

# OPORABA PET AMBALAŽE

## PET PACKAGING RECOVERY

Anita Ptiček Siročić <sup>1\*</sup>, Marijan Đurina <sup>1</sup>, Evica Špoljarić <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, HRVATSKA

<sup>2</sup> Drava International d.o.o. Stjepana Radića 15, 31000 Osijek, HRVATSKA

\*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: anita.pticek.sirocic@gfv.hr

**Sažetak:** Ubrzani razvoj industrijalizacije omogućio je široku upotrebu polimernih materijala ne prateći pritom posljedice nagomilavanja polimernog otpada na odlagalištima otpada. Otpadni polimerni materijali velik su problem u zaštiti okoliša, sve su veće opterećenje za okoliš te je važno poznavanje načina pristupa problemu, a primarno je poznavati podjelu, tj. vrste polimernih materijala te proces nastajanja takvog otpada. U okviru ovog rada provedena je analiza postupaka zbrinjavanja poli(etilen-tereftalata), PET-a, u tvrtki „Drava International” d.o.o. iz Osijeka. Tvrtka Drava International d.o.o. iz Osijeka primarno se bavi recikliranjem odnosno uporabom otpadne folije, otpadne PE folije i otpadne PET ambalaže. Proces recikliranja uključuje predobradu i recikliranje otpadne ambalaže pri čemu se dobiva granulirani materijal iz kojeg se daljnjim postupcima proizvodnje dobiva novi gotovi proizvod, ovisno o potrebama tržišta.

**Cljučne riječi:** polimeri, poli(etilen-tereftalat), polietilen, uporaba, recikliranje.

**Abstract:** The rapid development of industrialization allowed the widespread use of polymeric materials but without understanding the consequences of the accumulation of plastic waste in landfills. The waste polymeric materials are a major problem in environmental protection, all the more burdensome for the environment and it is important to know the ways to approach the problem, classification of polymer materials as well as formation process of polymeric waste. In this paper, an analysis of disposal methods of poly(ethylene terephthalate), PET, in the company „Drava International” d.o.o. in Osijek was carried out. This company is primarily engaged in recycling and recovery of waste foil, waste PE films and waste PET bottles. The process of recycling involves processing and recycling of waste packaging to give a granular material from which further processes of production result in a new finished product, depending on market needs.

**Keywords:** polymers, poly (ethylene-terephthalate), polyethylene, recovery, recycling.

---

Received: 27.04.2016 / Accepted: 20.06.2016

Published online: 04.07.2016

---

Stručni rad / Technical paper

## 1. UVOD

Povećanom potrošnjom polimera i polimernih materijala porasle su i količine plastičnog otpada kojeg je nužno zbrinuti s ciljem postizanja minimalne štete po okoliš uz što pogodniji ekonomski trošak. Kako su polimeri i polimerni materijali zbog svoje male nasipne gustoće vrlo voluminozni, zauzimaju veliki prostor te vrlo brzo popunjavaju odlagališta otpada (Barriocanal et al. 2005). Razgradnja polimera dugotrajan je proces i polimerni materijali dugo ostaju u okolišu. Iz tog se razloga pojavila izrazita potreba za smanjivanjem količine otpada što je moguće postići učinkovitim zbrinjavanjem. Prioritetna metoda zbrinjavanja polimernog otpada jest prevencija stvaranja otpada, odnosno smanjenje nastanka otpada. Za učinkovito zbrinjavanje otpada neophodno je prikupljanje i sortiranje otpada na mjestu nastanka. Najpoželjnija metoda zbrinjavanja je recikliranje stoga se danas u velikim količinama recikliraju papir, staklo, metali i polimerni materijali dok je odlaganje ekološki neprihvatljivo i nepoželjno. Stoga, materijalno i energetske recikliranje sve je više zastupljeno jer su oba procesa ekonomična i isplativa. No, nijedan način

zbrinjavanja nije idealan te svaki od njih potencijalno može biti štetan za okoliš i zdravlje ljudi pa je neophodno ocijeniti njegov učinak te svesti mogući rizik na minimum (Kratofil Krehula 2010).

Poli(etilen-tereftalat), PET poliesterski je polimerni materijal širokog područja primjene, posebice kao ambalažnog materijala, čime se povećava udio PET-a u ukupnoj količini krutog otpada (Dimitrov et al. 2013; Ptiček Siročić et al. 2013). Najčešće metode koje se upotrebljavaju za recikliranje PET-a su mehaničko, kemijsko i energijsko recikliranje. Prije samog procesa recikliranja potrebno je provesti postupak predobrade polimernog otpada koji uključuje organizirano prikupljanje, razvrstavanje, usitnjavanje te pranje otpadnog PET-a, nakon čega slijedi postupak recikliranja (Azapagić et al. 2003; Carraher 2003). U radu je opisan postupak predobrade, koji obuhvaća prikupljanje, usitnjavanje te alkalno pranje PET-a i uporabe ambalažnih PET boca, s naglaskom na proizvodnju PET pretformi i vakuumata iz oporabljene sirovine.

## 2. SUSTAV GOSPODARENJA POLIMERNIM OTPADOM

Pod pojmom *gospodarenje otpadom* podrazumijeva se ekonomično i po okoliš razumno upravljanje cjelokupnim životnim vijekom/ciklusom otpada odnosno podrazumijeva brigu o otpadu koji nastaje u svim faza nastajanja proizvoda (prerada sirovine, proizvodnja i prerada) kao i odlaganje nakon upotrebe, što uključuje skupljanje, prijevoz, iskorištavanje, obrađivanje i odlaganje u skladu sa zakonskim obvezama. U Hrvatskoj se godišnje proizvede oko 143 000 tona plastičnoga otpada, od čega se 15 % oporabi. Doprinos uporabe plastike smanjenju emisija stakleničkih plinova je 1000 - 1700 kg/t materijalno oporabljenog čistog otpadnog materijala (PET-a, polistirena (PS), poli(vinil-klorida) (PVC)), 600 - 800 kg/t energijski oporabljenog plastičnog otpada te 150 kg/t materijalno oporabljenog miješanog plastičnog otpada (Azapagić et al. 2003; Barić 2009; Kratofil Krehula 2010).

Kao jedan od načina uvođenja reda u gospodarenju polimernim otpadom, 1. siječnja 2006. u Republici Hrvatskoj uveden je sustav razvrstavanja i prikupljanja PET ambalaže. Takav način sakupljanja pokazao je izvrsne rezultate, zato što je ustanovljeno da se tim sustavom prikuplja gotovo sva PET ambalaža. Zahvaljujući uspostavljenom sustavu gospodarenja PET bocama, do sada je sakupljeno 57 000 tona, od čega je 90 % oporabljeno u Hrvatskoj, a ostatak je izvezen (Barić 2009).

### 2.1. Metode zbrinjavanja ambalažnog polimernog otpada

Glavni ciljevi recikliranja polimernog otpada kao načina zbrinjavanja su: smanjivanje upotrebe prirodnih resursa, smanjivanje količine otpada i u konačnici, zaštita okoliša. Zbrinjavanje otpada uključuje njegovo prikupljanje, skladištenje, obrađivanje otpada prije odlaganja, prijevoz otpada, zatvaranje i/ili saniranje odlagališta te recikliranje. Uspješno prikupljanje polimernog otpada započinje dobrom organizacijom, a najpogodnije je na izvoru njegova nastajanja, na početku i kraju proizvodnog procesa te na kraju uporabnog vijeka u kućanstvima i industriji.

Smanjenjem nastajanja otpada u proizvodnom dijelu te njegovim povratkom u proizvodni proces znatno se mogu smanjiti troškovi proizvodnje (Vilaplana et al. 2008).

Zbog različitih vrsta plastičnih materijala koji se koriste i činjenice da nisu međusobno kompatibilni, sortiranje otpadnih plastičnih materijala predstavlja osnovni dio postupka recikliranja. Polimerna ambalaža izrađuje se kombiniranjem različitih materijala i oblika, što otežava sortiranje, a ponekad potpuno onemogućava ponovnu upotrebu (Šćedrov et al. 2008). Radi jednostavnijeg i efikasnijeg prikupljanja, sortiranja i recikliranja, proizvodi od različitih vrsta plastike označavaju se prema Pravilniku o ambalaži i ambalažnom otpadu (NN Pravilnik o ambalaži i ambalažnom otpadu, Narodne novine 94/13 2015) brojevima i simbolima plastičnih ambalažnih proizvoda od jedan do šest dok se broj sedam odnosi na sve ostale vrste (Slika 1).

Sortiranje polimernog otpada provodi se ručno ili automatiziranim vođenjem pomoću računala. Ručno sortiranje, koje je najčešće neefikasno i ekonomski nepovoljno, vrši se na osnovi vizualne identifikacije otisnutog identifikacijskog broja na ambalaži te na osnovi nijansi i različitih obojenja. Automatizirano sortiranje bazira se na metodi identifikacije otpadnih plastičnih materijala odnosno prema razlikama u kemijskim, optičkim, električnim ili fizikalnim svojstvima plastičnih materijala. Većina fizikalnih procesa oslanja se na jedinstveno svojstvo nekog polimera kao što su: gustoća, hidrofobnost, prisustvo klora ili na specifično svojstvo polimera koje varira sa temperaturom; točka taljenja, topljivost. Komercijalna metoda sortiranja mora biti brza, pouzdana, ekonomična i fleksibilna kako bi dorasla različitim oblicima kontaminacije kao npr. variranju boje. Nakon provedenog procesa sortiranja, plastika se priprema za recikliranje. Kako bi otpadna plastika bila prikladnija za transport i punjenje reciklažnog postrojenja, neophodno je usitnjavanje plastike zbog njene voluminoznosti. Mehaničke tehnike usitnjavanja su: mrvljenje i granuliranje; zgušćivanje i zbijanje te mljevenje u prah. Postupak usitnjavanja otpadne plastike omogućuje odstranjivanje ostalih materijala s proizvoda, a često se postupci usitnjavanja kombiniraju s procesom recikliranja.



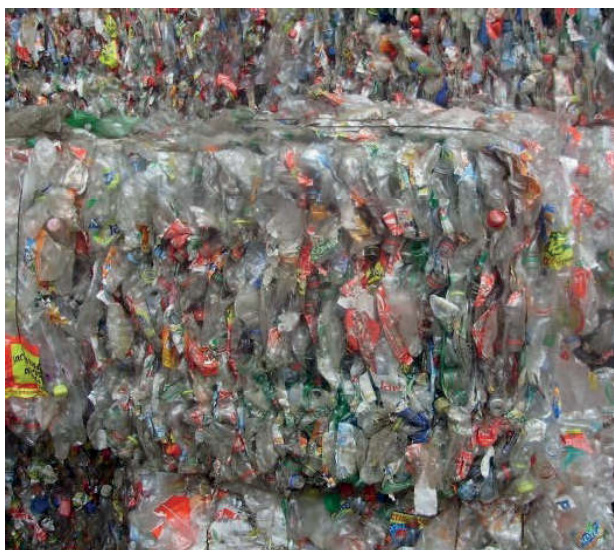
Slika 1. Simboli pojedinih vrsta polimernih materijala

## 2.2. Recikliranje polimernog otpada

Pojam recikliranja ili oporavak označava ponovnu uporabu plastičnog otpada, što podrazumijeva svaki postupak recikliranja na temelju kojega se otpadni materijali ponovno obrađuju u proizvode, materijale ili tvari, za izvornu ili za neku drugu svrhu. Recikliranje materijala uključuje ponovno prerađivanje organskog materijala, no ne uključuje iskorištavanje energije i prerađivanje u materijale koji će se koristiti kao gorivo ili u neke druge svrhe (Kratofil Krehula et al. 2015, Azapagić et al. 2003).

Mehaničko recikliranje predstavlja toplinsku preradu materijala, taljenje i ekstruziju polimera u svrhu dobivanja novih polimernih materijala. Na taj način reciklirani materijali koriste se uz dodatak originalnog polimera za primarnu namjenu jer sami ne bi udovoljili pojedinim mehaničkim zahtjevima, a i izgled konačnog proizvoda vrlo je bitan.

Kemijsko recikliranje obuhvaća materijalni oporavak pri kojem se polimerni otpad tretira kemijski ili toplinski sve do polazne sirovine, tj. monomera (López-Fonseca et al. 2010). Kemijsko recikliranje znatno se razlikuje od mehaničkog recikliranja koje daje konačan produkt polimera. Kemijski se mogu oporaviti plastomeri,



duromeri i elastomeri, a najvažniji postupci oporavka su: hidriranje (hidrogenacija), piroliza (termoliza) te rasplinjavanje plastičnog otpada (plinifikacija).

Energetski oporavak polimernog materijala podrazumijeva njegovo spaljivanje i iskorištavanje dobivene energije, a na taj se način obrađuje 13,4 % ukupnog otpada. Energetskim recikliranjem oporabljuje se plastični i gumeni otpad spaljivanjem na roštilju i u vrtložnom sloju, oporavkom u cementnim pećima i toplinskom oporabom uz dodatak mulja. Zbog svoje visoke energetske vrijednosti plastični otpad može zamijeniti ugljen i to do 80 %. Samim time što je energetski oporavak plastike najmanje poželjna opcija, ne znači nužno da će mehaničko i kemijsko recikliranje u potpunosti zamijeniti energetsko recikliranje.

Odlaganje polimernog otpada znači ekonomsku, ali ne i znatnu ekološku štetu, jer je plastični otpad neutralan i pridonosi stabilnosti odlagališta. S obzirom na nerazgradljivost polimernog otpada, na odlagalištima nema emisija plinovitih i kapljevitih onečišćenja, koje su posljedica biorazgradnje materijala u odlagalištu. Budući da se polimerni materijali upotrebljavaju nekih 70-tak godina, još uvijek nema dovoljno informacija o njihovom djelovanju na odlagalištima, osim da pokazuju vrlo male promjene i nakon niza godina.



Slika 2. Balirana PET ambalaža

## 3. OPORABA PET-a

Tvrtka Drava International d.o.o. iz Osijeka primarno se bavi recikliranjem odnosno oporabom otpadne PE folije i otpadne PET ambalaže. Proces recikliranja u potpunosti je zaokružen u smislu da se otpadna ambalaža sortira i reciklira pri čemu se dobivaju granulirani materijali koji se u daljnjem postupku proizvodnje pretvaraju u gotove proizvode, ovisno o potrebama tržišta. Otpad koji nastaje u postupku recikliranja koristi se kao sirovina za proizvodnju sintetičkog dizela postupkom katalitičke depolimerizacije (Anić Vučinić et al. 2014).

Postrojenje za oporabu ambalaže u navedenoj tvrtki sastoji se od niza povezanih tehnoloških procesa, a može se podijeliti na:

a) oporabu PE folije koja uključuje oporabu i proizvodnju PE folije;

b) oporabu PET ambalaže koja uključuje: oporabu PET ambalaže, proizvodnju PET folije, PET vakuumata, PET pretformi i čepova od polietilena visoke gustoće (HDPE).

Sortiranje otpadne PET ambalaže započinje raspakiravanjem bala otpadne PET ambalaže (Slika 2).

Iz prikupljene ambalaže izdvaja se zaostala folija, žice i papir, a ambalaža se transportnom trakom odvodi do optičke sortirnice koja detektira različite boje PET ambalaže i propuhivanjem sortira ambalažne boce (Slika 3). Ovakav sustav sortiranja ima učinkovitost oko 98 % te je dobra podloga za finu selekciju u narednim etapama proizvodnog procesa.



*Slika 3. Linija za sortiranje otpadne PET ambalaže*

Otpadna ambalaža sortirana po boji melje se na frakcije dimenzija 8-12 mm u mlinu koji se nalazi u vodi. Samljeveni PET zatim se transportira u centrifugu gdje se cijedi i suši, a mehanički se odvajaju komadići etiketa i nečistoće. Ova faza završava u vertikalnom selektoru koji odvaja etikete (poliolefini) od ostalog materijala, a očišćeni PET listići idu u daljnju obradu.

U daljnjem procesu obrade, PET listići se razdvajaju na temelju specifične težine na dvije frakcije pri čemu jednu frakciju čine materijali lakši od vode (čepovi i druge plastične primjese), a drugu PET, koji tone. Potom se svaka frakcija centrifugira i suši, a u vodenom mediju otapa se zaostalo ljepilo. PET listići zagrijavaju se na 78 °C, pri čemu se u potpunosti odstranjuje ljepilo i ostale nečistoće uz stalno centrifugiranje. Ljepilo se izdvaja, a PET listići idu dalje na ispiranje. Završno čišćenje PET listića odvija se kroz vertikalni zračni selektor, vibracijsku stanicu, magnetni detektor i infracrveni odjeljivač.

U vertikalnom selektoru izbacuju se nečistoće tankih stijenki dok se u vibracijskoj stanici odvajaju PET listići koji po dimenzijama ne odgovaraju željenoj veličini (8-12 mm). Magnetni detektor odvaja zaostale čestice metala, a infracrveni selektor odvaja PET listiće neželjene boje.

Mljeveni prozirni i šareni PET listići (Slika 4) pakiraju se na samoj liniji u „big-bag“ vreće (Slika 5) što predstavlja zadnji korak u mehaničkoj obradi otpadne PET ambalaže. Dio PET listića ide u daljnju proizvodnju PET folije dok se manji dio PET listića dalje procesuiru u proizvodnju PET pretformi i čepova.



*Slika 4. Prozirni i šareni listići PET-a*



*Slika 5. Pakiranje mljevenog PET-a*

### 3.1. Opis procesa proizvodnje PET folije

Sirovina za proizvodnju PET folije reciklirana je PET ambalaža uz originalni granulirani, ovisno o tome za koji tip proizvoda će se predmetna folija koristiti. Ukoliko se radi o proizvodnji ambalaže za držanje hrane (PET vakuumati), tada se folija proizvodi samo od originalne sirovine.

PET listići ili originalni granulirani iz vreća pomoću transportnih cijevi transportira se do centralnog silosa za miješanje iz kojeg se uređajima i transportnim cijevima dopremaju u dozator, a potom u sam ekstruder. Na isti se način transportira i dozira originalni granulirani u pomoćni ekstruder. Ekstruder je opremljen grijačima i sustavom za održavanje konstantne zadane temperature u pojedinim zonama gdje se omekšava PET te se uklanja eventualno zaostala vlaga. Omekšani i pročišćeni PET pomoću transportnog sustava transportira se do filtera gdje se pomoću mrežica čisti od eventualno zaostalih mehaničkih nečistoća te se putem pritiska transportira do diobene glave. U diobenoj glavi materijal se iz osnovnog ekstrudera s gornje i donje strane oblaže novim materijalom. Tako obloženi materijal se pomoću transporter transportira do ravne glave na kojoj se, ovisno o potrebama, određuje širina i debljina folije. Rastaljeni PET pada na prvi valjak sustava za kalandriranje, koji se sastoji od tri valjka, gdje se uz pomoć pritiska dobije određena debljina dok se hlađenjem postiže određena prozirnost. Ohlađena i formirana folija se pomoću vodećih valjaka dovodi do uređaja za kontrolu debljine, a prema potrebi folija se odvodi dalje do sustava za nanošenje silikona. Rezanje na konačan format i namatanje odvija se na namataču folije. Folija namotana na kartonske tuljce pakira se i transportira do kupca ili odlazi na daljnju obradu u pogon za proizvodnju vakuumata.

### 3.2. Opis procesa proizvodnje PET vakuumata

Proizvodnja PET vakuumata proces je kojim se iz ravne folije dobiva određeni oblik potreban za pakiranje proizvoda. Najčešće se radi o posudicama za pakiranje raznovrsnih prehrambenih proizvoda. PET vakuumati (Slika 6) proizvode se procesom vakuumiranja iz ravne folije pri čemu se dobiva željeni oblik posudica.



*Slika 6. PET vakuumat*

Ekstrudirana PET folija odmatava se na uređaju za odmatanje PET folije. Razmotana PET folija prolazi kroz uređaj za zagrijavanje u kojem se folija grije na određenu temperaturu (temperatura ovisi o debljini folije, dubini izvlačenja, vrsti folije...). Tako pripremljena folija transportira se do stanice za formiranje. Na stanici za formiranje, koja u sebi ima alat koji se sastoji od donjeg i gornjeg dijela, uz pomoć vakuuma i tlaka zraka, folija se uvlači u otvore za formiranje, pritišće se formiračima, naglo se hladi te izbija van iz alata za formiranje. U stanici za formiranje nastaje i matična folija u manjim količinama koja ide po potrebi u ponovni proces proizvodnje. Formirani oblik transportira se dalje do stanice za izrezivanje konačne forme gdje se ponovno uz pomoć određenih alata odreže željeni oblik. Željeni oblik, koji se još uvijek drži za matičnu foliju, transportira se do stanice za slaganje gdje se iz matične folije alatima izbija i slaže konačna forma u željenim količinama.

Ostaci matične folije nakon izrezivanja željenih formi ponovno se melju i služe kao sirovina u proizvodnji PET folije odnosno u ovom segmentu proizvodnje nema otpada.

### 3.3. Opis procesa proizvodnje PET pretformi

Tehnološki proces sastoji se od ukupno jedanaest brizgalica, šest brizgalica za PET pretforme dok se ostale koriste za proizvodnju HDPE čepova. PET pretforme dobivaju se postupkom brizganja. Brizganje je proces kojim se dobije određena pretforma iz koje se poslije procesom zagrijavanja i puhanja dobiva određeni oblik i volumen boce od PET-a. Pripremljeni PET se u granulama iz vreća dozira pomoću dozirnog uređaja, a dodatno se u dozator dodaju bojila i aditivi. Pripremljena smjesa ulazi u pužni transporter gdje se zagrijava na određenu temperaturu i transportira do spremnika iz kojeg se pod utjecajem velikih sila, koje omogućuje hidraulični uređaj, ubrizgava u alat. Za svaku pretformu potreban je određeni alat koji daje oblik i željenu formu. Ubrizgana masa u alatu se naglo hladi, alat se otvara pa se uz pomoć izbacivača

stvorena forma izbacuje iz alata i dalje transportnim sustavom transportira do kutija u koje se pakira.

#### 4. ZAKLJUČAK

Porastom potrošnje polimernih materijala rastu i količine polimernog otpada kojeg je nužno zbrinuti na prikladan način. Za učinkovito zbrinjavanje otpada potreban je dobro organiziran sustav sortiranja otpada na mjestu nastanka i prikupljanja otpada od lokalnih ovlaštenih poduzeća kako bi se osigurala dovoljne količine polimernog materijala za ekonomski isplativo recikliranje. Postupkom recikliranja i uporabe sirovine nastaju novi proizvodi koji se vraćaju potrošaču.

Poli(etilen-tereftalat), PET, ambalažni je polimerni materijal čija je upotreba i potrošnja u svakodnevnom porastu jer je čvrst, lagan i otporan na udarce, u usporedbi s ostalim ambalažnim materijalima. Tvrtka Drava International d.o.o. iz Osijeka primarno se bavi recikliranjem odnosno uporabom otpadne folije, otpadne PE folije i otpadne PET ambalaže. Proces recikliranja uključuje predobradu i recikliranje otpadne ambalaže pri čemu se dobiva granulirani materijal iz kojeg se daljnjim postupcima proizvodnje dobiva novi gotovi proizvod, ovisno o potrebama tržišta.

#### 5. LITERATURA

- Anić Vučinić A, Ptiček Siročić A, Vujević D (2014) Tehničko-tehnološko rješenje uporabe otpadne PET i PE ambalaže Drava International d.o.o. Osijek, Zagreb
- Azapagić A, Emsley A, Hamerton I (2003) *Polymers, the Environment and Sustainable Development*. John Wiley & Sons, London
- Barić G (2009) Održivo upravljanje polimernim otpadom. *Polimeri* 30 (3):164-165
- Barriocanal C, Diez MA, Alvarez R (2005) PET recycling for the modification of precursors in carbon materials manufacture. *J Anal Appl Pyrol* 73(1):45-51
- Carraher CE (2003) *Giant molecules*. John Wiley & Sons, New Jersey
- Dimitrov N, Kratofil Krehula Lj, Ptiček Siročić A, Hrnjak-Murgić Z (2013) Analysis of recycled PET bottles products by pyrolysis-gas chromatography. *Polym Degrad Stab* 98 (5):972-979
- López-Fonseca R, Duque-Ingunza I, de Rivas B, Arnaiz S, Gutiérrez-Ortiz JI (2010) Chemical recycling of post-consumer PET wastes by glycolysis in the presence of metal salts. *Polym Degrad Stab* 95 (6):1022-1028
- Kratofil Krehula Lj (2010) Recikliranje i modificiranje poli(etilen-tereftalata) reaktivnim ekstrudiranjem, doktorska disertacija, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb
- Kratofil Krehula Lj, Hrnjak Murgić Z, Katančić Z (2015) *Plastics and Priority during the Recycling*. In: Gaurina-Medjimurec N (ed) *Handbook of Research on Advancements in Environmental Engineering*, Hershey, Pennsylvania
- NN Pravilnik o ambalaži i ambalažnom otpadu, Narodne novine 94/13, 2015
- Ptiček Siročić A, Fijačko A, Hrnjak Murgić Z (2013) Chemical recycling of postconsumer poly (ethylene terephthalate) bottles – depolymerization study. *Chem Biochem Eng Q* 27 (1):65-71
- Ščedrov O, Muratti Z (2008) Pakiranje, ambalaža i zaštita okoliša. *Sigurnost* 50 (3):287-289
- Vilaplana F, Karlsson S (2008) Quality concepts for the improved use of recycled polymeric materials: a review. *Macromol Mater Eng* 293:274-97