

PRIMER KRUPA

Stanje onesnaženosti s PCB-ji deset let po odkritju

Svetozar Polič*, Matjaž Blatnik**, Štefan Brvar**

UDK 628.4 (497.12)

Poliklorirani bifenili (PCB) so družina 209 možnih sintetičnih izomerov. V zadnjih dveh desetletjih so postali zaradi vsesplošne razširjenosti (uporabe), obstojnosti in zaradi kopičenja v okolju resen problem, saj so in še povzročajo skrb zbujajoče zdravstvene težave pri ljudeh in živalih (16). Po letu 1972 so zaradi potencialnih zdravstvenih in okoljskih tveganj uvedli nadzor nad uporabo, odlaganjem in proizvodnjo v skoraj vseh državah sveta, vključno z Združenimi državami in državami OECD-ja, oziroma so bili PCB-ji dokončno umaknjeni iz proizvodnje in uporabe (10, 5). Tudi v Sloveniji pomenijo še vedno resen in nerešen problem odpadni kondenzatorji in transformatorji, ki vsebujejo velike količine PCB-jev.

V letu 1983 so bile izmerjene visoke koncentracije PCB-jev v vodi in sedimentu reke Krupa, ki je s svojim povprečnim pretokom 1 m³/s pomemben vir z bodočo vodno oskrbo tega relativno gosto naseljenega območja Bele krajine (14). V radiju petih kilometrov od izvira so bila identificirana odlagališča PCB-jev, ki jih je od leta 1962 uporabljala tovarna Iskra Kondenzatorji v Semiču za odlaganje kondenzatorjev, ki so bili izločene iz proizvodnje. Glede na razširjenost PCB-jev v širšem okolju, njihovo obstojnost in kopičenje v okolju so bile izmerjene visoke koncentracije PCB-jev v posameznih elementih okolja (voda, zemlja, zrak), v hrani (mleko, meso, jajca, ribe) ter v tkivih ljudi in živali. V letu 1984 so upravni organi in raziskovalni inštituti začeli obsežen sancijski program (nadzorne meritve, zdravstvene raziskave, sanacija odlagališč) (5).

V prispevku podajamo nekatere značilne rezultate zadnjih meritev nadzornega programa v letu 1991 (6) v onesnaženem območju Bele krajine, ki so pomembni za oceno aktualnega stanja obremenitve okolja – zraka, vode, zemlje. Primerjava koncentracij PCB-jev pred dekontaminacijo in po njej sicer kaže počasno upadanje koncentracij PCB-jev v zraku, vodi in zemlji, kar potrjuje učinkovitost sanacije tovarniškega odlagališča. Obenem pa model usode (transporta) PCB-jev v okolju kaže, da je glavni vir sedanjega povečanega onesnaženja okolja s PCB-ji še vedno posredna emisija PCB-jev iz reke Krupa.

Sanacija

Med ekološkimi nesečami zadnjih let je v slovenski javnosti najbolj odmevalo onesnaževanje belokranjske Krupa s PCB-ji. Onesnaženost Krupa je z vso silovitostjo odkrila pritaženo nevarnost onesnaževanja z nevarnimi snovmi, širjenje onesnaževanja tudi v manj razvitih slovenskih pokrajinah in tudi razbila mit o zanesljivi čistosti modernih industrijskih panog (7).

Leta 1962 je Iskra v Semiču, takratni TOZD Kondenzatorji, začela s proizvodnjo polnjenja kondenzatorjev. Odpadne kondenzatorje (tehnološki odpad) so odlagali na več odlagališčih. V letu 1984 je EPO (Skupina za oceno posegov v okolje pri Inštitutu Jožefa Stefana) identificiral odlagališča odpadnih kondenzatorjev na ozemlju in širšem območju tovarne, ki so bila leto kasneje tudi delno ali v celoti sanirana (11).

Po bilanci uporabe polikloriranih bifenilov v Iskri v Semiču od leta 1962 pa do leta 1985 je razvidno, da so emisije v okolje znašale približno (računamo na čisti PCB) 70 do 75 ton, kar dobro ponazarja naslednji pregled:

Do leta 1969 so v tovarni uporabljali PCB-ja firme Bayer (ZR Nemčija) Clophen

A-50, ki je vseboval 50 % kloriranih produktov, in Clophen A-30 s 30 % kloriranih produktov, od tedaj pa do leta 1985 pa PCB firme Prodelec (Francija) z imenom Pyralene 1500.

Na osnovi razširjenih analiz, s katerimi je bila leta 1983 ugotovljena velika onesnaženost reke Krupa, rečnih sedimentov in rib s PCB-ji, so upravni organi v letu 1984 zahtevali sanacijo ozemlja, ogroženega s PCB-ji. Zaradi strokovno zelo zahtevne interdisciplinarne problematike onesnaževanja okolja s PCB-ji je takratni Izvršni svet Republike Slovenije novembra leta 1984 imenoval komisijo za koordinacijo strokovnega dela pri reševanju onesnaženosti reke Krupa pri naslednjih glavnih nalogah (11, 13, 12):

- izdelava začasnih navodil o ravnanju z izdelki, ki vsebujejo PCB-je;
- stalen inšpekcijski nadzor tovarne in izvajanja ukrepov o prepovedi uporabe vode iz reke Krupa;
- sanacija odlagališč odpadnih kondenzatorjev;
- nadzor nad prehrabnimi izdelki;
- meritve onesnaženosti zraka;
- spremljanje zdravstvenega stanja delavcev Iskri;
- prepoved uporabe vode iz reke Krupa za pitje, napajanje, ribolov in kopanje;

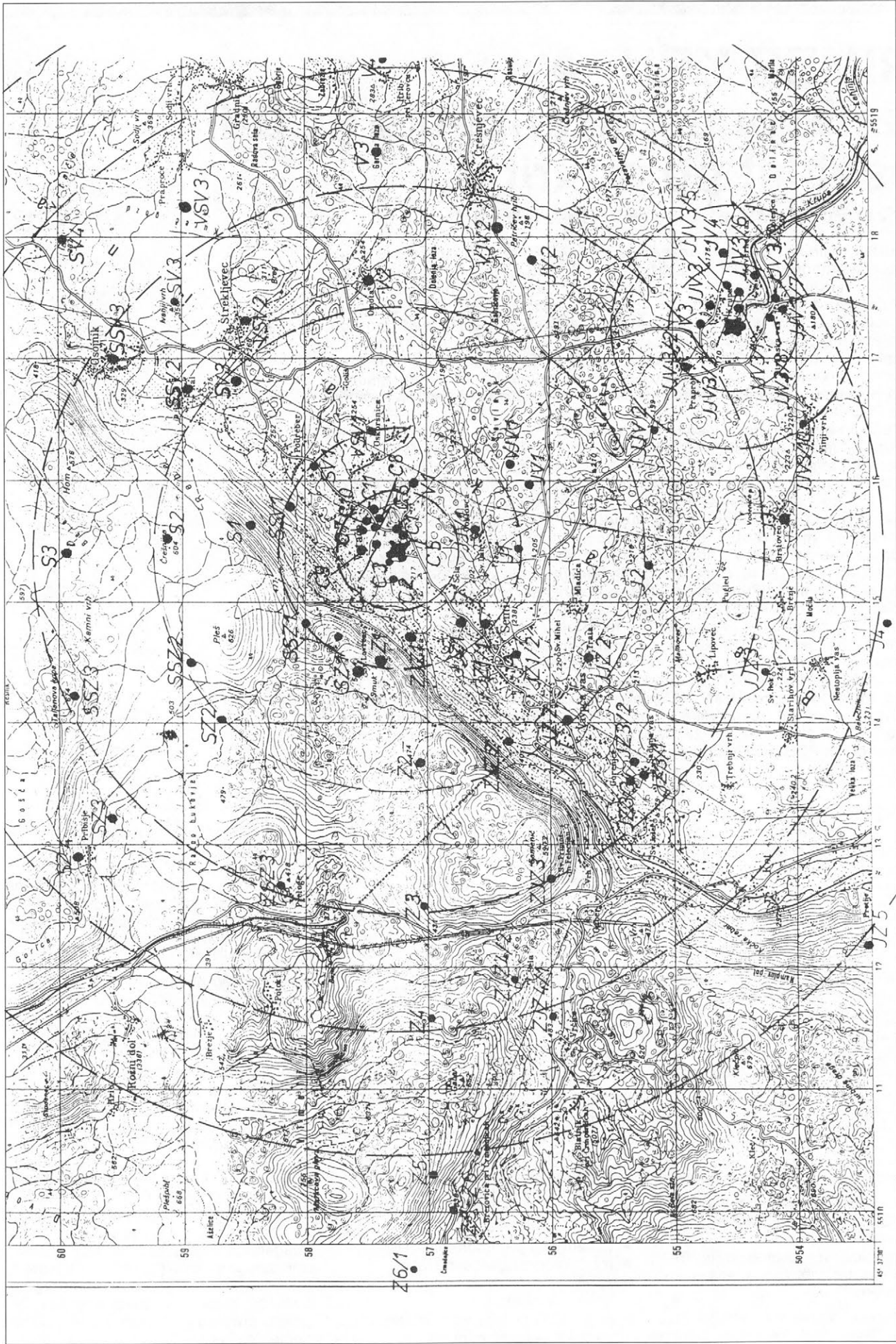
- dokončna izgradnja vodovoda;
- izgradnja skladišča posebnih odpadkov, onesnaženih s PCB-ji.

Po 1. februarju 1985 (v avgustu 1985 so bili na sežig v Francijo odpeljani zadnji odpadki, ki so vsebovali PCB-je) je Iskra nadaljevala proizvodnjo kondenzatorjev z uporabo nekloriranih impregnavtov (kot npr. phenilxililethen (PXE)).

Med sanacijo onesnažene zemlje (zgrajitev trajnega skladišča posebnih odpadkov) je bilo izkopano okoli 18 000 m³ kontaminirane zemljine, ki je bila sortirana na »čisto« (pod 10 mg PCB/kg) in »nečisto« s sprotim analitskim preverjanjem. Vsa kontaminirana zemljina, označena kot »nečista«, skupaj okoli 7000 m³, je bila trajno odložena v posebnem betonskem vodotesnem pokritem skladišču, ki so ga začeli graditi maja 1986. Po ocenah SEPO-ja je v skladišču trajno izoliranih 30 do 50 ton odpadnega PCB-ja, to je količina, ki jo je bilo moč zajeti in fizično odstraniti iz okolja z vseh evidentiranih odlagališč. Preostale količine PCB-ja, emitiranega v okolje (20–40 t) v 20-letnem obdobju proizvodnje, so bile oziroma bodo še podvržene naravnim asimilacijskim procesom in prenosu v različne elemente okolja.

* Mag., raziskovalni sodelavec, Inštitut »Jožef Stefan«, Jamova 39, Ljubljana.

** Gimnazija Bežigrad, Ljubljana.



Slika 1. Vzorčevalna mesta na območju tovarne Iskra Kondenzatorji Semeč in izvira reke Krupa: Zemljevid je v merilu 1 : 25 000; vzorčevalna mesta so označena s točkami na koncentričnih krogih v razmaku 1000 oz. 500 m v neposredni okolici.

Nadzorne meritve obremenitve okolja s PCB-ji na onesnaženem območju

Ob vseh prej izvedenih sanacijskih ukrepih in dejavnostih tovarne, inšpekcijskih in zdravstvenih služb ter drugih je bilo in bo še vedno potrebno stalno spremljati obre-

Preglednica 1. Količina odpadnega PBC-ja (1962–1984) v tovarni Iskra, Semič.

Zap. št.	Emisije	Čisti PBC (v tonah)
1.	Emisije v zrak zaradi izhlapevanja v tehnološkem procesu.	3–5
2.	Razna razlitja, spiranja, izgube pri manipulaciji ipd.	3–5
3.	Odvrženo na odlagališča:	65–70
	a) znotraj tovarniškega območja (velika deponija, vrtača ob cesti Semič–Štrekljavec, vrtača, kjer stoji danes proizvodna hala (ocena 80 %–90 % = 55–60 t));	
	b) ostala odlagališča: Lokve, Mladica, Vranoviči, zbirališča Romov, ki so pretaljevali ohišja kondenzatorjev, PBC-je pa polivali po zemljini (ocena 10 %–20 % = 7–12 t).	
Skupaj		70–75

Preglednica 2. Pregled minimalnih, maksimalnih in povprečnih vrednosti vsebnosti PBC-jev v vzorcih po nebesnih smereh (merjeno leta 1991). Rezultati so v mg PBC/kg vzorca.

Vsebnost PBC v mg PCB na kg suhe snovi									
Obdelovalna zemljina					Neobdelana zemljina				
Zap. št.	Vzorčevalna točka	Min.	Maks.	Povprečje	Št. vzorcev	Min.	Maks.	Povprečje	Št. vzorcev
1	C*	pod 0,01	8,190	0,988	12	0,039	0,259	0,178	3
2	S					0,016	0,016	0,016	1
3	SSV	pod 0,01	0,031	0,021	4	pod 0,01	0,039	0,024	4
4	SV	pod 0,01	0,020	0,015	2	pod 0,01	0,039	0,019	4
5	VSV	pod 0,01	0,039	0,024	5	pod 0,01	0,023	0,017	4
6	V	pod 0,01	0,047	0,018	7	pod 0,01	0,016	0,011	6
7	VJV	0,011	0,021	0,016	3	pod 0,01	0,026	0,018	2
8	JV**	0,016	0,269	0,111	5	pod 0,01	0,047	0,030	4
9	JJV**	pod 0,01	0,037	0,026	6	pod 0,01	0,031	0,017	11
10	J	pod 0,01	0,031	0,024	3	pod 0,01	0,056	0,026	4
11	JJZ	0,023	0,100	0,054	3	pod 0,01	0,023	0,017	2
12	JZ	0,023	0,062	0,040	3	0,023	0,075	0,049	5
13	ZJZ	0,014	0,039	0,027	2	pod 0,01	0,052	0,022	6
14	Z	0,039	0,039	0,039	1	pod 0,01	0,016	0,013	2
15	ZSZ					0,031	0,031	0,031	1
16	SZ					pod 0,01	0,020	0,014	4
17	SSZ								
Skupaj		pod 0,01	8,190	0,240	56	pod 0,01	0,259	0,029	63

Legenda:

* neposredna okolica tovarne

** okolica reke Krupe

Gozdna zemljina					Mah				
Zap. št.	Vzorčevalna točka	Min.	Maks.	Povprečje	Št. vzorcev	Min.	Maks.	Povprečje	Št. vzorcev
1	C*					0,105	0,135	0,120	2
2	S	pod 0,01	0,016	0,011	6	0,030	0,145	0,089	5
3	SSV	0,119	0,119	0,119	1	0,105	0,110	0,108	2
4	SV	pod 0,01	pod 0,01	pod 0,010	3	0,016	0,120	0,055	3
5	VSV								
6	V	pod 0,01	pod 0,01	pod 0,010	1				
7	VJV	pod 0,01	pod 0,01	pod 0,010	1	0,098	0,098	0,098	1
8	JV**	pod 0,01	0,019	0,015	4	pod 0,01	0,515	0,178	3
9	JJV**					pod 0,01	1,013	0,344	3
10	J	pod 0,01	pod 0,01	pod 0,010	4	pod 0,01	0,025	0,017	3
11	JJZ								
12	JZ	pod 0,01	pod 0,01	pod 0,010	2	0,052	0,055	0,052	1
13	ZJZ								
14	Z	pod 0,01	0,019	0,013	6	0,040	0,052	0,045	3
15	ZSZ	pod 0,01	0,016	0,013	2				
16	SZ	pod 0,01	0,028	0,015	4	0,022	0,052	0,032	3
17	SSZ	pod 0,01	0,023	0,014	3	0,017	0,017	0,017	1
Skupaj		pod 0,01	0,119	0,015	37	pod 0,01	1,013	0,103	30

Preglednica 3. Primerjava minimalnih, maksimalnih in povprečnih vrednosti PCB-jev med izbranimi vzorci na neposrednem območju (500 m in 1000 m) tovarne Iskra Semič, reke Krupa in vseh preostalih vzorčevalnih mest (podatki so vzeti iz preglednice 1 in merjeni leta 1991). Rezultati so v mg PCB/kg vzorca.

Zap. št.	Vzorčevalna točka	Vsa zemljina				Mah			
		Min.	Maks.	Povprečje	Št. vzorcev	Min.	Maks.	Povprečje	Št. vzorcev
1	okolica tovarne (500 m)	pod 0,01	8,190	0,829	15	0,105	0,135	0,120	2
2	okolica tovarne (1000 m)	pod 0,01	8,190	0,356	37	pod 0,01	0,135	0,115	3
3	okolica reke Krupa	pod 0,01	0,269	0,036	28	pod 0,01	1,013	0,261	6
4	ostalo	pod 0,01	0,100	0,017	92	pod 0,01	0,145	0,056	21

Preglednica 4. Pregled vsebnosti PCB-jev v vodi reke Krupa.

Površinske vode (dan in leto odvzema) ($\mu\text{g PCB/l}$ vode)											
Zap. št.	Kraj odvzema	Leto 1989					Leto 1990			Leto 1990	
		16/2	24/4	6/9	4/12	29/3	25/5	29/8	18/12	21/2	9/9
1	Krupa – izvir	1,120	0,360	0,080	0,140	0,130	0,063	0,100	0,120	0,210	0,120
2	Krupa – mlin Per	1,290	0,046	0,074	0,140	0,110	0,073	0,065	0,130	0,310	0,290
3	Krupa – Klošter	0,820	0,180	0,090	0,200	0,130	0,075	0,064	0,081	0,120	0,280
4	Lahinja pred izvirom Krupa	0,008	pod 0,001	pod 0,001	pod 0,001	pod 0,001	0,005	pod 0,001	pod 0,001	pod 0,003	0,010
5	Lahinja pred izlivom v Kolpo (Primostek)	0,170	0,110	0,050	0,840	0,002	0,039	0,051	0,042	0,130	0,078
6	Kolpa pred sotočjem z Lahinjo (pred Primostkom)	0,004	pod 0,001	pod 0,001	pod 0,001	pod 0,001	pod 0,001	pod 0,001	pod 0,001	pod 0,003	pod 0,005
7	Kolpa – Metlika, kopališče	0,010	0,026	0,011	0,013	0,004	0,006	0,005	0,006	0,010	0,006
8	Kolpa – Kamanje	0,001	0,019	0,009	0,031	0,004	0,008	0,006	0,006	0,030	0,007

Preglednica 5. Pregled minimalnih, maksimalnih in povprečnih koncentracij PBC-jev v vodi rek Krupa, Lahinja in Kolpe po odvzemnih mestih iz let 1989, 1990 in 1991 (podatki so vzeti iz preglednice 3).

Zap. št.	Kraj odvzema	Površinske vode ($\mu\text{g PBC/l}$ vode)			
		Min.	Maks.	Povprečje	Št. vzorcev
1	Krupa – izvir	0,063	1,120	0,244	10
2	Krupa – mlin Per	0,046	1,290	0,253	10
3	Krupa – Klošter	0,064	0,820	0,204	10
4	Lahinja – pred izvirom Krupa	pod 0,001	0,010	0,003	10
5	Lahinja – pred izlivom v Kolpo (Primostek)	0,002	0,840	0,151	10
6	Kolpa – pred sotočjem z Lahinjo (pred Primostkom)	pod 0,001	0,005	0,002	10
7	Kolpa – Metlika, kopališče	0,004	0,026	0,010	10
8	Kolpa – Kamanje	0,001	0,031	0,012	10

Preglednica 6. Pregled minimalnih in maksimalnih povprečnih koncentracij PBC-jev v vodi reke Krupa po letih odvzema vzorcev (podatki so vzeti iz preglednice 3). Rezultati so v $\mu\text{g PBC/l}$ vode.

	Min.	Maks.	Povprečje	Št. vzorcev
Leto 1989	0,046	1,290	0,378	12
Leto 1990	0,063	0,130	0,095	12
Leto 1991	0,120	0,310	0,222	6

menitve okolja s PCB-ji. V letu 1991 so se začele širše raziskave v okviru raziskovalnega projekta »Ocena zdravstveno-ekoloških razmer na območju Bele krajine v zvezi z ekološko obremenitvijo s polikloriranimi bifenili in sorodnimi spojinami« (6), katerega nosilec je bil Univerzitetni zavod za zdravstveno in socialno varstvo iz Ljubljane. Cilj tako razširjenih meritev, ki so sledile prejšnjemu programu meritev od leta 1984 naprej, je bil oceniti ekološke

obremenitve in zdravstvene posledice na prebivalstvu na izpostavljenih območjih ter učinkovitost vseh izpeljanih ekoloških in medicinskih ukrepov (13, 12, 6, 18, 8). Meritve ekološke obremenitve PCB-jev na ogroženem območju so obsegale:

- Meritve ostankov PCB-jev v zemljini ogroženega območja, ki so ga določili v radiju račne črte 7 km od lokacije vira onesnaženosti (Iskra Semič –Vrača). Na tem območju so v seg-

mentih šestnajstih nebesnih smeri v razdaljah po en kilometer do sedmih kilometrov ugotavljali prisotnost PBC-jev v vzorcih zemljin (obdelano in neobdelano zemljišče) in v vzorcih mahu. V neposredni okolici tovarne so uvedli še nove vzorčevalne točke v radiju 500 m od vira onesnaženosti.

- V gospodinjstvih v naseljih, ki so na zgoraj opisanem in omenjenem ogroženem območju, so odvzeli in analizirali vzorce avtohtono pridelanih živil rastlinskega in živalskega porekla ter vzorce pitne vode, ki so jih analizirali na vsebnosti PCB-jev.

Približno število odvzetih in analiziranih vzorcev je bilo naslednje (slika 1):

- Na 40 lokacijah oziroma 60 odzemnih mestih so odvzeli in analizirali na vsebnost PCB-jev 300 vzorcev živil avtohtone proizvodnje živalskega in rastlinskega izvora, živalske hrane in gozdnih sadežev.
- Na 115 odzemnih mestih so odvzeli po dva vzorca zemljine (enega za obdelano in enega za neobdelano zemljišče), kar skupno pomeni 230 vzorcev zemljine.
- Odvzeli so in na vsebnost PCB-jev v vzorcih analizirali 30 vzorcev gozdnih sadežev (kostanj, orehi, lešniki, gobe), 30 vzorcev pitne vode (iz lokalnih virov), 10 vzorcev površinskih voda (Krupa, Lahinja) in tudi 20 vzorcev zraka.

V nadaljevanju podajamo v preglednicah od 1 do 7 zgolj obdelane rezultate meritev za zrak, vodo in zemljo. Urejeni so ločeno po nebesnih smereh, ločeno za neposredno okolico tovarne kondenzatorjev (500 m in 1000 m) in za neposredno okolico reke Krupa (1).

Preglednica 7. Pregled izmerjenih koncentracij PBC-jev v zraku na območju Bele krajine v letu 1991.

Zap. št.	Mesto odvzema	Zrak ($\mu\text{g PCB}/\text{m}^3$ zraka)				Št. vzorcev		
		Leto 1991				Min.	Maks.	Povprečje
		7/10	8/10	7/11	8/11			
1	Semič – ZP	pod 0,05			0,11			
2	Krupa 4 – Jurjevčič		0,14					
3	Mlin Per – Stranska vas 17		0,38					
4	Črnomelj – VVE Čardak	pod 0,05		0,03				
5	Metlika – ZD (958 I)	pod 0,05		0,13				
6	Metlika – ZD (561 I)	pod 0,05		0,14				
Skupaj						0,03	0,38	0,11
								10

Preglednica 8. Pregled rezultatov kemične analize vzorcev sedimenta (v $\mu\text{g PCB}/\text{kg}$ suhega sedimenta) iz leta 1991.

Zap. št.	Kraj odvzema	Sediment – 9. september 1991 ($\mu\text{g PCB}/\text{kg}$ suhega sedimenta)
1	Krupa – izvir	15000
2	Krupa – mlin Per	7000
3	Krupa – Klošter	630
4	Lahinja pred izlivom Krupe	69
5	Lahinja pred izlivom v Kolpo (Primostek)	89
6	Kolpa – pred sotočjem z Lahinjo (pred Primostkom)	55
7	Kolpa – Metlika, kopališče	18
8	Kolpa – Kamanje	25

Preglednica 9. Parni tlak in topnost v vodi.

PCB	Molekulska masa (g)	Parni tlak (mm Hg)*	Topnost v vodi (25°C) ppm
triklorobifenil	258	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,2
tetraklorobifenil	292	$4,9 \cdot 10^{-4}$	0,03
pentaklorobifenil	326	$7,7 \cdot 10^{-6}$	0,01
Aroklor 1254	327	$6,5 \cdot 10^{-5}$	0,05

* $\text{mmHg} = 1,333 \cdot 10^2 \text{ Pa}$

Preglednica 10. Meritve porazdelitve PBC-jev v vodi, zraku in sedimentih v modelnem vodnem ekosistemu pri nadzorovanem vnosu PBC-jev.

PCB	Voda (%)	Sediment (%)	Zrak (%)
triklorobifenil	1,38 (1,33)*	15,2 (26)	83 (71)
tetraklorobifenil	1,5 (1,34)	17 (27)	81 (71)
pentaklorobifenil	1,5 (1,34)	21 (33)	77 (65)

Opomba: *Vrednosti v oklepaju so izračunane iz enačb št. 1, 2 in 3.

Ovrednotenje rezultatov meritev ekološke obremenitve okolja (zrak, voda, zemlja)

Za ocenitev obremenitve okolja smo privzeli poenostavljeni model usode (transporta) PCB-jev v okolju (zrak, voda, zemlja) (16, 5, 3, 9).

Usoda PCB-jev v okolju je kompleksna in različna ter odvisna tako od fizikalno-

kemijskih parametrov (topnost, hlapnost, absorpcija/desorpcija, porazdelitveni koeficienti, razgradnja hidrolitične, fotolitične reakcije) kot tudi od bioloških, ekoloških in ostlih značilnosti okolja. Usodo PCB-jev v okolju lahko shematično razdelimo v naslednje faze: vir onesnaženja (emisija), transport v okolju (zrak, voda, sedimenti, biosfera), fizikalno-kemijske in biološke spremembe (biokoncentracija, biomagnifikacija, bioakumulacija in biorazgradnja), izpostavljenost ljudi in živali (prehrambena veriga – kritične poti vnosa – doze).

Za določitev (napoved) usode transporta PCB-jev v okolju so pomembni predvsem naslednji empirično pridobljeni fizikalno-kemijski parametri PCB-jev v okolju:

- Hlapnost in topnost PCB-jev v vodi.

- Izhlapevanje PCB-jev iz zemlje. Izhlapevanje PCB-jev iz onesnažene zemljine je odvisno od temperature, vlažnosti in debeline onesnažene zemljine oz. pekrivnega sloja. Ta je za PCB-je pri temperaturi 25°C , 20-odstotni vlažnosti zemljine in do 30 cm debelega prekrivnega sloja reda velikosti 1 kg/ha/leto (ustrezna približno stanju odlagališč PCB-jev).
- Absorpcija PCB-jev na substratih (zemljina, sediment). Najbolj so bile raziskane vezave Aroklora 1254 na različnih substratih. Pri koncentracijah PCB-jev v vodi od 100 do 200 ng/l se količine absorbiranega PCB-ja v sedimentu gibljejo med 1 in 50 $\mu\text{g PCB}/\text{kg}$ suhe snovi.
- Fazna porazdelitev PCB-jev v vodnih sistemih. Raziskave na laboratorijskih modelih vodnega sistema (kontroliran dotok PCB-ja v vodo, kontinuirane meritve koncentracije PCB-ja v vodi, sedimentu, zraku nad vodno gladino, v vodnih organizmih) so dale enačbe fazne porazdelitve PCB-ja.

$$\% \text{ PBC-ja v zraku} = -0,247 \cdot (1/H) + 7,9 \cdot \log S + 100,6 \quad (\text{enačba št. 1})$$

$$\% \text{ PBC-ja v vodi} = 0,054 \cdot (1/H) + 1,32 \quad (\text{enačba št. 2})$$

$$\% \text{ PBC v sedimentu} = 0,0194 \cdot (1/H) - 7,56 \cdot \log S - 1,93 \quad (\text{enačba št. 3})$$

pri čemer je

$$H = \frac{0,75 \cdot 10^{-2} \times \text{parni tlak (Pa)} \times \text{molekularna masa (Mw)}}{\text{topnost v vodi (ppm)}}$$

$$\text{in} \quad S = \frac{\text{topnost (ppm)}}{\text{molekularna masa}_2}$$

Iz rezultatov meritev in ocenjenega transporta PCB-jev (13, 12, 6, 1, 8, 2, 4, 9) lahko strnemo glavne ugotovitve o onesnaženosti v okolju (zrak, voda, zemlja) Semiča in Krupe v naslednjih točkah:

- Koncentracije PCB-jev v različnih elementih okolja so še vedno najvišje na neposrednem območju tovarne in območju kanjona reke Krupe. Povečane koncentracije PCB-jev v širšem območju je moč zaslediti tudi v smeri JZ in SV (pogostejša smer vetra).

- 170 ● Po sanacijskih ukrepih se stopnja onesnaženosti zmanjšuje in je na širšem območju ponekod že primerljiva s stopnjami onesnaženosti okolja s PCB-ji v ostalih območjih Slovenije.
- Privzeti model transporta PCB-jev v okolju kaže, da je reka Krupa še vedno glavni emisijski vir PCB-jev v okolju. PCB-ji prihajajo s spiranjem iz kraškega podzemlja v reko Krupa, se z izhlapevanjem iz vode prenašajo z zrakom in onesnažujejo neposredno območje kanjona reke Krupe. Ta emisijski vir reke Krupe pomeni še vedno nevarno obremenjevanje elementov okolja s PCB-ji v tem območju Bele krajine.

Zaključek

Poliklorirani bifenili pomenijo danes v svetu še vedno velik problem, saj so to snovi, ki se v naravi počasi razgrajujejo. PCB-ji kljub splošnemu nadzoru in prepovedi predelave v svetu še vedno resno ogrožajo zdravje ljudi, posebno na območjih s povečano onesnaženostjo.

Dolgoletne nadzorne meritve kažejo, da se onesnaženost Bele krajine s PCB-ji na nekaterih ogroženih območjih postopoma zmanjšuje. Vendar pa so koncentracije PCB-jev na območju kanjona reke Krupe in neposredne okolice tovarne Iskre v posameznih elementih in členih prehrane verige še vedno visoke.

Ovrednoteni rezultati meritev dajejo dobro osnovo za nujno nadaljevanje nadzora in raziskav, ki naj bi se osredotočile predvsem na izvir reke Krupe kot vir nadaljnjega onesnaževanja (iz tega bi morali izhajati konkretni nadaljnji ukrepi sanacije ogroženega okolja).

8. Polič, S., B. Kontić, 1987. Report on PCB remediation in Bela krajina. World Conference on Hazardous Waste, Budapest, str. 937-942.

9. Polič, S., 1990. Poti širjenja strupenih kemikalij v okolju, izpostavljenost in ocena ogroženosti, UJMA št. 4, Ljubljana, str. 93-103.

10. Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls, Environmental Health Criteria 2: World Health Organisation, Genova 1976.

11. Poročilo o sanaciji odlagališč zemljin in drugih odpadkov, onesnaženih s polikloriranimi bifenili, v DO Iskra Semič (strokovne osnove in smernice za sanacijo). IJS-SEPO, Ljubljana, 10. 6. 1985.

12. Poročilo o izvajanju sanacije onesnaženosti okolja s PCB (Krupa) v DO Iskra Kondenzatorji, Semič, SOZD Iskra – Področje za razvoj in inovacije in IJS-SEPO, 1. september 1986, Ljubljana.

13. Poročilo o izvajanju sanacije onesnaženosti s PCB območja reke Krupe od 1. 9. 1986 do 31. 12. 1988. Strokovna koordinacija pri republiškem sekretariatu za zdravstveno in socialno varstvo SRS za reševanje problematike onesnaženosti s PCB območja Krupe, Ljubljana, september 1990.

14. Razmerja – posebna izdaja, glasilo OO ZSMS Metlika, št. 1, 21. avgust 1984, Metlika.

15. Report on the Protection of the Environment by control of PCB (Polychlorinated Biphenyls); OECD; ENV/CHEM/81.2 (1st Revision); Paris, november 1981.

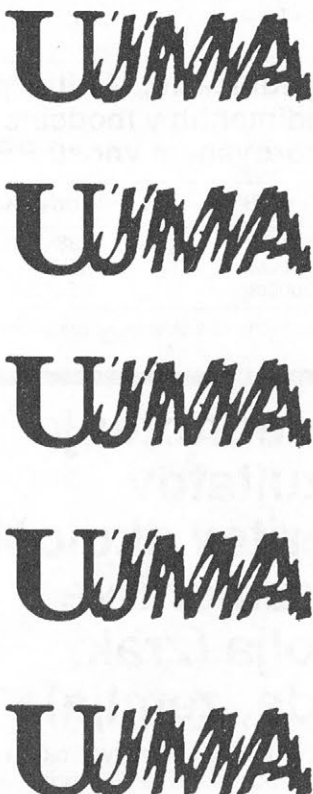
16. Waid J. S., 1987. PCBs and The Environment. CRC PRESS, Volume 1, 2, 3, Florida.

and the OECD countries, and the complete ban of PCBs in Japan and Sweden.

In Slovenia, the major products containing PCBs involving disposal problems related to hazardous waste, are capacitors and transformers. In 1983 high concentrations of PCBs were found in the water and sediments of the Krupa river in the area Bela Krajina (R Slovenia). The Krupa river with a mean water flow of $1 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ is the main source of future water supply in a largely populated region. Within a 5-km radius the water source, a few improper wastes sites were identified. They have been used since 1962 by an electrocapacitor plant Iskra Semič for discharging its wastes (capacitors) containing PCBs (Clophen, Pyralen). From the point of view of the distribution, persistence and accumulation of PCBs in the environment of this area, high levels of PCBs were found in human and animal tissues, and in sampled food (milk, meat, eggs, fish). In 1984 the authorities and research institutes started a PCB remediation programme (environmental monitoring programme, health research, waste disposal project). Data on PCB concentrations in different environmental compartments of the polluted area will be presented. (The monitoring programme of the environmental pollution with PCBs in Bela Krajina in the year 1991). These data were the basis for actual evaluation of environmental impact (risk assessment).

S. Polič, M. Blatnik, Š. Brvar PCB (Polychlorinated Biphenyl) Contamination of the Krupa River in Bela Krajina Ten Years after First Identification

Polychlorinated biphenyls (PCBs) are a family of some 209 chemical compounds. In recent years, the widespread use, distribution, persistence and accumulation of PCBs in the environment, and several incidents causing serious health problems in humans and animals have given rise to great concern. After 1972, potential health and environmental hazards have led to governmental actions: control of use, disposal and production of PCBs in nearly all world areas, including the U.S.



1. Brvar, Š., M. Blatnik, S. Polič, 1992. Obremenitev okolja s PCB (polikloriranimi bifenili) v onesnaženem območju Bele krajine – Krupa. Raziskovalna naloga, 5. srečanje mladih raziskovalcev ljubljanske regije 1992, Inštitut »Jožef Stefan«, Gimnazija Bežigrad, Ljubljana.

2. Brumen, S., M. Medved, E. Vončina, J. Jan, 1984. A Case of polychlorinated Biphenyl Contamination of Water and Sediment in the Slovenian Karst Region. Chemosphere 13 (12).

3. Haque, R., 1980. Dynamics, exposure and Hazard Assessment of Toxic Chemicals. Ann Arbor Science, Michigan, USA.

4. Jan, J., M. Tratnik. Atmospheric contamination with polychlorinated biphenyls in Bela krajina. Chemosphere, Vol. 17, No. 4, str. 809-812.

5. Murty, A. S., 1986. Toxicity of Pesticides to Fish. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U. S.

6. Ocena zdravstveno ekoloških razmer na območju Bele krajine v zvezi z ekološko obremenitvijo s PCB, Univerzitetni zavod za zdravstveno in socialno varstvo. A. Fazarinc in sodelavci, DP-UZZS, april 1992.

7. Plut D., 1987. Slovenija – zelena dežela ali puščinja. Knjižnica revolucionarne teorije (KRT), Ljubljana, maj 1987.