

MASARYKOVA UNIVERZITA

Přírodovědecká fakulta

Katedra biochemie



# Polychlorované bifenyle jako risikový faktor životního prostředí

**Simona Krčková**



**Vedoucí:** doc. RNDr. Petr Zbořil, CSc.

**Brno, Česká republika 2007**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem při vypracování bakalářské práce pracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 14. 4. 2007

.....  
Simona Krčková

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěla poděkovat svému vedoucímu doc. Zbořilovi za pomoc při vypracování mé bakalářské práce. Poděkování patří také mé rodině a příteli za podporu a pomoc.



# Obsah

|       |                                                      |    |
|-------|------------------------------------------------------|----|
| 1     | Úvod.....                                            | 7  |
| 2     | Charakteristika .....                                | 8  |
| 2.1   | Fyzikální vlastnosti .....                           | 8  |
| 2.2   | Chemické vlastnosti .....                            | 8  |
| 3     | Užití a výroba.....                                  | 9  |
| 3.1   | Výroba.....                                          | 9  |
| 3.2   | Použití .....                                        | 10 |
| 4     | Historie.....                                        | 11 |
| 5     | Účinky PCB .....                                     | 12 |
| 5.1   | Toxicita .....                                       | 12 |
| 5.2   | Vliv na životní prostředí .....                      | 14 |
| 6     | Analytické stanovení polychlorovaných bifenyly ..... | 17 |
| 6.1   | Plynová chromatografie .....                         | 18 |
| 6.2   | Imunoanalýza.....                                    | 18 |
| 7     | Způsoby likvidace a zneškodňování .....              | 19 |
| 7.1   | Separace (extrakce) PCB .....                        | 19 |
| 7.2   | Spalování PCB .....                                  | 19 |
| 7.2.1 | Spalování PCB v cementářských pecích.....            | 21 |
| 7.3   | Hydrogenační odbourávání PCB .....                   | 21 |
| 7.4   | Termicko- katalytický rozklad PCB .....              | 22 |
| 7.5   | Chemický rozklad PCB.....                            | 22 |
| 8     | Metabolismus polychlorovaných bifenyly.....          | 23 |
| 8.1   | Bakteriální degradace.....                           | 23 |
| 8.1.1 | Aerobní degradace PCB.....                           | 24 |
| 8.1.2 | Vedlejší produkty biodegradace PCB.....              | 28 |
| 8.1.3 | Vlivy působící na biodegradaci PCB .....             | 28 |
| 8.1.4 | Anaerobní degradace PCB .....                        | 29 |
| 8.2   | Metabolismus u vyšších organismů .....               | 30 |
|       | Příloha.....                                         | 33 |
|       | Literatura.....                                      | 41 |

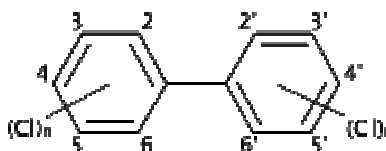


# 1 Úvod

V mé bakalářské práci se budu zabývat skupinou látek zvané polychlorované bifenyle (PCB). Jde o látky připravované v řadě technologických oborů. Jde ovšem o velmi nebezpečné polutanty v životním prostředí, čímž byl zabržděn jejich rozvoj. Zaměřím se na charakteristiku těchto látek, historii jejich výroby a aplikací, vlastnosti, toxikologické účinky. Důležité kapitoly se budou týkat také metabolismu a problémech jejich odbourávání. Součástí bude také přehled užívaných metod. Laboratorní experimenty nejsou zahrnuty.

## 2 Charakteristika

**Polychlorované bifenyly** (PCB) je souhrnný název pro látky obsahující na bifenylovém jádře 1 - 10 atomů chloru. Jde o izomery, tzv. kongenery, lišící se počtem a polohou nebo polohami atomů chloru. Může vznikat až 209 kongenerů (přehled – viz příloha). Ve větším množství jich vzniká ale pouze 102 a tyto kongenery jsou pak součástí komerčních směsí [1].



Obr. 1: Obecná struktura PCB

([http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Polychlorinated\\_biphenyl\\_structure.svg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Polychlorinated_biphenyl_structure.svg))

### 2.1 Fyzikální vlastnosti

Podle stupně chlorace mohou být bezbarvé až žluté, méněchlorované bifenyly bývají obvykle kapaliny, vícechlorované patří mezi pevné látky. PCB jsou látky inertní, přilnavé, odolné vůči vysokým teplotám a nehořlavé. Nejsou korozivní. Je pro ně charakteristická nízká tenze par, vysoká dielektrická konstanta, nízká rozpustnost ve vodě, značná hustota ( $1 \text{ g.cm}^{-3}$ ) a velký elektrický odpor. Polychlorované bifenyly jsou dobře rozpustné v organických rozpouštědlech, olejích a tucích. Jsou silně hydrofobní. Mají velmi nízkou ionizovatelnost. Jejich rozpustnost ve vodě je v rozmezí od  $50 \mu\text{g}$  do  $200 \mu\text{g}$  na litr při  $20^\circ\text{C}$ . Pokud roste stupeň chlorace, tyto vlastnosti se zvyrazňují [1].

Relativní molekulová hmotnost PCB se pohybuje v rozmezí 188-494. Bod tání je mezi  $34 - 198^\circ\text{C}$  a bod varu se nachází v rozmezí  $260 - 450^\circ\text{C}$  [2].

### 2.2 Chemické vlastnosti

Polychlorované bifenyly jsou velice odolné účinkům zásad a kyselin. Nepodléhají oxidaci běžnými oxidačními činidly a redukcí. Jsou rezistentní také vůči hydrolýze a alkoholýze, popř. dalším reakcím [1]. PCB jsou látky, které dlouhodobě setrvávají v životním prostředí, jsou to tzv. polutanty a navíc jde o látky toxické.

Pouze 19 kongenerů splňuje podmínky chiralit [3]. Chiralita je prostorově geometrická vlastnost, přičemž chirální látka není ztotožnitelná se svým zrcadlovým



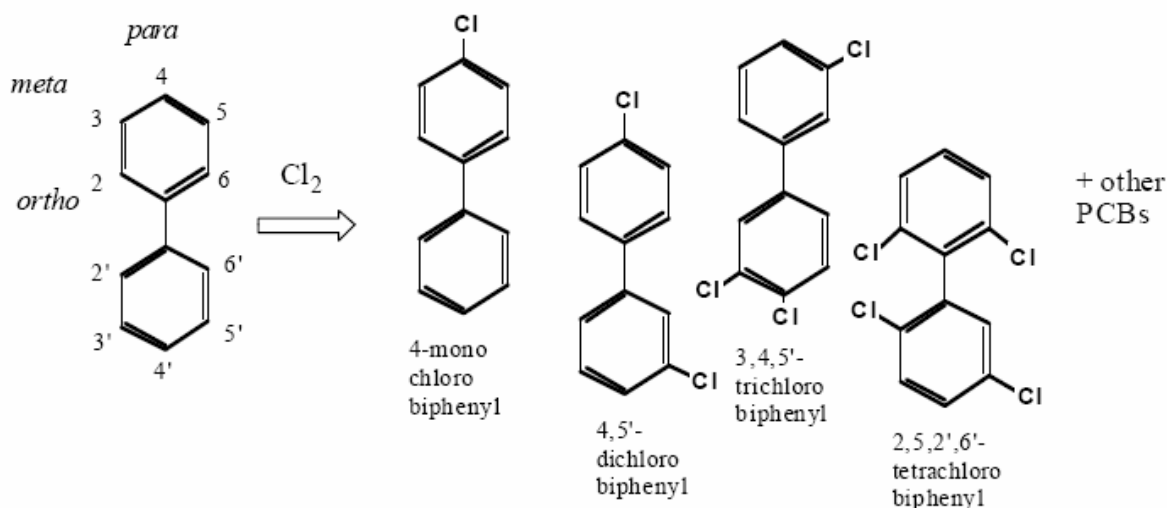
obrazem a nemá střed ani rovinu symetrie. Může však mít osu symetrie [4]. 12 kongenerů se používá v komerčních směsích, kde tvoří prekursor pro atropoisomery methylsulfonovaných PCB (MeSO<sub>2</sub>-PCB).

### 3 Užití a výroba

#### 3.1 Výroba

Výroba polychlorovaných bifenyly je založena na umělé chloraci bifenyly za zvýšené teploty, jako katalyzátor reakce byly používány soli železa. Získaná reakční směs se neutralizuje, následně se destiluje a získaný produkt je rafinován. Dostane se směs chemických individuů, které se liší stupněm chlorace a polohou substituentů [1].

Stupeň chlorace je možno ovlivnit množstvím chloru použitým při reakci. PCB mají celkem 209 kongenerů, ale ve větším množství se jich uměle vyrábí pouze 102. Těchto 102 různých izomerů pak tvořily komerční směsi, obsahující většinou 50 - 60 kongenerů. Jednotlivé názvy komerčních směsí a zemí výroby jsou uvedeny v tabulce 2. Ballschmitter [5], který se zabýval analýzou PCB, přiřadil k jednotlivým kongenerům čísla, která jsou s oficiálním souhlasem IUPAC - mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii používána místo názvů v odborných publikacích, katalozích apod. Např. PCB 101 je označení pro 2,4,5,2',5' pentachlorbifenylyl.



Obr. 2: Obecná rovnice výroby polychlorovaných bifenyly a možné produkty této reakce (<http://www.cfr.washington.edu/classes.esc.518/Lectures/aer%20PCB%20degrad.pdf>)

### 3.2 Použití

Hlavní průmyslové využití PCB bylo především jako elektrické izolační kapaliny v kondenzátorech a v transformátorech, protipožární retardanty hoření, protipožární stabilizátory nátěrových hmot, přísada do barev, hydraulické kapaliny apod. Jako vedlejší použití bylo ale také např. jako přísada do rtěnek. Tyto látky jsou známy pod nejrůznějšími obchodními názvy v mnoha oblastech světa, např.: ALOCLOR (Monsanto, USA a VB), CLOPHEN (Bayer, SRN), DELOR- nejběžnějšími výrobky byly DELOR 103 a DELOR 106 (Chemko Strážske, ČSSR), a mnoho dalších (uvedeno v tabulkách 1 a 2) [6, 7].

**Tabulka 1:** Obchodní názvy výrobků obsahující PCB v Československu (<http://www.eel.cz>)

| Označení výrobku | Použití                  |
|------------------|--------------------------|
| Delor 103        | elektroizolační kapalina |
| Delor 105        | elektroizolační kapalina |
| Delor 105 T      | elektroizolační kapalina |
| Delor 106        | elektroizolační kapalina |
| Delor 106/80X    | elektroizolační kapalina |
| Delotherm DH     | teplonosné médium        |
| Hydrochlor 103   | hydraulická kapalina     |
| Hydelor 103      | hydraulická kapalina     |
| Hydelor 104      | hydraulická kapalina     |
| Hydelor 1104     | hydraulická kapalina     |

**Tabulka 2:** Obchodní názvy zahraničních výrobků obsahující PCB (<http://www.eel.cz>)

| Označení výrobku | Země vývozu                    |
|------------------|--------------------------------|
| Aroclor          | USA, Velká Británie a Japonsko |
| Chlorextol       | USA                            |
| Dykanol          | USA                            |
| Inerteen         | USA                            |
| Noflamol         | USA                            |
| Pyranol          | USA                            |
| Terminol         | USA                            |
| Clophen          | SRN                            |

|            |          |
|------------|----------|
| Pyralen    | Francie  |
| Phenocloc  | Francie  |
| Fenclor    | Itálie   |
| Santotherm | Japonsko |
| Sovtol     | SSSR     |
| Sovol      | SSSR     |

Díky svému použití se PCB dostaly do určitých oblastí ekosystému a i když se tyto látky již nevyrábí a jejich výroba je zakázána, jsou tu stále rizika, protože i dnes se stále vyskytují určité zdroje PCB.

## 4 Historie

Poprvé byly PCB syntetizovány v roce 1881 (Schmidt a Schulz). Polychlorované bifenylly se začaly průmyslově vyrábět již v roce 1929, byly vyráběny jako chemické látky pro průmyslové využití. Začaly se vyrábět v USA v Monsanto a odtud byly potom rozšířeny do celého světa. V roce 1936 byly zjištěny první příznaky intoxikace PCB z profesionální expozice a byl stanoven tzv. „workplace threshold limit“ (maximální přípustná hodnota na pracovišti). V 60. letech se prokázaly jako globální kontaminanty ekosystému. Byly stále častěji objevovány v tkáních organismů, především v tkáních člověka, dostaly se tak tedy do potravního řetězce, což nebylo původně vůbec předpokládáno. Byly ale také objeveny v mléce a masu krav, koz a podobných živočichů. U savců se jeví vylučování mlékem jako nejúčinnější. Bylo tedy zjištěno, že u těchto látek se vyskytují určité karcinogenní rizika a dále výše uvedené problémy s toxicitou. Nejdříve nebylo rozšíření PCB věnována žádná pozornost, ale po těchto zjištěních byly PCB stahovány z prodeje a výroby [8, 9, 10] .

Prvním motivem ke zkoumání účinků polychlorovaných bifenylů v celosvětovém měřítku bylo nalezení kontaminace ve Švédsku ve výše zmíněných 60. letech. Tohle zjištění odstartovalo veškerý celosvětový monitoring těchto látek v životním prostředí [11]. V roce 1973 byla založena skupina při WHO (Světová zdravotnická organizace) zabývající se pouze PCB. Tato skupina doporučila omezení používání PCB na nejmenší nutnou míru. V roce 1976 Kongres v USA zakázal výrobu, distribuci, používání a zpracování PCB. Postupné omezování PCB se rozšířilo dále do většiny průmyslově vyspělých zemí .

I když výroba PCB byla zakázána, jde o látky stále významné v životním prostředí, protože zde byly zaznamenávány největší úniky. Vyskytují se v omezeném množství ve vzduchu, toto množství je neustále kontrolováno (distribuce PCB v prostředí je uvedena v tabulce 3). Přechod PCB do vody představuje zvýšené riziko ve formě usazování v sedimentech. Sediment se dá v tomto případě považovat za rezervoár PCB. Odstraňování škodlivin je v tomto případě prakticky nemožné. Dalším typem rizika je zamořená půda, odkud se PCB mohou šířit dále. Tato oblast je ovšem lépe přípustná a existují způsoby odstraňování PCB ze zamořených půd (více v kapitole 7). Zde byly zdrojem PCB depa, trafostanice nebo např. rozvodny. Velkým rizikem jsou stále zbytky PCB v již hotových výrobcích. Zde jsou rezervoárem traktory, transformátory, silážní jímky, kde může dojít k vyluhování PCB a následně jeho přenosu do potravního řetězce. Kanadská vláda např. také varuje před spalováním dřeva, které by mohlo být natřeno barvami s PCB.

Celkově se vyrobilo přibližně  $2 \times 10^6$  tun polychlorovaných bifenyly. Z tohoto nemalého čísla obrovská část unikla do životního prostředí. Tento odhad vyrobených tun PCB stěhuje fakt, že v některých zemích (např. Polsko, bývalá NDR, Rakousko) nebyla produkce polychlorovaných bifenyly vůbec zaznamenávána. Firma Monstanto v USA se nechvalně postavila na první příčku co se týče produkce těchto látek a podle dostupných údajů vyrobila 50% z celkového množství polychlorovaných bifenyly [12, 13].

Důležitým producentem ale byla také bývalá ČSSR, zde byla výroba zahájena v roce 1959 a definitivně zakázána byla 1. ledna 1984. Bylo zjištěno, že v ČSSR uniklo do životního prostředí až 70% celkové výroby polychlorovaných bifenyly [12,13].

Ukončení výroby po celém světě probíhalo od konce 70. do druhé poloviny 80. let. PCB patří spolu s DDT k nejrozšířenějším chlorovaným polutantům v životním prostředí. Mohou se objevit ve všech složkách životního prostředí.

## **5 Účinky PCB**

### **5.1 Toxicita**

Polychlorované bifenyly jsou látky teratogenní, nepříznivě ovlivňující enzymatický systém jater, mají negativní vliv na imunitní systém a způsobují tzv.chlorakné [14], což je typ kožního onemocnění. Karcinogenita těchto látek nebyla bezpečně prokázána, jsou tedy zařazeny na seznam látek potencionálně karcinogenních. Se stupněm chlorace bude pravděpodobně úzce spjata i toxicita, která ovšem rovněž nebyla zcela objasněna. Toxicita

stoupá se zvýšením chlorace a rovněž s polohou chloru na bifenyly. Toxické jsou PCB substituované v poloze meta a para [15]. PCB, které nemají ortho chlory, jsou PCB koplanární a patří mezi látky dioxinového typu, mají efekty na thyroideální funkce. PCB s chlory v ortho polohách jsou nekoplanární a často jsou příčinou např. neurotoxicity [16].

PCB je možno také rozdělit podle toho, jaký enzymatický systém aktivují [17].

- Typ „methylcholanthren“ – PCB v této skupině jsou nazývány také jako „dioxin-like“ a indukují cytochromy P450 1A1 a 1A2
- Typ „phenobarbital“ - PCB kongenery v této skupině mají schopnost indukovat cytochrom P450 2B1 jako fenobarbital a vyvolávají zvětšení jater a nádory
- Typ „methylcholanthren“ a „phenobarbital“ – v této skupině jsou PCB s asymetrickou substitucí chloru na obou fenylových kruzích

Vzhledem k lidskému organismu je významná jejich kumulace. Hepatotoxické efekty (efekty toxické pro játra) vyvolávají až vyšší dávky PCB. Akutní efekt vede ke hromadění toxických meziproduktů lidského metabolismu v játrech, což je způsobeno zablokováním jaterního oxidačního systému. Často se tento efekt projevuje u kojenců, do jejichž těla se mohou polychlorované bifenyly dostávat pomocí mateřského mléka [14]. Akutní toxikace se projevuje tmavě hnědou pigmentací kůže, rtů, sliznic, nehtů a černé zbarvení nosu. Dále pak přechodné zhoršení zraku, žaludeční potíže, průjem, ztráty paměti a především poruchy vývoje u kojenců. Vliv mají také na mozek, štítnou žlázu a rozmnožovací orgány. Důsledkem bioakumulace je chronická otrava [15].

Při sledování toxických efektů byl zjištěn především výskyt kongenerů 138, 153 a 180, které přetrvávají v organismu nejdéle. Jako nejtoxičtější kongener je považován 3,3',4,4',5-pentachlorbifenylyl.

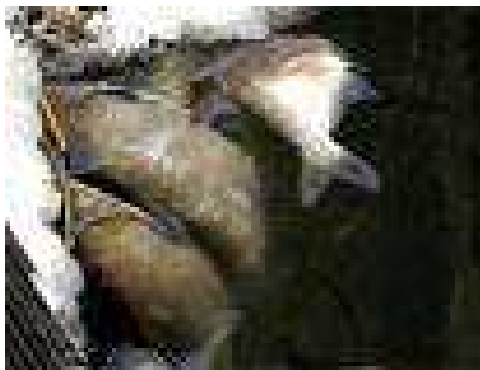


Obr. 3: Chlorakné (ohg.lw5.de/.../images/oekologie/15dioxinverg.jpg)

## 5.2 Vliv na životní prostředí

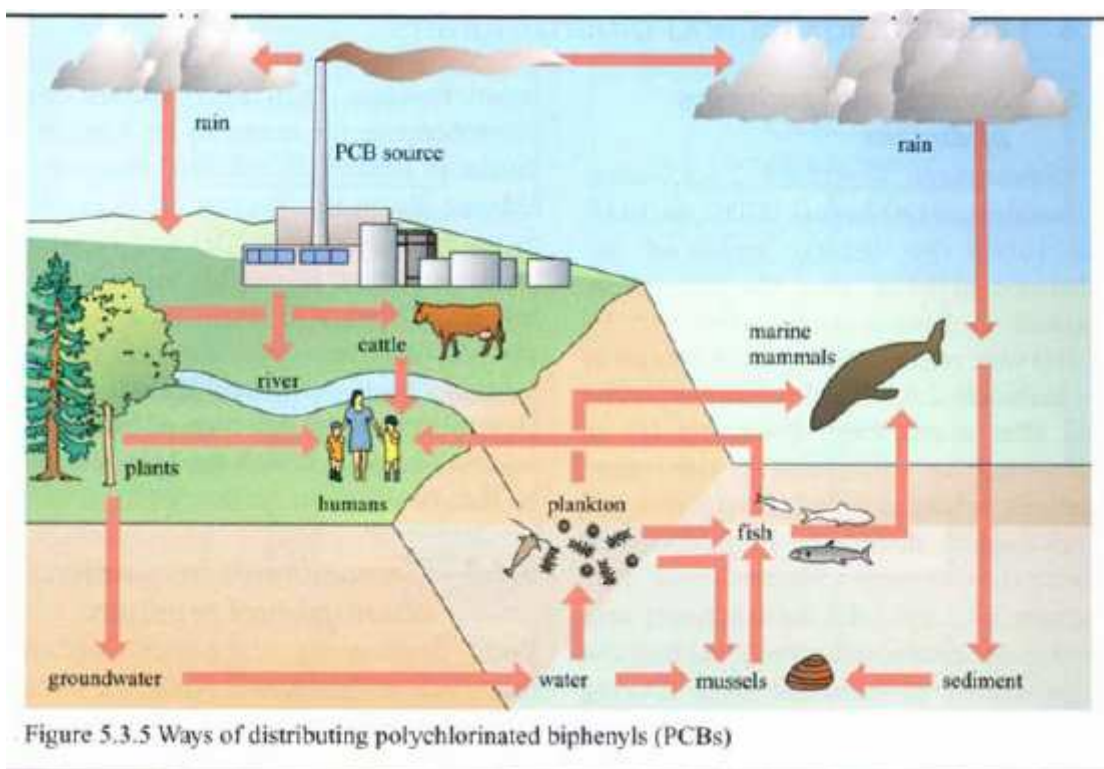
Zvýšený obsah PCB byl zjištěn především ve vysoce průmyslových oblastech. Odpady znečištěné polychlorovanými bifenyle jsou většinou nevhodně skladovány a potom dochází následně k úniku těchto látek do okolního ekosystému a kumulaci těchto látek jednak v tukových tkáních, čímž se tyto látky mohou dostávat do potravního řetězce, ale i adsorpci na různých organických i anorganických sedimentech. Je proto nezbytně nutné sledovat obsah PCB v potravinách. Touto problematikou se zabývá Česká zemědělská a potravinářská inspekce.

Bylo také prokázáno, že PCB jsou toxické pro ryby a jiné vodní organismy. Tato toxicita je ale také nebezpečná pro člověka, protože ryby bývají hlavní potravou u lidí, ale také i jiných organismů. Jak je uvedeno v tabulce 3, je obsah PCB ve vodním prostředí poměrně vysoký. Již při nízkých koncentracích byly pozorovány reprodukční a vývojové problémy u ryb. V počátečních stádiích bylo ovšem tohle riziko největší. Byl také zjištěn úhyn evropských úhořů, jelikož mají ve svých tkáních tak velké množství PCB, že již nejsou schopni reprodukce. Úhoří samice předává polychlorované bifenyle pomocí tělního tuku do svých jiker, což způsobuje úhyn mladých úhořů. Bylo zjištěno, že v současné době jsou schopni reprodukce pouze úhoři z méně industrializovaných oblastí [18].



Obr. 4: PCB způsobují úhyn ryb (media.rozhlas.cz/\_obrazek/00353513.jpeg)

Zjistilo se, že významným mechanismem mobility těchto látek je jejich cyklické odpařování z povrchů. Kontaminanty jsou pak přenášeny pohybem vzdušných mas společně s vodní parou až do velkých vzdáleností [19].



Obr. 5: Možné cesty distribuce PCB ( Holoubek, I., Chemie životního prostředí IV.  
<http://recetox.muni.cz/index.php?s=studium&f=download>)

Vzhledem k jejich vysoké biologické perzistenci je zde velký problém s likvidací těchto látek a komerčně používané technologie se v tomto případě omezují pouze na skládkování a procesy tepelné destrukce.

**Tabulka 3:** Distribuce PCB v prostředí (<http://www.ekosystem.cz/vav/x/2.htm>)

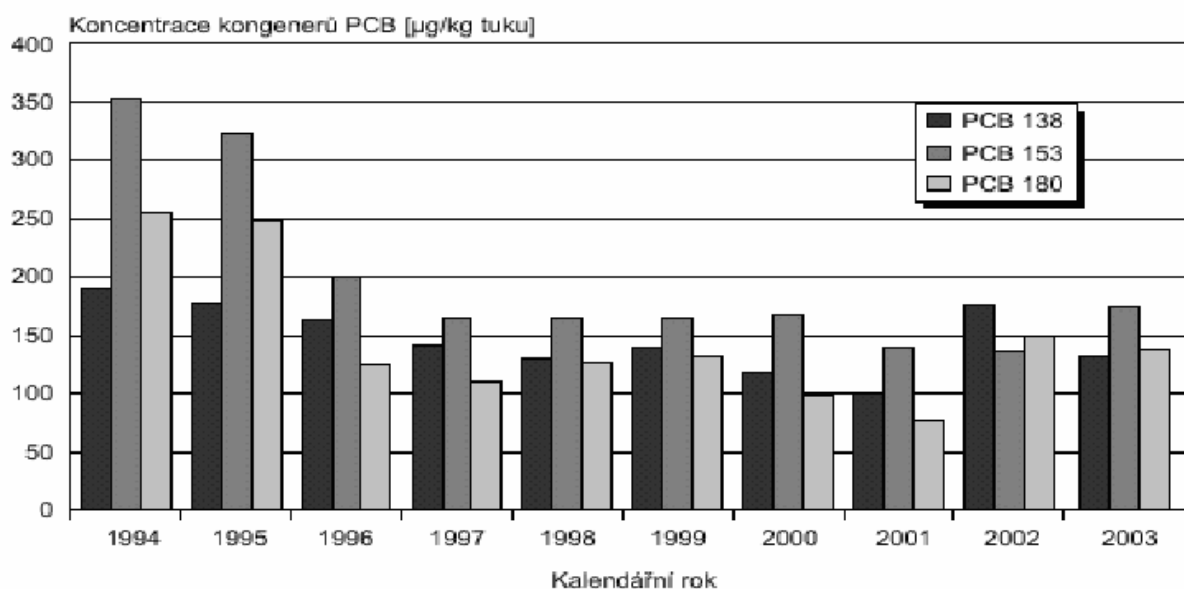
| složka prostředí         | obsah PCB z celkového množství (t) | Procentuální rozložení PCB z celkového množství (%) |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <i>pevnina a pobřeží</i> |                                    |                                                     |
| atmosféra                | 500                                | 0,13                                                |
| říční a jezerní voda     | 3 500                              | 0,94                                                |
| mořská voda              | 2 400                              | 0,64                                                |
| půda                     | 2 400                              | 0,64                                                |
| sediment                 | 130 000                            | 34,73                                               |
| biota *                  | 4 300                              | 1,15                                                |
| <i>celkem</i>            | 143 100                            | 38,23                                               |

*otevřený oceán*

|                         |         |        |
|-------------------------|---------|--------|
| vzduch                  | 790     | 0,21   |
| mořská voda             | 230 000 | 61,45  |
| sediment                | 110     | 0,03   |
| biota *                 | 270     | 0,07   |
| <i>celkem</i>           | 231 170 | 61,77  |
| <i>celkové zatížení</i> | 374 270 | 100,00 |

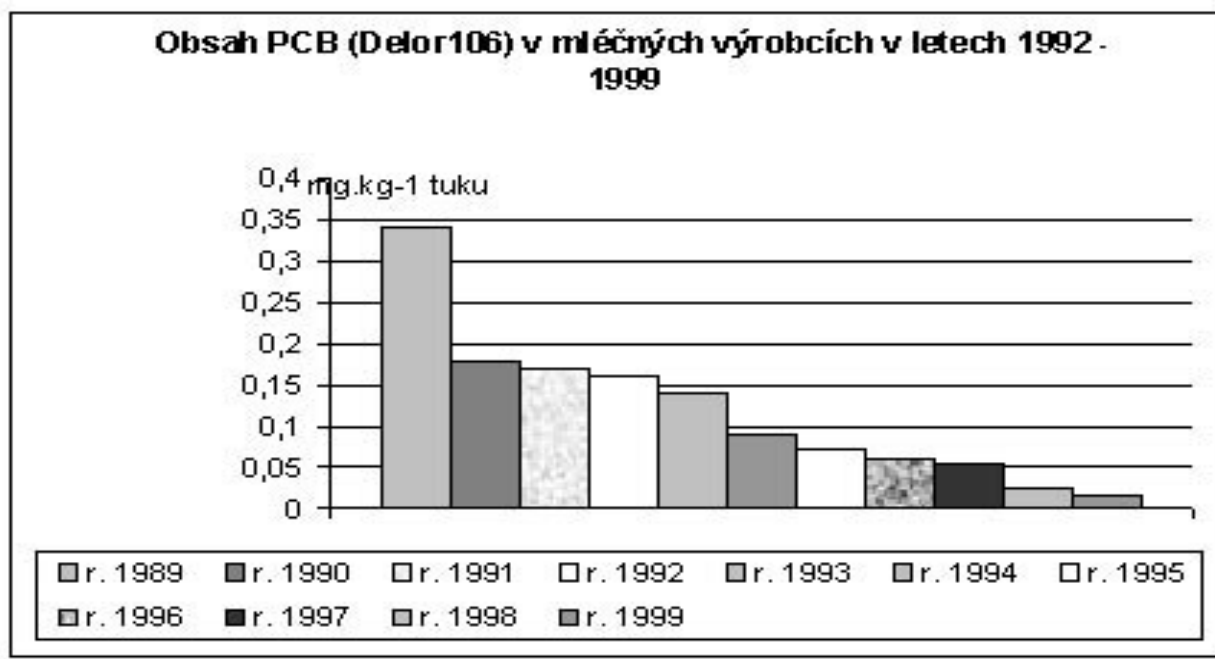
- *živá složka*

**Polychlorované bifenyly v mateřském mléce  
medián koncentrace, 1994–2003**



Obr. 6: Pokles koncentrace kongenerů PCB 138, 153 a 180 v mateřském mléce  
([http://www.szu.cz/chzp/data\\_zdravi/dz025.html](http://www.szu.cz/chzp/data_zdravi/dz025.html))





Obrázek 7: Úbytek koncentrace PCB (ve směsi Delor106) v mléčných výrobcích

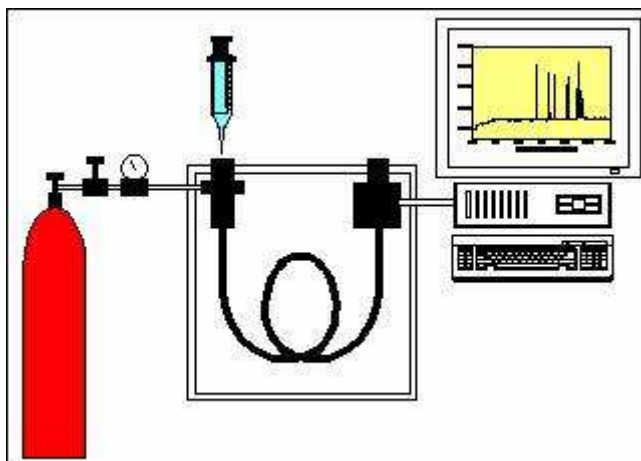
(<http://www.szpi.gov.cz/cze/article.asp?id=54352&cat=2162&ts=5ec4>)

## 6 Analytické stanovení polychlorovaných bifenyly

Molekula PCB je na první pohled zcela nerozložitelná látka. Pomocí ultrafialové složky slunečního světla však dochází k excitaci molekul polychlorovaných bifenyly a následné částečné fotochemické destrukci. Tento proces probíhá zcela odlišnými rychlostmi a závisí na okolním prostředí, ve kterém se PCB nachází. Nejrychleji probíhá na pevných površích, kde jsou PCB adsorbovány v tenké vrstvě. Tato vrstva je pak přímo ozářena zdrojem UV záření [20].

Pro analýzu polychlorovaných bifenyly je nutno brát v úvahu možný stupeň degradace. Důležitá je taky změna zastoupení jednotlivých kongenerů v přírodních vzorcích oproti standardní směsi průmyslově vyráběných PCB.

## 6.1 Plynová chromatografie



Obr. 8: Schéma plynového chromatografu

([http://tomcat.bf.jcu.cz/sima/analyticka\\_chemie/separb\\_soubory/image002.jpg](http://tomcat.bf.jcu.cz/sima/analyticka_chemie/separb_soubory/image002.jpg))

Při analytickém stanovení PCB se obsah polychlorovaných bifenylů stanovuje výlučně pomocí plynové chromatografie. Používá se zde plynový chromatograf s detektorem elektronového záchytu [20], který umožňuje dosáhnout potřebnou citlivost metody, s možností instalace kapilární křemenné kolony s chemicky vázanou fází, v tomto případě se jedná o nepolární silikonovou fází. Dochází k řízenému průběhu analýzy pomocí teplotního programu.

Získané údaje lze následně kvalitativně či kvantitativně vyhodnocovat. Při kvalitativním vyhodnocování provádíme srovnávání retenčních časů jednotlivých píků standardu s píky ve vzorku. Jako standardy se používají roztoky Deloru 103 a Deloru 106. Při kvantitativním vyhodnocování existuje celá řada postupů. Jedním z nich je například metoda reprezentativních píků, která je založena na srovnávání ploch píků PCB ve standardu Deloru a ve vzorku.

Při analytickém stanovení PCB se musí věnovat mimořádná pozornost případné kontaminaci laboratorního skla, všech pomůcek a chemikálií. Při porovnávání vzorků se standardy je nutno brát v úvahu pouze chromatogramy měřené za stejných podmínek analýzy.

## 6.2 Imunoanalýza

Nejznámější imunoanalytické metody, jako je např. RIA (radioimunoanalýza), ELISA (imunoanalýza s využitím vázaných enzymů), imunoanalýza na optických vláknech a další metody imunoanalýzy jsou relativně snadným, ekonomicky výhodným řešením stanovení

PCB. Jsou to metody rychlé a téměř rutinní. Jedná se o techniky založené na interakci protilátky s antigenem.

Pomocí imunoanalýzy se detekují skupiny kongenerů, které se vyskytují ve většině komerčních směsí. Ve většině případů se určuje, zda je obsah PCB pod nebo nad kritickou hranicí. Mohou také poskytovat kvantitativní data, pokud je imunochemická detekce ve spojení s extrakcí [21].

## **7 Způsoby likvidace a zneškodňování**

Polychlorované bifenylly se od ostatních látek odlišují především svojí vysokou stabilitou a chemickou odolností. Jejich likvidace díky této vlastnosti proto nemohou být považovány za běžné likvidace odpadů. Nejčastějším procesem likvidace je spalování, ale pokud by byly tyto látky spalovány jako běžné odpady, mohou vznikat látky ještě více nebezpečné než PCB, jako jsou polychlorované dibenzofurany nebo polychlorované dibenzodioxiny. Proto byly zkoumány nové způsoby odbourávání a separace, které by byly účinnější a přeměnily tyto látky na neškodné nebo lépe odbourávatelné sloučeniny.

Specifické likvidace jsou proto pak založeny na metodách jako je extrakce, spalování, fotolýza a dále pak především na mikrobiální degradaci [22].

### **7.1 Separace (extrakce) PCB**

U polychlorovaných bifenylů, které byly separovány z elektroizolačních kapalin a z půd, bylo vyzkoušeno několik druhů extrakčních činidel. Z nichž jako nejvýhodnější byla především methanol a dále pak směs vody a petroleje [22].

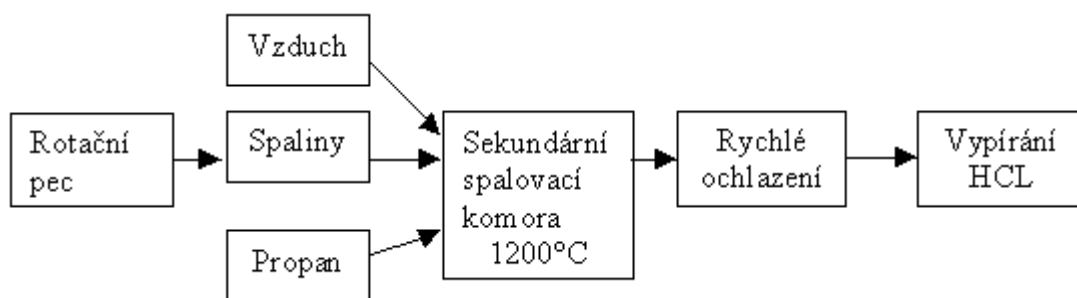
Methanol: Bylo zjištěno, že při extrakci methanolem činil úbytek PCB až 92%.

Směs vody a petroleje: Tato směs byla aplikována pro extrakci polychlorovaných bifenylů z půd. Byly provedeny následně tři extrakce a úbytek PCB byl o 96%.

Mezi ostatní extrakční činidla bylo např. použití freonů, směsi alifatických uhlovodíků s přítomností amoniových solí. Tyto činidla se rovněž jevila jako účinná.

### **7.2 Spalování PCB**

Organické látky se rozkládají působením vysokých teplot. Teplota při spalování by měla být vždy taková, aby nevznikaly látky ještě více nebezpečné.



Obr. 9: Schéma spalovacího procesu PCB ()

Při spalování PCB se používají kompaktní materiály. Mohou to být i přímo aplikované výrobky.

Spaliny, které přicházejí z rotační pece, vedou do sekundární spalovací komory. V této komoře se zvyšuje teplota pomocí spalování propanu až na 1200° C. Tato teplota nesmí klesnout a doba zdržení nesmí poklesnout pod 2 sekundy. Pak nastává rychlé ochlazení. Je to velice důležitá část procesu spalování, protože zde vzniká nebezpečí reakce HCl s kyslíkem, kdy vznikne chlor, který se špatně vypírá. Maximální průtok polychlorovaných bifenyly je 1,5 t/hod, okamžitá povolená koncentrace je pro kapaliny 1,5 mg/kg, pro tuhé odpady 15 mg/kg a pro plyny 1 mg/m<sup>3</sup>. Vypírka může být prováděna buď hydroxidem sodným nebo popřípadě může být nahrazena vodou s neutralizací vápnem [22].

Na takovém spalovacím zařízení se zpracovávalo až 25000 tun odpadu za rok. Toto zařízení je také doplněno autoklávy, což je vytápěná, uzavíratelná, tlaková nádoba pro reakce probíhající za vysoké teploty a tlaku. V těchto autoklávech se může elektrické zařízení (např. transformátor nebo kondenzátor) obsahující polychlorované bifenyly extrahovat. Úprava materiálu často spočívá právě v extrakci.

Pro dosažení maximálního stupně zneškodnění těchto látek, nejméně o 99,9999% původní koncentrace, používáme následující postup [23]:

- Příprava odpadu pro spalování
- Spalování odpadu za vysokých teplot a dlouhé doby setrvání na této teplotě
- Odprášení kouřových plynů na velmi nízké koncentrace
- Mokrý alkalický vytírka dále sníží obsah prachu v kouřových plynech
- Snížení teploty kouřových plynů v mokré pračce na teplotu pod rosný bod, nejlépe pod 50°C
- Opětné ohřátí kouřových plynů na teplotu vyšší než je teplota rosného bodu spalin
- Bezodpadová technologie vodního okruhu
- Zabezpečení uložení na ekologické skládce

Zařízení určená pro likvidaci PCB v půdách jsou popsána jako **mobilní spalovací zařízení**, které se skládá z dvojstupňového spalování s vypírkou. Dochází v něm ke spalování paliv až se 60% polychlorovaných bifenyly a ke spalování kondenzátorových náplní, které mohou obsahovat až 18% PCB.

Významné snížení PCB lze také provést pomocí spalování PCB za **přítomnosti vápna** při teplotách 700 až 1300°C.

Popsány byly také způsoby rozkladu polychlorovaných bifenyly, ale i podobných látek pomocí **směsí vodní páry a kyslíku**. Tento způsob rozkladu probíhá při teplotách 1370 až 1760°C [22].

### 7.2.1 Spalování PCB v cementářských pecích

Výstavba pecí pro vysokoteplotní spalování PCB je velice nákladná, proto byly hledány další postupy spalování. Jedním z nich je spalování v cementářských pecích [22]. Teplota, které je možno dosáhnout v těchto typech pecích je až 1400°C, teplota plamene je 1700°C a délka plamene bývá kolem 20 m. Jako minimální teplota pro spalování polychlorovaných bifenyly se uvádí teplota okolo 1100 °C, proto jsou podmínky v cementářských pecích pro spalování PCB příhodné. Výhodou a příznivý vliv na průběh spalování má také vznikající klínek, který váže v sobě těžké kovy i vznikající HCl.

Při ověřování spalování PCB v těchto pecích, například v Kanadě, Švédsku, Norsku nebo Francii, byla zjištěna velice dobrá účinnost rozkladu. Podle kanadských pokusů tato účinnost činila až 99,9999%.

Limitujícím faktorem při použití cementářské pece může být však maximální přípustný obsah alkalických chloridů v cementu. Množství PCB, které může být takhle likvidováno, je omezeno. Kvalita cementu není ovlivněna tímto procesem.

Byly testovány různé druhy těchto pecí, lišící se teplotou a rozdílné druhy měly za následek odlišné účinnosti rozkladu.

## 7.3 Hydrogenační odbourávání PCB

Spalování PCB je ovšem velice energeticky náročné, je zapotřebí dodávat velké množství tepla. Byly vypracovány proto další metody, z nichž jednou je likvidace polychlorovaných bifenyly pomocí hydrogenace [22]. Hydrogenace je typ chemické reakce založené na reakci látky s vodíkem.

Při použití této metody bylo dosaženo odbourání polychlorovaných bifenyly až z 99%.

## 7.4 Termicko- katalytický rozklad PCB

Polychlorované bifenyly se dají rozkládat za přítomnosti hořčíku, hliníku, křemíku nebo také titanu, resp. slitin těchto kovů a tento děj probíhá za teplot 450 - 650°C v atmosféře inertního plynu. Povrch takového kovového katalyzátoru by měl být min. 65 m<sup>2</sup>/g.

Znám je již také rozklad polychlorovaných bifenyly na náplni, obsahující uhlík, sodu bikarbonát (hydrogenuhličitán sodný) nebo sodu při teplotách nad 1000°C [22].

## 7.5 Chemický rozklad PCB

Mezi další velice důležité metody zneškodňování či likvidace polychlorovaných bifenyly jsou chemické metody degradace PCB. Experimentálně byly nalezeny různé cesty chemického rozkladu polychlorovaných bifenyly [22]. Jsou to především metody založené na:

- Metodách reduktivní dehalogenace polychlorovaných bifenyly pomocí hydridů kovů 1. až 3. skupiny
- Substituci chloru nukleofilními činidly. Mezi činidla použité při tomto procesu patří např. alkoholáty alkalických kovů, thioláty, amidy aj.
- Oxidativním štěpení pomocí použití silných oxidačních činidel
- Vysokoteplotní destrukci PCB za podmínek oxidačních, resp. redukčních v přítomnosti reaktivních látek (chloridy, oxidy, aj.)
- Kondenzačním štěpení vazeb C-Cl za vzniku kondenzačních produktů

Uvedené metody lze vždy rozdělit na destrukční, to jsou takové, při kterých dochází ke štěpení bifenylového jádra, a na nedestrukční, kde ke štěpení bifenyly nedochází.

Pokud je při těchto metodách chemické destrukce použita ultrazvuková lázeň, dochází obecně ke značnému zrychlení procesu. Tento způsob má význam při zneškodňování polychlorovaných bifenyly z vodných roztoků.

Mezi metody zneškodňování polychlorovaných bifenyly patří např. také **fotorozklad PCB**. Byly popsány některé pozitivní účinky laserů, ozařování běžných roztoků PCB zářivkami za přítomnosti např. propanu, což vede ke substituci atomů chloru vodíkem až po vznik bifenyly.

## 8 Metabolismus polychlorovaných bifenyly

V této kapitole se budu zabývat metabolismem PCB. Metabolismus může být důležitý pro odbourání těchto látek ve smyslu xenobiotik, tzn. látek cizorodých pro organismus. Důležitá funkce metabolismu je ale také ve smyslu dekontaminace a likvidace PCB, kde je tato metoda potřebná, užitečná a nedá se např. použít likvidace pomocí spalování.

Metabolismus PCB je velice náročný proces, proto je jeho principu věnována velká pozornost. Metabolismus probíhá odlišnými způsoby na základě různých typů organismu.

### 8.1 Bakteriální degradace

V současné době se ve zvýšené míře studuje obourávání látek v této skupině. Využití mikroorganismů se jeví z finančního hlediska jako velice výhodné řešení, ale také proto, že se jedná o ekologicky velice šetrnou metodu. Je vhodná u rozsáhlé kontaminace s relativně malým množstvím obsahem PCB. V kontaminované půdě byly vyselektovány bakterie, které jako organický substrát využívají právě kontaminant PCB. Jako další vhodní zástupci se jeví kromě půdních bakterií a ligninolytických hub i některé druhy rostlin.

Proces mohou urychlit změny chemických nebo fyzikálních stavů. Tato degradace má velké výhody, jako např. proces nevyžaduje agresivní chemikálie, je možno jej použít v uspořádání ex- i in- situ a jak již bylo výše napsáno jde o finančně výhodnější proces, bylo ale zjištěno, že schopnost bakterií degradovat polychlorované bifenyly se soustřeďuje spíše na nízkochlorované kongenery. Vícechlorované lze považovat při této metodě za rezistentní.

Zákonitosti a výzkum biodegradace jsou známy již od roku 1973. V současné době není tato metoda používána z důvodu rezistentnosti výšechlorovaných bifenyly.

Degradační proces je limitován [15]:

- druhem a koncentrací kontaminantu,
- množstvím dostupného kyslíku, živin a vody,
- druhem a vlastnostmi použitého mikroorganismu,
- dostupností kontaminantů v zemině

Mechanismus bakteriální degradace se tedy liší především podle podmínek – můžeme ho tedy rozdělit na mechanismus aerobní a anaerobní.

### 8.1.1 Aerobní degradace PCB

Aerobní bakterie atakují přímo bifenylovou kostru u méněchlorovaných bifenyků, dochází zde ke vzniku chlorbenzoových a 5-C chloralifatických sloučenin.

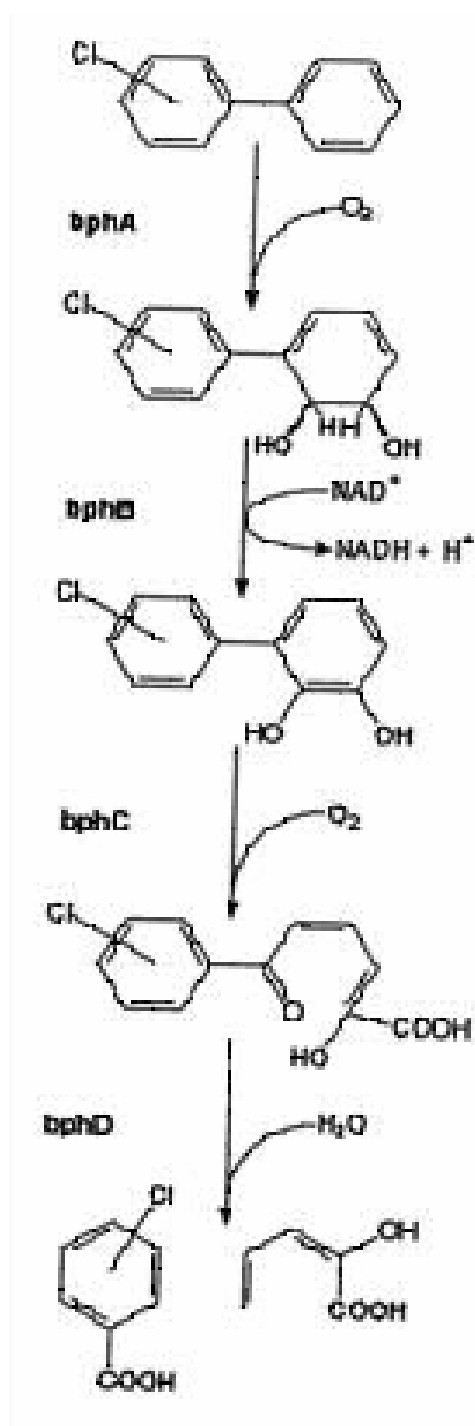
Metabolismus je u aerobních bakterií tvořen třemi dráhami [1]:

- bakterie metabolizující bifenyk a kometabolizující PCB na chlorderiváty a 5-C chloralifatické kyseliny
- bakterie metabolizující chlorbenzoáty
- bakterie dehalogenizující 5-C chloralifatické kyseliny

Jedná se o tři typy bakterií. Cílem je pomocí molekulárně - genetických metod vytvořit kmen s aerobním mechanismem, jenž by obsahoval kompletní genetickou výbavu pro mineralizaci PCB, kterou by navazoval na produkty metabolismu účinných, anaerobních kmenů. Mezi kmény schopné degradovat širší spektrum kongenerů patří *Pseudomonas* sp.LB400, *Alcaligenes eutrophus* H850, *Acinetobacter* sp. P6 a *Corynebacterium* sp. MB1 [1].

Aerobní degradace bifenyku a PCB probíhá čtyřstupňovým dějem.





Obr. 10: Schéma biodegradace u určitého typu bakterie (Machala, M., Xenobiochemie- výběrové přednášky)

Iniciačním krokem je oxidace, která je katalysována pomocí např. bifenylyl-2,3-dioxygenasy. Probíhá v nesubstituovaných polohách 2,3 (popř. 5,6), přednostně na nesubstituovaném nebo méně substituovaném kruhu. Vznikající 2,3-dihydrodiol je pak dále dehydrogenován na 2,3- dihydroxybifenylyl. Následuje meta-štěpení v pozici 1,2 a produktem tohoto štěpení je pak 2-hydroxy-6-oxo-6-fenylhexa-2,4-dienová kyselina. Tato kyselina se

pak dále štěpí na příslušný chlorbenzoát a 2-hydroxypenta-2,4-dienovou kyselinu [24]. Každý krok této reakce je katalyzován příslušným enzymem, který se liší i podle druhu bakterie. Produkty tohoto odbourávání jsou potom rozlišné.

Výsledkem biotransformace PCB jsou především benzoové kyseliny. Tyto kyseliny mohou být dále degradovány dalšími bakteriálními kmeny. Ke kmenům schopným dále metabolizovat tyto kyseliny patří *Pseudomonas putida* P111, *Pseudomonas stutzeri* nebo *Pseudomonas aeruginosa* JB2.

Vliv na degradovatelnost jednotlivých kongenerů má především substrátová specifita prvního enzymu biodegradační dráhy - bifenyldioxygenasy. Na základě výzkumu odbourávání 33 individuálních kongenerů bakteriálními kmeny *Alcaligenes* Y42 a *Acinetobacter* P6, byly formulovány základní principy degradace PCB. Tyto principy formuloval Furukawa a jsou založené na vzájemném vztahu chemické struktury a biodegradability [25].

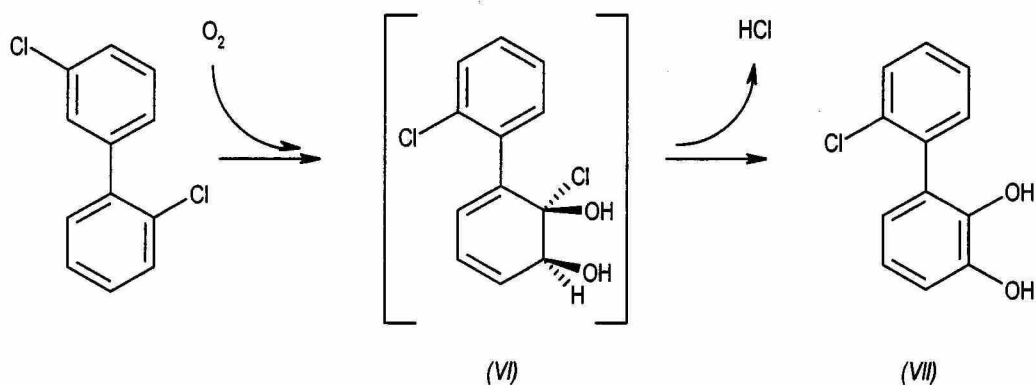
- Biodegradabilita klesá se zvyšujícím se počtem substituovaných chlorů na molekule bifenyly
- Dva atomy chloru v poloze ortho (2,6- nebo 2,2) zvyšují resistenci k biodegradaci
- Kongenery substituované pouze na jednom kruhu jsou transformovány rychleji než kongenery se substitucí na kruzích obou
- Tetra- a pentachlorbifenyly jsou snáze degradovatelné, jestliže jeden z kruhů je substituován v polohách 2,3
- K iniciačnímu kroku dochází zpravidla na méně substituovaném kruhu.

Jinou substrátovou specifitu má 3,4- bifenyldioxygenasa. Proto pro ni platí také odlišné principy degradace:

- tetra- a pentachlorbifenyly se substituovaným jádrem v polohách 2 a 5 jsou snáze degradovány než kongenery méně chlorované se substituenty v obou polohách para (4,4)
- řada di-ortho-substituovaných kongenerů (2,2-, 2,3,6-, 2,5,2-, 2,5,2,5-), některé tri- a tetra-ortho-substituované kongenery (2,4,6,2,5-, 2,3,5,6,2,3,5-, 2,3,6,2,3,6-) jsou degradovány rychleji

- kongenery substituované pouze na jednom kruhu jsou transformovány rychleji než kongenery se substitucí na obou kruzích
- více chlorované bifenyly se substitucí v polohách 2 a 3 jsou degradovány obtížněji než kongenery substituované v polohách 2 a 5
- trichlorbifenyly 2,4,4- a 2,5,4- jsou transformovány štěpením disubstituovaného jádra za vzniku 4-chlorbenzoátu.

Byla také pozorována degradace 2,4,5,2,4,5- hexachlorbifenyly, tedy kongeneru, který má chlorované pozice pro obě dioxygenasy. Tato degradace byla zjištěna u kmenů *Alcaligenes eutropus* H850 a *Pseudomonas sp.* LB400. Existuje názor, že 2,3-dioxygenasa těchto kmenů může napadat ortho - chlorovaný atom uhlíku, což vysvětluje snazší degradovatelnost kongenerů s chlorovanými pozicemi 2,2 [25].



Obr. 11: Navržená dráha 2,3-ataku se současnou dechlorací (<http://www.ekosystem.cz/vav/x/2.htm>)

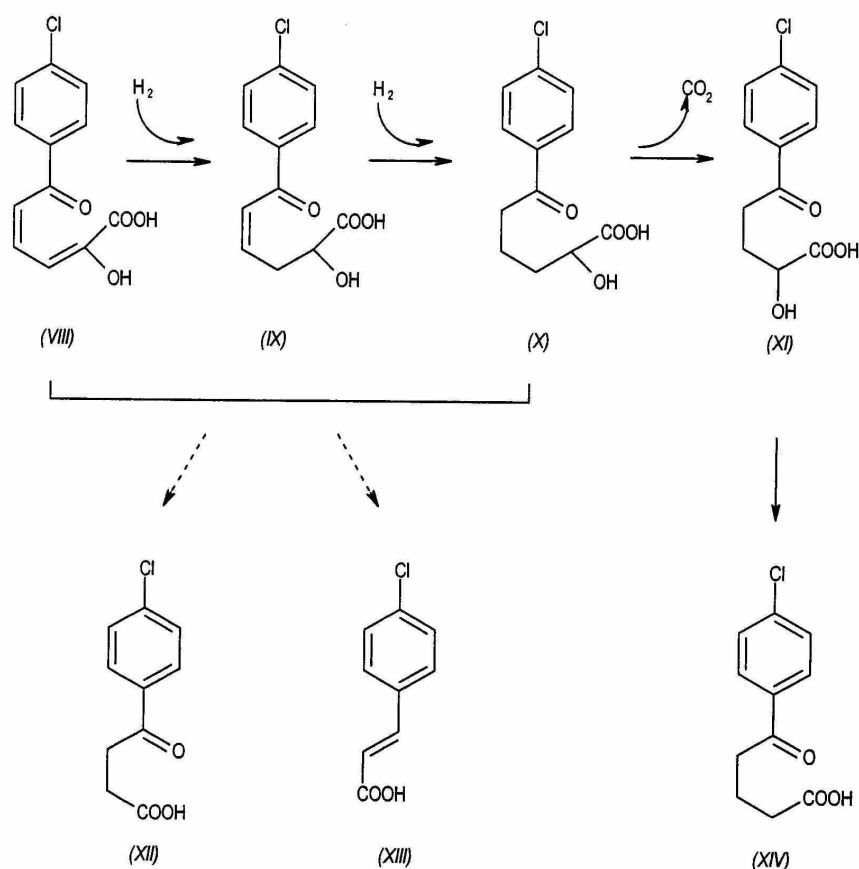
Z nestabilního meziproductu se pak samovolně uvolňuje chloridový ion za vzniku 2,3-dihydroxychlorbifenyly, který je pak dále transformován.

Jsou-li bakterie předem kultivovány na médiích obsahujících bifenylyl jako jediný zdroj uhlíku nebo je-li bifenylyl přidán do média společně s PCB, schopnost odbourávat polychlorované bifenyly se tím značně zvyšuje. Degradace látek obsahující PCB nepřináší bakteriím žádný energetický zisk, ale PCB jsou pouze při degradaci kometabolizovány.

Nejčastější pokusy degradace byly prováděny při teplotách 18 a 25°C, ale je známo, že aerobní biodegradace může probíhat i při mnohem nižších teplotách, např. 4°C [26].

### 8.1.2 Vedlejší produkty biodegradace PCB

Při biodegradaci vzniká vedle chlorbenzoových kyselin také několik dalších typů metabolitů, jak je naznačeno na obrázku č.11.



Obr. 12: Příklad vedlejších produktů degradace PCB(<http://www.ekosystem.cz/vav/x/2.htm>)

### 8.1.3 Vlivy působící na biodegradaci PCB

Jak bylo uvedeno výše hraje obrovskou roli stupeň a typ substituce. Důležitý význam má také dostupnost PCB. Aby mohl být substrát metabolizován, je nutný jeho kontakt s buňkami. PCB jsou ve vodném prostředí málo rozpustné a pro zvýšení rozpustnosti se používají některé povrchově aktivní látky, které jsou pro bakterie netoxické. V přítomnosti některých povrchově aktivních látek chemického nebo biologického původu se výrazně zvyšuje degradace směsí polychlorovaných bifenylovů.

Z hlediska životního prostředí je lépe použít látky biologického původu. Šetrným řešením v tomto případě je použití PCB degradujícího kmene ve směsi s kmenem produkujícím biosurfaktant [27, 28].

PCB nelze použít jako růstový substrát pro bakterie. Případná remediace kontaminované půdy vyžaduje přítomnost bifenyly, což je velice ekonomicky a především ekologicky velice náročné.

Nejrozšířenější bakterie jsou bakterie rodu *Pseudomonas*, z nich je to především druh *Pseudomonaa putida*. Při izolaci bakterií z kontaminovaných půd bylo zjištěno, že více než 2/3 všech bakterií byly rodu *Pseudomonas*. Jak uvádí literatura jsou k nalezení ve vodách, půdách, v rostlinách, ale i v exkrementech zvířat a ve stolici lidí. Některé druhy jsou pro člověka patogenní. Jsou to gram negativní, striktně aerobní bakterie tyčinkovitého tvaru. Jejich psychrofilní charakter jim umožňuje růst i při poměrně nízkých teplotách.



Obr. 13: *Pseudomonas putida* ([http://www.genciencia.com/images/pseudomonas\\_putida.jpg](http://www.genciencia.com/images/pseudomonas_putida.jpg))

#### 8.1.4 Anaerobní degradace PCB

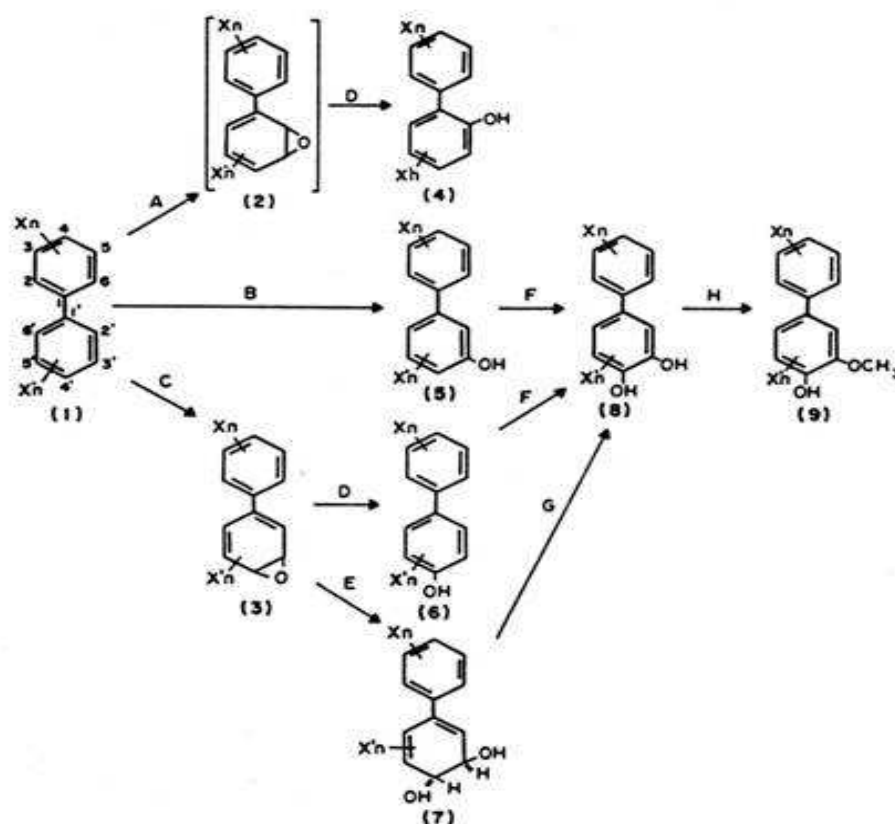
Jde o typ degradace, kdy jsou atomy chloru odstraňovány z molekuly PCB za současného přijetí elektronu. Jde o mechanismus redukční dehalogenace. Anaerobní mikroorganismy používají chlor na molekule PCB jako akceptor elektronů. Přednostně dochází k dechloraci v poloze meta a para.

Produktem této reakce jsou potom nízechlorované bifenyly, které jsou dále snáze degradovatelné pomocí aerobních bakterií. Anaerobní degradaci je možno ovlivnit různými podmínkami, jako např. teplota a přítomnost živin. Bylo prokázáno, že nejlepších výsledků bylo dosaženo při teplotách kolem 25 °C. Při teplotě 37 °C již k žádné dehalogenaci nedocházelo [29].

## 8.2 Metabolismus u vyšších organismů

Polychlorované bifenyly jsou látky lipofilní, kumulující v biotě. Vícechlorované bifenyly lze považovat za látky téměř perzistentní. Jsou to látky takzvaně antiestrogenní. Metabolismus je velice obtížný. Studium každého kongeneru je nepraktické, a proto jsou znalosti základního mechanismu metabolismu extrapolovány na celou skupinu těchto látek.

Metabolismus vede často k tvoření polárních, ve vodě rozpustných látek, které jsou lépe vyměšovány. Metabolismus polychlorovaných bifenyly vyšších živočichů je rozdělen do dvou fází. V první fázi je molekula upravena oxidací, redukcí, hydrolýzou, přidáváním nebo transformací určité reaktivní skupiny. Nejdůležitější enzymy první fáze biotransformace jsou cytochromy P450 (CYP). Produkty vzniklé v první fázi jsou pak ve druhé fázi dále konjugovány. Metabolismus může mít negativní efekt pokud vznikají některé reaktivní intermediáty, jako jsou například chinony, semichinony, které mohou reagovat dále s molekulami DNA. Tyto reaktivní meziproducty mohou reagovat s tzv. konjugačními enzymy. Nejdůležitější konjugační enzymy jsou glutathion-S-transferasa (GST), popř. uridindifosfoglukuronyltransferasa (UDPGT) [16].

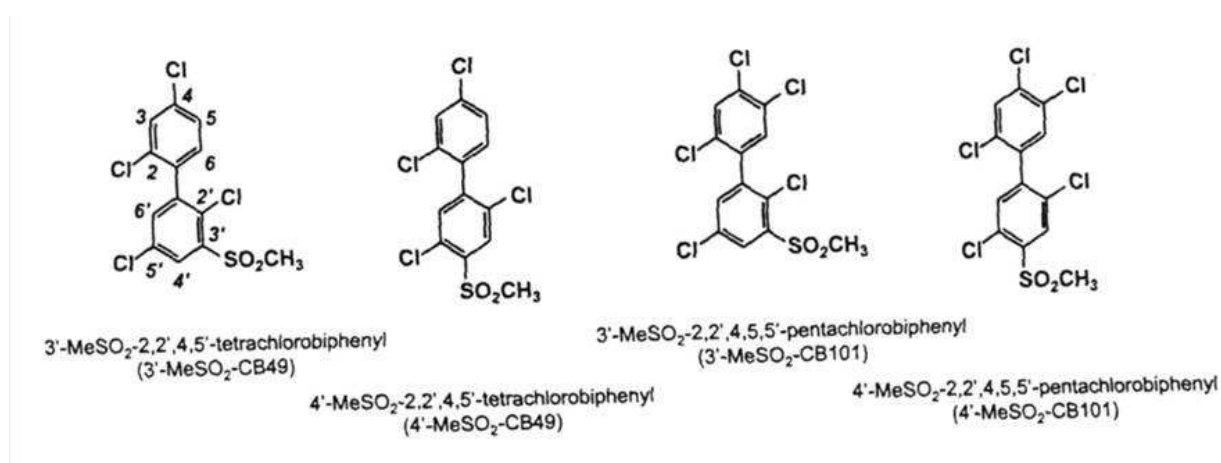


Obr. 14: Alternativní cesty odbourávání PCB u vyšších živočichů (Machala, M., Xenobiochemie- výběrové přednášky)

Pokud je na polychlorovaném bifenylu prostor, může vznikat epoxid a následně potom příslušný hydroxid. Může zde docházet k NIH posunu, kdy se uvolní prostor pro vznik epoxidu tím, že dojde k posunu chlóru o jedno místo. Tento posun je však velmi energeticky náročný [30].

Výsledné produkty mají rozdílnou biologickou aktivitu než původní látky, což je dělá „second class of environmental contaminants“. To je také případ hydroxylovaných a methylsulfonových PCB.

Ke vzniku těchto produktů dochází ve 2. fázi. **Hydroxylované sloučeniny**, jako produkty metabolismu PCB, mohou dále podléhat sulfatování pomocí sulfotransferas. Výsledkem tohoto procesu **methylsulfonové sloučeniny**, které jsou také toxikologicky významné. Jsou to jedny z nejdůležitějších organochlorových kontaminantů u lidí, u několika mořských a pár pozemských druhů. Byli poprvé detekovány v tkáních u baltského šedého tuleně v polovině 70.let. Byl také proveden výzkum u 11 dobrovolníků a tyto methylsulfonové sloučeniny byly nalezeny v lidské tukové tkáni, v játrech, mozku a v plicní tkáni. V minulém desetiletí nabývá detekce těchto látek na síle. Tyto látky se pomocí nekovalentní vazby vážou na protein do tkání, způsobují indukci cytochromu P450 a mají endokrinní efekt. Mohou se vázat např. na glukokortikoidní receptor a může u nich dojít k modulaci 2. fáze metabolismu estradiolu [31].



Obr. 15: Příklady metabolitů PCB (Machala, M., Xenobiochemie- výběrové přednášky)

## **Závěr**

Polychlorované bifenylly jsou látky, které díky svým dlouhodobým aplikacím a únikům do životního prostředí představují neustále možné riziko. Primární zdroje PCB byly již téměř zlikvidovány, avšak zdroje sekundární jsou ještě stále nebezpečné. Důležitý faktor pro ochranu celkového ekosystému, včetně člověka, je neustálý monitoring těchto látek a následně vhodná likvidace, pokud se tyto látky vyskytnou ve formě, která umožňuje zneškodnění těchto látek.



## Příloha

Tab. I. Přehled kongenerů PCB (<http://www.epa.gov/toxteam/pcbtable.htm#key#key>)

CP0/CP1 – tato skupina zahrnuje 68 „koplanárních“ kongenerů, 20 bez substituce v orto-poloze (CP0) a 48 s pouze jedním substituentem v orto-poloze (CP1)

4CL – skupina 169 kongenerů majících celkem 4 a více Cl-substituenty bez ohledu na posici

PP – skupina 54 kongenerů majících chlorované obě para-položky (4,4')

2M – 140 kongenerů majících chlorovány alespoň 2 (a více) meta-položky

Pozn.: 12 „dioxin - like“ kongenerů patří současně do všech 4 shora uvedených typů

(uvedeny červeně)

CASRN – Registrační číslo Chemical Abstract Service

Nomenklatura dle Ballschmittera a Zella [5]

Deskriptor

Typ

| <u>CASRN</u>  | <u>Congener<br/>Number</u> | <u>IUPAC Name</u> | <u>Type</u>           |          |
|---------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|----------|
| CP1_---_--_-- | 2051-60-7                  | 1                 | 2-Chlorobifenyl       | kongener |
| CP0_---_--_-- | 2051-61-8                  | 2                 | 3-Chlorobiphenyl      | kongener |
| CP0_---_--_-- | 2051-62-9                  | 3                 | 4-Chlorobiphenyl      | kongener |
| ---_---_--_-- | 13029-08-8                 | 4                 | 2,2'-Dichlorobiphenyl | kongener |
| CP1_---_--_-- | 16605-91-7                 | 5                 | 2,3-Dichlorobiphenyl  | kongener |
| CP1_---_--_-- | 25569-80-6                 | 6                 | 2,3'-Dichlorobiphenyl | kongener |
| CP1_---_--_-- | 33284-50-3                 | 7                 | 2,4-Dichlorobiphenyl  | kongener |
| CP1_---_--_-- | 34883-43-7                 | 8                 | 2,4'-Dichlorobiphenyl | kongener |
| CP1_---_--_-- | 34883-39-1                 | 9                 | 2,5-Dichlorobiphenyl  | kongener |
| ---_---_--_-- | 33146-45-1                 | 10                | 2,6-Dichlorobiphenyl  | kongener |
| CP0_---_--_2M | 2050-67-1                  | 11                | 3,3'-Dichlorobiphenyl | kongener |
| CP0_---_--_-- | 2974-92-7                  | 12                | 3,4-Dichlorobiphenyl  | kongener |
| CP0_---_--_-- | 2974-90-5                  | 13                | 3,4'-Dichlorobiphenyl | kongener |

|               |            |    |                               |          |
|---------------|------------|----|-------------------------------|----------|
| CP0_---_--_2M | 34883-41-5 | 14 | 3,5-Dichlorobiphenyl          | kongener |
| CP0_---_PP_-- | 2050-68-2  | 15 | 4,4'-Dichlorobiphenyl         | kongener |
| ---_---_--_-- | 38444-78-9 | 16 | 2,2',3-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| ---_---_--_-- | 37680-66-3 | 17 | 2,2',4-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| ---_---_--_-- | 37680-65-2 | 18 | 2,2',5-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| ---_---_--_-- | 38444-73-4 | 19 | 2,2',6-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| CP1_---_--_2M | 38444-84-7 | 20 | 2,3,3'-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| CP1_---_--_-- | 55702-46-0 | 21 | 2,3,4-Trichlorobiphenyl       | kongener |
| CP1_---_--_-- | 38444-85-8 | 22 | 2,3,4'-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| CP1_---_--_2M | 55720-44-0 | 23 | 2,3,5-Trichlorobiphenyl       | kongener |
| ---_---_--_-- | 55702-45-9 | 24 | 2,3,6-Trichlorobiphenyl       | kongener |
| CP1_---_--_-- | 55712-37-3 | 25 | 2,3',4-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| CP1_---_--_2M | 38444-81-4 | 26 | 2,3',5-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| ---_---_--_-- | 38444-76-7 | 27 | 2,3',6-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| CP1_---_PP_-- | 7012-37-5  | 28 | 2,4,4'-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| CP1_---_--_-- | 15862-07-4 | 29 | 2,4,5-Trichlorobiphenyl       | kongener |
| ---_---_--_-- | 35693-92-6 | 30 | 2,4,6-Trichlorobiphenyl       | kongener |
| CP1_---_--_-- | 16606-02-3 | 31 | 2,4',5-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| ---_---_--_-- | 38444-77-8 | 32 | 2,4',6-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| CP1_---_--_-- | 38444-86-9 | 33 | 2,3',4'-Trichlorobiphenyl     | kongener |
| CP1_---_--_2M | 37680-68-5 | 34 | 2,3',5'-Trichlorobiphenyl     | kongener |
| CP0_---_--_2M | 37680-69-6 | 35 | 3,3',4-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| CP0_---_--_2M | 38444-87-0 | 36 | 3,3',5-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| CP0_---_PP_-- | 38444-90-5 | 37 | 3,4,4'-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| CP0_---_--_2M | 53555-66-1 | 38 | 3,4,5-Trichlorobiphenyl       | kongener |
| CP0_---_--_2M | 38444-88-1 | 39 | 3,4',5-Trichlorobiphenyl      | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 38444-93-8 | 40 | 2,2',3,3'-Tetrachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 52663-59-9 | 41 | 2,2',3,4-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 36559-22-5 | 42 | 2,2',3,4'-Tetrachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 70362-46-8 | 43 | 2,2',3,5-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 41464-39-5 | 44 | 2,2',3,5'-Tetrachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 70362-45-7 | 45 | 2,2',3,6-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |

|               |            |    |                                |          |
|---------------|------------|----|--------------------------------|----------|
| ---_4CL_--_-- | 41464-47-5 | 46 | 2,2',3,6'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 2437-79-8  | 47 | 2,2',4,4'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 70362-47-9 | 48 | 2,2',4,5-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 41464-40-8 | 49 | 2,2',4,5'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 62796-65-0 | 50 | 2,2',4,6-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 68194-04-7 | 51 | 2,2',4,6'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 35693-99-3 | 52 | 2,2',5,5'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 41464-41-9 | 53 | 2,2',5,6'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 15968-05-5 | 54 | 2,2',6,6'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 74338-24-2 | 55 | 2,3,3',4-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 41464-43-1 | 56 | 2,3,3',4'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 70424-67-8 | 57 | 2,3,3',5-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 41464-49-7 | 58 | 2,3,3',5'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74472-33-6 | 59 | 2,3,3',6-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_PP_-- | 33025-41-1 | 60 | 2,3,4,4'-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 33284-53-6 | 61 | 2,3,4,5-Tetrachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 54230-22-7 | 62 | 2,3,4,6-Tetrachlorobiphenyl    | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 74472-34-7 | 63 | 2,3,4',5-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 52663-58-8 | 64 | 2,3,4',6-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 33284-54-7 | 65 | 2,3,5,6-Tetrachlorobiphenyl    | kongener |
| CP1_4CL_PP_-- | 32598-10-0 | 66 | 2,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 73575-53-8 | 67 | 2,3',4,5-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 73575-52-7 | 68 | 2,3',4,5'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 60233-24-1 | 69 | 2,3',4,6-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 32598-11-1 | 70 | 2,3',4',5-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 41464-46-4 | 71 | 2,3',4',6-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 41464-42-0 | 72 | 2,3',5,5'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74338-23-1 | 73 | 2,3',5',6-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |
| CP1_4CL_PP_-- | 32690-93-0 | 74 | 2,4,4',5-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 32598-12-2 | 75 | 2,4,4',6-Tetrachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 70362-48-0 | 76 | 2,3',4',5'-Tetrachlorobiphenyl | kongener |
| CP0_4CL_PP_2M | 32598-13-3 | 77 | 3,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl  | kongener |

|               |            |     |                                  |          |
|---------------|------------|-----|----------------------------------|----------|
| CP0_4CL_--_2M | 70362-49-1 | 78  | 3,3',4,5-Tetrachlorobiphenyl     | kongener |
| CP0_4CL_--_2M | 41464-48-6 | 79  | 3,3',4,5'-Tetrachlorobiphenyl    | kongener |
| CP0_4CL_--_2M | 33284-52-5 | 80  | 3,3',5,5'-Tetrachlorobiphenyl    | kongener |
| CP0_4CL_PP_2M | 70362-50-4 | 81  | 3,4,4',5-Tetrachlorobiphenyl     | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-62-4 | 82  | 2,2',3,3',4-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 60145-20-2 | 83  | 2,2',3,3',5-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-60-2 | 84  | 2,2',3,3',6-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 65510-45-4 | 85  | 2,2',3,4,4'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 55312-69-1 | 86  | 2,2',3,4,5-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 38380-02-8 | 87  | 2,2',3,4,5'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 55215-17-3 | 88  | 2,2',3,4,6-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 73575-57-2 | 89  | 2,2',3,4,6'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 68194-07-0 | 90  | 2,2',3,4',5-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 68194-05-8 | 91  | 2,2',3,4',6-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-61-3 | 92  | 2,2',3,5,5'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 73575-56-1 | 93  | 2,2',3,5,6-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 73575-55-0 | 94  | 2,2',3,5,6'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 38379-99-6 | 95  | 2,2',3,5',6-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 73575-54-9 | 96  | 2,2',3,6,6'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 41464-51-1 | 97  | 2,2',3,4',5'-Pentachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 60233-25-2 | 98  | 2,2',3,4',6'-Pentachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 38380-01-7 | 99  | 2,2',4,4',5-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 39485-83-1 | 100 | 2,2',4,4',6-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 37680-73-2 | 101 | 2,2',4,5,5'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 68194-06-9 | 102 | 2,2',4,5,6'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 60145-21-3 | 103 | 2,2',4,5',6-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 56558-16-8 | 104 | 2,2',4,6,6'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| CP1_4CL_PP_2M | 32598-14-4 | 105 | 2,3,3',4,4'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 70424-69-0 | 106 | 2,3,3',4,5-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 70424-68-9 | 107 | 2,3,3',4',5-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 70362-41-3 | 108 | 2,3,3',4,5'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74472-35-8 | 109 | 2,3,3',4,6-Pentachlorobiphenyl   | kongener |

|               |            |     |                                   |          |
|---------------|------------|-----|-----------------------------------|----------|
| ---_4CL_--_2M | 38380-03-9 | 110 | 2,3,3',4',6-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 39635-32-0 | 111 | 2,3,3',5,5'-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74472-36-9 | 112 | 2,3,3',5,6-Pentachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 68194-10-5 | 113 | 2,3,3',5',6-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_PP_2M | 74472-37-0 | 114 | 2,3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 74472-38-1 | 115 | 2,3,4,4',6-Pentachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 18259-05-7 | 116 | 2,3,4,5,6-Pentachlorobiphenyl     | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 68194-11-6 | 117 | 2,3,4',5,6-Pentachlorobiphenyl    | kongener |
| CP1_4CL_PP_2M | 31508-00-6 | 118 | 2,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 56558-17-9 | 119 | 2,3',4,4',6-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 68194-12-7 | 120 | 2,3',4,5,5'-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 56558-18-0 | 121 | 2,3',4,5',6-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 76842-07-4 | 122 | 2,3,3',4',5'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| CP1_4CL_PP_2M | 65510-44-3 | 123 | 2,3',4,4',5'-Pentachlorobiphenyl  | Congener |
| CP1_4CL_--_2M | 70424-70-3 | 124 | 2,3',4',5,5'-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74472-39-2 | 125 | 2,3',4',5',6-Pentachlorobiphenyl  | kongener |
| CP0_4CL_PP_2M | 57465-28-8 | 126 | 3,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| CP0_4CL_--_2M | 39635-33-1 | 127 | 3,3',4,5,5'-Pentachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 38380-07-3 | 128 | 2,2',3,3',4,4'-Hexachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 55215-18-4 | 129 | 2,2',3,3',4,5-Hexachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-66-8 | 130 | 2,2',3,3',4,5'-Hexachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 61798-70-7 | 131 | 2,2',3,3',4,6-Hexachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 38380-05-1 | 132 | 2,2',3,3',4,6'-Hexachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 35694-04-3 | 133 | 2,2',3,3',5,5'-Hexachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52704-70-8 | 134 | 2,2',3,3',5,6-Hexachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52744-13-5 | 135 | 2,2',3,3',5,6'-Hexachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 38411-22-2 | 136 | 2,2',3,3',6,6'-Hexachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 35694-06-5 | 137 | 2,2',3,4,4',5-Hexachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 35065-28-2 | 138 | 2,2',3,4,4',5'-Hexachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 56030-56-9 | 139 | 2,2',3,4,4',6-Hexachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 59291-64-4 | 140 | 2,2',3,4,4',6'-Hexachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52712-04-6 | 141 | 2,2',3,4,5,5'-Hexachlorobiphenyl  | kongener |

|               |            |     |                                      |          |
|---------------|------------|-----|--------------------------------------|----------|
| ---_4CL_--_2M | 41411-61-4 | 142 | 2,2',3,4,5,6-Hexachlorobiphenyl      | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 68194-15-0 | 143 | 2,2',3,4,5,6'-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 68194-14-9 | 144 | 2,2',3,4,5',6-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 74472-40-5 | 145 | 2,2',3,4,6,6'-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 51908-16-8 | 146 | 2,2',3,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 68194-13-8 | 147 | 2,2',3,4',5,6-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74472-41-6 | 148 | 2,2',3,4',5,6'-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 38380-04-0 | 149 | 2,2',3,4',5',6-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_-- | 68194-08-1 | 150 | 2,2',3,4',6,6'-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-63-5 | 151 | 2,2',3,5,5',6-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 68194-09-2 | 152 | 2,2',3,5,6,6'-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 35065-27-1 | 153 | 2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 60145-22-4 | 154 | 2,2',4,4',5,6'-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 33979-03-2 | 155 | 2,2',4,4',6,6'-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| CP1_4CL_PP_2M | 38380-08-4 | 156 | 2,3,3',4,4',5-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| CP1_4CL_PP_2M | 69782-90-7 | 157 | 2,3,3',4,4',5'-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 74472-42-7 | 158 | 2,3,3',4,4',6-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 39635-35-3 | 159 | 2,3,3',4,5,5'-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 41411-62-5 | 160 | 2,3,3',4,5,6-Hexachlorobiphenyl      | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74472-43-8 | 161 | 2,3,3',4,5',6-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| CP1_4CL_--_2M | 39635-34-2 | 162 | 2,3,3',4',5,5'-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74472-44-9 | 163 | 2,3,3',4',5,6-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74472-45-0 | 164 | 2,3,3',4',5',6-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74472-46-1 | 165 | 2,3,3',5,5',6-Hexachlorobiphenyl     | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 41411-63-6 | 166 | 2,3,4,4',5,6-Hexachlorobiphenyl      | kongener |
| CP1_4CL_PP_2M | 52663-72-6 | 167 | 2,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 59291-65-5 | 168 | 2,3',4,4',5',6-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| CP0_4CL_PP_2M | 32774-16-6 | 169 | 3,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 35065-30-6 | 170 | 2,2',3,3',4,4',5-Heptachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 52663-71-5 | 171 | 2,2',3,3',4,4',6-Heptachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-74-8 | 172 | 2,2',3,3',4,5,5'-Heptachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 68194-16-1 | 173 | 2,2',3,3',4,5,6-Heptachlorobiphenyl  | kongener |

|               |            |     |                                        |          |
|---------------|------------|-----|----------------------------------------|----------|
| ---_4CL_--_2M | 38411-25-5 | 174 | 2,2',3,3',4,5,6'-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 40186-70-7 | 175 | 2,2',3,3',4,5',6-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-65-7 | 176 | 2,2',3,3',4,6,6'-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-70-4 | 177 | 2,2',3,3',4,5',6'-Heptachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-67-9 | 178 | 2,2',3,3',5,5',6-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-64-6 | 179 | 2,2',3,3',5,6,6'-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 35065-29-3 | 180 | 2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 74472-47-2 | 181 | 2,2',3,4,4',5,6-Heptachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 60145-23-5 | 182 | 2,2',3,4,4',5,6'-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 52663-69-1 | 183 | 2,2',3,4,4',5',6-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_PP_-- | 74472-48-3 | 184 | 2,2',3,4,4',6,6'-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52712-05-7 | 185 | 2,2',3,4,5,5',6-Heptachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74472-49-4 | 186 | 2,2',3,4,5,6,6'-Heptachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-68-0 | 187 | 2,2',3,4,5,5',6-Heptachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74487-85-7 | 188 | 2,2',3,4',5,6,6'-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| CPI_4CL_PP_2M | 39635-31-9 | 189 | 2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 41411-64-7 | 190 | 2,3,3',4,4',5,6-Heptachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 74472-50-7 | 191 | 2,3,3',4,4',5',6-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 74472-51-8 | 192 | 2,3,3',4,5,5',6-Heptachlorobiphenyl    | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 69782-91-8 | 193 | 2,3,3',4',5,5',6-Heptachlorobiphenyl   | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 35694-08-7 | 194 | 2,2',3,3',4,4',5,5'-Octachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 52663-78-2 | 195 | 2,2',3,3',4,4',5,6-Octachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 42740-50-1 | 196 | 2,2',3,3',4,4',5,6'-Octachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 33091-17-7 | 197 | 2,2',3,3',4,4',6,6'-Octachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 68194-17-2 | 198 | 2,2',3,3',4,5,5',6-Octachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-75-9 | 199 | 2,2',3,3',4,5,5',6'-Octachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-73-7 | 200 | 2,2',3,3',4,5,6,6'-Octachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 40186-71-8 | 201 | 2,2',3,3',4,5',6,6'-Octachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 2136-99-4  | 202 | 2,2',3,3',5,5',6,6'-Octachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 52663-76-0 | 203 | 2,2',3,4,4',5,5',6-Octachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 74472-52-9 | 204 | 2,2',3,4,4',5,6,6'-Octachlorobiphenyl  | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 74472-53-0 | 205 | 2,3,3',4,4',5,5',6-Octachlorobiphenyl  | kongener |

|               |             |     |                                          |          |
|---------------|-------------|-----|------------------------------------------|----------|
| ---_4CL_PP_2M | 40186-72-9  | 206 | 2,2',3,3',4,4',5,5',6-Nonachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_PP_2M | 52663-79-3  | 207 | 2,2',3,3',4,4',5,6,6'-Nonachlorobiphenyl | kongener |
| ---_4CL_--_2M | 52663-77-1  | 208 | 2,2',3,3',4,5,5',6,6'-Nonachlorobiphenyl | kongener |
| ---_---_--_-- | 2051-24-3   | 209 | Decachlorobiphenyl                       | kongener |
|               | 27323-18-8  |     | Monochlorobiphenyl                       | homolog  |
|               | 25512-42-9  |     | Dichlorobiphenyl                         | homolog  |
|               | 25323-68-6  |     | Trichlorobiphenyl                        | homolog  |
|               | 26914-33-0  |     | Tetrachlorobiphenyl                      | homolog  |
|               | 25429-29-2  |     | Pentachlorobiphenyl                      | homolog  |
|               | 26601-64-9  |     | Hexachlorobiphenyl                       | homolog  |
|               | 28655-71-2  |     | Heptachlorobiphenyl                      | homolog  |
|               | 55722-26-4  |     | Octachlorobiphenyl                       | homolog  |
|               | 53742-07-7  |     | Nonachlorobiphenyl                       | homolog  |
|               | 12674-11-2  |     | Aroclor 1016                             | Směs     |
|               | 147601-87-4 |     | Aroclor 1210                             | Směs     |
|               | 151820-27-8 |     | Aroclor 1216                             | Směs     |
|               | 11104-28-2  |     | Aroclor 1221                             | Směs     |
|               | 37234-40-5  |     | Aroclor 1231                             | Směs     |
|               | 11141-16-5  |     | Aroclor 1232                             | Směs     |
|               | 71328-89-7  |     | Aroclor 1240                             | Směs     |
|               | 53469-21-9  |     | Aroclor 1242                             | Směs     |
|               | 12672-29-6  |     | Aroclor 1248                             | Směs     |
|               | 165245-51-2 |     | Aroclor 1250                             | Směs     |
|               | 89577-78-6  |     | Aroclor 1252                             | Směs     |
|               | 11097-69-1  |     | Aroclor 1254                             | Směs     |
|               | 11096-82-5  |     | Aroclor 1260                             | Směs     |
|               | 37324-23-5  |     | Aroclor 1262                             | Směs     |
|               | 11100-14-4  |     | Aroclor 1268                             | Směs     |
|               | 12767-79-2  |     | Aroclor (unspecified)                    | Směs     |
|               | 1336-36-3   |     | Polychlorinated biphenyl (PCB)           | skupina  |



## Literatura

1. KÁŠ, Jan, et al. *Biotechnologie životního prostředí*. Praha : [s.n.], 2000. 142 s. ISBN 80-7080-376-2.
2. HOLOUBEK, Ivan. *Chemie životního prostředí IV. : Polutanty s dlouhou dobou života v prostředí* [online]. 2006 [cit. 2007-03-10]. Dostupný z WWW: <[http://www.recetox.muni.cz/sources/prednasky/chzp\\_iv/chzp\\_iv\\_18.pdf](http://www.recetox.muni.cz/sources/prednasky/chzp_iv/chzp_iv_18.pdf)>.
3. KAISER, K.L.E. (1974) *Environ. Pollut.* 7.
4. KODÍČEK, Milan. *Biochemické pojmy : Výkladový slovník* [online]. c2004 [cit. 2007-04-06]. Dostupný z WWW: <[http://www.vscht.cz/eds/knihy/uid\\_es-002/](http://www.vscht.cz/eds/knihy/uid_es-002/)>.
5. BALLSCHMITER and ZELL, 1980. K. Ballschmiter and M. Zell. Analysis of polychlorinated biphenyls (PCB) by glass capillary gas chromatography. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 302:20-31.
6. RÁBL, Vratislav. Polychlorované bifenyly - výroba, složení, vlastnosti . In ČÍŽEK, Zdeněk. *Polychlorované bifenyly*. [s.l.] : [s.n.], 1992. s. 9-19.
7. MAHNKE, K. *PhD Thesis*, Organic Chemistry Institute, Eberhard – Karls – Universität Tübingen, Germany, 1997. [cit. z DE SOUZA PEREIRA, Márcia. POLYCHLORINATED DIBENZO- P- DIOXINS (PCDD), DIBENZOFURANS (PCDF) AND POLYCHLORINATED BIPHENYLS (PCB): MAIN SOURCES, ENVIRONMENTAL BEHAVIOUR AND RISK TO MAN AND BIOTA. *Quim.nova* [online]. 2004, vol. 27, no. 6 [cit. 2007-04-24], s. 934-943.]
8. HANSEN, Larry G. *The ortho Side of PCBs : Occurrence and Disposition*. [s.l.] : [s.n.], 1999. 269 s. ISBN 0-7923-8541-1.
9. TILSON, H.A., KODAVANTI PRS, 1997. Neurochemical effects of polychlorinated biphenyls: an overview and identification of research needs. *Neurotoxicology* 13: 727- 744 [cit. z ZOELLER, Thomas, et al. Developmental Exposure to Polychlorinated Biphenyls Exerts Thyroid Hormon-Like Effects on the Expression of RC3/Neurogranin and Myelin Basic Protein Messenger Ribonukleic Acid in the Developing Rat Brain. *Endocrinology* [online]. 2000, vol. 141, no. 1 [cit. 2007-02-09], s. 181-188. Dostupný z WWW: <[endo.endojournals.org](http://endo.endojournals.org)>.]
10. TILSON, H.A., JACOBSON, J.L., ROGAN, W.J., 1990. Polychlorinated biphenyls and the developing nervous system: Cross- species comparison. *Neurotoxicology* 13:139- 148 [cit. z ZOELLER, Thomas, et al. Developmental Exposure to Polychlorinated Biphenyls Exerts Thyroid Hormon-Like Effects on the Expression of RC3/Neurogranin and Myelin Basic Protein Messenger Ribonukleic Acid in the Developing Rat Brain. *Endocrinology* [online]. 2000, vol. 141, no. 1 [cit. 2007-02-09], s. 181-188. Dostupný z WWW: <[endo.endojournals.org](http://endo.endojournals.org)>.]
11. JENSEN, S., 1966. Report of a new chemical hazard. *New Scientist*. 32, 116
12. HALUŠKA, L., BALÁŽ Š., DEROVÁ K., 1993. Mikrobiálna degradácia PCB, *Chemické listy* 87. [cit. z 15]
13. BREIVIK, K., SWEETMAN A., PACYNA J.H., 2001. Towards global historical emission inventory for selected PCB congeners a mass balance approach. *The Science of the Environment*. [cit. z 15]
14. BHERSTILEE, J.M., 1994. Review of the Safety assessment of polychlorinated biphenyls with particular reference to reproductive toxicity. *Human and experimental Toxicology*, Volume 13, Issue 9. [cit. z 15]
15. *SANACE LOKALIT KONTAMINOVANÝCH PAU A PCB* [online]. 2004 [cit. 2007-02-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekosystem.cz/vav/x/2.htm>>.]
16. MACHALA, M., 2007. Xenobiochemie – výběrové přednášky

17. BALLSCHMITTER, K., 2003. Abstracts of the LfU – Kolliquium „Dioxinähnliche PCB in der Umwelt – Quellen, Verbleib, Exposition und gesundheitliche Bewertung“, Augsburg: Germany. [cit. z DE SOUZA PEREIRA, Márcia. POLYCHLORINATED DIBENZO- P- DIOXINS (PCDD), DIBENZOFURANS (PCDF) AND POLYCHLORINATED BIPHENYLS (PCB): MAIN SOURCES, ENVIRONMENTAL BEHAVIOUR AND RISK TO MAN AND BIOTA. *Quim.nova* [online]. 2004, vol. 27, no. 6 [cit. 2007-04-24], s. 934-943.]
18. *Polychlorované bifenyly hubí evropské úhoře* [online]. 2003 [cit. 2007-02-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.greenpeace.cz/toxik.shtml?x=1796864>>.
19. Delzell E., et al., 1994. *Regulatory Toxicol. Pharmacol.*, Academic Press, Inc., San Diego. [cit. z 15]
20. BUCHTA, Martin. Metodika stanovení PCB. In ČÍŽEK , Zdeněk. *Polychlorované bifenyly*. [s.l.] : [s.n.], 1992. s. 41-55.
21. GAVLASOVÁ, Pavla, et al. *Stanovení PCB - chemické versus biologické metody* [online]. [2003] [cit. 2007-04-28]. Dostupný z WWW: <[www.icpf.cas.cz/trogl/GavlasBiollisty/Met.stan.%20PCB21.doc](http://www.icpf.cas.cz/trogl/GavlasBiollisty/Met.stan.%20PCB21.doc)>.
22. RÁBL, Vrástislav. Způsoby likvidace a zneškodňování PCB. In ČÍŽEK , Zdeněk. *Polychlorované bifenyly*. [s.l.] : [s.n.], 1992. s. 59-63.
23. FIALA, Ludvík. Využití a zneškodnění odpadů s obsahem PCB spalováním. In ČÍŽEK , Zdeněk. *Polychlorované bifenyly*. [s.l.] : [s.n.], 1992. s. 65-69.
24. KÁŠ, Jan, et al. *Biochemie životního prostředí*. Praha : [s.n.], 1996. 119 s.
25. FURUKAWA K., TOMIZUKA K., KAMIBAYASHI A. 1979. *Appl. Environ. Microbiol.* 38, 301-310.
26. BEDARD, D.L., 1990. *Biodegradation* 4, 340-388. [cit. z 15]
27. BERRIAULT, D., SYLVESTRE, M. (1993): *Can. J. Microbiol.*, 39, 594-602. [cit. z 15]
28. FIEBIG, R., SCHULZE, D., CHUNG, J., LEE S. (1997): *Biodegradation*, 8, 67-75. [cit. z 15]
29. BURTON, A.S., CLIFORD, J.B. (1992): Electro osmotic contaminant removed process, *J. of Environ. Eng.* 18, 1. [cit. z 15]
30. DALY, J.W., et al., 1972. Arene oxides and the NIH- shift: The metabolism, toxicity and carcinogenicity of aromatic compounds. *Experientia* 28, s.1129- 1264 [cit. z JAKOBY, William B., BEND, John R., CALDWELL, John. *Metabolic Basis of Detoxication : Metabolism of Functional Groups*. [s.l.] : [s.n.], 1982. 375 s. ISBN 0-12-380060-9.]
31. *The Handbook of Environmental Chemistry* . [s.l.] : [s.n.], 2000. Methyl Sulfone and Hydroxylated Metabolites of Polychlorinated Biphenyls, s. 315-359.