

# Utjecaj bromiranih usporivača gorenja na ljudsko zdravlje

---

**Bobanović, Barbara**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:132888>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-11**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zadru

Odjel za zdravstvene studije  
Sveučilišni preddiplomski studij Sestrinstvo

**Barbara Bobanović**

**Utjecaj bromiranih usporivača gorenja na ljudsko  
zdravlje**

**Završni rad**

Zadar, 2023.

Sveučilište u Zadru  
Odjel za zdravstvene studije  
Sveučilišni preddiplomski studij Sestrinstvo

Utjecaj bromiranih usporivača gorenja na ljudsko zdravlje

Završni rad

Student/ica:

Barbara Bobanović

Mentor/ica:

Izv. prof. dr. sc. Jelena Čulin

Komentor/ica:

Prof. dr. sc. Marijana Matek Sarić

Zadar, 2023.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Barbara Bobanović**, ovime izjavljujem da je moj **završni** rad pod naslovom **Utjecaj bromiranih usporivača gorenja na ljudsko zdravlje** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 16. srpnja 2023.

## Sažetak

Različitim načinima djelovanja te kroz značajan broj područja nastoji se utjecati na smanjenje opasnosti koje prijete ljudskoj civilizaciji. Sukladno činjenici da se svjetska populacija značajno povećava te da je gustoća naseljenosti pojedinih područja sve veća, opasnost od pojave požara jedna je od vrlo značajnih, na koju se svakako treba utjecati kako bi se izbjegle katastrofe većih razmjera. Pritom, u proizvodnji najčešće korištenih proizvoda tijekom povijesti su se koristili bromirani usporivači gorenja (engl. brominated flame retardants; BFR) kao spojevi koji su svojim djelovanjem značajno doprinijeli smanjenju rizika od zapaljenja pojedinih materijala i proizvoda. Međutim, njihova sposobnost koncentracije u okolišu, prehrambenom lancu i ljudskom organizmu te brojne toksikološke studije rezultirale su potrebom da se uvrste u Stockholmsku konvenciju o postojećim organskim onečišćujućim tvarima. Unatoč zabrani korištenja i ograničenjima u primjeni, BFR-i se još uvijek nalaze u okolišu, prehrambenom lancu i ljudskom organizmu te se smatraju nužnim edukacija i osvještavanje svih ranjivih odnosno rizičnih skupina na koje mogu negativno utjecati. Osnovni je to zadatak svih zdravstvenih djelatnika, a posebno medicinskih sestara i tehničara. Ipak, ističe se i smatra kako isti još uvijek ne raspolažu dovoljnim razinama znanja i relevantnim informacijama kako bi mogli preventivno djelovati na izloženost ranjivih skupina ovim spojevima, te provoditi edukacije istih. U radu se daje kratak prikaz strukture i svojstava najvažnijih BFR-a, te rezultati istraživanja utjecaja BFR-a na ljudsko zdravlje. Diskutira se i moguća uloga medicinskih sestara i tehničara u podizanju svjesnosti o ovom problemu i provedbi preventivnih mjera.

**Ključne riječi:** Bromirani usporivači gorenja, ljudsko zdravlje, medicinske sestre i tehničari

# **The influence of brominated flame retardants on human health**

## **Summary**

Through various methods of action and through a significant number of areas, efforts are being made to reduce the dangers that threaten human civilization. In accordance with the fact that the world's population is increasing significantly and that the population density of certain areas is increasing, the danger of fire is one of the most significant, which must be influenced in order to avoid large-scale disasters. At the same time, brominated flame retardants (BFR) have been used in the production of the most commonly used products throughout history as compounds that significantly contributed to the reduction of the risk of ignition of certain materials and products. However, their ability to concentrate in the environment, the food chain and the human body and numerous toxicological studies resulted in the need to be included in the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Despite the ban on use and restrictions on application, BFRs are still found in the environment, the food chain and the human body, and it is considered necessary to educate and raise awareness of all vulnerable or risk groups that can be negatively affected. This is the basic task of all healthcare workers, especially nurses and technicians. However, it is emphasized and considered that they still do not have sufficient levels of knowledge and relevant information to be able to act preventively on the exposure of vulnerable groups to these compounds, and to carry out their education. The paper gives a brief description of the structure and properties of the most important BFRs, as well as the results of research into the impact of BFRs on human health. The possible role of nurses and technicians in raising awareness of this problem and implementing preventive measures is also discussed.

**Keywords:** Brominated flame retardants, human health, nurses and technicians

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. STRUKTURA I SVOJSTVA BROMIRANIH USPORIVAČA GORENJA.....	2
2.1. Heksabromociklododekan .....	2
2.2. Tetrabromobisfenol A.....	4
2.3. Polibromirani difenil eteri .....	5
2.4. Polibromirani bifenili .....	6
3. PRISUTNOST BROMIRANIH USPORIVAČA GORENJA U SASTAVNICAMA OKOLIŠA I HRANI .....	9
3.1. Prisutnost HBCD-a u okolišu .....	9
3.2. Prisutnost TBBPA u okolišu.....	10
3.3. Prisutnost PBDE u okolišu .....	11
3.4. Koncentracija bromiranih usporivača gorenja u hrani.....	12
4. UČINCI BROMIRANIH USPORIVAČA GORENJA NA LJUDSKO ZDRAVLJE .....	14
4.1. Ispitivanje toksičnosti bromiranih usporivača gorenja na životinjama .....	14
4.2. Biomonitoring.....	16
4.3. Rizici za ljudsko zdravlje povezani s izloženosti bromiranim usporivačima gorenja	18
5. ULOGA MEDICINSKIH SESTARA/TEHNIČARA U PREVENCIJI IZLOŽENOSTI BROMIRANIM USPORIVAČIMA GORENJA.....	20
6. ZAKLJUČAK .....	23
POPIS LITERATURE .....	24
POPIS SLIKA I TABLICA.....	27

## 1. UVOD

Opasnosti od požara ozbiljne su prijetnje ljudskom zdravlju i okolišu, posebno u visoko industrijaliziranim zemljama s velikom gustoćom naseljenosti. Za smanjenje opasnosti koriste se različite tehnike, poput povećanja temperature paljenja polimera, smanjenja brzine gorenja, sprječavanja širenja plamena ili smanjenja mogućnosti stvaranja dima. Pritom, moguće je koristiti četiri glavne skupine kemikalija i to u značajno velikim količinama:

- a. anorganske soli (npr. antimonijev trioksid, aluminijski hidroksid i borat),
- b. fosfori spojevi (npr. organofosfati, halofosfati, fosfinoksidi i crveni fosfor),
- c. spojevi na bazi dušika (npr. melamin i derivati melamina)
- d. halogenirani organski spojevi (npr. klorirani parafini i aliciklički spojevi te bromirani aromatski spojevi) (1).

Bromirani usporivači gorenja (BFR) velika su skupina različitih tvari koje se koriste u brojnim proizvodima, sa svrhom sprječavanja opasnosti od nastanka požara. Neki od njih postoje u okolišu, nakupljaju se u prehrambenom lancu i predstavljaju značajan toksikološki problem, dok su za druge trenutni podaci vrlo ograničeni (2).

U najčešće korištene odnosno tradicionalne ili konvencionalne BFR uključuju se četiri osnovne skupine: polibromirani bifenili (PBB), polibromirani difenil eteri (PBDE), heksabromociklododekan (HBCD) i tetrabromobisfenol A (TBBPA). Njihovo štetno djelovanje na ljude i njihov okoliš rezultiralo je i ograničenjem uporabe pojedinih, tradicionalnih, BFR-a ili je pak došlo do njihove zamjene u velikom broju država. Prema tome, došlo je do proizvodnje novih odnosno alternativnih BFR-a. Njihova osnovna svojstva uvjetuju činjenicu kako se isti mogu pronaći u velikom broju sastavnica u okolišu, primjerice u biljkama, životinjama, ali i ljudskom organizmu. Određen broj istraživanja pokazao je kako i novi BFR-i imaju i štetan utjecaj na ljudsko zdravlje.

U radu će se prikazati strukture i svojstva najvažnijih skupina BFR-a, te rezultati istraživanja koja ukazuju na utjecaj BFR-a na ljudsko zdravlje. Osim toga, analizirat će se i potencijalna uloga medicinskih sestara i tehničara u procesu podizanja svijesti o štetnom djelovanju BFR-a na ljudsko zdravlje te provođenju mjera prevencije istoga.



## **2. STRUKTURA I SVOJSTVA BROMIRANIH USPORIVAČA GORENJA**

Različite vrste BFR koriste se u nizu komercijalnih ili industrijskih primjena kako bi se zadovoljili standardi sigurnosti zaštite od požara i smanjio rizik od njegova nastanka. Pritom, koriste se tijekom proizvodnje proizvoda i materijala kao što su građevinski materijali (izolacijske ploče, sredstva protiv pjenjenja itd.) i različiti potrošački proizvodi (elektronika, plastika, tekstil itd.) (3).

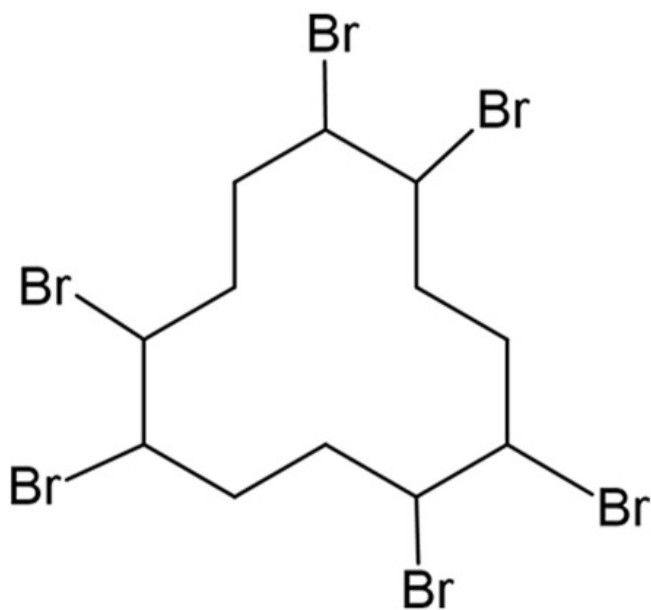
Četiri tradicionalna BFR-a s najvećom stopom korištenja u suvremenim proizvodima su: polibromirani difenil eteri (PBDE), polibromiran bifenili (PBB), heksabromociklododekan (HBCD) i tetrabromobisfenol A (TBBPA). S obzirom na sposobnost akumulacije, postojanost i mogućnost prijenosa na velike udaljenosti, kao i toksično djelovanje, predstavljaju značajan rizik za okoliš i zdravlje ljudi (4).

### **2.1. Heksabromociklododekan**

HBCD (heksabromociklododekan ili 1,2,5,6,9,10-heksabromociklododekan) koristi se kao aditiv za usporavanje gorenja, što znači da nije kemijski vezan, već se samo dodaje polimerima, a na takav se način ovaj spoj oslobađa iz proizvoda u kojima se koristi i nakuplja u okolišu (3). Što se tiče njegove detekcije, nekoliko je studija pokazalo da je HBCD vrlo postojan, s vremenom poluraspada od 2025 dana u vodi i 3 dana u zraku, te da je također biokumulativan s vrlo visokim biokoncentracijskim faktorom. Općenito, ovaj spoj može imati nekoliko bioloških aktivnosti jer ima 16 mogućih stereoizomera: šest parova enantiomera i četiri mezo oblika (5).

HBCD koristi se kao usporivač gorenja u polistirenskim pjenama za građevinske i izolacijske ploče, automobilske tekstil i jastuke, materijal za pakiranje, električnu i elektroničku opremu. Budući da se HBCD zbog svojstava smatra postojanom organskim onečišćujućom tvari (POP) obuhvaćen je Stockholmskom konvencijom o postojanim organskim onečišćujućim tvarima (Stockholmska konvencija), koja propisuje uvjete koje

sve stranke moraju ispunjavati kako bi se omogućilo ukidanje njihove proizvodnje, uporabe, uvoza i izvoza na globalnoj razini, sa svrhom dodatne zaštite ljudskog okoliša i zdravlja. Stockholmska konvencija je usvojena 2001., a stupila na snagu 2004. godine. Stranke su dužne zabraniti i/ili eliminirati proizvodnju i uporabu, kao i uvoz i izvoz, namjerno proizvedenih POP-ova koji su navedeni u Dodatku A. Pod određenim uvjetima moguća su izuzeća za proizvodnju ili upotrebu POP-ova s popisa. Uvoz i izvoz kemikalija navedenih u Dodatku A može se odvijati pod posebnim restriktivnim uvjetima. Za namjerno proizvedene POP-ove navedene u Dodatku B ograničava se proizvodnja i uporaba, kao i uvoz i izvoz, dok Dodatak C obuhvaća nenamjerno proizvedene POP-ove. HBCD je uvršten u Dodatak A 2013. godine. Proizvodnja HBCD je dozvoljena strankama koje ispunjavaju uvjete, a dozvoljena uporaba je u ekspaniranom i ekstrudiranom polistirenu u zgradama. Međutim, kontaminacija ovim spojem i iz drugih izvora bit će moguća još dugo vremena jer se proizvodi koji sadrže HBCD mogu koristiti do kraja njihovog životnog vijeka (3).



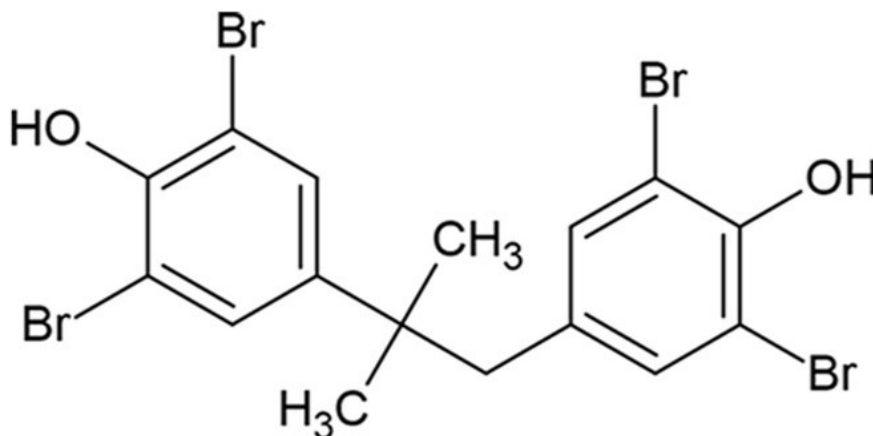
Slika 1. Kemijska struktura heksabromociklododekana (HBCD) (6)

Značajne razlike u ponašanju HBCD-a u okolišu mogu se objasniti specifičnim strukturnim svojstvima koja mogu dovesti do razlika u putovima apsorpcije i

metabolizmu. Dakle, vrlo su važni specifični podaci iz različitih stereoizomera, kako bi se postiglo bolje razumijevanje učinaka HBCD-a na okoliš (6).

## 2.2. Tetrabromobisfenol A

TBBPA (tetrabromobisfenol A), kao što je prethodno spomenuto, jedan je od najraširenijih BFR-ova u svijetu. Njegova glavna primjena je u epoksidnoj smoli koja se koristi za proizvodnju tiskanih ploča, u kojoj sadržaj broma može doseći i do 20% ukupne težine proizvoda. Oko 90% sastava čini reaktivni BFR kovalentno vezan za strukturu polimera, stoga je manje vjerojatno da će se veća količina TBBPA ispustiti u okoliš u odnosu na dodane BFR-ove (5). Kada se TBBPA koristi kao usporivač gorenja u proizvodnji plastike, tekstila i papira može biti slobodni ili vezani BFR (5).



Slika 2. Kemijska struktura tetrabromobisfenola (TBBPA) (6)

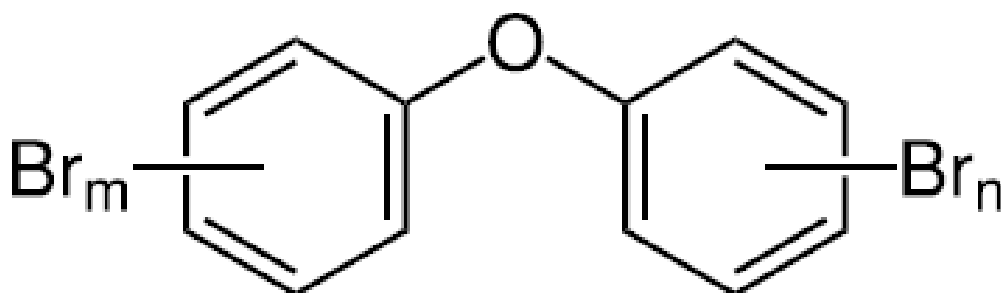
TBBPA je lipofilni spoj, s visokom hlapljivošću i niskom topljivošću u vodi. Općenito, TBBPA se ne nalazi u uzorcima vode, već se mjeri u zraku, sedimentu i tlu. Stoga se ove jedinstvene karakteristike TBBPA moraju uzeti u obzir pri proučavanju učinka ovih BFR-ova na okoliš, kao i analitička metodologija korištena za mjerenje njihovih razina u biotičkim i abiotičkim uzorcima. Nadalje, TBBPA se također može koristiti kao osnovni

spoj za proizvodnju drugih komercijalnih usporivača gorenja. Ove kemikalije s malim obujmom proizvodnje vrlo su hidrofobne i imaju nisku hlapljivost, stoga imaju nizak atmosferski prijenos na velike udaljenosti (7).

### 2.3. Polibromirani difenil eteri

Polibromirani difenil eteri (PBDE) predstavljaju BFR-e koje industrije postupno ukidaju još od sredine 2000-ih, kako dobrovoljno tako i zbog nametnutih propisa, uz postojanje određenih izuzetaka. Ipak, ima ih u izobilju i u okolišu zbog njihove česte uporabe u prošlosti te njihove stabilnosti. Ovi spojevi obično su dostupni kao mješavine višestrukih kongenera PBDE-a koji se oslobađaju kada se spali elektronika koja sadrži te spojeve kao usporivače gorenja. Mnogi PBDE-ovi su vrlo postojani (kao što je BDE-153 s životnim vijekom od oko 6,5 godina u ljudskom tijelu), bioakumuliraju se i biomagnificiraju te se mogu prenositi na velike udaljenosti te dosežu više ekosustava, čak i arktički ekosustav (8).

Ova se vrsta BFR-a koristila prilikom proizvodnje značajnog broja proizvoda kao što su tekstilni materijali, plastični materijali koji služe kao izolatori žica, mobilni telefoni, hladnjaci, televizori te ostala električna i elektronska oprema, ali su zabilježeni i u različitim oblicima građevinskog i konstrukcijskog materijala (7).



Slika 3. Kemijska struktura polibromiranih difenil etera (PBDE) (8)

U procesu poznatom kao debromacija, više bromirani PBDE kongeneri mogu se rastaviti na niže bromirane kongenere koji su mobilniji i otrovniji. Posljedično, debromacija produljuje njihovu postojanost u okolišu i povećava njihovo širenje u različite ekosustave budući da kongeneri niže bromiranog PBDE-a imaju veću topljivost u vodi i više su bioakumulativni. Zbog ovih svojstava PBDE-a, ljudi su u opasnosti od izravne izloženosti putem proizvoda koji sadrže PBDE i neizravno putem drugih izvora, uključujući procese recikliranja e-otpada (8).

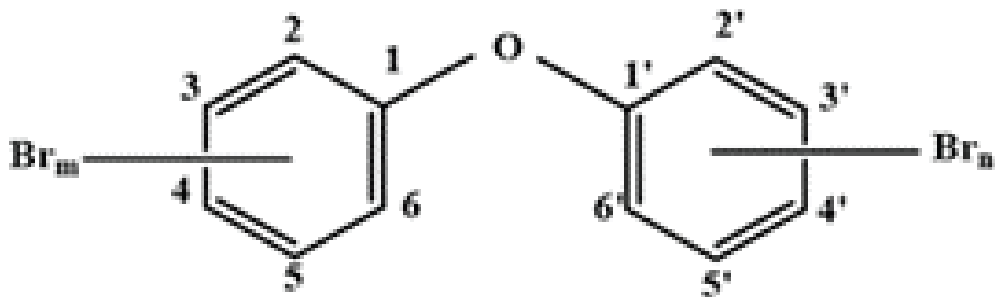
PBDE su slobodni BFR-ovi, to jest, ugrađuju se u polimere prije, tijekom ili nakon procesa polimerizacije bez kemijskog vezanja i smatra se da imaju veći rizik od ispiranja od vezanih BFR-ova (5).

Obzirom da su PBDE vrlo postojani kada je u pitanju njihovo postojanje unutar okoliša te se bioakumuliraju te biomagnificiraju, neovisno radi li se o kopnenom ili morskom hranidbenom lancu, te se smatraju vrlo toksičnima kada je u pitanju ljudsko zdravlje i životinjski svijet, a njihova je prisutnost dokazana gotovo širom svijeta, obuhvaćeni su Stockholmskom konvencijom (7).

Penta- i okta-BDE komercijalne smjese, koje sadrže tetra- do hepta-BDE-ove uvrštene su u Dodatak A 2004. godine, uz zabranu proizvodnje, te propisane uvjete za uporabu proizvoda koji ih sadrže. DekabDE je uvršten u Dodatak A 2017. Njegova proizvodnja je dozvoljena pod određenim uvjetima, kao i upotreba u materijalima za dijelove vozila i aviona, građevinsku izolaciju, plastičnim kućištima, tekstilnim proizvodima (osim odjeće i igračaka) (9).

## **2.4. Polibromirani bifenili**

PBB su bromirani ugljikovodici, čija je struktura srodna drugim kemijskim spojevima kao što su poliklorirani bifenili (PCB), dioksini i furani. Jedno od njihovih najvažnijih fizičkih svojstava je da imaju visoku točku zapaljivosti. PBB su lipofilni spojevi, s dugim životnim vijekom (otprilike 11 godina) kod životinja i ljudi i sa značajnim potencijalom biomagnifikacije (10).



Slika 4. Kemijska struktura polibromiranih bifenila (PBB) (10)

Polibromirani bifenili (PBB) naširoko su korišteni kao usporivači gorenja u elektroničkim uređajima, plastici, tekstilu, namještaju i drugim potrošačkim proizvodima nakon usvajanja strožih zakona o zaštiti od požara još 11060-ih godina prošlog stoljeća. Ukupna proizvodnja PBB-a u Sjedinjenim Američkim Državama, kao najvećem proizvođaču, iznosila je približno 5,9 milijuna kg 1970-ih, a oko 88% kemikalija proizvodila je tvornica Velsicol Chemical Corporation u St. Louisu, Michigan (10). Važno je istaknuti i značajan događaj koji se povezuje s ovom kompanijom, a koja trenutno ne posluje. Naime, početkom 1973. godine PBB-i koje je proizvodila spomenuta kompanija prodavani su pod trgovačkim imenom FireMaster. Ista tvornica proizvodila je i magnezijev oksid (dodatak hrani za stoku) koji se prodavao pod trgovačkim nazivom NutriMaster. Nedostatak unaprijed ispisanih papirnatih vreća koje su se koristile kao ambalaža doveo je do toga da je tvornica slučajno poslala 20 vreća FireMastera (PBB) u Michigan Farm Bureau Services umjesto NutriMaster dodatka hrani za stoku. Pogrešne su vreće poslone u tvornice stočne hrane i korištene u hranidbi stoke. Zabuna je otkrivena tek u travnju 1974. godine, a do tada su PBB već ušli u prehrambeni lanac putem kontaminiranog mlijeka i mliječnih proizvoda, govedine, svinjetine, janjetine, piletine i jaja. Nakon otkrivanja pogreške, značajan broj grla stoke je ubijen. Procjenjuje se da se radi o 30 000 grla stoke, 4 500 svinja, 1 500 ovaca te oko 1,5 milijuna peradi. S druge strane u pogledu ljuske izloženosti, testiranjem je utvrđeno kako su zaposlenici farmi imali zabilježene određene razine PBB-a u krvi. Također, u daljnjim studijama koje su uključivale zaposlenike tvornice, ali i kontaminiranih farmi zabilježene su i razne zdravstvene posljedice koje su uključivale abnormalnosti organa, prvenstveno jetre, bubrega, kože,

mozga, očiju i nadbubrežnih žlijezda (11). Proizvodnja i upotreba heksabrombifenila zabranjena je Stockholmskom konvencijom.

### 3. PRISUTNOST BROMIRANIH USPORIVAČA GORENJA U SASTAVNICAMA OKOLIŠA I HRANI

#### 3.1. Prisutnost HBCD-a u okolišu

Tijekom vremena, koncentracija HBCD-a je mjerena u nekoliko sastavnica okoliša, uključujući zrak i prašinu, sediment, tlo i kanalizacijski mulj. Također je otkriven u ribama i drugim vodenim organizmima, morskim sisavcima, pticama, biljkama te u ljudima, odnosno u biološkim uzorcima. U 1997. godini HBCD je prvi put otkriven u rijekama Švedske, a kasnije je pronađen i na Arktiku, što odražava visoku sposobnost HBCD-a za prijenos zrakom te na vrlo velike udaljenosti. U Europi se HBCD nalazi u većim količinama, sa značajnim koncentracijama u sedimentima i to u količinama znatno višima od razina pronađenih primjerice na području u jugoistočne Azije ili Sjeverne Amerike. HBCD je, također, pronađen i u biljkama i to u tkivu korijena rotkvice i kupusa. Najzastupljeniji diastereomer u tkivu korijena ovih biljaka je  $\gamma$ -HBCD, dok je u tkivu izdanka  $\alpha$ -HBCD, zbog veće topljivosti u vodi (6). S druge strane, druga su istraživanja pokazala kako je u korijenu kukuruza najdominantniji diastereomer  $\beta$ -HBCD. Ove studije, također, pokazuju da se bilo koji od 3 najzastupljenija diastereomera mogu naći u različitim koncentracijama u biljkama. Također istraživanja su ispitivala i razine toksičnosti HBCD-a, kao i diferencijacije između pojedinih izomera ovog spoja u kukuruza. Rezultati su pokazali da različiti izomeri HBCD-a imaju različite učinke na rast kukuruza, pri čemu, primjerice, postojanje  $\alpha$ -HBCD inhibira povećanje biomase i izduživanje korijena i mladica (12).

Ispitivanja koncentracije HBCD-a na životinjama uglavnom su provedena na pticama i vodenim organizmima. U ptičjim jajima kvantificirane su visoke razine HBCD-a (do 14,600 mg/kg mase lipida). Prema rezultatima istraživanja dominantni diastereoizomer je  $\alpha$ -HBCD. Udjel  $\alpha$ -HBCD povećava se u hranidbenom lancu i može doseći i do 100% u vršnim grabežljivcima poput galebova. Kod riba i vodenih sisavaca, HBCD se nakuplja u organima bogatim lipidima, kao što su jetra, mišići i masno tkivo. U usporedbi s istraživanjima koja su uključivala ribe, kod ptica su zabilježene značajno niže koncentracije HBCD-a (13).



### **3.2. Prisutnost TBBPA u okolišu**

Što se tiče okoliša, TBBPA je otkriven u vodi, prašini, zraku, tlu i posljedično u ribama i hrani koja potječe iz mora i kopnenih voda. Nekoliko studija pokazuje da je Kina zemlja u kojoj su otkrivene najviše razine TBBPA u okolišu. Na primjer, prisutnost TBBPA otkrivena je u tlu, u uredskom zraku i u prašini. Osim toga, TBBPA je pronađen i u hrani, na primjer, u uzorcima hrane porijeklom iz mora i kopnenih voda (primjerice ribe), u mesu, u jajima te u mlijeku. Ovo su vrlo uznemirujući rezultati jer, osim što se nalazi u okolišu, otkrivanje u uzorcima hrane povećava izloženost ljudi ovom spoju i njegovim štetnim učincima. TBBPA se ispušta u vodeni okoliš migracijom iz proizvoda na bazi TBBPA i otpadnih voda iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i odlagališta otpada (12).

U česticama prašine koje se nalaze u tipičnom pogonu za proizvodnju PCB-a (tiskanih ploča), kvantificirana je i značajna koncentracija TBBPA. Ova ispitivanja pokazuju da kontaminacija TBBPA-om prvenstveno nastaje u obliku sedimentne prašine (11). Također, primijećeno je da je prosječna koncentracija TBBPA u zatvorenim prostorima na mjestima za recikliranje e-otpada mnogo viša u usporedbi s otvorenim prostorima. Druge studije su pokazale srednje razine koncentracije TBBPA u blizini mjesta za odlaganje komunalnog i drugih vrsta otpada, u usporedbi s elektroničkim otpadom. Najviša koncentracija TBBPA zabilježena je u uzorcima prašine. Ovi rezultati upućuju na to da je prisutnost TBBPA identificirana u uzorcima prašine na radnom mjestu, u kućanstvu i okolišu, stoga predstavlja potencijalni rizik od oralne, dermalne i inhalacijske izloženosti, posebno među djecom putem kontakta rukom na usta (6).

Kada su u pitanju uzorci zraka, vrlo je malo izvješća o koncentracijama TBBPA, što je i očekivano, jer TBBPA ima nizak tlak i visoku lipofilnost. Istraživanja koja su provedena na uzorcima zraka iz zatvorenog prostora, te na uzorcima iz otvorenog prostora, pokazala su kako potencijalni izvori emisije TBBPA mogu biti električna i elektronička oprema te materijali za izradu namještaja i tekstila (13).

Za očekivati je da tlo predstavlja glavno mjesto kontaminacije TBBPA-om. Zabilježene su visoke razine kontaminacije TBBPA-om u tlu oko mjesta na kojima se odvija recikliranje elektroničkog otpada. Koncentracije TBBPA u tlu mijenjale su se ovisno o

vrsti zemljišta koje se koristilo prilikom ispitivanja. Na primjer, različiti su rezultati ostvareni prilikom ispitivanja industrijskih područja, stambenih područja i tla poljoprivrednih površina. Istraživanja koja su uključivala više svjetskih lokacija rezultirala su saznanjima da se TBBPA u značajnoj koncentraciji nalazi u tlu Tibetanske visoravni, u industrijskim tlima iz Španjolske i u tlu na mjestima radionica za recikliranje e-otpada u Vijetnamu. U području Tibetanske visoravni su koncentracije TBBPA u tlu općenito bile više od koncentracija u Španjolskoj, ali niže od onih u Vijetnamu (7).

### **3.3. Prisutnost PBDE u okolišu**

Što se tiče PBDE-a, u Europi su provedene određene studije koje su otkrile niske razine ovih usporivača gorenja u zraku i to na području Ujedinjenog Kraljevstva te u udaljenim područjima Istočnog Grenlanda. Nešto više razine PBDE-a pronađene su u dvjema urbanim regijama Grčke, u atmosferi obalne lagune u Francuskoj i u blizini jezera Maggiore u sjevernoj Italiji. Koncentracije PBDE-a u zraku zabilježene su u značajnim razinama u Beču, dok su u Turskoj zabilježene srednje vrijednosti koncentracije. Više koncentracije PBDE-a pronađene istraživanjima provedenim na području Sjedinjenih Američkih Država rezultat su povećane upotrebe PBDE-a, posebno BDE 209 na prostoru prvenstveno Chicaga. U zraku poluurbanog područja u Kanadi dva su uzorka pokazala srednju koncentraciju PBDE-a, dok su uzorci zraka prikupljeni na nekoliko mjesta u Pekingu sadržavali značajne razine PBDE-a. Naprotiv, znatno niže razine pronađene su na 17 lokacija u sjevernoj Kini, s prosječnim koncentracijama od 41 pg/m<sup>3</sup> (BDE 209) i 16 pg/m<sup>3</sup> (13 drugih PBDE-a). Uzorci zraka s udaljenih/ruralnih/urbanih lokacija prikupljeni u 22 zemlje Europe i Azije pokazali su razine PBDE-a koje variraju od 0,06 do 43 pg/m<sup>3</sup>. Najviše vrijednosti otkrivene su u područjima s poviješću ekstenzivne upotrebe i emisije POP-i i povezane su s urbaniziranim područjima. Ova zapažanja potvrdili su rezultati i drugih istraživanja (1).

Izloženost PBDE-ima putem hrane predmet je značajnog broja istraživanja na području Europe i Azije te je zabilježeno kako su najveće razine izloženosti uzrokovane konzumacijom ribe, dok istraživanja provedena u SAD-u ističu kako najveća izloženost dolazi kroz konzumaciju mesa i mesnih proizvoda (1).

### **3.4. Koncentracija bromiranih usporivača gorenja u hrani**

Dostupne su brojne informacije o koncentracijama BFR-a u raznim vrstama hrane i prehrambenih proizvoda. Unos određenih tvari hranom obično se izračunava kombinacijom razine koncentracija u različitim prehrambenim artiklima ili grupama hrane s faktorima potrošnje hrane za populacije ili njezine podskupine. Čimbenici konzumacije mogu se odrediti pojedinačno pomoću upitnika o učestalosti unosa hrane ili kao prosječni faktori u npr. u nacionalnim istraživanjima koja uključuju prehranu. Budući da se postojani i lipofilni BFR prvenstveno nakupljaju u lipidima organizama (uz TBBPA i djelomično BDE 209 kao iznimke), razine kontaminacije su najviše u masnoj hrani, osobito u masnoj ribi. Kao posljedica toga, riba i ostala hrana porijeklom iz mora i kopnenih voda općenito pokazuje najviše koncentracije BFR-a, a zatim slijede meso i mesni proizvodi, životinjske i biljne masti i ulja, mlijeko i mliječni proizvodi te jaja i proizvodi od jaja (14).

Za razliku od opadajućih razina PCB-a i DDT-a, razine PBDE-a porasle su u vodenim i morskim organizmima na globalnoj razini tijekom posljednjih 20 godina. Iako je dokumentirano da su razine BFR-a, primjerice, u divljoj ribi niže u Europi u usporedbi sa Sjevernom Amerikom, koncentracije BFR-a u europskom lososu uzgojenom u uzgajalištima znatno su više nego u ribi uzgojenoj u Sjevernoj i Južnoj Americi. Također u drugim su istraživanjima dokumentirane znatno niže razine koncentracije BFR-a u divljem lososu u usporedbi s lososom uzgojenim u uzgajalištima (15). Unatoč dokumentiranoj razlici, godišnja mjerenja Norveškog instituta za istraživanje prehrane i plodova mora (NIFES) u sklopu njihovih godišnjih programa nadzora kontaminanata u plodovima mora pokazuju usporedivu koncentraciju između norveškog i sjevernoameričkog lososa iz uzgoja. Koncentracije BFR-a u ribi iz Oslofjorda značajno su više nego u ribi iz udaljenih područja kao što su Bear Island i Svalbard, što ukazuje i na moguću blisku povezanost između razina BFR-a zabilježenog u divljoj ribi i razine urbanizacije (13). Zaključeno je i kako se ribe iz uzgoja hrane koncentriranom hranom s visokim udjelom ribljeg ulja. Iako su koncentracije BFR-a u ovim uzorcima hrane prilično varijabilne, općenito su slične ili veće nego u slučajevima ispitivanja divlje ribe. Kada se uspoređuju razine PBDE-a koje su prisutne u različitoj hrani za ribe, nisu

zabilježene značajne razlike u ispitivanjima provedenima na četiri lokacije (Britanska Kolumbija, Istočna Kanada, Čile i Škotska) na kojima je hrana kupljena te između tri kontinenta (Sjeverna Amerika, Južna Amerika i Europa). Međutim, postojala je značajna razlika između dviju tvrtki koje proizvode hranu za ribu iz uzgoja (15).

## 4. UČINCI BROMIRANIH USPORIVAČA GORENJA NA LJUDSKO ZDRAVLJE

### 4.1. Ispitivanje toksičnosti bromiranih usporivača gorenja na životinjama

Kao što je već spomenuto, HBCD se može akumulirati u biljkama, životinjama i ljudima, te ima sposobnost izazvati štetne učinke. Međutim, znanje o tim učincima još uvijek je vrlo ograničeno (16).

Što se tiče štetnih učinaka HBCD-a na životinje, istraženo je nekoliko vrsta. Istraživanja koja su provedena na školjkašima pokazala su povećanje transkripcije katalaze uzrokovane izloženošću HBCD-u. Također, pronađeni su promijenjeni proteini uključeni u imunološki sustav mekušaca, s pojačanom regulacijom gena hemocijanina i lektina tipa C. Provedene *in vitro* studije na imunološkim stanicama miševa pokazale su da HBCD izaziva smanjenje makrofaga u splenocitima što može uzrokovati smrt stanica. Ista su istraživanja također potvrdila da HBCD može izazvati alergijsku reakciju kod određenih organizama ubrzavanjem imunološkog sustava. Što se tiče utjecaja HBCD-a na živčani sustav, primijećeno je da ovaj spoj uzrokuje abnormalne promjene u hipokampusu kod štakora. Nakon izlaganja skotnih štakora HBCD-u, primijećeno je povećanje broja stanica s neuron-specifičnim nuklearnim proteinom u dentatnom hilusu i povećana apoptozu u subgranularnoj zoni. Što se tiče reproduktivnog sustava, proučavane su američke vjetrošice i primijećeno je da su nakon izlaganja HBCD-u njihovi testisi bili teži i imali tendenciju da imaju sjemene tubule s produljenim spermatidima. Osim toga, primijećeno je i da se povećala koncentracija testosterona u plazmi (6).

Ukratko, HBCD utječe na nekoliko vrsta organizama, od školjki i mekušaca do miševa, s nepovoljnim ishodima u brojnim tjelesnim sustavima, uključujući imunološki, živčani, reproduktivni i kardiovaskularni sustav. Međutim, rezultati istraživanja još uvijek nisu jasni i usklađeni, stoga su potrebna dodatna istraživanja kako bi se razumjeli izraženiji učinci HBCD-a (16).

Provedeno je i nekoliko studija o toksičnim učincima TBBPA na različitim životinjama, uglavnom na glodavcima. Kod riba i kralješnjaka, TBBPA ispoljava tek malu akutnu toksičnost. Međutim, neka istraživanja na štakorima pokazala su da TBBPA izaziva

endokrinu aktivnost koja može promijeniti razine hormona štitnjače. Uz ovu aktivnost, TBBPA uzrokuje neurotoksičnost, nefrotoksičnost i hepatotoksičnost, a studije karcinogenosti pokazuju da TBBPA povećava učestalost tumora maternice kod štakora. Izloženost TBBPA također može uzrokovati reproduktivne, razvojne i neurobihevioralne učinke (6). Istraživanja koja su uključivala štakore i miševe pokazala su i da TBBPA ima nisku akutnu toksičnost kod ovih životinja. Ova niska toksičnost TBBPA u glodavaca je u skladu s izloženosti malim količinama spojeva (17).

Općenito, može se reći da TBBPA uzrokuje kroničnu toksičnost kod nekoliko životinjskih vrsta, uključujući ribu zebriku, debeloglavu gavčicu, kalifornijsku pastrvu, kopepoda, gliste i morske dagnje. Osim toga, pokazalo se da ovaj spoj utječe na osteoblaste kroz put koji uključuje disfunkciju mitohondrija i oksidativni stres. S druge strane, nedosljedni rezultati su prikazani u pogledu neuronske toksičnosti i nefrotoksičnosti TBBPA. Neka istraživanja ukazuju i na postojanje oslabljene motoričke aktivnosti, sposobnosti prostornog učenja i pamćenja nakon izlaganja TBBPA, dok druga izvještavaju da ne postoje neurobihevioralne promjene kod testiranih vrsta (6).

S druge strane, PBDE je pokazao nisku akutnu toksičnost kod pokusnih životinja (štakori, glodavci). Ipak, među zabilježenim kliničkim znakovima, međutim, bili su smanjeni rast, proljev, piloerekcija, smanjena aktivnost, drhtanje prednjih udova, crvene mrlje oko očiju i nosa te kontinuirano žvakanje. Osim toga, komercijalni PBDE-i utječu na homeostazu hormona štitnjače, a tehnički proizvodi i čisti tetra- i pentakongeneri proizvode učinke na razine tiroksina u serumu kod štakora i miševa (18).

Za PBDE, kritični učinci među dostupnim studijama pokazuju mogućnost razvojne neurotoksičnosti i, općenito pri izlaganju nešto većim dozama, izmijenjenu homeostazu hormona štitnjače. Što se tiče neurotoksičnosti kod miševa, ne može se definirati jasan mehanizam, ali raspravlja se o učincima PBDE-a putem poremećaja hormona štitnjače i izravnom utjecaju na prijenos signala u mozgu. Na primjer, PBDE, kao i drugi BFR-ovi, bili su sposobni inducirati staničnu smrt znatih stanica malog mozga kod određenih organizama (19).

Akutna toksičnost komercijalnih PBB spojeva smatra se niskom kod testiranih štakora, kunića i prepelica, nakon njihove oralne redovne primjene. Općenito, ponovljeno doziranje izazvalo je toksične učinke pri izloženosti nižim dozama, u usporedbi s jednokratnim doziranjem. Učinci, uključujući smrt, nakon primjene PBB-a nisu se

pojavi odmah nakon izloženosti, a znakovi toksičnosti uključivali su smanjenje potrošnje hrane. Prema tome, uočljivo je da se razvija "sindrom mršavljenja" kao rani pokazatelj toksičnosti, a nakon smrti gubitak tjelesne težine iznosi i 30-40%. Testovi koji su uključivali iritacije očiju i kože te testovi preosjetljivosti nisu pokazali postojanje nikakve reakcije ili su pokazali postojanje samo blage reakcije prilikom izloženosti ovim spojevima. Različiti testovi za otkrivanje mutagenosti ili genotoksičnosti općenito, nisu pokazali nikakav učinak s pojedinačnim kongenerima PBB-a ili komercijalnim spojevima (18).

## **4.2. Biomonitoring**

Pretpostavlja se kako je prehrana glavni izvor izloženosti opće populacije utjecaju bromiranih usporivača gorenja (15). Pritom, isti su pronađeni u ljudskoj krvi, serumu, masnom tkivu, majčinom mlijeku, tkivu posteljice i u mozgu. Smatra se i kako su isti otporni na metabolizam i mogu se bioakumulirati u masnom tkivu od prije rođenja do smrti. Također, ističe se i kako ih ljudi unose putem udisanja, dermalne apsorpcije i konzumiranja kontaminirane hrane. Primarni izvor izloženosti ljudi je konzumacija kontaminirane ribe, peradi, mesa i mliječnih proizvoda. Profesionalna izloženost može se pojaviti u računalnim i elektroničkim skladištima (20).

Analogno njihovoj bioakumulaciji u okolišu, lipofilni BFR imaju tendenciju nakupljanja u lipidima u ljudskom tijelu. Pritom, provedene su brojne studije kako bi se odredile koncentracije BFR u majčinom mlijeku i krvi kao i biomarkeri izloženosti koji okupljaju sve izvore i putove moguće izloženosti (1).

Zbog većeg udjela masti u odnosu na krv, majčino mlijeko ima prednost u kemijskoj analizi. Postoje dobri dokazi o zemljopisnim razlikama u razinama koncentracije BFR-a kod ljudi, posebice u sjevernoameričkim državama, koje su za jedan red veličine više nego u Europi, iako s određenim razlikama među zemljama. Međutim, koncentracija BDE 209 ne slijedi ovaj opći zemljopisni trend, a mnogo je manje podataka dostupno za ne-PBDE BFR-ove. Neka istraživanja o vremenskim trendovima opterećenja ljudskih organizama BFR-ima pokazuju smanjenu izloženost nakon 2000. godine. Druga istraživanja dokazala su i da perinatalna izloženost BFR-ima kroz placentarni prijenos i

dojenje dovodi do jasno većeg opterećenja tijela kod dojenčadi u usporedbi s odraslim osobama (1).

Zabilježene razine koncentracija PBDE-a u ljudskom organizmu eksponencijalnom su porastu u posljednjih 25 godina, prvenstveno u uzorcima majčinog mlijeka. Istraživanja su pokazala kako je to posebno slučaj na području Švedske. Istraživanja provedena u Poljskoj procijenila su da je dnevni unos PBDE-a od strane odraslih ljudi na 51 ng/dan, dok su dojena djeca akumulirala više od dvostruke takve količine (>110 ng/dan). Razina koncentracije zabilježena u majčinom mlijeku kod sjevernoameričkih žena ukazuje na najveće tjelesno opterećenje BFR-ima u svijetu i 40 puta je veće od najviših razina prijavljenih za Šveđanke. Prosječna razina PBDE-a pronađena u masnom tkivu dojke žena iz područja zaljeva San Francisco najviša je zabilježena u istraživanjima i iznosi 86 ng/g. PBDE otkriveni u majčinom mlijeku uključuju tri-, tetra-, penta- i heksa- ali ne i hepta-, nona- ili deka-kongenere (20).

Koristeći majčino mlijeko kao osnovu za analizu, neke su europske zemlje uspješno razvile sustav praćenja opterećenja tijela različitim zagađivačima okoliša, uključujući PBDE, a izrađene su i smjernice da se isto učini i u Sjedinjenim Američkim Državama (1).

Dostupni su tek ograničeni podaci kada je u pitanju koncentracija BDE 209 u krvi. Najviša razina zabilježena je u Njemačkoj i to tijekom istraživanja provedenog 2014. godine, gdje su analizirana 42 uzorka krvi. Druga su istraživanja pokazala kako koncentracija BDE 47 ima najveći udio u ukupnoj količini zabilježenog PBDE-a, i to s oko 57% u Sjevernoj Americi, 35% u Aziji i Australiji te 31% u europskim zemljama. Mora se uzeti u obzir i činjenica da se, posebno u Europi, relativni udio BDE 47 u uzorcima uvelike razlikuje od istraživanja do istraživanja. Primjerice, dok u Grčkoj BDE 47 čini samo 17% u uzorcima seruma 61 subjekta, udio od 52% pronađen je u Norveškoj u 23 prikupljena uzorka. Također, i istraživanjima nisu otkrivene značajne razlike između koncentracija PBDE u muškaraca i žena u skupnim uzorcima seruma iz Australije, u uzorcima s Novog Zelanda i iz Španjolske (20).



### **4.3. Rizici za ljudsko zdravlje povezani s izloženosti bromiranim usporivačima gorenja**

Dostupno je malo podataka o učincima BFR-a na ljude. Međutim, dostupni podaci sugeriraju da izloženost BFR-u može utjecati na ljudsko ponašanje i reprodukciju kao što je uočeno i u studijama na životinjama. U dansko-finskoj studiji razine PBDE-a u majčinom mlijeku bile su povezane s kriptorhizmom i povećanim serumskim LH. U studiji provedenoj u Kaliforniji, dokumentirano je da više razine PBDE-a u majčinom serumu povećavaju vrijeme do uspješnog začeća kod žena koje pokušavaju zatrudnjeti. U Tajvanu su povišene razine PBDE-a u majčinom mlijeku bile u korelaciji s manjom porođajnom težinom, dužinom, nižim opsegom glave i prsnog koša kod djeteta. Također, u ovoj studiji, dnevni unos PBDE-a putem mlijeka iznosio je 21 ng/kg/dan, što je daleko ispod razina izloženosti u Kanadi (280 ng/kg/dan) i SAD-u (306 ng/kg/dan). U novijoj studiji iz Tajvana pronađena je značajna inverzna povezanost između razine BDE 209 i kognitivne ljestvice, kao i pozitivna korelacija između razine BDE 196 i jezične ljestvice, odnosno receptivne i ekspresivne komunikacije kod djece, kao i povezanost s finom i grubom motorikom. U Kaliforniji, studije su pokazale značajne povezanosti između izloženosti majke PBDE-u u prenatalnom razdoblju s lošijom pažnjom, finom motoričkom koordinacijom i kognicijom kod djece rane i predškolske dobi. U drugoj studiji dokazana je značajna povezanost između prenatalnih razina PBDE u serumu i nižih rezultata na testovima mentalnog i fizičkog razvoja djece u dobi od 12 do 48 i 72 mjeseca. Isto tako, dokazana je i povezanost između prenatalne izloženosti PBDE-u i promjena ponašanja kod djece u školskoj dobi. Nadalje, ista su istraživanja dokazala i povezanost između povećane količine PBDE-a u majčinom mlijeku (kolostrumu) i smanjene razine mentalnog razvoja dojenčadi (14).

Budući da koncentracije zabilježene u organizmu majke igraju ključnu ulogu u razvoju mozga fetusa, sugerirano je da prisutnost određenih količina PBDE mogu utjecati na neurorazvoj i reprodukciju ometanjem homeostaze hormona štitnjače. Zanimljivo je da su epidemiološke studije na ljudima izvijestile o povezanosti između izloženosti PBDE-u i promjena u razinama hormona TH i TSH. Također je poznato da bolesti hormona štitnjače utječu na reproduktivnu sposobnost žena. Hipotireoza je povezana s hiperprolaktinemijom, koja inhibira otpuštanje hipofiznog gonadotropina i gonadnih

steroida, koji zauzvrat inhibiraju ovulaciju. Iako se manje zna o ulozi hormona štitnjače u razvoju reproduktivnog sustava, izvješćuje se da su uključeni u razvoj spolnih žlijezda u oba spola (15).

Međutim, zbog razlika i ograničenja u dizajnu studija, epidemiološki dokazi trenutno ne podupiru jaku uzročnu povezanost između PBDE-a i nepovoljnih neurorazvojnih i neurobihevioralnih ishoda. Stoga značajan broj istraživača predlaže procjenu mogućih štetnih učinaka BFR-a na funkcije ljudskog mozga i organizma korištenjem usklađenijeg dizajna studija i procjena izloženosti te ponavljanje testiranja s većom populacijom i uzorcima (15).

Izloženost ljudi PBB-ima neki ljudi može uzrokovati mučninu, bolove u trbuhu, gubitak apetita, bolove u zglobovima, umor i slabost. Postoje i snažni dokazi da PBB-i mogu uzrokovati probleme s kožom, poput akni, posebno kod onih ljudi koji su konzumirali kontaminiranu hranu. Neki zaposlenici kemijskih tvornica koji su bili izloženi PBB-u disanjem i kontaktom s kožom također su razvili akne. Novije studije sugeriraju da bi PBB mogli djelovati s endokrinim sustavom odnosno skupinom organa i žlijezda, uključujući nadbubrežne žlijezde, koji rade na proizvodnji hormona (1).

Također, izloženost TBBPA je povezana s štetnim zdravstvenim ishodima kod ljudi. Naime izloženost ovom obliku BFR-a izaziva poremećaje štitnjače, poremećaje neuroponašanja i razvoja, reproduktivnog zdravlja, te imunološke, onkološke i kardiovaskularne bolesti (15).

U konačnici, istraživanja su pokazala kako je HBCD snažan citotoksični spoj, jedan od najsmrtonosnijih BFR-ova i može biti povezan s oštećenjima metabolizma, razinama globulina koji veže spolne hormone i razvojem raka kod ljudi (1).

## **5. ULOGA MEDICINSKIH SESTARA/TEHNIČARA U PREVENCIJI IZLOŽENOSTI BROMIRANIM USPORIVAČIMA GORENJA**

Nakon provedenih znanstvenih istraživanja o toksičnosti, određeni BFR-i su zabranjeni ili je njihovo korištenje ograničeno zakonodavnim aktima ili su proizvođači dobrovoljno prestali s proizvodnjom. Međutim, izloženost ljudi BFR-ima nastavit će se zbog njihove prisutnosti u proizvodima koji se namjeravaju koristiti desetljećima (4). Štoviše, da bi se zamijenile zabranjene formulacije, povećala se proizvodnja i upotreba drugih BFR-ova s nepoznatom toksičnošću ili karcinogenošću. Stoga, kako bi spriječili moguću štetu po zdravlje, pružatelji zdravstvenih usluga i skrbi, prvenstveno medicinske sestre i tehničari, trebaju informirati pojedince o načinima kako smanjiti izloženost ovim spojevima, osobito među trudnicama i djecom. Primjerice, Savez medicinskih sestara za zdrav okoliš i Kraljevski koledž opstetričara i ginekologa u Velikoj Britaniji objavili su dokumente koji sadrže smjernice u vezi s prevencijom izloženosti, osobito među ranjivim skupinama (20). Međutim, nedostatak obrazovanja i obuke, vremena i alata istaknuti su kao prepreke prilikom savjetovanju pacijenata. To je važno posebno iz razloga što razina znanja pružatelja zdravstvenih usluga predstavlja ključan čimbenik u savjetovanju pacijenata u vezi sa smanjenjem izloženosti tvarima koje nose bilo koje oblike zdravstvenog rizika (22).

Rezultati istraživanja provedenog na području Republike Hrvatske pokazuju kako zdravstveni djelatnici nemaju dovoljno znanja o izloženosti BFR-ima, što dokazuje visoka učestalost netočnih odgovora prilikom provođenja testova znanja, bez obzira na područje medicine u kojem rade. Međutim, budući da je ova tema postala aktualnija u posljednjem desetljeću za Hrvatsku kao stranku Stockholmske konvencije, provjeravana je korelacija između dobi i znanja na temelju pretpostavke da mlađi zdravstveni radnici koji su nedavno diplomirali poznaju osnove ove teme i u nju su upućeni kroz obrazovne programe. Dodatno, pretpostavljeno je i da će interes za ovu temu biti u korelaciji sa znanjem. Međutim, ni dob ni interes za temu nisu značajno povezani s postotkom točnih odgovora (23). Koliko je poznato, ovo je prva studija koja istražuje znanje zdravstvenih djelatnika o izloženosti BFR-u. Međutim, studije o različitim zagađivačima okoliša dale

su slične nalaze. Na primjer, istraživanje o stavovima, uvjerenjima i praksi među opstetričarima u SAD-u u vezi s izloženošću kemikalijama iz okoliša otkrilo je da su nedostatak znanja, smjernica utemeljenih na dokazima i alata za komuniciranje rizika faktori koji ograničavaju savjetovanje pacijenata (23). Slično tome, kvalitativna studija provedena među ekološkim kliničarima u Australiji i Novom Zelandu otkrila je značajan nedostatak obrazovnih resursa. Prema rezultatima studije provedene u jugoistočnoj Francuskoj i studije provedene u središnjoj Francuskoj, stručnjaci za perinatalno zdravlje bili su vrlo loše educirani i informirani o učincima čimbenika okoliša na zdravlje stanovništva. Također, kao zaključak studije provedene na Tajlandu preporučeno je jačanje znanja kliničara kako bi se poboljšalo područje pružanja savjeta o zdravlju i utjecajima čimbenika iz okoliša na isto (22).

Upravo zbog utjecaja koji mogu imati na organizam gotovo je sve skupine potrebno dodatno zaštititi od izloženosti štetnim spojevima, odnosno utjecati na smanjenje udjela takvih tvari u svakodnevici čovjeka. U neke od načina moguće je ubrojiti: izbjegavanje grijanja hrane u mikrovalnim pećnicama u plastičnim posudama, izbjegavanje plastične ambalaže za vodu i ostalo piće, prehranu koja sadrži što više svježeg voća i povrća te izbjegavanje hrane iz limenke, pažljivo čitanje deklaracija na proizvodima, provjetravanje prostorija i u kući i na radnom mjestu, izbjegavanje pušenja i dima cigareta, pranje plišanih i drugih igračaka prije prvog korištenja, izbjegavanje plastičnih bočica koje sadrže BPA te izbjegavanje lijekova tijekom trudnoće (22).

Vrlo je važno za istaknuti kako pružatelji zdravstvenih usluga, posebice medicinske sestre i tehničari, mogu igrati značajnu ulogu u smanjenju izloženosti pojedinaca i pacijenata štetnim tvarima iz okoliša. Svijest o potencijalnim učincima i poznavanje izvora štetnih tvari, njihova utjecaja na ljudsko zdravlje, provedivih mjera prevencije i učinkovitog prijenosa informacija smatraju se potrebnima u zaštiti ranjivih skupina, a u slučaju izloženosti BFR-ima posebno trudnica i dojilja te djece (23). Kako bi se smanjila izloženost BFR-ima, potrošači mogu birati proizvode koji ih ne sadrže. Na primjer, kupovati namještaj ispunjen poliesterom, vunom, pamukom ili paperjem, izrađen od drveta ili platna ili s certifikatom o ispunjavanju standarda zapaljivosti bez upotrebe kemikalija, te izbjegavati kupovati proizvode koji sadrže poliuretansku pjenu. Prilikom preuređenja ili izgradnje stambenog prostora ograničiti korištenje tepiha i zastora budući da ovi proizvodi sadrže BFR-ove. Često pranje ruku jedna je od najvažnijih mjera

prevencije gutanja ovih spojeva, posebno za malu djecu koja pužu ili se igraju na podu gdje se nalazi više prašine. Djeca ne bi trebala dirati i stavljati u usta uređaje poput daljinskih upravljača i mobitela, te dolaziti u dodir s proizvodima s oštećenim zaštitnim slojem poput poderanih sjedećih garnitura, madraca, dječjih autosjedalica itd. Dlačice iz sušilice za rublje i vrećice za usisivače sadrže visoku razinu BFR-a, te je poželjno detaljno oprati ruke nakon rukovanja čišćenja uređaja. Uklanjanje prašine usisavanjem, posebno HEPA usisavačem, ili mokrim brisanjem površina, može pomoći u smanjenju razine BFR-a u domu (24).

## 6. ZAKLJUČAK

Opasnosti povezane s požarima, koje prijete u suvremenom svijetu značajno su povećane, prvenstveno zbog povećanja gustoće naseljenosti određenih područja. Kako bi se utjecalo na smanjenje rizika u proizvodnju različitih i vrlo često korištenih proizvoda uključeni su i spojevi čije karakteristike smanjuju opasnost i mogućnost od nastanka požara. Jedni od tih spojeva su i BFR-ovi. Međutim, svojstva ovih spojeva rezultiraju činjenicom da se zadržavaju unutar okoliša, prehrambenog lanca, ali i unutar ljudskog organizma te na takav način predstavljaju i značajan toksikološki problem.

Usvajanjem Stockholmske konvencije značajan broj BFR-a zbog svojih je svojstava zabranjen za korištenje ili je njihovo korištenje vrlo ograničeno. Međutim, iako je to rezultiralo činjenicom da se koncentracija određenih BFR-a smanjuje, važno je istaknuti i kako se isti zamjenjuju drugim spojevima, čija toksičnost i kancerogenost još uvijek nisu u potpunosti ispitane, stoga mogu predstavljati i značajnije razine opasnosti za ljude i okoliš.

Ulogom zdravstvenih djelatnika, prvenstveno medicinskih sestara i tehničara u ovom slučaju se smatra edukacija i prevencija izloženosti pojedinaca štetnim tvarima iz okoliša, a među njima i BFR-ima. Međutim, osnovnom preprekom u izvršavanju ovih zadataka, a kao rezultat nekoliko studija, pokazuje se činjenica kako su razine znanja i educiranosti samih zdravstvenih djelatnika nedovoljne za osvještavanje i posebno rizičnih skupina, kao što su trudnice, dojilje i djeca. Dodatnim ulaganjem napora u edukaciju medicinskog osoblja na svim razinama, a posebno medicinskih sestara i tehničara te osmišljavanjem metoda informiranja stanovništva, s posebnim osvrtom na rizične skupine, svakako bi se moglo utjecati na podizanje razine svijesti o posljedicama izloženosti bromiranim usporivačima gorenja i njihovu utjecaju na ljudsko zdravlje.

## POPIS LITERATURE

1. Fromme H, Becher G, Hilger B, Vokel W. Brominated flame retardants – Exposure and risk assessment for the general population, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2015.
2. Morose G. An overview of alternatives to Tetrabromobisphenol A (TBBPA) and Hexabromocyclododecane (HBCD). Report prepared for the Lowell Center For Sustainable Production, USA. 2006.
3. Dong L, Wang S, Qu J, You H, Liu D. New understanding of novel brominated flame retardants (NBFRs): Neuro (endocrine) toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021;208(1):15-37
4. Čulin, J., Brominated flame retardants: recommendation for different listing under the Hong Kong Convention. *Sci. Total Environ.* 2018;636:919–926.
5. Abou-Elwafa Abdallah M, Environmental occurrence, analysis and human exposure to the flame retardant tetrabromobisphenol-A (TBBP-A)-A review. *Environ. Int.* 2016;94:235–250.
6. Feiteiro J, Marianna M, Cairrao E, Health toxicity effects of brominated flame retardants: From environmental to human exposure, 2021;285:1-30
7. Kojima H, Takeuchi S, Van den Eede N, Covaci A. Effects of primary metabolites of organophosphate flame retardants on transcriptional activity via human nuclear receptors. *Toxicol. Lett.* 2016;245:31–39.
8. Singh V, Cortes-Ramirez J, Toms, LM, Sooriyagoda, T, Karatela S. Effects of Polybrominated Diphenyl Ethers on Hormonal and Reproductive Health in E-Waste-Exposed Population: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022;19(13):7-18.
9. Sharkey, M., Harrad, S., Abdallah, MA., Drage, DS., Berresheim, H., Phasing-out of legacy brominated flame retardants: The UNEP Stockholm Convention and other legislative action worldwide, *Environment International*, 2020;144;1-12
10. Vasiliu O, Cameron L, Gardiner J, DeGuire, P, Karmaus W. Polybrominated biphenyls, polychlorinated biphenyls, body weight, and incidence of adult-onset diabetes mellitus. *Epidemiology*, 2006;352-359.

11. Chang CJ, Terrell ML, Marcus M, Marder ME, Panuwet, P, Ryan PB, Barr DB, Serum concentrations of polybrominated biphenyls (PBBs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the Michigan PBB Registry 40 years after the PBB contamination incident. *Environment international*, 2020;137: 105-526.
12. Barghi M, Shin ES, Kim JC, Choi SD, Chang YS, Human exposure to HBCD and TBBPA via indoor dust in Korea: estimation of external exposure and body burden. *Sci. Total Environ.* 2017;593–594
13. Koch C, Schmidt-Kotters T, Rupp R, Sures B, Review of hexabromocyclododecane (HBCD) with a focus on legislation and recent publications concerning toxicokinetics and -dynamics. *Environ. Pollut.* 2015;199: 26–34.
14. Law RJ, Covaci A, Harrad S, Herzke D, Abdallah MA, Fernie K, Levels and trends of PBDEs and HBCDs in the global environment. *Environ Int* 2014;65:147–58.
15. Lyche JL, Rosseland C, Berge G, Polder A. Human health risk associated with brominated flame-retardants (BFRs). *Environment international*, 2015;74,:170-180.
16. Koike E, Yanagisawa R, Takigami H, Takano H, Brominated flame retardants stimulate mouse immune cells in vitro. *J. Appl. Toxicol.* 2013;33:1451–1459.
17. Saegusa Y, Fujimoto H, Woo GH, Ohishi T, Wang L, Mitsumori K, Nishikawa A, Shibutani M., Transient aberration of neuronal development in the hippocampal dentate gyrus after developmental exposure to brominated flame retardants in rats. *Arch. Toxicol.* 2012;86:1431–1442.
18. Darnerud PO. Toxic effects of brominated flame retardants in man and in wildlife. *Environment international*, 2003;29(6), 841-853
19. Dunnick JK, Shockley KR, Pandiri AR, Kissling GE, Gerrish KE, Ton TV, Morgan DL, PBDE-47 and PBDE mixture (DE-71) toxicities and liver transcriptomic changes at PND 22 after in utero/postnatal exposure in the rat. *Archives of toxicology*, 2018;92, 3415-3433.
20. Siddiqi MA, Laessig RH, Reed KD. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): new pollutants–old diseases. *Clinical medicine & research*, 2003;1(4);281-290.



21. Jakšić K, Sarić MM, Čulin, J. Nursing students' knowledge and attitudes regarding brominated flame retardants from three Croatian universities. *Journal of Health Research*, 2020;36(2), 289-299.
22. Völker M, Hunchangsith P, Drivers of physicians' engagement in addressing eco-health problems. *Ecohealth* 2018;15:853–863.
23. Jakšić K, Matek Sarić M, Čulin, J. Knowledge and attitudes regarding exposure to brominated flame retardants: a survey of Croatian health care providers. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020;27:7683-7692.
24. McDermott-Levy, R., Jackman-Murphy, K. P., & Cantu, A. G. Environmental health in nursing. *International Journal of Radiation Biology*, 2022;91(7), 555-561.

## POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1. Kemijska struktura heksabromociklododekana (HBCD) (6) .....	3
Slika 2. Kemijska struktura tetrabromobisfenola (TBBPA) (6) .....	4
Slika 3. Kemijska struktura polibromiranih difenil etera (PBDE) (8).....	5
Slika 4. Kemijska struktura polibromiranih bifenila (PBB) (10) .....	7