

Znanstveni projekti *Razvoj inovativnih višefunkcionalnih polimernih mješavina i Istraživanje, razvoj i ocjena polimernih kompozita za primjenu u građevinarstvu*

Priredile: Jasenka JELENČIĆ i Zlata HRNJAK-MURGIĆ

Uvod

Na *Zavodu za polimerno inženjerstvo i organsku kemijsku tehnologiju Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije* istraživanje polimernih materijala započelo je emulzijskom i suspenzijskom polimerizacijom vinil-acetata koje su istraživali dr. sc. Mladen Bravar, red. prof., i dr. sc. Jasenka Jelenčić, red. prof. Istraživanja postojanosti, modifikacije i razgradnje različitih polimernih materijala nastavila su se u sklopu znanstvenoistraživačkog projekta *Degradacija, stabilizacija i modifikacija polimernih materijala*. Važnije istraživanje polimernih mješavina i kompozita počinje 2000. i nastavlja se u sklopu projekta *Mikrokompoziti, nanokompoziti i polimerne mješavine punjene česticama*. Danas se područje istraživanja u sklopu novih znanstvenoistraživačkih projekata proširilo na sintezu kopolimera, pripremu i karakterizaciju višefaznih polimernih sustava te recikliranje polimera.

Pregled istraživanja

U tijeku su istraživanja na dvama znanstvenim projektima koja financira *Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa RH: Razvoj inovativnih višefunkcionalnih polimernih mješavina* voditeljice dr. sc. Jasenke Jelenčić, red. prof., i *Istraživanje, razvoj i ocjena polimernih kompozita za primjenu u građevinarstvu* voditeljice dr. sc. Zlate Hrnjak-Murđić, red. prof., sa suradnicima, znanstvenim novacima dr. sc. Anitom Ptiček-Siročić, mr. sc. Ljerkom Kratočil-Krehula i Zvonimiro Katančićem, dipl. ing. (slika 1).

Istraživanja na području gospodarenja polimernim otpadom

Plastika i guma onečišćuju okoliš zbog svoje iznimno široke primjene, voluminoznosti i neuklapanja u prirodne tijekove. Polimerni materijali kao takvi nisu otrovni i štetni za okoliš i zdravlje, ali su problem na odlagalištima otpada jer se vrlo sporo razgrađuju. Istraživanje postupaka uporabe polimernih materijala stoga je važno za zaštitu okoliša, ali i iz ekonomskih razloga jer je taj otpad vrijedna sirovina koja se može iskoristiti za dobivanje novog materijala (materijalna uporaba) ili za iskorištenje energije tijekom spaljivanja (energetska uporaba). Tijekom mehaničke uporabe polimerni se otpad uz dodatak originalnog polimera taljenjem prerađuje u novi proizvod s novim područjem primjene. Istraživanja degradacije polimernog materijala, kao i postupaka uporabe važna su za kvalitetno gospodarenje polimernim otpadom.

Istraživano je recikliranje polietilena niske gustoće (PE-LD) kao materijala za ambalažnu foliju, za pokrivanje staklenika te prekrivanje biljaka na tlu tijekom uzgoja u poljoprivredi (malčiranje). PE folija je najprije podvrgnuta starenju da bi se simulirali uvjeti njezine primjene, a potom reciklirana uz reciklostabilizator koji je dodan

radi povezivanja polimernih radikala nastalih tijekom starenja, odnosno primjene. Kako je glavna posljedica starenja polimera depolimerizacija, tj. nastajanje polimernih molekula nižih molekularnih masa, njihovo ponovno povezivanje omogućuje oporavak polimernih lanaca, odnosno povećanje molekularnih masa PE-a, čime se poboljšavaju mehanička svojstva reciklirane PE folije (slika 2).



SLIKA 1 - Znanstveno-nastavno osoblje Zavoda

Poli(etilen-tereftalat) (PET) rabi se u proizvodnji ambalaže za prehrambenu industriju (posudice i kalupi za čokoladu, sladoled i dr.), a važan je materijal za ambalažu namijenjen za pakiranje napitaka (gaziranih napitaka, sokova, mlijeka, piva...) kao zamjena za staklene boce. U sklopu projekata istraživanja je kemijska uporaba PET-a, što podrazumijeva depolimerizaciju na njegove polazne komponente. Produkti depolimerizacije glikolizom su monomeri etilen-glikol (EG) i bis(2-hidroksi-etil)tereftalat (BHET), uz manji udio PET oligomera. Natrijev tereftalat (Na_2TPA) i etilen-glikol monomeri su nastali hidrolizom PET-a. Iz tako dobivenih monomera dobivaju se poliesterska vlakna, a nastali oligomeri mogu biti intermedijeri za dobivanje drugih polimera.

Recikliranje PET boca znatno otežavaju zaostale nečistoće, tj. drugi polimeri, npr. čep od PE-HD-a, naljepnica od PVC-a ili PE-a, a tu je i ljepljivo kojim je naljepnica pričvršćena za bocu. Kako su polimeri uglavnom nemješljivi, to već i mali udio drugog polimera znatno narušava svojstva materijala dobivenog recikliranjem. Stoga su istraživane polimerne mješavine PET-a i polietilena visoke gustoće (PE-HD) uz dodatak kompatibilizatora radi poboljšanja mješljivosti. Da bi se dobila što efikasnija kompatibilizacija, sintetiziran je izocijanatni HI kompatibilizator iz 2-hidroksietilmetakrilata (HEMA) i heksametilen-diizocijanata (HMDI), prema reakciji prikazanoj na slici 3.

kvalitetne zamjene za mnoge polimerne materijale, ali se jednako tako i dalje istražuju nova rješenja. Najveći učinci postignuti su dodatkom modificiranih nanopolunila.

Znanstvenoistraživačka oprema

Za ostvarivanje istraživačkih zadataka na raspolaganju je sljedeća oprema:

- dvopužni ekstruder *Bench Top 21 mm Twin Screw Compounder*, *Rondol Technology Ltd.* (slika 7) s granulatorom
- ubrizgavalica za injekcijsko prešanje *High-Force 5 Injection Moulding Machine*, *Rondol Technology Ltd.* s dva izmjenjiva kalupa za injekcijsko prešanje prema normama *ASTM 4508* i *ISO 527-2-A5*
- infracrveni spektrofotometar s Fourierovim transformacijama (FTIR) *Spectrum One Perkin Elmer*
- termogravimetrijski analizator (TGA) *Q500 TA Instruments*.

Istraživačka skupina raspolaže laboratorijskom opremom za sintezu polimera, karakterizaciju polimera i višefaznih polimernih sustava te s više laboratorijskih reaktorskih linija. Uz navedenu opremu na raspolaganju je i dodatna oprema na *Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije* (DSC, DMA, GPC, mehanička ispitivanja), kao i oprema na *Institutu "Ruđer Bošković"* (rendgenska difrakcija, NMR), a za SEM mikroskopsku karakterizaciju korištene su usluge tvrtki *Solvay* i *INA-e*.



SLIKA 7 - Dvopužni ekstruder *Bench Top 21 mm Twin Screw Compounder*, *Rondol Technology Ltd.*

Znanstvena suradnja

Dio istraživanja izveden je u suradnji s domaćim znanstveno-istraživačkim skupinama: dr. sc. V. Kovačević, red. prof. *FKIT-a*, i dr. sc. T. Kovačić, red. prof. *Kemijsko-tehnološkog fakulteta* u Splitu, te onima iz međunarodnih institucija: prof. dr. sc. D. Packham, *University of Bath*, UK, prof. dr. sc. D. Braun, *Deutsches Kunststoff Institut*, Darmstadt, Njemačka, a započeta je i suradnja s prof. dr. sc. A. Azapagić, *University of Manchester*, UK. Dio istraživanja također je izveden u suradnji s industrijom za njezine potrebe: organsko petrokemijska industrija *DIOKI*, tvornica električnih kabela *ELKA*, tvrtka za recikliranje polimernog otpada *Brković*. Provedena su, u sklopu međunarodnog projekta, i znanstvena istraživanja za belgijsku tvrtku *Solvay*.

Popis znanstvenih radova

Istraživačka je skupina u posljednjih deset godina svoj znanstveno-istraživački rad objavljivala u više znanstvenih časopisa, uglavnom s međunarodnom recenzijom, zatim u zbornicima radova s međunarodnom i domaćom recenzijom te na nekoliko usmenih i više posterskih izlaganja na domaćim i međunarodnim konferencijama.

Poglavlje u knjizi

1. Kratofil Krehula, Lj., Ptiček Siročić, A., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J.: *Recycling of Low Density Polyethylene Greenhouses Film Exposed to Preageing*, u: *Environmental Management; Trends and Results*, Koprivanac, N., Kušić, H. (ur.), Faculty of Chemical Engineering and Technology, Zagreb, 2007., 95-104.

Radovi objavljeni u indeksiranim publikacijama

1. Kratofil Krehula, Lj., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J., Andričić, B.: *Evaluation of Poly(ethylene-terephthalate) Products of Chemical Recycling by Differential Scanning Calorimetry*, *J. Polym. Environment*, 2008. (prihvaćen za objavljivanje)
2. Ptiček Siročić, A., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J.: *Effect of the Filler and the Compatibilizer on the Properties of Filled Blends*, *Compos. Interface*, 16(2009), 85-95.
3. Ptiček, A., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J.: *Effect of Compatibilizer on Morphology and Mechanical Properties of SAN/EPDM Blends*, *Int. Polym. Proc.*, 23(2008)4, 356-362.
4. Kratofil Krehula, Lj., Hrnjak-Murgić, Z., Andričić, B., Jelenčić, J.: *Study of PET Depolymerization During the Recycling*, *e-Polymers*, 089(2008), 1-12.
5. Kratofil, Lj., Ptiček, A., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J., Mlinac-Mišak, M.: *Compatibilization Effects in SAN/EPDM Blends Prepared by Reactive Extrusion*, *J. Elastom. Plast.*, 39(2007)4, 371-382.
6. Kratofil, Lj., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J., Andričić, B., Kovačić, T., Merzel, V.: *Study of the Compatibilizer Effect on Blends Prepared of Waste Poly(Ethylene-Terephthalate) and High Density Polyethylene*, *Int. Polym. Proc.*, 21(2006)3, 328-335.
7. Ptiček, A., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J., Kovačić, T.: *Study of the Effect of Structure of Ethylene-Propylene-Diene-Graft-Polystyrene Copolymers on their Physical Properties*, *Polym. Degrad. Stabil.*, 90(2005)2, 319-325.
8. Vugrinec, J., Kratofil, Lj., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J.: *New Materials from Degraded Styrene-Acrylonitrile and Ethylene-Propylene-Diene Copolymers*, *e-Polymers*, 1(2004)035, 1-10.
9. Hrnjak-Murgić, Z., Kratofil, Lj., Jelčić, Ž., Jelenčić, J., Janović, Z.: *Reactive Extrusion of SAN/EPDM Blends*, *Int. Polym. Proc.*, 2(2004), 139-146.
10. Hrnjak-Murgić, Z., Jelčić, Ž., Kovačević, V., Mlinac Mišak, M., Jelenčić, J.: *Molecular and Morphological Characterization of Immiscible SAN/EPDM Blends Filled by Nano Filler*, *Macromol. Mater. Eng.*, 287(2002), 684-692.
11. Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J.: *Change of Network Structure of Natural Rubber Vulcanizate with Thermal Aging*, *Macromol. Mater. Eng.*, 283(2000), 21-25.

Radovi objavljeni u zbornicima s međunarodnog skupa

1. Jelenčić, J., Kratofil Krehula, Lj., Hrnjak-Murgić, Z.: *Study of the PET Depolymerization During Recycling*, *Programme and Book of Abstracts*, Slovenian Chemical Society, Portorož, 2007., 1-4.
2. Ptiček, A., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J., Mlinac Mišak, M.: *Morphology and Thermal Behaviour of SAN/EPDM Blends*, *Programme and Book of Abstracts*, Slovenian Chemical Society, Portorož, 2007., 1-3.
3. Kratofil, Lj., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J.: *Study of PET/HDPE Blends with EPDM Compatibilizer*, *International Conference MATRIB 2006*, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Vela Luka, 2006., 86-92.

4. Ptiček, A., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J.: *Effect of Compatibilizer EPDM-g-PS Graft Copolymers on Properties of SAN/EPDM Polymer Blends*, International Conference Materials Tribology Processing MATRIB 2006, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Vela Luka, 2006., 181-187.
5. Hrnjak-Murgić, Z., Kratofil, Lj., Ptiček, A., Jelčić, Ž., Jelenčić, J., Mlinac Mišak, M.: *Styrene – Co – Acrylonitrile / Ethylene – Propylene - Diene Morphology and Mechanical Properties*, 21st Annual Meeting of the Polymer Processing Society, Proceedings, Leipzig, Njemačka, 2005., 1-7.
6. Ptiček, A., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J., Kovačić, T.: *Structure-Properties Relationships of Graft Copolymers EPDM-g-PS, PE-g-HH, EPDM-g-HH*, Third International Conference on Polymer Modification, Degradation and Stabilisation, MoDeSt 2004, Proceedings, Lyon, Francuska, 2004., 1-4.
7. Kratofil, Lj., Čović, I., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J.: *Glycolysis and Hydrolysis: Methods for Chemical Recycling of Poly(ethylene terephthalate)*, International Conference on Materials, Tribology & Processing, Proceedings, Vela Luka, 2004., 140-146.
8. Ptiček, A., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J., Kovačić, T.: *Characterization of Modified Graft Copolymers*, International Conference on Materials, Tribology & Processing, Matrib 2004, Proceedings, Vela Luka, June 2004, 238-243.
9. Ptiček, A., Petrinec, Ž., Hrnjak-Murgić, Z., Jelenčić, J.: *Study of Optimal Conditions of In-situ Polymerization of Graft Copolymer EPDM-g-PS and Its Role in Polymer Blends*, International Conference on Materials, Tribology & Processing, Matrib 2003, Proceedings, Vela Luka, 2003., 215-221.
10. Kovačević, V., Lučić Blagojević, S., Hrnjak-Murgić, Z., Leskovac, M., Vrsaljko, D.: *Surface Engineering Of Nanofillers*, International Conference on Materials, Tribology & Processing, Matrib 2003, Proceedings, Vela Luka, 2003., 107-115.
11. Kovačević, K., Sutherland, I., Hrnjak-Murgić, Z., Lučić Blagojević, S., Leskovac, M.: *Interfacial Phenomena in Particulate Filled Blends and Composites*, Interfaces and Interphases in Multi-component Materials, Proceedings, Balatonfured, Mađarska, 2003., 1-3.

KALENDAR STRUČNIH SKUPOVA

Privedila: Gordana BARIĆ

2010. godina

18. - 19. 2. *VIII. susret mladih kemijskih inženjera*, Zagreb, Hrvatska
Obavijesti: Nenad Bolf i Ivana Šoljić Jerbić, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, bolf@fkit.hr, isoljic@fkit.hr, www.fkit.hr/smiki
3. - 4. 3. *25thIKV Plastics Technology Colloquium*, Aachen, Njemačka
Obavijesti: Dipl.-Ing. Stephen Weidel, THEcoatings@lft.uni-erlangen.de, www.lft.uni-erlangen.de
14. - 15. 4. *8th International Conference- Coatings 2010*, Erlangen, Njemačka
Obavijesti: www.ikv-kolloquium.de
22. - 24. 4. *7th European Thermoforming Division Conference*, Antwerpen, Belgija
Obavijesti: spe.eurpe@skynet.be, www.e-t-d.org
27. - 29. 5. *ICEIRD 2010 - Entrepreneurship, Innovation & Regional Development: Entrepreneurship beyond crisis – channelling changes to advantage*, Novi Sad, Srbija
Obavijesti: info@iceird.org, www.iceird.org
2. - 4. 6. *MOTSP 2010 - International Scientific Conference: Management of Technology - Step to Sustainable Production*, Rovinj, Hrvatska
Obavijesti: Prof. dr. sc. Predrag Čosić, Chairman of the Programme and Organising Committees, motsp2010@fsb.hr, www.motsp2010.fsb.hr
7. - 13. 6. *1st International Conference on Mechanical Engineering Virtual Forum (ICOME-VF)*
Obavijesti: Editorial board of the International Review of Mechanical Engineering (IREME), www.praiseworthyprize.it/conferences/CEAM-VF09/CEAM-VF09.htm
13. - 16. 6. *AMME'2010 - 18th International Scientific Conference on Achievements in Mechanical and Materials Engineering*, Zakopane, Poljska
Obavijesti: Prof. Leszek A. Dobrzański, Chairman of the Programme and Organising Committees, www.amme.pl
6. - 10. 9. *12th Annual Conference YUCOMAT 2010*, Herceg Novi, Crna Gora
Obavijesti: Aleksandra Stojčić, Conference Secretary, Institute of Technical Sciences of the Serbian Academy of Sciences and Arts, its@itn.sanu.ac.rs, www.itn.sanu.ac.rs