

SAŠA JOVANIĆ<sup>1</sup>  
DRAGOSLAV STOILJKOVIĆ<sup>2</sup>  
IVANKA G. POPOVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Zavod za zaštitu zdravlja,  
Subotica

<sup>2</sup>Tehnološki fakultet, Novi Sad

<sup>3</sup>Tehnološko-metalurški fakultet,  
Beograd

NAUČNI RAD

678:628.5+546.42/.56

## KONTAMINACIJA POLIMERA TEŠKIM METALIMA

*U radu je praćena kontaminacija najznačajnijih sintetskih (površinski nemodifikovanih) polimera teškim metalima (prevashodno bakrom, manganom i olovom) u vodenoj sredini. Praćen je uticaj više faktora (pH vrednost rastvora, temperatura i tip metala) tokom perioda od 10 dana. Utvrđeno je da porast pH vrednosti uzrokuje porast kontaminacije metalima (kod bakra 100 a kod olova i do 400 puta), kao i kontakt polimera sa supstancama koje lakše prodiru u polimer od vode. Zapaženo je smanjenje kontaminacije teškim metalima samo kod polietilena niske gustine (PENG) i poli(etilen tereftalata) (PET) usled rasta temperature, a ne i kod polietilena visoke gustine (PEVG) i polipropilena (PP).*

Kontaminacija polimera jedinjenjima teških metala nije do sada predstavljala oblast od posebnog interesovanja. Polimeri i teški metali ne dolaze često u međusobni kontakt. Zbog razlike u polarnosti i nepostojanja funkcionalnih grupa na površini većine polimera za hemijsko vezivanje jedinjenja teških metala, pretpostavljalo se da se polimeri ne mogu značajno kontaminirati. Međutim, ova ispitivanja su neophodna zbog zdravstvene ispravnosti polimera kada se koriste za ambalažiranje hrane i vode za piće.

Istraživanja koja su rađena sa ciljem da se utvrdi stepen kontaminacije organskim i neorganskim supstancama (solima teških metala) kao i mogućnostima dekontaminacije tokom eksperimentalnog procesa reciklaže, su pokazala da neorganska jedinjenja u malom stepenu kontaminiraju površinu poli(etilen tereftalata). Sorbovana jedinjenja teških metala se relativno teško uklanjaju sa polimera, što zavisi od primenjenih uslova reciklaže [1]. Rezultati ispitivanja kontaminacije i dekontaminacije u uslovima procesa reciklaže polietilena visoke gustine sa bakar–etilheksanoatom u organskim rastvaračima, takođe, potvrđuju činjenicu o malom stepenu kontaminacije, koja se u klasičnom procesu reciklaže teško snižava [2]. Proučavanjem procesa sorpcije jona teških metala na polietilenu iz kiselih vodenih rastvora zaključeno je da na taj proces imaju uticaja vrsta polimera, vrsta rastvarača i vrsta metala [3].

U ovom radu je ispitana kontaminacija najvažnijih polimera u standardnoj upotrebi za ambalažu: polietilena visoke gustine (PEVG), polietilena niske gustine (PENG), polipropilena (PP) i poli(etilen tereftalata) (PET) sa aspekta uslova koji mogu uticati na taj proces, da bi se na osnovu tih saznanja razvio odgovarajući postupak dekontaminacije. U tom cilju su polimerne pločice pripremljene od polimernih predmeta (plaštevima od PEVG–a,

PENG–a i PP–a i boce od PET–a) bile u kontaktu najviše 10 dana sa vodenim rastvorima koji su sadržavali jedinjenja teških metala, prevashodno bakra. Bakar je izabran jer predstavlja važnu komponentu antifungicidnih sredstava i može da dođe u kontakt sa polimernom ambalažom. Zbog toga je početna koncentracija jedinjenja teških metala (Me) bila 3,750 g/dm<sup>3</sup> (Me=Cu [4], Pb i Mn). Svakog drugog dana je uziman uzorak polimernih pločica i određivan je stepen kontaminacije metalom, praćenjem površinske koncentracije  $S_c$  ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ). Ispitivan je uticaj pH vrednosti rastvora, vrste jedinjenja metala, temperature i tipa metala na kontaminaciju polimera.

Uslovi u toku kontakta polimernih pločica sa vodenom sredinom i u toku odstranjivanja viška jedinjenja sa površine pločica izabrani su da bi se simulirali realni uslovi kontakta i reciklaže polimera.

### EKSPERIMENTALNI DEO

#### Polimerni materijali i hemikalije

Za sprovođenje ovih eksperimenata korišćeni su ekstrudirani plaštevima od PEVG–a, PENG–a i PP–a (fizičko–hemijskih karakteristika datih u tabeli 1) kao i boce od PET–a dobijene postupkom duvanja. Pre dovođenja u kontakt sa vodenim rastvorima jedinjenja teških metala, od ovih polimernih predmeta su pripremane polimerne pločice (20 x 20 mm). Sve korišćene hemikalije su bile p.a. kvaliteta: CuSO<sub>4</sub>x5H<sub>2</sub>O, MnCl<sub>2</sub>x4H<sub>2</sub>O, NaOH, NH<sub>3</sub> (vod. rastvor), Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>x3H<sub>2</sub>O, C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>Na<sub>2</sub>x2H<sub>2</sub>O H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>x6H<sub>2</sub>O (Zorka Pharma A.D. – Šabac). Za izradu kalibracionih krivih korišćeni su radni standardi pripremljeni od fabričkih primarnih standardnih rastvora CuCl<sub>2</sub>x2H<sub>2</sub>O u HCl, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> u HNO<sub>3</sub> i MnCl<sub>2</sub> u H<sub>2</sub>O (g=1,000 g/dm<sup>3</sup>) (Carlo Erba – Italija) pogodnim razblaživanjem rastvorom HCl–a koncentracije 2 mol/dm<sup>3</sup>. U radne standarde je potrebno dodati 28,200 g Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>x6H<sub>2</sub>O na 1,000 dm<sup>3</sup>. Za izradu kalibracione krive korišćena je slepa proba. Svi rastvori su pripremani korišćenjem destilovane vode.

Adresa autora: S. Jovanić, Zavod za zaštitu zdravlja, Jovana Jovanovića Zmaja 30, 24000 Subotica

Rad primljen: April 26, 2002.

Rad prihvaćen: Oktobar 3, 2002.

Tabela 1. Komercijalni podaci i važne fizičko-hemijske karakteristike tipova poliolefina korišćenih u eksperimentima:  $\rho$  (srednja vrednost gustine), MFR (indeks tečenja rastopa),  $t_V$  (temperatura po Vikatu),  $\alpha$  (stepen kristalnosti)

Table 1. Commercial data and important physical characteristics of polyolefins used in the experiments:  $\rho$  (average density), MFR (melt flow rate),  $t_V$  (Vicat temperature),  $\alpha$  (degree of crystallinity)

	PEVG	PENG	PP
Komerc. oznaka*	HIPLEX TR 130	HIPTEN 22003	CHC 3007
Proizvođač*	HIP – Pančevo	HIP – Pančevo	CHEMIE – Linz
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )*	0,9361	0,9195	0,8992
MFR (g/10 min.)*	0,16	0,25	1,37
$t_V$ (°C)*	85	<65	70
$\alpha$ (%)**	50	38	26

\*Podaci sa proizvođačkih specifikacija

\*\*Vlastiti eksperimentalni podaci.

### Kontaminacija polimera i određivanje stepena kontaminacije

Polimerne pločice ( $\approx 100$  g) potapane su uz mešanje u vodene rastvore bakra, olova i mangana koncentracije 3,750 g/dm<sup>3</sup>. Prethodno su podešavani potrebni eksperimentalni uslovi: pH, temperatura. Dužina kontakta je bila najviše 10 dana, s tim da se svakog drugog dana uzimao uzorak polimernih pločica radi određivanja stepena kontaminacije na površini. Većina uzoraka je bila termostatisirana na 37°C, dok je jedan broj uzoraka bio termostatisiran na 11 odnosno 62°C. Određivanje stepena kontaminacije se izvodilo u stacionarnim uslovima.

Radi formiranja kompleksnih jedinjenja bakra u vodenim rastvorima dodato je kompleksirajuće sredstvo (vodeni rastvor amonijaka ili natrijumova so etilendiamin-tetrasirćetne kiseline) uz korekciju pH vrednosti u cilju kvantitativnog kompleksiranja jona bakra.

Radi određivanja stepena kontaminacije polimera bilo je neophodno izvršiti mineralizaciju uzorka polimera [5] uz prethodno uklanjanje viška jedinjenja teških metala. Stepenn kontaminacije polimera, odnosno površinska koncentracija metala  $S_c$ , određivana je korišćenjem sledeće jednačine:

$$S_c = \frac{\gamma \cdot V \cdot A_m}{m_p} \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{cm}^2} \right),$$

gde je  $\gamma$  – koncentracija ispitivanog metala (mg/dm<sup>3</sup>) u analitičkom rastvoru (dobijenom rastvaranjem ostatka nakon mineralizacije) zapremine  $V$  (cm<sup>3</sup>), a  $m_p$  (g) – masa određenog polimera površinske mase  $A_m$  (g/cm<sup>2</sup>).

Procedura odstranjivanja viška jedinjenja teških metala se sastojala iz sledećih operacija:

1. polimerne pločice su ispirane posredno u roku 2 min. u posudi sa otvorom na dnu sa oko 4 dm<sup>3</sup> hladne česemske vode,

2. pločice su polagane na tekstilnu plahu sa minimalnim pritiskom i sušene na vazduhu,

3. polimerne pločice su izmerene na tehničkoj vagi, i

4. prenete u posude za mineralizaciju.

Postupak mineralizacija započinje dodatkom smeše za mineralizaciju (28,200 g Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O u 1,000 dm<sup>3</sup> 30% vodenog rastvora HNO<sub>3</sub>). Temperatura uzorka se postepeno povećava do 300°C i kada je izvršena karbonizacija uzorak se stavlja u peć za žarenje na 430°C tokom 12 sati. Potom se vrši ekstrakcija metala iz ostatka rastvorom HCl-a (C=2 mol/dm<sup>3</sup>).

### Instrumentacija

Nepoznata koncentracija metala u analitičkom rastvoru (odnosno posredno  $S_c$ ) je određivana metodom plamene atomske apsorpcione spektrometrije (AAS) na aparatima PYE UNICAM SP 192 i SHIMADZU AA 680 nakon izrade kalibracione krive. Radni uslovi za analitičko određivanje na PYE UNICAM SP 192 su dati u tabeli 2.

Tabela 2. Radni parametri za AAS

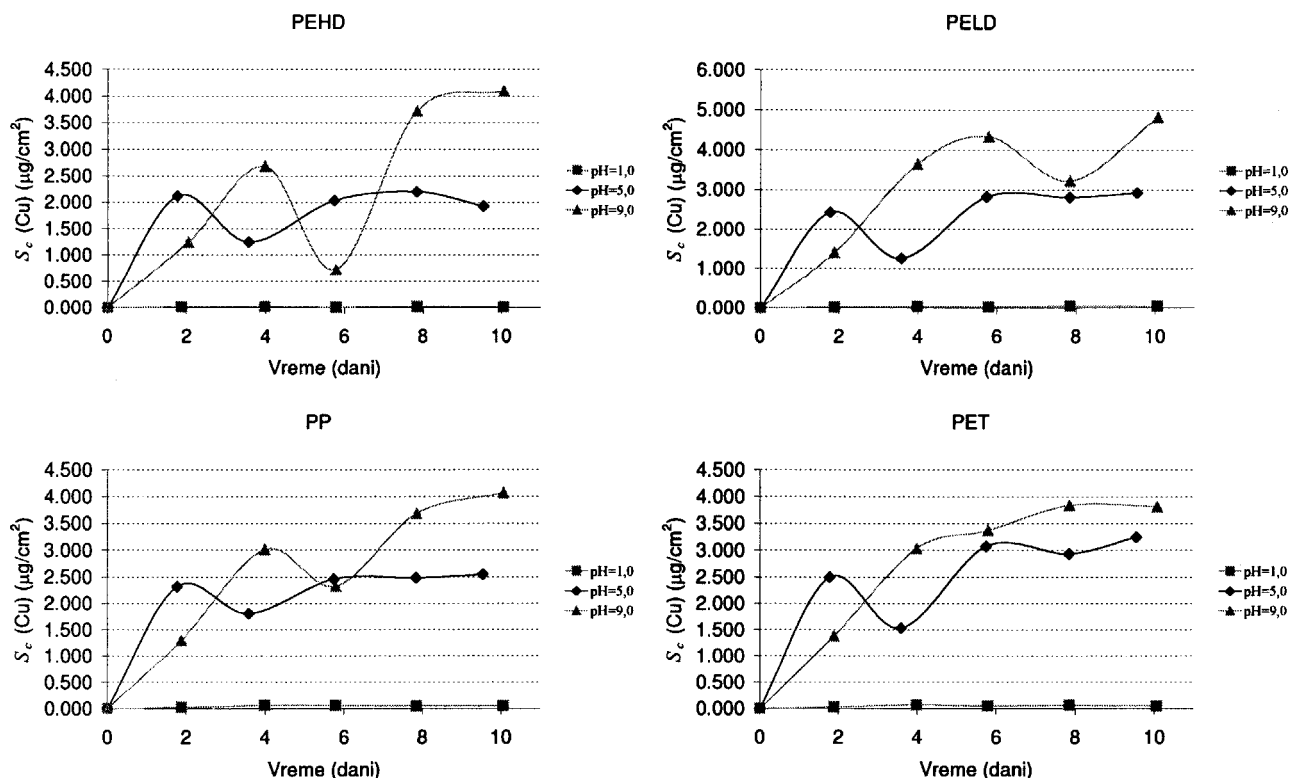
Table 2. Instrument conditions (AAS)

	Cu	Pb	Mn
Plamen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> – vazduh		
Q (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) (cm <sup>3</sup> /min.)	1,0		
Q (vaz.) (cm <sup>3</sup> /min.)	5,5		
$\lambda$ (nm)	324,75	217,00	279,48
Tip korekcije poz.	D <sub>2</sub> korekc.		
Atenuacija	0	5	3
I (mA)	3,0	8,5	8,5
Slit (nm)	0,4		
Gr. odred. (teor.) (mg/dm <sup>3</sup> )	0,002	0,02	0,002
Gr. odred. (teor.) ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0,00011	0,0011	0,00011
Gr. odred. (prakt.) (mg/dm <sup>3</sup> )	0,028	0,065	0,018
Gr. odred. (prakt.) ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0,002	0,003	0,0001

## REZULTATI I DISKUSIJA

### Uticao pH

Grafički prikazi rezultata ovih eksperimenata u sredini koja sadrži jedinjenja bakra, a čiji pH iznosi 1,0, 5,0 i 9,0 su dati na slici 1. Kako se može videti sa ovih dijagrama, vrednosti površinske koncentracije  $S_c$  bakra su za dva reda veličine veće u slučaju kada polimerne pločice (bilo kog polimera) stupaju u kontakt sa suspenzijom čija je pH vrednost 5,0 nego u slučaju kontakta sa rastvorom čiji je pH=1,0. Pri kraju eksperimenata (8 i 10 dana) u kojima su polimerne pločice imale kontakt sa suspenzijom bakar(II)–hidroksida čija je pH=5,0 se uočava da prosečna vrednost površinske koncentracije  $S_c$  bakra iznosi od 2,074 do 3,095 mg/cm<sup>2</sup>. Takođe se



Slika 1. Vremenska zavisnost  $S_c$  bakra na površini pločica od PEVG-a, PENG-a, PP-a i PET-a u funkciji od pH ( $t=37^\circ\text{C}=\text{const.}$ ,  $g=3,750$   $\text{g}/\text{dm}^3=\text{const.}$ )

Figure 1. Time dependence of copper  $S_c$  on PEHD, PELD, PP and PET for various pH ( $t=37^\circ\text{C}=\text{const.}$ ,  $g=3.750$   $\text{g}/\text{dm}^3=\text{const.}$ ).

zapaža da vrednosti površinske koncentracije bakra na pločicama koje su stupale u kontakt sa suspenzijom, čiji je pH 9,0, nadmašuju vrednosti dobijene pri eksperimentima sa pH vrednošću 5,0, što je posebno izraženo kod poliolefina, a u manjoj meri kod PET-a. Osim toga, vrednost  $S_c$  za bakar pri kraju perioda ispitivanja za polimere koji su bili u kontaktu sa suspenzijom čija je pH vrednost bila 9,0, iznosi od 3,834 do 4,027  $\text{mg}/\text{cm}^2$ .

Veličina kontaminacije ispitanih polimera različitim jedinjenjima bakra (zavisno od pH vrednosti) se može donekle objasniti pretpostavljenim mehanizmom sorpcije, po kome se važnom fazom može smatrati deprotonacija metalnog jedinjenja [3]. Bakar(II)-hidroksid (pH=5) se može smatrati deprotonovanim oblikom u odnosu na heksaakvabakar(II)-jon (pH=1), pa se ta faza procesa mnogo brže odvija što doprinosi većoj kontaminaciji polimera ( $\approx 100$  puta).

#### Kontaminacija polimera kompleksnim jedinjenjima bakra

Kontaminacija sve četiri vrste polimernih pločica je između one uočene kod kontakta sa sredinom koji sadrži rastvorna i nerastvorna jedinjenja bakra. Kriva koja opisuje vremensku promenu površinske koncentracije bakra na polimerima koji su bili u kontaktu sa rastvorom koji sadrži  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  pokazuje odstupanje (slika 2) u odnosu na druga dva kompleksna jedinjenja bakra, što je posebno izraženo kod PEVG-a i PP-a. Osim toga, zapaža se da je vrednost površinske koncentracije bakra

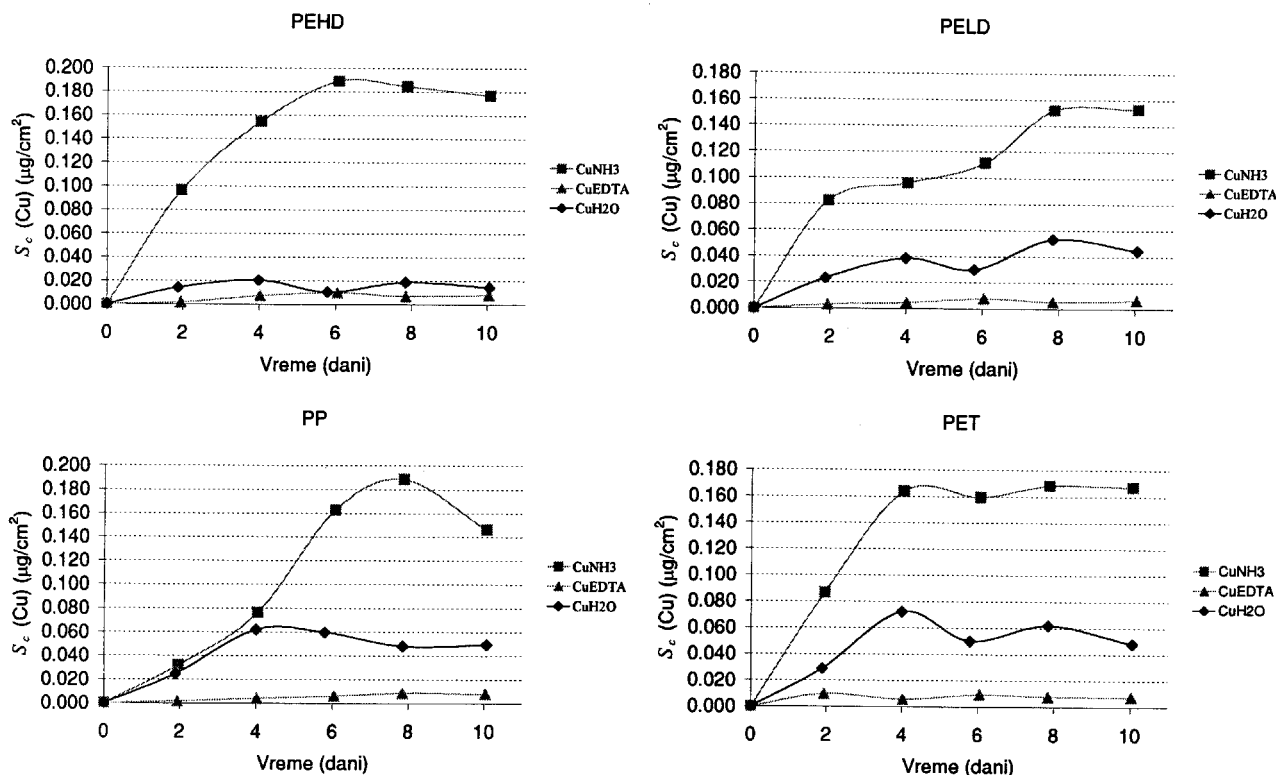
$S_c$  (iz amonijačnog kompleksa) pri kraju ispitivanog perioda od 10 dana relativno ujednačena kod sva četiri polimera oko 0,170  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Slična pojava se može uočiti i kod praćenja  $S_c$  bakra na polimerima koji su bili u kontaktu sa  $[\text{CuY}]^{2-}$  (gde je Y organski deo molekula kompleksa – etilendiamintetrasirćetna kiselina), jer je ona oko 0,005  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Sem toga, krive promene površinske koncentracije sa vremenom imaju, u slučaju kontakta sa heksaakvabakar(II)-jonom i etilendiamintetraacetatokuprat(II)-jonom, karakterističan oblik koji se ne može zapaziti kod polimera koji su bili u kontaktu sa tetraamminobakar(II)-jonom. Kod sva četiri polimera se uočava sledeći opadajući redosled bakarnih kompleksnih jedinjenja, s obzirom na uočenu kontaminaciju koju ona prouzrokuju:

1. tetraamminobakar(II)-jon –  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$
2. heksaakvabakar(II)-jon –  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$  i
3. etilendiamintetraacetatokuprat(II)-jon –  $[\text{CuY}]^{2-}$ .

Moguće objašnjenje relativno velike kontaminacije svih polimera tetraamminobakar(II)-jonom može se naći u većoj interakciji amonijaka (kao komponente rastvora) i polimera (posebno PEVG-a i PP-a) nego vode i polimera zbog nešto manje razlike u polarosti [6].

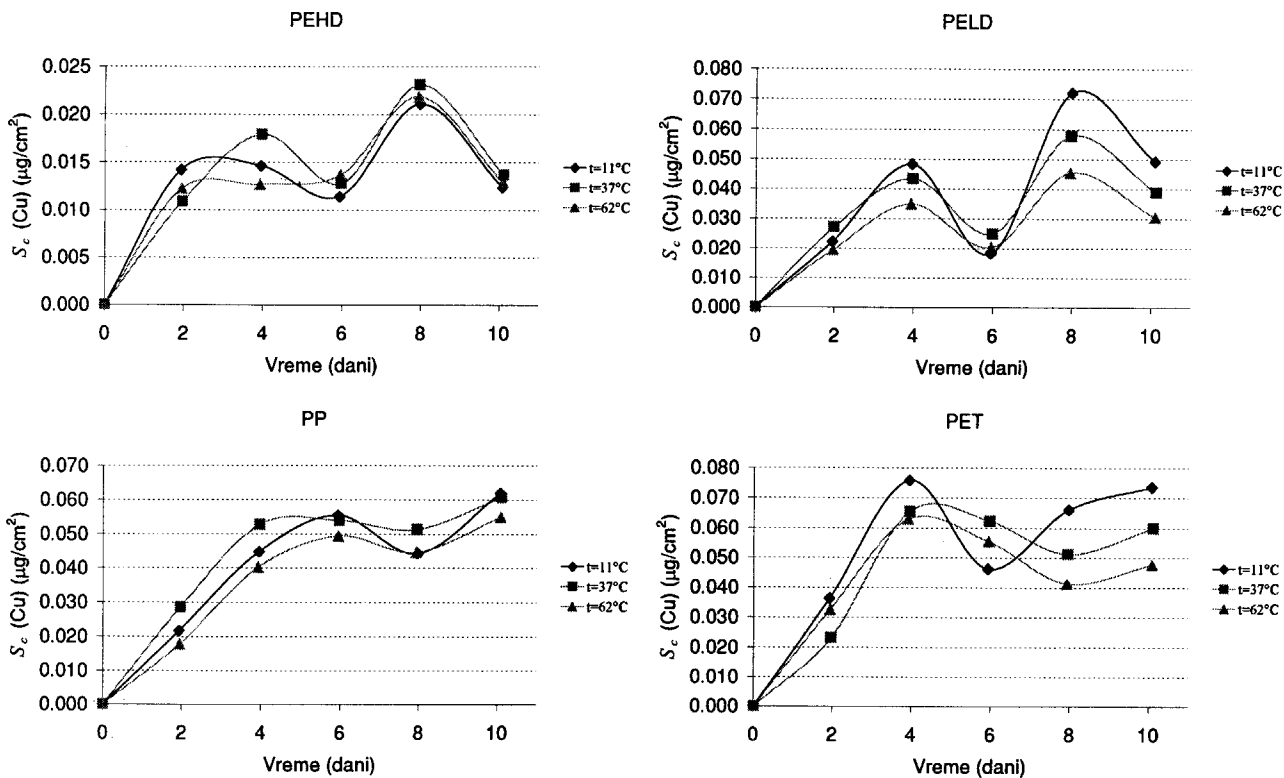
#### Uticaj temperature

Rast temperature od 11 do  $62^\circ\text{C}$  dovodi do promene površinske koncentracije bakra tokom vremena (slika 3). Poređenjem krivih za svaki polimer, jedino se može uočiti uticaj temperature kod PENG-a i PET-a, koji



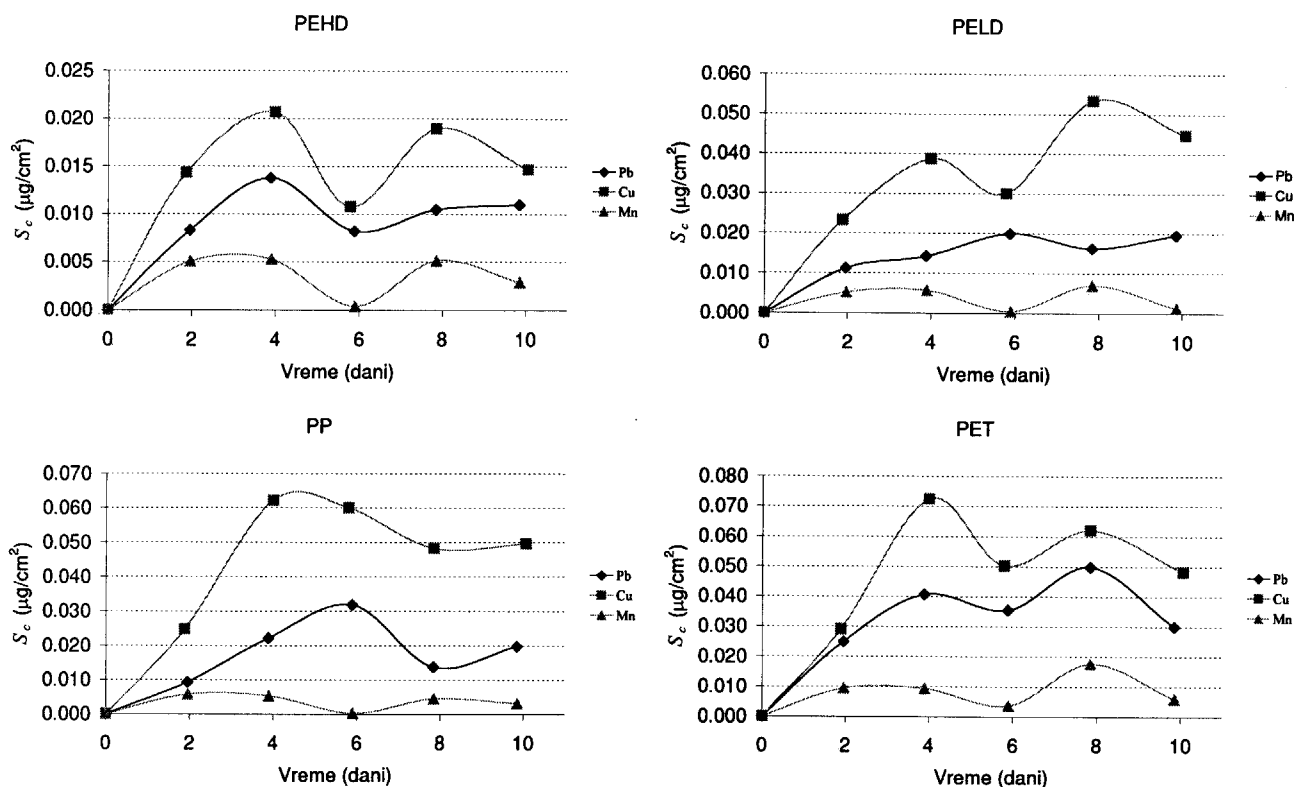
Slika 2. Vremenska zavisnost  $S_c$  bakra na PEVG-u, PENG-u, PP-u i PET-u za različita kompleksna jedinjenja bakra ( $t=37^\circ\text{C}=\text{const.}$ ,  $g=3,750 \text{ g}/\text{dm}^3=\text{const.}$ ).

Figure 2. Time dependence of copper  $S_c$  on PEHD, PELD, PP and PET for various copper complex compounds ( $t=37^\circ\text{C}=\text{const.}$ ,  $g=3,750 \text{ g}/\text{dm}^3=\text{const.}$ ).



Slika 3. Vremenska zavisnost  $S_c$  bakra na PEVG-u, PENG-u, PP-u i PET-u za 11, 37 i  $62^\circ\text{C}$  ( $\text{pH}=1,0$ ,  $g=3,750 \text{ g}/\text{dm}^3=\text{const.}$ ).

Figure 3. Time dependence of copper  $S_c$  on PEHD, PELD, PP and PET for 11, 37 and  $62^\circ\text{C}$  ( $\text{pH}=1,0$ ,  $g=3,750 \text{ g}/\text{dm}^3=\text{const.}$ ).



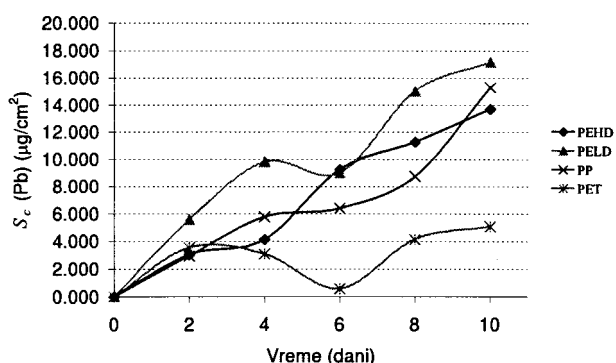
Slika 4. Vremenska zavisnost  $S_c$  olova, bakra i mangana na PEVG-u, PENG-u, PP-u i PET-u ( $t=37^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=1,0$ ,  $g=3,750 \text{ g}/\text{dm}^3$ ).  
Figure 4. Time dependence of lead, copper and manganese  $S_c$  on PEHD, PELD, PP and PET ( $t=37^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=1.0$ ,  $g=3.750 \text{ g}/\text{dm}^3$ ).

je obrnuto proporcionalan, tj. dolazi do opadanja površinske koncentracije bakra (tj. kontaminacije) sa porastom temperature. Nasuprot ova dva polimera, kod PEVG-a i PP-a se ne mogu izvoditi takvi zaključci, premda se kod PP-a može uočiti izvestan trend sličan onom koji postoji kod PENG-a i PET-a.

Jedno od mogućih objašnjenja delovanja temperature na stepen kontaminacije samo kod PENG-a (od tri poliolefina) je vezan za pojavu značajne pokretljivosti delova makromolekulskih lanaca ( $t_g < 65^\circ\text{C}$ ; tabela 1) u intervalu primenjenih temperatura, što dovodi do raskidanja fizičko i/ili hemijski vezanih akvakompleksa bakra [7]. Kod PET-a, s obzirom na kontakt sa kiselim vodenim rastvorom jona bakra, dolazi do pojave hidrolize polimera koja umanjuje masu vezanog bakra. U oba ova slučaja potrebno je uzeti u obzir i povećanu rastvorljivost bakra zbog porasta temperature rastvora.

#### Uticaj jona metala

Kod sva četiri polimera se uočava najveća kontaminacija bakrom, koja pri kraju desetodnevnog perioda iznosi od 0,017 do 0,055  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , nakon čega sledi olovo (0,011–0,040  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) pa mangan (slika 4). Vrednosti površinske koncentracije za mangan iznose prosečno 0,005  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ . Uočene razlike u kontaminaciji polimera sa tri hidratizovana jona se može objasniti posredstvom njihovih kiselo-baznih svojstava. Na osnovu toga se može pretpostaviti veća kontaminacija polimera jonima metala koji imaju izraženije kisele karakteristike.



Slika 5. Vremenska zavisnost  $S_c$  olova na PEVG-u, PENG-u, PP-u i PET-u ( $t=37^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=5,0$ ,  $g=3,750 \text{ g}/\text{dm}^3$ ).  
Figure 5. Time dependence of lead  $S_c$  on PEHD, PELD, PP and PET ( $t=37^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=5.0$ ,  $g=3.750 \text{ g}/\text{dm}^3$ ).

Praćenjem kontaminacije olova na polimerima koji su bili u kontaktu sa suspenzijom olovo(II)-hidroksida, može se zaključiti da se površinska koncentracija olova na kraju eksperimentalnog perioda, nalazi između 5,109 i 17,195  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  (slika 5), što je oko 500 puta više u odnosu na vrednosti koje su uočene prilikom kontakta sa heksaakvaolovo(II)-jonom ( $\text{pH}=1,0$ ).

#### ZAKLJUČAK

Kontaminacija polimera jedinjenjima teških metala je uslovljena raznim faktorima, kao što su pH sredine, vrsta jedinjenja i tip metala, rastvorljivost soli metala i

temperatura. pH na kojoj dolazi do izdvajanja nerastvor-  
nog jedinjenja metala dovodi do znatnog povećanja  
kontaminacije, kao i jače interakcije polimer–rastvarač.  
Temperatura ima uticaj na smanjenje kontaminacije kod  
PENG–a i PET–a, dok kontakt polimera sa jonima metala  
koji su podložniji hidrolizi dovodi do povećanja konta-  
minacije.

#### LITERATURA

- [1] V. Komolprasert, A. Lawson, "Residual Contaminants in Recycled Poly(ethylene terephthalate)" u C.P. Rader, S.D. Baldwin, D.D. Cornell, G.D. Sadler, R.F. Stockel, "Plastics, Rubber, and Paper Recycling – A Pragmatic Approach", ACS Symposium Series 609, Washington DC, (1995), 435–444
- [2] B.H. Allen, B.A. Blakistone, "Assessing Reclamation Processes for Plastics Recycling" u C.P. Rader, S.D. Baldwin, D.D. Cornell, G.D. Sadler, R.F. Stockel, "Plastics, Rubber, and Paper Recycling – A Pragmatic Approach", ACS Symposium Series 609, Washington DC, (1995), 418–434
- [3] S. Jovanić, Magistarski rad: "Uticaj teških metala na reciklažu plastike", Tehnološki fakultet, Novi Sad, (2001)
- [4] N. Mitić, "Pesticidi u poljoprivredi i šumarstvu u Jugoslaviji", P.S. "Grmeč" A.D. "Privredni Pregled", Beograd, (1994), 146
- [5] Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists; S. Williams, Ed.; Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA, (1990), 15th Ed., 272–273
- [6] D.C. Wright, "Environmental Stress Cracking of Plastics", RAPRA Technology Ltd., Shawbury, (1996), 49
- [7] K.N. Kan, "Voprosy teorii teplovogo rashireniya polimero-rov", Izdatelstvo Leningradskogo Universiteta, (1975), 15

#### SUMMARY

##### POLYMER CONTAMINATION BY HEAVY METAL COMPOUNDS

(Scientific paper)

Saša Jovanić<sup>1</sup>, Dragoslav Stoilković<sup>2</sup>, Ivanka G. Popović<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Health Protection Institute, Jovana Jovanovića Zmaja 30, 24000 Subotica

<sup>2</sup>Faculty of Technology, Novi Sad

<sup>3</sup>Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade

The contamination of important synthetic (surface unmodified) polymers by various heavy metal compounds (such as copper, manganese and lead) in aqueous medium was investigated in this study. The influence of the pH of the aqueous medium, temperature and metal type on contamination was investigated during a 10 day period. It was found that increasing pH contributed to higher polymer contamination (at higher pH 100 times for copper and up to 400 times for lead), as well as contact with easily penetrable substances. Increasing temperature decreased contamination by the metal compound for PELD and PET, which was not the case for PEHD and PP.

Key words: Contamination • Heavy metal compounds • High density polyethylene • Low density polyethylene • Polypropylene • Poly(ethylene terephthalate) •  
Ključne reči: Kontaminacija • Jedinjenja teških metala • Polietilen niske gustine • Polietilen visoke gustine • Polipropilen • Poli(etilen tereftalat) •