

# BIORAZGRADNJA BISFENOLA A U OKOLIŠU

**doc. dr. sc. Dajana Kučić Grgić**  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet  
kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Marulićev trg 19, 10000  
Zagreb, Hrvatska  
dkucic@fkit.hr

**Antonija Kovačević**  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet  
kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Marulićev trg 19,  
10000 Zagreb, Hrvatska

**Emma Lovrinčić**  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet  
kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Marulićev trg 19,  
10000 Zagreb, Hrvatska

**doc. dr. sc. Vesna Ocelić Bulatović**  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet  
kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Marulićev trg 19,  
10000 Zagreb, Hrvatska

**prof. dr. sc. Marija Vuković Domanovac**  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet  
kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Marulićev trg 19,  
10000 Zagreb, Hrvatska

Bisfenol A (BPA) je osnovna građevna jedinica u proizvodnji polikarbonata, epoksi smola, stomatoloških potrepština te drugih materijala. BPA dospijeva u okoliš tijekom kemijske proizvodnje, transporta ili prerade te neispravnim odlaganjem proizvoda koji ga sadržavaju. BPA zbog svoje toksičnosti štetno utječe na ljudsko zdravlje, životinjski i biljni svijet te ga je potrebno ukloniti iz okoliša. U ovom je radu provedena biorazgradnja BPA u vodenoj otopini bakterijskim kulturama *Pseudomonas aeruginosa* BSW, *Pseudomonas putida* i *Streptomyces* sp. izoliranim iz okoliša. Pokusima su ispitani različiti čimbenici koji utječu na proces biorazgradnje BPA, poput pH-vrijednosti, temperature i optičke gustoće navedenih kultura. Prema dobivenim rezultatima pri pH-vrijednosti 7 i temperaturi od 35 °C postignuta je najbolja biorazgradnja BPA od 40 %, odnosno 50 % za sva tri ispitana mikroorganizma. Pri optičkoj gustoći od 0,3 postignuta je 10 % veća biorazgradnja BPA nego pri optičkoj gustoći od 0,2 kulturama *Pseudomonas aeruginosa* BSW i *Pseudomonas putida*, dok je primjenom kulture *Streptomyces* sp. najbolja biorazgradnja postignuta pri optičkoj gustoći od 0,2.

**Ključne riječi:** biorazgradnja, Bisfenol A, *Pseudomonas aeruginosa* BSW, *Pseudomonas putida* i *Streptomyces* sp.

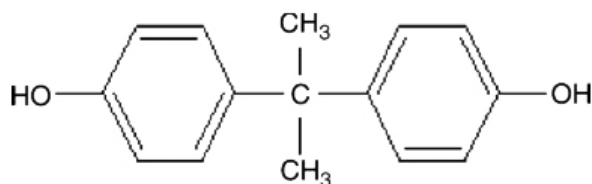
## 1. UVOD

U posljednjih je nekoliko godina sve više pažnje posvećeno bisfenolu A (BPA) i njegovom štetnom djelovanju na ljude i okoliš, budući da je otkriveno njegovo prisustvo u rijekama, morima i tlu. BPA se uglavnom nalazi u polikarbonatima i epoksi smolama (Mandić, 2006.), odnosno u ambalaži za hranu i piće, bočicama za djecu, kuhinjskim pomagalima, elektroničkoj opremi, bojama te metalnim konzervama za hranu i piće s kojima su ljudi u svakodnevnom doticaju (Kang et al., 2006.). U posljednjih se osamdeset godina ispitivalo djelovanje BPA na ljude, životinje i okoliš. Krajem dvadesetog stoljeća otkriven je njegov negativan utjecaj na zdravlje ljudi te je 1996. godine proglašen supstancom opasnom po ljudsko zdravlje (Rykowska i Wasiak, 2006.). Dokazano

je da sveprisutni BPA negativno utječe na hormonalnu ravnotežu ljudi i životinja, fetuse, novorođenčad i malu djecu. Nadalje, utvrđene su relativno visoke razine BPA u serumu trudnica te pupčanoj vrpci i fetalnoj plazmi, što ukazuje da BPA može s majke prijeći u plod. Izloženost BPA može dovesti do povećanja ili smanjenja broja kromosoma kod fetusa, što dovodi do pobačaja ili genetskog poremećaja djeteta (npr. Downov sindrom) (Rykowska i Wasiak, 2006.).

BPA je kemijski, organski spoj koji u svom sastavu ima dvije fenolne funkcionalne skupine, formule  $C_{15}H_{16}O_2$  (slika 1). Najviše se koristi u proizvodnji plastike i time ulazi u život svakog čovjeka. BPA može prijeći iz ambalaže u hranu ili piće koje se nalazi unutar nje.

Glavni uzrok, koji potiče prijenos BPA iz ambalaže, je zagrijavanje proizvoda prilikom proizvodnje ili tijekom visokih ljetnih temperatura (Kang et al., 2006.). BPA je sveprisutan kemijski spoj u okolišu, unatoč njegovom kratkom životnom vijeku, zbog konstantnog otpuštanja u okolinu. Do otpuštanja BPA u okolinu može doći tijekom kemijske proizvodnje, transporta ili prerade. Nakon upotrebe od strane primarnih potrošača, BPA dospjeva i pronalazimo ga u komunalnim otpadnim vodama, raznim odlagalištima, prilikom spaljivanja otpada te nepravilnim odlaganjem plastičnih boca.



Slika 1: Strukturna formula bisfenola A

Zbog povećanja svijesti o njegovom štetnom djelovanju sve više organizacija promovira pravilno zbrinjavanje otpada čiji je BPA jedan od glavnih sastojaka (Eio et al., 2014.; Flint et al., 2012.; Kang et al., 2006.; Mandić, 2006.; Rykowska i Wasiak, 2006.). Koncentracija BPA u površinskim vodama varira ovisno o lokaciji, razdoblju uzorkovanja i metodama obrade rezultata. U većini površinskih voda koncentracija BPA je manja od  $1 \text{ mg dm}^{-3}$ , ali može varirati ovisno o dubini uzorkovanja uzorka (Flint et al., 2012.). Male koncentracije BPA se iz okoliša mogu ukloniti fotorazgradnjom, jer je BPA fotonestabilan, te mikroorganizmima (*Pseudomonas* sp. (Kang i Kondo, 2002.a), *Pseudomonas putida* (Kang i Kondo, 2002.a), *Streptomyces* sp. (Kang i Kondo, 2004.; Sasaki et al., 2005.), *Aspergillus* sp. (Chai et al., 2005.; Yim et al., 2003.), *Aspergillus fumigatus* (Yim et al., 2003.), *Trametes versicolor* (Suzuki et al., 2003.), *Phanerochaete chrysosporum* (Suzuki et al., 2003.) prisutnim u okolišu (Flint et al., 2012.). Dokazano je da se BPA može razgraditi pomoću mikroorganizama iz tla, rijeka te postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda (Eio et al., 2014.; Flint et al., 2012.; Kang et al., 2006.). U rijekama se nalazi puno vrsta bakterija koje imaju mogućnost razgradnje BPA do nekog stupnja (40 od 44 bakterija izoliranih iz različitih rijeka), ali je jako malo onih bakterija koje mogu razgraditi BPA više od 90 % (samo 6 od 40) (Kang et al., 2006.). *Pseudomonas* sp., *Pseudomonas putida* i *Streptomyces* sp. su jedne od rijetkih bakterija s visokim stupnjem razgradnje BPA. One mogu razgraditi oko 90 % BPA unutar 10 dana (Kang et al., 2006.). Na proces biorazgradnje najviše utječe temperatura. Prema istraživanjima koja su proveli Kang et al. (2006.) pri  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  i  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  BPA se razgradio u vremenskom razdoblju od 4 do 7 dana, dok pri temperaturi od  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  u 20 dana.

Osim bakterija, mnoge gljive mogu razgraditi BPA do nekog stupnja, ali sposobnost potpune razgradnje BPA pokazuje mali broj vrsta. *Fusarium sporotrichioides* NFRI-1012, *Fusarium moniliforme* 2-2, *Aspergillus terreus* MT-13, *Emericella nidulans* MT-98, *Irepex lacteus*, *Trametes versicolor*, *Ganderma lucidum*, *Polyporellus brumalis*, *Schizophyllum commune*, *Plerutus eryngii*, *Pleurotus ostreatus* i *Pleurotus pulmonarius* su gljive koje su korištene u istraživanjima (de Freitas et al., 2017.; Kang et al., 2006.; Shin et al., 2007.) i pokazale su izvrsnu sposobnost razgradnje BPA. *Irepex lacteus* može razgraditi 99,4 % ( $50 \text{ mg dm}^{-3}$  BPA) unutar 3 sata te 100 % unutar 12 sati, dok *Trametes versicolor* razgrađuje 98,2 % BPA iste koncentracije za 12 sati. *Pleurotus ostreatus* razgrađuje 100 % BPA (pri početnoj koncentraciji  $50 \text{ mg dm}^{-3}$ ) unutar 45 minuta i 90 % (pri početnoj koncentraciji BPA  $100 \text{ mg dm}^{-3}$ ) unutar 30 minuta (de Freitas et al., 2017.).

U ovom je radu provedeno uklanjanje BPA iz vodene otopine procesom biorazgradnje u šaržnim uvjetima rada. Istražena je sposobnost biorazgradnje BPA tri bakterijske vrste: *Streptomyces* sp., *Pseudomonas aeruginosa* BSW i *Pseudomonas putida*. Nadalje, cilj rada je bio i razvoj metode za određivanje BPA primjenom HPLC uređaja i određivanje optimalnih uvjeta (temperatura, pH-vrijednost, optička gustoća bakterijske suspenzije) za učinkovitu biorazgradnju BPA.

## 2. MATERIJALI I METODE

### 2.1. Materijali i instrumenti

Za pripremu modelne vodene otopine korišten je BPA, čistoće 97 %, proizvođača Acros Organics.

U radu su korištene bakterijske kulture *Pseudomonas aeruginosa* BSW (3011), *Pseudomonas putida* (3014) i *Streptomyces* sp. iz zbirke mikroorganizama Zavoda za industrijsku ekologiju, Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije. *Streptomyces* sp. izoliran je iz tla, *Pseudomonas aeruginosa* BSW iz biootpada iz kućanstva, a *Pseudomonas putida* iz aktivnog mulja sa uređaja za biološku obradu komunalnih otpadnih voda.

Pokusi su provedeni na tresilici Orbital Shaker PSU - 10i, Grant - bio te na rotacijskoj tresilici Heidolph, Unimax 1010. Optička gustoća određivana je na spektrofotometru HACH, DR2400, a na uređaju HPLC UFLC XR D4 SHIMADZU određivana je koncentracija BPA. Za praćenje koncentracije kisika i pH-vrijednosti korišten je prijenosni uređaj WTW Multi 3430 Multiparameter Meter.

### 2.2. Analitički postupci

#### 2.2.1. Razvoj metode za određivanje BPA tekućinskom kromatografijom visoke djelotvornosti

Priredena otopina BPA profiltrirana je kroz filter, Chromafil xtra CA-45/25, promjera pora  $0,45 \text{ } \mu\text{m}$ ,

injektirana u viala i analizirana na uređaju HPLC-MS. Dvije pumpe korištene su za podešavanje protoka mobilne faze (0,1 % mravlje kiseline i 99 % metanola) koji je podešen na  $0,3 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$  i  $0,2 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$ . Volumen injektiranog uzorka iznosio je  $20 \text{ cm}^3$ . Intenzitet BPA mjeren je pri dvije valne duljine 220 nm i 254 nm te je maksimalna apsorpcija postignuta pri valnoj duljini 220 nm. Retencijsko vrijeme BPA je bilo 4 minute. Nakon razvoja metode pripremane su različite masene koncentracije bisfenola A u rasponu od  $0,5$  do  $15 \text{ mg dm}^{-3}$  te je na osnovu dobivenih rezultata tri ponavljanja za svaku koncentraciju izrađen baždarni dijagram. Koncentracija BPA tijekom pokusa praćena je navedenom metodom tako što je u određenim vremenskim intervalima izuzimano iz tikvice  $0,5 \text{ cm}^3$  uzorka, filtrirano kroz  $0,45 \text{ }\mu\text{m}$  membranski filter i zatim je provedena HPLC analiza dobivenih uzoraka.

### 2.2.2. Određivanje optičke gustoće

Optička gustoća (OG) određivana je pri  $\lambda = 600 \text{ nm}$  primjenom spektrofotometra Hach, Model DR/2400, USA. Kao slijepa proba korištena je deionizirana voda. Tijekom provedbe eksperimenata u određenim vremenskim intervalima uzimano je  $0,5 \text{ cm}^3$  suspenzije i razrjeđivano sa  $4,5 \text{ cm}^3$  deionizirane vode.

## 2.3. Postupci provedenih ispitivanja

### 2.3.1. Priprava suspenzija ispitivanih bakterijskih kultura

Dan prije postavljanja pokusa bakterijske kulture, *Pseudomonas aeruginosa* BSW, *Pseudomonas putida* i *Streptomyces* sp. uzgojene su na hranjivom agaru pri temperaturi od  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  24 h. Neposredno prije postavljanja pokusa pripremljene su suspenzije navedenih bakterijskih kultura zadane početne optičke gustoće u sterilnim uvjetima rada. U Petrijeve zdjelice s kulturama uzgojenim na hranjivom agaru dodana je MiliQ voda, a zatim je Pasteurovom pipetom oprezno sastrugana uzgojena bakterijska kultura i suspenzija bakterijskih stanica prenijeta je u sterilnu Erlenmeyerovu tikvicu te je izmjerena optička gustoća (tablica 1). Ukoliko je optička gustoća bila manja od tražene, ponovljen je navedeni postupak, a ukoliko je bila veća, suspenzija je razrjeđivana sterilnom MiliQ vodom do željene optičke gustoće.

### 2.3.2. Utjecaj pH-vrijednosti, optičke gustoće i temperature na biorazgradnju BPA

U pokusima P1, P2, P3 ispitan je utjecaj pH-vrijednosti, optičke gustoće i temperature na biorazgradnju BPA bakterijskim kulturama *Pseudomonas aeruginosa* BSW, *Pseudomonas putida* i *Streptomyces* sp (tablica 1). Pokusi su provedeni na rotacijskoj tresilici pri  $160 \text{ min}^{-1}$  tijekom četiri sata u sterilnim Erlenmeyerovim tikvicama. Volumen priređene otopine BPA u Erlenmeyerovim tikvicama iznosio je  $50 \text{ cm}^3$ . pH-vrijednost otopina podešavana je

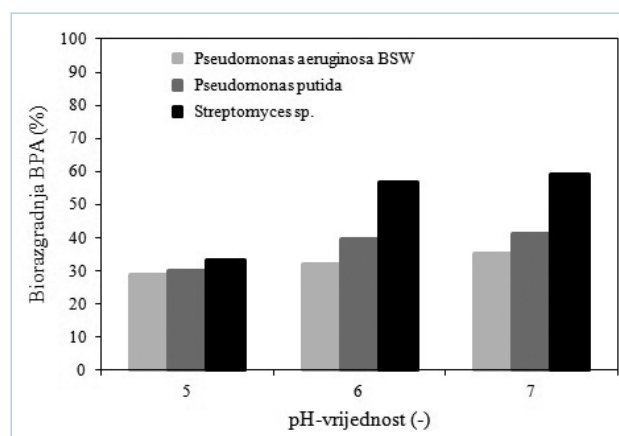
dotakom otopina  $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH, i  $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$  HCl. U određenim vremenskim intervalima (svakih 30 minuta) izuziman je uzorak za određivanje koncentracije BPA i optičke gustoće. U istim vremenskim intervalima mjerena je pH-vrijednost i koncentracija kisika.

Tablica 1: Početni radni uvjeti u pokusima P1, P2 i P3

Pokus	$\gamma$ (BPA) / $\text{mg dm}^{-3}$	pH-vrijednost / -	OG / -	T / $^\circ\text{C}$
P1		5	0,2	25
		6		
		7		
P2	15	6	0,1	25
			0,2	
			0,3	
P3			0,2	25
				35
				45

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

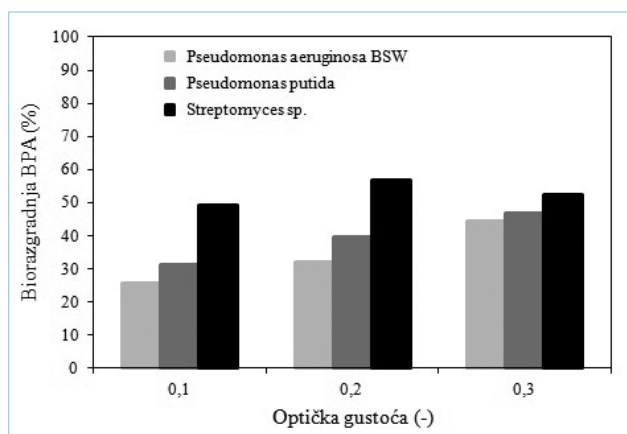
Provedbom pokusa P1 (tablica 1) dobiveni su rezultati biorazgradnje BPA s bakterijskim vrstama *Pseudomonas aeruginosa* BSW, *Pseudomonas putida* i *Streptomyces* sp. pri različitim početnim pH-vrijednostima u rasponu od 5 do 7. Prema literaturi (Bertović, 2016.; Kamaraj et al., 2014.; Vijayalakshmi et al., 2017.) jedan od čimbenika koji utječe na rast bakterija je pH-vrijednost, pri čemu je optimalna vrijednost za rast bakterija između 5,5 i 8,8. Shodno navedenom, u tom pH rasponu ispitan je utjecaj pH-vrijednosti na biorazgradnju BPA. Iz rezultata prikazanih na slici 2 može se vidjeti kako je biorazgradnja BPA u vodenoj otopini bila učinkovita pri svim pH-vrijednostima za sve ispitivane kulture. Najveći postotak biorazgradnje BPA postignut je pri pH-vrijednosti 7, a najmanji pri pH-vrijednosti 5. Postotak biorazgradnje BPA



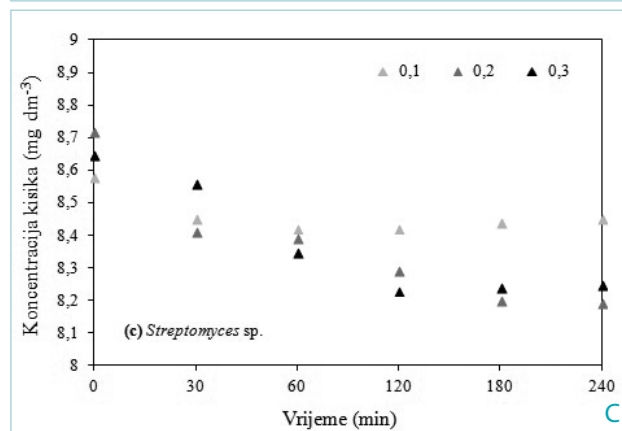
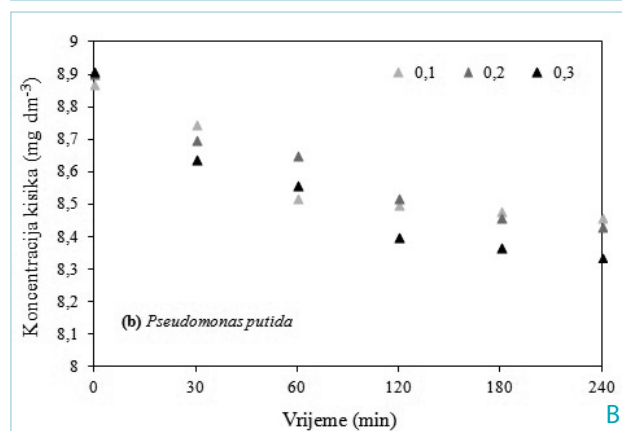
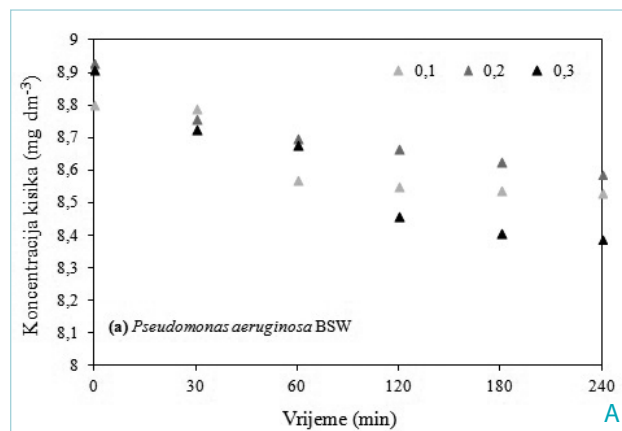
Slika 2: Utjecaj pH-vrijednosti na biorazgradnju BPA

pomoću *Pseudomonas aeruginosa* BSW, *Pseudomonas putida* i *Streptomyces* sp. pri pH-vrijednosti 7 iznosio je 35 %, 40 %, odnosno 59 %, dok su pri pH-vrijednosti 5 te vrijednosti bile niže 29 %, 30% i 33 %, što ukazuje na učinkovitiju biorazgradnju pri neutralnom pH.

U pokusu P2 (tablica 1, slika 3) dobiveni su rezultati biorazgradnje BPA pri različitim početnim optičkim gustoćama bakterijskih suspenzija *Pseudomonas aeruginosa* BSW, *Pseudomonas putida* i *Streptomyces* sp. te je vidljivo da su obje vrste iz roda *Pseudomonas* najviše BPA razgradile (oko 45 %) pri početnoj optičkoj gustoći od 0,3, a *Streptomyces* sp. pri 0,2 (57 %). Osim procesa biorazgradnje može doći i do procesa biosorpcije BPA na stanice ispitivanih bakterija. Bolja razgradnja, odnosno uklanjanje BPA pri manjoj optičkoj gustoći bakterije iz roda *Streptomyces* u odnosu na korištene vrste iz roda *Pseudomonas* vjerojatno se može objasniti činjenicom da se radi o gram-pozitivnoj bakteriji te je osim biorazgradnje BPA moguća i biosorpcija BPA na površini bakterija. Naime, gram-pozitivne bakterije sadrže sloj peptidoglikana koji ima veliki broj aktivnih mjesta za vezanje onečišćujućih tvari (Timkova et al., 2018.) te je mogućnost biosorpcije veća nego kod gram-negativnih bakterija. Najmanje BPA je razgrađeno pri najmanjoj optičkoj gustoći kod svih ispitanih bakterijskih kultura. Prema dobivenim rezultatima može se zaključiti da broj stanica bakterija ima veliku ulogu u procesu biorazgradnje BPA, što se i slaže s prethodnim objavljenim rezultatima (Herner et al., 2017.; Kang et al., 2006.; Saski et al., 2005.; Zhao et al., 2008.). Iz slike 4 vidljiva je promjena koncentracije kisika tijekom vremena u pokusu P2 za sve tri ispitane bakterijske kulture te se može vidjeti da je najintenzivnija biorazgradnja bila u prvih 120 min. Najintenzivnije smanjenje koncentracije kisika bilo je pri OG 0,3 za vrste *Pseudomonas aeruginosa* BSW i *Pseudomonas putida* te pri OG 0,2 za vrstu *Streptomyces* sp. zbog intenzivne biorazgradnje BPA (Kang et al., 2002.a; Kang et al., 2004.). Tijekom procesa biorazgradnje optička gustoća ispitanih bakterijskih kultura je rasla, što ukazuje na povećanje koncentracije biomase.



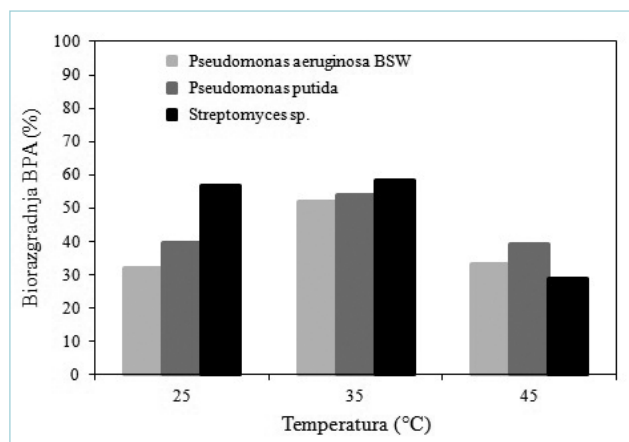
Slika 3: Utjecaj optičke gustoće na biorazgradnju BPA



Slika 4: Promjena koncentracije kisika tijekom biorazgradnje BPA (a) *Pseudomonas aeruginosa* BSW, (b) *Pseudomonas putida*, (c) *Streptomyces* sp.

U pokusu P3 ispitana je utjecaj temperature (25 °C, 35 °C, 45 °C) na biorazgradnju BPA s različitim bakterijskim kulturama (slika 5). Dobiveni rezultati ukazuju da su pri temperaturi od 35 °C *Pseudomonas aeruginosa* BSW i *Pseudomonas putida* najviše BPA razgradile (54 %), dok je *Streptomyces* sp. podjednako razgradila BPA pri 25 °C i 35 °C (57 %), što je u skladu s objavljenom literaturom (Kang et al., 2002.b; Zhao et al., 2008.). Pri temperaturi od 45 °C *Pseudomonas aeruginosa* BSW i *Pseudomonas putida* su razgradile 10 % više BPA od vrste *Streptomyces* sp. Vrsta *Pseudomonas aeruginosa* BSW korištena u ovom pokusu izolirana je iz biotopada tijekom procesa kompostiranja u termofilnoj fazi, a njezina je prisutnost

uočena i u mezofilnoj fazi, što ukazuje na to da ima široki temperaturni raspon područja djelovanja. Prema dosadašnjim provedenim istraživanjima, *Pseudomonas aeruginosa* preživljava povišene temperature i učinkovito metabolizira organske tvari (Herner et al., 2017.). U Zavodu za industrijsku ekologiju na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije u Zagrebu, izolirana je također vrsta *Pseudomonas aeruginosa* FN iz duhanskog otpada



Slika 5: Utjecaj temperature na biorazgradnju BPA

te je tijekom cijelog procesa kompostiranja bila prisutna i rasla na temperaturi od 50°C.

#### 4. ZAKLJUČAK

U posljednjih nekoliko godina sve je više pažnje posvećeno BPA i njegovom štetnom djelovanju na ljude i okoliš, budući da je otkriveno njegovo prisustvo u rijekama, morima i tlu. Zbog povećanja svijesti o njegovom štetnom djelovanju sve više organizacija promovira pravilno zbrinjavanje otpada čiji je BPA jedan od glavnih sastojaka. BPA u okoliš najčešće dospijeva razgradnjom nepravilno odloženog plastičnog otpada gdje se zbog svoje strukture teško uklanja. U ovom radu provedeni su pokusi biorazgradnje BPA s bakterijskim kulturama *Pseudomonas aeruginosa* BSW, *Pseudomonas putida* i *Streptomyces* sp. pri različitim pH-vrijednostima, optičkim gustoćama suspenzija navedenih mikroorganizama i temperaturama te se može zaključiti da su *Pseudomonas aeruginosa* BSW, *Pseudomonas putida* najbolje razgradile BPA u vodi pri pH-vrijednosti 7, optičkoj gustoći 0,3 i pri temperaturi od 35 °C. *Streptomyces* sp. najbolje je razgradio BPA pri pH-vrijednosti 7, optičkoj gustoći 0,2, te pri temperaturama 25 i 35 °C.

#### LITERATURA

- Bertović, B. (2016.): Bioremedijacija zemlje onečišćene naftnim ugljikovodicima. *Goriva i maziva*, 55(4), 295-305.
- Chai, W.; Handa, Y.; Suzuki, M.; Saito, M.; Kato, N.; Horiuchi, C.A. (2005.): Biodegradation of bisphenol A by fungi. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 120, 175-182.
- de Freitas, E.N.; Bubna, G.A.; Brugnari, T.; Kato, C.G.; Nolli, M.; Rauen, T.G.; de Fatima Peralta Muniz Moreira, R.; Peralta, R.A.; Bracht, A.; de Souza, C.G.M.; Peralta, R.M. (2017.): Removal of bisphenol A and evaluation of ecotoxicity of degradation products by laccases from *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus pulmonarius*. *Chemical Engineering Journal*, 330, 1361-1369
- Eio, E.J.; Kawai, M.; Tsuchiya, K.; Yamamoto, S.; Toda, T. (2014.): Biodegradation of bisphenol A by bacterial consortia. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 96, 166-173.
- Flint, S.; Markle, T.; Thompson, S.; Wallace, E. (2012.): Bisphenol A exposure, effects, and policy: A wildlife perspective. *Journal of Environment Management*, 104, 19-34.
- Herner, Ž.; Kučić, D.; Zelić, B. (2017.): Biodegradation of imidacloprid by composting process. *Chemical Papers* 71, 13-20.
- Kamaraj, M.; Sivaraj, R.; Venkatesh, R. (2014.): Biodegradation of bisphenol A by the tolerant bacterial species isolated from coastal regions of Chennai, Tamil Nadu, India. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 93, 216 - 222.
- Kang, J.H.; Kondo, F. (2002.a): Bisphenol A degradation by bacteria isolated from river water. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 43, 265-269.
- Kang, J.H.; Kondo, F. (2002.b): Effects of bacterial counts and temperature on the biodegradation of bisphenol A in river water. *Chemosphere*, 49, 493-498.
- Kang, J.H.; Ri, N.; Kondo, F. (2004.): *Streptomyces* sp. strain isolated from river water has high bisphenol A degradability. *Letters in Applied Microbiology*, 39, 178-180.
- Kang, J.H.; Katayama, Y.; Kondo, F. (2006.): Biodegradation or metabolism of bisphenol A: From microorganisms to mammal. *Toxicology*, 217, 81-90.
- Mandić, D. (2006.): Toksikološke značajke bisfenola A, Osijek.
- Rykowska, I.; Wasiak, W. (2006.): Properties, Threats, and methods of analysis of bisphenol A and its derivatives. *Acta chromatographica* 16.
- Sasaki, M.; Maki, J.; Oshiman, K.; Matsumura, Y.; Tsuchido, T. (2005.): Biodegradation of bisphenol A by cells and cell lysate from *Sphingomonas* sp. strain AO1. *Biodegradation*, 16, 449-459.
- Shin, E.C.; Hyoung T.C.; Hong-Gyu S. (2007.): Biodegradation of endocrine-disrupting bisphenol A by white rot fungus *Irpex lacteus*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17 (7), 1147 - 1151.
- Suzuki, K.; Hirai, H.; Murata, H.; Nishida, T. (2003.): Removal of estrogenic activities of 17 $\beta$ -estradiol and

- ethinylestradiol by ligninolytic enzymes from white rot fungi. *Water Resources*, 37, 1972–1975.
- Timkova, I.; Sedlakova-Kadukova, I.; Pristaš, P. (2018.): Biosorption and Bioaccumulation Abilities of Actinomycetes/Streptomyces Isolated from Metal Contaminated Sites. *Separations* 54, 1–14.
- Vijayalakshmi, V.; Senthilkumar, P.; Mophin – Kani, K.; Sivamani, S.; Sivarajasekar, N.; Vasantharaj, S. (2017.): Bio-degradation of bisphenol A by *Pseudomonas aeruginosa* Pab1 isolated from effluent of thermal paper industry: Kinetic modeling and process optimization. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 1 – 10.
- Yim, S.H.; Kim, H.J.; Lee, I.S. (2003.): Microbial metabolism of the environmental estrogen bisphenol A. *Archives of Pharmacal Research*, 10, 805–808.
- Zhao, J.; Li, Y.; Zhang, C.; Zeng, Q.; Zhou, Q. (2008.): Sorption and degradation of bisphenol A by aerobic activated sludge. *Journals of Hazardous Materials*, 155, 305–311.

### Biodegradation of bisphenol A in the environment

**Abstract.** Bisphenol A (BPA) is the basic building block in the production of polycarbonates, epoxy resins, dental products and other materials. BPA enters the environment during the chemical production, transport, processing or inadequate disposal of the product containing it. Because of its toxicity, BPA has an adverse impact on human health as well as animal and plant life, and has to be removed from the environment. In this paper, the biodegradation of BPA took place in the aqueous solution containing bacterial cultures of *Pseudomonas aeruginosa* BSW, *Pseudomonas putida* and *Streptomyces* sp. isolated from the environment. Various factors affecting the BPA biodegradation process, such as pH value, temperature, and optical density of the mentioned cultures were tested. According to the obtained results, the best BPA biodegradation of 40% i.e. 50% was achieved at pH value of 7 and temperature of 35° C for all three tested microorganisms. At optical density of 0.3, 10% higher BPA biodegradation was achieved with cultures *Pseudomonas aeruginosa* BSW and *Pseudomonas putida* than at optical density of 0.2 whereas the use of the culture *Streptomyces* sp. resulted in the best biodegradation at optical density of 0.2.

**Key words:** Biodegradation, bisphenol A, *Pseudomonas aeruginosa* BSW, *Pseudomonas putida* and *Streptomyces* sp.

### Biologischer Abbau von Bisphenol A in der Umwelt

**Zusammenfassung.** Bisphenol A (BPA) ist ein Bestandteil vieler Produkte aus Polycarbonaten, Epoxiden sowie Dental- und anderer Materialien. BPA gelangt in die Umwelt während der Herstellung, des Transports und der Verarbeitung oder durch unzureichende Entsorgung von BPA enthaltenden Produkten. Da BPA wegen seiner Giftigkeit für die menschliche Gesundheit sowie die Tier- und Pflanzenwelt schädlich ist, sollte es aus der Umwelt entfernt werden. In dieser Untersuchung wurde BPA in wässriger Lösung mit aus der Umwelt isolierten Kolonien von Bakterien *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida* und *Streptomyces* sp. biologisch abgebaut. Es wurden unterschiedliche Faktoren untersucht, die auf den biologischen Abbau wirken, wie zum Beispiel pH-Wert, Temperatur und optische Dichte der genannten Kolonien. Die Ergebnisse zeigen, dass BPA am schnellsten unter einem pH-Wert von 7 und Temperatur von 35 °C abgebaut wird, nämlich, der Abbauwert liegt zwischen 40 und 50 Prozent für alle drei in der Untersuchung verwendeten Mikroorganismen. Wenn *Pseudomonas aeruginosa* und *Pseudomonas putida* verwendet wurden, lag der BPA-Abbauwert unter der optischen Dichte von 0,3 zehn Prozent höher als unter der optischen Dichte von 0,2, während der schnellste biologische Abbau unter Anwendung von *Streptomyces* sp. unter einer optischen Dichte von 0,2 erzielt wurde.

**Schlüsselwörter:** biologischer Abbau, Bisphenol A, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida*, *Streptomyces* sp.