

HODNOTENIE ZDRAVOTNÝCH RIZÍK EXPOZÍCIE POLYCHLÓROVANÝM BIFENYLOM POČAS SANAČNÝCH PRÁČ

HUMAN HEALTH RISK ASSESSMENT OF THE EXPOSURE TO POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN CONTEXT OF THE REMEDIATION WORKS

Marek Drimal

PhDr. Marek Drimal, PhD., Katedra životného prostredia, Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela v Banskaj Bystrici, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, marek.drimal@umb.sk

Abstrakt: Hodnotenie zdravotných rizík predstavuje overenú metódu pomocou ktorej je možné popísať a kvantifikovať zdravotné riziká pre pracovníkov v špecifických podmienkach pracovného prostredia. Hodnotili sme jednu z najviac problematických záťaží v SR (Strážske - Chemko – odpadový kanál. Naším hlavným cieľom bolo na základe kvantifikovaného znečistenia kanála polychlórovanými bifenyli (PCB) vyhodnotiť potenciálne zdravotné riziká pre pracovníkov realizujúcich sanačné práce.

Po určení expozičného scenára a ciest vstupu PCB do organizmu (inhalácie výparov a prachu, ingestie a dermálneho kontaktu) sme určili pre každú cestu priemernú celoživotnú dennú dávku pre posúdenie rizika karcinogénnych účinkov (LADD=0.0004 mg.kg-1.deň) a časovú 40 dňovú priemernú dennú dávku pre posúdenie nekarcinogénnych chronických účinkov (ADD=0.002 mg.kg-1.deň). Najvyšší podiel z dávok predstavoval príjem PCB náhodnou ingestiou (74%). Všetky hodnotenia sme realizovali za predpokladu nulovej ochrany pracovníkov osobnými ochrannými prostriedkami. Použili sme prístup RME scenára (reasonable maximum exposure) kde sa počítá s 95 percentil kvantitatívnych parametrov.

V oblasti nekarcinogénnych chronických účinkov sme určili sumárny koeficient nebezpečenstva pre všetky cesty 123.4 čo indikuje vysoké riziko s potrebou realizácie opatrení na jeho redukciu. Najvyšší koeficient bol identifikovaný pre ingestiu (90.7). Hodnoty karcinogénneho rizika pre jednotlivca nedosahovali zvýšené hodnoty. Pre všetky cesty vstupu dosiahla hodnota 0.00007.

KLúčové slová: polychlórované bifenyly, hodnotenie zdravotných rizík, staré environmentálne záťaže

Abstract: Health Risk Assessment is a proper method through it is possible to evaluate the health risks for workers in the specific conditions of the occupational environment. We described one of the most problematic areas in the Slovak Republic (Strážske - Chemko). Our main objective was, based on quantified pollution of the channel by polychlorinated biphenyls (PCBs), to assess the potential health risks to the workers did the remediation work.

After determining the exposure scenarios and PCBs routes of entry into the organism (inhalations of fumes and dust, ingestion and dermal contact), we have determined for each exposure route an average lifetime daily dose for the risk assessment of carcinogenic effects (LADD = 0.0004 mg/kg/day) and time 40-day average daily dose for assessment of non-carcinogenic chronic effects (ADD = 0.002 mg/kg/day). The highest proportion of the doses was taken by PCBs intake by accidental ingestion (74%). We carried out all evaluations provided zero protection of the workers with personal protective means. We used the approach of RME scenario (reasonable maximum exposure) which is intended for 95 percentiles of quantitative parameters.

In non-carcinogenic chronic effects, we have determined the global hazard quotient 123.4 which shows high risk with the need for implementation of measures for its solutions. The highest value was determined for ingestion (90.7). The values of the carcinogenic risk for individuals did not achieve increased values. For all the routes of entry the value of 0.00007 was achieved.

Keywords: polychlorinated biphenyls, Health Risk Assessment, old environmental burdens

Úvod

PCB je špecifická skupina syntetických organických látok, spôsobujúca široké spektrum negatívnych účinkov na zdravie človeka ale aj na zložky životného prostredia. Nie je známy žiadny prírodný zdroj týchto látok. PCB sú olejovité kvapaliny, alebo tuhé látky bezfarebné až slabo žltkastej farby.

PCB sú vo všeobecnosti inertné odolné voči kyselinám aj zásadám a majú termálnu stabilitu. (Afghan a Chau, 1989).

PCB sú relatívne nerozpustné vo vode, ich rozpustnosť klesá s narastajúcim počtom naviazaných atómov chlóru. Sú rozpustné v nepolárnych organických rozpúšťadlách a tiež v tukoch. Sú horľavé, ich produkty spaľovania sú často ešte nebezpečnejšie. (NFPA, 1994).

Vyparovanie je dôležitý transportný proces PCB rozpustených vo vode. Odlišnosti prchavosti a rozpustnosti u jednotlivých kongenéroov ovplyvňuje rozdelenie a prítomnosť v sedimentoch a vo vode. Štúdiá na jazere Michigan ukázala že vyprchávanie môže byť dominantným procesom odstraňovania PCB z jazier (Swackhamer a Armstrong, 1986). PCB vyprcháva veľmi rýchlo najmä z miest kde má voda vysokú dynamiku pohybu (kaskáda, pereje, vodopády) (McLachlan et al., 1990).

Prevažná väčšina údajov získaných zo štúdií človeka ale aj laboratórnych zvierat poskytuje silný dôkaz o toxickom potenciáli expozície PCB. Informácie o zdravotných účinkoch sú dostupné zo štúdií ľudí exponovaných v pracovnom prostredí, z epidemiologických štúdií ľudí ktorí konzumovali kontaminovaný ryžový olej v Japonsku (Yusho incident) a na Taiwane (Yu Cheng incident) ale tiež zo štúdií súvisiacich s konzumáciou rýb a iných živočíšnych produktov. K najvýznamnejším zdravotným účinkom PCB patria morfológické aj funkčné zmeny pečene, štítnej žľazy, kože, očí, imunologické zmeny, neurovývojové zmeny, znížená pôrodná hmotnosť, reprodukčná toxicita a rakovina (ATSDR, 2000).

Popis záujmovej lokality lokality:

Odpadový kanál Chemko Strážske bol v minulosti využívaný na odvádzanie vody z ČOV Chemka Strážske do Laborca. Z uvedeného jasne vyplýva, že kanál je jedným zo zdrojov znečistenia a bol prostriedkom na odvedenie vôd s obsahom PCB a iných chemických látok z Chemka Strážske. V súčasnosti je predmetný kanál súčasťou definovanej starej environmentálnej záťaže, evidovanej v registri (Enviroportal.sk). Predpokladá sa že uvedená záťaž bude predmetom sanačného zásahu. V roku 1959 bola uvedená do činnosti výroba polychlorovaných bifenylov (PCB). V rokoch 1959-1984 celková výroba dosiahla ako 21 000 ton, z čoho asi polovica bola exportovaná hlavne do východnej Európy. Produkováaná bola vždy zmes polychlorovaných bifenylov pod komerčným označením Delor, Hydeler a Deloterm.

Cieľom prezentovanej práce je kvalitatívne a kvantitatívne hodnotenie zdravotných rizík pracovníkov pri realizácii sanačných prác.

Metódy

Metódy odberov a analýzy vzoriek

Z odpadného kanála Strážske, kanála Duša, jeho pravobrežného prítoku a rieky Laborec do ktorej kanál ústi bolo odobratých celkovo 11 vzoriek dnového sedimentu. Boli realizované analýzy PCB kongenéroov: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 31, PCB 20, PCB 44, PCB 149, PCB 153, PCB 138, PCB 180, PCB 18, PCB 170, PCB 194, PCB 105.

Využili sa metódy plynovej chromatografie – IPP 305-EPA 8270C, IPP 455, STN15308, ECD detekcie STN EN 15308, STN EN 61619 a MSDS detekcia STN EN 12766 EPA 8270.

Metodika hodnotenia zdravotných rizík

Realizácia hodnotenia zdravotných rizík pre pracovníkov sanácie bola vykonaná podľa Smernice MŽP č. 1/2015 – 7. na vypracovanie analýzy rizika znečisteného územia, ktorá bola publikovaná vo vestníku MŽP č. 1 z roku 2015. Základom metodiky sú metodické postupy USEPA - Exposure Factors Handbook.

Pri posudzovaní sanačného zásahu sme vychádzali z predpokladu začiatku sanačného zásahu v kanáli ktorý je bez vody. Tz. že odčerpanie, resp. odvedenie vody nie je predmetom toho posudzovania. Pre hodnotenie chronických nekarcinogénnych účinkov boli využité parametre RfD a RfC .

Pri hodnotení sa posudzovali nasledujúce expozičné cesty: náhodná ingescia znečistených sedimentov, dermálny príjem prostredníctvom znečistených sedimentov, inhalácia z evaporácie do vonkajšieho prostredia (vplyvom koncentrácie PCB zistenej v sedimente). Je významná v mokrom procese sanácie, inhalácia suchého sedimentu prostredníctvom polietavého prachu, prevažuje v suchom procese sanácie.

Spôsob určenia koncentrácie PCB v sedimentoch

Predmetom hodnotenia bude suma kongenérov PCB v Strážskom kanáli. Pre čo najobjektívnejšie zhodnotenie situácie budú okrem výsledkov realizovaných meraní do výpočtov zahrnuté aj koncentrácie zistené inými autormi. Do hodnotenia budú vstupovať hodnoty na úrovni 95 percentilu.

Spôsob určenia kvantity sedimentov v kanáli

Mocnosť sedimentov je odhadnutá na základe popisu v minulosti odoberaných vzoriek a meraní vykonaných v okolí kanála v areáli Chemko Strážske. Od mocnosti sedimentov sa odvíja určenie časových parametrov hodnotenia (čas sanácie 40 dní).

Pre prieskum profilu kanála ale aj re identifikovanie iných potrebných údajov využívaných pre rôzne účely bola aplikovaná metóda ERT- 2D elektrickej odporovej tomografie. Ide o systém komplexného odporového merania s väčším počtom elektród.

Výsledky

Vstupné koncentrácie

Výstupy vykonaných analýz sú uvedené v tabuľke 1a, v tabuľke 1b sú hodnoty sumy PCB namerané inými autormi v telese kanála.

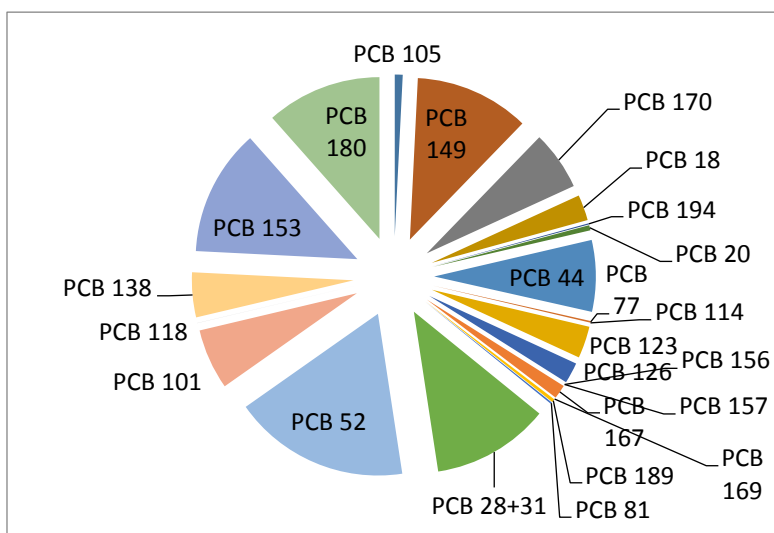
Tab1a Namerané hodnoty PCB

Kongenér	c (mg.kg ⁻¹)	n
PCB 105	0.533	11
PCB 149	7.761	11
PCB 170	4	11
PCB 18	1.74	11
PCB 194	0.079	11
PCB 20	0.348	11
PCB 44	4.837	11
PCB 77	0.109	11
PCB 114	0	11

PCB 123	2.162	11
PCB 126	1.415	11
PCB 156	0	11
PCB 157	0	11
PCB 167	0.942	11
PCB 169	0	11
PCB 189	0.225	11
PCB 81	0.11	11
PCB 28+31	7.949	11
PCB 52	11.945	11
PCB 101	4.103	11
PCB 118	0.008	11
PCB 138	3.034	11
PCB 153	8.57	11
PCB 180	7.811	11
suma PCB	63.46	11

Tab 1b Historické determinované hodnoty sumy PCB v sanovanom kanáli

4100 mg.kg ⁻¹	Kočan 1998, ÚPKM
48 mg.kg ⁻¹	Kočan 1998, ÚPKM
1900 mg.kg ⁻¹	Kočan 1998, ÚPKM
108.6 mg.kg ⁻¹	Hucko 2002, VÚVH Bratislava
733.2 mg.kg ⁻¹	Hucko 2002, VÚVH Bratislava
566.7 mg.kg ⁻¹	Hucko 2002, VÚVH Bratislava



Obr 1 Štruktúra kongenéro

95 percentil vyššie uvedených hodnôt PCB je koncentrácia 3440 mg.kg⁻¹, čo bude vstupná koncentrácia PCB v sedimentoch.

Hodnotenie expozície

Expozícia náhodnou ingesciou kontaminovaných sedimentov

Predpokladom tohto spôsobu príjmu kontaminantov je konzumácia stravy bez náležitej hygienickej očisty rúk, resp. požitie častíc prachu v ktorých sa nachádzajú hodnotené látky. Pri výpočte sme vychádzali zo vzorca:

$$\text{ADDing (LADDing)} = (\text{CS} \cdot \text{IR} \cdot \text{CF} \cdot \text{EF} \cdot \text{ED}) / (\text{BW} \cdot \text{AT})$$

Koncentrácia v sedimentoch (CS) 3440 mg.kg⁻¹, príjem požitím (IR) 337 mg.deň⁻¹ (MŽP), frekvencia expozície (EF) 40 deň.rok⁻¹, trvanie expozície (ED) 1 rok, konverzný faktor (CF) 0.000001 kg.mg⁻¹ (MŽP), hmotnosť jedinca (BW) 70 kg (MŽP, 2014), priemerný čas (AT) 365 dní pre ADD /25550 pre LADD (MŽP).

- vypočítaná ADD(mg.kg⁻¹.deň⁻¹) 0.001815
- vypočítaná LADD (mg.kg⁻¹.deň⁻¹) 0.000026

Expozícia dermálnym kontaktom so znečistenými sedimentami

U niektorých organických látok je táto expozičná cesta významná. PCB majú také vlastnosti ktoré umožňujú prienik cez kožu. Dávky sme počítali podľa vzorca:

$$\text{ADDdermal (LADD dermal)} = (\text{CS} \cdot \text{CF} \cdot \text{SA} \cdot \text{AF} \cdot \text{ABS} \cdot \text{EF} \cdot \text{ED}) / (\text{BW} \cdot \text{AT})$$

Konverzný faktor (CF) 0.000001 kg.mg⁻¹ (MŽP), povrch exponovanej kože (SA) 2733 cm², (US. EPA), faktor adhézie sedimentu k pokožke (AF) 0.3 mg.cm⁻².príp.ad⁻¹ (U.S. EPA), koeficient absorpcie (ABS) 0.14 (U.S. EPA).

- vypočítaná ADD(mg.kg⁻¹.day⁻¹) 0.000618
- vypočítaná LADD (mg.kg⁻¹.day⁻¹) 0.000009

Expozícia inhaláciou kontaminovaného prachu

Pri výkopových prácach v telese kanála je predpoklad zvýšenej prašnosti. Významná môže byť najmä pri manipulácii so suchým materiálom čomu sa pri sanačnom zásahu nedá celkom vyhnúť. Z pohľadu expozície pracovníkov sú dôležité najmä prachové častice PM10.

$$\text{ADDinhal (LADDinhal)} = (\text{CA} \cdot \text{IR} \cdot \text{ET} \cdot \text{EF} \cdot \text{ED}) / (\text{BW} \cdot \text{AT})$$

Koncentrácia v ovzduší (CA) – prepočítaná koncentrácia PCB na 5 mg.m⁻³ koncentrácie PM10 v pracovnom ovzduší, keď sa predpokladá že 100% prachu je z kontaminovaných sedimentov 0.0172 mg.m⁻³, miera vdýchnutia (IR) 0.6 m³ hod⁻¹ (MŽP), čas trvania udalosti (ET) 8 hod.deň⁻¹ (MŽP).

- vypočítaná ADD (mg.kg⁻¹.deň⁻¹) 0.000022
- vypočítaná LADD (mg.kg⁻¹.deň⁻¹) 0.0000003

Expozícia inhaláciou výparov zo sedimentov

Je nespochybniteľné že sedimenty sú v prípade environmentálnej záťaže Strážskeho kanála významným zdrojom kontaminácie. Napriek tomu že PCB nevynikajú vysokou rozpustnosťou vo vode a pokiaľ sú sedimenty stabilné nie je významnejšia expozícia človeka pravdepodobná môže sanačný zásah tieto podmienky výrazne zmeniť. V tejto situácii je už potrebné uvažovať aj s expozíciou pracovníkov inhaláciou odparených PCB. K dôležitým podmienkam ktoré intenzitu odparovania ovplyvňujú patrí teplota a obsah vody v sedimentoch.

ADD_{inhal} (LADD_{inhal}) = (CA . IR . ET . EF . ED) / (BW . AT)

Koncentrácia PCB v ovzduší CA - Pre výpočet resp. modelovanie koncentrácie v dýchacej zóne pracovníkov bol použitý distribučný model Divocos (Dispersion of Volatile Contaminants) holandského RIVM. Vypočítaný 99.4 percentil koncentrácie je na úrovni 1.484 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

vypočítaná ADD ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{deň}^{-1}$) 0.000013

Calculated LADD ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{deň}^{-1}$) 0.0000002

Charakterizácia rizika

Nekarcinogénne riziko sa určí porovnaním vypočítaných ADD s referenčnými hodnotami (RfD, TDI). Kvantitatívnym vyjadrením je bezrozmerný koeficient nebezpečenstva HQ (Hazard Quotient).

Pri hodnotení karcinogénneho rizika bol podľa odporúčania USEPA aplikovaný CSF $2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{deň}^{-1}$. Riziko karcinogénneho účinku CVRK bolo vypočítané vynásobením LADD s CSF pre príslušný expozičný scenár.

Tab 2 Získané HQ a CR.

	HQ	CR
požitie	90.7	5.19E-05
dermálny kontakt	30.9	1.77E-05
inhalácia prachu	1.1	6.00E-07
inhalácia výparov	0.7	4.00E-07
suma	123.4	7.05E-05

Z uvádzaných hodnôt je zrejme že v prípade výkonu sanačných prác bez akejkoľvek ochrany či už režimovými, hygienickými opatreniami, alebo bez použitia osobných ochranných prostriedkov je najvyššie riziko spojené s incidentálnym požitím kontaminovaného sedimentu. Významné je i riziko expozície dermálnym kontaktom. Hodnotu 1 prekročilo aj riziko inhalácie prachu pri manipulácii so sedimentom v suchom stave. Normovaná hodnota individuálneho rizika karcinogénnych účinkov prekročená nebola.

Diskusia

Napriek tomu že štúdie realizované v intenciách témy predkladanej práce nie sú veľmi početné, nami zistené hodnoty expozície (celková expozičná dávka $0.00247\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{deň}$), koeficientu nebezpečenstva (HQ 123.4) a karcinogénneho rizika 0.00007 je možné porovnať s výstupmi z viacerých relevantných štúdií.

Expozícia PCB v pracovnom prostredí bola hodnotená v elektrárni v meste Prakan v Thajsku. Okrem PCB boli pracovníci exponovaní aj PCDD a PCDF látkam. Celková dávka PCB pre pracovníkov dosiahla $67.89\text{ pg}\cdot\text{kg}^{-1}$, koeficient nebezpečenstva pre pracovníkov bol 34, karcinogénne riziko 0.0025. V tejto štúdii boli posudzované 4 cesty vstupu PCB – ingescia pôdy a potravín, inhalácia prachu, dermálny kontakt (Hatfield Consultants, 2009, Ge et al., 2013).

Významná štúdia bola realizovaná s USA v blízkosti kontaminovanej lokality v dôsledku prevádzky skládky nebezpečných odpadov s preukázanou kontamináciou PCB. Kontaminovaná bola pôda najmä s prípravkom Aroclor 1260 ale aj vnútorné ovzdušie objektov v okolí, kde boli namerané predovšetkým monochlórované PCB. Hodnotene rizík bolo

zamerané na dojčené deti u ktorých bol definovaný koeficient nebezpečenstva 3600-12600 pri dávke $0.25 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ deň}$ (Davis, Wade, 2003)

Významné štúdiá hodnotenia zdravotných rizík bola realizovaná v USA v súvislosti s kontamináciou rieky Hudson. Hodnotenie expozície bolo realizované pre expozičné skupiny dospelých, detí a mladých ľudí (adolescentov) vykonávajúcich v okolí rieky rôzne aktivity (kúpanie, rekreácia) ale tiež pre skupinu ľudí konzumujúcich ryby ulovené v rieke. Okrem vody, rýb a ovzdušia (uvažovalo sa s vyprchávaním PCB) bola zohľadnená ak kontaminácie sedimentov rieky. Bolo určené karcinogénne aj nekarcinogénne riziko. Najvyššie hodnoty karcinogénneho rizika (0.0006) boli kvantifikované pre dospelých pri ingestii prostredníctvom rýb. Riziko pre príjem cez sedimenty bolo maximálne na úrovni 0.000009 pre rekreantov. Koeficient nebezpečenstva bol najvyšší pri ingestii rýb u malých detí ($HQ=104$) (U.S. EPA, 2000).

Pre vyhodnotenie stavu kontaminácie PCB v Midway Atoll bolo použitých 28 PCB indikátorov. Celkové koncentrácia v pôde kolísala v rozsahu ($\Sigma PCBs$) od 2.6 do 148.8 ng g^{-1} s priemerom 50.7 ng g^{-1} a mediánom 39.5 ng g^{-1} , najvyššia hodnota dosiahla 148.8 ng g^{-1} . 95th percentil karcinogénneho rizika dosiahol pre ingestiu 0.034 E-06 , vdýchnutie 0.23 E-06 a dermálny kontakt 0.00079 E-06 (Ge, 2013). Rozloženie dávky je podobné našim zisteniam..

Záver

Pri určitej súhre nepriaznivých okolností, ktorými sú najmä klimatické podmienky, nekvalifikovaná pracovná sila bez náležitého preškolenia a poučenia, nedostatok a nízka kvalita osobných ochranných prostriedkov i nízky štandard hygienických návykov môže byť riziko poškodenia zdravia aj pri relatívne krátkom čase vykonávanej práce (40 dní) významné. Dokazuje to vysoká hodnota sumy koeficientu nebezpečenstva 123.4.

Hodnotená situácia ukazuje že v niektorých prípadoch môže zohrávať významnú úlohu príjem toxických látok incidentálnou ingestiou, preto je potrebné zamerať pozornosť na použitie osobných ochranných prostriedkov, najmä rukavíc a striktné dodržiavanie hygienických zásad – umývanie rúk, a predovšetkým zákazu fajčenia a konzumácie jedla na pracovisku.

Podobné zásady je potrebné dodržiavať aj pre zabránenie expozície po kontakte s kožou ktorá môže byť vzhľadom na vlastnosti PCB dôležitá (HQ takmer 31).

Napriek tomu že inhalácia nepredstavuje v modelovanom prípade dominantný príjem PCB, je potrebné realizovať opatrenia aj v tomto smere, keďže ide z pohľadu pravdepodobnosti o významnú cestu expozície.

Referencie

Afgan BK, Chau ASY. 1989. Analysis of trace organics in the aquatic environment. Boca Raton, FL: CRC Press, Inc., 1989: 206 pp.

Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR). 2000. Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCB), U.S. Department of Health and Human Service. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2000: 145pp.

Davis B, Wade M. Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls at Hazardous Waste Sites. Department of Toxic Substances Control Cal EPA. Sacramento. CA 2003:7 pp.

Ge J, Woodward LA, Li QX, Wang J. 2013. Distribution, Sources and Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls in Soils from the Midway Atoll, North Pacific Ocean. Barchi JJ, ed. PLoS ONE. 2013;8 (8): e71521.

Hatfield Consultants. 2008. Regional Capacity Building Program for Health Risk Management of Persistent Organic Pollutants (POPs) in South East Asia. Prepared for World Bank Group, Washington, USA: 2008. Available on: http://www.popstoolkit.com/Collaboration/DMS/storage/179_Final%20report%20of%20Regional%20Launch%20Workshop_for%20web.pdf.

Hucko P. Výskyt PCB v dnových sedimentoch vybraných tokov. Výskumný ústav vodného hospodárstva 2008: 95 pp.

Kočan A. 1998. Zaťaženie životného prostredia a ľudskej populácie v oblasti kontaminovanej PCB. Správa za 2. rok riešenia (november 1998). Ústav preventívnej a klinickej medicíny, Bratislava (Slovakia) 1998: 105 pp.

McLachlan M, Mackay D, Jones PH. 1990. A conceptual model of organic chemical volatilization at waterfalls. Environ Sci Technol 1990: 24: 252-257.

National Fire Protection Association (NFPA) NFPA 49: Hazardous Chemicals Data. Technical Committee on Hazardous Chemicals, American National Standards Institute, 1994:163 pp.

Swackhamer DL., Armstrong DE. Estimation of the atmospheric and nonatmospheric contributions and losses of polychlorinated biphenyls for Lake Michigan on the basis of sediment records of remote lakes. Environ Sci Technol 1986: 20:879-883.

U.S. Environmental Protection Agency. (U.S.EPA). Phase 2 Report: Further site characterization and analysis, Volume 2F – Revised human health risk assessment Hudson river PCBs reassessment R1/FS. U.S. Environmental Protection Agency Region 2 and U.S. Army Corps of Engineers Kansas City District 2000: 128pp.