

SLAĐANA Č. ALAGIĆ
SNEŽANA M. UROŠEVIĆ
MILOVAN V. VUKOVIĆ

Stručni rad
UDC :

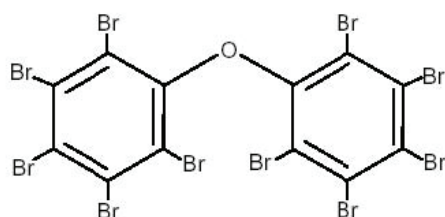
Rizici od upotrebe dekabrom difenil etra i moguće zamene u tekstilnoj industriji

Upotreba dekabromdifenil etra je jeftina i izuzetno pouzdana metoda za tretiranje tekstila radi zaštite od vatre i gorenja. Međutim, povećana zabrinutost stručne i naučne javnosti o njegovim potencijalnim negativnim uticajima na stanje životne sredine i ljudskog zdravlja, uslovlila je potragu za drugim hemikalijama koje mogu biti pogodna zamena, tj supstitucija ovom organobromnom usporivaču gorenja. U slučaju tekstila, zbog kompleksnosti proizvoda, načini supstitucije nisu tako jednostavni. Danas se najčešće pristupa upotrebi drugih usporivača gorenja, manje opasnih po ljudsko zdravlje, kao i upotrebi alternativnih potpuno vatro-otpornih vlakana i njihovih mešavina.

Ključne reči: dekabrom difenil etar, tekstil, zaštita od požara, ekološki rizik

UVOD

Dekabromdifenil etar, deka-BDE (1,1'-Oksibis [2,3,4,5,6-pentabrom benzen]), je sintetička supstanca iz grupe organobromnih usporivača gorenja (Brominated Flame Retardants, BFRs) koja se široko koristila za zaštitu različitih vrsta materijala od gorenja, pri čemu je njena glavna primena bila kod polimera koji se koriste u industriji električne i elektronske opreme (skoro 80% od ukupne proizvodnje), kao i tekstilnoj industriji (između 10 i 20%). Ovo organsko jedinjenje, sa 10 atoma broma u svom molekulu, kao i ostali sintetički usporivači gorenja, ima visoku sposobnost sprečavanja širenja vatre [1]. Procenjuje se da je njegoa široka primena, kao i primena ostalih FRs hemikalija, spasila mnogo ljudskih života, kao i stotine miliona dolara moguće materijalne štete [2].



Slika 1 - Dekabromdifenil etar: (Molekulska masa: 959.17 g/mol; Gustina: 3.364 g/cm³; Tačka topljenja: 294-296 °C; Tačka ključanja: 425 °C; Rastvorljivost u vodi: 20-30 μg/L)

Deka-BDE je BFR iz klase polibromovanih difenil etara (PBDEs), koji se dobijaju bromovanjem difenil etra u prisustvu Friedel-Craft-ovog katalizatora, u rastvaraču kao što je dibrom etan. Molekul difenil etra sadrži 10 H-atoma i svaki od njih može

biti zamenjen bromom, što rezultuje postojanjem 209 mogućih kongenera. Kongeneri sa istim brojem C-atoma poznati su kao homolozi i ima ih 10 (od monodo deka-BDE). Kompletno bromovani kongener, deka-BDE (slika 1.), je beli prah sa 83% sadržaja Br; struktura komercijalne mešavine deka-BDE je 97-98% kongenera BDE-209, sa veoma malim procentom nona-BDE: 0.3-3% [3].

Deka-BDE je FR koji je korišćen praktično u svim mogućim tipovima polimera: polikarbonati, ABS- i poliestarske smole, poliolefini, poliamidi, polivinil-hlorid i guma, te imao glavnu primenu u industriji električne i elektronske opreme (kombinovan sa antimonom-oksikom, koristi se u procesima koji se odvijaju na povišenim temperaturama, za izradu TV kućišta i kompjuterskih monitora), ali i u industriji tekstila za zaštitu od požara [4]. Između 10 i 20% svetske proizvodnje deka-BDE završavalo je upravo u tekstilnim materijalima [5]. Upotreba ove hemikalije u madracima napr. je dobro poznata i skoro tradicionalna; ona potiče od visoke termalne stabilnosti i trajnosti koju poseduje deka-BDE, ali i njegove niske cene koštanja. Njegova efikasnost u tekstilima uopšte, često se poboljšavala dodavanjem antimonom-oksida koji sinergistički deluje sa bromom. Osim kod madraca, deka-BDE se kao FR veoma uspešno koristio i kod draperija, zavesa, tapaciranog nameštaja, kao i u slučajevima nekih tekstila za oblaganje i pokrivanje delova prevoznih sredstava. Proizvodi kao što su: posteljina, jastuci, odeća (posebno ona namenjena deci), kao i većina tepiha i zidnih obloga, uobičajeno nisu sadržali ovaj FR.

Kombinacija deka-BDE i antimona kao FR u tekstilnoj industriji se može primeniti na različite načine. U slučaju kada štiti unutrašnjost (napr. poliuretansku penu) od zapaljivanja, mešavina deka-BDE/antimon

Adresa autora: Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet, Bor, Vojске Jugoslavije 12

se u vidu paste, ili pene umeće kao zaštitna obloga između tekstila na površini i poliuretanske pene u unutrašnjosti tapaciranog komada nameštaja, ili madraca i sl. Kombinacija deka-BDE/antimon se može primeniti koristeći i tzv. tehniku potapanja/sušenja, koja podrazumeva da se kompletan materijal potapa u FR, a zatim suši. Ova tehnika se češće primenjuje u slučaju draperija i zavesa. Pri tome, važi generalno pravilo da lakši tekstili zahtevaju intenzivnije obogaćivanje FR-om od težih; tekstili koji sadrže termoplastična vlakna, kao što su poliestar, poliamid, polipropilen tkđ. zahtevaju visok sadržaj FR [6].

RIZICI OD UPOTREBE DEKA-BDE

Deka-BDE, kao i svi PBDEs, pripada grupi tzv. aditivnih BFRs koji nisu hemijski vezani u samoj plastici, već su jednostavno umešani u polimere, ili smole i kao takvi, mnogo su podložniji ispiranju iz produkata u kojima su prisutni; praktično, oni mnogo lakše dospevaju u životnu sredinu od reaktivnih BFRs [7]. Upravo su PBDEs bili među prvim BFRs koji su detektovani u životnoj sredini: u zemljištu, sedimentima, kopnenim i okeanskim vodenim sistemima, tkivima živih bića, pa i u tkivima samog čoveka [8-22]. Watanabe i sar., 1992., su bili među prvim istraživačima koji su ukazali da su PBDEs široko rasprostranjeni u životnoj sredini i sugerisali su da se oni mogu svrstati u porodicu organskih perzistentnih zagađivača (Persistent Organic Pollutants, POPs), koji se lako prenose na velike udaljenosti, te da kao takvi, mogu predstavljati ozbiljnu opasnost po čitavu planetu [22]. Posebnu zabrinutost izazivala je činjenica da su se značajne koncentracije PBDEs od ranih sedamdesetih godina prošlog veka, pa sve do danas, stalno mogle detektovati u ljudskoj populaciji, kao i da su se te koncentracije sa vremenom sve više povećavale [4, 23-25]. Iako dugo godina nije bilo moguće potvrditi tačno dejstvo ovih BFRs, pre svega deka-BDE, najnovije studije na životinjama pokazale su da su efekti na jetri i tiroidnoj žlezdi, kao i neurološki efekti i efekti vezani za reproduktivnost i razvoj, evidentni [26].

Iako su prvobitno bili smatrani stabilnim jedinjenjima, pokazano je da su PBDEs podložni raspadanju pod dejstvom svetlosti, ili nekih mikroorganizama. Na visokim temperaturama, PBDEs mogu formirati isparljive smese polibromovanih dibenzo dioksina (PBDD) i polibromovanih dibenzo furana (PBDF), koje su prisutne kao atmosferski PBDEs [27]. Studije o PBDEs u morskim lancima ishrane obezbedile su dokaze o biomagnifikaciji; ovo se ogleda u povećanju koncentracija kod životinja koje se nalaze visoko u lancima i mrežama ishrane: koncentracije u invertebratima su niže od onih u ribama, a ove su mnogo niže nego koncentracije u morskim sisarima, napr. [28, 29]. Dekabrom se smatra praktično netoksičnim

za invertebrate, ali je ipak, potrebna velika opreznost, jer su poslednje studije na pacovima pokazale da deka-BDE može biti absorbovan oralnim putem u veoma visokim dozama (> 10%); visoke koncentracije nađene su u krvnoj plazmi i nekim drugim tkivima [30]. Približno 10% doze bilo je konačno eliminisano u obliku hidroksi/metoksi metabolita sa 5-7 Br-atoma [30]. Jedna druga studija na pacovima pokazala je da je deka-BDE bio brzo absorbovan iz creva sa bioiskorišćenjem od približno 26% [30]. Lipofilna tkiva su bila omiljena mesta depozicije sa najvećim koncentracijama u adipoznom i adrenalnom tkivu, gastrointestinalnom traktu i koži. Dekabrom je bio testiran i na kancerogenost i tom prilikom, proizveo je neke dokaze o kancerogenosti kod muških i ženskih jedinki pacova (na jetri i tiroidnoj žlezdi), ali se ovde radilo o primeni izuzetno visokih doza; studije sa primenom nižih doza deka-BDE pokazale su da ne treba da postoji zabrinutost u ovom pogledu [31, 32].

PBDEs se brzo akumuliraju ne samo u tkivima životinja, već i ljudi [28]. Ljudi su izloženi njihovom dejstvu putem ishrane koja je bogata morskim organizmima, kao i udisanjem vazduha zagađenog ovim opasnim kontaminantima. Ovo se odnosi i na inhalaciju u zatvorenim prostorijama (kućnim i kancelarijskim), jer je prisutnost PBDEs veoma velika kod proizvoda koje ljudi svakodnevno koriste za svoje potrebe (madraci, zavesa, tapacirani nameštaj, električni i elektronski aparati itd.). Uočeno je da su najosetljivije populacije kod ljudi: trudnice, fetusi u razvoju i deca. Kod žena u SAD detektovane su najveće koncentracije PBDEs (10-100 puta veće nego u Evropi, Aziji i Novom Zelandu) i to u krvi, mleku i masnim tkivima [23, 33, 34]. Neki radovi ukazuju da se PBDEs mogu preneti sa majke na fetus i sa majčinskog mleka na decu [35]. Ipak, najveće koncentracije PBDEs kod ljudske populacije, izmerene su u krvnom serumu Kineskih radnika koji rukuju elektronskim otpadom [36]. U današnjem trenutku, koncentracije PBDEs i među njima deka-BDE, u živom svetu i životnoj sredini pokazuju tendenciju ka opadanju, što je verovatno povezano sa najnovijim zabranama uvedenim u proizvodnji i primeni ovih jedinjenja [1].

Upravo je deka-BDE bio i poslednji PBDE koji je odlukom Evropskog suda pravde, od 1.4.2008. godine, zabranjen za primenu u električnim i elektronskim uređajima u EU [37]. U Severnoj Americi deka-BDE je još jedini PBDE prisutan na tržištu, osim u državi Mejn, gde je njegova upotreba zabranjena u madracima i nameštaju, dok je upotreba u elektronici bila produžena do kraja 2010. godine; uopšte, generalni stav SAD je, da se upotreba deka-BDE mora zabraniti jedino u madracima, ali da će se u ostalim proizvodima i dalje koristiti, sve dok se ne pronađe adekvatna zamena [38]. Takođe, i mnoge druge zem-

lje sveta regulisale su upotrebu deka-BDE kroz svoje zakonodavstvo [39]. Srbija nastoji da se priključi ovom opštem trendu tako da se regulativa koja se odnosi na BFRs nalazi u Zakonu o upravljanju otpadom i u Pravilniku o načinu postupanja sa otpacima koji imaju svojstva opasnih materija [1, 40]. BFRs su sagledani i Nacionalnim implementacionim planom (NIP) za sprovođenje Stokholmske konvencije o perzistentnim organskim zagađivačima [1, 41].

KONCEPCIJE ZA ZAMENU DEKA-BDE U TEKSTILNIM MATERIJALIMA

Od trenutka kada je deka-BDE dospao na liste zabranjenih hemikalija, predloženo je više mogućih načina njegove zamene, tj. supstitucije za potrebe tekstilne industrije. Predlozi se kreću od zahteva za njegovom jednostavnom, direktnom zamenom nekim drugim, manje opasnim BFRs-om, ili FR-om koji ne sadrži atome halogena (halogen-free FR), preko upotrebe zaštitnih slojeva, tj. barijera od potpuno vatrotpornih vlakana, pa sve do kompletnog redizajniranja produkata kako bi se smanjila, ili potpuno eliminisala potreba za protivpožarnim "punjenjem" (uklanjanje punjenja od poliuretanske pene u kancelarijskim stolicama i sl.).

Pri odabiru najbolje strategije zamene deka-BDE, potrebno je voditi računa o tome da različita tekstilna vlakna poseduju i različitu otpornost prema vatri: od lanenih i pamučnih vlakana koja se mogu zapaliti veoma lako i brzo, do sintetičkih vlakana kao što su aramidi i vlakna na bazi melamina, koja su praktično, samogaseća, odnosno potpuno vatrotopna (tabela 2.).

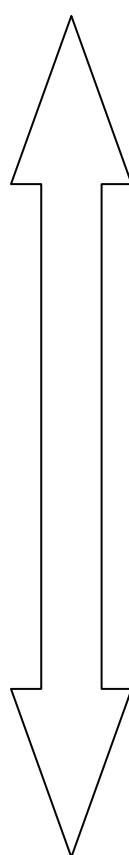
Generalno, zavisno od tipa vlakna, moguće je primeniti jedan od tri glavna načina za postizanje otpornosti prema vatri:

- Hemijski post-tretman – vlakno se tretira, oblaže FR-om obično tokom procesa bojenja tekstila (deka-BDE i organofosforni usporivači gorenja),
- Dodavanje FR u vlakno tokom postupka predenja, pri čemu FR i fizički postaje deo vlaknastog matriksa (napr. organofosforni usporivači gorenja u viskoznim vlaknima) i
- Proizvodnja modifikovanih kopolimera: dva, ili više različitih momomera se mešaju i polimerizuju formirajući potpuno vatrotopno vlakno.

Pri ovome takođe, treba voditi računa i o postojanosti samog FR, jer je njegova dugotrajnost veoma važna da bi se ispunili zahtevi o bezbednosti tekstilnih proizvoda u smislu zaštite od požara. Osim toga, oni FRs koji su postojaniji, obično se povezuju sa manjom realizacijom u životnu sredinu i samim tim predstavljaju manju opasnost po ljudsku populaciju. Postojanost FRs je uslovljena učestalošću i načinom

pranja tekstila kao i izloženosti tekstila UV-svetlosti, toploti i zagađivačima vazduha (generalno, deka-BDE u kombinaciji sa antimonom, smatra se postojanim i trajnim FR-om). Ukoliko tekstil za draperije i tapacirani nameštaj sadrži neki manje postojan FR, onda to mora biti naglašeno na etiketi, radi pravilnog održavanja ovih proizvoda (ograničeni broj pranja, ili preporučeno hemijsko čišćenje). Ovo je naročito važno za potrošače, pošto ne postoje zakonski uspostavljeni standardi koji bi definisali postojanost jednog FR (pojedini proizvođači tekstila smatraju da vlakna zadržavaju svoje standarde posle 10 pranja, dok drugi tvrde da njihova vlakna zadržavaju postojanost čak i posle 50 pranja).

Tabela 2 - Karakteristike gorenja različitih vlakana [42]

Manje otporna prema vatri	Vrsta vlakna	Karakteristike gorenja	
	Pamuk/lan	Gore vrelim, snažnim plamenom. Ne tope se daleko od plamena.	
	Viskoza/liocel	Gore slično lanu i pamuku, osim što se mogu "skupiti" od isušivanja.	
	Acetat	Brzo sagoreva sa topljenjem. Može da se topi i odlaže van manjeg plamena i to bez zapaljivanja.	
	Akril	Gori slično acetatu, osim što gori veoma teški, gustim, crnim dimom. Izrazito curi.	
	Poliamid, polipropilen, poliestar i elastan	Gore polako i pri tome se tope. Mogu da se tope i odlažu van manjeg plamena i to bez zapaljivanja. Ponašaju se samogaseće.	
	Vuna/svila	Teško se pale i gore polako. Samogaseći su.	
	Modakril	Gori veoma sporo sa topljenjem. Može da se topi i odlaže van manjeg plamena i to bez zapaljivanja. Samogaseći.	
	Više otporna prema vatri	Aramid, novolid i vlakna na bazi melamina	Ugljenišu se bez sagorevanja.

Specifični tretmani za različita vlakna

Vuna. Iako je vuna vatro-otporno vlakno, ipak nije preporučljiva za neke namene, kao što su tepisi za avione, na primer. Vuneni tepisi za avione obično su obloženi cirkonijum-heksafluoridom kao FR-om. Ova so povećava sposobnost vune da se ugljeniše bez gorenja i smanjuje emisiju njenih toksičnih isparenja [43]. Deka-BDE sistem sa antimonom kao sinergistom se tkd., u nekim slučajevima koristi u vuni. Oba tretmana su veoma postojana.

Pamuk. Približno 40% svih tekstilnih vlakana je su pamučna vlakna. Iako se mešavina deka-BDE/antimon može primeniti na pamuk, ipak se u ovom slučaju pre svega koriste sredstva na bazi fosfora [43].

Poliestar. Najprimenjeniji FR u ovom slučaju je polietilen-terftalat sa fosforom ugrađenim na poliestarskom lancu [43]. Ovako modifikovani poliester je vatro-otporan i otporan na ispiranje.

Poliamidi. U ovom slučaju, u vlakno se ugrađuje fosforni tip FR [43], mada se ono može zaštititi i tiourea-formaldehidnim smolama [44].

Poliuretan (Spandeks). Spandeks retko sadrži deka-BDE; on je uobičajeno zaštićen drugim BFRs (napr. penta-BDE), ili hlorovanim fosfatima.

Polipropilen. Ovo je poliolefin koji je najčešće primenjen kod tekstila. Tapete su tkd. jedan od primera primene polipropilena. Za zaštitu ovog vlakna koriste se i halogen- i halogen-free FRs [43].

Nezapaljiva vlakna. Sintetička vlakna poput aramida, novolida i ona na bazi melamina su sama po sebi nezapaljiva i tradicionalno su se koristila za izradu odela za astronaute i vozače reli-trka. Zbog visoke cene koštanja, ova vlakna dugo vremena nisu mogla da se koriste za izradu tapaciranog nameštaja i madraca; danas su međutim, sve pristupačnija.

Moguće zamene za deka-BDE

Madraci. Kreveti su komplikovani produkti koji mogu da sadrže od 8-12 tekstila različitog kvaliteta [45]. Novi madraci su tako dizajnirani da izlaze u susret zahtevima za zaštitu od gorenja izazvanog žarom cigarete, koje je najčešći slučaj, kao i gorenja izazvanog otvorenim plamenom. Alternative upotrebi deka-BDE mogu se svrstati u dve glavne kategorije. Prva je upotreba halogen-free hemikalija na bazi fosfora a druga je upotreba protivpožarnih barijera, tj. materijala koji su sami po sebi vatro-otporni; oni se smeštaju između spoljašnjih tekstilnih obloga i prvog sloja punjenja madraca, štiteći pre svega, unutrašnjost, odnosno samo jezgro madraca. Ovi materijali su obično para-aramidi, vlakna na bazi melamina, ili čak staklena vlakna.

Tapacirani nameštaj. Zamene za upotrebu deka-BDE u tekstilima kod tapaciranog nameštaja, kao i u slučaju madraca, podrazumevaju upotrebu halogen-free hemikalija na bazi fosfora i upotrebu protivpožarnih barijera, odnosno, vatro-otpornih materijala. Ove zamene su naročito pogodne za hemijski tretirana prirodna vlakna, kao i za mešavine prirodnih i sintetičkih vlakana.

Draperije i zavese. Generalno, najbolji izbor za zavese i draperije jesu prirodni materijali koji su tretirani FRs hemikalijama radi zaštite od požara. Prirodna vlakna kao što su pamučna, svilena, lanena i vunena, brzo absorbuju FR i mogu biti tretirana halogen-free hemikalijama na bazi fosfora. Sintetička vlakna je mnogo teže tretirati protiv požara, te se akrilna, acetatna, poliamidna i polipropilenska vlakna ne preporučuju. Ukoliko je ovo neizbežno, kao zamenu za deka-BDE najbolje je koristiti FR fosfatnog tipa. I kod draperija i zavesa moguće je koristiti pristup primene vatro-otpornih materijala. Veoma često se koriste vatro-otporni poliistri čija fosforna komponenta je ugrađena u lanac polimera i kao takva, praktično je nerastvorna u vodi (podnosi veliki broj pranja).

ZAKLJUČAK

I pored toga što je deka-BDE dugo godina bio u upotrebi kao opšteprihvaćen, visoko efikasan i veoma jeftin FR, uz to i relativno siguran po ljudsko zdravlje, ipak su rezultati naučnih studija iz poslednjih decenija, ukazali na opasnosti koje prete od njegove primene, a posebno u proizvodima koji su u neposrednom kontaktu sa ljudskom populacijom, kao što je to slučaj kod tekstilnih materijala. Iz ovih razloga, danas se, u tekstilnim industrijama zemalja širom sveta, sve veća pažnja obraća iznalaženju najpogodnijih načina zamene ovog sintetičkog FR. Iako su strategije zamene deka-BDE u tekstilnoj industriji komplikovani zadaci, jer moraju da sagledaju sve aspekte tekstilnih proizvoda koji imaju različite namene, očigledno je da ova industrija danas ipak raspolaže velikim izborom mogućnosti koje uključuju: primenu drugih, manje štetnih BFRs, primenu FRs koji ne sadrže atome halogena (najčešće fosfatnog tipa: amonijum-polifosfati, dimetilfosfono (N-metilol)-propionamid i fosfonijumske kiseline), primenu alternativnih nezapaljivih vlakana, tj. potpuno vatro-otpornih vlakana, čija ponuda danas, na tržištu, je veoma bogata, kao i mogućnost kompletnog redizajniranja produkata.

Na kraju, potrebno je naglasiti da se za predložena sredstva, supstituente deka-BDE, još uvek ne znaju njihova tačna ekotoksikološka svojstva i da stoga, treba biti krajnje oprezan i u njihovoj primeni. Illinois Environmental Protection Agency je napr., u

svom izveštaju iz marta 2007. godine [26], prvo predložila da se sve supstance alternativne deka-BDE, razvrstaju u 4 grupe: visoko, srednje, nisko toksične i netoksične, a zatim u odnosu na nivo uticaja na životnu okolinu, kao: potencijalno neproblematične, potencijalno problematične, sa nedovoljno podataka o toksičnosti i nepreporučljive. Iz objavljenih podataka moguće je uočiti da su mnoge od ovih supstanci još nedovoljno ispitane, ili i same štetne, zbog čega se preporučuje donošenje onih odluka koje izlaze u susret načelu predostrožnosti, a koje bi trebalo da bude preovlađujuće prilikom uspostavljanja standarda u izradi proizvoda bezbednih po ljudsko zdravlje i životnu sredinu uopšte.

LITERATURA

- [1] Alagić S. i Urošević S., Oragnobromni usporivači gorenja – supstance nepoželjne za zaštitu materijala od dejstva vatre, *Zaštita materijala/Materials protection*, 51, br.1, str. 43-49, 2009.
- [2] Alae, M. and Wenning, R.J., *Chemosphere*, 46, p. 579-582, 2002
- [3] Alae, M., Arias, P., Sjödin, A., Bergman, A., *Environment International*, 29, p. 683-689, 2003
- [4] Birnbaum, L.S. and Staskal, D.F., *Environmental Health Perspectives*, 112/1, p. 9-17, 2004
- [5] Hardy. Report of the Peer Consultation Meeting On Decabromodiphenylether. American Chemistry Council's Brominated Flame Retardant Industry Panel for the Voluntary Children's Chemical Evaluation Program (VCCEP). University of Cincinnati. Cincinnati, Ohio, April 2 and 3, 2003
- [6] <http://www.nap.edu/openbook/0309070473.html>, NAP 2000. National Academy Press, "Toxicological Risks of Selected Flame-Retardant Chemicals", 2000
- [7] Hutzinger, O. and Thoma, H., *Chemosphere*, 16, p. 1877-1880, 1987
- [8] de Carlo, V.J., *Ann NY Acad Sci*, 320, p. 678-681, 1979
- [9] Anderson, O. and Blomkist, G. *Chemosphere*, 10, p. 1051-1060, 1981
- [10] Stafford, C.J., *Chemosphere*, 12, p. 1487-1495, 1983
- [11] Jansson, B., Asplund, L., Olsson, M., *Chemosphere*, 16, p. 2343-2349, 1987
- [12] Watanabe, O., Kashimoto, T., Tatsukawa, R., *Chemosphere*, 16, p. 2389-2396, 1987
- [13] de Boer, J., *Organohalogen Compds.*, 2, p. 315-318, 1990
- [14] Nylund, K., Asplund, L., Jansson, B., Jonsson, P., Litzén, K., Sellström, U., *Chemosphere*, 24, p. 1721-1730, 1992
- [15] Bergman, Å., *Organohalogen Compds.*, 47, p. 36-40, 2000
- [16] Hooper, K. and McDonald, T.A., *Environ Health Perspect.*, 108 (5), p. 387-392, 2000
- [17] de Wit, C., *Chemosphere*, 46, p. 583-624, 2002
- [18] de Wit, C., Alae, M., Muir, D., *Organohalogen Compds.*, 66, p.3811-3816, 2004
- [19] Tanabe, S., Ramu, K., Isobe, T., Takahashi, S., *Journal of environmental monitoring*, 10(2), p.188-97,2008
- [20] Wan, Y., Hu, J., Zhang, K., An, L., *Environmental Science and Technology*, 42, p.1078-1083, 2008
- [21] Kimbrough, K.L., Johnson, W.E., Lauenstein, G.G., Christensen, J.D., Apeti, D.A., *An Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Sediments and Bivalves of the US Coastal Zone*. Silver Spring, MD. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 94, 2009
- [22] Watanabe, I., Kawano, M., Wang, Y., Tatsukawa, R., *Organohalogen Compds.*, 9, p. 309-312, 1992
- [23] Norén, K. and Meironyté, D., *Organohalogen Compds.*, 38, p. 1-4, 1998
- [24] Ikonomou, M.G., Rayne, S., Addison, R.F., *Environmental Science and Technology*, 36, p.1886-1892, 2002
- [25] Ikonomou, M.G. and Addison, R. F., *Marine Environmental Research*, 66, p.225-230, 2008
- [26] <http://www.epa.state.il.us>, (Report on Alternatives to the Flame retardant DecaBDE: Evaluation of Toxicity, Availability, Affordability and Fire Safety Issues, Illinois Environmental Protection Agency, March 2007)
- [27] <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts68-pbde.pdf>, ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry). 2004. PBDEs. Accessed 3Mar 2009
- [28] Wan Y., Hu, J., Zhang, K., An, L., *Environ. Sci. and Technol.*, 42, p.1078-1083, 2008
- [29] Xia, K., Luo, M. B., Lusk, C., Armbrust, K., Skinner, L., Sloan, R. *Environ. Sci. and Technol.*, 42, p.4331-4337, 2008
- [30] Morck A., Hakk, H., Orn, U., Klasson-Wehler, E., *Drug. Metab. Dis.*, 31, p. 900-908, 2003
- [31] McDonald, T., *Chemosphere*, 46, p. 745-755, 2002
- [32] NTP. 1986. Toxicology and Carcinogenesis Studies of Decabromodiphenyl Oxide (CAS No. 1163-19-5) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Feed Studies). TR-309. Research Triangle Park, NC: National Toxicology Program
- [33] Sjödin, A., Wong, L.-Y., Jones, R.S., Park, A., Zhang, Y., Hodge, C., Di Pietro, E., McClure, C., Turner, W., Needham I.I., Patterson Jr., D. G., *Environ. Sci. and Technol.*, 42, p. 1377-1384, 2008

- [34] She J., Petreas, M., Winkler, J., Visita, P., Mc Kinney, M., Kopec, D., *Chemosphere*, 46, p. 697–707, 2002
- [35] Hooper, K. and McDonald, T.A., *Environ. Health Perspect.*, 108 (5), p. 387-392, 2000
- [36] Qu, W., Bi, X., Sheng, G., Lu, S., Fu, J., Yuan, J., Li, L., *Environment International*, 33, p. 1029-1034, 2007
- [37] <http://ehscenter.bna.com/pic2/ehs.nsf/id/BNAP-7GGFLU?OpenDocument>
- [38] <http://ehponline.org/members/2008/116'5/innovations.html> (Betts, K.S., *Environmental Health Perspectives*, 116 (5) p.211-213, 2008)
- [39] http://en.wikipedia.org/wiki/Restriction_of_Hazardous_Substances_Directive
- [40] <http://ekoplan.gov.rs/src/1-1-Zakoni-20-document.htm>
- [41] <http://ekoplan.gov.rs/src/POPs-Projekat-310-c56-content.htm>
- [42] Iowa State 2003. Facts About Fabric Flammability. North Central Regional Extension Publication 174. Revised July 2003
- [43] Posner, S., *KemI*. September 2004
- [44] Wiel and Levchik, *Journal of Fire Sciences*, Vol. 22, (3), p. 251-264, 2004
- [45] Damant, G. *Bedtimes*, September 2002

SUMMARY

RISKS OF DEKABROMO DIPHENYL ETHER USAGE AND POSSIBLE SUBSTITUTES IN TEXTILE INDUSTRY

The use of decabromodiphenyl ether is a low-cost and very reliable method for treating textiles in order to fire protection. However, concerns that have been raised by experts and scientists about the potential negative impacts on environment and human health of this brominated flame retardant, has motivated the search for other chemicals, suitable substitutes. In the case of textiles, because of complexity of products, substitution is not so simple. The most often ways today are usage of less hazardous flame retardants, and usage of alternative permanently flame resistant fabrics and their blends.

Key words: *deca-BDE, textile, fire protection, ecological risk*