

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agrochemie a výživy rostlin



Vliv znečištění půd polychlorovanými bifenyly na jejich
akumulaci v rostlinách

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc.

Konzultant: Ing. Hana Javorská

Diplomant: Bc. Jana Hurtová

2009

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Vliv znečištění půd polychlorovanými bifenylemi na jejich akumulaci v rostlinách“ vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne:

.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu Prof. Ing. Pavlu Tlustošovi, CSc. za jeho pomoc a odborné vedení při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Haně Javorské a Mgr. Regině Kaliszové za poskytnutí cenných rad, informací a ochotu při vyhodnocování a zpracování výsledků. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu po celou dobu mého studia.

AUTORSKÝ REFERÁT

V důsledku antropogenní činnosti se značně zhoršila kvalita životního prostředí. Lidská populace je tímto vystavena jeho negativnímu vlivu. Výrazné znečištění ovzduší, vody i potravin jsou hlavními příčinami nepříznivého zdravotního stavu obyvatel. Dlouhodobé úmyslné utajování stavu životního prostředí má za následek nahromadění řady problémů, z nichž nejzávažnější je kontaminace prostředí cizorodými látkami. Perzistentní organické látky jsou vzhledem ke svým specifickým vlastnostem člověku a ostatním živočichům nebezpečné již ve velmi malém množství. Jejich hlavním charakteristickým rysem je perzistence, což znamená, že jen velice obtížně degradují. Další vlastností je schopnost přenosu v atmosféře. Některé z nich jsou transportovány na dlouhé vzdálenosti, až na místa, kde nikdy nebyly používány. Mezi nejproblematictější perzistentní organické polutanty patří polychlorované bifenyly (PCB).

Cílem této práce je sledovat transfer vybraných kongenerů PCB a Deloru 103 při přechodu z půdy do rostlin a identifikovat schopnost jejich akumulace. Pro účely zjištění schopnosti rostlin akumulovat PCB ve své biomase byl v pokusném areálu Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin na ČZU v Praze založen v roce 2008 nádobový experiment s rostlinami celeru, petržele a křenu. Pro pokus byly použity zeminy s vysokou (černozem-Suchdol) a nízkou (fluvizem-Přerov nad Labem) sorpční schopností. Zeminy byly již z loňského roku kontaminovány směsí přesně definovaných kongenerů PCB (1 mg individuálního kongeneru na nádobu). Do celého objemu půdy bylo následně uměle vmícháno (spajkováno) přesně definované množství Deloru 103 (150 mg na nádobu) což je olejovitá, technická směs nízkochlorovaných bifenyly. Z Deloru 103 jsme si k vyhodnocování určili pět hlavních kongenerů, které jsme identifikovali pomocí retenčních časů. Z PCB bylo studováno sedm indikátorových kongenerů.

Na obsah PCB byla analyzována zemina před zasetím rostlin a po sklizni rostlin, nadzemní část rostlin a kořeny rostlin. U všech kořenů rostlin došlo k oddělení pokožky a u petržele došlo ještě k oddělení středního válce.

Při nádobovém experimentu bylo zjištěno, že všechny uvedené rostliny v sobě akumulují PCB. Množství akumulovaných PCB závisí na fyzikálních vlastnostech PCB, na vlastnostech půdy a na druhu rostliny.

Dále bylo potvrzeno, že stále dochází k akumulaci PCB do tkání rostlin na staré zátěži a při nízké koncentraci PCB.

Přídavek 150 mg Deloru 103 na nádobu nemá zpravidla vliv na výnos biomasy u žádné z rostlin, na žádné z testovaných zemín. Tato koncentrace ještě stále není pro rostliny fytotoxická.

Ve většině případů byl potvrzen rostoucí obsah PCB akumulovaných v kořenech rostlin s klesající sorpční schopností půdy, na které byly rostliny pěstovány.

Největší množství PCB se hromadí v pokožce kořenů petržele na přerovské půdě $261 \pm 64 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. Ve dřeni dochází k mnohem menší akumulaci 80 mg.kg^{-1} sušiny a ve středním válci petržele bylo nalezeno ještě menší množství PCB cca 9 mg.kg^{-1} sušiny. V nadzemní biomase petržele se množství nahromaděných PCB pohybovalo ve výrazně nižších koncentracích $3 \pm 0,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. U celeru je množství PCB v pokožce $165 \pm 28 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. Ve dřeni $2,4 \pm 1 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. A v nadzemní biomase pak $2,9 \pm 0,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. U křenu jsou obsahy následující: v pokožce $122 \pm 25 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny, ve dřeni $23 \pm 9 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny a v nadzemní biomase $3,3 \pm 0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. Z výsledků analýz je zřejmé, že přijatá množství PCB do podzemní biomasy těchto kořenových zelenin je značná, což se stává závažným problémem v případě konzumace, protože polychlorované bifenyly jsou lipofilní povahy a dochází u nich tedy k hromadění zejména v tukové tkáni.

Největší množství těchto látek se hromadí v pokožce kořenové zeleniny. Při dodržování jednoduchých postupů při přípravě před konzumací (důkladné omytí a oloupaní pokožky) by se nebezpečí poškození zdraví člověka výrazně snížilo.

Odběr PCB z půdy byl největší u rostlin křenu na přerovské půdě ($2,1 \text{ mg.nádoba}^{-1}$). Nejnižší odběr byl u rostlin celeru na přerovské půdě ($0,4 \text{ mg.nádoba}^{-1}$).

V průběhu experimentu došlo k významnému poklesu obsahu sumy PCB ve variantách zemín, na kterých byly pěstovány rostliny. K nejvyššímu poklesu došlo ve variantě u křenu na suchdolské půdě (29 %) a k nejnižšímu ve variantě bez rostlin na přerovské půdě (7,3 %).

U variant s rostlinami bylo dále vypočítáno, z kolika procent se rostlina účastní odčerpání PCB z půdy. Nejvyšší podíl byl stanoven u křenu na přerovské půdě (6,4 %) a nejnižší u celeru na přerovské půdě (1,3 %).

Z rostlin použitých při našem nádobovém pokusu lze pro fytoextrakci jako nejvhodnější doporučit křen.

Klíčová slova: PCB, Kontaminace půdy, Zeleniny, Akumulace PCB, Fytoremediace

SUMMARY OF THESIS

As a result of anthropogenic activities, the quality of the environment has worsened considerably, exposing human beings to its negative impact. The pollution of the air, water and therefore alimentation are the main causes of poorer health state. As a consequence of long term secrecy over the state of the environment, many problems have arisen, of which the most important is the contamination of the environment by extraneous substances. Considering the specific features of persistent organic substances, even a small quantity of them is very dangerous for human and other living organisms. Their main characteristic is persistence, which means that they are slowly degrading. Another feature is their transfer ability in the atmosphere. Some of them are transported over long distances to places where they have never been used before. One of the most problematic persistent organic pollutants is the polychlorinated biphenyl (PCBs).

The aim of this work is to observe the transfer of selected PCBs congeners and Delor 103 from soil into plants, and identify their ability to accumulate in it. For the purpose of observing plants' ability to accumulate PCBs in their biomass, the pot trial experiment was developed in 2008 by the department of Agro-Environmental Chemistry and Plant Nutrition in the Czech University of life sciences, in which celery, parsley and horseradish are used. For the experiment, soils with high sorption (Chernozem-Suchdol) and low sorption potential (Fluvisol - Přerov nad Labem) were tested. Soils were from the previous year contaminated by mixture of precisely defined PCBs congeners (1 mg of individual congener per pot). Subsequently, an exact dose of Delor 103 (150 mg per pot), which is an oily, technical mixture of low chlorinated biphenyl, was artificially introduced into the whole content of the soil. From Delor 103, five main congeners were selected and identified through the use of retention times. From PCBs seven indicated congeners as listed below were studied.

To identify the volume of PCBs, the soils were analyzed before the seeding of plants and after their gathering, and then the over ground parts of the plants and their roots were studied.

In pot trial was found that all of the plants accumulate PCBs. The quantity of accumulated PCBs depends on the physical properties of PCBs, the soil characteristics and plant species.

It was confirmed that there is still accumulation of PCBs in the tissues of plant to old loads at a low concentration of PCBs.

Generally, the addition of 150 mg Delor 103 for spot does not affect the yield of biomass in any of the plants at any of the tested soil. This concentration is still not phytotoxic for plants.

In most cases, was confirmed by increasing the content of PCBs accumulated in the roots of plants with decreasing sorption ability of soil to which plants were grown.

The largest quantities of PCBs accumulate in epidermis of parsley roots (Přerov nad Labem soil) $261 \pm 64 \text{ mg.kg}^{-1}$ dry matter. In primary crust, there is much less accumulation 80 mg.kg^{-1} dry matter and in the middle of the cylinder parsley was found even smaller quantities of PCB about 9 mg.kg^{-1} dry matter. The amount of PCBs accumulated in above-ground biomass of parsley was $3 \pm 0, 8 \text{ mg.kg}^{-1}$ dry matter. In the celery, there is the amount of PCBs in epidermis of roots $165 \pm 28 \text{ mg.kg}^{-1}$ dry matters. The primary crust contents $2, 4 \pm 1 \text{ mg.kg}^{-1}$ dry matter. The above-ground biomass contents $2, 9 \pm 0, 8 \text{ mg.kg}^{-1}$ dry matter. In horseradish, there are following contents: In epidermis $122 \pm 25 \text{ mg.kg}^{-1}$ dry matter, in primary crust $23 \pm 9 \text{ mg.kg}^{-1}$ dry matter and in above-ground biomass $3, 3 \pm 0, 3 \text{ mg.kg}^{-1}$ dry matter.

From these results it is clear that the quantities of PCBs into the underground biomass of the root vegetables is significant, which is becoming a serious problem in the case of consumption, because of lipophilic character PCBs and their accumulation in adipose tissue.

The largest quantity of these substances accumulates in epidermis of root vegetables. In keeping with the simple procedures for the preparation before consumption (thoroughly washed and peeled the epidermis) would be risk of harm to human health has significantly reduced

Removal of PCBs from the soil was greatest in plants of horseradish (Přerov nad Labem soil) $2, 1 \text{ mg/pot}$. The lowest was in the collection of plants in celery (Přerov nad Labem soil) $0, 4 \text{ mg/pot}$.

During the experiment was a significant decrease in the content of the sum of PCBs in soil variation on which plants were grown. The highest decrease occurred in a soil variant of horseradish (Přerov nad Labem soil) 29 % and lowest in a soil variant without plants (Přerov nad Labem soil) 7, 3 %.

From plants, which were used in our pot trial, we can recommend a horseradish as the most appropriate for phytoextraction.

Keywords: PCB, Soil contamination, Vegetables, Accumulation of PCBs, Phytoremediation

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED	3
2.1 Perzistentní organické polutanty	3
2.2. Polychlorované bifenyly (PCB)	3
2.2.1 Základní charakteristika	3
2.2.2 Názvosloví a chemická struktura	4
2.2.3 Fyzikální a chemické vlastnosti	5
2.2.4 Historie PCB	6
2.2.5 Komerční směsi PCB	7
2.2.6 Použití PCB	7
2.2.7 Současné zdroje, rozšíření a chování PCB v životním prostředí	8
2.2.8 Způsoby stanovení a měření PCB, vývoj analytických metod	9
2.3 Průnik PCB do živých organismů	10
2.3.1 Toxické účinky a zdravotní rizika PCB	10
2.3.2 Havárie a otravy způsobené PCB	11
2.3.3 Vstupy do potravního řetězce člověka	13
2.3.4 Příjem a akumulace u živočichů	13
2.4. Příjem PCB rostlinou	15
2.4.1 Distribuce mezi půdou a rostlinou	15
2.4.2 Příjem a akumulace u rostlin	16
2.5 Biologické procesy přeměny toxických látek na netoxické	17
2.5.1 Bioremediace	17
2.5.2 Fytoremediace	19
2.5.2.1 Fytoextrakce	21
2.5.2.2 Fytodegradace	22
3. MATERIÁL A METODY	23
3.1 Založení a sklizeň experimentu	23
3.2 Příprava vzorků rostlin pro stanovení PCB	24
3.3 Příprava vzorků zemin pro stanovení PCB	25
3.4 Vlastní analýza PCB	25
4. VÝSLEDKY A DISKUZE	26
4.1 Výsledky sledování hromadění a distribuce PCB v celeru	26
4.1.1 Výsledky sledování hromadění PCB v celeru	26
4.1.2 Výsledky sledování distribuce PCB v rostlinách celeru	29
4.2 Výsledky sledování hromadění a distribuce PCB v petrželi	30
4.2.1 Výsledky sledování hromadění PCB v petrželi	30
4.2.2 Výsledky sledování distribuce PCB v rostlinách petržele	31
4.3 Výsledky sledování hromadění a distribuce PCB v křenu	32
4.3.1 Výsledky sledování hromadění PCB v křenu	32
4.3.2 Výsledky sledování distribuce PCB v rostlinách křenu	32
4.4 Porovnání výsledků hromadění a distribuce PCB v rostlinách celeru, petržele a křenu (varianta Delor)	33
4.4.1 Porovnání výsledků hromadění PCB v rostlinách celeru, petržele a křenu (varianta Delor)	33
4.4.2 Porovnání výsledků distribuce PCB v rostlinách celeru, petržele a křenu ..	34

4. 5 Výnos	35
4. 6 Odběr PCB rostlinami.....	38
5. ZÁVĚR	42
6. POUŽITÁ LITERATURA	44
7. PŘÍLOHY	47

1. ÚVOD

V důsledku antropogenní činnosti se značně zhoršila kvalita životního prostředí. Lidská populace je tímto vystavena jeho nežádoucímu a negativnímu vlivu. Výrazné znečištění ovzduší, vody i potravin jsou hlavními příčinami nepříznivého zdravotního stavu. Dlouhodobé úmyslné utajování stavu životního prostředí má za následek nahromadění řady problémů, z nichž nejzávažnější je kontaminace prostředí cizorodými látkami. Pod tímto pojmem se rozumí látky, které nepříznivě ovlivňují půdní úrodnost, růst rostlin nebo je jejich příjem rostlinami nežádoucí s ohledem na možnost ohrožení zdraví lidí a zvířat a dále ty, které vstupují do různých článků potravních řetězců. Vysoký podíl na kontaminaci potravního řetězce má zemědělství. Znečištění je způsobeno hlavně používáním agrochemikálií (hnojiv i pesticidů). Dalším zdrojem kontaminace mohou být kaly z čistíren odpadních vod, aplikované na zemědělskou půdu. Těžko domyslet, kdyby se vývoj přístrojové techniky pro analýzy stopových množství o několik let opozdil za vývojem průmyslové technologie.

Jednou ze široké škály těchto cizorodých látek jsou polychlorované bifenyly, na které je tato práce zaměřena. Je to vysoce problematická a riziková skupina organických sloučenin, které v důsledku širokého použití v průmyslu zatížily prostředí a jsou složitým hygienickým, toxikologickým a ekonomickým problémem. Jelikož jsou polychlorované bifenyly lipofilní povahy, hromadí se především v rostlinných a živočišných tucích. A protože člověk stojí na samém konci potravního řetězce, je tak výrazně postižen hromaděním těchto látek v tukové tkáni.

Znalost principu příjmu PCB rostlinami je důležitá z hlediska stále hrozícího nebezpečí kontaminace potravin těmito toxickými sloučeninami. Pozornost by měla být věnována zvláště rostlinám sloužícím k přímé výživě člověka - tedy především zeleninám.

Současné snahy jednoznačně vedou k šetrným způsobům likvidace kontaminantů. Fytoremediace je ekologická metoda, která umožňuje odstranit znečištění přírodní cestou. Jde o využití zelených rostlin, které mají schopnost akumulovat PCB v biomase. Fytoremediační metody jsou předmětem výzkumů a ty ji v současné době posunují do popředí oproti jiným metodám odstraňování těchto škodlivých xenobiotik. Velkou výhodou fytoremediací jsou nízké náklady a šetrnost k životnímu prostředí.

Cílem této práce je sledovat transfer Deloru 103, což je olejovitá, technická směs obsahující nízkochlorované bifenyly a vybraných kongenerů PCB při přechodu z půdy do rostlin a identifikovat schopnost jejich akumulace.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Perzistentní organické polutanty

Perzistentní organické látky (POP) jsou vzhledem ke svým specifickým vlastnostem člověku a ostatním živočichům nebezpečné již ve velmi malém množství. Jejich hlavním charakteristickým rysem je perzistence, což znamená, že jen velice obtížně degradují a jejich poločas rozpadu se pohybuje v rozmezí od několika měsíců až po řadu let (Lobanov et al., 2001). Podlešáková et al. (2000) uvádějí, že doba přetrvávání organických polutantů v prostředí se může výrazně lišit, mnohé sloučeniny se v půdě samovolně rozkládají v rámci několika roků (naftalen, anthracen, ale také PCB a ropné uhlovodíky), jiné (např. PCDD/F) jsou v půdě relativně špatně rozložitelné a, to i navzdory procesům biodegradace. Další vlastností POP je schopnost přenosu v atmosféře. Některé z nich jsou transportovány na dlouhé vzdálenosti, až na místa, kde nikdy nebyly používány, např. do Arktidy. Ukládají se ve vodních sedimentech a postupně se hromadí v jednotlivých článcích potravního řetězce od planktonu přes vodní živočichy až k člověku. Jsou charakteristické nízkou rozpustností ve vodě a dobrou rozpustností v tucích. Jejich obsah v tukových tkáních organismů se zvyšuje v rámci potravního řetězce až několika řádově (Lobanov et al., 2001).

Mezi perzistentní organické polutanty řadí Holoubek et al. (2003) polychlorované dibenzo-p-dioxiny a furany (PCDD a PCDF), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), pesticidy jako je DDT, chlornan, heptaflor a polychlorované bifenyly (PCB).

2.2. Polychlorované bifenyly (PCB)

2.2.1 Základní charakteristika

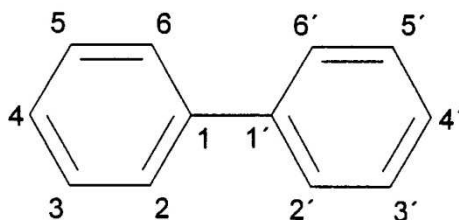
Polychlorované bifenyly jsou velkou skupinou látek, odvozených od bifenyly. Bifenyl je z hlediska organické chemie aromatický uhlovodík, v němž jsou dvě benzenová jádra spojena jednoduchou vazbou. Bifenyl lze chlorovat, neboť je velice reaktivní. Toho se využívá k přípravě technických směsí polychlorovaných bifenyly, které mají velice široké uplatnění (Véber, Kredl, 1991).

PCB se začaly komerčně vyrábět v roce 1929 a našly značné uplatnění v průmyslové praxi. Mimořádná stabilita těchto látek má za následek globální kontaminaci životního prostředí. Dosavadní světová produkce PCB se odhaduje na 1,2 milionu tun, přičemž v bývalém Československu jich bylo vyrobeno na 20 000 tun (Punčochář et al., 1997).

2.2.2 Názvosloví a chemická struktura

Fenylové kruhy tvořící bifenylové jádro se čísují každý zvlášť. Očíslováním kruhů je označena poloha atomů chloru u jednotlivých kongenerů. Kruh s nižším počtem substituovaných atomů chloru je považován za hlavní nebo čárkovaný číselný systém, v němž mají jednotlivé atomy označení čísla s apostrofem. Je důležité mít názvoslovný systém pro všech 209 kongenerů, aby mohly být jednoznačně určeny. K identifikaci kongenerů PCB je užíváno systému číslování IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii (Connell, 1997).

Obrázek č. 1: Schéma číslování bifenyly, možné polohy atomu chloru namísto vodíku



Connell (1997) poukazuje, že pro účely monitoringu PCB v životním prostředí jsou sledovány tzv. indikátorové kongenery. Je jich sedm: PCB 28 (2,4,4' - trichlorobifenyl), PCB 52 (2,2', 5,5' - tetrachlorobifenyl), PCB 101 (2,2',4,5,5' - pentachlorobifenyl), PCB 118 (2,3,4,4',5 - pentachlorobifenyl), PCB 38 (2,2',3,4,4',5 - hexachlorobifenyl), PCB 153 (2,2',4,4',5,5' - hexachlorobifenyl) a PCB 180 (2,2',3,4,4',5,5' - heptachlorobifenyl). Důvody jejich výběru jsou ty, že jsou ve vysokých koncentracích v technických směsích a environmentálních vzorcích a mají střední až vysokou perzistenci.

Při výrobě PCB byl nejprve zahříván benzen na teplotu cca 750°C za přítomnosti olova jako katalyzátoru, čímž vznikal bifenyl. Bifenyl byl dále chlorován molekulárním

chlorem. Jako katalyzátor v tomto případě sloužilo železo nebo chlorid železitý. V průběhu chlorace byly postupně nahrazovány atomy vodíku chlorem. Množství substituovaných atomů chloru závisí na množství přítomného chloru, délce trvání reakce a teplotě (Baird, 2003). Sumární chemický vzorec PCB je $C_{12}H_{10-n}Cl_n$, kde n je 1 až 10. Teoreticky je tak možno získat až 209 různých izomerů, které se běžně nazývají kongenery. Jednotlivé izomery se mezi sebou liší některými vlastnostmi i toxicitou. Nejtoxičtější z nich jsou pentachloroderiváty. Nositeli vysokého zdravotního rizika jsou izomery chlorované v pozicích 3,3', 4,4'. Zdrojem kontaminace potravních řetězců se staly technické směsi PCB, které z možných 209 kongenerů obsahují jen 130 z nich (Vráblíková, Škrlant, 1991). Z toxikologického pohledu jsou důležité zejména kongenery s rovinným (koplanárním) uspořádáním, kterých je jen dvanáct. Za nejtoxičtější kongener PCB vůbec je považován 3,3', 4,4', 5,5'- hexachlorobifenyl (Conell, 1997).

2.2.3 Fyzikální a chemické vlastnosti

PCB se vyznačují specifickými fyzikálními a chemickými vlastnostmi, které přispěly ke skutečnosti, že se staly rozsáhle používanými látkami v mnoha průmyslových odvětvích. PCB jsou nehořlavé, nekorozivní, chemicky inertní a málo těkavé. Dále mají dobrou schopnost elektroizolace (velký elektrický odpor), výborné teplotní vlastnosti, malou rozpustnost ve vodě, nízkou tenzi par a vysokou hustotu. Jsou snadno rozpustné v organických rozpouštědlech, olejích a tucích (Baird, 2003, Totevová et al., 1997). Bod varu a tlak vodní páry se liší nejen dle stupně chlorace, ale také dle pozice chloru na bifenylu. Chlor navázaný v ortho pozici má vliv na zvýšení hodnoty tlaku vodní páry (Erickson, 1997).

PCB jsou látky silně hydrofobní, rozpustnost ve vodě kolísá od $50 \mu\text{g.l}^{-1}$ do $200 \mu\text{g.l}^{-1}$ při 20°C . Se vzrůstajícím stupněm chlorace se všechny tyto vlastnosti zvýrazňují. Molární hmotnost a bod tání PCB se pro monochlorbifenyl udává 189 g.mol^{-1} a 34°C a u dekachlorbifenylu dosahuje hodnot přibližně $498,7 \text{ g.mol}^{-1}$ a 300°C . PCB jsou velmi odolné proti účinkům kyselin a zásad, i vůči redukci. Nepodléhají oxidaci běžnými oxidačními činidly a jsou téměř rezistentní vůči hydrolýze (Totevová et al., 1997).

2.2.4 Historie PCB

Poprvé byly PCB syntetizovány Schmidtem a Schultzem v roce 1881. Průmyslově se pak začaly vyrábět od roku 1929, a to americkou firmou Monsanto corporation (Holoubek, 2003). Zejména byly vyráběny jako směsi pod obchodním názvem Aroclor. PCB směsi byly dále celosvětově distribuovány pod různými dalšími obchodními názvy, např.: Fenclor - firma Caffaro, Itálie; Kanechlor - firma Kanegafuchi, Japonsko; Clophen - firma Bayer, SRN a Phenoclor - firma Prodelec S. A., Francie. Důvodem jejich širokého rozšíření byly vynikající technologické vlastnosti a neznalost jejich značné toxicity a perzistence. Do roku 1977, kdy byla jejich výroba v severní Americe zastavena, dosáhlo jejich vyrobené množství cca 600 000 tun (Connell, 1997).

Dle Lobanova et al. (2001) byla výroba PCB na území Československa zahájena v Chemku Strážské v roce 1959 a skončila uzavřením výroby v roce 1983. Vyráběly se jako směsi pod komerčními názvy Delor 103, Delor 105, Hydolor a Delotherm. Celkem zde bylo vyrobeno 21 482 tun a v důsledku výroby vzniklo dalších 1 600 tun odpadu s PCB. Skoro polovina produkce (46 %) byla vyvezena do zahraničí, většinou do států tehdejšího komunistického bloku ve střední a východní Evropě.

Dle Hajšlové a Vávrové (1991) se produkce PCB po zhodnocení rizika vyplývajícího z používání již na začátku 70. let ve světě rychle omezovala a zastavovala, naopak v Československu se objem výroby těchto látek zvyšoval. První požadavek na zastavení výroby PCB v Chemku Strážské byl vynesena hlavní hygienikem v roce 1981. Termín ukončení výroby byl pak stanoven rozhodnutím vlády ke dni 31. 12. 1983, ale prakticky byla zastavena až v lednu 1984.

Opakované studie v České republice a na Slovensku ukazují, že koncentrace PCB v tučích obyvatelstva jsou vyšší, než jsou typické hodnoty v USA či Evropě. Důvodem je právě neexistence opatření proti šíření PCB v 80. letech. V té době byla zjištěná vysoká koncentrace PCB v našich masných produktech exportovaných do USA. Přes takováto zjištění se například nátěrové hmoty s obsahem PCB používaly dokonce ještě po roce 1986 (Punčochář et al., 1997).

V současné době je jejich výroba i použití ve vyspělých zemích zakázána a přístroje s obsahem PCB musejí být do určitého data vyřazeny z provozu a odborně zneškodněny. Výjimečně mohou být použity pouze pro vědecký výzkum (Connell, 1997).

2.2.5 Komerční směsi PCB

Na území České republiky byly distribuovány výrobky s komerčními názvy Delor 106 (obdoba amerického Arocloru 1260) a Delor 103 (obdoba amerického Arocloru 1242) (Hajšlová, Vávrová, 1991).

Obchodní směsi PCB se liší svými fyzikálními vlastnostmi. Méně chlorované směsi Aroclor 1221, 1232, 1242 a 1248 jsou bezbarvé nebo téměř bezbarvé mobilní oleje a to vzhledem k vzájemnému poklesu bodu tání jejich komponentů. Aroclor 1254 se stává tím více světle žlutým viskózním olejem, čím větší množství molekul chloru obsahuje. Nejvíce chlorované směsi Aroclor 1260 a 1262 jsou lepkavé pryskyřice. Hustota těchto směsí vzrůstá s rozsahem substituce molekul chloru, ale vždy nabývá hodnot větších než $1\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Oleje založené na PCB směsích klesají ke dnu vodních nádrží, čímž se odlišují od olejů založených na uhlovodících, které mají nižší hustotu a zůstávají tak na vodní hladině (Connell, 1997).

Tabulka 1: Zastoupení jednotlivých kongenerů v Aroclorech (hm. %) (Hajšlová, Vávrová, 1991).

Počet atomů chloru v bifenyly	Typ Arocloru								
	1221	1232	1016	1242	1248	1254	1260	1262	1268
1	99,4	31,5	0,9	0,6					
2	0,6	28,2	24,3	19,5	0,7				
3		21,5	47,1	39,1	22				
4		18,7	27,3	36,6	61,3	16	0,3		
5		0,4	0,4	4,2	16	59,9	12,2	3,8	
6						23,8	50,3	37,2	
7						0,4	31,4	42,4	4
8							5,9	14,5	36,8
9								1,4	52,3
10									7,4

2.2.6 Použití PCB

Pro svoje chemické a fyzikální vlastnosti měly polychlorované bifenyly široké komerční uplatnění v mnoha průmyslových oblastech. Našly využití zejména v oblasti elektrických přístrojů, jako jsou kondenzátory a transformátory. V těchto případech byly PCB používány pro přenos tepla v kapalinách, kdy bylo teplo snadněji přemísťováno do

vnější části obalu zařízení a následně mohlo být rozptýleno do ovzduší. To svědčí o relativně vysoké tepelné stabilitě PCB. Mnohdy kapaliny neobsahují pouze samotné PCB, ale často jsou jejich součástmi také chlorované benzeny. Příkladem tohoto použití PCB jsou velmi objemné kondenzátory a transformátory kdy se takové využití PCB označuje termínem regulovatelný systém uzavírání. Menší kondenzátory, které se používaly např. u světelných zařízení, klimatizací, pump a ventilátoru mohou také obsahovat PCB. Tento způsob využití je označován jako neregulovatelný systém uzavírání, což znamená, že směs PCB není součástí uzavřeného systému, ale je v přímém kontaktu s okolním prostředím. Po skončení své životnosti byla tato zařízení často ukládána na skládky odpadů společně s vybavením, jehož jsou součástí (Connell, 1997).

Dále se směsi PCB používaly jako hydraulické tekutiny a mazadla, plastifikátory (změkčovadla) plastických hmot, izolační materiály, lepidla a jako přísada v inkoustech. V případě přeskocení jiskry snižují díky své nehořlavosti nebezpečí výbuchu a možnosti vzniku ohně, čehož se využívá v ohnivzdorných složkách barev, kterých jsou také součástí (Connell, 1997).

Přesné využití výrobků Chemko Strážské popisuje Hajšlová a Vávrová (1991) takto:

1. Delory 103 a 106 se využívaly při výrobě výkonových kondenzátorů (ZES Žamberk), transformátorů (ČKD Praha), dále jako přísada ke snížení hořlavosti plastických hmot a kaučuku či jako plastifikátory či stabilizátory některých nátěrových hmot (např. lak chlorkaučukový, email polymerázový, barva epoxyesterová, atd.)
2. Hydely 103, 104, 137 a 30 se používaly v ovládacích zařízeních tlakových plynáren, v lisovnách při tlakování, lití v kovohutích, v dolech pak jako náplně vícestupňových vývěv.
3. Delothermy s označením AP sloužily jako nehořlavá teplotnosná média do teplot asi 220 °C a k chlazení palivových článků. Typ HP byl určen pro vyšší teploty a aplikován byl především v obalovnách asfaltových drtí.

2.2.7 Současné zdroje, rozšíření a chování PCB v životním prostředí

Zdrojem PCB je antropogenní činnost v souvislosti s nejrůznějšími aktivitami. Nejčastějšími současnými zdroji znečištění jsou především skládky, ze kterých se

vyluhované PCB dostávají do povrchových i podzemních vod. Další, menší znečištění může způsobovat odpar barev a nátěru, nebo neodborná likvidace průmyslových kapalin. Otevřeným hořením a nedokonalým spalováním pevného odpadu obsahujícího PCB se tyto látky mohou také dostávat do atmosféry. K tomu dochází díky nevhodným podmínkám spalování ve spalovnách tuhého komunálního odpadu. Určitá množství PCB se do prostředí dostávají i recyklací (např. papírenské výrobky) (Punčochář et al., 1997). Durfee et al., (1976) upřesňuje, že inkoust v tiskárnách v letech 1957-1971 obsahoval směsi PCB, především Aroclor 1242.

Vzhledem k použití PCB podle Punčocháře et al., (1997) představují možné zdroje kontaminace prostředí tyto procesy:

- Odpary PCB z provozovaných, likvidovaných či skládkovaných transformátorů, kondenzátorů, hydraulických systémů a zařízení obsahujících vysoké objemy PCB
- Odpary ze starších nátěrů nebo odpary z teplosměnných kapalin
- Vznik těchto látek ve spalovacích procesech
- Odpar PCB z venkovního prostředí (z otevřených ploch), jako je například při použití odpadových olejů kontaminovaných PCB v dopravě.

V současné době je hlavním zdrojem expozice u populace redistribuce PCB, které již předtím pronikly do prostředí. K redistribuci dochází těkáním z půdy a vody do ovzduší s následným přenosem vzduchem a mokrou nebo suchou depozicí PCB navázaných na částice, které opět přestupují do ovzduší. Ve vodě se PCB adsorbují na sedimenty a další organické látky. Vysoká adsorbce na usazeniny, zvláště v případě PCB s vyšším stupněm chlorace, snižuje jejich těkavost (Melicherčík, Velek, 1992).

2.2.8 Způsoby stanovení a měření PCB, vývoj analytických metod

V roce 1966 se objevily první zprávy o výskytu PCB v ekosystému, pro separaci PCB se v té době používal princip plynové chromatografie (GC-gas chromatography) a hmotnostní spektrometr pro jejich identifikaci. V roce 1969 byla použita adsorbční chromatografie pro přečišťování biologických vzorků kvůli odstranění lipidů. V roce 1975 došlo k zavedení skleněných kapilárních kolon. To mělo za následek zlepšení separace PCB. Během roku 1980 došlo ke zjednodušení identifikace (číselná klasifikace) jednotlivých kongenerů a použití křemenných kapilárních kolon ke zlepšení stability. V

roce 1982 byla vytvořena pracovní skupina zaměřená na identifikaci hlavních zdrojů chyb v analytice PCB. Ze spektra 209 PCB bylo vybráno 7 "indikátorových" kongenerů. V roce 1983 bylo použito elektronické kontroly teplotního programu - zlepšení reprodukovatelnosti retenčních charakteristik. Jeden rok poté jsou zaznamenány údaje o syntéze a retenčních charakteristikách všech 209 kongenerů na kapilární koloně s fází SE 54. O další rok později jsou připraveny referenční materiály certifikované pro 7 tzv. indikátorových kongenerů (BCR CRM č. 349 a 350), dále údaje o retenčních charakteristikách na semipolárních a polárních stacionárních fázích a aplikace vícerozměrných chromatografických technik. V roce 1986 došlo k zaměření pozornosti na analýzu nejvíce toxických (planárních) kongenerů: předseparace toxikologicky významných kongenerů před GC na základě jejich prostorového uspořádání. V roce 1988 bylo použito vícerozměrné plynové chromatografie pro stanovení toxických kongenerů v technických směsích PCB a v roce 1989 bylo provedeno kompletní vyšetření směsí Clophenů a Aroclorů pomocí vícerozměrné GC/ECD (Holoubek, 2003).

Od té doby se jednotlivé PCB identifikují pomocí plynové chromatografie (GLC-gas-liquid chromatography) s použitím detekce s ionizací vodíkovým plamenem (FID-flame ionization detector) nebo detekce elektronového záchytu (ECD-elektron capture detector) a hmotnostní spektrometrií (MS-mass spectrometry) (Erickson, 1997).

2.3 Průnik PCB do živých organismů

Přítomnost PCB v organismu ryb, vodního ptactva i suchozemských živočichů byla poprvé prokázána švédským profesorem Jensenem v roce 1966. Výsledky analýz, které byly poté prováděny v laboratořích řady zemí světa, potvrdily skutečnost, že PCB jsou přítomny prakticky ve všech složkách životního prostředí a lze konstatovat, že v 70. a 80. letech představovaly nejsledovanější prioritní škodliviny (Hajšlová, Vávrová, 1991).

2.3.1 Toxické účinky a zdravotní rizika PCB

PCB jsou obecně zdraví škodlivé látky. Je všeobecně známo, že akutní toxicita PCB je relativně nízká. To dokládají i pokusy na krysách, při kterých byly zjištěny akutní hodnoty LD₅₀ u Arochlorových směsí 10 g.kg⁻¹ tělesné hmotnosti. Směsi jsou tedy méně toxické než např. DDT. Některé zprávy uvádějí, že minimální dávka k vyvolání klinických efektů v lidském těle je asi 0,5 g.kg⁻¹. Toxicita obchodních směsí se může pohybovat

v určitém rozmezí podle relativního poměru přítomných kongenerů a množství nečistot (Connell, 1997).

Projevem chronického působení PCB může být chlorakné. To je stav kůže, který je znám jako reakce kůže na chlorované aromatické sloučeniny. Projevuje se výskytem černých skvrn a cyst, především na obličeji a krku, ale také na hrudi, zádech a genitáliích. Chlorakné může způsobit požití nebo přímý kožní kontakt s těmito látkami. Doba výskytu závisí na stupni účinku, často je to několik let. Chronické působení PCB může způsobit také poškození jater. Rezidua malých množství PCB v organismu způsobují změny jaterní tkáni. Bylo pozorováno zvětšení velikosti jater i jejich hmotnosti. Např. u mláďat krmených mlékem s PCB byl zaznamenán značný přírůstek jaterní tkáně. U dospělých jedinců se objevuje hepatomegalie (zvětšení jater) a po vysokých dávkách i nekrózy (odumírání) hepatocytů. Dlouhodobá expozice vede k rozvoji chronické hepatické porfyrie (tj. nestejné zrnitosti jaterní tkáně) (Connell, 1997).

2.3.2 Havárie a otravy způsobené PCB

Ke dvěma velkým výskytům otrav u lidí došlo v Japonsku, požitím rýžového oleje kontaminovaného PCB (nemoc Yusho – otrava z oleje) a o deset let později na Taiwanu (nemoc Yu-cheng). Intoxikace u pacientů z Yusho a Yu-cheng se projevila příznaky jako hypersekrece z Meibomových žláz očí, otok očních víček a pigmentace nehtů a sliznic, někdy ve spojení s únavou, nauzeou a zvracením. Obvykle následovala hyperkeratóza a ztmavnutí pokožky s rozšířením folikulů a vyrážkou typu akné. Dále byly pozorovány otoky na pažích a nohou, zvětšení jater a poruchy jejich činnosti, poruchy centrálního nervového systému, respirační potíže, např. bronchitické, a změny v imunitním stavu pacientů. U dětí bylo pozorováno zpomalení růstu, tmavá pigmentace kůže a sliznic, hyperplazie dásní, xenoftalmické oteklé oči, výskyt chrupu při narození, abnormální kalcifikace lebky, nález na patě a vysoký výskyt nízké porodní váhy novorozenců. V podmínkách pracovního prostředí se několik hodin po akutní expozici projevila kožní vyrážka. Dále bylo po expozici vysokým koncentracím PCB zjištěno svědění, pocity pálení, podráždění spojivek, pigmentace nehtů na rukou a chlorakné.

Další dvě velké studie úmrtnosti byly provedeny s dělníky zaměstnanými ve výrobě kabelů v letech 1940 až 1944 exponovanými Aroclorem 1254, 1242 a 1016.

Zdravotní stav byl sledován až do roku 1985. V jedné ze studií byla pozorována zvýšená úmrtnost na rakovinu jater a žlučníku, zatímco v druhé zvýšená úmrtnost na novotvary a rakovinu zažívacího traktu. Ani jedna z dosavadních epidemiologických studií však nepřinesla konečný důkaz o souvislosti mezi expozicí PCB a zvýšenou úmrtností na rakovinu, a to vzhledem k nízkému počtu úmrtí v exponované populaci, nedostatku údajů o závislosti na dávce a problémům s kontaminanty ve směsích PCB (Melicherčík, Velek, 1992).

Na území České republiky a Slovenska bylo také zaznamenáno několik ekologických havárií, při kterých proniklo do prostředí značné množství PCB. Např. v roce 1986 došlo k úniku topného oleje (Delotherm DH) z obalovny živičné drti v Rožmitále pod Třemšínem. Olej vytékal do říčky Skalice a kvůli tomu vzniklá kontaminace dosahovala až koncentrace 250 000 ng/l. Došlo také ke kontaminaci pitné vody v okolí. Z tohoto důvodu byl v roce 1988 vydán zákaz konzumace ryb chycených v celé délce toku řeky Skalice a dokonce i v přehradní nádrži Orlík na Vltavě (Hajšlová, Vávrová, 1991). Tento případ není bohužel jediný. K nekontrolovaným únikům došlo i ve vlastním výrobním podniku Chemko Strážské. **Důsledky výroby jsou pro celý region dodnes katastrofální a můžeme je shrnout asi takto:**

- v okolí Strážského byly v roce 1997-98 naměřeny asi 20 krát vyšší koncentrace PCB ve venkovním ovzduší (kolem 1 600 ng/m³) než v kontrolní oblasti,
- v sedimentech odpadního kanálu z čistírny odpadních vod ústícího do řeky byly naměřeny koncentrace 2-4 mg PCB/g,
- v řece Laborci a vzdálenější vodní nádrži byly naměřeny v sedimentech koncentrace 100-2 000 krát vyšší než v kontrolní oblasti
- došlo k vysoké kontaminaci půdy v závodě (53 g PCB na 1 kg) a v místě skládkování odpadů ze závodu (38 g PCB na tunu). Problém je i s kvalitou skládek odpadu a v jejich okolí byly zjištěny také vysoké koncentrace.
- byly zjištěny vysoké koncentrace PCB v rybách (100 krát převyšující průměrné hladiny – asi 0,3 mg/g tuku) v řece Laborci i ve vodní nádrži Zemplínská Šírava
- byly zjištěny vysoké koncentrace i u dalších potravin z regionu – např. ve vejcích byl naměřen obsah PCB až 2 800 ng/g tuku, což je asi 20 krát více než je běžné, v mléku byla zjištěna koncentrace 3 krát vyšší než je obvyklé.

- byly pozorovány zdravotní problémy jak u pracovníků závodu, tak u obyvatelstva v regionu. Byly zjišťovány koncentrace PCB v krevním séru – u obyvatelstva z regionu byly 3 krát vyšší (4 200 ng/g tuku), u pracovníků závodu 7 krát vyšší (8 600 ng/g tuku) a u rybářů 8.5 krát vyšší (10 100 ng/g tuku) než v kontrolní oblasti (1 200 ng/g tuku).

Sedimenty, zamořená půda i odpady znamenají dlouhodobou zátěž PCB, která se dále bude uvolňovat do okolí, pokud se neprovede sanace (Lobanov et al., 2001).

2.3.3 Vstupy do potravního řetězce člověka

K expozici člověka PCB dochází převážně orálně, prostřednictvím potravního řetězce, i když nelze podcenit ani respirační kontaminaci. V individuálních případech jsou významné profesionální expozice. V organismu vyvolávají výrazné zvýšení hladiny cholesterolu. Zvyšují se rizika srdečních a cévních chorob a nádorových onemocnění. Jejich resorbce u člověka je udávaná v rozmezí 80-90 %, přičemž 80 % z toho se kumuluje v tukové tkáni, a tím dochází k postupnému hromadění v těle. Erickson, (1997) udává, že k akumulaci PCB v tkáních dochází dle následujícího schématu: tuková tkáň, kůže, játra, svaly a krev. Relativní koncentrace PCB v tkáních je vyšší u více chlorovaných (lipofilnějších) kongenerů. Dokonce pronikají i placentou, takže se již rodí děti s obsahem PCB v těle. Závažný je též výskyt PCB v mateřském mléce (Vráblíková, Škrlant, 1991).

2.3.4 Příjem a akumulace u živočichů

Co se týče polychlorovaných bifenylnů, tak nejvíce zasaženými živočichy jsou prasata a skot, dále pak lovná zvěř, draví ptáci a sladkovodní ryby. Hlavním zdrojem kontaminace zvířat jsou kontaminovaná krmiva objemná, obiloviny a krmné směsi v případě skotu, obiloviny a krmné směsi v případě prasat a drůbeže, znečištěné vody v případě sladkovodních ryb a vodní drůbeže, kontaminované prostředí a potravní nika v případě lovné zvěře a bioindikátorů. Primárními zdroji kontaminace krmiv a přímo zvířat jsou technické suroviny s obsahem PCB (nátěrové hmoty, izolační materiály, hydraulické oleje aj.) používané v prostředí farem hospodářských zvířat (Holoubek et al., 2003). Přestože byly silážní a senážní prostory a stájové technologie zbaveny nátěru s obsahem PCB, došlo k proniknutí PCB až do hloubky 10 cm a jsou schopny další kontaminace (Vráblíková, Škrlant, 1991). Dalšími primárními zdroji jsou průmyslové havárie s únikem PCB do vodotečí a vodních nádrží, vypouštění odpadů z průmyslových výroby do vodotečí

a kalových rybníků, vyplavení deponií průmyslového odpadu, agrochemikálií a komunálního odpadu po záplavách.

Přetrvávající nebezpečí dle Holoubek et al., (2003) hrozí:

- v dosud neodstraněných a nevhodně zlikvidovaných materiálech s obsahem PCB v prostředí, uvolnění PCB z nedostatečně bezpečně skladovaných hmot s obsahem těchto látek zvláště při záplavách,
- po obnažení (odkrytí) materiálů s obsahem PCB ve stájích při jejich rekonstrukcích a stavebních úpravách, které byly v předchozích letech pouze převrstveny jiným neškodným materiálem,
- při opětovném použití zařízení na skladování krmiv a krmných komponent již dříve vyřazených pro neodstranitelnou kontaminaci PCB (staré silážní jámy),
- při opětovném naskladnění již delší dobu nepoužívaných stájí, kde mohou být materiály s obsahem PCB,
- při dovozu již kontaminovaných zvířat, krmiv a krmných komponent ze zahraničí.

Pokud nebudou definitivně zlikvidovány všechny materiály obsahující organochlorové látky nebo nebudou bezpečně deponovány, anebo jejich použití nebude omezeno výhradně pro definované uzavřené systémy (PCB), nelze do budoucna vyloučit ojedinělé případy hygienicky závažných případů kontaminace krmiv, potravin a surovin živočišného původu včetně sladkovodních ryb a lovné zvěře. K dosažení tohoto cíle by měla přispět především inventarizace všech možných zdrojů těchto látek, nebezpečných pro životní prostředí, zvířata a člověka (Holoubek et al., 2003).

Uvádějí se také účinky na populace ptáků, ale za nejzávažnější účinek PCB na organismy v životním prostředí se pokládá selhání reprodukční funkce u mořských savců. Vzhledem k předpokladu redistribuce reziduí PCB v neprospěch mořského prostředí, lze očekávat, že v budoucnu se ohrožení mořských savců bude dále stupňovat (Melicherčík, Velek, 1992). Francouzská organizace CNIID odebrala 3 vzorky tuku delfínů žijících ve vodách u pobřeží Francie. Analýzy prokázaly, že tito dospělí jedinci byli kontaminováni všemi formami PCB (kromě kongeneru 114) (Lobanov et al., 2001).

2.4. Příjem PCB rostlinou

2.4.1 Distribuce mezi půdou a rostlinou

Do půdy se PCB dostávají nejenom z bodových zdrojů, ale též imisemi, závlahovými vodami i zaváženími čistírenskými kaly. Chování PCB v půdním prostředí je výrazně závislá na stupni chlorace kontaminujících směsí PCB (resp. na jejich fyzikálně-chemických vlastnostech) a dále je pochopitelně podmíněno typem půdy (Hajšlová, Vávrová, 1991). Zeeb et al. (2006) dále konstatuje, že všechny tyto vlastnosti jsou důležitými parametry při pozorování distribuce a osudu PCB v prostředí, stejně tak jako při pozorování jejich příjmu a mobility v rostlině.

Adsorpce polychlorovaných bifenylnů na půdní a atmosférické částice je způsobena jejich lipofilním charakterem. Vzhledem ke skutečnosti, že rostliny představují první článek potravního řetězce a tvoří dominantní složku potravy lidské populace, je nezbytné především sledovat způsob průniku PCB z kontaminovaných půd do zemědělsky využívaných rostlin a jejich možnou kumulaci v rostlinných pletivech (Campanella et al., 2001). Akumulace polychlorovaných bifenylnů do rostlin je podle (Shimpa et al., 1993 in Shaogang Chu et al., 1999) potenciálně možná následujícími dvěma způsoby. Prvním z nich je příjem PCB prostřednictvím kořenového systému a následný přechod do biomasy. Druhým je adsorpce PCB ze vzduchu přes průduchy v listech a stoncích a následně epidermálními vrstvami do apoplastů a symplastů. Další možnou cestou, kterou popisuje Facchetti et al., 1987 in Lovett et al., 1997) je možná u zelenin jako jsou například cukety, které jsou v přímém kontaktu se zeminou. U nich může docházet k přímé adsorpci z půdy během vydatného deště.

Zákonitě tím vzniká otázka, zda rostliny mají schopnost přijímat rezidua z půdy, jinými slovy, jaké existuje riziko produkce kontaminovaných plodin v oblastech s vyššími hladinami PCB v zemině (Hajšlová, Vávrová, 1991). Dle Véber a Kredl, (1991) je transport PCB z půdy do vyšších rostlin nízký, jak ukazují nepatrná množství PCB v biomase hospodářsky důležitých i planě rostoucích druhů. K bioakumulaci nedochází asi vůbec u těch vyšších rostlin, kde je obsah tukové frakce zanedbatelný. Jak vyplývá z různých prací mnoha autorů, relativně nejvyšší stupeň biokoncentrace PCB vykazuje mrkev. Akumulace lipofilních xenobiotik je význačná zejména v povrchových vrstvách bohatých na lipidické sloučeniny. Autoři se dále shodují v konstatování, že riziko

kontaminace plodin je zanedbatelné až do obsahu PCB v půdě zhruba 5 mg/kg (Hajšlová, Vávrová, 1991).

Transport polychlorovaných bifenyků z uměle kontaminovaných půd do kořenů a listů cévnatých rostlin sledovali (Bacci a Gaggi 1985 in Véber, Kredl, 1991). Na písčité půdě obohacené preparátem Fenclor 64 (podobný Arocloru 1260) byly pěstovány fazole, boby, rajčata a okurky. Vzorky se odebíraly 28 dnů po počátku experimentu. V kořenech těchto rostlin byly koncentrace PCB vysoké, ale zdá se, že translokace z kořenů některých rostlin probíhá jen zvolna nebo neprobíhá vůbec a zastavuje se v kořenové kůře.

2.4.2 Příjem a akumulace u rostlin

V současné době je předmětem zkoumání rostlin pěstovaných na půdách kontaminovaných rizikovými látkami především kořenová zelenina, protože příjem polutantu z půdy kořenovým systémem a následná akumulace v konzumních částech rostlin mohou představovat potenciální zdroj kontaminace potravního řetězce. V blízkosti ruského města Serpukhov byly provedeny polní pokusy s rozličnými druhy zelenin. Tato lokalita je charakteristická tím, že půdní prostředí vykazuje i v dnešní době značně vysoké stupně znečištění PCB díky rozsáhlé výrobě a použití polychlorovaných bifenyků. Zeleniny pěstované na této půdě obsahují podle Bobovnikové et al., (2000) vysoké koncentrace PCB ve svých tkáních. U mrkve a brambor byly analyzovány rostliny neoloupané a oloupané. U neoloupaných brambor byly sledovány hodnoty obsahu polychlorovaných bifenyků 1,5 – 2krát vyšší oproti oloupaným. Obsah polychlorovaných bifenyků v kořenech mrkve rostoucí na zemině, která byla kontaminována PCB látkami až v množství 30 mg. kg⁻¹ zeminy, byl 2 350 µg. kg⁻¹ hmotnosti čerstvé biomasy u mrkve neloupané a 1 500 µg. kg⁻¹ hmotnosti čerstvé biomasy u mrkve loupané. Byly sledovány také hodnoty obsahu PCB v listech celeru, a to 2 500 µg. kg⁻¹ čerstvé hmotnosti a listech petržele bylo zjištěno množství 1 490 µg. kg⁻¹ čerstvé hmotnosti.

Zeeb et al. (2006) provedli experiment příjmu PCB cuketou (*Cucurbita pepo*). Během pěstování byla půda kontaminovaná PCB překryta parafilmem, čímž se výrazně omezila možnost volatilizace PCB z půdy. Tímto pokusem byla dokázána schopnost rostlin přijímat vysoce chlorované kongenery PCB kořenem. Potvrdilo se, že méně chlorované kongenery (tetra- a hexachlorbifenyly) byly ve větší míře zastoupeny v nadzemních

částech rostlin a výše chlorované kongenery (hepta- a oktachlorbifenyly) se nacházely více v kořenech, ale v malém množství i v nadzemní biomase.

Experiment příjmu PCB provedli také Javorská et al. (2007) s mrkví setou (*Daucus carota L.*). Tato rostlina byla vybrána pro vysoký obsah lipidů oproti jiným zeleninám, které by měly pomoci zvýšit příjem PCB do rostlin. Navíc je mrkev známa svým obsahem karotenu, který je charakterizován vysokým koeficientem akumulace PCB. Výsledky tohoto pokusu dokázaly, že suma PCB v požitelných částech mrkve je významně vyšší oproti množství PCB v nadzemní biomase. Dále bylo zaznamenáno, že vyšší množství sumy PCB bylo pozorováno na půdě s nižším obsahem půdní organické hmoty. Opět se potvrdilo, že ve větším množství se více chlorované kongenery nacházely v kořenech.

Danielovič et al. (2003) se zaměřili na obsah PCB v kořenech mrkve ve vztahu k vybraným půdním faktorům. Tímto experimentem nebyl prokázán statisticky významný vliv obsahu humusu v půdě ani půdní reakce na obsah kteréhokoli sledovaného kongeneru v kořeni mrkve.

Zohair et al. (2005) publikovali výsledky pokusu, jehož cílem bylo zjistit, jaká reziduální množství PCB, polycyklických aromatických uhlovodíků a organochlorovaných pesticidů obsahují půdy z organického zemědělství. Dále bylo také zkoumáno, jestli tato rezidua přijímají z půd vybrané druhy mrkve a brambor, které byly na této půdě pěstovány. Výsledky prokázaly, že všechny tři skupiny látek byly do rostlin mrkve i brambor přijímány.

Všichni zmínění autoři uvádějí, že proces příjmu PCB rostlinami a jejich rozmístění v pletivech rostlin je poměrně komplikovaný a dosud není zcela prostudován.

2.5 Biologické procesy přeměny toxických látek na netoxické

2.5.1 Bioremediace

Bioremediace: Z řeckého bios = život a latinského remedium = lék, léčivý prostředek. Je to tedy léčba živými prostředky přírody. Termín se používá zvláště v oblasti ochrany životního prostředí (Klaban, 1999).

Cílem bioremediace je degradace organických polutantů za využití zelených rostlin tak, aby jejich koncentrace byla buď pod hranicí detekčního limitu, nebo taková, že by

nepřevyšovala koncentrační limit daný příslušnou vyhláškou. Bioremediace lze využít pro čištění půdy, spodních a odpadních vod, kalů a plynů. Vzhledem k závažnosti účinků některých polutantů na zdraví nebo ekologické hledisko se bioremediační technologie v poslední době ukazují jako perspektivní využití pro perzistentní organické polutanty, konkrétně pro polychlorované uhlovodíky (Demnerová, 2003).

Místem, kde se nejčastěji rizikové látky zachycují popřípadě i dále koncentrují, je především půda. Půda svými jedinečnými vlastnostmi je přímo určena poutat kontaminanty dopadající na její povrch z atmosféry, či přicházející rozpuštěné v povrchové vodě. Dnes je cílem nalézt a používat metody, které zeminu očistí, a zároveň půda neztratí svou funkci a vlastnosti a můžeme ji dále využívat (Tlustoš et al., 2004).

Váňa (2005) uvádí, že donedávna se problematika dekontaminace půdy řešila pouze jejím odtěžením, odvozem a podle povahy kontaminantu buď řízeným uložením, nebo spalováním. Tento dekontaminační způsob je však velmi nákladný, navíc ve vztahu k půdním vlastnostem destruktivní a velmi náročný na následnou péči týkající se nakládání s nebezpečným odpadem.

Faktory, které ovlivňují úspěšnost použité bioremediační technologie jsou následující:

- přítomnost organismů (mikroorganismů, rostlin), které jsou schopné efektivně degradovat polutant
- schopnost těchto organismů transformovat organický polutant akceptovatelnou rychlostí na výslednou koncentraci polutantu povolenou zákonem
- při degradaci vznik látek (meziproduktů), které by v dosažené koncentraci byly toxické
- na kontaminované lokalitě přítomnost dalších chemických látek nebo jejich směsí, které by potlačovaly růst a metabolickou aktivitu degradační mikroflory
- dostupnost polutantů mikroorganismům
- na lokalitě zajištění nezbytných podmínek stimulujících růst a degradační metabolismus použitých organismů např. anorganické živiny, kyslík nebo vhodné akceptory elektronů, stopové prvky, vlhkost prostředí, odpovídající teplota, pH, zdroj uhlíku a energie pro růst, induktor katabolické dráhy

- cena technologie musí být nižší nebo při nejhorším stejná jaké cena jiné technologie schopné destruovat cílový polutant.

K výše uvedeným faktorům dále přistupují např. možnosti přípravy adaptovaných bakterií se zvýšenou degradační schopností nebo, v posledně době tolik diskutované, využití geneticky modifikovaných bakterií a rostlin.

Pro dosažení uspokojivých výsledků sanace jsou všechny uvedené faktory stejně významné a nemohou být opomíjeny (Demnerová, 2003).

Tabulka 2: Ekonomické výhody bioremediací (Demain, Davies, 1999).

Aplikace	Fyzikálně-chemické přístupy	Bioremediace	Ušetřené náklady
Odstranění ropných uhlovodíků z půdy	Vytěžení a uskladnění na skládce = 3 mil. \$	Bioventing = 0,2 mil. \$	2,8 mil. \$
Odstranění chlorovaných uhlovodíků z industriální zóny	Vytěžení a uskladnění na skládce = 15 mil. \$	Bioventing = 2 mil. \$	13 mil. \$
Odstranění mnohočetného znečištění	Fyzikální zachycení = 25 mil. \$	In-situ odstraňování = 5 mil. \$	20 mil. \$

2.5.2 Fytoremediace

Váňa (2005) popisuje fytoremediaci jako metodu využívající zelené rostliny pro odstraňování kontaminantu z prostředí, přesněji jako proces fyzikální, chemický a biologický, využívající rostliny k absorpci, akumulaci, detoxifikaci nebo snížení škodlivosti anorganických i organických polutantů. V mnoha studiích bylo prokázáno, že rostliny jsou schopné akumulovat a přeměňovat anorganické i organické polutanty. Z organických látek to jsou především ropné uhlovodíky, muniční odpady, chlorovaná rozpouštědla, chlorované pesticidy a polychlorované uhlovodíky.

Pro účinnou fytoremediaci je důležité, aby znečišťující látky byly snadno dostupné kořenovému systému rostlin. Ten je dále transportuje do rostlinných tkání, kde jsou přeměňovány a ukládány. Nejvýhodnější je využití fytoremediace na velkých plochách, kde kontaminace dosahuje maximálně 5 metrů hloubky (Demnerová, 2003).

Využití rostlin v kontaminovaném prostředí má své výhody: rostliny při remediační činnosti využívají pouze sluneční energii, vhodné jsou i po estetické stránce, mohou být

sklizeny a průběžně sledován stupeň degradace, nedochází v podstatě k poškození okolní přírody, jelikož nejsou potřeba těžké stroje ani převoz zeminy. Váňa (2005) zahrnuje mezi další výhody fytořemediací nízkou pracovní náročnost a menší nároky na vybavení, čištění probíhá bez nutnosti čerpání podzemní vody a daná lokalita je hodnotná z krajinotvorného pohledu. Mezi nevýhody této metody patří negativní ovlivnění jejího průběhu různými vlastnostmi půdy na daném stanovišti. Nebezpečí může představovat akumulace kontaminantů v listech a jejich následný opad. Tím by se kontaminant uvolnil zpět do prostředí. Nutno je zvážit také časové hledisko procesu. Ke zrychlení procesu by mohlo přispět použití geneticky modifikovaných rostlin (Demnerová, 2003). Kučerová et al., (1999) dále poukazuje na nevýhody fytořemediace jako je poměrně snadné ovlivnění jejího průběhu a výsledné dekontaminace životními podmínkami v místě znečištění. Rostliny jsou živé organismy a jejich kořeny potřebují kyslík, vodu a živiny. Struktura půdního profilu, pH, koncentrace solí, polutantů a přítomnost dalších toxinů – to jsou faktory ovlivňující fytořemediaci a jsou limitovány zejména tolerancí použité rostliny.

Při sledování schopnosti různých druhů rostlin odstraňovat PCB z kontaminované zeminy bylo zjištěno, že především lilek černý (*Solanum nigrum*) a tabák (*Nicotina tabacum*) vykazují významný pokles obsahu PCB v půdě. Experiment byl prováděn v nádobách i na pokusném políčku. Po pěti měsících obsahovala kontaminovaná půda 70 % původní koncentrace PCB (Kučerová, 1991).

Na degradaci PCB se mohou podílet mikroorganismy společně s rostlinami. Mezi základní funkce mikroorganismů v tomto směru patří např. obohacení prostředí o živiny a produkce enzymů pozitivně ovlivňujících růst rostlin. Úloha rostlin pak spočívá v zadržování vody, produkci látek, které mohou sloužit jako induktoři mikrobiálních degradačních genů apod. (Demnerová, 2003). Chekol et al., (2004) popisují ve své práci schopnost různých druhů rostlin odstraňovat PCB ze znečištěné půdy Aroclorem 1248 (100 mg.kg⁻¹). Všechny rostlinné druhy projevily schopnost biodegradace oproti variantám bez rostlin. Varianta s rostlinami vykazovala 62 % schopnost biodegradace, naproti tomu varianta bez rostlin vykazovala pouze 18 % schopnost biodegradace. Vyšší úroveň biodegradace nejspíše souvisela s biologickou aktivitou v blízkosti kořenů rostlin. Tyto výsledky tedy naznačily, že by fytořemediace mohla být ekologicky šetrnou variantou dekontaminace půd znečištěných PCB.

Tlustoš et al., (2004) rozdělují fytoremediační technologie takto:

- **Fytostabilizace.** Jde o využití rostlin tolerantních k polutantům pro mechanickou stabilizaci znečištěných půd a prevenci vodní a větrné eroze. Zároveň může dojít ke snížení vyluhovatelnosti polutantů díky vyšší úrovni evapotranspirace v porovnání s půdou bez vegetačního pokryvu.
- **Fytoimobilizace.** Tento proces omezuje pohyb a transport rozpustných kontaminantů, a to díky tomu, že rostliny snižují jejich pohyblivost v půdě.
- **Fytoextrakce.** Při tomto procesu dochází k extrakci anorganických a organických sloučenin z půdy příjmem rostlinami a jejich transportem do nadzemní biomasy těchto rostlin.
- **Fytodegradace.** Po přijetí látek (v tomto případě organických polutantů) do rostlin dochází k jejich degradaci uvnitř rostlinných pletiv nebo může k degradaci docházet pomocí mikroorganismů v okolí kořenů rostliny, tedy v oblasti rhizosferní.
- **Fytovolatilizace.** Proces transformace, degradace a volatilizace těkavých sloučenin kontaminantů z půdy pomocí rostlin a mikroorganismů.

2.5.2.1 Fytoextrakce

V procesu fytoextrakce rostliny extrahují polutanty z půdy svým kořenovým systémem a uskladňují je převážně v zelené biomase (jen částečně v kořenech), přičemž celý proces je možné periodicky opakovat až do požadovaného snížení celkového znečištění. Získaná biomasa se následně zpracuje tak, aby došlo k zakoncentrování polutantu a to mikrobiálně - kompostováním, tepelně - zpopelněním nebo spalováním, nebo chemicky – extrakcí. Fytoextrakce jsou méně drahé, než metody konvenční, protože není zapotřebí finančně náročných fyzikálních a chemických technologií (Dercová et al., 2005).

Mnoho dřívějších studií uvádí, že extrakce PCB z půdy do rostlin je možná. Suzuki et al. (1997) uvedl příjem a přesun PCB u rostlin sóji, Iwata and Gunther (1976) u mrkve a Sawhney and Hankin (1984) u řepy, fazolí a tuřínu. V každém z těchto případů se potvrdilo, že výše chlorované kongenery byly více přítomny v kořenech jednotlivých

roślin. Pro určení, zda je fytoextrakce PCB použitelnou technologií, by bylo vhodné přesunout výzkumy ze skleníků do polních pokusů (Zeeb et al., 2006).

2.5.2.2 Fytodegradace

Fytodegradace je proces, při němž dochází k absorpci, přeměně a odbourávání kontaminantu uvnitř rostliny. Při tomto procesu rostliny přemění v zásadě jen organické kontaminanty a produkty přeměny zabudují do rostlinných struktur ve formě nefytotoxických metabolitů. Za fytodegradaci lze považovat i proces snižování kontaminantu v důsledku uvolňování enzymatických metabolitů rostliny do půdy. Fytodegradace se používají především pro odstraňování organických polutantů (PAH, PCB, výbušniny, detergenty). Při fytořemediacích je třeba zajistit, aby nedocházelo k přeměně na metabolity, které jsou toxičtější, než samotný polutant (Pilon-Smits, 2005).

Schopnost biodegradace PCB pomocí rostlinných buněk kultivovaných *in vitro* popsali ve svém článku Mackova et al., (1997). Pro experiment byly použity kultury křenu selského, rulíku zlomocného a lilku ptačího a černého. Sledován byl příjem PCB ze směsi Delor 103. Ze závěru je jasné, že největší schopnost biodegradace vykazoval lilek černý. Jeho buňky degradovaly 40 % PCB z původní koncentrace.

Ve svém článku Newman and Reynolds (2004) popsali organické sloučeniny podobné povahy a společně diskutovali o tom, jak nedávné studie pomohly objasnit interakce rostlin s těmito sloučeninami. Co se týče polychlorovaných bifenyly, dospěli k závěru, že za nejvhodněji použitelnou rostlinu k fytodegradaci PCB lze doporučit brukev černou (*Brassica nigra*).

3. MATERIÁL A METODY

3.1 Založení a sklizeň experimentu

Pro účely zjištění schopnosti rostlin akumulovat PCB ve své biomase byl v pokusném areálu Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin na ČZU v Praze založen v roce 2008 nádobový experiment s rostlinami celeru, petržele a křenu.

Pro pokus byly použity zeminy s vysokou (černozem-Suchdol) a nízkou (fluvizem-Přerov nad Labem) sorpční schopností. Tabulka 3 uvádí agrochemickou charakteristiku těchto půd. Zeminy byly již z loňského roku kontaminovány směsí přesně definovaných kongenerů PCB (1 mg individuálního kongeneru na nádobu). Před založením pokusu byla zemina upravena pomocí síta a následně homogenizována. Poté bylo do nádob naváženo 4,8 kg zeminy a hnojeno 10 ml roztoku NPK na nádobu (0,5 g N + 0,14 g P + 0,15 g K).

Do celého objemu půdy bylo následně uměle vmícháno (spikováno) přesně definované množství Deloru 103 (150 mg na nádobu), což je olejovitá, technická směs nízkochlorovaných bifenyků. Z Deloru 103 jsme si k vyhodnocování určili pět hlavních kongenerů, které jsme identifikovali pomocí retenčních časů. Z PCB bylo studováno sedm indikátorových kongenerů a to kongener 28 (2,4,4'-trichlorbifenyk), 52 (2,2',5,5'-tetrachlor-1,1'-bifenyk), 101 (2,2',4,5,5'-pentachlor-1,1'-bifenyk), 118 (2,3',4,4',5-pentachlorbifenyk), 138 (2,2',3,4,4',5'-hexachlorbifenyk), 153 (2,2',4,4',5,5'-hexachlor-1,1'-bifenyk) a 180 (2,2',3,4,4',5,5'-heptachlorbifenyk). Takto kontaminované nádoby se zeminou byly osety semeny petržele, osázeny vegetačními částmi kořene křenu a semenáčky celeru nebo ponechány bez rostlin. V tabulce 4 schéma nádobového pokusu. 12. 05. 2008 došlo k založení pokusu (výsev petržele, sadba křenu a celeru) a odběru zemin k analýze. Petržel byla vyseta do deseti míst po špetkách, po třech rostlinách na nádobu u celeru a dva kusy kořene křenu na nádobu. Nádoby byly poté umístěny ve venkovním areálu, který je chráněn automaticky ovládanou střeškou. Po celou dobu experimentu byly zalévány demineralizovanou vodou a udržovány v bezplevelném stavu. 06. 05. 2008 byla zemina hnojena. 04. 06. 2008 musela být znovu zasetá petržel z důvodu nevzejití původního materiálu. 02. 07. 2008 byly vyhotoveny analýzy 1. odběru rostlinného materiálu celeru při jednocení. 02. 09. 2008 došlo k analýze 2. odběru celeru. 03. 09. 2008 analýza 1. odběru petržele a křenu. 01. 10. 2008 sklizeň celeru, 06. 10. 2008 sklizeň petržele a 08. 10. 2008 sklizeň křenu.

Tabulka 3: Agrochemická charakteristika půd

Lokalita	Typ zeminy	KVK (mmol.kg ⁻¹)	pH/KCl	POH (%)	C _{ox} (%)
Suchdol	černozem	255	7,4	3,8	2,0
Přerov nad Labem	fluvizem	89	4,5	1,2	0,7

KVK – kationová výměnná kapacita, POH – půdní organická hmota, C_{ox} – oxidovatelný uhlík

Tabulka 4: Schéma nádobového pokusu

Rostlina	Číslo nádob	Zemina	Kontaminace
Celer	1, 2, 3	SUCH	Kontrola
Celer	4, 5, 6	SUCH	Delor 103
Celer	7, 8, 9	SUCH	PCB
Celer	10, 11, 12	PNL	Kontrola
Celer	13, 14, 15	PNL	Delor 103
Celer	16, 17, 18	PNL	PCB
Petržel	19, 20	SUCH	Delor 103
Petržel	21, 22, 23	PNL	Delor 103
Křen	24, 25	SUCH	Delor 103
Křen	26, 27, 28	PNL	Delor 103
Bez rostlin	29	SUCH	Delor 103
Bez rostlin	30, 31	PNL	Delor 103

3.2 Příprava vzorků rostlin pro stanovení PCB

Po sklizni byly rostliny rozděleny na nadzemní biomasu a kořen. Poté byly omyty demineralizovanou vodou, aby došlo k odstranění přilnuté zeminy. Na obsah PCB byla analyzována nadzemní část rostlin a kořeny rostlin. Kořeny rostlin byly rozděleny vertikálně (pokožka-rhizodermis, primární kůra-dřeň a u petržele ještě navíc na střední válec). Jednotlivé části byly zváženy a rozděleny na malé části (pro jejich snadnější usušení), příslušně označeny a usušeny na vzduchu.

Po stanovení suché hmoty byly vzorky připraveny k dalšímu zpracování. Asi 3 g rostlinného materiálu byly extrahovány směsí aceton:hexan (v poměru 3:7) po dobu 15 minut v ultrazvuku a poté 1 hodinu třepány. Dále byl vzorek po jeho usazení rozmělněn pomocí homogenizátoru a zalit destilovanou vodou. Po rozdělení extraktu na část s acetonem rozpuštěným v destilované vodě a část s hexanem s PCB, byla tato část převedena pipetou do zkumavky. Do zkumavky byla přidána koncentrovaná H₂SO₄ a

vzorek byl ponechán v klidu. Přidání kyseliny sírové zajišťuje vyčištění extraktu. Vyčištěný extrakt byl poté převeden do vialek, které byly pevně uzavřeny kovovým těsněním s gumovým septem pomocí krimpovacích kleští, tak aby nedocházelo k odpařování.

3.3 Příprava vzorků zemin pro stanovení PCB

Z každé nádoby byl odebrán pomocí půdní sondy smíšený vzorek (ze tří různých míst v nádobě) do Petriho misek. Zemina byla poté ponechána několik dní v laboratoři k proschnutí. Asi 15 g suché zeminy bylo extrahováno 20 ml směsí aceton:hexan (v poměru 3:7). Směs aceton:hexan byla použita z toho důvodu, že Delor 103 je olej.

Takto připravený vzorek byl vložen do ultrazvuku na 15 minut a následně 1 hodinu třepán. Poté jsme přimíchali destilovanou vodu, aby došlo k rozpuštění acetonu. Po odstání bylo z baňky odebráno cca 1,5 ml extraktu a převedeno do vialek, které byly pevně uzavřeny kovovým těsněním s gumovým septem pomocí krimpovacích kleští, tak aby nedocházelo k odpařování.

3.4 Vlastní analýza PCB

Takto získané extrakty vzorků zemin a rostlin byly analyzovány na plynovém chromatografu s hmotnostní detekcí (GC/MSD, 6890 N/5975) firmy Agilent Technologies. Pro nástřik extraktů vzorků byla použita dávkovací věž (7683 B téže firmy). Nastříkával se 1 μ l extraktu v režimu splitless. Nosným plynem byl vysoce čistý (5.0) dusík. K analýze byl použit následující teplotní program: po 25°C.min⁻¹ z 60°C do 200°C, poté zůstává 8 minut na této teplotě stát; následuje po 2,5°C.min⁻¹ do 260°C a po 10°C.min⁻¹ do 290°C, kde zůstává na této teplotě stát po dobu 7,4 minut. To znamená, že přístroj po dobu 8 minut, respektive 7,4 minut měří dále, ale teplota zůstává konstantní. Ke kalibraci byly použity MIX 3 (Dr. Ehrenstorfer, Německo) a MIX 2 (Restek, USA). Kvantifikace byla provedena pomocí externí kalibrace za použití lineární regrese v rozsahu (5-200 ng.ml⁻¹). Pro korekci chyb byl použit vnitřní standard Quintozen (Analytika, Praha). Mez detekce byla stanovena u Deloru 103 na 30 μ g/kg sušiny a u jednotlivých kongenerů PCB na 5 μ g /kg sušiny.

Při zpracování dat a pro vytváření analytických reportů byl použit software MSD ChemStation od firmy Agilent Technologies. K matematicko-statistickému vyhodnocení výsledků byl použit program Excel (Microsoft, USA).

4. VÝSLEDKY A DISKUZE

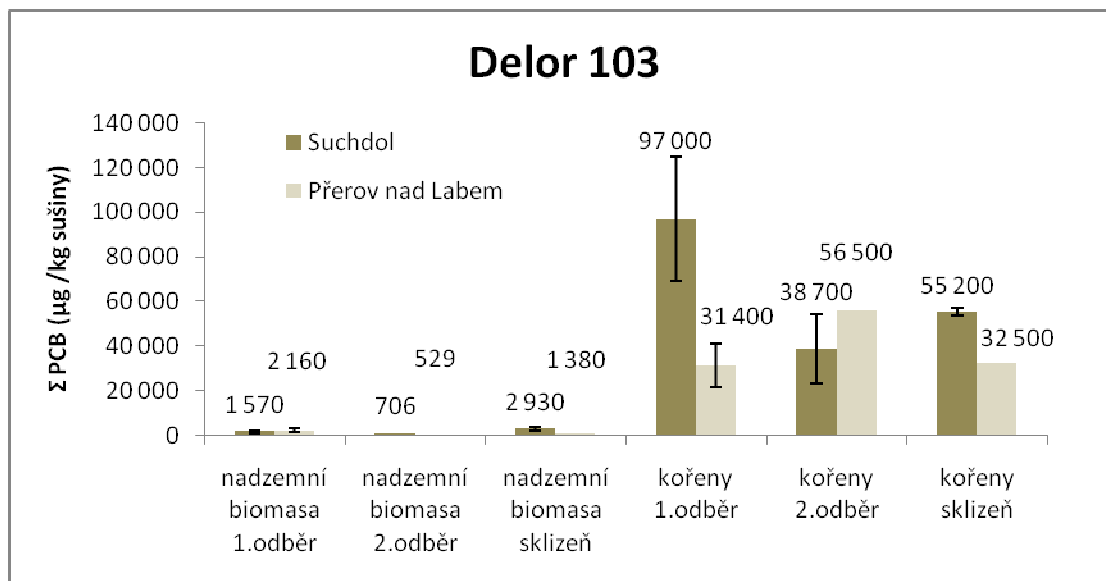
První část této práce se zabývá sledováním hromadění a distribuce PCB rostlinami celeru, petržele a křenu. Hromadění a distribuce PCB v rostlinách bylo sledováno na půdách z lokalit označovaných jako Suchdol a Přerov nad Labem. Charakteristiky obou půd jsou již dříve zmiňovány v kapitole Materiál a metody. Kapitoly jsou rozděleny podle jednotlivých zelenin. Výsledky sledování hromadění a distribuce PCB jsou vyhotoveny v grafech podle varianty PCB a Delor. Varianta PCB vyhodnocuje chování polychlorovaných bifenylyů na staré zátěži. Varianta Delor ukazuje chování Deloru 103, který je nejrozšířenějším zdrojem PCB. Chybové úsečky v grafu znázorňují směrodatné odchylky průměrných hodnot.

4.1 Výsledky sledování hromadění a distribuce PCB v celeru

4.1.1 Výsledky sledování hromadění PCB v celeru

Průměrné hodnoty obsahů sumy kongenerů PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny), které byly zjištěny při analýze nadzemní biomasy a kořenů během vegetace celeru znázorňuje (grafy 1 a 2). Na obou sledovaných půdách vykazuje hromadění PCB v nadzemní biomase a kořenech celeru stejný trend akumulace. Množství PCB v nadzemní biomase je mnohem menší než v kořenech. Z těchto výsledků lze předpokládat, že distribuce PCB do nadzemní biomasy celeru je velmi malá. PCB jsou tedy hlavně odebírány a akumulovány v kořenech. V kořenech celeru dochází k mnohonásobně (10-30x) vyšší akumulaci polychlorovaných bifenylyů, než je tomu u nadzemní biomasy. Tento fakt potvrzuje závěry mnoha dřívějších studií. Například Javorská et al., (2007) uvedli, že obsah sumy kongenerů vykazuje vyšší koncentraci v kořenech mrkve oproti nadzemní biomase nezávisle na variantě. Bacci and Gaggi (1985) zjistili, že v kořenech rostlin byly koncentrace PCB vysoké, ale translokace z kořenů některých rostlin do nadzemní biomasy probíhá jen zvolna nebo neprobíhá vůbec a zastavuje se v kořenové kůře. Zhang et al., (2005) popisují, že v souvislosti s distribucí nízkochlorovaných bifenylyů v různých částech rostlin bylo zjištěno, že tyto sloučeniny celer akumuluje nejvíce v kořenech a pak v listech.

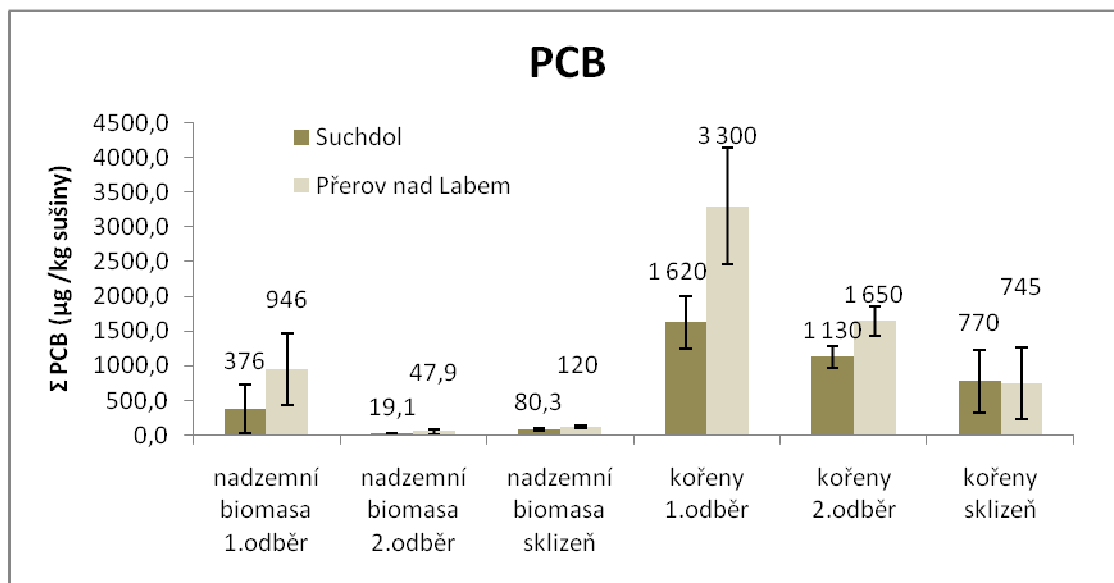
Graf 1: Průměrný obsah PCB během vegetace celeru (varianta Delor)



Co se týče akumulace PCB během vegetace celeru, bylo zjištěno, že nejvyšší obsahy sumy kongenerů se na suchdolské půdě v kořenech objevují u 1. odběru. Při 2. odběru množství PCB klesá a při sklizni je tato hodnota u celeru opět o něco vyšší, ale už nedosahuje hodnoty při 1. odběru. Tento trend se dá vysvětlit tím, že rostlina si po zasazení do půdy ještě nestihla vytvořit obranné mechanismy a po krátké době (1,5 měsíce), co byl proveden 1. odběr, tím pádem přijímá do svých tkání větší množství PCB. Při 2. odběru má již vytvořeny ochranné bariéry a zvětšuje svůj výnos. Při sklizni již není markantní rozdíl ve výnosu v porovnání s kontrolní variantou. Jiný trend během vegetace celeru pozorujeme u přerovské půdy. Při 1. odběru je obsah PCB nejnižší, poté roste a u sklizně klesá. Toto by bylo možné vysvětlit tím, že přerovská půda obsahuje menší množství organické hmoty a rostliny v této půdě neprosperují tak jako na suchdolské půdě. Jejich výnos je tedy nižší.

U varianty PCB je zaznamenáno chování polychlorovaných bifenylů na staré zátěži. Z grafu 2 je viditelné, že příjem PCB do rostlin stále probíhá.

Graf 2: Průměrný obsah PCB během vegetace celeru (varianta PCB)



U varianty PCB bylo také pozorováno, že oproti kořenům se do nadzemní biomasy celeru akumuluje menší množství PCB. Dále je patrné, že vyšší množství PCB bylo nalezeno v nadzemní biomase a kořenech celeru pěstovaného na půdě Přerov nad Labem (mimo kořenů při sklizni). Je to z toho důvodu, že tato půda obsahuje menší množství půdní organické hmoty a má nižší sorpční schopnost, a proto jsou jednotlivé kongenery PCB mobilnější a více přístupné rostlinám celeru.

Pokud se chceme zaměřit na hodnocení vlivu půdního typu při příjmu polychlorovaných bifenylyů do pletiv rostlin, je nutné prověřit především obsah organické hmoty v jednotlivých půdách, jelikož je to jeden z hlavních limitujících faktorů, které omezují tento proces. Půda ze Suchdola má půdní organické hmoty více (ukazatel POH), tím pádem i vyšší sorpční schopnost a má také vyšší kationtovou výměnnou kapacitu (tabulka 3). Tyto skutečnosti by měly vést k vůbec nejnižším obsahům PCB na těchto půdách v porovnání s půdou Přerov nad Labem, avšak toto pravidlo nebylo potvrzeno (viz graf 1). To může mít za vinu celá řada okolností. Jednou z nich může být přítomnost mikroorganismů v rhizosféře kořenů rostlin, které mohou produkcí svých exudátů a enzymů s nimi spojených zvyšovat mineralizaci organických látek (Chekol et al., 2004).

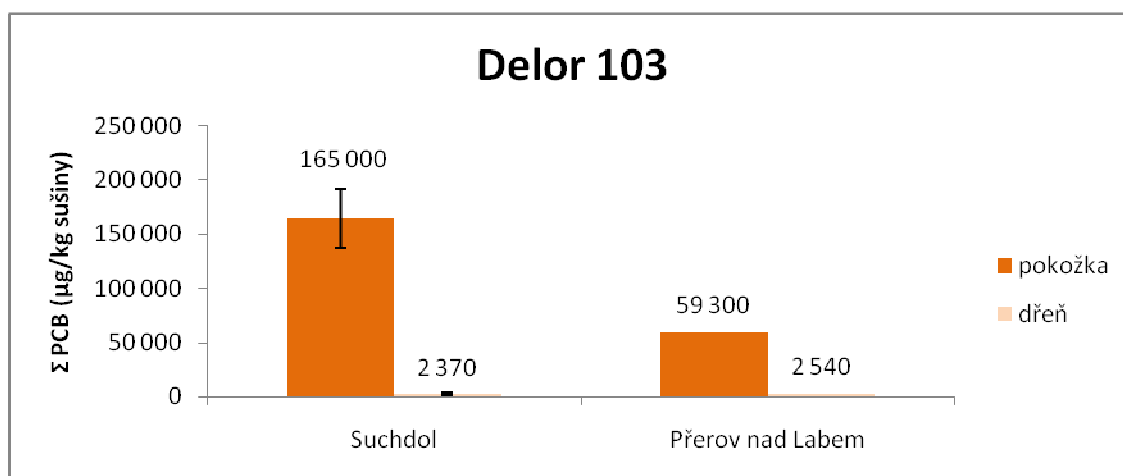
Podle Danieloviče et al. (2003) pH jednotlivých půd nehraje v procesu příjmu polychlorovaných bifenylyů do rostlinných pletiv významnou roli vzhledem k jejich hydrofobicitě.

4.1.2 Výsledky sledování distribuce PCB v rostlinách celeru

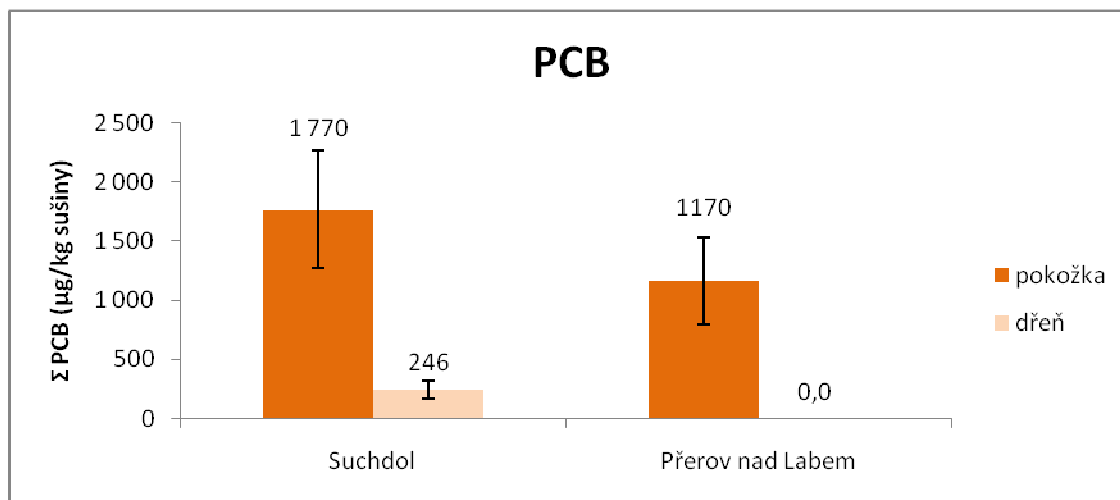
Z grafů 3 a 4 je naprosto evidentní, že průměrné množství sumy PCB v pokožce je mnohonásobně vyšší, než je tomu v dřeni. To souhlasí s prací (Danielovič et al., 2003), kde je popsáno, že nejnižší koncentrace PCB byly nalezeny v dřeni mrkve, naopak nejvyšší v pokožce. Ke stejným závěrům došli také Lowett et al., (1997) kdy koncentrace PCB v pokožce jablka byla znatelně vyšší, než v jeho dužnině.

Vyšší koncentrace PCB u vzorků pěstovaných na Suchdole mohla být zapříčiněna zbytky zeminy, která i přes důkladné omytí zůstala na povrchu pokožky. Podobný trend byl zaznamenán i v práci Bobovnikové et al. (2000). Mnohem menší koncentrace PCB byla nalezena v oloupaných bramborách $7,63 \text{ mg.kg}^{-1}$ čerstvé hmoty, v neoloupaných byla hladina koncentrace 1,8-2,5krát vyšší).

Graf 3 : Průměrné množství PCB v konzumních částech celeru (varianta Delor)



Graf 4 : Průměrné množství PCB v konzumních částech celeru (varianta PCB)



U varianty PCB byly zaznamenány nižší hodnoty sumy obsahů PCB. Je to zapříčiněno tím, že u varianty Delor se spajkovaly mnohem vyšší koncentrace. Je ale vidět, že i přes to, že jsou zde koncentrace nižší, stále dochází k akumulaci v rostlinných tkáních. A to nejvíce v pokožce rostlin. Na přerovské půdě se dokonce v dřeni našlo nulové množství PCB.

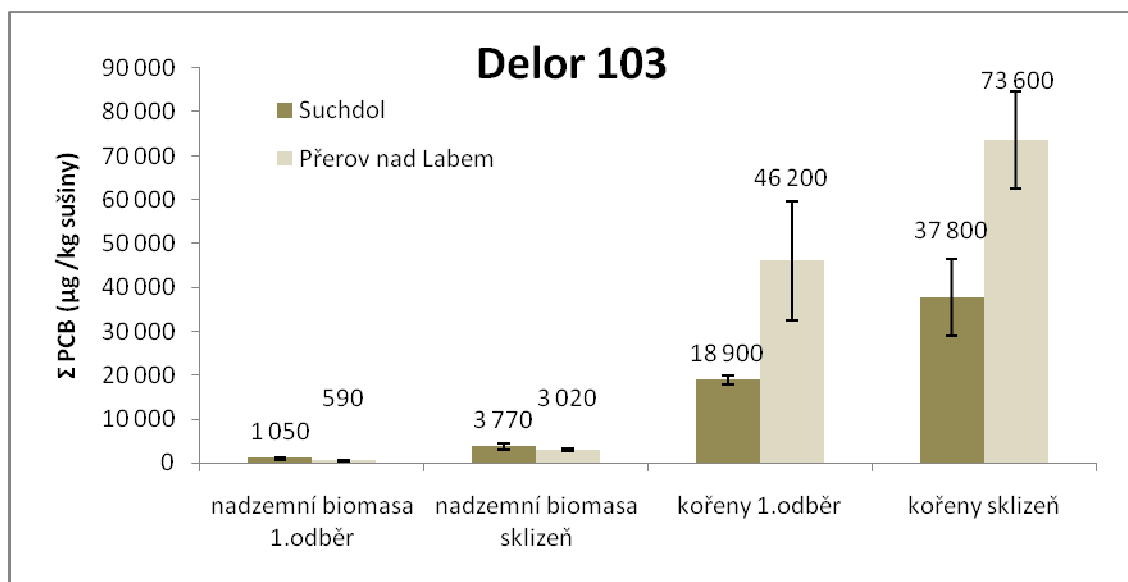
4.2 Výsledky sledování hromadění a distribuce PCB v petrželi

4.2.1 Výsledky sledování hromadění PCB v petrželi

Průměrné hodnoty obsahů sumy kongenerů PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny), které byly zjištěny při analýze nadzemní biomasy a kořenů během vegetace petržele znázorňuje (graf 5). Podobně jako u celeru se při hromadění PCB na obou sledovaných půdách u nadzemní biomasy a kořenů petržele dá pozorovat stejný trend akumulace. V kořenech petržele dochází k mnohonásobně vyšší akumulaci polychlorovaných bifenyly, než je tomu u nadzemní biomasy. Z těchto výsledků lze předpokládat, že distribuce PCB do nadzemní biomasy petržele je velmi malá. PCB jsou tedy hlavně odebírány a akumulovány v kořenech. Stejný trend ve své práci uvádí například Javorská et al. (2007), kde obsah sumy kongenerů vykazuje vyšší koncentraci v kořenech mrkve oproti nadzemní biomase nezávisle na variantě. Bacci and Gaggi (1985) zjistili, že v kořenech rostlin byly koncentrace PCB vysoké, ale translokace z kořenů některých rostlin do nadzemní biomasy probíhá jen zvolna nebo neprobíhá vůbec a zastavuje se v kořenové kůře.

Také se potvrdilo, že větší množství PCB se vyskytuje v biomase petržele na přerovské půdě (mimo nadzemní biomasy při 1. a 2. odběru).

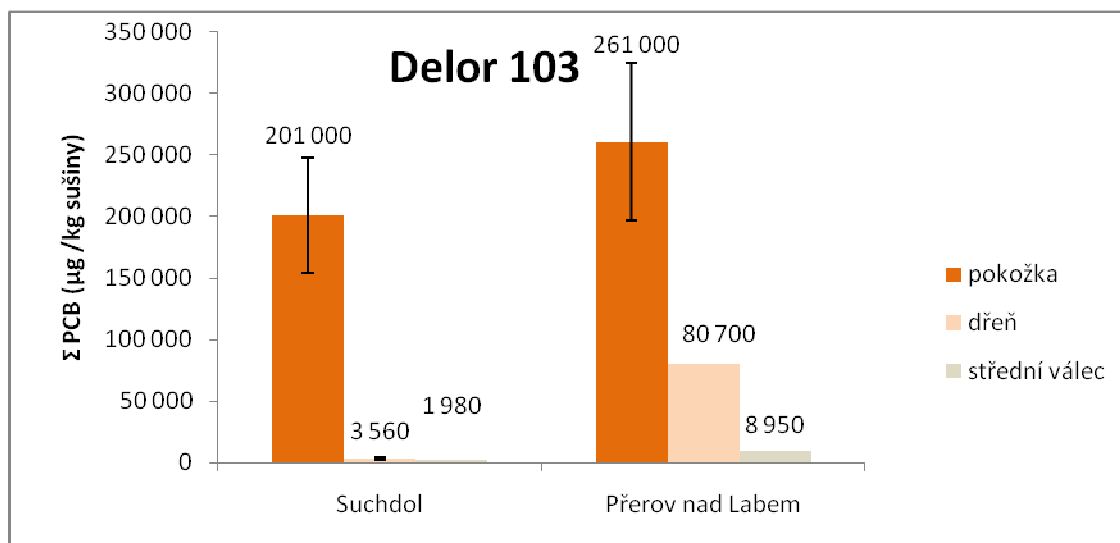
Graf 5: Průměrný obsah PCB během vegetace petržele (varianta Delor)



4.2.2 Výsledky sledování distribuce PCB v rostlinách petržele

Také u petržele se potvrdilo, že nejvyšší obsahy PCB jsou v pokožce kořenů rostlin. U rostlin petržele jsme ještě navíc sledovali distribuci do středního válce. Dle grafu 6 je patrné, že průnik PCB do středního válce probíhá ještě menším množstvím.

Graf 6: Průměrné množství PCB v konzumních částech petržele (varianta Delor)

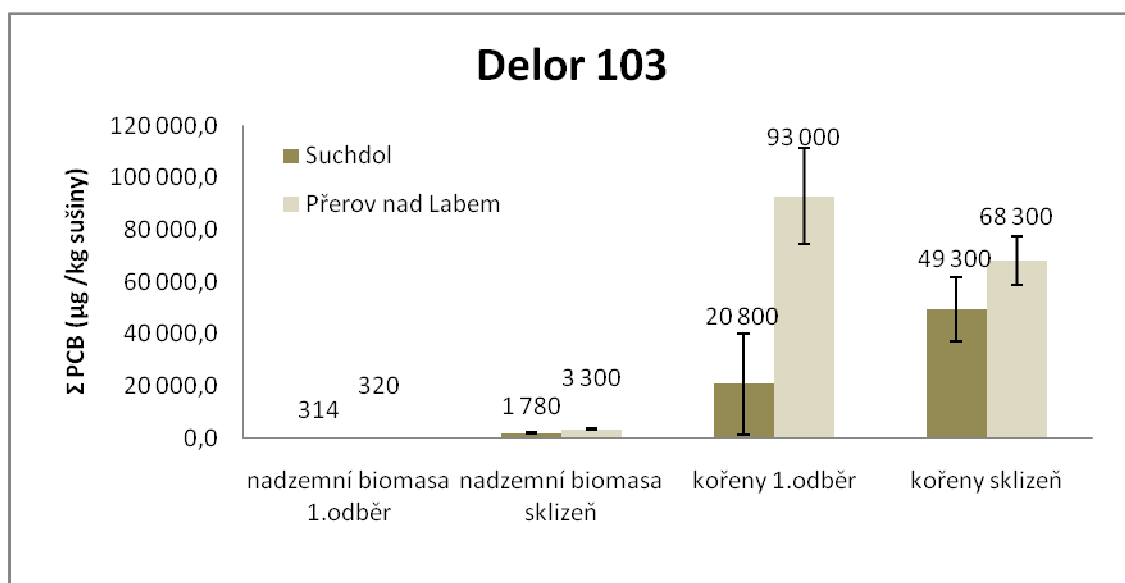


4.3 Výsledky sledování hromadění a distribuce PCB v křenu

4.3.1 Výsledky sledování hromadění PCB v křenu

Obdobně jako u celeru a petržele je možno i u křenu zaznamenat trend hromadění PCB v nadzemní biomase oproti kořenům (graf 7). I zde, bylo prokázáno, že PCB se mnohem více akumulují v kořenech, než je tomu u nadzemní biomasy. Také je viditelné, že nižší obsahy PCB se nacházejí u kořenů křenu, které byly pěstovány na zemině Suchdol. Je to dáno tím, že tato zemina obsahuje vyšší množství organických částic, na které se PCB snadno váží, a tím se stávají pro rostliny nepřístupné. Další trend v akumulaci, který je možno zaznamenat u křenu je, že množství PCB v kořenech se zvyšuje s dobou, kdy byly rostliny pěstovány (neplatí u kořenů na přerovské půdě).

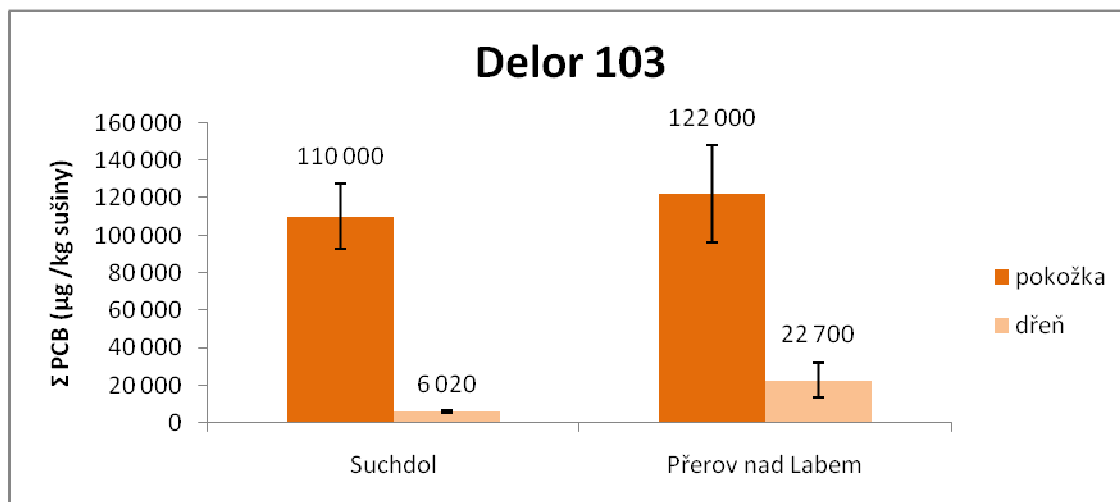
Graf 7: Průměrný obsah PCB během vegetace křenu (varianta Delor)



4.3.2 Výsledky sledování distribuce PCB v rostlinách křenu

U křenu (graf 8) je opět patrné, že se nejvyšší obsahy PCB objevují v pokožce rostlin.

Graf 8: Průměrné množství PCB v konzumních částech petržele (varianta Delor)



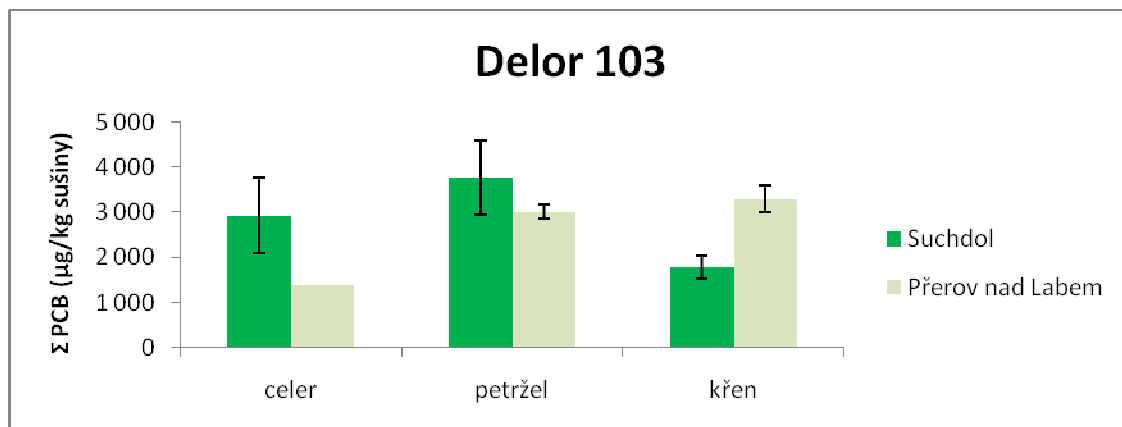
4.4 Porovnání výsledků hromadění a distribuce PCB v rostlinách celeru, petržele a křenu (varianta Delor)

4.4.1 Porovnání výsledků hromadění PCB v rostlinách celeru, petržele a křenu (varianta Delor)

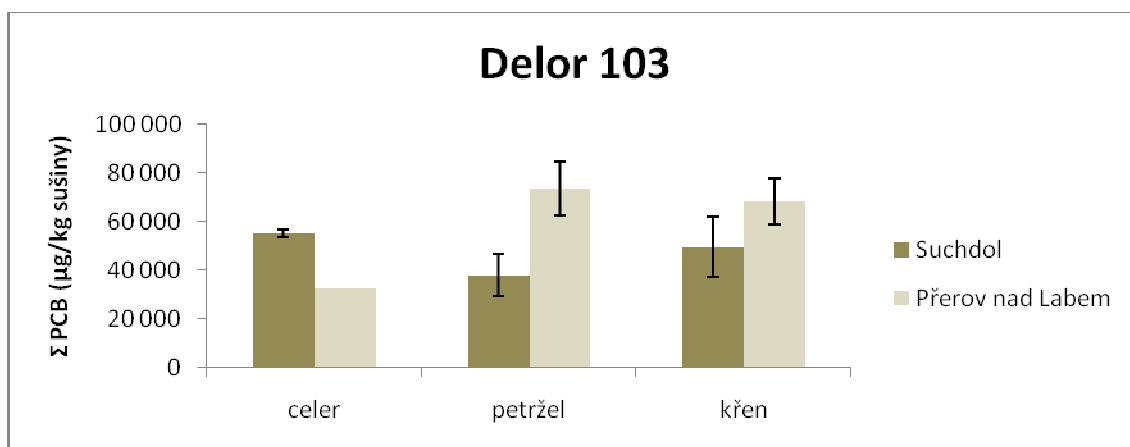
Při porovnávání zelenin dospějeme k závěru, že nejméně hromadil PCB ve své nadzemní biomase celer na přerovské půdě. Naopak nejvíce hromadila ve své nadzemní biomase petržel na suchdolské půdě.

Pokud se podíváme na hromadění PCB v kořenech zelenin, zjistíme, že k největší akumulaci docházelo u petržele na přerovské půdě. Naopak nejméně u celeru na přerovské půdě.

Graf 9: Průměrné množství PCB v nadzemní biomase celeru, petržele a křenu (varianta Delor)



Graf 10: Průměrné množství PCB v kořenech celeru, petržele a křenu (varianta Delor)



Bobovnikova et al. (2000) uvádějí, že příjem PCB je odlišný u různých druhů zeleniny. U listové zeleniny dochází k příjmu přes nadzemní biomasu z atmosférické depozice. U kořenové zeleniny naopak největší příjem PCB zajišťují kořeny. Tyto závěry potvrzuje i náš experiment s kořenovými zeleninami, ve kterém největší množství akumulovaných PCB pocházelo právě z kořenového příjmu z půdy.

4.4.2 Porovnání výsledků distribuce PCB v rostlinách celeru, petržele a křenu (varianta Delor)

Při porovnávání rostlin z hlediska distribuce PCB, je z tabulky 5 neomylně viditelné, že naprostá většina polychlorovaných bifenylnů se vyskytuje v pokožce rostlin u

všech sledovaných kořenových zelenin. Nejvíce hromadila PCB pokožka petržele na přerovské půdě a nejméně pokožka celeru na přerovské půdě. Dle Zohair et al., (2005) je toto zjištění důležité pro člověka. Jako konzument kořenových zelenin by se měl vyvarovat požívání jakýchkoliv neomytých a neoloupaných zelenin. Vysoké koncentrace PCB bývají právě v těch částech zeleniny, které vhodnou přípravou před konzumací (omytí a oloupaní), můžeme odstranit. Rovněž toto tvrzení je v souladu s našimi výsledky, ve kterých se ukázalo, že v pokožce kořenů zelenin je obsah PCB o mnoho vyšší než v ostatních částech těchto rostlin.

Tabulka 5: Průměrné množství PCB v konzumních částech celeru, petržele a křenu (varianta Delor)

		Σ PCB (µg /kg sušiny)					
		pokožka			dřeň		
Zeminy		celer	petržel	křen	celer	petržel	křen
SUCH	x	164 600	201 300	110 300	2 366	3 558	6 016
	s	27 640	46 900	17 370	1 099	1 115	674
PNL	x	59 320	260 900	122 100	2 537	80 670	22 660
	s	0	64 150	25 750	0	0	9 405

4. 5 Výnos

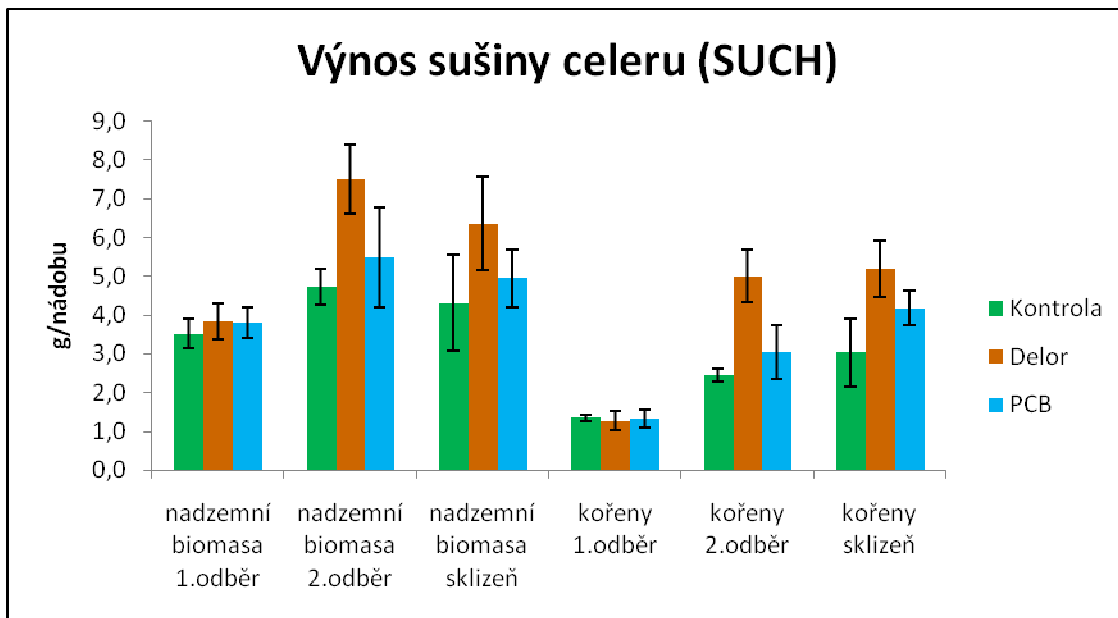
Kromě sledování obsahů PCB v rostlinných tkáních byl při tomto nádobovém pokusu také sledován výnos suché biomasy k posouzení toxicity PCB a k výpočtu odběru PCB rostlinami. Výnos je tedy druhou částí vyhodnocování výsledků této práce.

Z následujících grafů vyplývá, že přítomnost PCB ve vzorcích celeru nijak neovlivnila výnos suché biomasy v žádné době sklizně. Mimo kořenů v 1. odběru na suchdolské a v 1. odběru na přerovské půdě byl ve všech případech výnos dokonce vyšší u variant s PCB, než u kontrol. Výsledky výnosu při 2. odběru jsou na zemině Přerov nad Labem bohužel ovlivněny uhnitím bulvy celeru. Z grafů 11 a 12 je prokázáno, že vyšší výnosy celeru jsou na půdě Suchdol. Je to dáno tím, že obsahuje vyšší množství organické hmoty. Rostliny tím pádem lépe prosperují.

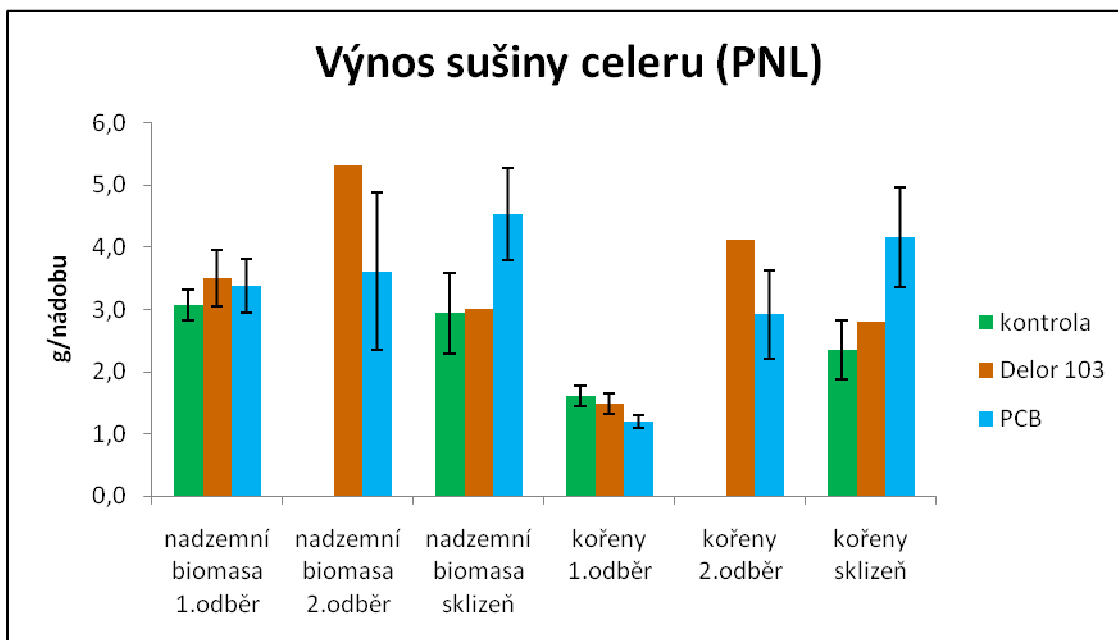
U varianty Delor je zajímavé, že i když byly koncentrace mnohonásobně vyšší než u varianty PCB, stále tato koncentrace není pro rostliny fyto toxická. Rostliny na této variantě (na suchdolské půdě) mají nejvyšší výnosy.

Velký rozdíl ve výnosu je patrný mezi rostlinami celeru, kde výnos sušiny dosahuje maximálně 8 g/nádobu a rostlinami křenu, kde výnos dosahuje až 18g/nádobu.

Graf 11: Průměrný výnos sušiny celeru [g/nádobu] na půdě Suchdol

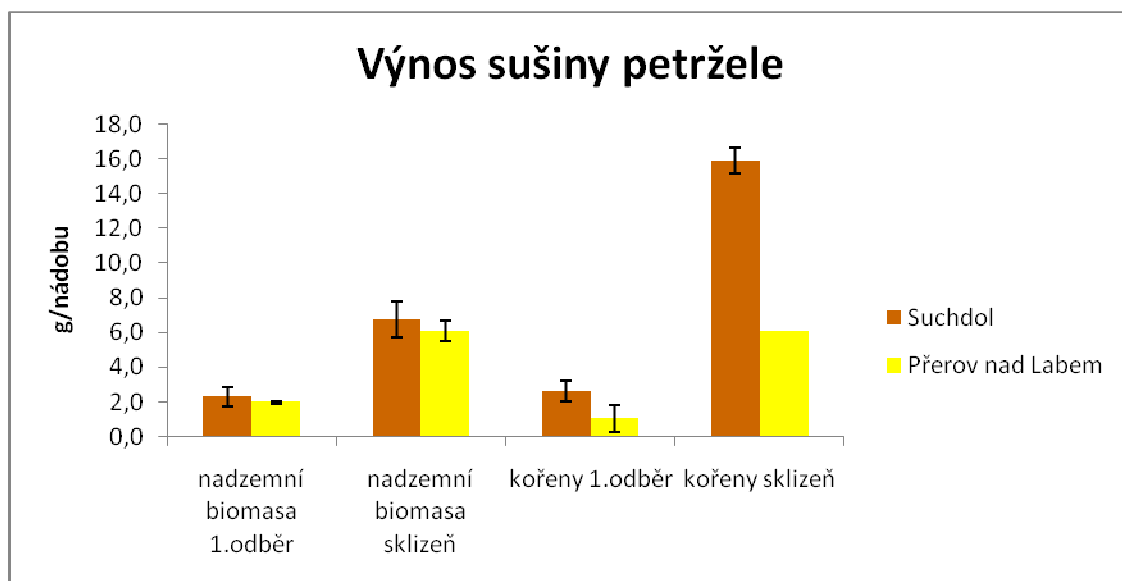


Graf 12: Průměrný výnos sušiny celeru [g/nádobu] na půdě Přerov nad Labem

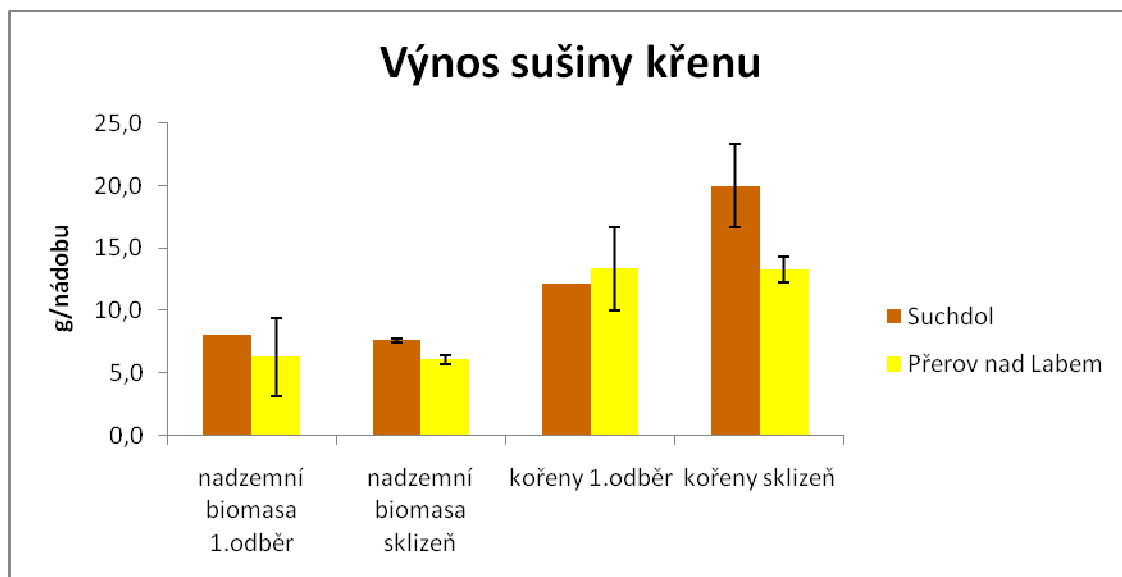


Při hodnocení výnosu sušiny petržele a křenu (grafy 13 a 14) lze říci, že rozdíly mezi zeminami jsou viditelné. Mimo kořenů křenu se potvrdilo, že na suchdolské půdě dochází k vyšším výnosům sušiny rostlin. Je to dáno vyšším obsahem půdní organické hmoty v půdě.

Graf 13: Průměrný výnos sušiny petržele [g/nádobu] na půdě Suchdol a Přerov nad Labem



Graf 14: Průměrný výnos sušiny křenu [g/nádobu] na půdě Suchdol a Přerov nad Labem



4. 6 Odběr PCB rostlinami

Poslední částí vyhodnocování výsledků této práce je odběr sumy PCB rostlinami a změny koncentrace PCB v půdě. Rozhodujícím kritériem vhodnosti rostliny pro fytoremediaci je její odběr prvků či sloučenin z půdy. Odběr vyjadřuje schopnost rostliny akumulovat danou látku ve svých tkáních. Výpočet odběru je dán součinem hmotnosti suché biomasy dané rostliny a obsahu dané látky v rostlině podle vzorce:

$$O = S * R$$

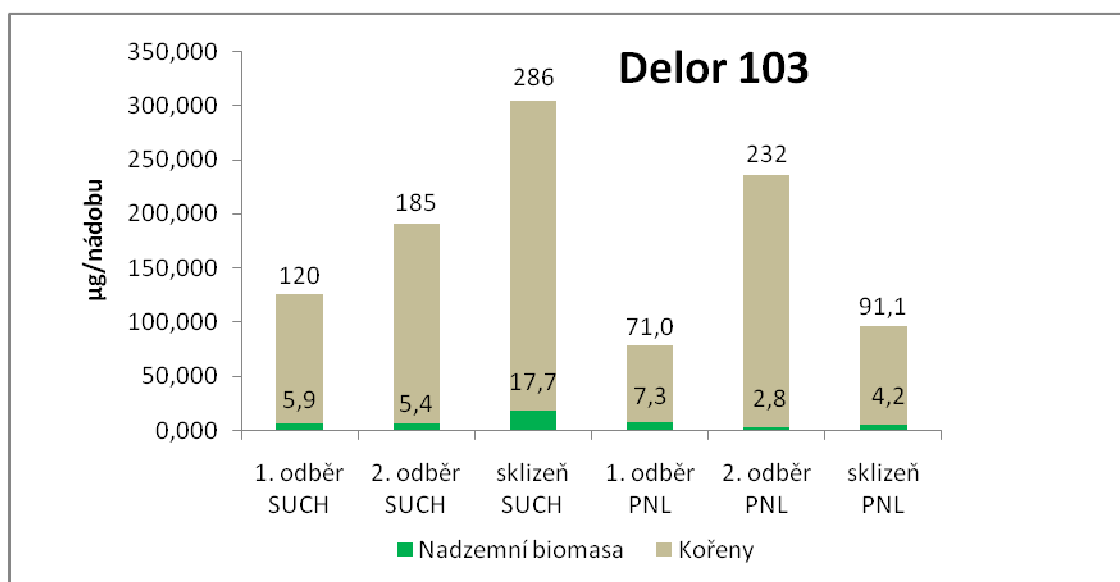
O – odběr PCB [μg]

S – hmotnost suché biomasy [kg]

R – obsah PCB v rostlině [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]

Při porovnání odběru PCB rostlinami celeru během vegetace je patrné z grafu 15, že odběr na suchdolské zemině roste s dobou vegetace, naopak na přerovské zemině je odběr při 1. odběru nejvyšší, při 2. odběru nejvyšší a klesá při sklizni. Nízký odběr při sklizni je dán tím, že zde byl nízký výnos sušiny celeru. Z tohoto výsledku bychom se tedy mohli domnívat jestli dávka 150 mg Deloru 103 na nádobu nebyla již pro celer fytotoxická.

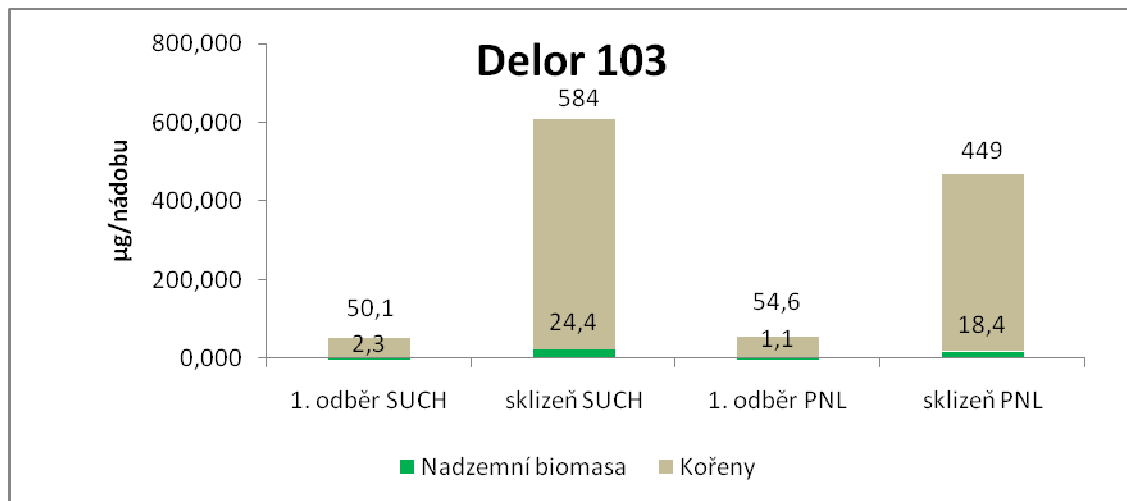
Graf 15: Porovnání odběrů PCB ($\mu\text{g}\cdot\text{nádoba}^{-1}$) rostlinami celeru během vegetace



Graf 16 dokládá, že se naprostá většina polychlorovaných bifenylnů akumuluje do rostlin petržele po delší době vegetace. Respektive při prvním odběru bylo v nadzemní

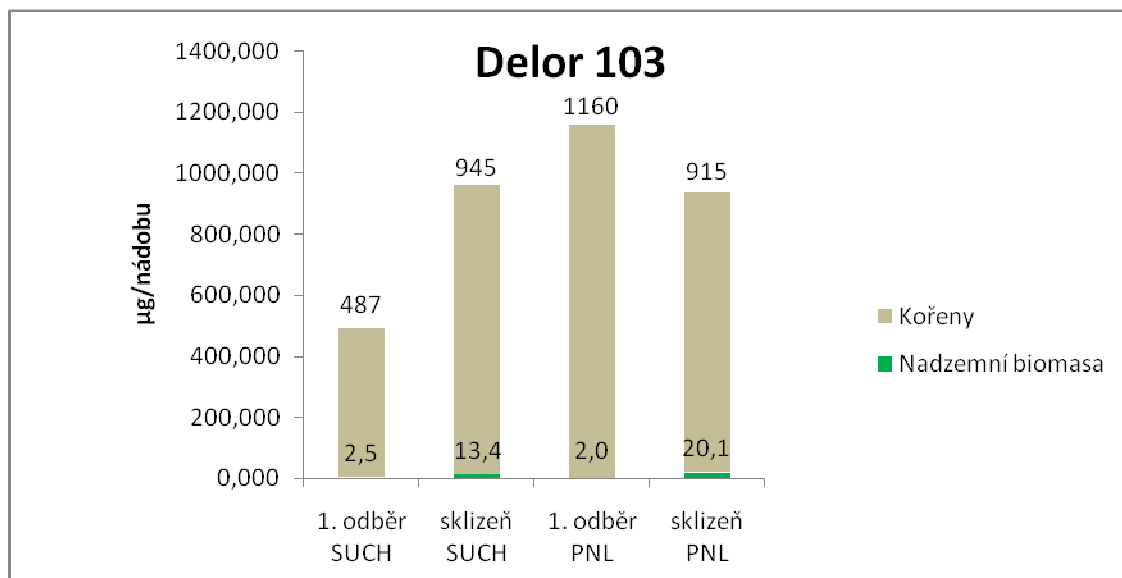
biomase i v kořenech petržele jen nepatrné množství PCB. Tento jev se potvrdil na obou sledovaných zeminách.

Graf 16: Porovnání odběrů PCB ($\mu\text{g}\cdot\text{nádoba}^{-1}$) rostlinami petržele během vegetace



Během vegetace křenu, jak je možno vidět v grafu 17, je nejvyšší odběr PCB při prvním odběru na přerovské půdě, naopak nejnižší při prvním odběru na suchdolské půdě.

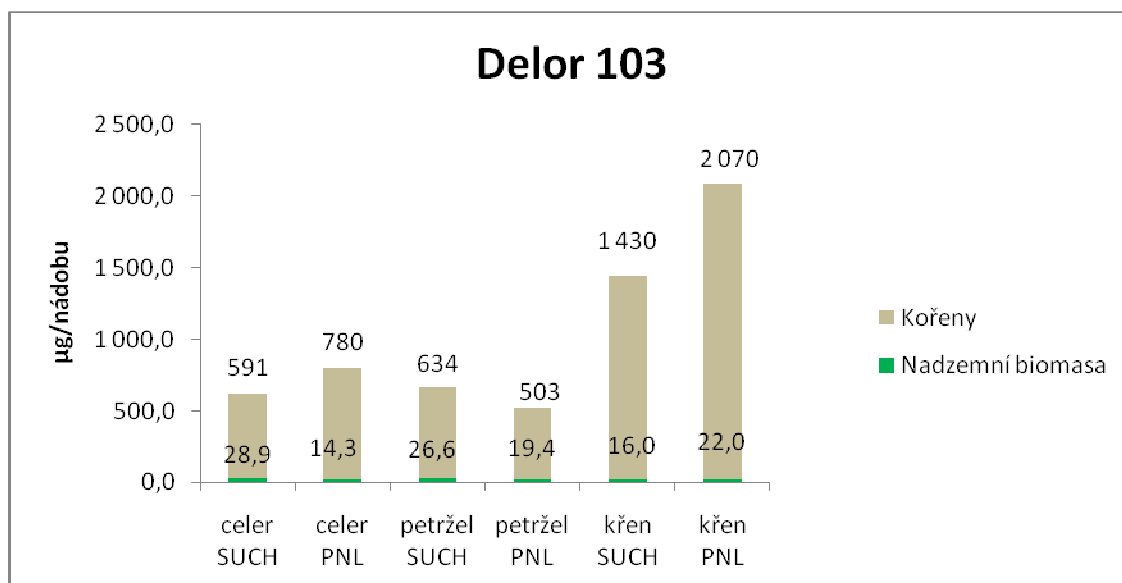
Graf 17: Porovnání odběrů PCB ($\mu\text{g}\cdot\text{nádoba}^{-1}$) rostlinami křenu během vegetace



Z grafu 18 je patrné, že nejvíce odebíraly PCB rostliny křenu, jak na suchdolské, tak na přerovské zemině. Naopak nejméně petržel na přerovské půdě. Je to zřejmě

zapříčiněno tím, že křen dosahuje vysokých hodnot výnosu sušiny. Dále je také velmi dobře vidět, že nadzemní biomasa rostlin se na odběrech PCB podílí jen velice malou měrou.

Graf 18: Porovnání odběrů PCB ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$) rostlinami celeru, petržele a křenu na suchdolské a přerovské půdě



4. 7 Změny koncentrace PCB v půdě

Následující tabulka 6 shrnuje výsledky týkající se odběru PCB rostlinami celeru, petržele a křenu. Rozdíl mezi hodnotami při založení a po sklizni vypovídá o úbytku PCB v zeminách. Vzhledem k tomu, že po výpočtu odběru v procentech - jakou měrou se rostliny podíleli na odčerpání PCB z půdy, vyšlo malé číslo, vyvstává otázka, jak se zbývající část PCB z půdy dostala. Faktorů jak se tak mohlo stát je několik a byly již zmíněny dříve. Jde především o možnou ztrátu způsobenou biodegradací mikroorganismy, dále pak přirozený rozpad či vymývání PCB z půdy, možná je také volatilizace do atmosféry (především u kongenerů 28 a 52). Např. Zeeb a kol. (2006) použili k překrytí zeminy s PCB parafilm, čímž se značně omezila možnost vytěkání PCB z půdy.

Nicméně nejméně se na odběru podílel celer. 1,3 % z celkového úbytku přerovské zemině. Nejvíce odebíral křen s 6,4 % z celkového úbytku na přerovské zemině.

Ani jedna rostlina se tím pádem nepřibližovala výsledku, kterého dosáhli (Kučerová a kol., 1991). Experiment byl prováděn s lilkem černým (*Solanum nigrum*) a

tabákem (*Nicotina tabacum*) v nádobách i na pokusném políčku. Po pěti měsících obsahovala kontaminovaná půda 70 % původní koncentrace PCB.

Tabulka 6: Úbytek PCB v půdě ve variantách s rostlinami a bez rostlin

Suchdol	Σ PCB celer	Σ PCB petržel	Σ PCB křen	Σ PCB bez rostlin
Množství PCB při založení ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$)	143 023	145 104	156 240	143 088
Množství PCB po sklizni ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$)	108 379	109 632	110 400	116 688
Rozdíl mezi založením a sklizní ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$)	34 644	35 472	45 800	26 400
Úbytek PCB v půdě (%)	24	25	29	19
Odběr ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$)	631	660	1 448	
Odběr (%)	1,8	1,9	3,2	
Přerov nad Labem	Σ PCB celer	Σ PCB petržel	Σ PCB křen	Σ PCB bez rostlin
Množství PCB při založení ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$)	153 845	136 368	140 880	142 224
Množství PCB po sklizni ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$)	123 403	121 728	108 096	131 808
Rozdíl mezi založením a sklizní ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$)	30 442	14 766	32 784	10 416
Úbytek PCB v půdě (%)	20	11	23	7,3
Odběr ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$)	402	523	2 093	
Odběr (%)	1,3	3,5	6,4	

Tabulka 6 ještě dále informuje o tom jaký je úbytek PCB v půdě ve variantách s rostlinami a bez rostlin. Na obou sledovaných půdách je patrné, že rostliny měli na úbytek PCB v půdě vliv. Na půdě Suchdol je rozdíl úbytku PCB ve variantě bez rostlin 19 % oproti variantě s křenem 29 %. Na půdě Přerov je úbytek PCB jen 7,3 % ve variantě bez rostlin oproti variantě s křenem 23 %. Tyto výsledky se shodují s prací Chekol et al., (2004), kteří popisují, že varianta s rostlinami vykázala 62 % schopnost biodegradace, naproti tomu varianta bez rostlin vykázala pouze 18 % schopnost biodegradace. Vyšší úroveň biodegradace nejspíše souvisela s biologickou aktivitou v blízkosti kořenů rostlin.

Tyto výsledky tedy naznačily, že by fytoremediace mohla být ekologicky šetrnou variantou dekontaminace půd znečištěných PCB.

5. ZÁVĚR

Ze zjištěných výsledků nádobového pokusu s rostlinami celeru, petržele a křenu, který měl za cíl sledovat vliv PCB na akumulaci a distribuci v rostlinách, lze formulovat následující poznatky.

- Všechny uvedené rostliny v sobě akumulují PCB. Množství akumulovaných PCB závisí na fyzikálních vlastnostech PCB, na vlastnostech půdy a na druhu rostliny.
- Bylo potvrzeno, že stále dochází k akumulaci PCB do tkání rostlin na staré zátěži a při nízké koncentraci.
- Přídavek 150 mg Deloru 103 na nádobu nemá zpravidla vliv na výnos biomasy u žádné z rostlin, na žádné z testovaných zemin. Tato koncentrace ještě stále není pro rostliny fytotoxická.
- Ve většině případů byl potvrzen rostoucí obsah PCB akumulovaných v kořenech rostlin s klesající sorpční schopností půdy, na které byly rostliny pěstovány.
- Největší množství PCB se hromadí v pokožce kořenů petržele na přerovské půdě $261 \pm 64 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. Ve dřeni dochází k mnohem menší akumulaci 80 mg.kg^{-1} sušiny a ve středním válci petržele bylo nalezeno ještě menší množství PCB cca 9 mg.kg^{-1} sušiny. V nadzemní biomase petržele se množství nahromaděných PCB pohybovalo ve výrazně nižších koncentracích $3 \pm 0,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny.
U celeru je množství PCB v pokožce $165 \pm 28 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. Ve dřeni $2,4 \pm 1 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. A v nadzemní biomase pak $2,9 \pm 0,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny.
U křenu jsou obsahy následující: v pokožce $122 \pm 25 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny, ve dřeni $23 \pm 9 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny a v nadzemní biomase $3,3 \pm 0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny.
Z výsledků analýz je zřejmé, že přijatá množství PCB do podzemní biomasy těchto kořenových zelenin je značná, což se stává závažným problémem v případě konzumace, protože polychlorované bifenylly jsou lipofilní povahy a dochází u nich tedy k hromadění zejména v tukové tkáni.
- Odběr PCB z půdy byl největší u rostlin křenu na přerovské půdě ($2,1 \text{ mg.nádoba}^{-1}$). Nejnižší odběr byl u rostlin celeru na přerovské půdě ($0,4 \text{ mg.nádoba}^{-1}$).
- V průběhu experimentu došlo k významnému poklesu obsahu sumy PCB ve variantách zemin, na kterých byly pěstovány rostliny. K nejvyššímu poklesu došlo

ve variantě u křenu na suchdolské půdě (29 %) a k nejnižšímu ve variantě bez rostlin na přerovské půdě (7,3 %).

- U variant s rostlinami bylo dále vypočítáno, z kolika procent se rostlina účastní odčerpání PCB z půdy. Nejvyšší podíl byl stanoven u křenu na přerovské půdě (6,4 %) a nejnižší u celeru na přerovské půdě (1,3 %).

Největší množství polychlorovaných bifenyků se hromadí v pokožce kořenové zeleniny. Při dodržování jednoduchých postupů při přípravě před konzumací (důkladné omytí a oloupání pokožky) by se nebezpečí poškození zdraví člověka výrazně snížilo.

Z rostlin použitých při našem nádobovém pokusu lze pro fytoextrakci jako nejvhodnější doporučit křen.

6. POUŽITÁ LITERATURA

ADRIANO D. C., BOLLAG J. M., FRANKENBERG Jr. W. T., SIMS R. C. (1999): Bioremediation of contaminated soils. *American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA*, 820 s.

BAIRD C. (2003): *Environmental Chemistry*. 2. vyd. New York: W. H. Freeman and Company. 557 s.

BOBOVNIKOVA Ts. I., ALEKSEEVA L. B., DIBTSEVA A. V., CHERNIK G. V., ORLINSKY D. B., PRIPUTINA I. V., PLESKACHEVSKAYA G. A. (2000): The influence of a capacitor plant in Serpukhov on vegetable contamination by polychlorinated biphenyls. *The Science of the Total Environment*, 246 (1), s. 51-60

CAMPANELLA B. F., BOCK C., SCHRODER P. (2001): Phytoremediation to increase the degradation of PCBs and PCDD/Fs - Potential and limitations. *Environmental Science & Pollution Research*, 9 (1), s. 73-85

CHEKOL T., VOUGH L. R., CHANEY R. L. (2004): Phytoremediation of polychlorinated-contaminated soils: the rhizosphere effect. *Environement International*, 30, s. 799-804

CONNELL D. W. (1997): Polychlorinated biphenyls (PCBs) and Dioxins. *Basic Concept of Environmental Chemistry*. New York. Lewis Publishers, s. 125-135

DANIELOVIČ I., TÓTH Š., MARCINČINOVÁ A., ŠNÁBEL V. (2003): Content of PCB substances in carrot root and its relations to selected soil factors. *Plant, Soil and Environment*, 49 (9), s. 387-393

DEMAIN A. L., DAVIES E. (1999): *Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology*, ASM Press, Washington, D.C., s. 666-681.

DEMNEROVÁ K. (2003): Bioremediační technologie k odstranění polychlorovaných bifenylyů ze životního prostředí. *Národní inventura perzistentních organických polutantů v České republice* [on-line]. Část VII Technologie a biotechnologie pro likvidaci POPs. RECETOX – TOCOEN & Associates. s. 75 - 82. Dostupné z <http://www.recetox.muni.cz/sources/unido_narodni_inventura_03/POPsINV_cast_VII_Kapitola_16_Biodegradace_PCBs.pdf>

DERCOVÁ K. (2002): Mikrobiálna degradácia polychlórovaných bifenylov. *Odpady*, 7-8, s. 9-10

DURFEE, R. L.; CONTOS, G.; WHITMORE, F. C.; BARDEN, J. D.; HACKMAN, E. E.; WESTIN, R. A. (1976) PCBs in the United States: Industrial Use and Environmental Distributions; EPA 560/6-76-005; *Environmental Protection Agency, Office of Toxic Substances*: Washington, DC

ERICKSON M. D. (1997): Analytical Chemistry of PCBs. 2. vyd. *Argonne National Laboratory*. Argonne, Illinois, 667 s.

HAIŠLOVÁ J., VÁVROVÁ M., (1991): Problematika PCB a dalších organických kontaminantů v zemědělství. *Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství*, Praha, 52 s.

HOLOUBEK I., RIEDER M., KUŽÍLEK V., ČUPR P. (2003): Sledované látky. In *Národní inventura perzistentních organických polutantů v České republice* [online]. Dostupné z: <<http://www.recetox.cz/projekty>>

KLABAN V. (1999) : Svět mikrobů / Malý mikrobiologický slovník /. Gaudeamus, Hradec Králové.

KUČEROVÁ P., MACKOVÁ M., MACEK T. (1999): Perspektivy fytoremediace při odstraňování organických polutantů a xenobiotik z životního prostředí. *Chemické listy* 93, s. 19-26

KUŽÍLEK V., RIEDER M., ČUPR P., HOLOUBEK I. (2003): Výskyt POPs ve složkách ŽP - Hydrosféra. In *Národní inventura perzistentních organických polutantů v České republice* [online]. Dostupné z: <<http://www.recetox.cz/projekty>>

LOBANOV J., HRISSIMOVA B., PETRLÍK J., HAVEL M., PŘIBYLOVÁ J., ECOBICHON G., VEILLERETTE F., GLUSZYNSKI P., KOSZTA M., VASILESCU M., SPERANSKAJA O., HEGYI L., IMŠENETSKAJA D. (2001): Perzistentní organické látky-jed v srdci Evropy II. *Evropská pracovní skupina IPEN* [online]. Dostupné z: <<http://bezjedu.arnika.org/downloads/POPstudie2-web.doc>>

LOWETT A. A., FOXALL C. D., CREASER C. S., CHEWE D. (1997): PCB and PCDD/DF congeners in locally grown fruit and vegetables samples in Wales and England. *Chemosphere*, 34 (5-7) s. 1421-1436

NEWMAN L. A., REYNOLDS CH. M. (2004): Phytoremediation of organic compounds. *Current Opinion in Biotechnology*, 15, s. 225-230

MACKOVA M., MACEK T., OCENASKOVA J., BURKHARD J., DEMNEROVA K., PAZLAROVA J. (1997): Biodegradation of PCBs by Plant Cells. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 39 (4), s. 317-325

MELICHERČÍK J., VELEK O. (1994): IPCS Hygienická směrnice č. 68 Polychlorované bifenyly (PCB) a polychlorované terfenyly (PCT). *Ústav jaderných informací*, ISSN 0862-5956, 38 s.

PILON-SMITS E. (2005): Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Biology*, 56, 15-39

PUNČOCHÁŘ M., PEKÁREK V., STACH J. (1997): Průmyslové zdroje halogenovaných organických polutantů a jejich potenciální prevence. *Konzultační a inženýrské služby*

v životním prostředí ve spolupráci s ministerstvem životního prostředí České republiky, Praha, ISBN 80-902186-5-2, 31 s.

SHAOGANG CH., MEILIN C., XIAOBAI X. (1999): Soil plant transfer of polychlorinated biphenyls in paddy fields. *The Science of the Total Environment*, 234, s. 119-126

TOTEVOVÁ S., PROUZA M., BRENNER V., DEMNEROVÁ K. (1997): Bakteriální degradace PCB. *Chemické listy*, 91 (10), 858 s.

TLUSTOŠ P., SZÁKOVÁ J., FISCHEROVÁ Z., ŠICHOROVÁ K. (2004): Remediací půd. Sborník z 10. mezinárodní konference „Racionální využití hnojiv“ zaměřené na problematiku rizikových látek v rostlinné výrobě konané v roce 2004, s. 69-78

VÁŇA V., (2005): Šetrná dekontaminace zemědělské půdy. *Úroda*, č. 2., s. 42-43

VÉBER K., KREDL F., (1991): Polychlorované bifenyly v biosféře, zejména ve vodách a některých vodních organismech. *Academia nakladatelství Československé akademie věd ve spolupráci s ministerstvem životního prostředí České republiky*, Praha, 57 s.

VRÁBLÍKOVÁ J., ŠKRLANT V. (1991): Problematika polychlorovaných bifenyly ve vztahu ke kontaminaci životního prostředí. *Ústav pro životní prostředí*, Ústí nad Labem, 48 s.

Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady

Vyhláška č. 384/2001 Sb., o nakládání s polychlorovanými bifenyly, polychlorovanými terfenyly, monometyltetrachlordifenylnmetanem, monometyldichlordifenylnmetanem, monometyldibromdifenylnmetanem a veškerými směsmi obsahujícími kteroukoliv z těchto látek v koncentraci větší než 50 mg/kg (o nakládání s PCB)

WANIA F., MACKAY D. (1996): Tracking the distribution of persistent organic pollutants. *Environment Science Technology*, 30, 390A-396A

ZEEB B., AMPHLETT J., RUTTER A., REIMER K. (2006): Potential for phytoremediation of polychlorinated biphenyl contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 8, s. 199-221

ZHANG J., ZHAO W., PAN J., QIU L., ZHU Y. (2005): Tissue-dependent distribution and accumulation of chlorobenzenes by vegetables in urban area. *Environment International* 31, s. 855-860.

ZOHAIR A., SALIM A. B., SOYIBO A. A., BECK A. J. (2005): Residues of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides in organically-farmed vegetables. *Chemosphere* 63 (4), s. 541-553.

7. PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Průměrný obsah sumy PCB v nadzemní biomase celeru ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zeminách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

Příloha 2 - Průměrný obsah sumy PCB v kořenech celeru ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zeminách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

Příloha 3 - Průměrný obsah sumy PCB v jednotlivých částech kořene celeru ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zeminách Suchdol a Přerov nad Labem při sklizni

Příloha 4 - Průměrný obsah sumy PCB v nadzemní biomase petržele ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zeminách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

Příloha 5 - Průměrný obsah sumy PCB v kořenech petržele ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zeminách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

Příloha 6 - Průměrný obsah sumy PCB v jednotlivých částech kořene petržele ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zeminách Suchdol a Přerov nad Labem při sklizni

Příloha 7 - Průměrný obsah sumy PCB v nadzemní biomase křenu ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zeminách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

Příloha 8 - Průměrný obsah sumy PCB v kořenech křenu ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zeminách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

Příloha 9 - Průměrný obsah sumy PCB v jednotlivých částech kořene křenu ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zeminách Suchdol a Přerov nad Labem při sklizni

Příloha 10 - Výnos čerstvé hmoty celeru (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

Příloha 11 - Výnos suché hmoty celeru (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

Příloha 12 – Výnos čerstvé hmoty petržele (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

Příloha 13 - Výnos suché hmoty petržele (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

Příloha 14 - Výnos čerstvé hmoty křenu (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

Příloha 15 – Výnos suché hmoty křenu (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

Příloha 16 - Odběr sumy PCB rostlinami celeru ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$) na suchdolské a přerovské zemině

Příloha 17 - Odběr sumy PCB rostlinami petržele ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$) na suchdolské a přerovské zemině

Příloha 18 - Odběr sumy PCB rostlinami křenu ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$) na suchdolské a přerovské zemině

Příloha 19 - Průměrný obsah sumy PCB ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) v zeminách při založení a po sklizni celeru

Příloha 20 - Průměrný obsah sumy PCB ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) v zeminách při založení a po sklizni petržele

Příloha 21 - Průměrný obsah sumy PCB ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) v zeminách při založení a po sklizni křenu

Příloha 22 - Průměrný obsah sumy PCB ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) v zeminách při založení a po sklizni bez rostlin

Příloha 1: Průměrný obsah sumy PCB v nadzemní biomase celeru ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) na zemínách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

1. odběr									
Zeminy		Suchdol				Přerov nad Labem			
	Varianty	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	918,0	288,0	211,0	52,00	1 623	326,15	684,4	49,40
	b	1 813	610,1	867,3	156,0	1 310	436,97	1 675	61,40
	c	1 977	<30	49,20	<5	3 546	593,42	479,7	139,1
	x	1 569	309,4	375,8	71,00	2 160	452,2	946,4	83,30
	s	465,4	237,3	353,7	63,09	988,9	109,6	522,0	39,76
2. odběr									
Zeminy		Suchdol				Přerov nad Labem			
	Varianty	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	516,9	<30	25,65	<5	528,6	-	0,00	-
	b	737,4	-	31,71	-	-	-	82,85	-
	c	862,2	<30	0,00	<5	-	-	60,98	-
	x	705,5	<30	19,12	<5	528,6	0,0	47,94	0,0
	s	142,7	0,0	13,75	0,0	0,0	0,0	35,06	0,0
Sklizeň									
Zeminy		Suchdol				Přerov nad Labem			
	Varianty	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	1 730	126,9	60,78	176,8	1 384	311,0	100,6	91,80
	b	3 617	283,5	108,5	44,50	-	-	138,9	-
	c	3 434	<30	71,58	<5	-	<30	-	<5
	x	2 927	146,8	80,29	75,43	1 384	170,5	119,7	48,40
	s	849,9	104,4	20,43	73,47	0,0	140,5	19,1	43,40

- rostlina nevzešla nebo uhnula (platí pro všechny tabulky, kde se tento znak vyskytuje)

Příloha 2: Průměrný obsah sumy PCB v kořenech celeru ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) na zeminách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

1. odběr									
Zeminy		Suchdol				Přerov nad Labem			
	Varianty	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	63 070	453,8	1 658	81,50	44 480	366,2	2 777	138,8
	b	96 350	728,1	2 061	137,8	28 450	417,3	2 632	60,49
	c	131 500	350,5	1 145	65,50	21 300	337,4	4 495	<5
	x	96 970	510,8	1 621	94,93	31 410	707,0	3 301	99,7
	s	27 940	159,3	374,8	31,01	9 694	33,04	846,2	39,17
2. odběr									
Zeminy		Suchdol				Přerov nad Labem			
	Varianty	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	19 600	2 571	1 324	489,2	56 470	-	1 843	-
	b	57 700	-	1 120	-	-	-	1 347	-
	c	38 650	1 411	938,7	226,4	-	-	1 745	-
	x	38 650	1 991	1 127	357,8	56 470	0	1 645	0
	s	15 550	580,2	157,4	131,4	0,0	0,0	214,4	0,0
Sklizeň									
Zeminy		Suchdol				Přerov nad Labem			
	Varianty	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	55 150	2 504	393,5	69,97	32 490	1 460	1 224	181,0
	b	57 290	1 027	1 410	391,1	-	-	1 266	-
	c	53 010	1 359	506,8	203,8	-	3 104	-	215,4
	x	55 150	1 631	769,9	221,6	32 490	2 283	1 225	198,2
	s	1 747	632,6	454,6	131,7	0	822,3	20,86	17,23

Příloha 3: Průměrný obsah sumy PCB v jednotlivých částech kořene celeru ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) na zeminách Suchdol a Přerov nad Labem při sklizni

Sklizeň-pokožka									
Zeminy		Suchdol				Přerov nad Labem			
	Varianty	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	164 600	θ	2 257	θ	59 320	θ	800,1	θ
	b	198 500	θ	1 958	θ	-	θ	1 537	θ
	c	130 800	θ	1 084	θ	-	θ	-	θ
	x	164 600	0	1 766	0	59 320	0	1169	264 700
	s	27 640	0	497,4	0	0,0	0	368,5	24 600
Sklizeň-dřeň									
Zeminy		Suchdol				Přerov nad Labem			
	Varianty	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	1 577	θ	144,0	θ	2 537	θ	0,0	θ
	b	1 599	θ	283,5	θ	-	θ	0,0	θ
	c	3 920	θ	309,2	θ	-	θ	-	θ
	x	2 366	0	245,6	0	2 537	0	0,0	0
	s	1 099	0	72,62	0	0,0	0	0,0	0

θ – tato varianta nebyla stanovována (platí pro všechny tabulky, kde se tento znak vyskytuje)

Příloha 4: Průměrný obsah sumy PCB v nadzemní biomase petržele ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) na zemínách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

		1. odběr		Sklizeň	
Zeminy		Suchdol	Přerov/Labem	Suchdol	Přerov/Labem
	Varianty	Delor 103	Delor 103	Delor 103	Delor 103
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	733,8	4 597	705,2	3 030
	b	1 365	2 942	589,7	3 208
	c	xxx	xxx	473,9	2 823
	x	1 050	3 769	589,6	3 021
	s	315,7	827,5	94,43	157,4

xxx - tato varianta nebyla vůbec založena (platí pro všechny tabulky, kde se tento znak vyskytuje)

Příloha 5: Průměrný obsah sumy PCB v kořenech petržele ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) na zemínách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

		1. odběr		Sklizeň	
Zeminy		Suchdol	Přerov/Labem	Suchdol	Přerov/Labem
	Varianty	Delor 103	Delor 103	Delor 103	Delor 103
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	19 890	48 940	46 430	70 960
	b	17 910	61 190	29 130	88 350
	c	xxx	28 340	xxx	61 570
	x	18 900	46 160	37 780	73 630
	s	990,1	13 560	8 650	11 090

Příloha 6: Průměrný obsah sumy PCB v jednotlivých částech kořene petržele ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) na zemínách Suchdol a Přerov nad Labem při sklizni

		Sklizeň-pokožka		Sklizeň-dřeň		Sklizeň-válec	
Zeminy		Suchdol	Přerov/Labem	Suchdol	Přerov/Labem	Suchdol	Přerov/Labem
	Varianty	Delor 103	Delor 103	Delor 103	Delor 103	Delor 103	Delor 103
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	248 200	315 300	2 443	80 670	2 114	8 954
	b	154 400	296 500	4 673	-	1 847	-
	c	xxx	170 800	xxx	-	xxx	-
	x	201 300	260 900	3 558	80 670	1 980	8 954
	s	46 900	64 150	1 115	0	133,6	0

Příloha 7: Průměrný obsah sumy PCB v nadzemní biomase křenu ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zemínách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

		1. odběr		Sklizeň	
Zeminy		Suchdol	Přerov/Labem	Suchdol	Přerov/Labem
	Varianty	Delor 103	Delor 103	Delor 103	Delor 103
Σ PCB ($\mu\text{g/kg}$ sušiny)	a	314,2	345,8	2 027	3 469
	b	-	322,2	1 530	3 549
	c	xxx	293,0	xxx	2 868
	x	314,2	320,4	1 779	3 295
	s	0	21,58	248,6	303,9

Příloha 8: Průměrný obsah sumy PCB v kořenech křenu ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zemínách Suchdol a Přerov nad Labem v časovém sledu

		1. odběr		Sklizeň	
Zeminy		Suchdol	Přerov/Labem	Suchdol	Přerov/Labem
	Varianty	Delor 103	Delor 103	Delor 103	Delor 103
Σ PCB ($\mu\text{g/kg}$ sušiny)	a	40 150	77 550	61 720	56 070
	b	1 365	119 100	36 930	70 120
	c	xxx	82 380	xxx	78 590
	x	20 760	93 010	49 330	68 260
	s	19 390	18 550	12 400	9 287

Příloha 9: Průměrný obsah sumy PCB v jednotlivých částech kořene křenu ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) na zemínách Suchdol a Přerov nad Labem při sklizni

		Sklizeň-pokožka		Sklizeň-dřeň	
Zeminy		Suchdol	Přerov/Labem	Suchdol	Přerov/Labem
	Varianty	Delor 103	Delor 103	Delor 103	Delor 103
Σ PCB ($\mu\text{g/kg}$ sušiny)	a	92 970	91 280	6 690	13 520
	b	127 700	154 300	5 343	35 600
	c	xxx	120 800	xxx	18 870
	x	110 300	122 100	6 016	22 660
	s	17 370	25 750	673,7	9 405

Příloha 10: Výnos čerstvé hmoty celeru (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

		Výnos čerstvé biomasy					
	č. nádob	Nadzemní biomasa 1. odběr	Nadzemní biomasa 2. odběr	Nadzemní biomasa sklizeň	Kořeny 1. odběr	Kořeny 2. odběr	Kořeny sklizeň
(SUCH) kontrola	1	21,1	20,8	16,4	10,4	15,4	17,6
	2	21,7	x	32,5	10,3	x	31,7
	3	14,8	20,0	20,3	9,3	14,2	21,9
	x	19,2	20,4	23,1	10,0	14,8	23,7
	s	3,1	0,4	6,9	0,5	0,6	5,9
(SUCH) Delor 103	4	25,2	30,7	29,7	12,5	28,3	48,1
	5	18,6	21,3	20,7	9,5	27,8	22,8
	6	22,7	30,3	26,7	13,0	21,8	28,9
	x	22,2	27,4	25,7	11,7	26,0	33,3
	s	2,7	4,3	3,7	1,6	3,0	10,8
(SUCH) PCB	7	21,4	22,9	25,0	6,8	13,9	31,6
	8	23,6	26,1	25,0	9,3	22,2	21,8
	9	19,4	19,4	25,5	12,1	17,0	22,8
	x	21,5	22,8	25,2	9,4	17,7	25,4
	s	1,7	2,7	0,2	2,2	3,4	4,4
(PNL) Kontrola	10	18,6	x	15,6	7,2	x	24,6
	11	19,6	x	x	8,1	x	x
	12	19,1	x	13,5	9,6	x	21,2
	x	19,1	0,0	14,6	8,3	0,0	22,9
	s	0,4	0,0	1,1	1,0	0,0	1,7
(PNL) Delor 103	13	20,8	25,8	15,0	5,6	24,6	11,0
	14	26,4	x	x	7,8	x	x
	15	20,7	x	x	6,2	x	x
	x	22,6	25,8	15,0	6,5	24,6	11,0
	s	2,7	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0
(PNL) PCB	16	20,8	11,7	22,5	8,1	15,7	21,8
	17	26,3	23,7	28,6	12,7	24,7	39,9
	18	20,9	16,4	x	7,2	12,4	x
	x	22,7	17,3	25,6	9,3	17,6	30,9
	s	2,6	4,9	3,1	2,4	5,2	9,1

Příloha 11: Výnos suché hmoty celeru (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

		Výnos suché biomasy					
	č. nádob	Nadzemní biomasa 1. odběr	Nadzemní biomasa 2. odběr	Nadzemní biomasa sklizeň	Kořeny 1. odběr	Kořeny 2. odběr	Kořeny sklizeň
(SUCH) kontrola	1	3,8	5,2	3,4	1,4	2,6	2,2
	2	3,8	x	6,1	1,3	x	4,2
	3	3,0	4,3	3,5	1,3	2,3	2,6
	x	3,5	4,7	4,3	1,3	2,5	3,0
	s	0,4	0,5	1,2	0,1	0,2	0,9
	%	18,3	23,2	18,7	13,4	16,6	12,8
(SUCH) Delor 103	4	4,3	7,3	7,9	1,5	5,9	6,0
	5	3,2	6,5	4,9	0,9	4,6	4,2
	6	4,0	8,7	6,3	1,3	4,4	5,4
	x	3,8	7,5	6,4	1,3	5,0	5,2
	s	0,5	0,9	1,2	0,2	0,7	0,7
	%	17,3	27,4	24,8	10,8	19,3	15,6
(SUCH) PCB	7	3,9	6,2	4,0	1,5	2,2	4,0
	8	4,2	6,5	5,8	1,5	3,9	3,7
	9	3,3	3,7	5,0	1,0	3,0	4,8
	x	3,8	5,5	4,9	1,3	3,0	4,2
	s	0,4	1,3	0,7	0,2	0,7	0,5
	%	17,7	24,0	19,7	14,0	17,2	16,4
(PNL) Kontrola	10	3,0	x	3,6	1,6	x	2,8
	11	3,4	x	x	1,4	x	x
	12	2,8	x	2,3	1,8	x	1,9
	x	3,1	0,0	2,9	1,6	0,0	2,3
	s	0,2	0,0	0,7	0,2	0,0	0,5
	%	16,0	0,0	20,2	19,5	0,0	10,3
(PNL) Delor 103	13	3,2	5,3	3,0	1,6	4,1	2,8
	14	4,1	x	x	1,6	x	x
	15	3,1	x	x	1,2	x	x
	x	3,5	5,3	3,0	1,5	4,1	2,8
	s	0,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
	%	15,5	20,6	20,1	22,7	16,7	25,5
(PNL) PCB	16	3,2	2,2	3,8	1,1	2,5	3,4
	17	4,0	5,3	5,3	1,3	3,9	5,0
	18	2,9	3,4	x	1,2	2,4	x
	x	3,4	3,6	4,5	1,2	2,9	4,2
	s	0,4	1,3	0,7	0,1	0,7	0,8
	%	14,9	21,0	17,7	12,8	16,6	13,5

Příloha 12: Výnos čerstvé hmoty petržele (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

		Výnos čerstvé biomasy					
	č. nádob	Nadzemní biomasa 1. odběr	Nadzemní biomasa 2. odběr	Nadzemní biomasa sklizeň	Kořeny 1. odběr	Kořeny 2. odběr	Kořeny sklizeň
(SUCH) Delor 103	19	xxx	9,2	21,5	xxx	8,9	51,9
	20	xxx	6,5	33,9	xxx	6,4	71,8
	x	xxx	7,9	27,7	xxx	7,7	61,9
	s	xxx	1,4	6,2	xxx	1,3	10,0
(PNL) Delor 103	21	xxx	4,0	31,2	xxx	1,4	33,0
	22	xxx	9,6	20,7	xxx	5,6	30,3
	23	xxx	6,8	28,3	xxx	1,7	23,6
	x	xxx	6,8	26,7	xxx	2,9	29,0
	s	xxx	2,3	4,4	xxx	1,9	4,0

Příloha 13: Výnos suché hmoty petržele (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

		Výnos suché biomasy					
	č. nádob	Nadzemní biomasa 1. odběr	Nadzemní biomasa 2. odběr	Nadzemní biomasa sklizeň	Kořeny 1. odběr	Kořeny 2. odběr	Kořeny sklizeň
(SUCH) Delor 103	19	xxx	2,7	5,4	xxx	3,1	13,9
	20	xxx	1,9	8,1	xxx	2,1	18,0
	x	xxx	2,3	6,8	xxx	2,6	15,9
	s	xxx	0,4	1,4	xxx	0,5	2,1
	%	xxx	29,4	24,4	xxx	34,3	25,7
(PNL) Delor 103	21	xxx	1,3	7,3	xxx	0,6	7,1
	22	xxx	2,7	4,8	xxx	1,9	5,8
	23	xxx	2,0	6,2	xxx	0,7	5,3
	x	xxx	2,0	6,1	xxx	1,1	6,1
	s	xxx	0,6	1,0	xxx	0,6	0,8
	%	xxx	29,0	22,8	xxx	36,3	21,0

Příloha 14: Výnos čerstvé hmoty křenu (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

		Výnos čerstvé biomasy					
	č. nádob	Nadzemní biomasa 1. odběr	Nadzemní biomasa 2. odběr	Nadzemní biomasa sklizeň	Kořeny 1. odběr	Kořeny 2. odběr	Kořeny sklizeň
(SUCH) Delor 103	24	xxx	21,3	17,3	xxx	26,7	39,3
	25	xxx	-	13,9	xxx	-	64,1
	x	xxx	21,3	15,6	xxx	26,7	51,7
	s	xxx	0,0	1,7	xxx	0,0	12,4
(PNL) Delor 103	26	xxx	25,8	10,0	xxx	39,7	31,4
	27	xxx	14,0	11,2	xxx	20,4	31,9
	28	xxx	16,4	13,9	xxx	35,0	37,3
	x	xxx	18,7	11,7	xxx	31,7	33,5
	s	xxx	5,1	1,6	xxx	8,2	2,7

Příloha 15: Výnos suché hmoty křenu (g) na půdě Suchdol a Přerov nad Labem

		Výnos suché biomasy					
	č. nádob	Nadzemní biomasa 1. odběr	Nadzemní biomasa 2. odběr	Nadzemní biomasa sklizeň	Kořeny 1. odběr	Kořeny 2. odběr	Kořeny sklizeň
(SUCH) Delor 103	24	xxx	8,0	7,4	xxx	12,1	16,7
	25	xxx	-	7,7	xxx	-	23,3
	x	xxx	8,0	7,6	xxx	12,1	20,0
	s	xxx	0,0	0,2	xxx	0,0	3,3
	%	xxx	35,4	48,5	xxx	45,4	38,7
(PNL) Delor 103	26	xxx	7,7	6,0	xxx	16,7	12,5
	27	xxx	4,6	6,9	xxx	6,9	11,8
	28	xxx	6,4	5,2	xxx	16,4	15,5
	x	xxx	6,3	6,0	xxx	13,3	13,3
	s	xxx	1,3	0,7	xxx	4,5	1,6
	%	xxx	33,4	51,6	xxx	42,1	39,5

Příloha 16: Odběr sumy PCB rostlinami celeru ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$) na suchdolské a přerovské zemině

		Odběr					
	č. nádob	Nadzemní biomasa 1. odběr	Nadzemní biomasa 2. odběr	Nadzemní biomasa sklizeň	Kořeny 1. odběr	Kořeny 2. odběr	Kořeny sklizeň
(SUCH) Delor 103	4	4,0	3,8	13,6	97,4	116,5	329,1
	5	5,8	4,8	17,8	91,1	267,2	241,4
	6	7,8	7,5	21,7	171,2	171,4	287,2
	x	5,9	5,4	17,7	119,9	185,0	285,9
	s	1,6	1,6	3,3	36,4	62,3	35,8
(SUCH) PCB	7	0,8	0,2	0,2	2,4	2,9	1,6
	8	3,7	0,2	0,6	3,1	4,4	5,2
	9	0,2	0,0	0,4	1,2	2,8	2,4
	x	1,5	0,1	0,4	2,2	3,4	3,1
	s	1,5	0,1	0,2	0,8	0,7	1,6
(PNL) Delor 103	13	5,3	2,8	4,2	71,0	232,3	91,1
	14	5,4	-	-	45,6	-	-
	15	11,1	-	-	26,5	-	-
	x	7,3	2,8	4,2	47,7	232,3	91,1
	s	2,7	0,0	0,0	18,2	0,0	0,0
(PNL) PCB	16	2,2	0,0	0,4	2,9	4,6	0,8
	17	6,7	0,4	0,7	3,4	5,3	6,3
	18	1,4	0,2	-	5,5	4,1	-
	x	3,4	0,2	0,6	4,0	4,7	3,5
	s	2,3	0,2	0,2	1,1	0,5	2,8

Příloha 17: Odběr sumy PCB rostlinami petržele ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$) na suchdolské a přerovské zemině

		Odběr					
	č. nádob	Nadzemní biomasa 1. odběr	Nadzemní biomasa 2. odběr	Nadzemní biomasa sklizeň	Kořeny 1. odběr	Kořeny 2. odběr	Kořeny sklizeň
(SUCH) Delor 103	19	xxx	2,0	24,9	xxx	62,1	643,8
	20	xxx	2,7	23,9	xxx	38,0	523,5
	x	xxx	2,3	24,4	xxx	50,1	583,7
	s	xxx	0,2	0,3	xxx	6,0	30,1
(PNL) Delor 103	21	xxx	0,9	22,2	xxx	31,1	504,9
	22	xxx	1,6	15,5	xxx	113,9	513,7
	23	xxx	0,9	17,4	xxx	18,8	328,4
	x	xxx	1,1	18,4	xxx	54,6	449,0
	s	xxx	0,3	2,8	xxx	42,2	85,3

Příloha 18: Odběr sumy PCB rostlinami křenu ($\mu\text{g.nádoba}^{-1}$) na suchdolské a přerovské zemině

		Odběr					
	č. nádob	Nadzemní biomasa 1. odběr	Nadzemní biomasa 2. odběr	Nadzemní biomasa sklizeň	Kořeny 1. odběr	Kořeny 2. odběr	Kořeny sklizeň
(SUCH) Delor 103	24	xxx	2,5	15,0	xxx	486,9	1028,8
	25	xxx	-	11,8	xxx	-	860,8
	x	xxx	2,5	13,4	xxx	486,9	944,8
	s	xxx	0,0	0,8	xxx	0,0	42,0
(PNL) Delor 103	26	xxx	2,7	20,7	xxx	1294,9	698,9
	27	xxx	1,5	24,5	xxx	824,6	828,8
	28	xxx	1,9	15,0	xxx	1348,7	1216,3
	x	xxx	2,0	20,1	xxx	1156,1	914,7
	s	xxx	0,5	3,9	xxx	235,4	219,8

Příloha 19: Průměrný obsah sumy PCB ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) v zeminách při založení a po sklizni celeru

Zeminy při založení-celer									
Zeminy		Suchdol				Přerov nad Labem			
	Varianty	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola
Σ PCB ($\mu\text{g} / \text{kg}$ sušiny)	a	26 340	<30	941,3	<5	29 730	<30	996,3	12,80
	b	24 690	<30	880,8	<5	30 540	<30	851,8	11,40
	c	26 150	<30	953,9	<5	29 800	<30	1 001	5,50
	d	26 610	\emptyset	971,1	\emptyset	34 640	\emptyset	988,6	\emptyset
	e	25 700	\emptyset	929,7	\emptyset	29 750	\emptyset	1 002	\emptyset
	f	25 730	\emptyset	932,6	\emptyset	30 980	\emptyset	967,2	\emptyset
	g	34 340	\emptyset	946,7	\emptyset	34 570	\emptyset	1 055	\emptyset
	h	35 200	\emptyset	955,5	\emptyset	28 920	\emptyset	970,7	\emptyset
	i	34 860	\emptyset	1 006	\emptyset	30 680	\emptyset	996,9	\emptyset
	x	28 850	<30	946,4	<5	31 070	<30	981,0	9,90
s	4245	0	31,84	0	1978	0	51,48	3,16	
Zeminy po sklizni-celer									
Zeminy		Suchdol				Přerov nad Labem			
	Varianty	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola	Delor 103	Kontrola	PCB	Kontrola
Σ PCB ($\mu\text{g} / \text{kg}$ sušiny)	a	21 570	<30	993,5	<5	25 220	<30	788,6	<5
	b	20 580	<30	972,0	<5	22 090	<30	908,3	<5
	c	21 380	<30	927,6	<5	27 090	<30	965,8	<5
	d	21 530	<30	983,0	<5	23 040	<30	820,5	<5
	e	21 790	<30	928,2	<5	23 180	<30	860,3	<5
	f	21 380	<30	930,0	<5	21 940	<30	907,4	<5
	g	22 070	<30	998,8	<5	27 450	30	958,3	<5
	h	22 440	<30	951,8	<5	25 050	<30	979,2	<5
	i	21 870	<30	948,2	<5	28 120	32	993,4	<5
	x	21 620	<30	959	<5	24 800	31	909	<5
s	491,4	0,0	26,80	0	2230	1	68,65	0	

Příloha 20: Průměrný obsah sumy PCB ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) v zeminách při založení a po sklizni petržele

		Zeminy při založení-petržel		Zeminy po sklizni-petržel	
Zeminy		SUCH	PNL	SUCH	PNL
	Varianty	Delor 103	Delor 103	Delor 103	Delor 103
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	29 440	30 100	21 490	25 910
	b	31 040	29 930	22 470	23 430
	c	26 910	28 430	22 020	22 400
	d	26 400	31 710	23 830	27 600
	e	37 290	25 640	24 410	24 120
	f	30 270	28 730	22 810	25 730
	g	xxx	29 310	xxx	29 320
	h	xxx	25 140	xxx	25 960
	i	xxx	26 660	xxx	23 790
	x	30 230	28 410	22 840	25 360
	s	3 578	2 066	1 006	2 054

Příloha 21: Průměrný obsah sumy PCB ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) v zeminách při založení a po sklizni křenu

		Zeminy při založení-křen		Zeminy po sklizni-křen	
Zeminy		SUCH	PNL	SUCH	PNL
	Varianty	Delor 103	Delor 103	Delor 103	Delor 103
Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)	a	34 070	31 710	23 750	25 050
	b	28 630	29 510	23 610	24 470
	c	29 000	30 100	23 640	24 400
	d	37 410	29 750	22 250	22 440
	e	34 180	27 460	22 870	19 240
	f	32 020	27 430	21 870	19 960
	g	xxx	31 650	xxx	23 200
	h	xxx	28 900	xxx	22 350
	i	xxx	27 660	xxx	21 610
	x	32 550	29 350	23 000	22 520
	s	3 078	1 561	730,4	1 897

Příloha 22: Průměrný obsah sumy PCB ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny) v zeminách při založení a po sklizni bez rostlin

Zeminy	Varianty	Zeminy při založení		Zeminy po sklizni	
		SUCH	PNL	SUCH	PNL
		Delor 103	Delor 103	Delor 103	Delor 103
Σ PCB ($\mu\text{g/kg}$ sušiny)	a	34 850	30 620	23 920	27 720
	b	30 870	28 390	25 150	24 890
	c	23 720	27 520	23 850	24 090
	d	xxx	34 430	xxx	33 840
	e	xxx	31 030	xxx	29 080
	f	xxx	25 800	xxx	25 110
	x	29 810	29 630	24 310	27 460
	s	4 605	2 788	597,0	3 339