

Matko ERCEG, Irena BANOVAC, Ivana BRNAS

Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet,

Zavod za organsku tehnologiju

Razvrstavanje i identifikacija plastičnih komponenti otpadnih nadgrobnih lampiona

UDK 678.7:543.42 (16.10.)

Stručni rad / Professional paper

Primljeno / Received: 12. 7. 2013.

Prihvaćeno / Accepted: 17. 9. 2013.

Sažetak

U radu je provedeno razvrstavanje i identifikacija plastičnih komponenti od kojih su izrađeni otpadni nadgrobnji lampioni. Primijenjene metode rada su ručno razvrstavanje, gravimetrijska analiza, infracrvena spektroskopija i razvrstavanje postupkom *pliva-tone*. Lampioni su najprije ručno razvrstani na komponente: kućište, parafin, poklopci i baterije (tip AA i tip C). Infracrvena spektroskopija otkriva da su kućišta lampiona potpuno izrađena od plastike, i to od poli(vinil-klorida) i polipropilena, plastični poklopci od poli(etilen-tereftalata), polistirena i polipropilena, dok su nosači baterija izrađeni od polietilena i polistirena. Postupkom *pliva-tone* dalje su razvrstane pojedine vrste plastike iz ručno razvrstanih skupina, a dobiveni rezultati u skladu su s onima dobivenima primjenom infracrvene spektroskopije. Kombinacija ručnog razvrstavanja i postupka *pliva-tone* prikladna je za razvrstavanje plastike iz otpadnih nadgrobnih lampiona.

KLJUČNE RIJEČI:

infracrvena spektroskopija
 otpadni nadgrobnji lampioni
 plastični otpad
 razvrstavanje plastičnog otpada

KEY WORDS:

infrared spectroscopy
 polymer waste
 polymer waste separation
 waste grave lanterns

Sorting and Identification of Polymeric Components of Waste Grave Lanterns

In this paper the sorting and identification of polymers from waste grave lanterns has been performed. The applied analysis methods are manual sorting, gravimetric analysis, infrared spectroscopy and *float-sink* technique. The lanterns were first manually sorted into components: housing, paraffin, lids and batteries (type AA and C). Infrared spectroscopy has revealed that the lantern housings are 100% plastic and made of poly(vinyl chloride) and polypropylene, plastic lids are made of poly(ethylene terephthalate), polystyrene and polypropylene, while housings for AA and C batteries are made of polyethylene and polystyrene. Polymers were further successfully separated by *float-sink* technique and the results obtained are

consistent with those obtained using infrared spectroscopy. The combination of manual and *float-sink* separation technique is appropriate for sorting polymers from waste grave lanterns.

Uvod / Introduction

Među ponajveće probleme suvremenog društva ubraja se rastuća potrošnja prirodnih resursa i sve veće količine otpada kojim se mora na odgovarajući način gospodariti. Stoga je potrebno uspostaviti integriran sustav upravljanja resursima i gospodarenja otpadom te red prvenstva gospodarenja otpadom: sprječavanje nastanka otpada, priprema za ponovnu uporabu, recikliranje, drugi postupci uporabe (npr. energijska uporaba) i zbrinjavanje otpada (postupci koji nisu uporaba, npr. odlaganje).¹ U ovom radu pod otpadom se podrazumijeva plastični otpad. Danas se u svijetu plastični otpad još uvijek najčešće odlaže, što donosi ekonomsku, a ne ekološku štetu jer je plastični otpad neutralan i pridonosi stabilnosti odlagališta.² Prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom, otpad čija se vrijedna svojstva mogu iskoristiti, mora se odvojeno sakupljati i skladištiti kako bi se omogućilo gospodarenje tim otpadom,¹ a upravo je plastični otpad vrijedna sekundarna sirovina. Kako bi se plastični otpad i njegova vrijedna svojstva što bolje iskoristili, razvijeni su brojni postupci njegove uporabe. Oporaba otpada je svaki postupak čiji je glavni rezultat uporaba otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale koje bi inače trebalo uporabiti za tu svrhu.¹ Oporaba plastičnog otpada može biti materijalna (mehanička i kemijska) te energijska.^{3,4} Obilježje mehaničke uporabe jest primjena fizičkih i mehaničkih postupaka, kao što su usitnjavanje, zagrijavanje i ekstrudiranje, kako bi se plastični otpad pretvorio u koristan plastični materijal (npr. granulat) ili pak u novi proizvod. Kemijskom uporabom (najčešće pirolizom, hidrolizom, hidriranjem, rasplinjavanjem) plastični se otpad razgrađuje na početne sastojke, sintetski plin ili ulje, koji se zatim rabe ili kao gorivo ili kao sirovina u kemijskim postrojenjima. Tijekom energijske uporabe otpadna se plastika spaljuje uz pridobivanje korisne energije ili bez nje, budući da je plastika u pravilu gorivi materijal visoke energijske vrijednosti. Koji će se postupak uporabe primijeniti, ovisi o većem broju čimbenika, a najčešće je to kombinacija navedenih postupaka uporabe. Oporaba, pogotovo mehanička, ekonomski je i tehnički izvediva samo za homogen plastični otpad, što znači da je potrebno provesti razvrstavanje plastičnog otpada. Ono se može provoditi ručno (s pomoću standardiziranih simbola za identifikaciju, ako postoje na proizvodu), automatizirano ili kombinirano. Razvrstavanje ovisi o složenosti plastičnog otpada (broju uporabljivih vrsta plastičnih materijala), fizičkom obliku (masivni ili granulat), neplastičnim onečišćenjima (priroda i koncentracija dodataka), tržištu (zahtjevi za reciklat određene kvalitete) i ekonomičnosti (cijena razvrstavanja). Postupci razvrstavanja zasnivaju se na razlikama komponenti otpada u gustoći (npr. postupak *pliva-tone*, hidrociklonsko razvrstavanje, razvrstavanje superkritičnim fluidima), hidrofobnosti/hidrofilnosti (pjenasta flotacija), optičkim svojstvima, električnim svojstvima, temperaturi taljenja (omekšavanja), topivosti

te geometrijskom obliku. Za razvrstavanje se često koriste i napredne analitičke tehnike, kao što su infracrvena spektroskopija i rendgenska fluorescencija.

Ovaj rad nastao je u suradnji s *Udrugom osoba s invaliditetom Prijatelj* iz Metkovića. Udruga *Prijatelj* već nekoliko godina sakuplja nadgrobne lampione, ručno odvaja parafin, pročišćava ga i ponovno rabi za izradu svijeća u radionici koja zapošljava osobe s invaliditetom. Ukupan prihod od prodanih svijeća od oporabljene parafina ide u humanitarne svrhe. Udruga *Prijatelj* planira uporabu većih količina nadgrobničkih lampiona i time zapošljavanje većeg broja svojih članova, ali ih u tome sprječava neriješeno gospodarenje plastičnim dijelovima lampiona. U literaturi nema objavljenih radova o uporabi nadgrobničkih lampiona. Stoga je cilj ovog rada razvrstavanje i identifikacija plastičnih komponenti od kojih su izrađeni nadgrobni lampioni te preporuka i savjetovanje članova udruge *Prijatelj* kako to provesti na najjednostavniji i najjeftiniji način.

Eksperimentalni dio / Experimental part

Materijali / Materials

Uzorke otpadnih nadgrobničkih lampiona za analizu dostavila je *Udruga osoba s invaliditetom Prijatelj* iz Metkovića. Uzorci su sakupljeni na području općina Metković (Metković i Vid) i Slivno (Slivno, Blace i Raba) u ožujku 2012. Ukupno je dostavljen 61 komad nadgrobničkih lampiona. Nadgrobni lampioni sastoje se od plastičnoga kućišta i parafinskog voska (parafina), dok dva lampiona umjesto parafina imaju baterije tipa AA od 1,5 V te jedan bateriju tipa C od 1,5 V. Dostavljeno je i dvadeset šest poklopaca, od kojih se većina nije nalazila na lampionima.

Gravimetrijska analiza i ručno razvrstavanje / Gravimetric analysis and manual separation

Gravimetrijska analiza (određivanje ukupne mase uzoraka i njihovih komponenti vaganjem) provedena je na digitalnoj laboratorijskoj analitičkoj vagi *Sartorius A200S*. Najprije su uzorci izvagani u stanju u kojem su dostavljeni. Zatim su pojedine komponente lampiona ručno razvrstane u sljedeće frakcije: kućišta lampiona, parafin, poklopci (plastični i metalni), baterije i nosači za baterije. Naposljednje izvagani su svi uzorci unutar ručno razvrstanih frakcija. Magnetom je ispitana i magnetska svojstva metalnih poklopaca.

Infracrvena spektroskopija / Infrared spectroscopy

Infracrvena spektroskopija provedena je spektrometrom *Perkin-Elmer Spectrum One* radi identifikacije plastičnih materijala od kojih su izrađene komponente otpadnih lampiona. Uzorci su analizirani metodom horizontalne totalne prigušene refleksije (e. *Horizontal Attenuated Total Reflectance*, HATR) na ravnom kristalu od ZnSe (kut upadne zrake 45°) u području valnih brojeva od 4 000 do 650 cm^{-1} uz spektralnu rezoluciju od 4 cm^{-1} . Svaki ispitak snimljen je 20 puta, a dobiveni spektri predstavljaju njihovu srednju vrijednost. Prije snimanja ispitci su oprani, obrisani alkoholom i osušeni kako bi se uklonile nečistoće i parafin s njihove površine.

Postupak pliva-tone / Float-sink technique

Daljnje razvrstavanje plastike unutar svake od ručno razvrstanih frakcija provedeno je na osnovi razlika u njihovoj gustoći postupkom *pliva-tone*. Razvrstava se kapljevinom gustoće između gustoća komponenti koje se razvrstavaju, pri čemu komponenta manje gustoće od kapljevine za razvrstavanje pliva, a ona veće gustoće tone. Kao kapljevine za razvrstavanje korištene su destilirana voda i vodena otopina natrijeva klorida (NaCl) gustoće $1,18\text{ g cm}^{-3}$. Prije razvrstavanja ispitci su usitnjeni na dimenzije $2 \cdot 2\text{ cm}$. Razvrstavanje je provedeno pri sobnoj temperaturi uz intenzivno miješanje električnom miješalicom (*Tehmica*, tip *UM-404*) pri frekvenciji

vrtnje 750 min^{-1} . Nakon miješanja u trajanju od 15 minuta, pričekalo se da se komponente potpuno odvoje zbog razlike u gustoći. Nakon toga je slijedilo sušenje i vaganje.

Rezultati i rasprava / Results and discussion

Gravimetrijska analiza i ručno razvrstavanje / Gravimetric analysis and manual separation

U radu je analiziran 61 ispitak lampiona koji su najprije izvagani u obliku u kojem su dostavljeni na automatskoj analitičkoj vagi, a ukupna masa svih ispitaka iznosi $5\,813,94\text{ g}$. Zatim je provedeno ručno razvrstavanje komponenti od kojih su lampioni izrađeni te njihova gravimetrijska analiza, čiji su rezultati prikazani u tablici 1 (stupac a). Lampioni se sastoje od plastičnoga kućišta, parafina (tri su lampiona umjesto parafina imala baterije, i to dva tipa AA i jedan tipa C) i poklopca. Od 61 kućišta samo ih je sedam označeno simbolima prema *Pravilniku o ambalaži i ambalažnom otpadu*,⁵ a od toga pet nosi oznaku za poli(vinil-klorid) (PVC) te dva oznaku za polipropilen (PP). Masa plastičnih kućišta lampiona iznosi $2\,294,82\text{ g}$ ili $39,47\%$ ukupne mase uzoraka. Parafin se nalazi u 58 od 61 lampiona, a njegova ukupna masa je $3\,037,91\text{ g}$ ili $52,25\%$ ukupne mase uzoraka. Masa baterija tipa AA iznosi $57,17\text{ g}$ ili $0,98\%$ ukupne mase uzoraka, a masa baterija tipa C $78,80\text{ g}$ ili $1,36\%$ ukupne mase uzoraka. Baterije tipa AA i baterije tipa C nalaze se u nosačima od plastičnih materijala (koji također nisu označeni prema *Pravilniku o ambalaži i ambalažnom otpadu*) mase $47,24\text{ g}$ ili $0,81\%$ ukupne mase ispitaka. Ukupna masa 26 poklopaca iznosi $293,17\text{ g}$ ili $5,04\%$ ukupne mase uzoraka. Od toga su četiri plastična s ukupnom masom od $46,10\text{ g}$, što čini $0,79\%$ ukupne mase uzoraka. Poklopci također nisu označeni prema *Pravilniku o ambalaži i ambalažnom otpadu*. Ostali su poklopci metalni, mase $247,07\text{ g}$, što čini $4,25\%$ ukupne mase ispitaka. Metalnim poklopcima magnetom je ispitana magnetska svojstva te je utvrđeno da ih je 14 ili $202,90\text{ g}$ ($3,49\%$ ukupne mase ispitaka) magnetski, dok ih je osam ili $44,17\text{ g}$ ($0,76\%$ ukupne mase uzoraka) nemagnetski.

Iskustvo ručnog razvrstavanja otpadnih nadgrobničkih lampiona pokazuje da je moguće jednostavno i brzo razdvojiti pojedine komponente lampiona, ali nije moguće kvalitetno ručno razvrstavanje plastičnih materijala od kojih su te komponente izrađene jer najvećim dijelom nisu označene u skladu s *Pravilnikom o ambalaži i ambalažnom otpadu*. Naime, od ukupno 61 kućišta lampiona, samo je sedam označeno, dok od četiri plastična poklopca nije označen nijedan. Stoga je potrebno identificirati plastične materijale od kojih su izrađena kućišta i poklopci lampiona, a za što je u ovom radu uporabljena infracrvena spektroskopija.

Infracrvena spektroskopija / Infrared spectroscopy

Na slici 1 i slici 2 prikazani su infracrveni spektri karakteristični za ispitke plastičnih kućišta lampiona. Naime, analizom spektrograma utvrđeno je da su kućišta lampiona izrađena od dvije vrste plastičnih materijala, i to od poli(vinil-klorida) (PVC) i polipropilena (PP).

Karakteristične vrpce za prvu skupinu ispitaka kućišta (slika 1) (57 kućišta od ukupno 61) su pri $1\,329\text{ cm}^{-1}$ (vrpca savijanja C-H veze iz -CH-Cl), pri $1\,241\text{ cm}^{-1}$ (vrpca savijanja C-H veze iz -CH-Cl izvan ravnine), pri $1\,196\text{ cm}^{-1}$ (savijanje C-H veze iz CH skupine), pri $1\,096\text{ cm}^{-1}$ (vrpca rastezanja C-Cl veze), pri 966 cm^{-1} (asimetrično savijanje, deformacija C-H veze iz CH_2 skupine u ravnini) te pri 699 cm^{-1} (rastezanje C-Cl veze). Navedene vrpce karakteristične su za PVC, a prosječno slaganje s referentnim spektrom PVC-a iz baze podataka za ovu skupinu spektrograma iznosi iznad 95% .

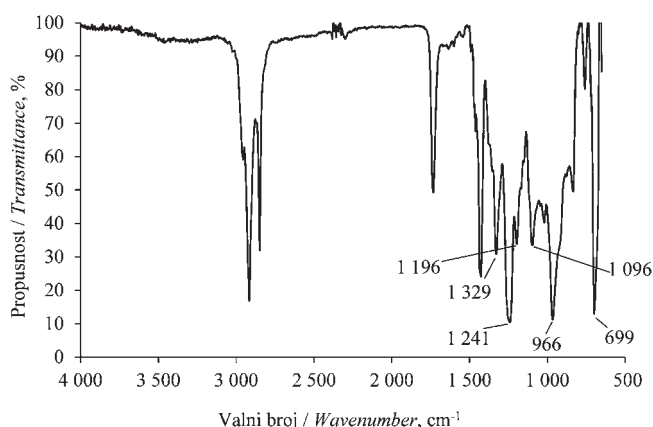
Spektri ostalih četiriju ispitaka kućišta (slika 2) pokazuju sljedeće karakteristične vrpce: vrpca asimetričnog rastezanja C-H veze u CH_3 skupini pri $2\,950\text{ cm}^{-1}$ vrpca asimetričnog rastezanja C-H veze u $-\text{CH}_2$ skupini pri $2\,917\text{ cm}^{-1}$, vrpca simetričnog istezanja C-H veze u CH_3

TABLICA 1 – Zbirna tablica gravimetrijske analize

TABLE 1 – Summary table of gravimetric analysis

KOMPONENTA / Component	a) gravimetrijska analiza Gravimetric analysis		b) korigirane vrijednosti gravimetrijske analize / Corrected values of gravimetric analysis	
	Masa / Mass, g	Masa / Mass, %	Masa / Mass, g	Masa / Mass, %
Plastična kućišta lampiona / Plastic lantern housings	2 294,82	39,47	2 259,73	38,87
Parafin / Paraffin	3 037,91	52,25	3 064,37	52,71
Baterije (tip AA) / Batteries (type AA)	57,17	0,98	57,17	0,98
Baterije (tip C) / Batteries (type C)	78,80	1,36	78,80	1,36
Plastični nosači baterija / Plastic housings for batteries	47,24	0,81	47,21	0,81
Plastični poklopci / Plastic lids	46,10	0,79	46,10	0,79
Metalni poklopci (magnetični) / Metal lids (magnetic)	202,90	3,49	202,90	3,49
Metalni poklopci (nemagnetični) / Metal lids (non-magnetic)	44,17	0,76	44,17	0,76
Nečistoće, gubitak / Impurities, loss	4,83	0,08	13,46	0,23
Ukupno / Total:	5 813,94	100	5 813,94	100,00
Ukupno plastike / Total plastics			2 353,07	40,47

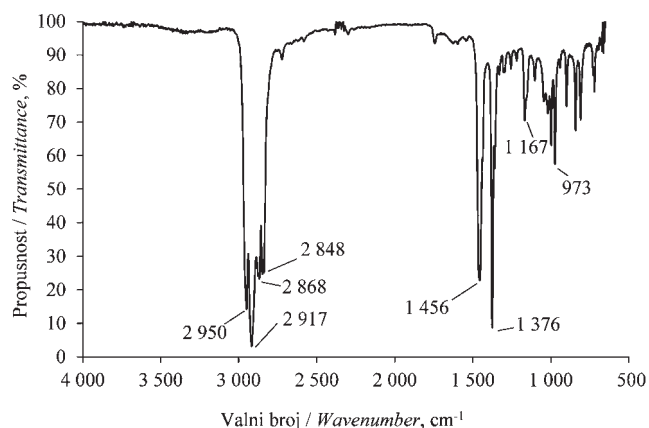
skupini pri $2\,868\text{ cm}^{-1}$, vrpca simetričnog rastezanja C-H veze u $-\text{CH}_2$ -skupini pri $2\,848\text{ cm}^{-1}$, dok je vrpca pri $1\,456\text{ cm}^{-1}$ posljedica simetrične deformacije (savijanja) u ravnini C-H veze iz CH_2 skupina. Simetrično savijanje u ravnini C-H veze iz CH_3 razlog je apsorpciji pri $1\,376\text{ cm}^{-1}$, rastezanje C-C veze apsorpciji pri $1\,167\text{ cm}^{-1}$, dok se pri 973 cm^{-1} javlja CH_3 njihajna deformacija. Navedene vrpce karakteristične su za PP, a prosječno slaganje s referentnim spektrom PP-a iz baze podataka za ovu skupinu spektrograma također iznosi iznad 95 %. Vrpce karakteristične za PP pokazuju i dva plastična poklopca.



SLIKA 1 – Karakteristični FT-IR spektar ispitaka izrađenog od PVC-a
FIGURE 1 – Characteristic FT-IR spectrum of a specimen made of PVC

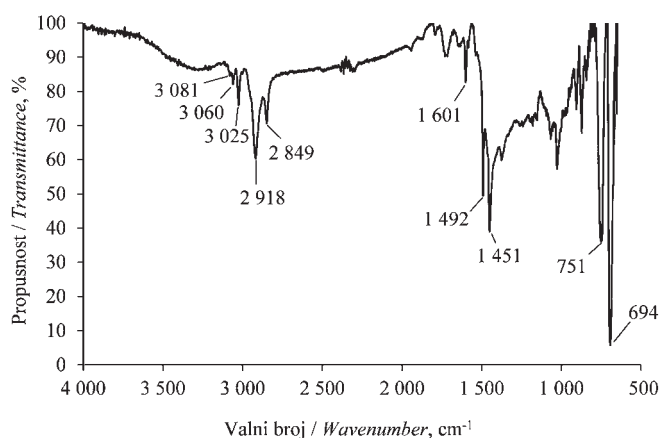
Karakteristični spektri ispitaka preostalih plastičnih poklopaca te plastičnih kućišta za baterije prikazani su na slikama 3, 4 i 5. Na slici 3 prikazan je spektar kojem su vrpce na $2\,918$ i $2\,849\text{ cm}^{-1}$ posljedica asimetričnoga i simetričnog C-H istežanja iz $-\text{CH}_2$ skupine. Tipične apsorpcije aromatskog prstena prisutne su između $3\,100$ i $3\,000\text{ cm}^{-1}$, C-H istežanje, overton i kombinacija vrpce u području $2\,000$ – $1\,650\text{ cm}^{-1}$, istežanje aromatskog prstena pri $1\,601$, $1\,492$ i $1\,451\text{ cm}^{-1}$, C-H savijanje u ravnini

u području $1\,300$ – $1\,000\text{ cm}^{-1}$ te C-H savijanje izvan ravnine u području 900 – 600 cm^{-1} . Dva oštra vrška (e. peak) pri 694 i 751 cm^{-1} upućuju na to je riječ o monosupstituiranom prstenu.⁴ Ovaj spektar karakterističan je za samo jedan poklopac i jedan nosač za baterije te upućuje na to da je riječ o polistirenu (PS), što potvrđuje 97 %-tno slaganje s referentnim spektrom PS-a iz baze podataka.

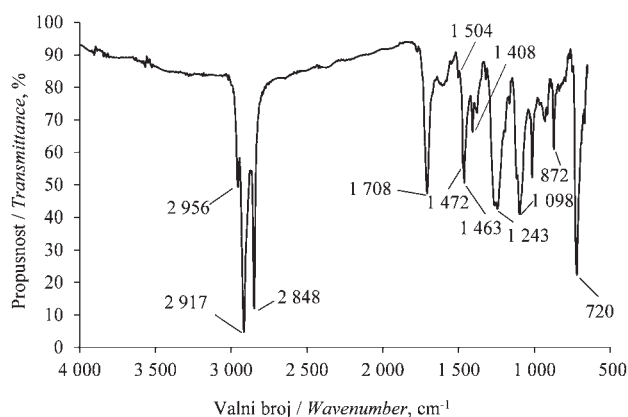


SLIKA 2 – Karakteristični FT-IR spektar ispitaka izrađenog od PP-a
FIGURE 2 – Characteristic FT-IR spectrum of a specimen made of PP

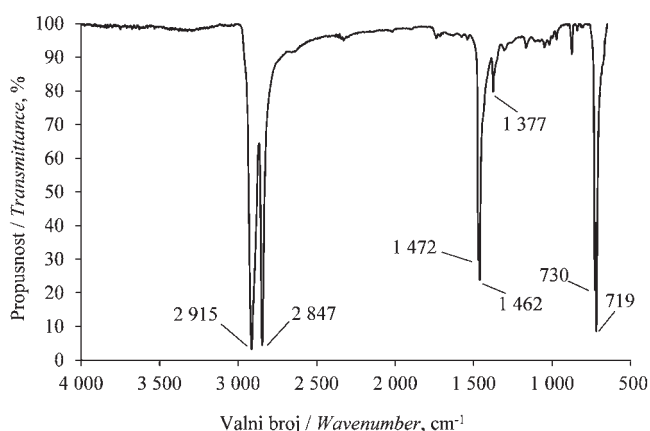
Spektar prikazan na slici 4 pokazuje pri $2\,915\text{ cm}^{-1}$ vrpce asimetričnoga te pri $2\,847\text{ cm}^{-1}$ vrpce simetričnog C-H istežanja iz CH_2 skupine. Vibracija kristalne rešetke kod PE rezultira udvojenom vrpcom, tzv. dubletom na $1\,462$ i $1\,472\text{ cm}^{-1}$ (CH_2 savijanje), te dubletom pri 730 i 719 cm^{-1} (CH_2 asimetrična deformacija u ravnini). Vrpca pri $1\,377\text{ cm}^{-1}$ posljedica je simetričnog savijanja u ravnini C-H veze iz terminirajućih CH_3 skupina dugolančane i kratkolančane granatosti.⁶ Ovaj spektar karakterističan je samo za jedan nosač za baterije i upućuje na to da je riječ o polietilenu niske gustoće (PE-LD), što potvrđuje i 92 %-tno slaganje s referentnim spektrom PE-LD-a iz baze podataka.



SLIKA 3 – Karakteristični FT-IR spektar ispitka izrađenog od PS-a
 FIGURE 3 – Characteristic FT-IR spectrum of a specimen made of PS



SLIKA 5 – Karakteristični FT-IR spektar ispitka izrađenog od PET-a
 FIGURE 5 – Characteristic FT-IR spectrum of a specimen made of PET



SLIKA 4 – FT-IR spektar ispitka izrađenog od PE-LD-a
 FIGURE 4 – FT-IR spectrum of a specimen made of LDPE

Vrpca pri 1 708 cm⁻¹ na slici 5 upućuje na prisutnost karbonilne grupe u konjugaciji s aromatskim prstenom, a u kombinaciji s intenzivnim vrpčama asimetričnog istezanja fragmenta C-O-C uključujući ugljik iz aromatskog prstena pri 1 243 i 1 098 cm⁻¹ upućuje na tereftalati ester.⁷ Simetrična deformacija izvan ravnine C-H veze iz aromatskog prstena javlja se pri 720 cm⁻¹. Vrpca pri 872 cm⁻¹ odgovara savijanju izvan ravnine C-H veze aromata. Uočavaju se i vrškovi asimetričnog istezanja C-H veze u CH₂ skupini pri 2 956 cm⁻¹, istezanja C-C veze aromatskog prstena pri 1 504 cm⁻¹, dublet savijanja C-H veze u CH₂ skupini pri 1 463 i 1 472 cm⁻¹ te savijanje u ravni C-H veze pri 1 408 cm⁻¹.⁸ Navedeno upućuje na to da je riječ o poli(etilen-tereftalatu) (PET), a što potvrđuje i 92 %-tno slaganje s referentnim spektrom PET-a iz baze podataka. Ovaj spektar pokazuje samo jedan plastični poklopac.

Rezultati identifikacije plastičnih komponenti infracrvenom spektroskopijom prikazani su u tablici 2, u kojoj su dani i relativni udjeli pojedinih identificiranih plastičnih materijala u svakoj od komponenti lampiona.

Postupak pliva-tone / Float-sink technique

Cilj je ovog rada, uz identifikaciju, davanje preporuke kako najjednostavnije i najefikasnije razvrstati plastične materijale od kojih su izrađeni nadgrobni lampioni. Budući da udruga *Prijatelj* ne posjeduje infracrveni spektrometar, niti su njezini članovi obučeni za rad s infracrvenom spektroskopijom, ispitana je mogućnost primjene postupka *pliva-tone* za razvrstavanje spomenutih materijala. Inače, taj se postupak vrlo često koristi u praksi za razvrstavanje plastičnog otpada. Posebno su razvrstavana kućišta lampiona, posebno poklopci, a rezultati su prikazani u tablici 3.

Budući da je infracrvenom spektroskopijom utvrđeno da su kućišta izrađena od PVC-a ($\rho = 1,35 \text{ gcm}^{-3}$) i PP-a ($\rho = 0,90 \text{ gcm}^{-3}$), kao kapljevina za razvrstavanje upotrijebljena je voda iz vodovoda. Masa plastične komponente koja pliva je 56,31 g (PP), a masa plastične komponente koja tone je 2 203,42 g (PVC). Ovim postupkom odvojili su se i ostatci parafina na kućištima lampiona (26,46 g), nečistoće čine 3,35 g, dok je razlika u masi (gubitak) u odnosu na početnu masu plastičnih kućišta lampiona 5,28 g. Stoga podatke u tablici 1 (stupac a) valja korigirati tako da je konačna masa plastičnih kućišta lampiona 2 259,73 g (od toga PP-a 56,31 g, a PVC-a 2 203,42 g) te parafina 3 064,37 g (tablica 1, stupac b).

Infracrvenom spektroskopijom utvrđeno je da su plastični poklopci izrađeni od PET-a ($\rho = 1,33 \text{ gcm}^{-3}$), PP-a ($\rho = 0,90 \text{ gcm}^{-3}$) i PS-a ($\rho = 1,05 \text{ gcm}^{-3}$). Razvrstavanjem plastičnih poklopaca (tablica 3) u vodi utvrđeno je da 14,33 g pliva (PP), a 31,77 g tone (PET i PS). Zatim je frakcija veće gustoće (PS i PET) razvrstana u vodenoj otopini natrijeva klorida (NaCl) gustoće 1,18 gcm⁻³, gdje PET tone (14,41 g), a PS pliva (17,36 g).

Rezultati dobiveni postupkom *pliva-tone* izvrsno se slažu s rezultatima dobivenima infracrvenom spektroskopijom. Na plastične nosače baterija nije primijenjen postupak *pliva-tone*. Naime, jedan nosač izrađen je od pjenastog polistirena (PS-E), a drugi od PE-LD-a, te ih je vrlo jednostavno vizualno razlikovati i razvrstati.

TABLICA 2 – Rezultati identifikacije plastičnih komponenti infracrvenom spektroskopijom

TABLE 2 – Results of identification of polymeric components by infrared spectroscopy

Kućišta / Housings			Poklopci / Lids			Nosači baterija / Housings for batteries		
Materijal / Material	Masa / Mass, g	Masa / Mass, %	Materijal / Material	Masa / Mass, g	Masa / Mass, %	Materijal / Material	Masa / Mass, g	Masa / Mass, %
PVC	2 238,51	97,55	PS	17,36	37,66	PE-LD	39,65	83,93
PP	56,31	2,45	PET	14,41	31,26	PS-E	7,59	16,07
			PP	14,33	31,08			

TABLICA 3 – Rezultati razvrstavanja plastičnih komponenti postupkom *pliva-tone*TABLE 3 – Results of sorting polymeric components by *Float-Sink* technique

Kućišta / Housings			Poklopci / Lids		
Materijal / Material	Masa / Mass, g	Masa / Mass, %	Materijal / Material	Masa / Mass, g	Masa / Mass, %
PVC	2 203,42	97,51	PS	17,36	37,66
PP	56,31	2,49	PET	14,41	31,26
			PP	14,33	31,08

TABLICA 4 – Udjeli pojedinih plastičnih materijala u otpadnim nadgrobni lampionima

TABLE 4 – Amounts of plastic materials in waste grave lanterns

Material / Material	Masa / Mass, g	Masa / Mass, %
PVC	2 203,42	93,64
PP	70,64	3,00
PE-LD	39,65	1,69
PS	17,36	0,74
PET	14,41	0,61
PS-E	7,59	0,32
Ukupno / Total	2 353,07	100,00

Konačno, iz tablice 1 vidljivo je da plastika čini 40,47 % ukupne mase lampiona, dok su u tablici 4 prikazane mase i udjeli pojedinih plastičnih materijala u lampionima. Najzastupljeniji plastični materijal je PVC s 93,64 %, dok ostali čine svega 6,36 %.

Zaključak / Conclusion

U suradnji s *Udrugom osoba s invaliditetom Prijatelj* iz Metkovića provedeno je razvrstavanje i identifikacija komponenti od kojih su izrađeni otpadni nadgrobni lampioni. Primijenjene metode rada su ručno razvrstavanje, razvrstavanje postupkom *pliva-tone*, gravimetrijska analiza i infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom. Utvrđeno je da parafin čini 52,71 %, plastika 40,47 %, metali 4,25 % te baterije 2,34 % ukupne mase uzoraka. Sva analizirana kućišta nadgrobni lampiona izrađena su od plastike, poklopci uglavnom od metala (manjim dijelom od plastike), a svijeće su pretežno parafinske. Infracrvenom spektroskopijom utvrđeno je da su kućišta lampiona izrađena od poli(vinil-klorida) i polipropilena, plastični poklopci od poli(etilen-tereftalata), polistirena i polipropilena, dok su identificirani polietilen niske gustoće i pjenasti polistiren kao nosači baterija u tri lampiona. Postupkom *pliva-tone* moguće je uspješno razvrstati pojedine plastične materijale, a dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima dobivenima infracrvenom spektroskopijom. Poli(vinil-klorid) je najzastupljeniji plastični materijal, na koji otpada 93,64 % ukupne mase

plastike, a zatim slijede polipropilen s 3,00 %, polietilen niske gustoće s 1,69 %, polistiren s 0,74 %, poli(etilen-tereftalat) s 0,61 % te ekspanzirani polistiren s 0,32 %. Kombinacija ručnog razvrstavanja i postupka *pliva-tone* prikladna je za razvrstavanje plastičnih materijala od kojih su izrađeni otpadni nadgrobni lampioni.

LITERATURA / REFERENCES

1. *Zakon o održivom gospodarenju otpadom*, NN 94/13.
2. Šercer, M., Opsenica, D., Barić, G.: *Oporaba plastike i gume, mtg topograf*, Velika Gorica, 2000.
3. Rogić, A., Čatić, I., Godec, D.: *Polimeri i polimerne tvorevine*, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2008.
4. Azapagic, A., Emsley, A., Hamerton, I.: *Polymers, the environment and sustainable development*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 2003.
5. *Pravilnik o ambalaži i ambalažnom otpadu*, NN 97/05, 115/05, 81/08, 31/09, 156/09, 38/10, 10/11, 81/11, 126/11, 38/13, 86/13.
6. Stuart, B.: *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and applications*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 2004.
7. Lobo, H., Bonilla, J. V.: *Handbook of Plastic Analysis*, Marcel Dekker, Inc., New York, 2003.
8. Vijayakumar, S., Rajakumar, P. R.: *Infrared spectral analysis of waste PET samples*, International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy, 4(2012), 58-65.

DOPISIVANJE / CONTACT

Prof. dr. sc. Matko Erceg
Sveučilište u Splitu
Kemijско-tehnološki fakultet
Teslina 10/V
HR-21000 Split, Hrvatska / Croatia
E-pošta / E-mail: merceg@ktf-split.hr