

Ispitivanje mehaničkih svojstava regranulata PVC-a sa dodatkom plastifikatora iz otpadnog PET-a

MARIJA M. VUKSANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Institut za nuklearne nauke „Vinča“,
Laboratorija za hemijsku dinamiku i
permanentno obrazovanje, Beograd

MILENA D. MILOŠEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Institut za nuklearne nauke „Vinča“,
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju Beograd

NATAŠA Đ. KNEŽEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Institut za nuklearne nauke „Vinča“,
Laboratorija za hemijsku dinamiku i
permanentno obrazovanje, Beograd

ADELA D. EGELJA, Univerzitet u Beogradu,

Institut za nuklearne nauke „Vinča“,
Laboratorija za hemijsku dinamiku i
permanentno obrazovanje, Beograd

LJILJANA J. JANKOVIĆ MANDIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Institut za nuklearne nauke „Vinča“,
Laboratorija za hemijsku dinamiku i
permanentno obrazovanje, Beograd

IVANA O. MLADENOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Beograd

ALEKSANDAR D. MARINKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 678.743.2:049

628.477.6.043

DOI: 10.5937/tehnika2304389V

Predmet ovog istraživanja je postupak proizvodnje regranulata polivinil hlorida (PVC) korišćenjem plastifikatora sintetisanog iz recikliranog poli(etilen tereftalata) (PET). Na ovaj način je sintetisan plastifikator koji ne predstavlja rizik po zdravlje ljudi i životnu sredinu u skladu sa principima hemijskog lizinga i zelene hemije. Dobijeni plastifikator je okarakterisan primenom elementalne analize, FTIR, i NMR spektroskopije i određivanjem hidroksilnog i kiselinskog broja. Ispitivana su mehanička svojstva materijala dobijenih na bazi recikliranog PVC i plastifikatora iz PET-a prema standardnim metodama.

Ključne reči: *plastifikator, PVC regranulat, polietilen tereftalat (PET), mehanička svojstva*

1. UVOD

Čovečanstvo se sve više suočava sa brojnim izazovima koji ugrožavaju sa jedne strane kvalitet života

Adresa autora: Marija Vuksanović, Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za hemijsku dinamiku i permanentno obrazovanje, Beograd, Mike Petrovića Alasa 12-14

e-mail: marija.vuksanovic@vin.bg.ac.rs

Rad primljen: 15.04.2023.

Rad prihvaćen: 21.06.2023.

i zdravlje ljudi a sa druge životnu sredinu.

To je posledica ubrzanog industrijskog razvoja pa je potrebno da se inovativni proizvodi izrađuju od bezbednijih hemikalija, koje pri očekivanim načinima primene, neće predstavljaju rizik po zdravlje ljudi odnosno potrošača.

Potrebno je da budu izrađeni od recikliranih ili bio-obnovljivih sirovina sa što manjim ugljeničnim otiskom [1].

Sintetički polimerni materijali predstavljaju važan deo savremenog društva čija potrošnja naglo raste [2].

Cirkularna ekonomija plastike je model za zatvoreni sistem koji se odnosi na ponovnu upotrebu plastičnih proizvoda, stvarajući novu vrednost iz otpada i minimalizuje količine otpada koje se odlažu na deponijama.

Plastični otpad predstavlja resurs koji se može koristiti za proizvodnju novih plastičnih sirovina i plastičnih delova kao i proizvoda dovodeći do smanjena utroška energije i smanjenja ugljeničnog otiska [3].

Ambalažni materijali imaju najveći udeo u nerazgradivom polimernom otpadu [4]. Poli(etilen tereftalat) (PET) je jedan od najvažnijih inženjerskih polimera koji ima široku komercijalnu upotrebu [5]. Ovaj termoplastični polimer ima odlična mehanička svojstva, hemijsku stabilnost i sposobnost sorpcije CO₂ [6]. Iako PET ne predstavlja direktnu opasnost po životnu sredinu sama svest o zaštiti životne sredine dovela je do razvoja industrije reciklaže PET-a posle njegove upotrebe [7].

Recikliranje PET-a se vrši uglavnom mehaničkom i hemijskom reciklažom [8]. Mehanička reciklaža predstavlja fizičku metodu sečenja ili usitnjavanja otpada u granulate, ljuspice ili pelete a zatim njihovo topljenje da bi se proizvodili predmeti ekstruzijom.

Sa druge strane, hemijska reciklaža uključuje PET depolimerizaciju, koja kao krajne proizvode, daje niskomolekularna jedinjenja [9]. Proizvodi PET glikolize se mogu koristiti kao monomeri, ali i kao plastifikatori za sintezu polimera [10]. Plastifikatori na bazi PET-a korišćeni su za poboljšanje žilavosti bitumenskih materijala [11].

Povećanje upotrebe termoplastičnih elastomera (TPE) u industriji obuće, odnosno razvoj novih materijala sa specifičnim karakteristikama, je od velikog industrijskog interesa. Termoplastični elastomeri se mogu dobiti sintezom novih materijala ili hemijskom modifikacijom postojećih komercijalnih polimera uz korišćenje aditiva ili kombinacijom dva ili više različitih polimera. Druga primena TPE-a u industriji obuće je razvoj poroznih struktura ili polimernih pena [12].

Cilj ovog rada predstavlja ispitivanje mehaničkih svojstava PVC regranulata korišćenjem plastifikatora iz recikliranog PET-a. Karakterizacija PET plastifikatora je izvršena FTIR i NMR spektroskopijom. Razvojem novih tehnologija omogućeno je dizajniranje regranulata poboljšanog kvaliteta koji se dobijaju od otpadnih materijala.

Na taj način se razvijaju nova ekološki prihvatljivija veziva i aditivi koji će uticati na mehanička, dinamička i elastomerna svojstva regranulata čime će se povećati procenat regranulata u proizvodima koji će se pojaviti na tržištu i time postići bolji odnos kvaliteta/cene proizvedenih regranulata.

2. EXPERIMENTALNI DEO

2.1. Materijali

Otpadni PET (Sinteza Smola, Srbija) je izrezan na male komade (0,5 × 0,5 cm) i ispran deterdžentom i etanolom (Zorka, Srbija) da bi se uklonili svi tragovi nečistoća i zaostalih lepkova. Za sintezu plastifikatora korišćeni su: dietilenglikol (DEG) (Sigma Aldrich, Nemačka), i katalizator Fascat 4100 (Monobutyltin oxide – PMC-Organometalix, Holandija). Za sintezu plastifikatora korišćen je 2-Etilheksanska kiselina (2-Et-Heks) (Fluka, Switzerland).

2.1.1. Sinteza plastifikatora PET/DEG molarnog odnos 1:1

Depolimerizacija otpadnog PET-a je izvršena glikolizom sa DEG-om prema sledećoj proceduri: u četvorogrli balon od 500 ml opremljen mehaničkom mešalicom, povratnim hladnjakom, termometrom, Dean-Stark (nastavkom za odvajanje vode) i sistemom za uvođenje azota se doda osušeni PET (100,0 g, 0,52 mol), DEG (55,12 g, 0,52 mol) i Fascat 4100 (0,62 g, 0,4%). Reakciona smeša se greje pomoću uljanog kupatila do dostizanja temperature 210–220°C, nakon čega je održavana konstantnom tokom 6 h u inertnoj atmosferi azota. Posle reakcije glikolize, reakciona smeša je ohlađena na 90°C, dodata je 2-etil heksanska kiselina (1,04 mol, 150 g) i smeša je zagrevana do 150°C uz brzinu zagrevanja od 15°C/h. Kada je temperatura reakcione smeše dostigla 150°C, dodat je ksilen (3 mas. % u odnosu na reakcionu smešu) da bi se obezbedilo uklanjanje vode binarnim azeotropom, obezbeđujući na ovaj način pokretačku silu za dostizanje krajnje tačke reakcije na 210°C. Zatim je smeša ohlađena na 90°C i izlivena u odgovarajuću posudu (slika 1).



Slika 1 - 2-EtHex/DEG/PET/DEG/2-EtHex plastifikator

2.1.2. Dobijanje PVC regranulata

Otpadni PVC (brušeni PVC pod) je sakupljen u obliku traka i transportovan u mlin, gde je samleven. Nakon mlevenja, PVC granule su stavljene u laboratorijski topli mešač sa početnom temperaturom od 25°C i mešane su brzinom od 2000–3500 o/min. Kada je temperatura bila iznad 35°C, 20 mas. % plastifikatora je postepeno dodavano otpadnom PVC-u u vrućoj mešalici tokom 5 minuta. Nakon toga temperatura se postepeno podiže, usled trenja u sistemu do 120–125°C, i smeša, koja je vruća i testasta, se homogenizuje 40 minuta, a zatim ispušta u hladni mešač gde se hladi na 45°C i pretvara u prah, koji je dalje korišćen kao sirovina za brizganje u finalni proizvod. Postupak proizvodnje PVC regranulata, koji se izvodi u dvo-pužnom ekstruderu sa šest grejnih zona, odvija se prema sledećem postupku: prva i druga zona vreme zadržavanja 30 s, temperatura 150°C, treća i četvrta zona vreme zadržavanja 40 s, temperatura 140°C i peta i šesta zona vreme zadržavanja 20 s, temperatura 135°C.

PVC regranulat je napravljen sa 15 mas. % komercijalnog plastifikatora (dioktiltereftalat -DOTP) i označen je kao Uzorak 1, a sa 20 mas. % DOTP kao Uzorak 1/1.

Na analogan način, PVC se regranuliše korišćenjem 15 mas. % dobijenog plastifikatora 2-EtHex/EG-/PET/DEG/2-EtHex (Uzorak 2) i 20 mas. % plastifikatora 2-EtHex/EG/PET/DEG/2-EtHex (Uzorak 2/1).

2.2. Metode karakterizacije

FTIR spektar dobijenog 2-EtHex/DEG/PET/DEG/2-EtHex plastifikatora je dobijen korišćenjem spektrometra Thermo Scientific Nicolet 6700 u režimu oslabljene ukupne refleksije (ATR) sa jednim odbijanjem od 45°F Golden Gate ATR priborom sa dijamantskim kristalom i električno hlađenim DTGS detektorom. NMR spektri su snimljeni na Bruker Avance III 500/125 MHz instrumentu, na 500 MHz pri snimanju ¹H NMR i 125 MHz pri snimanju ¹³C NMR spektra. Spektri su snimljeni na sobnoj temperaturi u deuterisanom dimetilsulfoksidu (DMSO-*d*₆). Hemijski pomaci su izraženi u vrednostima ppm u odnosu na TMS (tetrametilsilan) u ¹H NMR spektrima i signal zaostalog rastvarača u ¹³C NMR spektrima. Elementalna analiza (C, H, O) je urađena standardnom metodom pomoću ELEMENTAR Vario EL III CHNS/O analyzer-a. Za određivanje poprečnog preseka dobijenih regranulata korišćen je emisijski skenirajući elektronski mikroskop (FE-SEM, Mira3 Tescan) podešen na 20 kV. Tvrdća dobijenog materijala je merena pomoću Shore A durometara pomoću ASTM D2240 [13]. Svaka vrednost tvrdoće je prosek od osam merenja. Ispitivanje na zatezanje urađeno je pomoću servo hidrauličke mašine za testiranje INSTRON1332

(Instron Ltd., USA) sa kontrolnom elektronikom FASTtrack 8800. Brzina zatezanja je 5 mm/min. Svi uzorci su iste dužine i za ispitivanje je korišćeno po tri uzorka na osnovu kojih je izračunata i predstavljena srednja vrednost. Ispitivanje žilavosti kompozitnih materijala Šarpijevom metodom urađeno je prema standardu EN ISO 179-1/1fU na uređaju Zwick&Co. KG., Germany. Određivanje hidroksilnog broja (HV) je vršeno prema metodi ISO 4326: 1992. Hidroksilni broj (HV) predstavlja broj mg natrijum hidroksida koji odgovara hidroksilnim grupama u 1 g uzorka, i izračunat prema jednačini:

$$HV = \frac{(V_0 - V_1) \cdot c \cdot 56,1}{m_0} \quad (1)$$

gde je: V₀ - zapremina utrošenog standardnog rastvora NaOH za titraciju slepe probe (mL); V₁ - zapremina utrošenog standardnog rastvora NaOH za titraciju testiranog uzorka (mL); c - koncentracija standardnog rastvora NaOH, m₀ - masa ispitivanog uzorka (g).

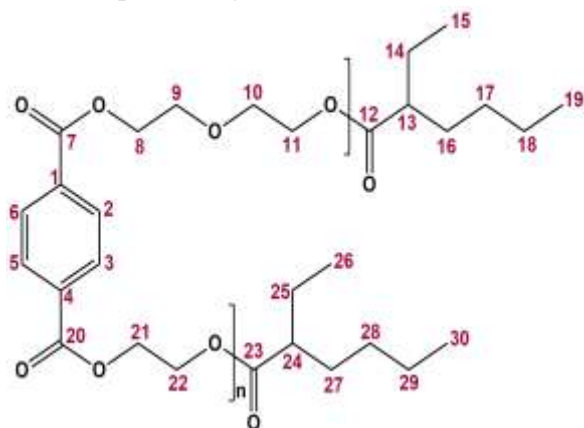
Određivanje kiselinskog broja (AV) je vršeno titracijom rastvora uzorka u smeši izopropil alkohol/toluol (50%) sa standardnim (0,1 N) alkoholnim rastvorom KOH (ASTM D3644). Kiselinski broj predstavlja količinu kalijum hidroksida (izraženu u mg) potrebnu za neutralisanje slobodnih kiselina u 1 g uzorka. Kiselinski broj je izračunat prema jednačini:

$$AV = \frac{56,1 \cdot V}{m} \quad (2)$$

gde je: V - zapremina 0,1 N KOH koji se koristi za titraciju (mL), m - masa uzorka (g).

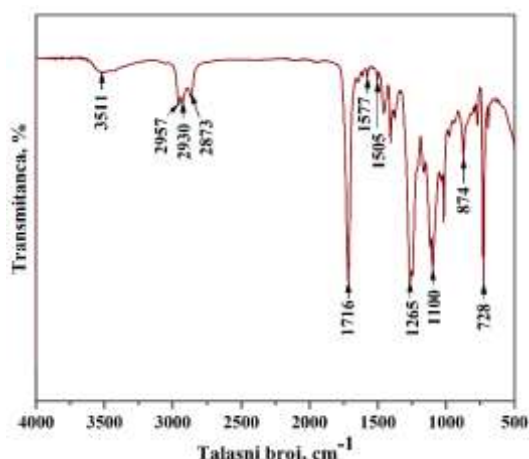
3. REZULTATI

Opšta strukturna formula dobijenog plastifikatora, 2-(2-((2-etilheksanoil) oksietoksi)etil (2-((2-etilheksanoil)oksi)etil) tereftalata (2-EtHex/EG/PET/DEG-/2-EtHex), prikazana je na slici 2.



Slika 2 - Pretpostavljena strukturna formula plastifikatora 2-EtHex/EG/PET/DEG/2-EtHex

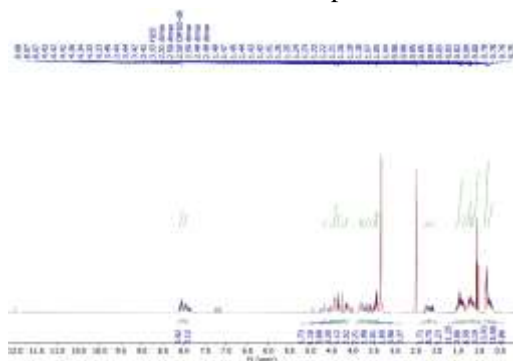
FTIR spektar dobijenog 2-EtHex/EG/PET/DEG-/2-EtHex plastifikatora prikazan je na slici 3.



Slika 3 - FTIR spektar sintetizovanog 2-EtHex/EG/PET/DEG/2-EtHex plastifikatora

Vibracija istezanja –OH grupe, u FTIR spektru se uočava kao široka apsorpciona traka na 3.511 cm^{-1} . Prisustvo metilenske i metilne grupe se primećuje u oblasti vibracija istezanja na $2.957\text{--}2.873\text{ cm}^{-1}$. Jaka apsorpciona traka na 1.716 cm^{-1} ukazuje na prisustvo vibracija C=O estarske funkcionalne grupe u strukturi plastifikatora. Takođe, trake na 1100 i 1265 cm^{-1} ukazuju na prisutne valencione vibracije istezanja C–O–C i C–O grupa [14, 15]. Trake u oblasti $1577\text{--}1505$ i $874\text{--}728\text{ cm}^{-1}$ [14] potiču od vibracije istezanja C=C i deformacionim vibracijama C-H funkcionalnih grupa, redom u aromatičnom prestenu tereftalne kiseline.

Na slici 4 prikazan je ^1H NMR spektar dobijenog 2-EtHex/EG/PET/DEG/2-EtHex plastifikatora



Slika 4 - ^1H NMR spektri proizvoda sintetizovanog 2-EtHex/EG/PET/DEG/2-EtHex plastifikatora

Rezultati ^1H i ^{13}C NMR analize plastifikatora na bazi proizvoda PET glikolize sa DEG su: ^1H NMR (500 MHz, DMSO- d_6 , δ ppm): 0,75-1,05 (m , 12H, C(15)H₃, C(19)H₃, C(26)H₃ i C(30)H₃); 1,15-1,38 (m , 12H, C(16)H₂, C(17)H₂, C(18)H₂, C(27)H₂, C(28)H₂ i C(29)H₂); 1,52-1,56 (m , 4H, C(14)H₂ i C(25)H₂); 2,10-2,29 (m , 2H, C(13)H i C(24)H); 3,45-4,34 (m , 8H, C(8)H₂, C(9)H₂, C(10)H₂, i C(11)H₂); 4,42-4,67 (m , 4H, C(21)H₂ i C(22)H₂); 7,19-8,08 (m , 4H, C(2)H, C(3)H, C(5)H i C(6)H). ^{13}C NMR (125 MHz, DMSO- d_6 , δ ppm): 12,0-13,85 (C15, C19, C26 i C30); 22,81-

31,15 (C14, C16, C17, C18, C25, C27, C28 i C29); 47,10 (C13 i C24); 58,80-63,01 (C21 i C22); 65,30-69,20 (C8, C9, C10 i C11), 129,86 (C2, C3, C5 i C6); 133,89 (C1 i C4); 165,70 (C7 i C20); 175,90 (C12 i C23).

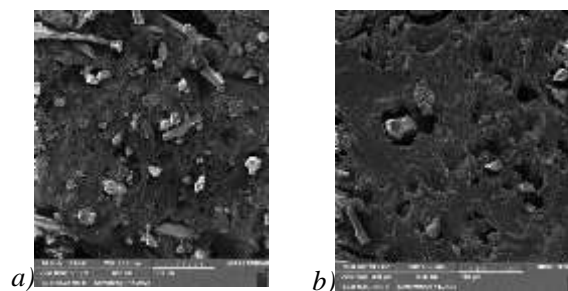
Na osnovu rezultata dobijenih analizom ^1H i ^{13}C NMR spektara može se zaključiti da je dobijena heterogena smeša proizvoda koja ima od dve do četiri tereftalne jedinice (n indeks, slika 2) prisutne u dobijenom proizvodu.

U tabeli 1 prikazane su HV, AV vrednosti i rezultati elementalne analize sintetizovanog EtHex/EG/PET/DEG/2-EtHex plastifikatora koji potvrđuju strukturu sintetisanog plastifikatora.

Tabela 1. HV, AV vrednosti i rezultati elementalne analize 2-EtHex/EG/PET/DEG/2-EtHex plastifikatora

HV	AV		%C	%H	%O
362	7,4	Exp.	65,67	8,31	26,02
		Calc.	65,43	8,42	26,25

Morfologija površine loma proučavana je FESEM tehnikom kako bi se utvrdila homogenost uzorka regranulata, što bi moglo uticati na njegova mehanička svojstva. Kao što je prikazano na slici 5, struktura regranulata sa plastifikatorom nije homogena, što ukazuje da prisustvo pora u materijalu može dovesti do loma i loših mehaničkih svojstava. Prisutne su nečistoće koje mogu delovati kao koncentrador napona što dovodi do loma uzorka.



Slika 5 - Morfologija poprečnog preseka regranulata sa a) DOTP i b) sa 2-EtHex/EG/PET/DEG/2-EtHex plastifikatorom

U tabeli 2 prikazan je uticaj sastava plastifikatora na mehanička svojstva PVC proizvoda

Tabela 2. Svojstva dobijenih PVC materijala

	σ , (MPa)	E, (GPa)	Šor A	Žilavost Šarpi (kJ m ⁻²)
1	23±1,9	7,28±0,3	76±3,7	103
1/1	26±1,7	7,49 ±0,4	73±3,9	106
2	25±2,1	7,35±0,8	78±3,2	100
2/1	29±2,2	7,71±0,9	75±3,6	104

Svi pripremljeni PVC regranulati imaju dobra hemijska svojstva, što ukazuje da ugradnja otpadnih plastifikatora na bazi PET-a nije narušila hemijsku otpornost PVC-a.

Procene tvrdoće po Šoru se koriste za upoređivanje otpornosti različitih polimera na udubljenje. Može se koristiti za predviđanje drugih svojstava polimera, ali se najčešće koristi za predviđanje mehaničkih svojstava [16].

Povećanjem udela plastifikatora DOTP-a tvrdoća regranulata se smanjuje za 3,94% za Uzorak 1. Kod Uzorka 2 tvrdoća regranulata, dodatkom 2-EtHex/EG/PET/DEG/2-EtHex plastifikatora, se smanjuje za 3,84%. Ispitivanje udarne čvrstoće označava sposobnost materijala da apsorbira energiju tokom plastične deformacije.

Materijal je jak ako ima visoku otpornost na udar, a snaga je rezultat kombinacije čvrstoće i duktilnosti. U Šarpijevom testu na udar, žilavost PVC regranulata, sa DOTP plastifikatorom, raste za 2,91% dok dodatkom PET plastifikatora raste za 3,85%. Ovi rezultati su u skladu sa strukturama plastifikatora predloženim NMR i FTIR analizama. Štaviše, dodavanje PET plastifikatora povećalo je specifičnu gustinu ispitivanih regranulata.

4. ZAKLJUČAK

Depolimerizacija otpadnog PET-a je izvršena glikolizom sa DEG i potvrđena je spektroskopijom magnetne rezonance (NMR) i infracrvenom spektroskopijom Furijeove transformacije (FTIR). Dobijeni 2-EtHex/EG/PET/DEG/2-EtHex plastifikator je korišćen za proizvodnju PVC regranulata koji imaju veću tvrdoću, zateznu čvrstoću i žilavost u odnosu na PVC regranulate sa komercijalnim plastifikatorom DOTP.

Predstavljeno istraživanje je otkrilo potencijal sinteze plastifikatora reciklažom otpada što bi doprinelo smanjenju ugljeničnog otiska, kao i zavisnosti od fosilnih materijala.

5. ZAHVALNICA

Ovaj rad je delimično podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacije Republike Srbije (Ugovor br. 451-03-47/2023-01/200017, 451-03-47/2023-01/200026 i 451-03-47/2023-01/200135) i Inovacioni fond Republike Srbije (Matching Grants - IMPROVING POLYMER WASTE RECYCLING PROCESS - 1957).

LITERATURA

[1] A. Ballamine, A. Kotni, J.-P. Llored, and S. Caillol, Valuing CO₂ in the development of polymer materials., *Science and Technology for Energy Transition*. vol. 77, p. 1, 2022.

[2] B. H. Ryu, S. Lee, and I. Chang, Pervious pavement blocks made from recycled polyethylene terephthalate (PET): *Fabrication and engineering properties, Sustainability*. vol. 12, no. 16, p. 6356, 2020.

[3] L. Pires da Mata Costa, D. Micheline Vaz de Miranda, A.C. Couto de Oliveira, et al., Capture and reuse of carbon dioxide (CO₂) for a plastics circular economy: A review, *Processes*. vol. 9, no. 5, p. 759, 2021.

[4] R. K. Padhan and A. Sreeram, Chemical depolymerization of PET bottles via combined chemolysis methods, In: recycling of polyethylene terephthalate bottles. pp. 135–147. *Elsevier*, 2019.

[5] A. B. Raheem, Z. Z. Noor, A. Hassan, M. K. Abd Hamid, S.A. Samsudin, and A.H. Sabeen, "Current developments in chemical recycling of post-consumer polyethylene terephthalate wastes for new materials production: A review, *Journal of Cleaner Production*. vol. 225, pp. 1052–1064, 2019.

[6] K. M. Akato, N. A. Nguyen, P. V. Bonnesen, D. P. Harper, and A.K. Naskar, Recycling waste polyester via modification with a renewable fatty acid for enhanced processability, *ACS Omega*. vol. 3, no. 9, pp. 10709–10715, 2018.

[7] S. Qaidi, Y. S. S. Al-Kamaki R. Al-Mahaidi, et al., Investigation of the effectiveness of CFRP strengthening of concrete made with recycled waste PET fine plastic aggregate, *Plos One*. vol. 17, no. 7, p. e0269664, 2022.

[8] Z. O. G. Schyns and M. P. Shaver, Mechanical recycling of packaging plastics: A review, *Macromolecular Rapid Communications*. vol. 42, no. 3, p. 2000415, 2021.

[9] J. D. Rusmirović, M. P. Rančić, V. B. Pavlović, et al., Cross-linkable modified nanocellulose/polyester resin-based composites: Effect of unsaturated fatty acid nanocellulose modification on material performances, *Macromolecular Materials and Engineering*. vol. 303, no. 8, p. 1700648, 2018.

[10] A. P. More, R. A. Kute, and S. T. Mhaske, Chemical conversion of PET waste using ethanolamine to bis-(2-hydroxyethyl) terephthalamide (BHETA) through aminolysis and a novel plasticizer for PVC, *Iranian Polymer Journal*. vol. 23, no. 1, pp. 59–67, 2014.

[11] M. Vuksanović, A. Jovanović, M. Milošević, et al., Testing of mechanical properties of bitumen products obtained using polyethylene terephthalate-based plasticizers, *Tehnika*. vol. 77, no. 5, pp. 413–417, 2022.

- [12]G. Holden, *Thermoplastic elastomers*, In: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Wiley, 2000.
- [13]ASTM International, D2240: Test method for rubber property – Durometer hardness., West Conshohocken, n.d., 1993.
- [14]K. M. Benomran, S. I. Shwika, M. Vuksanovic, et al., Circular economy implementation in the development of fire-retardant materials used in construction, industry, and general-purpose products, *Metallurgical and Materials Engineering*. vol. 28, no. 2, pp. 369–379, 2022.
- [15]Y. Liu, B. Li, M. Xu, and L. Wang, Highly efficient composite flame retardants for improving the flame retardancy, thermal stability, smoke suppression, and mechanical properties of EVA, *Materials*. vol. 13, no. 5, p. 1251, 2020.
- [16]L. Coltro, J. B. Pitta, and E. Madaleno, Performance evaluation of new plasticizers for stretch PVC films, *Polymer Testing*. vol. 32, no. 2, pp. 272–278, 2013.

SUMMARY

TESTING OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF REGGRANULATE PVC WITH THE ADDITION OF PLASTICIZER FROM WASTE PET

The subject of this research is the production process of polyvinyl chloride (PVC) regranulate using a plasticizer synthesized from recycled poly(ethylene terephthalate) (PET). In this way, a plasticizer was synthesized that does not pose a risk to human health and the environment in accordance with the principles of chemical leasing and green chemistry. The obtained plasticizer was characterized using elemental analysis, FTIR, and NMR spectroscopy and determination of hydroxyl and acid number. The mechanical properties of materials obtained on the basis of recycled PVC and plasticizers from PET were tested according to standard methods.

Key Words: *plasticizers, PVC regranulate, polyethylene terephthalate (PET), mechanical properties*