

Conference Paper / Review

POSljedICE RATA KAO POTENCIJALNA OPASNOST ZA EKOSUSTAV KRŠKOG DIJELA HRVATSKE

Mladen PICER¹, Nena PICER¹, Violeta ČALIĆ¹, Vedranka HODAK KOBASIĆ¹ i
Zdenka CENCIĆ KODBA²

*Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska¹,
Zavod za zdravstveno varstvo, Maribor, Slovenija²*

Primljeno u veljači 2006.

Prihvaćeno u lipnju 2006.

Tijekom nedavnog rata krško područje Hrvatske bilo je ugroženo opasnim otpadom pa zahtijeva osobitu pažnju zbog izuzetne ekološke osjetljivosti. Postoje čvrste naznake da su različita organska zagađivala dospjela u okoliš. Također se pretpostavlja da je ulje koje sadržava poliklorirane bifenile (PCB) proliveno na nekoliko lokacija. Nakon prodiranja u okolinu, ovi se spojevi brzo apsorbiraju u tlu, sedimentu ili se bioakumuliraju u organizmima vodenog ekosustava.

Uzimajući u obzir lokacije uništenih trafostanica u Zadru, Bilicama i Dubrovniku, postojala su nagađanja o daljnjem prodiranju organohalogeniranih otrovnih tvari i potencijalnoj ugroženosti Vranskog jezera te obalnog mora oko Zadra, Šibenika i dubrovačkog područja. Sedimenti i neki vodeni organizmi skupljeni su sa spomenutih područja i analizirani. Rezultati su pokazali da ne postoji značajna zagađenost, odnosno nisu utvrđene visoke razine ovih zagađivala u područjima Vranskog jezera, grada Šibenika i Dubrovnika (lokacija Petka), dok je u zaljevu Mikulandra blizu Šibenika, Rijeci Dubrovačkoj, Brodanovu i Marini blizu Vruljice u Zadru, opažena značajno viša razina PCB-a. Iz tih razloga tijekom 2002. do 2005. godine vršena su mnogobrojna uzorkovanja i analiza ovih spojeva u zraku, zemljištu, sedimentima i organizmima zadarskog i dubrovačkog područja unutar projekta APOPSBAL koji je financirala Europska komisija. Rezultati ovih istraživanja prikazani su u ovome radu.

KLJUČNE RIJEČI: *krš, organohalogenirane otrovne tvari, poliklorirani bifenili, projekt APOPSBAL, sedimenti, trafostanice, vodeni organizmi*

Tijekom nedavnog rata, krško područje Hrvatske bilo je ugroženo opasnim otpadom pa zahtijeva osobitu pažnju zbog izuzetne ekološke osjetljivosti (1, 2). Postoje čvrste naznake da su različita organska zagađivala dospjela u okoliš. Također se pretpostavlja da je ulje koje sadržava poliklorirane bifenile (PCB) proliveno na nekoliko lokacija. Nakon prodiranja u okolinu, ovi se spojevi vrlo efikasno apsorbiraju u tlu i sedimentu te se bioakumuliraju u organizmima terestričkog i vodenog ekosustava (3-5).

Istraživanja utjecaja rata i ratnog otpada na ugroženost vodenih ekosustava u području krške

Hrvatske započela su u Institutu "Ruđer Bošković" tijekom 1993. godine. Godine 1995. ta su se istraživanja proširila uključanjem i drugih ustanova kao i Hrvatske vojske, što je rezultiralo opsežnim elaboratom (6). Godine 1996. izvršena su uzorkovanja zemljišta na područjima trafostanica koje su oštećene tijekom rata, a postojale su indicije da bi mogle biti kontaminirane polikloriranim bifenilima. Isto tako, na nizu lokaliteta u Lici (od Plitvičkih jezera do Udbine) uzorkovani su uzorci zemlje i sedimenta radi analize PCB-a. Iz dobivenih rezultata se zaključilo da su lokacije transformatorskih stanica Zadra i Šibenika

vrlo značajno zagađene polikloriranim bifenilima (7). S obzirom na krševitost istraživanih lokaliteta postojala je mogućnost prodora ovih vrlo opasnih zagađivala u okolno more pa i u Vransko jezero, tako da su tijekom 1997. do 1999. godine nastavljena istraživanja ovih zagađivala u spomenutim ekosustavima (8, 9). Premda područje Rijeke Dubrovačke (osim marine kod Komolca) nije pokazivalo tako jako zagađenje polikloriranim bifenilima kao područje Zadra, tijekom 1999. godine detaljnije smo istražili na 11 pozicija sadržaj PCB-a u sedimentima Rijeke Dubrovačke (10). Iz dobivenih rezultata istraživanja sadržaja polikloriranih bifenila u sedimentu Rijeke Dubrovačke opažena je njihova izvanredno visoka razina u sedimentu postaje kod Sustjepana, što bi moglo upućivati na to da je negdje u blizini deponiran kontaminiran građevinski otpad nastao prilikom sanacije trafopostrojenja u Komolcu. Za sufinanciranje nastavka ovih istraživanja, u rujnu 2002. godine uspjeli smo zaključiti ugovor s Europskom komisijom o istraživanju posljedica ratnog otpada na ugroženost akvatičkih ekosustava ne samo u Hrvatskoj već i na području BiH, Kosova i SiCG (Projekt APOPSBAL). Unutar Projekta glavina istraživanja u Hrvatskoj zbiva se na području Zadra i Rijeke Dubrovačke, kao najugroženijem području u krškom dijelu Hrvatske. Osim toga što se tiče ratnih područja u Hrvatskoj, istraživanja se provode i u Zapadnoj Slavoniji. U ovim istraživanjima u Hrvatskoj sudjeluju znanstvenici (osim IRB-a) iz Geološkog zavoda Zagreb, zatim iz Austrije, Češke, Grčke i Slovenije. U nekim terenskim radovima sudjeluje i Zavod za javno zdravstvo u Zadru.

PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I METODOLOGIJA

Područje Rijeke Dubrovačke

Na slici 1 prikazano je istraživano područje Rijeke Dubrovačke i pozicija trafostanice TS 110/35/10 kV "Komolac" s postajama na sljedećim lokalitetima: Rezervat (RZ), ušće potoka Slavijana (SL) i marina (MA) uzorkovani su 1997. godine, dok je na postajama od DU 1 do DU 11 uzorkovanje sedimenata izvršeno 1999. godine.

Kopneno područje u blizini obale Rijeke Dubrovačke građeno je od vrlo propusnog vapnenca, vrlo je specifičnih hidrogeoloških karakteristika. Zbog toga, osobito u vrijeme kišne sezone, dolazi do jakog utjecaja slatkih voda s kopna. Transport alohtonog neorganskog i organskog materijala povećan je osobito



Slika 1 Područje istraživanja Rijeke Dubrovačke s postajama skupljanja sedimenata 1997. i 1999. godine

na području Rijeke Dubrovačke. Relativno duboko uvučeno u kopno, na Rijeci Dubrovačkoj smještena je prilično velika marina u gotovo neposrednoj blizini dragocjenog dijela Rijeke Dubrovačke poznatog kao Rezervat biljnog i životinjskog svijeta.

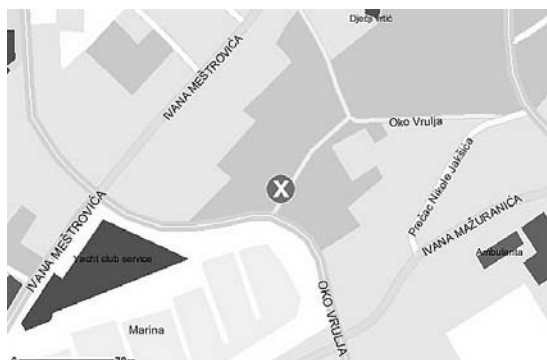
Područje grada Zadra

Na slikama 2 i 3 prikazane su karte istraživanog područja. Na slici 2 oznakom X označen je položaj oštećene trafostanice, dok je na slici 3 istom oznakom označen približan položaj uzorkovanja sedimenta potoka Vruljice i okolnog tla.

Uzorci riba i dagnji skupljali su se na obalnom području od Puntamike (Borik) na sjeverozapadu do Gaženice na jugoistoku grada Zadra. Na tome su području tri veće marine za jahte (slika 3), putnička i teretna luka te nekoliko pogona prehrambene i kemijske industrije. Dio gradskih otpadnih voda odvodi se kanalizacijskim sustavom u more na



Slika 2 Karta područja grada Zadra s oznakom položaja oštećene trafostanice



Slika 3 Detalj položaja marine kod potoka Vruljice u gradu Zadru

području Kolovara, a postoji još niz manjih ulaza otpadnih i industrijskih voda, koje se deponiraju u blizini obalne linije kao što je to u Jazinama.

Analiza PCB-a i DDT-a u uzorcima tla i briseva

Postupak analize suradnika Instituta Ruđer Bošković sastojao se u ovome: uzorci tla i sedimenta osušeni su na sobnoj temperaturi. Uzorci tla su prosijani kroz sito promjera pora 2 mm, a sedimenta kroz sito 0,062 mm. Homogeni prosijani uzorci ekstrahiraju se s pomoću ASE 200 ekstraktora sa smjesom otapala heksan i aceton (1:1), pri tlaku od 2000 psi (14 MPa) i temperaturi 373 K (11).

Ekstrakcija uzoraka briseva asfaltne podloge vršena je upotrebom ultrazvučne kupelji.

Analička metoda upotrijebljena za analizu ekstrakata uključuje filtraciju preko kolone bezvodnog Na_2SO_4 , čišćenje propuštanjem preko kolone neutralnog Al_2O_3 te separaciju PCB-a od organokloriranih insekticida na minijaturnoj silikagelskoj koloni (12). Za određivanje i karakterizaciju kloriranih ugljikovodika rabljena je plinskromatografska metoda uz primjenu detektora zahvata elektrona (GC-ECD). Kao interni standard tijekom cijelog postupka upotrebljavan je Mirex (13).

Istraživačka skupina iz Zavoda za zdravstveno varstvo, Maribor (ZZVM), koja je sudjelovala u provedenim ispitivanjima, koristi se sljedećom metodom analize PCB-a u uzorcima sedimenata i tla: homogenizirani, na zraku osušeni i prosijani probni uzorak (1 g) ekstrahira se sa smjesom otapala (n-heksan, cikloheksan i aceton) snažnim mućkanjem na tresilici i u ultrazvučnoj kupelji. Postupak ekstrakcije se ponovi dva puta i ekstrakti se spoje. Nakon sušenja s bezvodnim natrijevim sulfatom ekstrakt se koncentrira i čisti kiselo-bazičnim silikagelom. Ako je potrebno, elementarni sumpor se uklanja iz koncentriranoga heksanskog eluata tako što se tretira

elementarnim bakrom. Ekstrakt se analizira plinskom kromatografijom koristeći se dvojnim sustavom kolona, dvjema kolonama različitih polariteta (GC/ECD/ECD) i jednim S/SL (split/splitless) injektorom. Opisana metoda rabi se za kvantitativno određivanje polikloriranih bifenila u tlu u skladu s ISO 10382.

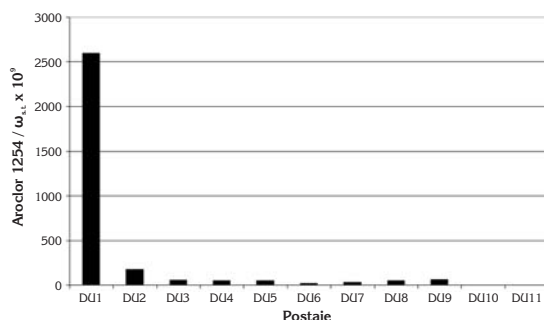
Pouzdanost podataka

Radi provjere pouzdanosti metode (osobito u prijašnjim vremenima dok nisu bili dostupni referentni standardi visokomolekularnih kloriranih ugljikovodika u nizu matriksa akvatičkih ekosustava), od osobite je važnosti sudjelovanje u interkalibracijskim vježbama. Radi evaluacije metoda analize kloriranih ugljikovodika u raznim matriksima morskog ekosustava do sada je istraživačka skupina iz IRB-a sudjelovala u nizu interkalibracijskih vježbi u kojima su sudjelovali samo mediteranski laboratoriji, kao i u interkalibracijama gdje su uz mediteranske laboratorije sudjelovali i laboratoriji izvan Mediterana. U tim interkalibracijskim vježbama postignut je vrlo dobar uspjeh laboratorija IRB-a, jer tokom sudjelovanja u 13 interkalibracijskih vježbi ni jedan rezultat nije odstupao za više od 2 standardne devijacije od hipotetske sredine, prema tome dobiveni su uvijek pouzdani rezultati. Od ukupno 56 laboratorija iz 14 zemalja Mediterana koji su sudjelovali u interkalibracijskim vježbama analize kloriranih ugljikovodika, u akvatičkim uzorcima ovaj je laboratorij uvršten u listu šest pouzdanih laboratorija mediteranskih zemalja (jedini iz Hrvatske i bivše Jugoslavije) (14, 15). Istraživačke skupine iz IRB-a i ZZVM-a interkalibrirale su svoje metode unutar projekta APOPSBAL pri čemu su dobiveni dobro usporedivi rezultati (16).

REZULTATI I RASPRAVA

Područje Rijeke Dubrovačke

Budući da smo u razgovoru s lokalnim stanovništvom doznali da je dio otpadnoga građevinskog materijala iz razorene trafostanice u Komolcu odvezen na obalu Rijeke Dubrovačke prema Sustjepanu, 1999. godine pristupilo se uzorkovanju sedimenata na 11 postaja duž Rijeke Dubrovačke (slika 1) radi analize sadržaja PCB-a. Na postaji DU 1 u blizini Sustjepana nađena je značajna razina PCB-a od $2594 \omega_{m.t.} \times 10^9$ (slika 4). Sumnja se da je to posljedica odlaganja otpadnog materijala nakon sanacije ratom razorene trafostanice u Komolcu, na čijem je području tijekom prethodnih



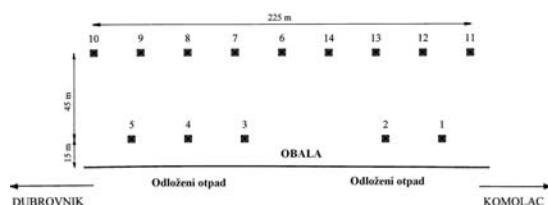
Slika 4 Prikaz razina ukupnih PCB-a izraženih u ekvivalentima Aroclora 1254 u sedimentima skupljenim tijekom 1999. godine u Rijeci Dubrovačkoj

istraživanja zabilježena razina PCB-a od 2136 $\omega_{m.t.} \times 10^9$ u tlu udaljenom dvadesetak metara od pogođene kondenzatorske baterije (17). Dok u blizini položaja pogođene trafostanice u Komolcu nisu dobivene značajno povišene vrijednosti PCB-a ni u sedimentima, a ni u biološkim materijalima skupljenim 1997. godine, to se ponovilo i u sedimentima skupljenim 1999. godine na bliskim postajama (postaje DU 8 do DU 11). Međutim, približavanjem prema postaji DU 1 dolazi do povišenja razina PCB-a s najvišom razinom na postaji DU 1. Zbog povišene razine ovih opasnih zagađivala u sedimentu u blizini deponiranog otpada (slika 5), 2002. godine uzorkovano je nekoliko uzoraka upravo toga površinskog otpadnog materijala. Otpad iz trafostanice Komolac vjerojatno nije na površini deponiranog materijala, tako da razine PCB-a i organoklornih insekticida u otpadnom materijalu nisu pokazale značajnije povišene razine PCB-a [(14 do 63) $\omega_{m.t.} \times 10^9$], ali su opažene povišene razine DDT-a (351 $\omega_{m.t.} \times 10^9$). To bi se moglo protumačiti intenzivnijom uporabom ovog insekticida u objektu i/ili objektima čiji je građevinski otpad na istraživanom lokalitetu obale Rijeke Dubrovačke. Zbog rezultata analiza sedimenata

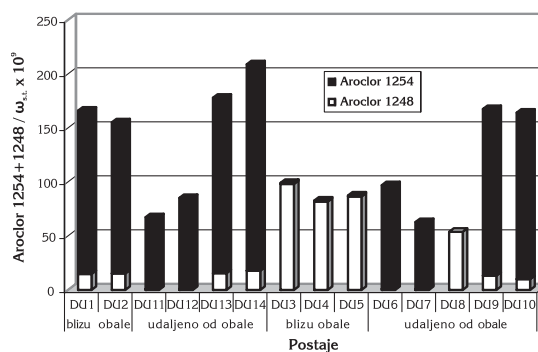


Slika 5 Fotografija obalnog stovišta otpada u blizini Sustjepana

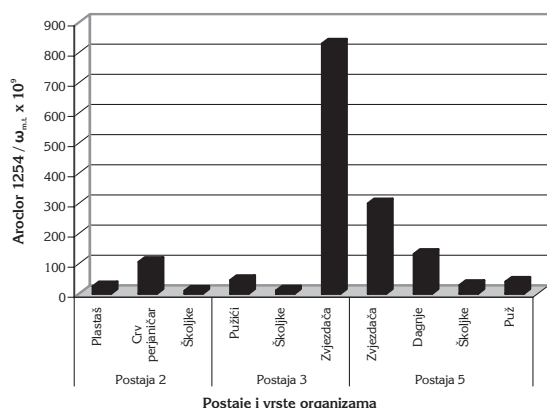
iz 1999. godine, 2003. godine napravljeno je detaljnije istraživanje područja oko Sustjepana u blizini postaje DU 1 (sheme pozicija uzorkovanja prikazane su na slici 6). Rezultati analiza PCB-a u sedimentima tog lokaliteta prikazani su grafički na slici 7. Rezultati analiza PCB-a u sedimentima upućuju na povećanu zagađenost tog lokaliteta. U nekoliko uzoraka sedimenata opažena je povišena razina PCB-a (209 $\omega_{m.t.} \times 10^9$ na postaji 14). Uzorci s postaja 3, 4, 5 i 8 imaju gotovo 100 %-tnu raspodjelu PCB-a prema Arocloru 1248. Poznato je da ta komercijalna smjesa PCB kongenera po svom sadržaju polikloriranih bifenila sličij uljima koja se rabe u kondenzatorima. Prve se tri postaje i nalaze na obali u blizini odloženog otpada, a rezultat analize postaje 8 može biti posljedica širenja zagađenja s obale (18). Sve ovo prikazano upućuje na to da je mogući izvor zagađenja PCB-ima tog područja odloženi otpad na obali, podrijetlom od razrušene trafostanice Komolac. Godine 2003. analizirani su i mekušci na lokaciji oko Sustjepana, kao dobri pokazatelji zagađenosti nekog područja te su rezultati analiza PCB-a prikazani na slici 8. Na postajama 3 i 5 kod uzoraka zvjezdača uočene su povišene razine PCB-a, 829 $\omega_{m.t.} \times 10^9$ odnosno 299 $\omega_{m.t.} \times 10^9$. Iako ostali organizmi na istraživanim pozicijama nisu imali značajnije razine PCB-a, razina ovih zagađivala u zvjezdačama još je jedna potvrda sumnji da izvorište zagađenja PCB-ima postoji u ovom dijelu Rijeke Dubrovačke, vjerojatno odloženi otpad



Slika 6 Prikaz postaja skupljanja sedimenata i sesilnih organizama u blizini Sustjepana



Slika 7 Usporedba razina PCB-a u sedimentima s područja Sustjepana izraženih u ekvivalentima Aroclora 1254 i Aroclora 1248

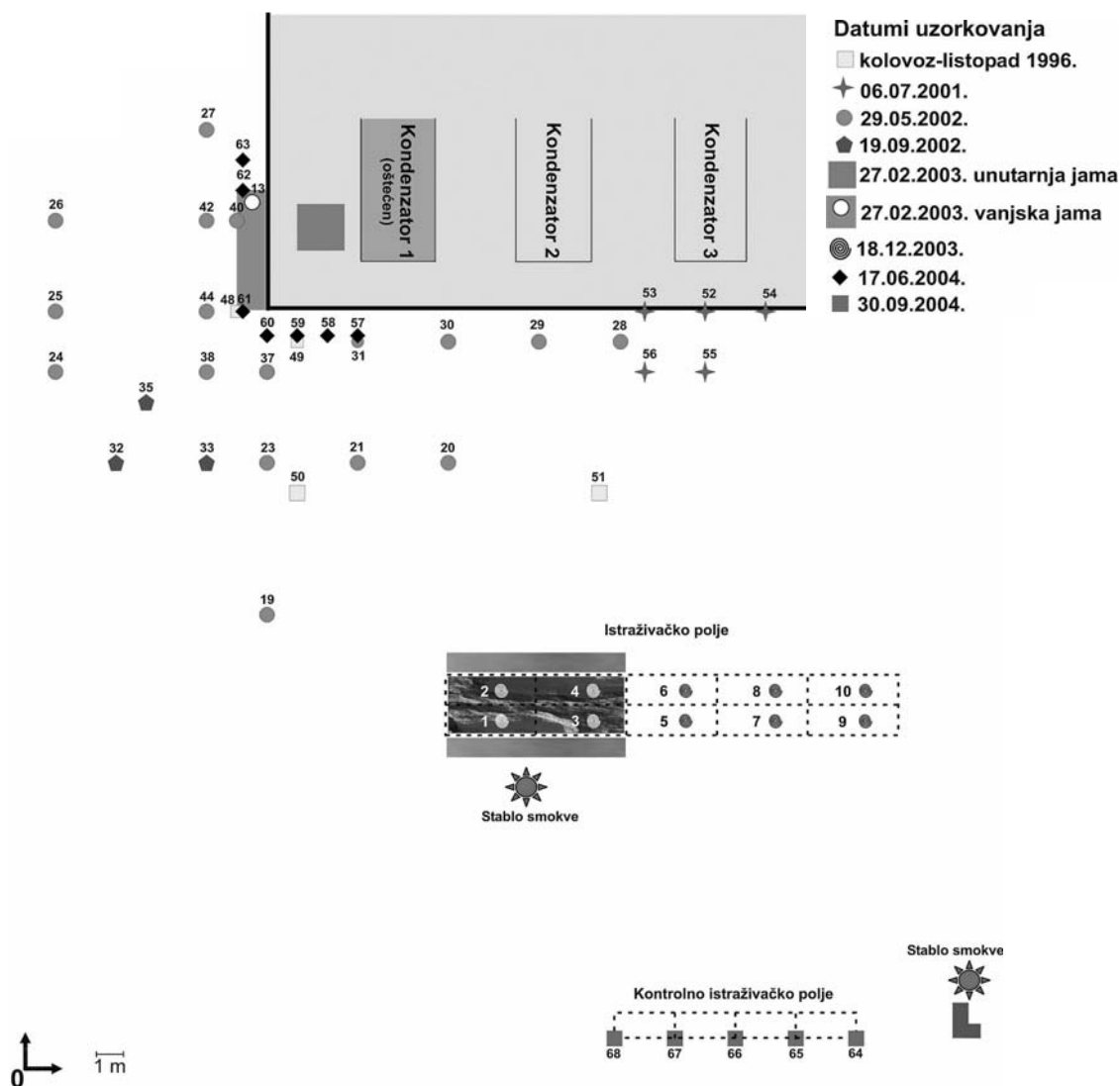


Slika 8 Usporedba razina PCB-a u sesilnim organizmima s područja Sustjepana

na samoj obali Rijeke Dubrovačke kod Sustjepana (19, 20).

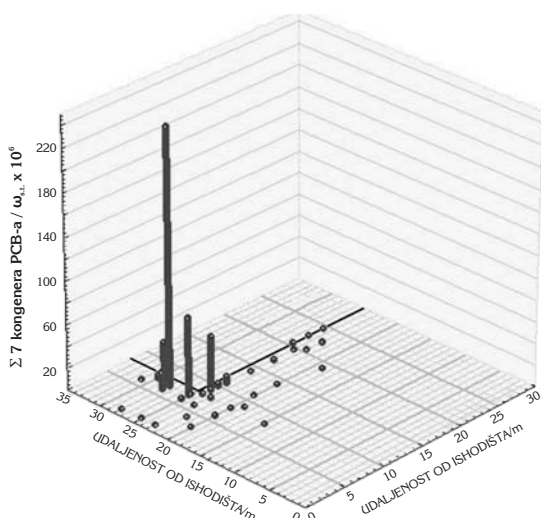
Područje grada Zadra

Slika 9 prikazuje postaje skupljanja uzoraka tla na području trafostanice Zadar u rasponu od 1997. do 2004. godine. Ujedno su prikazani položaji istraživačkih i kontrolnih remedijacijskih gredica, dok je na slici 10 prikazana prostorna raspodjela razina PCB-a u tako skupljenim uzorcima. Raspršenost razina PCB-a u uzorcima tla oko oštećenog kondenzatora (K1) pokazuje vrlo značajno smanjenje razina PCB-a samo nekoliko metara od točke zagađenosti. Zacijelo je površinsko prostiranje prolijevanog ulja bilo vrlo



Slika 9 Prikaz postaja skupljanja uzoraka tla na području trafostanice Zadar u rasponu od 1997. do 2004. godine. Ujedno su prikazani položaji istraživačkih i kontrolnih remedijacijskih gredica

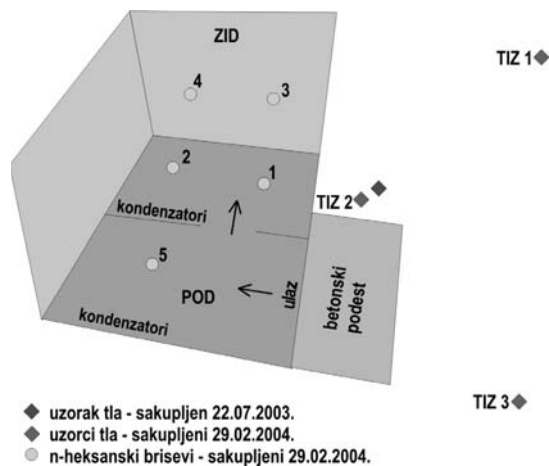
ograničeno na promatranom području i udaljavanjem svega nekoliko metara od "žarišta" zagađenja, značajno se smanjuju razine PCB-a. Godine 2003. dio zemljišnog materijala do dubine oko 25 cm odstranio se oko najzagađenijeg dijela tla i promiješao radi formiranja istraživačkih remedijacijskih gredica (ukupan volumen oko 6 m³, međutim, razine PCB u tako izmješanom tlu bile su i te kako značajne (oko 70 $\omega_{s.t.}$ x 10⁶ PCB u ekvivalentima Aroclora 1248).



Slika 10 Prostorna usporedba razina PCB-a u uzorcima tla skupljenim s područja trafostanice Zadar u rasponu od 1997. do 2004. godine

Kao što je i prije spomenuto, Zadar se nalazi na krševitom, poroznom tlu te je povećana mogućnost premještanja eventualno izlivenih PCB-a kroz takav medij do obalnog mora (21-24). Zbog postojanja sumnji o mogućem dotoku prolivenih zagađivala, u sklopu projekta APOPSBAL, provedena su istraživanja razine zagađenja nekoliko lokacija u gradu Zadru. Na slici 11 prikazane su postaje skupljanja tla i heksanskih briseva s područja bivše Tekstilne industrije Zadar (TIZ), dok su na tablici 1 navedene razine PCB-a u uzorcima tla skupljenim tijekom 2003. i 2004. godine na području grada Zadra. Na tablici 2 prikazane su razine PCB-a u uzorcima n-heksanskih briseva betonskih i gumenih površina u trafostanicama TIZ i BAGAT skupljenim tijekom 2004. godine.

Može se uočiti da razine PCB-a u tlu pojedinih lokaliteta u gradu Zadru (park Donat, tvornica Adria, hidrometeorološka stanica) nisu značajno različite u usporedbi s područjem planinskog vrha Zavižan na Velebitu koji je uzet kao referentno nezagađeno područje. Međutim već u uzorcima tla iz tvornice BAGAT i sa stovarišta metalnog otpada nalazimo



- ◆ uzorak tla - sakupljen 22.07.2003.
- ◆ uzorci tla - sakupljeni 29.02.2004.
- n-heksanski brisevi - sakupljeni 29.02.2004.

Slika 11 Prikaz postaja skupljanja tla i heksanskih briseva s područja bivše Tekstilne industrije Zadar (TIZ)

povišene razine PCB [raspon: (3 do 6) $\omega_{s.t.}$ x 10⁶ PCB-a]. Rezultati analiza uzoraka skupljenih unutar tvornice TIZ (Tekstilna industrija Zadar) zabrinjavaju. Razine PCB-a u dva uzorka tla izrazito su visoke: TIZ 1 453 $\omega_{s.t.}$ x 10⁶, a TIZ 3 976 $\omega_{s.t.}$ x 10⁶ PCB-a.

U uzorcima tla s odlagališta u luci Gaženice nađene su razine PCB-a niže od 1 $\omega_{s.t.}$ x 10⁶. Važno je napomenuti da je to područje velike površine. Na tom su prostoru odložene stotine kamiona različitoga građevinskog otpada i postoji mogućnost da ima otpada zagađenog polikloriranim bifenilima. Iz tog razloga rezultati analiza triju uzoraka tla nikako ne mogu pokriti cijelo područje nasipnog materijala.

Tablica 1 Razine PCB-a ($\omega_{s.t.}$ x 10⁶) u uzorcima tla skupljenim tijekom 2003. i 2004. godine na području grada Zadra

Mjesto uzorkovanja	Datum uzorkovanja	Ukupni PCB	Σ 7 PCB*
Tvornica Adria	13.05.2003.	0,01	0,004
Park Donat	13.05.2003.	0,01	0,005
Hidrometeorološka stanica	13.05.2003.	0,03	0,006
Zavižan Velebit	13.05.2003.	0,02	0,008
Tvornica TIZ 1	22.07.2003.	453	118
Tvornica TIZ 2	29.02.2004.	3,08	0,78
Tvornica TIZ 3	29.02.2004.	976	243
Tvornica TIZ 4	29.02.2004.	12,81	4,88
Tvornica BAGAT-NRP II	29.02.2004.	4,86	2,06
Tvornica BAGAT-TS III	29.02.2004.	0,89	0,07
Otpad luka Gaženice 1	29.02.2004.	0,1	0,01
Otpad luka Gaženice 2	29.02.2004.	0,1	0,02
Otpad luka Gaženice 3	29.02.2004.	0,1	0,004
Metalni otpad 1	29.02.2004.	3,06	0,18
Metalni otpad 2	29.02.2004.	7,49	1,53
Metalni otpad 3	29.02.2004.	6,12	1,05

*7 kongenera (IUPAC nomenklatura) PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153 i PCB-180)

Tablica 2 Razine PCB-a ($ng\ cm^{-2}$) u uzorcima n-heksanskih briseva betonskih površina, skupljenim tijekom 2004. godine u trafostanicama tvornica TIZ i BAGAT

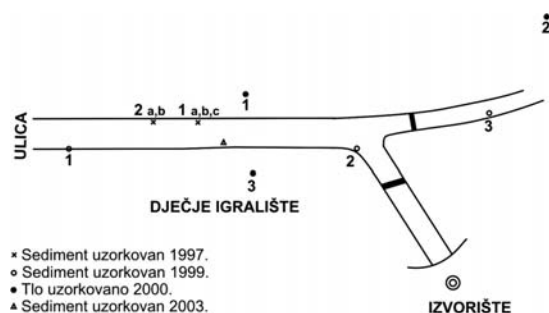
Mjesto uzorkovanja	Datum uzorkovanja	Ukupni PCB	Σ 7 PCB
BAGAT TS I-1	29.02.2004.	350	137
BAGAT TS I-2	29.02.2004.	18	5
BAGAT TS I-3	29.02.2004.	30	10
BAGAT TS I-4	29.02.2004.	11	8
BAGAT NRP II	29.02.2004.	164	59
BAGAT TS II pod	29.02.2004.	704	225
BAGAT TS III pod	29.02.2004.	14	2
ETS TIZ 1 pod	29.02.2004.	577	198
ETS TIZ 2 pod	29.02.2004.	945	378
ETS TIZ 3 zid	29.02.2004.	3008	1300
ETS TIZ 4 zid	29.02.2004.	3918	1720
ETS TIZ 5 pod	29.02.2004.	3488	1105

Trebalo bi napraviti sistematičniju analizu zagađenosti tog područja PCB-ima. Ako se potvrdi izlijevanje PCB-a, trebalo bi pratiti njihovo eventualno prodiranje u more oko luke Gaženice.

Za detaljniju i sigurniju procjenu eventualnih zagađenja unutar tvorničkih kompleksa TIZ i BAGAT, 2004. godine su se osim uzoraka tla skupili i uzorci briseva betonskih i gumenih površina u trafopostrojenjima tih tvornica. Na tablici 2 prikazani su rezultati njihovih analiza na PCB.

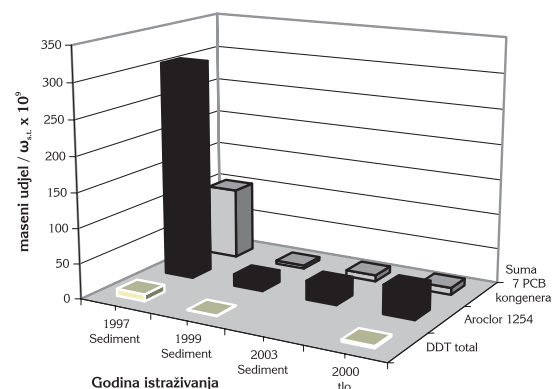
Uočavaju se visoke razine PCB-a u uzorcima briseva skupljenim unutar ETS TIZ. Unutar te trafostanice vjerojatno je došlo do izlijevanja ulja iz oštećenih kondenzatora. Ti rezultati objašnjavaju i visoke razine PCB-a u tlu ispred ETS TIZ.

Kako je u uzorcima sedimenata, mekušaca i riba opažena izrazito visoka razina PCB-a u marini kod potoka, kao i u samome potoku Vruljice, to su i nakon toga nastavljeni istraživanja razine PCB-a toga područja. Na slici 12 prikazan je položaj skupljanja sedimenata i tla na području potoka Vruljice u rasponu od 1997. do 2003. godine, dok su na slici



Slika 12 Prikaz postaja skupljanja sedimenata i tla na području Vruljice u Zadru

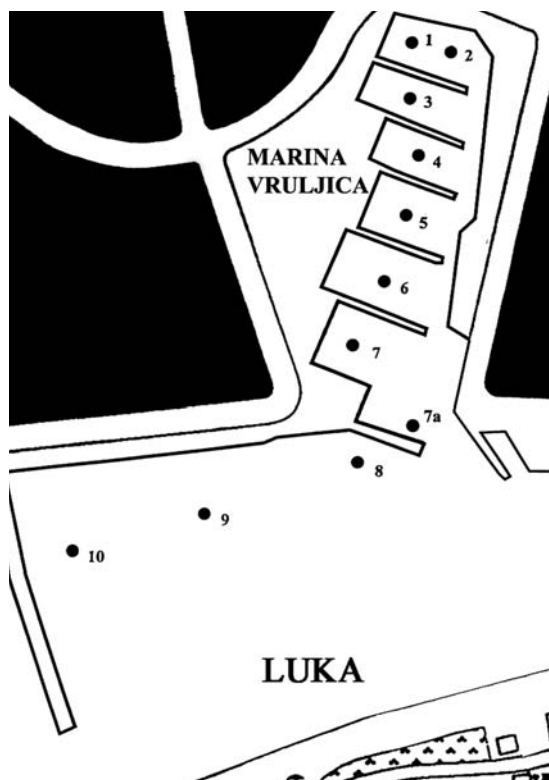
13 prikazane geometrijske sredine dobivenih rezultata u ekvivalentima Aroclora 1254 i sume 7 ključnih kongenera PCB-a. Radi usporedbe prikazane su i razine DDT-a. Uočljiv je nagli pad razine PCB-a 1999. godine u usporedbi s 1997. godinom. Raspitivanjem kod mjesnog stanovništva doznali smo da se tijekom 1999. godine obavljalo veliko ispiranje donjeg dijela potoka Vruljice te bi se kao posljedica toga moglo protumačiti i naglo opadanje razine PCB-a u sedimentima potoka. Kako ni u obližnjem tlu, a ni u samome vrelu nisu pronađene značajnije razine PCB-a, to su vjerojatno povišene razine PCB-a u sedimentima potoka Vruljice opažene 1997. godine posljedica nadiranja vode obližnje marine značajno zagađene polikloriranim bifenilima.



Slika 13 Usporedba geometrijskih sredina razina PCB-a i ukupnog DDT-a u uzorcima sedimenata s potoka Vruljice i okolnog tla

Poliklorirani bifenili su lipofilne supstancije praktički nerazgradljive biološkim i abiološkim procesima u morskom sedimentu. Povrh toga sediment ima moć integracije zagađivala kroz dulje razdoblje. Zbog toga su istraživanja zagađenosti sedimenta nekog akvatorija od posebnog interesa. S obzirom na to da sediment na neki način integrira sadržaj zagađenja određenog područja, i to osobito adsorbilnih zagađivala kao što su poliklorirani bifenili, to je u ovim istraživanjima osobita pažnja posvećena ovom dijelu obalnog ekosustava priobalnog mora grada Zadra.

Na slici 14 prikazane su postaje skupljanja sedimenata s područja marine kod Vruljice 1999. i 2003. godine. Kao što je vidljivo iz slike 15 nema značajnijih razlika u razinama PCB-a u sedimentima marine kod Vruljice skupljenim 1999. i 2003. godine osim u slučaju postaje 6. Kako je razina PCB-a u sedimentima često vrlo nejednoliko raspoređena, to i veoma mali pomak od prethodno uzorkovane

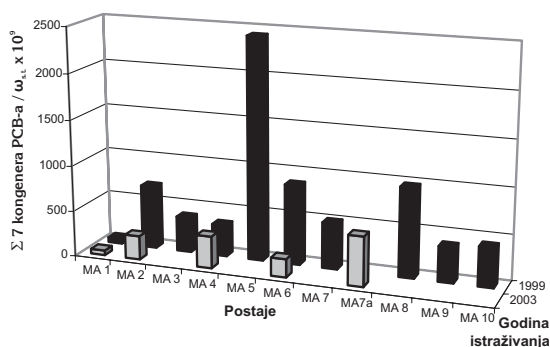


Slika 14 Prikaz postaja skupljanja sedimenata s područja marine kod Vruļjice 1999. i 2003. godine

postaje može dovesti do veoma razliĉitih razina PCB-a (25, 26).

Tijekom 2004. godine skupljen je velik broj uzoraka sedimenata s područja obalnog mora grada Zadra i rezultati razine PCB-a u površinskom i dubinskom sloju prikazani su na slici 16.

Kao što vidimo osobito su opažene povišene razine PCB-a na području Jazina, tj. na području koje se nalazi u blizini bivše Tekstilne industrije Zadar i putniĉke luke.



Slika 15 Usporedba razina PCB-a u uzorcima sedimenata skupljenim s područja marine kod Vruļjice 1999. i 2003. godine. Razine PCB-a prikazane su kao suma 7 kongenera.

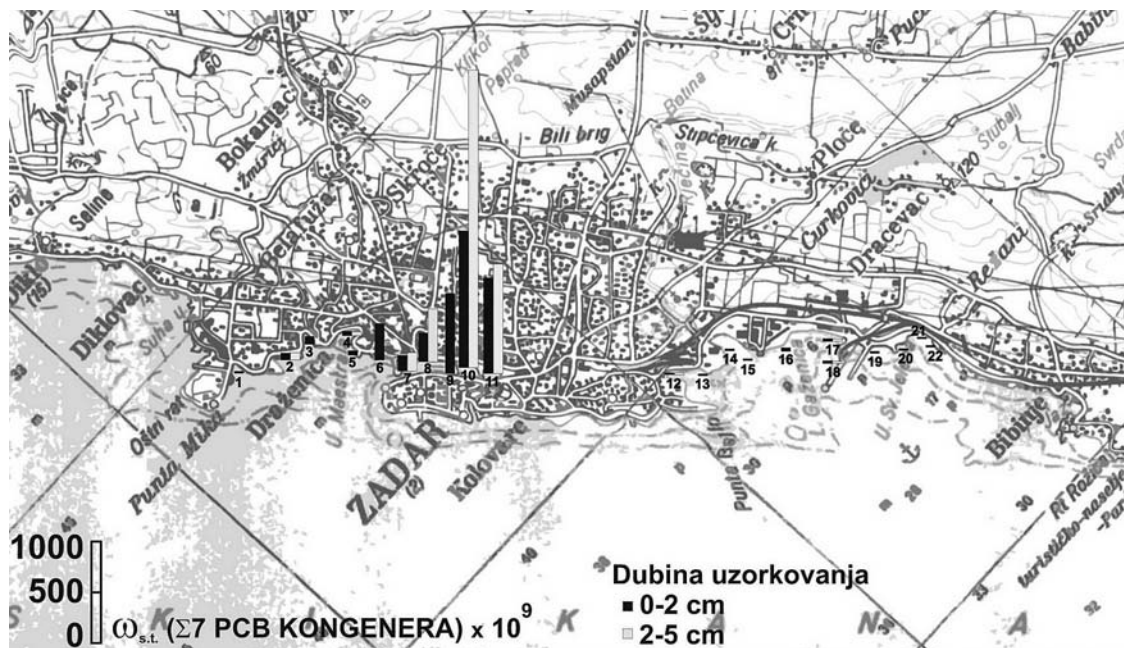
Nađene su vrlo visoke razine u Jazinama površinskog sloja sedimenta (suma 7 PCB-a ω_{st} x 10^9 je 1350). Interesantno je da su vrlo visoke razine nađene i u dubljim (2 cm do 5 cm) slojevima sedimenta u Jazinama (suma 7 PCB-a ω_{st} x 10^9 je 3284), što upućuje na višegodišnju akumulaciju zagađivala u naslazi istraživanih sedimenata. Općenito možemo zaključiti da rezultati analiza razina PCB-a u površinskom i dubinskom sloju sedimenta s područja Jazina pokazuju povećanu zagađenost tog lokaliteta u usporedbi s ostalim istraživanim područjima priobalja Zadra.

Na tablici 3 prikazane su razine PCB-a i DDT-a u uzorcima površinskih i dubljih slojeva sedimenata na području obalnih voda grada Zadra skupljenim od 1997. do 2004. godine. Ako ih usporedimo s podacima iz Rijeĉkog zaljeva i u nekoliko zona Mediterana, oĉito je da su razine DDT-a u priobalnim sedimentima istraživanog područja uglavnom niže u usporedbi s razinama u Mediteranu, Jadranu pa i Rijeĉkom zaljevu (4, 27). Međutim, razine PCB-a su znatno više u odnosu na DDT te bi se moglo reći da odgovaraju zagađenijim

Tablica 3 Razine PCB-a i ukupnog DDT-a (ω_{st} x 10^9) u uzorcima morskih sedimenata skupljenim od 1997. do 2004. godine na području grada Zadra

God.	Lokacija i dubina uzorka	Zagađivalo	Min.	Max.	Geom. sred.	Broj postaja	Broj uzoraka
1997.	Brodanovo, Kolovare, (0 do 2) cm	Ar 1254	30,00	2203	185	2	4
		Σ 7 PCB	10,00	734	61,53	2	4
		Ukupni DDT	1,15	3,50	2,39	2	3
1999.	Brodanovo, (0 do 29) cm	Ar 1254	4,18	35,92	10,00	4	4
		Σ 7 PCB	4,55	21,04	8,36	4	4
		Ukupni DDT	N.A.	N.A.	N.A.	-	-
2004.	Obalna zona, (0 do 2) cm	Ar 1254	52,50	4050	170	22	22
		Σ 7 PCB	17,50	1350	56,64	22	22
		Ar 1254	52,50	8814	343	9	9
	Obalna zona, (2 do 5) cm	Σ 7 PCB	17,50	2938	114	9	9

N.A. = nije analizirano



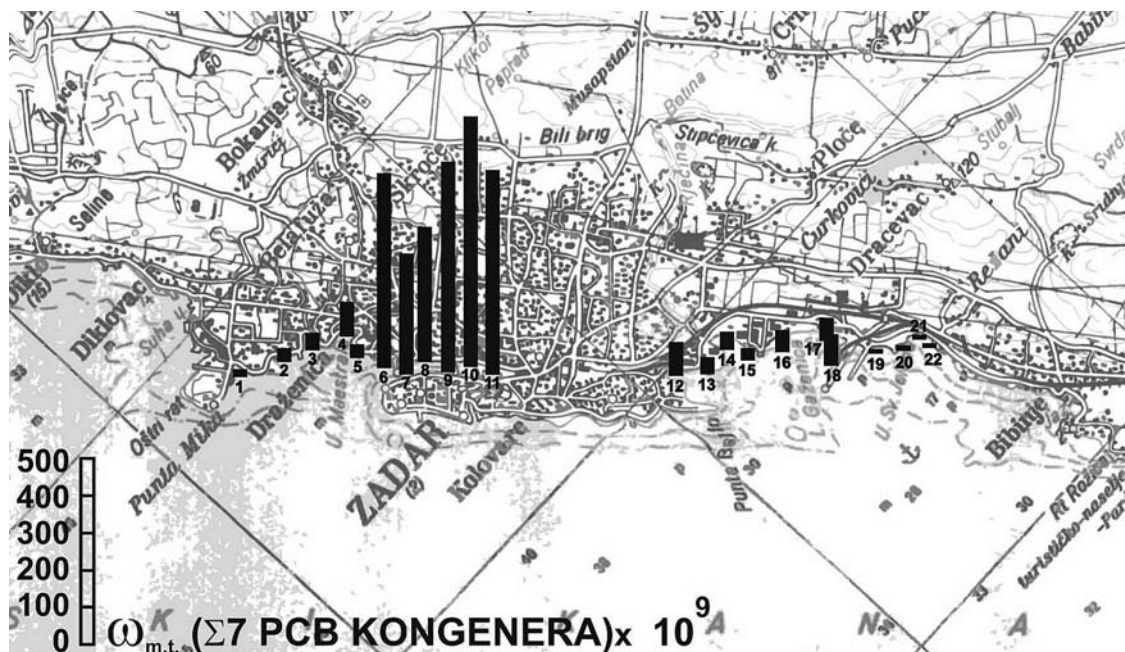
Slika 16 Usporedba razina PCB-a u uzorcima sedimenata skupljenim tijekom 2004. godine u priobalju grada Zadra

Tablica 4 Razine PCB-a i ukupnog DDT-a ($\omega_{m.t.} \times 10^9$) u uzorcima riba ulovljenih od 1997. do 2004. godine na području grada Zadra

Godina i mjesto uzorkovanja	Zagađivalo	Min.	Max.	Geom. sred.	Broj postaja	Broj uzoraka
1997. Vruljica	Ar 1254	4004				
	Σ 7 PCB	1335				
	Ukupni DDT	7,00				
1997. Marina kraj Vruljice	Ar 1254	357	3935	1236	1	5
	Σ 7 PCB	119	1312	630	1	5
	Ukupni DDT	2,10	35,80	11,10	1	5
1997. Brodanovo, Kolovare	Ar 1254	178	678	321	2	7
	Σ 7 PCB	59,33	226	107	2	7
	Ukupni DDT	1,55	29,40	5,24	2	7
1999. Obalna zona grada Zadra	Ar 1254	14,40	977	77,65	13	35
	Σ 7 PCB	4,80	326	25,88	13	35
	Ukupni DDT	1,60	19,90	4,48	13	35
2004. Obalna zona grada Zadra	Ar 1254	6,00	1198	79,28	22	48
	Σ 7 PCB	1,55	672	35,55	22	48
	Ukupni DDT	0,75	7,40	1,07	22	48

područjima Mediterana kao što su obale Španjolske, Francuske, Italije i Grčke. Isto su tako te razine znatno više nego u dosadašnjim istraživanjima Jadrana, pa i u usporedbi s Riječkim zaljevom. Opaženi maksimum razine PCB-a (sediment iz obalnog pojasa Zadra) od $8804 \omega_{m.t.} \times 10^9$ premašen je samo u obalnim vodama Francuske i Italije, dok u drugim zonama Mediterana i u istočnim obalnim vodama Jadrana ta razina nije ni izdaleka opažena.

S obzirom na to da su bentoske i epibentoske ribe prilično dobar pokazatelj malo šireg ali opet s obzirom na odabrane vrste i na neki način prilično dobro definiranog područja, to smo u svojim istraživanjima uzorkovali i analizirali prilično respektabilan broj uzoraka riba. On je istodobno bio i raznolik po vrstama tako da prilično dobro "pokriva" određeno područje. Na tablici 4 prikazani su osnovni statistički podaci o razinama istraženih kloriranih ugljikovodika



Slika 17 Usporedba razina PCB-a u uzorcima špara (*Diplodus annularis*) ulovljenih tijekom 2004. godine u priobalju grada Zadra

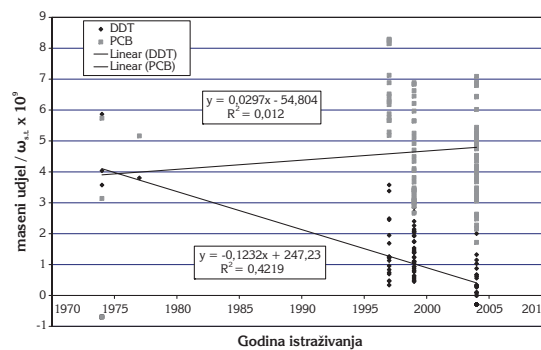
u uzorcima riba skupljenim na obalnom području grada Zadra od 1997. pa do 2004. godine. I ovdje se mogu dati gotovo istovjetni komentari kao pri raspravi o sedimentu. Opaženi maksimum u ciplu (doduše uginulom) iz Vruljice na području Zadra premašen je samo u uzorku barbuna uhvaćenog na obali Francuske. Međutim, i razina PCB-a od $3935 \omega_{m.t.} \times 10^9$ u živom šparu uhvaćenom u zadarskoj marini također je respektabilna i rijetko gdje opažena u Mediteranu (28-30).

Na slici 17 uspoređene su razine PCB-a u uzorcima špara (*Diplodus annularis*) ulovljenih tijekom 2004. godine u priobalju grada Zadra. I ovdje vidimo izrazito povišene razine PCB-a u uzorcima riba ulovljenih na području Jazina.

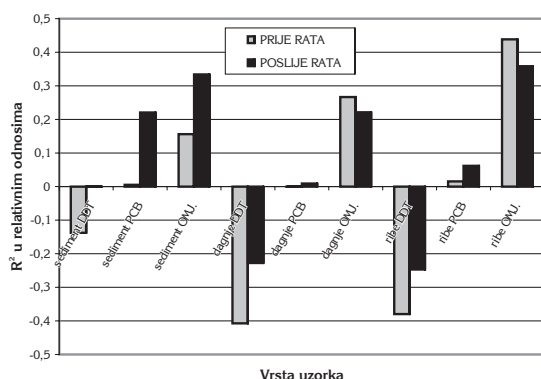
Premda su u razdoblju od 1974. do 1996. godine na području Zadra relativno rijetko vršene analize PCB-a i DDT-a u ribama, napravljena je godišnja trend-analiza razine ovih zagađivala u bentoskim i epibentoskim ribama s područja Zadra. Rezultati analize prikazani su na slici 18.

Iz rezultata ove trend-analize može se prilično sigurno zaključiti da razina DDT-a značajno opada, dok razina PCB-a raste, ali prema vrijednosti R-kvadrata taj rast nije statistički značajan. Radi usporedbe načinjena je i trend-analiza razina PCB-a i DDT-a u svim analiziranim uzorcima sedimenta, dagnji te bentoskih i epibentoskih riba u rasponu od 1973. do 2004. godine skupljenim u istočnim

obalnim vodama Jadrana, a analizirani od suradnika Instituta "Ruđer Bošković". Rezultati R-kvadrata prikazani su na slici 19. Kako je analiziran relativno velik broj uzoraka (od 200 do 400), to je veličina R-kvadrata veća od 0,2 statistički značajna. Uspoređeni su trendovi razine PCB-a i DDT-a te njihovih omjera uzoraka skupljenih do 1990. godine (prije rata) i onih do 2004. (poslije rata). Pozitivna vrijednost R-kvadrata govori o porastu razina odnosno omjera razina PCB/DDT, dok negativne vrijednosti govore o opadanju razina odnosno omjera razina PCB/DDT. Iz prikazanih rezultata očito je da u svim analiziranim dijelovima ekosustava istočnih obala Jadrana dolazi do statistički značajnog smanjenja razina DDT-a kao



Slika 18 Godišnji trendovi razina PCB-a (ekvivalenti Aroclora 1254) i ukupnog DDT-a u bentoskim i epibentoskim ribama s područja priobalja grada Zadra u rasponu od 1974. do 2004. godine



Slika 19 Usporedba R-kvadrat vrijednosti dobivenih linearnom regresijskom analizom godišnjih trendova logaritamskih razina PCB-a i ukupnog DDT-a i njihovih omjera u sedimentu, dagnjama i ribama s istočnog obalnog područja Jadrana

i porasta omjera PCB/DDT. Statistički značajan porast PCB-a opažen je samo u sedimentima ako se uzmu u obzir i tzv. poslijeratni uzorci. Potrebno je napomenuti da su u literaturi veoma rijetko opisane vremenski tako širokog raspona trend-analize stabilnih organskih zagađivala u okolišu (27, 31).

ZAKLJUČCI

Na osnovi opisanih rezultata istraživanja sadržaja polikloriranih bifenila i DDT-a u akvatoriju Rijeke Dubrovačke i područja grada Zadra, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

Područje Rijeke Dubrovačke

Rezultati analiza polikloriranih bifenila u tlu na području TS Komolac upućuju na određeno zagađenje istraživanog područja polikloriranim bifenilima. Premda razine polikloriranih bifenila u tlu istraživanog lokaliteta na području Komolca nisu alarmantne ($\sim 2,1 \omega_{s.t.} \times 10^6$), s obzirom na udaljenost od raketiranog postrojenja i relativnu blizinu akvatorija Rijeke Dubrovačke, nisu zanemarive. U svakom slučaju količine PCB-a koje su se eventualno izlile u okoliš trafostanice, za sada direktnim putem nisu doprle do akvatorija rijeke Dubrovačke, jer bi se u Rijeci Dubrovačkoj u blizini pozicije trafostanice, opazile povišene razine PCB-a.

Budući da je na postaji u blizini Sustjepana opažena izvanredno visoka razina PCB-a u sedimentu ($\sim 2300 \omega_{m.t.} \times 10^9$), kao i u nekim bentoskim organizmima, postoji opravdana sumnja da PCB potječe od odloženog otpadnoga građevinskog materijala

iz razorene trafostanice u Komolcu. Zbog blizine akvatorija Rijeke Dubrovačke postoje određeni rizici od prijenosa zagađivala u ovaj ekosustav i potrebno je rješavati postojeći problem u smislu što skorije sanacije deponiranog otpada na samoj obali Rijeke Dubrovačke kod Sustjepana.

Područje grada Zadra

U uzorcima tla u blizini oštećenih kondenzatora 110/35 KV električne trafostanice u Zadru izmjerene su značajne razine PCB-a. Rasprostranjenost zagađivala na ploči od asfalta i betona oko oštećenih kondenzatora bila je relativno ograničena jer su samo nekoliko metara od izvora zagađenja nađene smanjene razine PCB-a u tlu.

Rezultati analiza polikloriranih bifenila u tlu na drugim područjima grada Zadra upućuju na zagađenje pojedinih lokacija istraživanog područja polikloriranim bifenilima. Razine polikloriranih bifenila u tlu istraživanog lokaliteta TIZ su alarmantne (čak oko $1000 \omega_{s.t.} \times 10^6$). Uzorci heksanskih briseva uzetih s betonskih površina ETS TIZ potvrđuju veliku zagađenost tog objekta.

Razine PCB-a u tlu pojedinih lokaliteta u gradu Zadru (park Donat, tvornica Adria, hidrometeorološka stanica) nisu značajno različite u usporedbi s područjem planinskog vrha Zavižan na Velebitu. Međutim, već u uzorcima tla iz tvornice BAGAT i sa stovarišta metalnog otpada nalazimo povišene razine PCB-a (raspon od 3 do $6 \omega_{s.t.} \times 10^6$ PCB-a).

Površinski sediment uzorkovan u marini kod Vruljice imao je značajno višu razinu ($7274 \omega_{m.t.} \times 10^9$). u usporedbi s ostalim istraživanim lokalitetima u Zadru. Iznenaduje da je vrlo visoka razina PCB-a u dubinskom sloju sedimenta nađena na lokaciji Jazine ($8814 \omega_{m.t.} \times 10^9$). Nalaženje visokih razina PCB-a u dubinskim slojevima upućuje na deponiranje i višegodišnje nakupljanje zagađivala u istraživanom sedimentu zadarskog područja. Na području marine kod Vruljice, po pričanju lokalnog stanovništva, prije se nalazilo brodogradilište i remont brodova, pa postoji mogućnost da su poliklorirani bifenili dospjeli u more, zbog svoje primjene kao dodatak bojama, lakovima i plastičnim masama. Poznata je i njihova primjena kao dodatak hidrauličkim uljima. Svi ti materijali mogu se nalaziti pri gradnji, a osobito pri remontu brodova, tako da njihovom manipulacijom dolazi do zagađenja okolnog mora polikloriranim bifenilima.

Rezultati analiza polikloriranih bifenila u ribama i dagnjama obalnog područja Zadra su pokazali da ne premašuju maksimalno dopuštene razine PCB-a po

Pravilniku o najviše dopuštenoj količini polikloriranih bifenila u hrani. Premda razine polikloriranih bifenila nisu alarmantne, njihove razine na pojedinim postajama nisu zanemarive. Najviše su razine izmjerene na postaji potoka Vruljica 1997. godine ($4004 \omega \times 10^9$ ukupnog PCB-a izraženog kao ekvivalent Aroclora 1248+1254, odnosno $1335 \omega_{m.t.} \times 10^9$ sume 7 PCB-a), a slične su razine izmjerene na postaji marina kod Vruljice 1997. godine te nešto niže na postajama Jazine 2004. godine. Iako utvrđene razine u ribama nisu opasnost za čovjeka, pojedini uzorci riba imali su razine PCB-a kakve su se rijetko nalazile u dosadašnjim istraživanjima Jadrana, pa i Mediterana tim spojevima. Zabrinjava i godišnji trend porasta razina PCB-a koji je najvećim dijelom posljedica povišenih razina PCB-a u ribama ulovljenim 1997. i 1999. godine, dok uvrštavanjem podataka za 2004. godinu taj trend pokazuje dosta blaži porast. Razine DDT-a pokazuju trend opadanja, osobito tijekom posljednjih godina istraživanja.

Zbog svih navedenih razloga, trebalo bi nastaviti praćenje razina PCB-a u uzorcima riba i dagnji zadarskog područja, radi identificiranja i uklanjanja najznačajnijih izvora onečišćenja polikloriranim bifenilima ovog područja.

Zahvala

Autori izražavaju zahvalnost Ministarstvu znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske i Europskoj komisiji na financijskoj potpori. Prikazani rad izveden je kao dio ugovora ICA2- CT-2002-10007 (projekt APOPSBAL) između Europske komisije i Instituta "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska.

LITERATURA

1. Worthington SRH. Test methods for characterizing contaminant transport in a glaciated carbonate aquifer. *Environ Geol* 2002;42:546-51.
2. Oberg T, Bergback B. A review of probabilistic risk assessment of contaminated land. *J Soils Sediments* 2005;5:213-24.
3. Uenoa D, Watanabea M, Subramaniana A, Tanakab H, Fillmann G, Lamd PKS, Zhengd GJ, Muchtare M, Razake H, Prudentef M, Chungg KH, Tanabea S. Global pollution monitoring of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), furans (PCDFs) and coplanar polychlorinated biphenyls (coplanar PCBs) using skipjack tuna as bioindicator. *Environ Pollut* 2005;136:303-13.
4. Picer M. DDTs and PCBs in the Adriatic Sea. *Croat Chem Acta* 2000;73:123-8.
5. Fabrice G, Renaud FG, Boxall ABA, Toy R, Robertson S. Evaluation of approaches for terrestrial hazard classification. *Chemosphere* 2004;57:1697-706.
6. Picer M, Barišić D, Drevenkar V, Fröbe Z, Hršak D, Mayer D, Milanović Z, Sekulić B, Soldo M. Studija ugroženosti voda i pristup optimalnom rješavanju ratnih otpada na krškom području. Zagreb: Institut "Ruđer Bošković" Centar za istraživanje mora; 1996.
7. Picer M, Picer N. Hazards posed by petroleum oil and some chlorinated hydrocarbons to aquatic ecosystem in Croatian karst during 1991-1995 war in Croatia. *Period Biol* 2003;105:345-54.
8. Picer M, Picer N. Ratna razaranja i ugrožavanje vode na krškom području Hrvatske: II. Studija višegodišnjih rezultata analize polikloriranih bifenila u sedimentu i mekušcima priobalnog područja Zadra, Vranskog jezera, Bilica kod Šibenika i Komolca u Rijeci dubrovačkoj s obzirom na zagađenja zemljišta trafostanica na ovim područjima. *Hrvatska vodoprivreda* 1998;7:19-27.
9. Picer M, Picer N. Ratna razaranja i ugrožavanje vode na krškom području Hrvatske: III. Studija višegodišnjih rezultata analize polikloriranih bifenila u ribama priobalnog područja Zadra, Vranskog jezera, Bilica kod Šibenika i Komolca u Rijeci dubrovačkoj s obzirom na zagađenja zemljišta trafostanica na ovim područjima. *Hrvatska vodoprivreda* 1998;7:55-63.
10. Picer M, Picer N; Škrilin A. Razine polikloriranih bifenila zemljišta trafopostrojenja u Komolcu i Rijeci dubrovačkoj. *Hrvatske vode* 2003:417-22.
11. Hodak Kobasić V, Picer M, Picer N, Kovač T. Application of ASE 200 extractor for extraction of PCBs from soil samples. In: Rotard W, editor. *Proceedings of the 24th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs-DIOXIN*; 6-10 Sep 2004. Berlin, Germany. *Organohalogen Compounds* 2004;66:31-7.
12. Picer M, Ahel M. Separation of polychlorinated biphenyls from DDT and its analogues on a miniature silica gel column. *J Chromatogr* 1978;150:119-27.
13. Picer M, Picer N. The use of aldrin and mirex as internal standards for quantification of DDT, DDE, TDE and dieldrin in marine organisms. *Ocean Sci Eng* 1983;8:63-9.
14. United Nations Environment Programme/International Atomic Energy Agency (UNEP/IAEA). Data quality review for MED POL: Nineteen years of progress. MAP Technical Reports Series No. 81; Athens: UNEP; 1994.
15. United Nations Environment Programme/International Atomic Energy Agency (UNEP/IAEA). Worldwide, and regional intercomparison for the determination of organochlorine hydrocarbons in mussel sample. IAEA-142 - Report No. 59. Monaco: IAEA Marine Environment Laboratory; 1996.
16. Projects APOPSBAL. [pristup 15. veljače 2006.].

- Dostupno na <<http://recetox.muni.cz/projekty/apopsbal/>>
17. Picer M, Čalić V, Picer N, Kovač T, Hodak Kobasić V, Arbnesi T. Projekt Europske Unije: III. Razine PCB u tlu, sedimentu i morskim organizmima na području trafopostrojenja u Komolcu i Rijeci dubrovačkoj. *Hrvatska vodoprivreda* 2005;14:45-50.
 18. Motelay-Massei A, Ollivon D, Garban B, Teil MJ, Blanchard M, Chevreuil M. Distribution and spatial trends of PAHs and PCBs in soils in the Seine River basin, France. *Chemosphere* 2004;55:555-65.
 19. Picer M, Picer N. Levels and long-term trends of polychlorinated biphenyls and DDTs in mussels collected from the eastern Adriatic coastal waters. *Water Res* 1995;29:2707-19.
 20. Picer N, Picer M. Chlorinated insecticides and PCBs in asteroidea and holothuroidea species from the Rijeka Bay, Yugoslavia. *Sci Total Environ* 1986;57:39-47.
 21. Petković A, Brajković Z. Podzemne vode Dalmacije. *Hrvatska vodoprivreda* 1998;7:42-4.
 22. Hobbs HH. Protection of karst resources - are we too late? *Ohio J Sci* 1993;93:42.
 23. Assaad FA, Jordan H. Karst terranes and environmental aspects. *Environ Geol* 1994;23:228-37.
 24. Iqbal MZ, Krothe NC. Infiltration mechanisms related to agricultural waste transport through the soil mantle to karst aquifers of southern Indiana, USA. *J Hydrol* 1995;164:171-92.
 25. Eggleton J, Thomas KV. A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. *Environ Int* 2004;30:973-80.
 26. Picer M, Picer N. Long-term trends of DDTs and PCBs in sediment samples collected from the eastern Adriatic coastal waters. *Bull Environ Contam Toxicol* 1991;47:864-73.
 27. Albaiges J, Abousamra F, De Felip E, Picer M, Barakat A, Narbonne JF. Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substance - Mediterranean Regional Report. UNEP Chemicals, December 2002.
 28. Perugini M, Cavaliere M, Giammarino A, Mazzone P, Olivieri V, Amorena M. Levels of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in some edible marine organisms from the Central Adriatic Sea. *Chemosphere* 2004;57:391-400.
 29. Storelli MM, Storelli A, Marcotrigiano GO. Concentrations and hazard assessment of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in shark liver from the Mediterranean Sea. *Mar Pollut Bull* 2005;50:850-5.
 30. Corsolini S, Ademollo N, Romeo T, Greco S, Focardi S. Persistent organic pollutants in edible fish: a human and environmental health problem. *Microchem J* 2005;79:115-23.
 31. Hickey JP, Batterman SA, Chernyak SM. Trends of chlorinated organic contaminants in Great Lakes trout and walleye from 1970 to 1998 Source. *Arch Environ Contam Toxicol* 2006;50:97-110.

Summary

WAR CONSEQUENCES AS THE POTENTIAL HAZARD FOR THE CROATIAN KARSTIC ECOSYSTEM

In the recent war in Croatia, the karstic area of the country was endangered by hazardous waste, which calls for particular attention because of its exceptional ecological sensitivity. There are strong indications that various organic pollutants have entered the environment. It is also assumed that oil containing polychlorinated biphenyls (PCBs) was spilled in a number of locations. After the penetration in the environment, these substances are quickly absorbed in soil, sediment or bioaccumulated in the organisms of the aquatic ecosystem. In view of the locations of damaged electric transformer stations in Zadar, Bilice and Dubrovnik, there was some speculation on potential hazard posed by organohalogenated toxicants to Lake Vransko and the coastal area around Zadar, Šibenik and Dubrovnik. Samples of sediments and aquatic organisms were collected and analysed, and the results showed no significant or high levels of contaminants in the areas of Lake Vransko, Šibenik, and Dubrovnik (Petka location), while in the Mikulandra Bay near Šibenik, in Rijeka Dubrovačka, Brodanovo location and Marina near the Vruljica Creek in Zadar, significantly higher levels of PCBs were observed and these toxicants were additionally monitored within the APOPSBAL project from 2002 to 2005. The results of these investigations are presented in this paper.

KEY WORDS: *APOPSBAL project, aquatic organisms, electric transformer stations, karst, organohalogenated toxicants, polychlorinated biphenyls, sediments*

REQUESTS FOR REPRINTS:

Mladen Picer
Institut Ruđer Bošković, Zavod za istraživanje mora i okoliša
Bijenička 54, HR-10002 Zagreb
E-mail: picer@irb.hr