki održivim.

## 2. Politike gospodarenja otpadom

### 2.1. Kratki prikaz legislativnog okvira za gospodarenje otpadom u Europskoj uniji

Oporaba i reciklaža otpada jedna je od ključnih aktivnosti u postizanju resursne učinkovitosti, koja je na EU razini definirana kroz planske dokumente.<sup>2</sup> Planski dokumenti uključuju i one kojima se planira smanjivanje emisija stakleničkih plinova iz gospodarstva prije svega emisija CO<sub>2</sub>.<sup>3</sup>

Glavni ciljevi vezani uz očuvanje okoliša vezani su uz smanjenu uporabu prirodnih materijala za potrebe gospodarstva, manju proizvodnju otpada i uporabu proizvedenog otpada kao sirovine. Povećanje i poboljšanje učinkovitosti resursa glavna je aktivnost opisana u akcijskim planovima (7.EAP),<sup>4</sup> planovima za kružno gospodarstvo<sup>5</sup> te strateškim dokumentima.<sup>6</sup> Također, utvrđeni su novi načini poticanja rasta i stvaranja novih radnih mjesta kroz sedam ključnih inicijativa od kojih se jedna odnosi i na učinkovito iskorištavanje resursa u EU-u – plan puta za učinkovitu uporabu resursa. Za provođenje definiranih politika zaštite okoliša nacionalne propise država članica nužno je prilagoditi EU zakonodavstvu. Pri tome je važno istaknuti glavne (revidirane) direktive vezane uz gospodarenje otpadom, a odnose se na direktivu o otpadu,<sup>7</sup> direktive o odlagalištima otpada,<sup>8</sup> direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu,<sup>9</sup> direktive o otpadnim vozilima,<sup>10</sup> direktive o otpadnim baterijama i akumulatorima<sup>11</sup> te direktive o otpadnoj elektronskoj i elektroničkoj opremi (EE).<sup>12</sup> Vezano uz izmjene za ambalažu i ambalažni otpad, države članice imaju obvezu provoditi reciklažu ambalaže i višeslojne ambalaže. Zadani cilj je do kraja 2025. osigurati najmanje 60 %, a do kraja 2030. najmanje 70 % reciklaže ukupne mase ambalažnog otpada. Novom direktivom koja se primjenjuje na odre-

\* Autor za dopisivanje: Mirko Budiša, dipl. ing. kem. tehn.  
E-pošta: [mirko.budisa@gmail.com](mailto:mirko.budisa@gmail.com)

đene plastične proizvode sve EU članice moraju do 2029. prikupiti 90 % upotrijebljenih plastičnih boca. Do 2025. godine 25 % materijala od kojeg su boce izrađene mora biti reciklirano, a do 2030. udio recikliranih materijala u novim bocama mora biti najmanje 30 %.

U siječnju 2018. donesena je prva europska strategija za plastiku kao dio postupka prelaska na kružno gospodarstvo.<sup>13</sup> Ona kroz svoje mjere izravno doprinosi smanjivanju plastičnog otpada u okolišu, potiče njegovu reciklažu i ograničava upotrebu mikroplastike i jednokratne plastike.

## 2.2. Kratki prikaz legislativnog okvira za gospodarenje otpadom u RH

U RH nije u potpunosti i na zadovoljavajući način implementiran integralni koncept gospodarenja otpadom. Potrebno je ispuniti ciljeve i mjere propisane strateškim dokumentom o gospodarenju otpadom,<sup>14</sup> planskim dokumentima gospodarenja otpadom,<sup>15</sup> novim zakonom o gospodarenju otpadom<sup>16</sup> te drugim propisima kojima se uređuje gospodarenje otpadom, a prije svega uredbama i pravilnicima o gospodarenju otpadom.<sup>17</sup>

Cilj strateških dokumenata je uspostava sustava u kojem će doći do smanjivanja nastanka otpada te osiguranje gospodarenja nastalim otpadom na ekološki i ekonomski prihvatljiv način. Kvantitativni ciljevi iz te Strategije redefinirani su Zakonom o gospodarenju otpadom (Narodne novine br. 84/21) i nacionalnim Planom gospodarenja otpadom za razdoblje 2017. – 2022., koji su usklađeni s prethodno opisanim zahtjevima i ciljevima EU direktiva.

Donošenjem Plana gospodarenja otpadom za razdoblje do 2022. ostvaren je važan preduvjet za primjenu financijskih sredstava iz EU fondova (*Konkurentnost i kohezija*) za ulaganja u izgradnju potrebne infrastrukture, građevina i nabavu opreme.<sup>18</sup> Na taj način planira se provođenje hijerarhije postupanja s otpadom koja podrazumijeva sprječavanje, ponovnu upotrebu, reciklažu, uporabu i, na kraju, odlaganje otpada kao najmanje poželjnu opciju.

Krovnim Zakonom kojim se uređuju pitanja zaštite okoliša<sup>19</sup> u obzir su uzete politike gospodarenja otpadom, legislativni okvir, obveze, procedure i postupci koje je potrebno provesti kad je u pitanju postupanje s otpadom. U kontekstu gospodarenja otpadnom plastikom kao ambalažnim otpadom relevantni su pravilnici o otpadnoj ambalaži,<sup>20</sup> odnosno Pravilnik o ambalažnom otpadu.<sup>21</sup>

## 3. Polimerni materijali

Polimerni materijali sastoje se od većeg broja manjih kemijskih jedinica-monomera koje čine veće strukturne jedinice-makromolekule. Mogu se podijeliti u odnosu na porijeklo, strukturu, ponavljajuće jedinice, središnost i ponašanje na povišenoj temperaturi.<sup>22</sup>

Otkriven je velik broj polimernih materijala koji proširuju mogućnost njihove primjene. Danas se proizvodi više od 50 vrsta polimernih materijala, od čega 80 % čine različite

vrste polietilena, zatim 32 %, polipropilena, oko 20 % poli(vinil-klorida) i 16,5 %, polistirena i poli(etilen-tereftalata). Najraširenije su poli(etilen-tereftalata) (PET), polistirol, polietilen (pjenasto-izolacijske cijevi), poliakrilat, poliamid, najlon, teflon, bakelit, ultrapas i kevlar, koji pripada grupi kompozitnih materijala te poli(vinil-klorid) (PVC) i polistiren (PS) (pjenasti-stiropor).

Polimerni materijali se mogu podijeliti u tri osnovne skupine: plastomeri, duromeri i elastomeri.

Plastomere tvore ravnolančane ili granate makromolekule velikih molekulskih masa. Povišenjem temperature ne dolazi do promjene njihove kemijske strukture, već im se mijenja agregatno stanje. Plastomeri se mogu oblikovati u željene oblike, odnosno mogu se uzastopno smekšavati i skrućivati, a da se pri tome osnovna svojstva bitno ne mijenjaju.<sup>23</sup> Plastomeri mogu biti amorfn i kristalasti. Ako prevladava amorfn faza, tada su plastomeri fleksibilniji i lakše se obrađuju, a ako je više kristalne faze u njima, tada su gušći, čvršći, tvrdi i otporniji na različita otapala. Najpoznatiji plastomeri su polietilen, polistiren, PVC i drugi.

Duromeri su sintetski polimerni materijali. Dobivaju se polikondenzacijom monomera, a duromerski završni oblik predstavljaju gusto prostorno umrežene makromolekule. Nastali prepolimeri (smole) viskozni su ili lako taljivi zbog čega su prikladni za oblikovanje i preradu. Duromerski poluproizvodi (smole) zagrijavaju se i uz dodatak reaktivnih spojeva, tzv. umreživala nepovratno se povezuju i stvrdnjavaju. Nastaju materijali koji se ne otapaju, ne tale, vrlo su čvrsti, tvrdi i toplinski postojani. Duromeri se pretežito upotrebljavaju kao lakovi, ljepila i slično te u proizvodnji različitih uređaja. Važniji duromerni proizvodi su: fenolformaldehidni polimeri, epoksidne, melaminske i ureaformaldehidne smole te nezasićeni poliesteri.<sup>24</sup>

Elastomeri su sintetički polimeri čije su molekule međusobno povezane manjim brojem poprečnih veza zbog čega se odlikuju dobrom savitljivošću. Definiranog su oblika kad su u neopterećenom stanju te im ni snažne vanjske sile i jaka izobličenja ne mijenjaju oblik, nego se vraćaju u prvobitni oblik. Elastomere tvore dugi makromolekulski lanci koji se mogu povezati vulkanizacijom tj. umrežavanjem lančanih molekula čime se sprječava plastično oblikovanje, ali se zadržava pokretljivost dijelova lanaca, zbog čega su elastični. Pri zagrijavanju dodaju im se različiti dodatci u svrhu proizvodnje različitih gumenih proizvoda čija je glavna odlika velika rastezna čvrstoća i elastičnost.

Polimeri zbog svojih svojstava imaju vrlo široku primjenu i vrlo su konkurenti drugim, posebno metalnim materijalima. Tako npr. ne podliježu oksidaciji (hrđanju), nisu lomljivi, otporni su na vlagu i sl. Danas se, zbog svojih svojstava, oko 20 % plastičnih proizvoda ne može zamijeniti nekim drugim pogodnijim zamjenskim materijalima. Stoga imaju veliku primjenu u proizvodnji ambalaže, građevinskih materijala, elektronske i elektroničke opreme te u proizvodnji auto-dijelova.

Polimeri se uglavnom ne upotrebljavaju u izvornom obliku, već se radi poboljšanja i dobivanja potrebnih svojstava miješaju s raznim aditivima. Isto tako miješanjem dvaju ili više različitih polimera dobivaju se polimerne smjese s boljim i/ili novim svojstvima. Polimerni materijali s ugrađenim

ojačivalima kao što su staklena ili ugljična vlakna imaju povećanu čvrstoću. Drugi polimerni materijali pomiješani s pogodnim aditivima imaju dobra toplinska, zvučna i izolacijska svojstva. U novije vrijeme proizvode se polimerni materijali ciljanih (potrebnih) svojstava na bazi tekućih kristala, tzv. inteligentni polimeri.<sup>25</sup> Nadalje, razvijaju se i razni biorazgradivi polimerni materijali, koji predstavljaju novo područje u razvoju polimera i polimernih tehnika te nalaze široku primjenu. Također, sintetiziraju se mnogobrojni različiti biorazgradivi polimeri koji se uz pomoć mikroorganizama i enzima mogu brže razgraditi.<sup>26</sup>

### 3.1. Plastični (polimerni) otpad u ukupnim količinama komunalnog otpada

Prema predvidim trendovima u RH se do 2030. očekuje rast količina komunalnog otpada. Trenutačno nastaje oko 1.700.000 t komunalnog otpada godišnje, dok se za 2030. predviđa da bi moglo nastati 2.000.000 t komunalnog otpada. U 2020. došlo je do smanjenje nastanka komunalnog otpada za 6,5 % u odnosu 2019. godinu. Pri tome je svaki stanovnik RH prosječno proizveo oko 418 kg otpada. To smanjenje ukupnih količina komunalnog otpada u skladu je sa strateškim i planskim dokumentima, a većim je dijelom posljedica pojave bolesti Covid-19.<sup>27</sup> Također, prema projekcijama, a sukladno zadanim ciljevima, do 2030. najmanje će polovica komunalnog otpada biti odvojena na mjestu nastanka. Ostatni dio otpada će se sukladno zakonskoj obvezi predati na daljnju obradu u centrima za gospodarenje otpadom. U više gradova i općina u posljednjih desetak godina provedeno je ispitivanje sastava i morfoloških svojstva komunalnog otpada. Na osnovi tih podataka te podataka o odvojeno prikupljenim količinama suhih reciklata kao što su papir, staklo, drvo, plastika itd. projiciran je ukupni sastav komunalnog otpada na razini RH. On je prikazan u publikaciji *Hrvatska agencija za okoliš i prirodu*<sup>28</sup> te prikazan u tablici 1.

Prema podacima o sastavu otpada na razini Republike Hrvatske, kako je prikazano u tablici 1, u komunalnom otpadu bilo je gotovo 20 % plastičnog otpada. Shodno pravilima, sastav otpada iskazuje se za primarne i sekundarne sastavnice. U tom se kontekstu za plastični otpad određuje udio meke i tvrde plastike, plastičnih proizvoda i dijelova te plastične ambalaže (npr. plastične boce). Svedeno na 2020. godinu, ukupna količina plastičnog otpada u komunalnom otpadu iznosila je 329.281,9 t. Reciklaža komunalnog otpada u 2020. bila je istovjetna stopi oporabe od 34 %. Zbog postignute stope oporabe zakonom propisani cilj od 50 % reciklaže i ponovne upotrebe otpada za 2020. godinu nije ostvaren.

Količina odvojeno sakupljenog ambalažnog otpada iznosila je 238.034 t, od čega je oko 51 % činila ambalaža od papira i kartona, 23 % plastična ambalaža i 18 % staklena ambalaža. Iz navedenih podataka vidljivo je da je na razini Republike Hrvatske ukupno odvojeno oko 54.748,0 t plastičnog ambalažnog otpada te da je i dalje prisutan visok potencijal i mogućnost izdvajanja plastike iz komunalnog otpada za daljnju reciklažu i oporabu.

Tablica 1 – Prosječni sastav komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj

Table 1 – Average composition of municipal waste in the Republic of Croatia

Sastavnica komunalnog otpada Municipal waste components	Udio/% Share/%
Papir i karton/paper and cardboard	25,72
Kuhinjski otpad/Kitchen waste	25,11
Plastika/Plastics	19,45
Vrtni otpad/Garden waste	6,77
Staklo/Glass	4,89
Glomazni otpad/Bulky waste	4,08
Pelene/Diapers	3,13
Ostali otpad (zemlja, prašina, pijesak, nedefinirano)/ Other waste (earth, dust, sand, undefined)	2,93
Tekstil/odjeća/Textile/clothing	2,93
Metal/Metal	2,54
Drvo/Wood	0,99
Koža i kosti/Skin and bones	0,36
Električna i elektronička oprema/ Electrical and electronic equipment	0,53
Višeslojna i miješana ambalaža/ Multilayer and mixed packaging	0,29
Guma/Tire	0,17
Ostali opasan otpad/ Other hazardous waste	0,10
Baterije i akumulatori/Batteries and accumulators	0,02
Otpad nastao čišćenjem kanalizacije/ Waste generated by sewage treatment	0,02
Ukupno/Total	100,00

### 3.2. Sastav odvojeno prikupljenog plastičnog otpada

Na razini Republike Hrvatske ne postoje podaci o sastavu odvojeno prikupljene otpadne plastike. Za potrebe dimenzioniranja postrojenja za obradu odvojeno prikupljenog komunalnog otpada Grada Zagreba provedeno je jednokratno ispitivanje sastava odvojeno prikupljene otpadne plastike. Grad Zagreb ima uspostavljen sustav odvojenog prikupljanja otpadne plastike iz kućanstava i to kroz dvije razine: žute vrećice na kućnom pragu i spremnici na zelenim otocima. Za analizu otpadne plastike uzeta su četiri uzorka i to sa sljedećih lokacija: Centar grada – GČ Donji Grad (uzorak 1), Širi prsten grada – GČ Novi Zagreb (uzorak 2), Ruralno područje grada – GČ Sesvete (uzorak 3) i Zeleni otoci – Vrbani (uzorak 4). Rezultati tog ispitivanja navedeni su u tablici 2.

Za svako područje analiziran je otpad iz žutih vreća sa zelenog otoka te spremnika s kućnog praga. Minimalna veličina uzorka bila je 200 kg po mjestu ispitivanja, osim za zeleni otok, gdje je minimalna veličina uzorka bila oko 50 kg. Svaki uzorak je homogeniziran, a homogenizirane hrpe podijeljene su na četiri jednaka dijela. Nakon četvr-

tanja uzeti su nasuprotni uzorci te su ponovno izmiješani i homogenizirani. Na tako homogeniziranom uzorku provedeno je četvrtanje nakon čega su dvije nasuprotne četvrtine činile uzorak za analizu. U sklopu rezultata dan je i prikaz sadržaja i udjela limenki te višeslojne ambalaže kao što je tetrapak, budući da se u žutoj vrećici prikupljaju i te vrste otpada zajedno s plastičnim otpadom.<sup>29</sup>

U nastavku je dan sumarni prikaz rezultata sortiranja otpadne plastike, pri čemu se uzela srednja vrijednost prvih triju uzoraka iz kućanstava, a zatim se sumarni rezultat dodatno korigirao s rezultatima sortiranja otpadne plastike iz zelenog otoka.

Temeljem provedene analize može se utvrditi da u uzorku 3 ima nešto manji udio otpadne plastike. S ciljem dobivanja realnije slike o sastavu i udjelima pojedinih plastičnih komponenti u plastičnom otpadu, provedeno je ponderiranje rezultata s obzirom na značaj udjela uzorka 1, 2 i 3 (kućanstva) te značaj udjela uzorka 4 (zeleni otoci). Ponderirani rezultati ispitivanja nalaze se u tablici 3.

Pri ponderiranju uzeto je u obzir da je količina otpadne plastike koja se sakupi iz zelenih otoka oko 3 % (za 2017.

godinu iznosi 2,43 % (ukupno) prema Bilanci grada Zagreba za 2017. godinu), a iz kućanstva (žuta vreća) 97 %.

Ukupna masa pojedinih vrsta otpada iskazana u tablici 2 za uzorke 1, 2 i 3 i uzorak 4 proizlazi iz tablice 1 kao zbroj masa pojedinačnih vrsta otpadnih materijala dobivena sortiranjem.

U posudi/vrećici za odvojeno prikupljanje otpadne plastike bilo je prisutno oko 23 % nečistoća, odnosno otpada koji nije plastika. Ako se razmatraju otpadni materijali po vrstama, tada se može zaključiti da su PET, LDPE, PS, HDPE i ostala plastika prevladavajući materijali u sortiranom otpadu, dok je PVC sadržan u analiziranom otpadu bio najmanje zastupljen. Ako se uspoređuje srednja vrijednost analiziranih uzoraka plastike, sakupljenih na kućnom pragu i uzorka iz zelenih otoka, tada je vidljivo da uzorak 4 (zeleni otok) sadrži veći udio plastike u odnosu na srednju vrijednost ostalih uzoraka. To se može tumačiti time da se danas, kad je osigurano odvojeno prikupljanje na kućnom pragu, zelenim otocima koriste osobe koje su osviještene te ciljano s otpadnom plastikom odlaze do zelenog otoka i tamo odlažu odvojeno prikupljenu plastiku.

Tablica 2 – Sumarni prikaz rezultata analize sastava otpadne plastike  
Table 2 – Summary results of plastic waste composition analysis

	Uzorak 1 Sample 1		Uzorak 2 Sample 2		Uzorak 3 Sample 3		Uzorak 4 Sample 4	
Vrsta plastike Type of plastic	Ukupna masa/kg Total weight/kg	Udio/% Share/%	Ukupna masa/kg Total weight/kg	Udio/% Share/%	Ukupna masa/kg Total weight/kg	Udio/% Share/%	Ukupna masa/kg Total weight/kg	Udio/% Share/%
PET	5,20	9,8	2,21	5,6	3,24	13,0	2,87	16,3
HDPE	4,90	9,3	3,73	9,5	4,28	17,1	0,95	5,4
PVC	0,93	1,8	0,91	2,3	0,81	3,2	0,00	0,0
LDPE	12,63	23,9	2,84	7,3	1,70	6,8	2,68	15,3
PP	2,18	4,1	2,68	6,8	1,24	5,0	2,77	15,8
PS	0,90	1,7	9,00	23,0	1,12	4,5	0,85	4,8
ostala plastika/ other plastic	7,00	13,2	4,40	11,2	1,90	7,6	3,20	18,2
ostali otpad/ other waste	11,11	21,0	8,10	20,7	8,18	32,8	2,34	13,3
limenke/cans	2,40	4,5	3,90	10,0	1,40	5,6	1,11	6,3
tetrapak/ tetrapack	5,60	10,6	1,40	3,6	1,10	4,4	0,80	4,6
<b>Ukupno Total</b>	<b>52,85</b>	<b>100,0</b>	<b>39,17</b>	<b>100,0</b>	<b>24,97</b>	<b>100,0</b>	<b>17,57</b>	<b>100,0</b>
udio plastike/ share of plastic	33,74	63,84	25,77	65,79	14,29	57,23	13,32	75,81
udio ostalog (ostalo, limenke i tetrapak)/ share of remaining	19,11	36,16	13,40	34,21	10,68	42,77	4,25	24,19

Tablica 3 – Ponderirani sastav odvojeno prikupljene otpadne plastike  
Table 3 – Weighted composition of separately collected plastic waste

Vrsta otpadnih materijala Type of waste material	Uzorci 1, 2 i 3 Samples 1, 2, and 3		Uzorak 4 Sample 4		Sveukupni sastav Overall composition
	Ukupna masa/kg Total weight/kg	Udio/% Share/%	Ukupna masa/kg Total weight/kg	Udio/% Share/%	Udio/% Share/%
PET	10,65	<b>9,1</b>	2,87	<b>16,3</b>	<b>9,3</b>
HDPE	12,91	<b>11,0</b>	0,95	<b>5,4</b>	<b>10,9</b>
PVC	2,65	<b>2,3</b>	0,00	<b>0,0</b>	<b>2,2</b>
LDPE	17,17	<b>14,7</b>	2,68	<b>15,3</b>	<b>14,7</b>
PP	6,10	<b>5,2</b>	2,77	<b>15,8</b>	<b>5,5</b>
PS	11,02	<b>9,4</b>	0,85	<b>4,8</b>	<b>9,3</b>
ostala plastika/other plastic	13,30	<b>11,4</b>	3,20	<b>18,2</b>	<b>11,6</b>
ostali otpad/other waste	27,39	<b>23,4</b>	2,34	<b>13,3</b>	<b>23,1</b>
limenke/cans	7,70	<b>6,6</b>	1,11	<b>6,3</b>	<b>6,6</b>
tetrapak/tetrapack	8,10	<b>6,9</b>	0,80	<b>4,6</b>	<b>6,9</b>
<b>Ukupno Total</b>	<b>116,99</b>	<b>100,0</b>	<b>17,57</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
udio plastike/share of plastic	73,80	63,1	13,32	75,8	<b>63,5</b>
udio ostalog (ostalo, limenke i tetrapak)/ share of remaining	43,19	36,9	4,25	24,2	<b>36,5</b>

## 4. Oporaba i reciklaža plastičnog (polimernog) otpada

### 4.1. Priprema plastičnog otpada za postupke reciklaže i oporabe

Svrha pravilnog postupanja s plastičnim otpadom je njegovo što je moguće dulje zadržavanje kao materijala u životnom ciklusu proizvoda i na kraju energetska oporaba. Da bi to bilo moguće, potrebno je osigurati potrebnu kvalitetu plastičnog materijala odnosno proizvoda koji se dobivaju recikliranjem plastičnog otpada. Odvojeno prikupljanje plastičnog otpada ključna je aktivnost u procesu gospodarenja plastičnim otpadom. Kvaliteta odvojenog prikupljanja plastičnog otpada nužna je da bi se dobio sastav plastičnog otpada iz kojeg proizlazi možebitni postupak predobrade i tehnika sortiranja na istovrsne materijale. U RH plastični otpad se prikuplja putem žutih spremnika ili vrećica koje se dijele domaćinstvima. Neovisno o tome radi li se o plastičnom otpadu kao sastavnom dijelu komunalnog otpada ili se radi o odvojeno prikupljenom plastičnom otpadu u kućanstvima, potrebno ga je sortirati po vrsti i u svrhu izdvajanja prisutnih nečistoća. Izdvajanjem nečistoća potrebno je postići čistoću veću od 95 % da bi se on mogao kvalitetno oporabiti. Također, pri tome treba imati na umu da većina plastičnog otpada nije mješljiva i nije ga moguće reciklirati bez prethodnog razdvajanja po vrstama. Nakon toga slijedi usitnjavanje, pranje i sušenje prije primjene jednog od postupaka reciklaže/oporabe. Tehnologija sortiranja koristi različite karakteristike otpada da bi se odvojile pojedine frakcije. Te karakteristike uključuju dimenzije i oblik materijala, gustoću, težinu, magne-

tizam, električnu vodljivost materijala i sl. Temeljni zahtjevi za kvalitetu izlaznih frakcija iz postrojenja za sortiranje vezani su uz postizanje njihove maksimalne čistoće shodno primijenjenoj tehnici sortiranja, uvažavajući ekonomske, ekološke i druge kriterije rada postrojenja. Sortiranjem korisnog otpada treba omogućiti njegovo odvajanje na sekundarne frakcije koje se mogu prodati kao korisna sirovina veće vrijednosti. Moguće tehnike sortiranja opisane su u "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment"<sup>30</sup> iz 2018. godine odnosno provedbenoj Odluci Komisije (EU),<sup>31</sup> koja se temelji na Direktivi o industrijskim emisijama.<sup>32</sup> Sortiranje plastičnog otpada obavlja se ručno ili automatski na temelju svojstava polimera. Sortiranje ručnom tehnikom provodi se na osnovi vizualne identifikacije plastičnog materijala, na osnovi otisnute brojčane oznake i kratica za plastiku te na osnovi različitih boja plastičnih materijala. Praksa je pokazala nedostatke takvog načina sortiranja kad su u pitanju veće količine otpada, pa su razvijene različite tehnike sortiranja plastičnog otpada na temelju njihovih različitih svojstava. Danas su razvijene različite tehnike i metode sortiranja: kemijske, fizikalne, optičke i električne. Često primijenjena metoda u razvrstavanju otpadnih polimera je spektroskopija bliskog infracrvenog zračenja (NIR spektroskopija). NIR separator upotrebljava infracrvenu svjetlost koja se odbija od predmeta te se po intenzitetu reflektirane svjetlosti prepoznaje materijal i boja. Različiti plastični materijali reflektiraju svjetlost različite valne duljine, pa senzor razlikuje polimere npr. polietilen (PE) ili polipropilen (PP) i druge predmete kao što su papir, karton, građevni otpad i sl. Dodatno je potrebno urediti programiranu bazu po-

dataka s vrstama i bojama plastičnih materijala koji se sortiraju. Nakon prepoznavanja vrste plastičnog materijala i boje komprimiranim zrakom materijal s trake se odbacuje (zrak pod tlakom).<sup>33</sup> Sortiranje plastičnog otpada znatno je poboljšano uvođenjem suvremenih senzora. Tako su razvijene tehnike *solid state-Light Emitting Diode* (LED) kojima je znatno povećan kapacitet sortiranja odnosno tehnika MSS Aladin, kojom se omogućava iz jedne heterogene šarže plastičnog otpada dobiti tri odvojena toka razvrstane plastike po boji i vrsti materijala. Kapacitet sortiranja se pri tome kreće do 6 t/h plastičnog otpada. Sortirani plastični otpad, odvojen po pojedinim tipovima plastike potrebno je oprati. Ispiranjem plastičnog otpada uklanjaju se različite nečistoće kao što su hrana i piće, ljepila, papir i sl. Pranje se odvija u posudama većeg volumena koje imaju osiguran dovod svježe vode i odvod vode nakon pranja. Pri tome se ovisno o vrsti postupka reciklaže pranje može odvijati na odgovarajućoj temperaturi i uz dodatak odgovarajućih kemijskih sredstava. Nakon pranja, u automatiziranim procesima slijedi sušenje opranog otpada. Ovisno o vrsti plastičnog otpada, temperatura sušenja treba biti prilagođena da ne bi došlo do termičke destrukcije i gubitka svojstava plastičnih materijala.

#### 4.2. Postupci reciklaže i uporabe plastičnog otpada

Prema hijerarhiji gospodarenja otpadom, prioriteti u gospodarenju plastičnim otpadom su prevencija i smanjenje nastanka otpada, ponovna upotreba, zatim reciklaža i uporaba. Recikliranje *plastičnog otpada* je svaki postupak uporabe u kojem se otpadna plastika prerađuje u nove proizvode ili materijale za izvornu ili drugu svrhu osim uporabe za energetske potrebe, odnosno prerade u gorivo. Oporaba plastičnog otpada, čiji su postupci zakonski definirani rezultiraju njegovom upotrebom u korisne svrhe kao sekundarne sirovine.

Postoji nekoliko vrsta moguće uporabe plastičnog otpada, a to su mehanička uporaba, kemijska uporaba, energijski oporavak – spaljivanjem i biorazgradnja.

Tijekom procesa kemijske uporabe otpada dolazi do nastanka novih tvari (plinovi, kemikalije), dok tijekom energetske uporabe primarno nastaje energija (struja, toplina...).








Ako je utrošak resursa u procesu uporabe otpada veći od utroška istih resursa u primarnoj proizvodnji, uporaba nema opravdanje niti s aspekta zaštite okoliša niti u ekonomsko-gospodarskom smislu. Zato je potrebno tehnološki optimizirati te procese da bi se u konačnici dobio proizvod visoke kvalitete ili proizvod s dodanom vrijednošću.<sup>34</sup>

Za odabir postupka reciklaže od iznimne je važnosti provesti pravilno prikupljanje i sortiranje plastičnog otpada. Odlukom EU komisije<sup>35</sup> utvrđen je sustav identifikacije ambalažnih materijala povezanih s Direktivom 94/62/EEC.<sup>36</sup> Tom Odlukom određene su brojčane oznake i kratice otpadnih plastičnih materijala kako je prikazano u tablici 4.<sup>37</sup>

Sukladno smjernicama EU-a i modelu cirkularne ekonomije, potrebno je razmotriti moguće tehnologije reciklaže i uporabe otpada uvažavajući analizu životnog ciklusa pro-

Tablica 4 – Brojčana oznaka i kratica za plastiku te primjer uporabe oznake za recikliranje

Table 4 – Numerical designation and abbreviation for plastics, and an example of the use of a recycling label

1.	PET – Poli(etilen-tereftalat) (Polyethylene terephthalate)	 PET
2.	HDPE – Polietilen visoke gustoće (High-density polyethylene)	 HDPE
3.	PVC – Poli(vinil-klorid) (Polyvinyl chloride)	 PVC
4.	LDPE – Polietilen niske gustoće (Low-density polyethylene)	 LDPE
5.	PP – Polipropilen (Polypropylene)	 PP
6.	PS – Polistiren (Polystyrene)	 PS
7.	O – Ostali polimerni materijali (Other polymeric materials)	 O

izvoda (LCA analiza, engl. *Life Cycle Analysis*). Ta analiza služi za procjenu svih faza životnog ciklusa proizvoda, posebice faze u kojoj proizvod daje najveći utjecaj na okoliš da bi se on smanjio, posebice kako bi se smanjilo nastajanje otpada od takvog proizvoda. Pri tome LCA omogućuje izbor puta koji najmanje opterećuje okoliš i pomaže tj. olakšava izbor metode gospodarenja otpadom od odbacivanja proizvoda do njegove reciklaže ili konačnog zbrinjavanja. Najveću količinu nastalog plastičnog otpada čini plastična ambalaža.

##### 4.2.1. Mehanički način uporabe plastičnog otpada

Mehanička uporaba plastičnog otpada je najpoznatiji oblik njegove reciklaže kojem prethodi priprema sirovine kroz postupke pranja, sušenja, rezanja i sl. Produkti uporabe polimernog otpada su polimerna sirovina i/ili polimerni proizvod. Oko 80 % plastomera može se uporabiti putem mehaničkih postupaka recikliranja. Postupak se uglavnom bazira na postupcima taljenja. Od svih vrsta plastičnih materijala uporaba PET-a jedan je od najčešćih i najrazvijenijih postupaka. Pri tome su podjednako zastupljene metode mehaničkog i kemijskog recikliranja.<sup>38</sup>

U mehaničku uporabu plastičnog otpada ubrajaju se tehnološki procesi ekstrudiranja i prešanja koji su identični

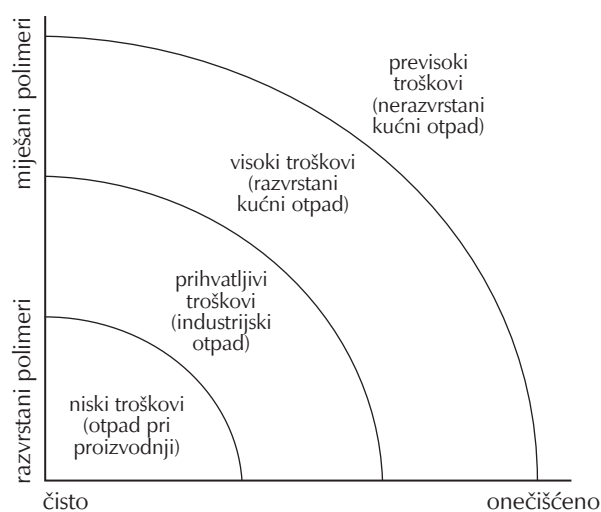
postupcima primarne proizvodnje polimernih materijala. Mehanička uporaba uključuje taljenje kao oblik toplinske prerade plastičnog otpada koji se ekstrudiranjem prevodi u nove proizvode odnosno za njihovu sirovinu.

Ekstrudiranje je postupak kojim se talina obrađenog plastičnog otpada preradi i homogenizira uz dodatak aditiva, pri čemu se dobiva proizvod u obliku granula. Te granule se najčešće prešanjem ili injekcijskim prešanjem prevode u oblik konačnog proizvoda.

Mehaničke postupke uporabe dijelimo u dvije skupine:<sup>39</sup> primarno recikliranje čistog plastičnog otpada i sekundarno recikliranje homogenog i heterogenog plastičnog otpada.

Primarno recikliranje podrazumijeva reciklažu istovrsnog plastičnog otpada, što je i najveća prednost tog procesa. Nedostatak je odvijanje procesa na visokim temperaturama koje uzrokuju termo-mehaničku razgradnju materijala i promjenu molekularne mase, što utječe na promijenjena svojstva kao što su čvrstoća, tvrdoća i elastičnost. Stoga se tijekom primarne reciklaže u postupak dodaju i čisti polimeri da bi se postigli zadani standardi kvalitete konačnog proizvoda. Reciklirani materijali upotrebljavaju se u građevinarstvu, za izradu različite ambalaže i dr.

Većinu polimera nije moguće reciklirati kad su pomiješani s drugim polimernim materijalima. U tom slučaju reciklažu nije moguće provesti bez prethodnog sortiranja na istovrsne materijale. Razvrstavanje otpada podrazumijeva njegovo odvajanje na mjestu nastanka ili sortiranje jednom od najbolje raspoloživih tehnika, što se provodi u sortirnicama otpada. Tako se odvojeni plastični otpad (na mjestu nastanka ili putem sortirnice) usitnjava mljevenjem ili rezanjem te homogenizira i skladišti. Uz opremu za mljevenje te po potrebi za ispiranje i sušenje upotrebljavaju se i uređaji za ekstrudiranje/peletiranje, s iznimkom kad se radi o recikliranju PET-a. Usitnjeni i osušeni plastični otpad se zatim ekstrudira, reže se u granule i hladi. Kao takav se u izvornom obliku ili pomiješan s čistim polimerom ponovno preradi u nove proizvode. Za razliku od primarnog recikliranja, sekundarnim recikliranjem reciklira se i raznovrsni i heterogeni plastični otpad. Cilj sekundarnog recikliranja je dobivanje polimernih mješavina iz kojih će se proizvesti novi proizvod traženih svojstava. Sekundarno recikliranje dolazi do izražaja kad krajnji postupci razdvajanja plastičnog otpada znatno podižu cijenu primarnog recikliranja zbog čega ono postaje nerentabilno. U postupku reciklaže heterogenog plastičnog otpada najveći je problem velika razlika u toplinskoj postojanosti pojedinih plastičnih materijala, čime je onemogućena njegova kvalitetna reciklaža. Zbog toga se takvoj smjesi dodaju kompatibilizatori najčešće u obliku grafita ili kopolimera, pri čemu dolazi do djelomične mješljivosti heterogene smjese s dobrim primjenskim svojstvima. U praksi su poznate mnoge polimerne mješavine pogodne za reciklažu koja se sastoji od postupaka mljevenja, pranja i prerade polimerne mješavine. Kao što je vidljivo na slici 1, kod razvrstanih čistih polimera troškovi uporabe su niski, dok su kod miješanih i onečišćenih polimera troškovi previsoki. Zbog toga je miješani plastični otpad isplativo energetski uporabiti.<sup>40</sup>



Slika 1 – Ovisnost troškova materijalne uporabe o čistoći plastičnog otpada

Fig. 1 – Dependence of material recovery costs on the purity of plastic waste

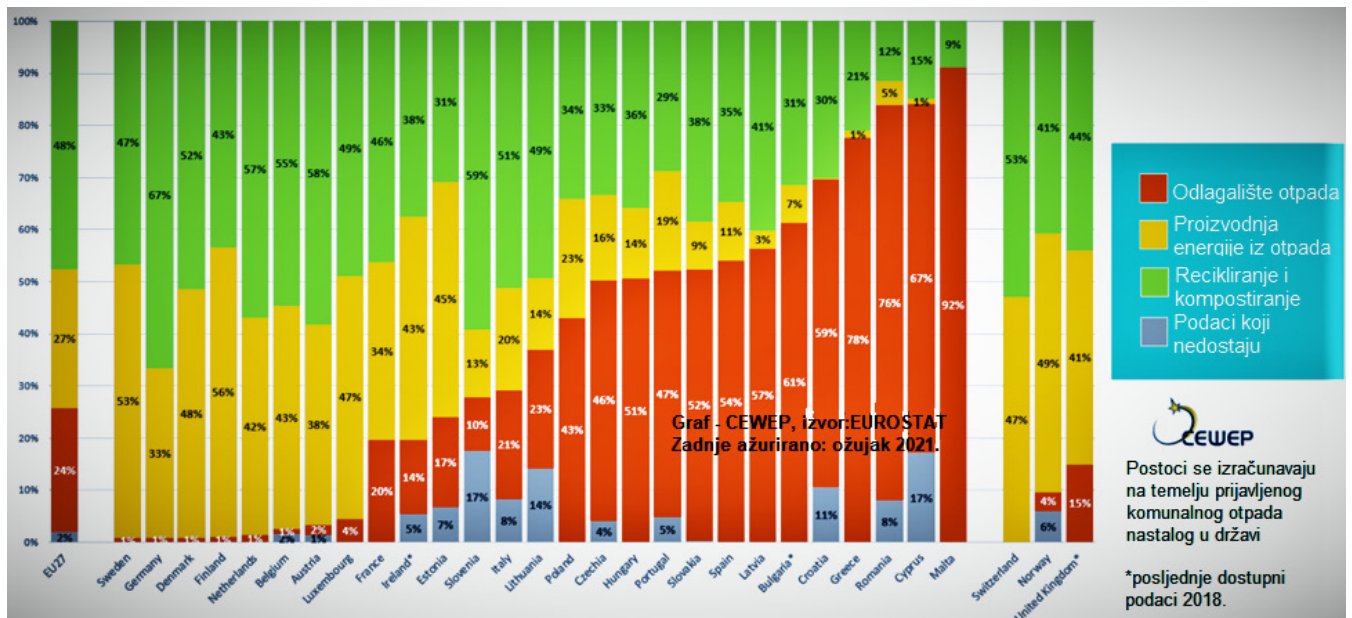
#### 4.2.2. Kemijska uporaba

Kemijskom uporabom dolazi do promjena u molekularnoj strukturi polimera, pri čemu se on razgrađuje do niskomolekulnih tvari koje su pogodne za upotrebu u rafinerijama ili drugim kemijskim postrojenjima. Za kemijsku uporabu prikladni su gotovi svi polimeri.

Kemijski postupci uporabe polimera su depolimerizacija i termoliza.

U kemijske postupke uporabe depolimerizacijom ubrajaju se hidroliza, glikoliza, alkoholiza, acidoliza i aminoliza. Kemijski postupci uporabe termolizom podrazumijevaju razgradnju polimera uzrokovanu toplinom i kemijsku razgradnju postupcima rasplinjavanja, pirolize (bez prisutnosti kisika) i hidriranja u atmosferi vodika.

Tijekom kemijske uporabe dolazi do kidanje kemijskih veza polimera pomoću toplinske energije tijekom kemijske reakcije ili pomoću kemijskih reakcija. Glavni produkti kemijske uporabe su polimerne sirovine, ulja ili plinovi koji se mogu uporabiti u proizvodnji novih petrokemijskih proizvoda i polimera. Također, procesom depolimerizacije mogu se dobiti produkti upotrebljivi kao gorivo. Taj proces osigurava visoku profitabilnost i proizvodnost uz minimalni nastanak otpada.<sup>41</sup> Najviše se primjenjuju procesi pirolize, rasplinjavanja te spaljivanje plazmom, jer su oni pogodni za obradu većih količina otpada. Prednost kemijske uporabe je ta što nije nužno razvrstavanje prema vrsti polimera (za razliku od mehaničkog recikliranja) te je prikladna za jako onečišćeni otpad i miješani plastični otpad, pri čemu aditivi i ostala onečišćivala nisu problem u obradi i dobivanju krajnjih produkata. Kao produkti dobivaju se čisti monomeri od kojih se mogu proizvesti novi polimeri za različitu primjenu. U usporedbi s mehaničkim recikliranjem (primarnim i sekundarnim), vrijednost koja je vezana uz makromolekulsku prirodu plastičnog otpada gubi se tijekom kemijske uporabe. Zbog količina otpada i troško-



Slika 2 – Udio energetske oporabe u postupanju s komunalnim otpadom po zemljama članicama EU-a  
Fig. 2 – Share of energy recovery in municipal waste management by EU member states

va uporabe postrojenja za kemijsku uporabu moraju biti većeg kapaciteta. Istodobno, zbog kontinuiranog načina rada i održivosti kemijskih postupaka reciklaže potrebna je stalna dobava veće količine plastičnog otpada. Trenutačno su problemi vezani uz tržište odnosno dostupnost odvojeno prikupljene plastike, što u kontekstu potreba kemijske uporabe može dovesti do povećanih troškova njezina prikupljanja.

#### 4.2.3. Energetska uporaba

Energetska uporaba najčešće se primjenjuje za polimerni otpad koji se izdvaja iz miješanog komunalnog otpada i koji je po sastavu heterogen. Također, za energetska uporabu povoljni su i drugi složeniji oblici otpada kao i višeslojni polimerni otpad koji nastaje u različitim industrijama, kao što je npr. automobilska. Polimerni otpad ima kalorijsku vrijednost približnu kalorijskoj vrijednosti težih loživih ulja i kreće se do  $35 \text{ MJ t}^{-1}$ . Kao takav vrlo je povoljan za energetska uporabu i na taj način može poslužiti kao zamjensko gorivo nekim fosilnim gorivima. Stoga je plastični otpad važna komponenta goriva iz otpada (GIO) poznata pod nazivom SRF (engl. *Solid Recovered Fuel*) ili visokokvalitetno kruto gorivo definiranih svojstava. Da bi se gorivi dio otpada mogao klasificirati kao normirano gorivo, prethodno je potrebna njegova obrada da bi se postigla ujednačenost sastava i fizikalno-kemijskih karakteristika kao što su vlažnost, ogrjevna vrijednost, količina pepela, sadržaj teških metala i dr.

Da bi se osigurala tražena svojstva i karakteristike, SRF se proizvodi u kontroliranim uvjetima te mora udovoljavati europskim i hrvatskim standardima opisanima u normi EN ISO 21640:2021.<sup>42</sup> SRF se pretežito sastoji od sastavnica koje mu daju potrebnu ogrjevnu vrijednost kao što su papir, karton, drvo, tekstil i plastika. Obradeno gorivo je

suho i stabilno bez neugodnih mirisa koji su karakteristični za komunalni otpad. Raspon ogrjevne vrijednosti mu se kreće od  $15$  do  $25 \text{ MJ t}^{-1}$  te se kao gorivo upotrebljava u različitim postrojenjima, od cementnih peći do toplana i termoelektrana. Mogućnost upotrebe u različitim industrijskim sektorima proizlazi iz činjenice da se radi o gorivu dobivenom iz neopasnog otpada, a posebno je interesantna cementnoj industriji budući da se, osim topline, anorganski dio ugrađuje u klinker iz kojeg se mljevenjem i dodavanjem različitih dodatka za optimiranja svojstava dobiva cement. Ipak, SRF najčešće se upotrebljava u energanama na otpad koje su ujedno i kogeneracijska postrojenja. Pri tome se proizvode električna i toplinska energija. U većini EU država SRF se uglavnom upotrebljava za proizvodnju električne i toplinske energije, a te su države ujedno i najnaprednije kad se govori o gospodarenju otpadom u smislu njegove reciklaže i uporabe. Kao što je vidljivo iz slike 2, te države ujedno imaju i najmanju stopu odlaganja otpada na odlagalištima. Trenutačno u EU-u postoji 495 energana na otpad koje oporabe oko 96 milijuna tona otpada.<sup>43</sup> Prema EU zakonodavstvu EU, biorazgradivi dio komunalnog i industrijskog otpada smatra se biomasom, dakle obnovljivim izvorom energije. Proizvodnja energije iz postrojenja za pretvaranje otpada u energiju je oko 50 % obnovljiva.

## 5. Zaključak

U ovom radu dan je pregled mogućih načina uporabe plastičnog otpada. Glavni problem uporabe otpadne plastike u RH je prikupljanje i odvajanje takvog otpada po vrstama, nedostatak sortirnica otpada i tehnoloških kapaciteta za njegovu uporabu. Općenito, zbog niske razine odvojenog prikupljanja otpada RH ima znatan potencijal za izdvajanje plastičnog otpada iz komunalnog otpada, koji je moguće dijelom materijalno, a dijelom energetska opo-



rabiti. Prema primjeru Grada Zagreba, moguće je izdvojiti do 30 % plastičnog otpada za uporabu, budući da se zbog depozitnog sustava velika većina ambalažnog plastičnog otpada prikuplja putem povratne naknade. Danas se takav otpad preuzima od privatnih i ovlaštenih obrađivača, koji ga dalje obrađuju i predaju na uporabu odnosno zbrinjavanje. Zbog cijene takve uporabe i zbrinjavanja njegovo odvojeno prikupljanje ekonomski je neisplativo. Zbog toga je potrebna nadogradnja komunalne infrastrukture u dijelu odvojenog prikupljanja otpada te izgradnja postrojenja za sortiranje. Izlazni proizvodi iz Sortirnice poslužit će kao sirovina za daljnju uporabu. Predvidljivo je da će se planskim i strateškim dokumentima iz sektora gospodarenja otpadom, dio reciklaže plastičnog otpada osigurati kroz izgradnju Centara za gospodarenje otpadom, a dijelom rješenje trebati tražiti i u energetskej uporabi kroz izgradnju energana i u uporabi goriva iz otpada u cementarama i energetskej sektoru. Na taj način osigurat će se maksimalna uporaba plastičnog otpada te njegovo kružno gospodarenje uz zadovoljavanje svih ciljeva iz EU direktiva, što nažalost danas nije slučaj i što će biti ozbiljan izazov u narednom razdoblju.

### Popis kratica

#### List of abbreviations

EU	– Europska unija
NN	– Narodne novine
JLS	– jedinica lokalne samouprave
ISO	– International Organization for Standardization
EN	– European Standards
RH	– Republika Hrvatska
GČ	– gradska četvrt
NRT	– najbolje raspoloživa tehnika
NIR	– spektroskopija bliskog infracrvenog zračenja
EAP	– Environmental Action Plan
EE	– elektronski i elektronički otpad
LED	– light emitting diode
PET	– poli(etilen-tereftalat)
HAOP	– Hrvatska agencija za okoliš i prirodu
HDPE	– polietilen visoke gustoća
LDPE	– polietilen niske gustoće
OEEO	– otpadna elektronska i elektronička oprema
PP	– polipropilen
PS	– polistiren
PE	– polietilen
PVC	– poli(vinil-klorid)
PGO	– Plan gospodarenja otpadom
SRF	– Solid Recovered Fuel
LCA	– Life Cycle Analysis

### Literatura References

1. Direktiva (EU) 2019/904 o smanjenju utjecaja određenih plastičnih proizvoda na okoliš.
2. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0571&from=EN> (posjećeno 4. 11. 2021.).
3. URL: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy\\_hr](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_hr) (posjećeno 4. 11. 2021.).
4. URL: <https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/7eap/hr.pdf> (posjećeno 5. 11. 2021.).
5. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098&from=DA> (posjećeno 5. 11. 2021.).
6. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=LEGISSUM%3Aem0028> (posjećeno 5. 11. 2021.).
7. Direktiva (EU) 2018/851 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktive 2008/98/EZ o otpadu.
8. Direktiva (EU) 2018/850 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktive 1999/31/EZ o odlagalištima otpada.
9. Direktiva (EU) 2018/852 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktive 94/62/EZ o ambalaži i ambalažnom otpadu.
10. Direktiva (EU) 2018/849 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktiva 2000/53/EZ o otpadnim vozilima.
11. Direktiva 2006/66/EZ o baterijama i akumulatorima i o otpadnim baterijama i akumulatorima.
12. Direktiva 2012/19/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 4. srpnja 2012. o otpadnoj električnoj i elektroničkoj opremi.
13. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0028&from=hr> (posjećeno 10. 11. 2021.).
14. Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (Narodne novine, broj 130/05).
15. Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje od 2017. do 2022. (Narodne novine, broj 3/17).
16. Zakonom o gospodarenju otpadom (Narodne novine, br. 84/21).
17. Pravilnikom o gospodarenju otpadom (NN 81/20).
18. URL: <https://strukturfondovi.hr/vazni-dokumenti-operativni-program-konkurentnost-i-kohezija/> (posjećeno 11. 11. 2021.).
19. Zakon o zaštiti okoliša (Narodne novine br. 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18).
20. Pravilnik o ambalaži i otpadnoj ambalaži (Narodne novine br. 88/15, 78/16, 116/17, 14/2020 i 144/20).
21. Pravilnik o ambalaži i ambalažnom otpadu (Narodne novine br. 97/05, 115/05, 81/08, 31/09, 156/09, 38/10, 10/11, 81/11, 126/11, 38/13, 86/13).
22. N. Đaković, Recikliranje polimernih proizvoda, diplomski rad, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski brod, 2021.
23. URL: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=48622> (posjećeno 12. 11. 2021.).
24. URL: <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=16694> (posjećeno 12. 11. 2021.).
25. URL: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49183> (posjećeno 4. 11. 2021.).
26. P. Uglešić, Biorazgradivi polimeri i njegova svojstva, diplom-

- ski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.
27. Izvješće o komunalnom otpadu za 2020. godinu (KLASA: 351-02/21-99/07, UR.BROJ: 517-12-1-3-1-21-1), Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, 2021.
  28. Metodologija za određivanje sastava i količina komunalnog odnosno miješanog komunalnog otpada s Naputkom za naručivanje i provedbu određivanja prosječnog sastava komunalnog odnosno miješanog komunalnog otpada, Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, Zagreb, 2015.
  29. Analiza sastava odvojeno prikupljenog otpada na području Grada Zagreba-2021, AAVA savjetovanje d.o.o., Zagreb, 2021.
  30. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control).
  31. Odluka Komisije (EU) 2018/1147 od 10. kolovoza 2018. o utvrđivanju zaključaka o najbolje raspoloživim tehnikama (NRT-i).
  32. Direktiva 2010/75/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 24. studenoga 2010. o industrijskim emisijama (integrirano sprečavanje i kontrola onečišćenja).
  33. M. Uremović, Tretman i automatsko sortiranje polimernog otpada, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2021.
  34. Z. Hrnjak-Murčić, Zbrinjavanje polimernog otpada, Sveučilište Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije (prezentacija). <https://slideplayer.com/slide/13993928> (posjećeno 5. 11. 2021).
  35. 97/129/EZ: Odluka Komisije od 28. siječnja 1997. o uspostavi sustava prepoznavanja ambalažnih materijala u skladu s Direktivom Europskog parlamenta i Vijeća 94/62/EZ o ambalaži i ambalažnom otpadu.
  36. Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća 94/62/EZ o ambalaži i ambalažnom otpadu.
  37. Pravilnik o izmjeni Pravilnika o ambalaži i otpadnoj ambalaži (Narodne novine br.78/16)
  38. M. F. Krsto, Recikliranje PET ambalaže, diplomski rad, Sveučilište Sjever, Koprivnica, 2021.
  39. N. Miličević, Gospodarenje polimernim otpadom, diplomski rad, 2020. g.
  40. M. Šercer, Oporaba plastičnih materijala i ekstrudiranje – Program stručnog osposobljavanja (prezentacija).
  41. E. Radetić, Zbrinjavanje polimernog otpada, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2016.
  42. Kruta oporabljena goriva – Specifikacije i klase (ISO 21640:2021; EN ISO 21640:2021).
  43. URL: <https://www.cewep.eu/what-is-waste-to-energy/> (posjećeno 13. 11. 2021.).

## SUMMARY

### Plastic Waste Management

Mirko Budiša<sup>a</sup> and Anita Ptiček Siročić<sup>b</sup>

In the last fifty years, there has been a significant increase in plastic waste, which has become an increasing environmental problem due to uncontrolled dumping, with significant consequences on living ecosystems. Plastic is an important and ubiquitous material in the economy and everyday life, and nearly 26 million tonnes of plastic waste are generated annually in the countries of the European Union. About 30 % of this waste is recycled, a significant part is recovered for energy, and part is still disposed of in landfills. Recycling plastic waste preserves natural raw materials such as oil and natural gas, which are used to produce plastic materials, and reduces emissions into the environment and energy consumption. Under the Resource Efficient Europe Plan, plastic waste is recognised as an important raw material for the production of new products, and is one of the key raw materials in the transition to a circular economy. This paper presents general possibilities for recycling plastic waste. Based on the indicative examination results of the composition of separately collected plastic waste in Zagreb, an assessment of the possibility of its recycling is given. In the Republic of Croatia, plastic waste is a major problem since it is inadequately sorted, and therefore represents a significant financial burden for utility companies that manage it within public service of municipal waste collection.

#### Keywords

*Plastic waste, polymers, waste management, sorting plants, municipal waste, recycling, recovery*

<sup>a</sup> Zagrebački centar za gospodarenje otpadom  
d. o. o., Savska cesta 41, 10 000 Zagreb,  
Croatia

<sup>b</sup> The Faculty of Geotechnical Engineering,  
University of Zagreb, Hallerova aleja 7,  
42 000 Varaždin, Croatia

Review  
Received December 22, 2021  
Accepted February 19, 2022