



Středoškolská technika 2010

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Polychlorované bifenyle – příjem rostlin

Alžběta Skalková, Petra Landfeldová

První soukromé jazykové gymnázium Hradec Králové, s r.o.
Brandlova 875, 500 03 Hradec Králové

Obsah

ÚVOD	3
TEORETICKÁ ČÁST	4
Polychlorované bifenyl	4
Struktura	4
Historie	5
Chemické a fyzikální vlastnosti	5
Výskyt v životním prostředí	5
Legislativa	6
Toxicita	6
Vliv na lidský organismus	7
Metody odstraňování z půd	7
Fytoremediace	7
Rostliny schopné přijímat PCB z půd	8
Pěstované rostliny	9
Slunečnice roční	9
Kukuřice setá	9
Rychle rostoucí dřeviny (vrba a topol)	10
METODOLOGIE	11
Postupy použité při výzkumu	11
Popis pozemku	12
Experimentální procedury	13
PRAKTICKÁ ČÁST	14
Obsah PCB v půdě	14
Jak je zobrazeno v grafu č. 1, povolená mez obsahu PCB v půdách daná vyhláškou je na odběrném místě č. 5 převyšena 7650 krát.	14
Obsah PCB kongenerů v jednotlivých částech pěstovaných rostlin ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	15
Suma PCB kongenerů v jednotlivých částech rostlin ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	17
Bioakumulační faktor pěstovaných rostlin	18
ZÁVĚR	19
CITOVANÁ LITERATURA	20
PŘÍLOHY	23

Úvod

Zhoršující se životní prostředí je jedním z nejzávažnějších globálních problémů současnosti a na jeho znečištění se podílejí různé cizorodé látky. Polychlorované bifenyly (PCB) jsou po desetiletí označovány jako jedny z hlavních chemických kontaminantů a to především díky svým fyzikálně-chemickým vlastnostem (vysoká termální a chemická stabilita, nízká rozpustnost ve vodě a volatilita, vysoká lipofilita, atd.). Tyto vlastnosti umožňují jejich koloběh v prostředí, kumulaci ve vodách, půdách, sedimentech a progresivní bioakumulaci v rostlinných a živočišných tkáních a jejich snadný vstup do potravního řetězce (Baird, 1998; Chu et al., 1999; Campanella et al., 2001). Jedná se o synteticky vyráběné chemické látky organického původu (chlorované deriváty jednoduché aromatické sloučeniny - bifenyly), patřící do skupiny perzistentních organických polutantů (POP), u kterých byla prokázána vysoká toxicita zejména pro savce a člověka. Na základě studia vztahu mezi strukturou a účinkem se ukazuje, že toxicita chlorovaných uhlovodíků závisí na míře, rozsahu a poloze substituce chloru. Nejvíce toxikologických problémů je spojováno především s tzv. koplanárními (rovinnými) isomery (kongenery). Přestože byla jejich produkce globálně zastavena a jejich užívání časem i zakázáno, jejich rezidua zůstávají nadále, -díky -své dlouhodobé perzistenci, v prostředí a potravinách (Holoubek et al., 2003; Bobovnikova et al., 2000).

Lipofilní charakter PCB vede k jejich absorpci na půdní a atmosférické částice. Bylo zjištěno, že více jak 99% celkové zátěže PCB se nachází právě v půdě. Vzhledem k tomu, že rostliny představují první článek potravního řetězce a jsou dominantní složkou lidské potravy, sledování způsobu průniku PCB z kontaminovaných půd do zemědělsky využívaných rostlin a jejich možná kumulace v rostlinných tkáních je důležitou součástí studia globální kontaminace ekosystému rizikovými látkami (Campanella et al., 2001).

Tato práce si klade následující cíle:

- Seznámit se s dostupnou literaturou, nejnovějšími poznatky v oblasti PCB.
- Na vybraném pozemku se známou mírou zatížení polychlorovanými bifenyly porovnat koncentrace PCB s platnou legislativou (vyhláška MŽP č. 257/2009 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu), která stanovuje maximální přístupné koncentrace PCB v půdě.
- Na pozemku vybrat jedno místo s nejvyšší koncentrací PCB, na něm připravit pěstební parcelku.
- Zasadit a zasít vybrané rostliny (slunečnici, kukuřici, topol, vrbu) a zjistit u nich schopnost akumulace PCB.
- Na konci vegetační sezóny pěstované rostliny sklídit, v laboratořích je rozdělit na jednotlivé části, omýt, usušit a rozemlet. Vzniklé směsné vzorky odeslat k analýzám do akreditované laboratoře Aquatest a. s. sídlící v Praze.
- Porovnat schopnost přijímat PCB z půdy u těchto rostlin.
- Zjistit, které PCB kongenery jsou přijímány rostlinami lépe (ve vyšších koncentracích)
- Posoudit možnost využití těchto rostlin pro fytoextrakci PCB z půd.

Pro účel práce jsme si položili následující otázky:

Výsledky z minulého roku poukazovaly na vrbu schopnou akumulovat z tohoto pozemku nevyšší koncentraci Cd, Hg. Bude tato rostlina vhodná i po odstranění PCB z tohoto pozemku?

Teoretická část

Polychlorované bifenyly

Polychlorované bifenyly (PCB) patří spolu s polycyklickými aromatickými uhlovodíky (PAH) a polychlorovanými dibenzodioxiny a dibenzofurany (PCDD/F) mezi perzistentní organické polutanty (POP). POP jsou organické látky, které vykazují toxické vlastnosti, bioakumulují se a u nichž je pravděpodobný významný škodlivý vliv na lidské zdraví nebo škodlivé účinky na životní prostředí. Dochází u nich k depozicím a k dálkovému přenosu v ovzduší přesahujícím hranice států.

Do prostředí jsou PCB uvolňovány od 30. let minulého století. Komerčně se začaly vyrábět v roce 1929 v USA. V různých zemích se vyráběly jako technické směsi pod různými názvy Aroclor (USA), Kanechlor (Japonsko), Clophen (Německo), Phenochlor a Pyralene (Francie) (Hoffman, 2001). V bývalém Československu byly vyráběny v n. p. Chemko Strážské pod obchodními názvy Delor, Hydeler a Delotherm.

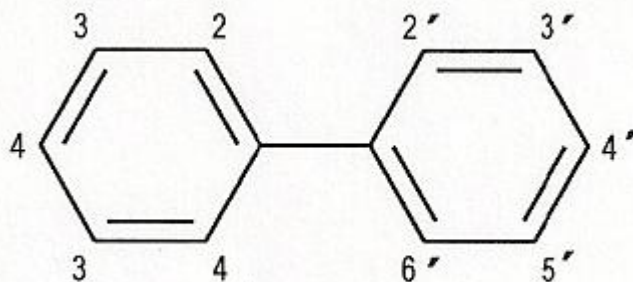
Celková produkce PCB od roku 1929 byla 2 miliony tun, z čehož víc než polovina byla vyrobena v USA. V Československu bylo v období 1959 - 1984 vyrobeno 6 200 tun PCB (Mikl, 1996).

Od konce 60. let, kdy byl zjištěn jejich negativní vliv na životní prostředí, byla výroba polychlorovaných bifenyly postupně celosvětově omezována a v průběhu 70. let byla ukončena, v Československu v roce 1984.

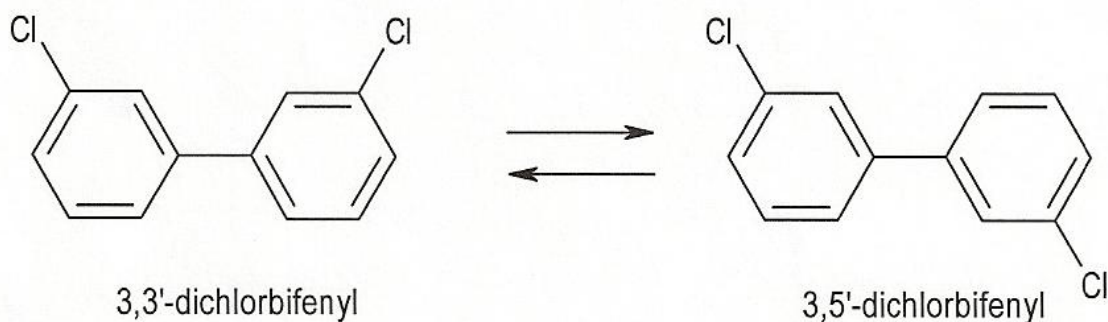
Podobně jako v jiných průmyslových zemích došlo v České republice ke kontaminaci polychlorovanými bifenyly v důsledku dlouhodobé a relativně rozsáhlé průmyslové aplikace těchto látek (resp. jejich směsí), aniž byly známy důsledky jejich vstupu do ekosystému. Kontaminace byla způsobena v první fázi neznalostí ekologických rizik při ukládání těchto odpadů na běžné skládky, později nízkou kázní při manipulaci a nevyhovujícím technickým stavem příslušných zařízení s nekontrolovaným únikem kapaliny do okolí (Hetflejš, 1994). Varujícím je údaj, že minimálně 70 % vyrobených PCB se již stalo polutantem ekosystému ČR a SR (Hetflejš, 1993).

Struktura

Polychlorované bifenyly jsou substituční deriváty bifenyly. Vznikají substitucí 1 až 10 atomů chloru na bifenylové jádro a mohou tak vytvořit 209 sloučenin. Z těchto 209 sloučenin je 103 považováno za nejvíce pravděpodobné (Alexander; Aleem, 1961).



Protože v bifenyly dochází k velmi rychlé rotaci aromatických jader kolem jednoduché vazby C - C, která je spojuje, nelze izolovat jednotlivé látky odpovídající různé relativní orientaci dvou jader. Například 3,3'- a 3,5'-dichlorbifenyl nejsou dvě chemická individua. Název se



Obrázek 2: 3,3'-dichlorbifenyl a 3, 5'-dichlorbifenyl

vytváří tak, že se použije ten s nejnižším číslováním. Takže systém uvedený na obrázku (Obr. 2) má název 3,3'-dichlorbifenyl.

Energeticky nejvýhodnější je planární uspořádání molekuly s výjimkou isomerů, u kterých dochází ke sterickému bránění dvěma atomy chloru v *ortho* polohách (Baird C., 1999).

Historie

Polychlorované bifenyly (PCB) jsou synteticky vyráběné chemické látky, jejichž komerční výroba se datuje od roku 1929. Do popředí zájmu se dostaly až koncem 60. let, a to pod vlivem otravy, která proběhla v Japonsku. Zde došlo požitím PCB kontaminovaného rýžového oleje k hromadné intoxikaci, která byla označena YUSHO (otrava z oleje). Za 10 let se podobná situace opakovala na Tchaj-wanu (nemoc YUCHENG). Klinickými příznaky otravy byla tmavá pigmentace pokožky, chlorakné, větší výskyt infekčních onemocnění v důsledku snížené obranyschopnosti organismu, neurologická poškození. Těhotným ženám se rodily děti s nižší porodní hmotností, s pigmentací na kůži, nehtech, otoky v obličeji, poruchami osifikace lebečních kostí. Všechny příznaky včetně růstové retardace po čase vymizely.

Na základě zjištění že PCB všeobecně kontaminují životní prostředí (vyšší koncentrace jsou na průmyslovější severní polokouli) a že se kumulují v živých organismech, byla jejich výroba ve všech průmyslově vyspělých státech v 70. letech zastavena. Bývalé Česko slovensko patřilo k zemím s poměrně velkou produkcí výrobků na bázi PCB s firemním označením DELOR, HYDELOR a DELOTHERM. K zastavení výroby u nás došlo až v roce 1982.

Chemické a fyzikální vlastnosti

PCB jsou kapaliny prakticky nerozpustné ve vodě, ale rozpustné v nepolárních organických rozpouštědlech, olejích a tucích. Jsou nehořlavé, odolné vůči účinkům kyselin a zásad. Nepodléhají oxidaci běžnými oxidačními činidly a jsou prakticky rezistentní vůči hydrolýze a alkoholýze. PCB mají bod varu v rozsahu 330 - 390 °C. Směsi jsou bezbarvé a jejich viskozita stoupá s obsahem chloru. Zatímco méně chlorované směsi mají charakter oleje, více chlorované směsi se podobají pryskyřici (Hoffman, 2001; Baird, 1999).

Výskyt v životním prostředí

PCB jsou schopny se z kontaminované půdy, skládek odpadů, vodních ploch či jiných materiálů odpařovat. Polutanty uvolněné do atmosféry mohou být transportovány na velké vzdálenosti v plynné fázi nebo vázány na pevné částice atmosféry a následně tak kontaminovat půdu či vegetaci (Baird 1998). Půda byla polychlorovanými bifenyly znečišťována lokálně v místech, kde byly PCB jako součást specifických zařízení používány. Jedná se

především o půdu průmyslových areálů, okolí transformátorových stanic a místa s intenzivním provozem dopravní a zemědělské techniky. Ze všech těchto míst se PCB šířily s odváženými odpady, půdou i cestou podzemních a povrchových vod. V současné době může být půda znečišťována především v důsledku použití kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství, dále pak suchou a mokrou depozicí z atmosféry, úniky z úložišť popílku, skládek odpadů apod. PCB se poměrně silně váží na půdní organickou hmotu, a to tím více, čím je půda bohatší na humus (Holoubek et. al. 1999).

Díky některým výhodným fyzikálně-chemickým vlastnostem (tepelná a chemická stabilita, nízká rozpustnost ve vodě) byly tyto látky využívány v průmyslu jako přísady do barev, hydraulické a teplovodivé tekutiny, plastifikátory do kaučuku, maziva, atd. Únik PCB do životního prostředí závisí na jejich použití, ale dnes hlavně na likvidaci zbytků. Jedním z největších zdrojů znečištění jsou skládky, odkud se dostává nejvíce PCB do povrchových a spodních vod. Menší množství uniká při odpařování barev a nátěrů, rozkladem při běžném skladování a neodbornou likvidací průmyslových kapalin. Protože jde o látky stabilní, přetrvávají v životním prostředí poměrně dlouho.

Naše populace je globálně exponovaná PCB v rozsahu obdobném jako v ostatních evropských a zámořských průmyslových zemích. Hlavním zdrojem PCB u nás není rybí maso, protože to je konzumováno jen v malém množství, ale hovězí, vepřové maso a tuky. Hlavní kontaminace živočišných potravních řetězců pochází z používání barev a nátěrů obsahujících PCB v zemědělské prvovýrobě (Višnovský, et. al. 1997).

Legislativa

V České republice je pro zemědělský půdní fond stanovena vyhláškou MŽP 257/2009 Sb. limitní hodnota obsahu PCB 0,02 mg/kg. Tato vyhláška však nestanovuje limity pro jednotlivé kongenery, ale pouze pro sumu kongenerů č. 28 (2,4,4'- trichlorbifenyl), 52 (2,2',5,5' - tetrachlor-1,1' -bifenyl), 101 (2,2',4,5,5' - pentachlor-1,1'- bifenyl), 118 (2,3',4,4',5-pentachlorbifenyl), 138 (2,2',3,4,4',5' -hexachlorbifenyl), 153 (2,2',4,4',5,5'--hexachlor-1,1' -bifenyl) a 180 (2,2' ,3,4,4',5,5' -heptachlorbifenyl) (Demnerová, 2001).

Toxicita

Toxicita PCB látek závisí na struktuře molekuly. Každý kongener má totiž určité chemické a biologické vlastnosti. Na základě studia vztahu mezi strukturou a účinkem se ukazuje, že tzv. koplánární kongenery jsou toxicitější než ostatní. Toxicita průmyslových PCB směsí, je dána nejen přítomností jednotlivých toxických kongenerů, ale i nečistot (např. polychlorovaných dibenzofuranů, dibenzodioxinů) (Višnovský, et. al. 1997).

Nejvíce toxikologicky aktivní jsou kongenery, které mají 2 atomy chloru substituované v *para* poloze (4- a 4'-) a alespoň 2 atomy chloru v poloze *meta*. Při čemž nesmí mít žádný atom chloru v *ortho* poloze. Těmto podmínkám vyhovují tyto kongenery: 81 (3,3',4,4'- a 3,4,4',5-tetrachlorbifenyl), 126 (3,3',4,4',5- pentachlorbifenyl) a 169 (3,3',4,4',5,5' -hexachlorbifenyl) (Hoffman, 2001).

Akutní toxicita PCB látek je poměrně nízká, ale protože se kumulují v živočišných a lidských tkáních, je možnost rozvoje chronické toxicity významná.

PCB látky zasahují především do fertility a do reprodukce celé řady druhů ptáků a savců. Způsobují změny v estrálním cyklu, poruchy implantace vajíčka, mohou vyvolat abortus a snižují postnatální přežívání.

Rezidua malých množství PCB v organismu způsobují změny v jaterní tkáni a 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 a po vysokých dávkách i nekrózy hepatocytů. Dále dlouhodobá expozice vede k rozvoji chronické hepatické porfyrie.

Směsi PCB snižují imunitní odpověď a alterují obranné mechanismy organismu. U experimentálních zvířat byla zaznamenána atrofie lymfoidních orgánů, nižší hladiny cirkulujících imunoglobulinů a snížená tvorba specifických protilátek po imunizaci antigenem.

V experimentu byl pozorován karcinogenní účinek některých PCB látek, i když většinou jsou spíše považovány za promotory karcinogeneze - tzv. kokarcinogeny. Mají zřejmě i teratogenní účinky (Višnovský, et, al. 1997).

Vliv na lidský organismus

Vstup PC do lidského organismu je možný zažívacím traktem, plícemi a kůží.

Kromě několika případů lokální kontaminace lze předpokládat přívod alimentární (pocházející z potravy, související s potravou) cestou a to zejména tukovou složkou potravy. Vzhledem k chemické a biologické perzistenci dochází v těle k jejich kumulaci ve všech tukových tkáních. Částečná exkrece se děje pouze stolicí a je závislá na úrovni sekrece žluči.

PCB jsou považovány za pravděpodobné karcinogeny a mutageny. Způsobují hepatocelulární karcinom jater, porfyrii a imunosupresi. Jejich důležitou vlastností je schopnost aktivovat jaterní mikrosomální enzymy, které katalyzují metabolickou degradaci široké skupiny substrátů exogenního i endogenního původu. Tak může docházet k nežádoucímu odbourávání biologicky aktivních látek, ale i k žádoucímu odbourávání cizorodých látek, včetně karcinogenů.

V roce 1990 byla provedena studie stanovení PCB v tkáňovém tuku u obyvatel Prahy a Středočeského kraje. Ve srovnání s okresy Středočeského kraje má Praha jako velká průmyslová aglomerace prokazatelně vyšší dosavadní expozici obyvatel. V organismu mužů byla zjištěna vyšší koncentrace PCB než v organismu žen. Tento fakt by mohl být vysvětlován jednak rozdílnou skladbou a množstvím stravy, jednak předpokládanou vyšší konzumací alkoholu, který podporuje ukládání tuků a v nich rozpuštěných cizorodých látek ve tkáních (Procházka, Bříza, Martan, Krpálková, 1990).

Metody odstraňování z půd

Vzhledem k fyzikálně-chemickým vlastnostem je degradace PCB fyzikálně-chemickými metodami značně náročná, a hlavně drahá. Jednou z možných metod je spalování PCB ve vysokých martinských pecích za vysokých teplot (nad 1300 °C). V podmínkách, které jsou v současné době v České republice, je tento postup prakticky nerealizovatelný. Hlavním důvodem je nutnost udržení konstantní teploty, aby spalováním nedošlo ke vzniku ještě toxičtějších látek - dioxinů, tento požadavek s sebou nese značnou finanční náročnost celé technologie. Alternativní využití mikroorganismů (vhodnými adepty bioremediace jsou některé půdní bakterie a ligninolytické houby a také některé druhy rostlin) se jeví jako ekologicky šetrné a z hlediska finančních nákladů výhodné řešení (Demnerová K., 2003).

Fytoremediace

Jednou z možností jak odstranit kontaminaci z životního prostředí je využívat takzvanou přirozenou atenuaci. Proces "přirozeného snižování kontaminace" (přirozená atenuace) je definována jako souhrn dějů přirozeně se vyskytujících v životním prostředí, které bez lidského zásahu vedou k omezení množství, toxicity, mobility, objemu nebo koncentrace kontaminantů.

Fytoremediace byly definovány jako využití zelených rostlin a s nimi asociovaných mikroorganismů, půdních doplňků a agronomických technik pro odstranění či transformaci kontaminantů z životního prostředí (Novák a kol., 1998).

Existuje více fytoremediačních technik. Pro náš projekt je nejvhodnější fytoextrakce.

Fytoextrakce

Je metoda založená na absorpci kontaminantu kořeny rostlin s následnou akumulací v nadzemí části rostliny. Po této fázi následuje sklizeň rostlin, se kterými je nutno zacházet jako s odpadem a je tedy nutné před samotnou aplikací rostliny dobře uvážit, jakým způsobem bude s takto vzniklým odpadem dále nakládáno. Nutným předpokladem pro fungování metody je hyperakumulační vlastnost rostlinného druhu vůči stanovenému kontaminantu. Metoda se s úspěchem používá při sanaci těžkých kovů, polokovů (Pb, As, Se), radionuklidů a nekovů (např. B), avšak není příliš vhodná pro organické látky, které mohou být rostlinou metabolizovány na ještě toxičtější sloučeninu nebo mohou být rostlinou vydýchány do ovzduší (Soudek, 2009).

Rostliny schopné přijímat PCB z půd

Fytoremediace je stále ve vývojovém stádiu, nemůže být ještě přijímána jako hlavní technologie v širokém měřítku, ale přesto byla již úspěšně použita v některých znečištěných oblastech. Některé rostliny jsou schopné přijímat organické látky přímo z kontaminovaných míst do svého organismu. Tato schopnost závisí na fyzikálně-chemických vlastnostech kontaminantů a na vlastnostech samotných rostlin. Některé hydrofobní organické sloučeniny se váží pevně na povrch kořenů a není snadné je odstranit (Kučerová et. al. 1999). Byla zjištěna schopnost rostlin kukuřice, kapusty a mrkve přijímat a akumulovat PCB z kontaminovaných čistírenských kalů ve své biomase, přičemž nejvyšší koncentrace v rostlinných tkáních byla zaznamenána u mrkve (WEBER et. al. 1990). Jiný rostlinný systém, hybridní topoly, nabízí také různé výhody pro dekontaminaci znečištěné půdy především organickými kontaminanty. Tyto hybridy jsou stabilní, dlouho žijí, rostou rychle a snášejí poměrně vysoké koncentrace organických látek (KUČEROVÁ et al. 1999). Výsledky výzkumu provedeného ZEEB et. al. (2006) ukazují, že některé variety dýně (*Cucurbita pepo ssp.*) jsou vysoce efektivní pro extrakci PCB z půdy, výrazně vyšší koncentrace PCB byly zaznamenány v kořenech oproti nadzemní biomase. Avšak všechny testované rostliny vykazovaly známky stresu, pokud byly pěstovány na půdách s velmi vysokou kontaminací polychlorovanými bifenoly.

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 může představovat potenciální zdroj kontaminace potravního řetězce.

Vedle rostlinných charakteristik a fyzikálně-chemických vlastností chemických reziduí (zahrnujících rozpustnost, tlak nasycených par, rozdělovací koeficient oktanol-voda, Henryho konstantu, poločas rozpadu, atd.), závisí transfer perzistentních organických látek v systému půda-rostlina také na fyzikálních a chemických charakteristikách půd, na kterých rostou. Mezi hlavní půdní faktory, které mají největší vliv na přístupnost těchto chemických reziduí pro rostliny, patří obsah organické hmoty a vlhkost (Beck et al., 1996).

Pěstované rostliny

Slunečnice roční

Latinské jméno *Helianthus annuus* se skládá z řeckých slov helios, anthos (slunce, květ) a annus (rok). Slunečnice roční je velmi statná rostlina, dorůstající běžné výšky až 2,5 metru. Kvete od srpna do října. Běžně je pěstována jako olejodárná rostlina, výjimečně zplaňuje. K výrobě jedlého oleje se užívá semeno. Semena obsahují 45-65% oleje, 20-30% bílkovin a 7-10% glycidů. Olej se skládá z mastných kyselin, mezi nimiž převládá kyselina linolová (75-80%). V listech a žlutých květech byl nalezen flavonoid quercimeritrin, kumarínové glykosidy, triterpenové saponiny, karotinoidy, antokyany, třísloviny, cholin, betain, hořký helianthin a minerální látky (Janča a Zentrich, 1994).

Rostlina vyžaduje slunné stanoviště orientované na jih nebo jihozápad. Slunečnice vyžaduje hluboké, humózní, strukturní, hlinitopísčité až písčitolhinité půdy, nejlépe černozemního typu a optimálním pH 6- 7,2. Slunečnice je poměrně náročná na vodu, ale nesnáší vysokou hladinu spodní vody. V dobře vyhnojené půdě narůstá do větší výšky a také květy mají větší průměr. Rostlina nezakořeňuje hluboko. Semena se vysévají koncem dubna až začátkem května přímo do půdy do hloubky asi 2,5 cm.

Slunečnice je plodina náročná na živiny. Má však mohutný kořenový systém a dobrou osvojovací schopnost, takže se dokáže část živin obstarat i z méně přístupných vazeb a sloučenin. Plevelé slepenici škodí, neboť s ní konkurují o vodu a hlavně o teplo. Období, kdy je slunečnice citlivá na plevele trvá asi 20-25 dnů po jejím vzejití (Lakomá, 2008).

Kukuřice setá

Kukuřice setá (*Zea mays*) je druh jednoděložné rostliny z čeledi lipnicovitých (*Poaceae*).

Jedná se o robustní jednoletou travu, dorůstající nejčastěji do výšky 1-3 m. Někdy zvláště v suchých podmínkách může být nižší. Kukuřice je jako mnohé další tropické rostliny plodina s fotosyntézou typu C4. Díky tomu je schopná za dostatečného osvětlení velmi rychle růst a produkovat enormní množství biomasy. Udává se maximální výnos až 23 t z hektaru (kol. autorů, 2008).

Kukuřice je teplomilná rostlina. Zrno začíná klíčit, když teplota půdy dosahuje 7-8°C. Pro nasazení dostatečného počtu palic a jejich vývoj jsou důležité teploty v srpnu a počátkem září.

K vysoké produkci zrna potřebuje kukuřice dostatek vody zejména v období mezi metáním a mléčnou zralostí, to je v období intenzivního růstu. Krátké přísušky překonává dobře díky bohatě rozvinutému kořenovému systému a dobrému hospodaření s vláhou. Na sucho je kukuřice velmi citlivá v době květu.

Nároky na půdu má kukuřice mnohem menší než na teploty. Nevhodné jsou jen těžké a chladné půdy, neboť neumožňují včasné setí. Lehké půdy jsou vhodné jen při zvýšeném hnojení a ve vlhčích oblastech.

Kukuřice je náročná na přípravu půdy. Vyžaduje půdy hluboko zpracované. Před setím se aplikuje buď celá dávka nebo 2/3 dávky dusíkatých hnojiv a půda se zkyprí do hloubky výsevu. Seje se zpravidla do řádků 70 cm. Hloubka výsevu je podle použitého hybridu a půdy 60-90 mm. Vzdálenost rostlin v řádku se pohybuje zpravidla mezi 15-ti až 20-ti cm a určuje hustotu porostu. V našich podmínkách by mělo být zaseto koncem dubna s ukončením nejpozději do 10. - 15. května.

Počáteční růst kukuřice je velmi pomalý, a proto kukuřice v tomto období nekonkuruje rychle rostoucím plevelům. Kultivační nebo chemická opatření v počátečních fázích růstu musí směřovat jednoznačně k potlačení plevelů. Vhodné je použití mořeného osiva (Šroller et al., 1997; Pulkrábek et al., 2003).

Rychle rostoucí dřeviny (vrba a topol)

Tradiční oblastí využití rychle rostoucích dřevin (RRD) je revitalizace stanovišť a půd.

Mezi výhody použití RRD je možné počítat levnou sazbu, rychlý růst a časně plnění funkcí trvalé zeleně v krajině (Weger, 1997). Relativně novou oblastí využití RRD je dekontaminace půd od těžkých kovů.

Vrba Smithova, květná (*Salix x smithiana*) je rychle rostoucí dřevina, dorůstající výšky 3-4

Jedná se o hybrid vrby jívy (*Salix caprea* L.), který je distribuován po Evropě mimo jižních regionů. Je to průkopnický (pionýrský) druh s nejširší ekologickou adaptací ze všech evropských vrb. Patří mezi nejvíce rozšířené hybridy vrb, které vzešly ze spontánního křížení *S. viminalis* a *S. caprea*. Pravděpodobně jedinou nevýhodou tohoto taxonu je, že je spásán lesní a polní zvěří (srnci, zajíci a králíky) (Tlustoš et al., 2007).

Klon multiklonální sorty "Max" (*Populus nigra x maximowiczii*) byl vyšlechtěn na vysoký výnos, toleranci k patogenům a u nás vykazuje velmi dobrý růst. Má vyšší ujmavost řízků ve volné půdě.

Řada druhů a klonů topolů a vrb preferuje vodou dobře zásobená stanoviště s nejvyšší produkcí (až 19 t sušiny.ha⁻¹ za rok). Některé klony snesou i dočasně zaplavovaná stanoviště. Topoly i vrby jsou světlomilné druhy, stabilní zastínění jim nevyhovuje. Na takovýchto místech s nižší sumou slunečního záření jako jsou prudké severní svahy nebo úzká pole uprostřed dospělého lesního porostu i hlubokého údolí můžeme očekávat pomalejší růst a nižší výnosy. Širokou ekologickou amplitudu včetně sušších stanovišť zatím ukazují kříženci *Populus nigra x P. maximowiczii* (Weger, 2007).

Vybraný pozemek je potřeba na podzim hluboce zorat (35-40 cm). Důležitá jsou odplevelovací opatření. Jako sadbový materiál slouží řízky o délce 18-22 cm a 1-2 cm silné, získané z jednorokých výhonů rozmnožovací matečnice, sklizené od poloviny ledna do března. Při výsadbě je nutno dodržet kolmý směr. Sází se do úrovně povrchu půdy, i když mírné zapuštění není na závadu. Důležité je půdu v okolí řízků utužit. K sázení přistupujeme brzy zjara v zájmu lepšího využití zimní vláhy. Používá se meziřádková vzdálenost od 1,5 do 3 m v návaznosti na šířku kultivačního nářadí. Vzdálenost rostlin v řádku se pohybuje v rozmezí 20-80 cm.

Plantáže založené na půdě, která byla intenzivně obhospodařovaná, většinou nevyžadují hnojení. Není-li porost přihnojován pravidelně, velmi rychle slábne, dřevo nevyzrává a je lámavé. Přihnojování provádíme nejméně jednou za dva roky, jednou za 3-4 roky vápníme. Fosfor a draslík působí příznivě na vyzrávání dřeva, opačně působí nadbytek N, i když přírůstky jsou vysoké (Šnobl et al., 2004).

Metodologie

Postupy použité při výzkumu

Při zpracování projektu jsme použili následující metody, vhodné pro řešení předmětu projektu:

- Studium odborné literatury, seznámení s vyhláškou MŽP 257/2009 Sb.
- Z předložených analýz zjistit zatížení půdy PCB, zda přesahuje povolenou mez, zjistit celkové zatížení pozemku a zatížení jednotlivými kongenery.
- Vytýčení pozemku pro pěstování a jeho kultivace- zrytí, zasazení sazenic a setí semen.
- Pěstování rostlin- zalévání rostlin, vytrhávání plevele, ochrana před škůdci a následná sklizeň.
- Příprava směsného vzorku - sklizeň rostlin, omytí jednotlivých částí, jejich zvážení a usušení v sušárně při 60 °C po dobu 48 hodin, po usušení rozemletí částí na prášek.
- Odeslání směsného vzorku do akreditovaných laboratoří Aquatest a.s. v Praze.
- Z výsledků analýz posoudit obsah jednotlivých kongenerů v rostlinách, porovnat přijatou sumu PCB u jednotlivých rostlin a jejich částí.
- Vypočítat bioakumulační faktor:

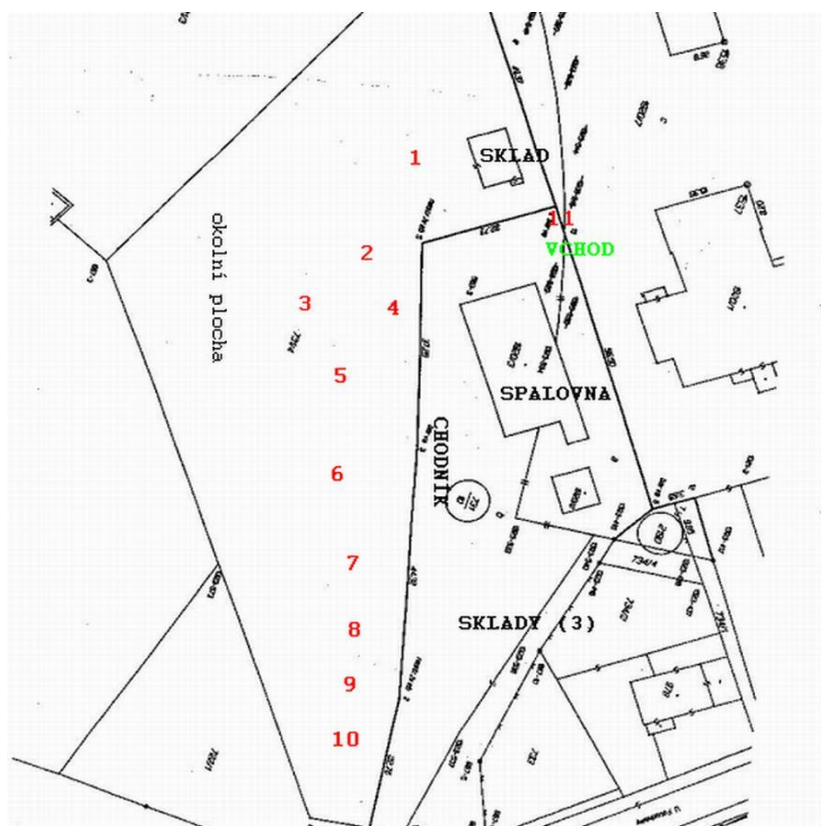
$$BCF = \frac{\text{Obsah PCB v rostlině}}{\text{Obsah PCB v půdě}}$$

- Z výsledků dosažených v předchozích dvou bodech odvodit, které rostliny budou nejvhodnější pro odstranění PCB z tohoto pozemku.
- Výsledky letošního výzkumu porovnat s loňským projektem a posoudit, zda rostliny, které minulý rok vykazovaly nejvyšší akumulaci rizikových prvků na tomto pozemku, mají také nejvyšší akumulaci schopnost pro PCB.

Popis pozemku

Na pozemku bývalé spalovny nebezpečných odpadů, která se nachází v Hradci Králové v části Pražské Předměstí. Tato spalovna byla v provozu v letech 1993 až 2002. Byly zde spalovány např. nebezpečné odpady s obsahem ropných látek, agrochemický odpad, konzervační činidla, odpady z chemických procesů, odpad z louhování a odchlupování, odpad z odmašťování obsahující rozpouštědla, odpady s obsahem kovů, halogenovaný odpad, barviva, kyselý dehet, odpad s obsahem síry, odpad z výroby průmyslových hnojiv, anorganické pesticidy a mnoho dalších. Po dobu provozu spalovny, byl na uvedeném pozemku skladován nebezpečný odpad bez zabezpečení vstupu cizorodých látek do půdy.

Na pozemku o celkové ploše 337m² (včetně budov) bylo vybráno celkem 11 odběrných míst, vzdálených od sebe tak, aby poskytly informace o zatížení půdy na celém pozemku (zejména podél chodníku, kde byly skladovány sudy s chemikáliemi). Na každém odběrném místě bylo sondovací tyčí odebráno minimálně 8 vpichů do hloubky 20 cm na ploše o průměru 3 m kolem zaměřeného bodu (Kacálková a Tlustoš, 2007).



Obrázek 3: Mapa staré spalovny s vyznačenými odběrnými body

Na odběrném bodě č. 5 byla připravena parcelka o ploše 3x3m pro pěstování rostlin, protože na tomto místě byla nalezena nejvyšší koncentrace PCB v půdě (1530 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Pro pěstování byly vybrány tyto rostliny, *Salix x smithiana*, *Helianthus annuus*, *Populus nigra x maximowiczii*, *Zea mays*, každá v počtu 10 kusů. Na konci vegetační sezóny byly sklizeny 4 kusy od každé rostliny, rostliny byly rozděleny na jednotlivé části a z nich připraven směsný vzorek k analýzám.

Experimentální procedury

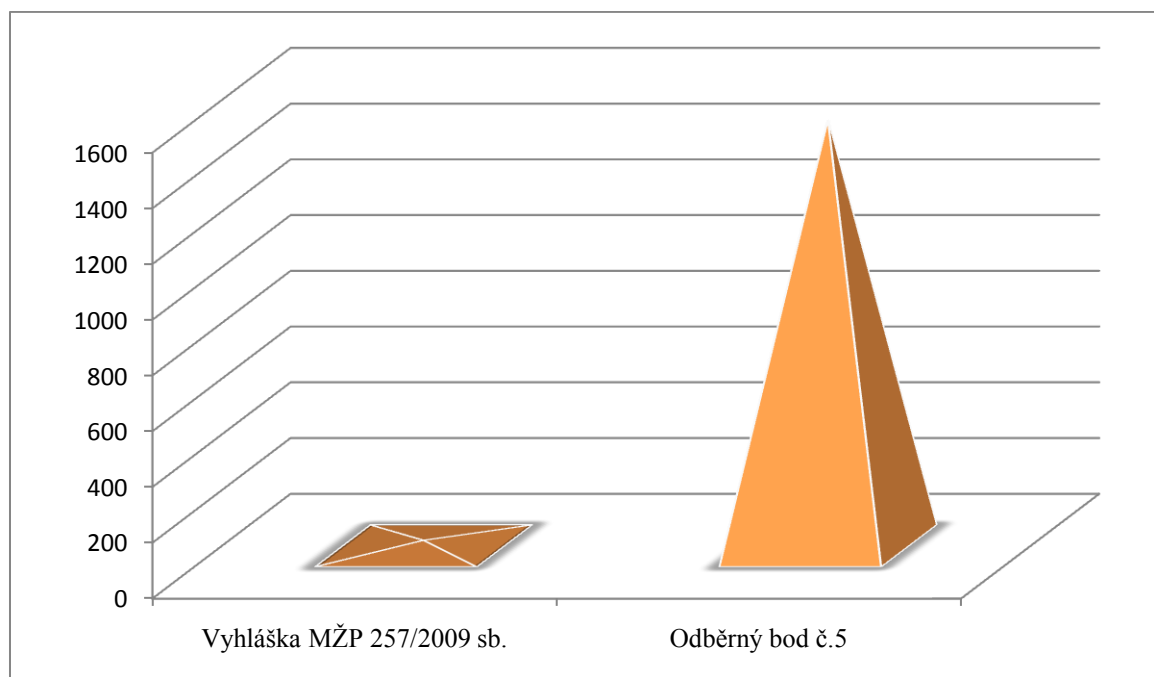
Analýza obsahu PCB v půdních vzorcích a sušině rostlin byla zjištěna v akreditovaných laboratořích Aquatest a. s. v Praze a byla provedena dle EPA Method 505 a EPA Method 8082 následovně: Vysušený vzorek byl extrahován n-hexanem 15 minut v ultrazvukové třepačce a cca 2 hodiny na vibrační třepačce. Po extrakci se nechal pevný podíl usadit. 1 μl přečištěného extraktu byl dávkován do plynového chromatografu, kde probíhala separace na kapilární koloně a detekce separovaných látek na ECD detektoru. Výstupní signál z detektoru byl zpracován pomocí softwaru ChemStation, resp. DataApex, který automaticky vyhodnotil chromatogram dle retenčních časů a zkvantifikoval nalezené komponenty. Stanoveny byly následující kongenery PCB: 28, 52, 101, 118, 138, 153 a 180. Mez stanovitelnosti jednotlivých kongenerů byla 5 ng.l^{-1} vzorku, nejvyšší stanovitelné obsahy v neředěném vzorku byly 50 ng.l^{-1} .

Praktická část

Obsah PCB v půdě

Druh kongeneru	Obsah PCB
PCB kongener č. 28 (2,4,4'-trichlorbifenyl)	16,3
PCB kongener č. 52 (2,2',5,5'-tetrachlor-1,1'-bifenyl)	<20
PCB kongener č. 101 (2,2',4,5,5'-pentachlor-1,1'-bifenyl)	127
PCB kongener č. 118 (2,3',4,4',5-pentachlorbifenyl)	22,8
PCB kongener č. 138 (2,2',3,4,4',5'-hexachlorbifenyl)	401
PCB kongener č. 153 (2,2',4,4',5,5'-hexachlor-1,1'-bifenyl)	424
PCB kongener č. 180 (2,2',3,4,4',5,5'-heptachlorbifenyl)	563
Suma kongenerů	1530

Tabulka 1: Obsah jednotlivých PCB kongenerů v půdních vzorcích ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) z odběrného bodu č. 5.



Graf 1: Porovnání obsahu PCB v půdě spalovny s vyhláškou MŽP 257/2009 sb.

Jak je zobrazeno v grafu č. 1, povolená mez obsahu PCB v půdách daná vyhláškou je na odběrném místě č. 5 převyšena 7650 krát.

Obsah PCB kongenerů v jednotlivých částech pěstovaných rostlin ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

PCB kongener č.	List		Stonek		Kořen	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
28	<5	10,2	<5	5	<5	30,7
52	<5	8,97	<5	<5	<5	32,8
101	<5	5,5	<5	<5	9,73	21,9
118	<5	<5	<5	<5	<5	8,15
138	<5	<5	<5	<5	30,1	14,4
153	<5	<5	<5	<5	33,4	16
180	<5	<5	<5	<5	34,1	18,1

Tabulka 2: Obsah PCB v jednotlivých částech slunečnic

PCB kongener č.	List		Stonek		Kořen	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
28	<5	<5	<5	<5	<5	20,2
52	<5	<5	<5	<5	<5	19,5
101	<5	<5	<5	<5	<5	7,62
118	<5	<5	<5	<5	<5	5,59
138	<5	<5	<5	<5	7,29	5,19
153	<5	<5	<5	<5	5,52	7
180	<5	<5	<5	<5	17,2	10

Tabulka 3: Obsah PCB v jednotlivých částech kukuřic

PCB kongener č.	List		Letorost	
	2008	2009	2008	2009
28	<5	<5	<5	<5
52	<5	<5	<5	<5
101	<5	<5	<5	<5
118	<5	<5	<5	<5
138	<5	<5	<5	<5
153	<5	<5	<5	<5
180	<5	<5	<5	<5

Tabulka 4: Obsah PCB v jednotlivých částech topolů

PCB kongener č.	List		Letorost	
	2008	2009	2008	2009
28	<5	5	<5	<5
52	<5	<5	<5	<5
101	<5	<5	<5	<5
118	<5	<5	<5	<5
138	<5	<5	<5	<5
153	<5	<5	<5	<5
180	<5	<5	<5	<5

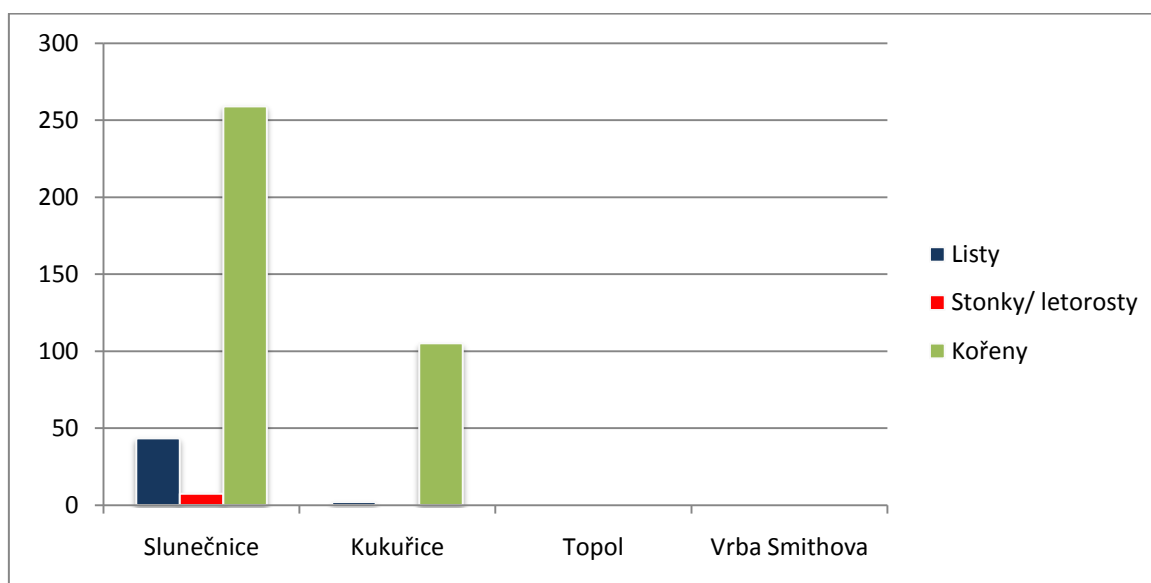
Tabulka 5: Obsah PCB v jednotlivých částech vrb

Nejvyšší příjem PCB byl zjištěn v kořenech kukuřic a slunečnic rostlin, které nejvíce přijímaly PCB kongenery č. 138, 153 a 180. Tyto kongenery mají ve své molekule šest nebo sedm atomů chloru. V porovnání s PCB kongenery č. 28, 52, 101 a 118, které mají ve své molekule tři až pět atomů chloru, kongenery přijímané rostlinami měly ve své molekule více atomů chloru. V půdních vzorcích byla nalezena větší koncentrace kongenery s větším počtem atomů chloru (138, 153 a 180).

Suma PCB kongenerů v jednotlivých částech rostlin ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)

	Slunečnice			Kukuřice			Topol		Vrba	
	Kořen	Stonek	List	Kořen	Stonek	List	Letorost	List	Letorost	List
Suma PCB 2008	18,7	7,35	117	<5	<5	30	<5	<5	<5	<5
Suma PCB 2009	24,7	<5	142	<5	<5	75,1	<5	<5	<5	<5

Tabulka 7: Suma PCB kongenerů v jednotlivých částech rostlin



Graf 2: Průměrná suma kongenerů v jednotlivých částech rostlin za 2 roky pěstování

Graf 2 ukazuje hodnotu sumy PCB kongenerů v jednotlivých částech rostlin pěstovaných na vybrané parcelce č. 5 po dobu dvou let. Obecně vyšší příjem PCB byl zaznamenán v druhém roce pěstování.

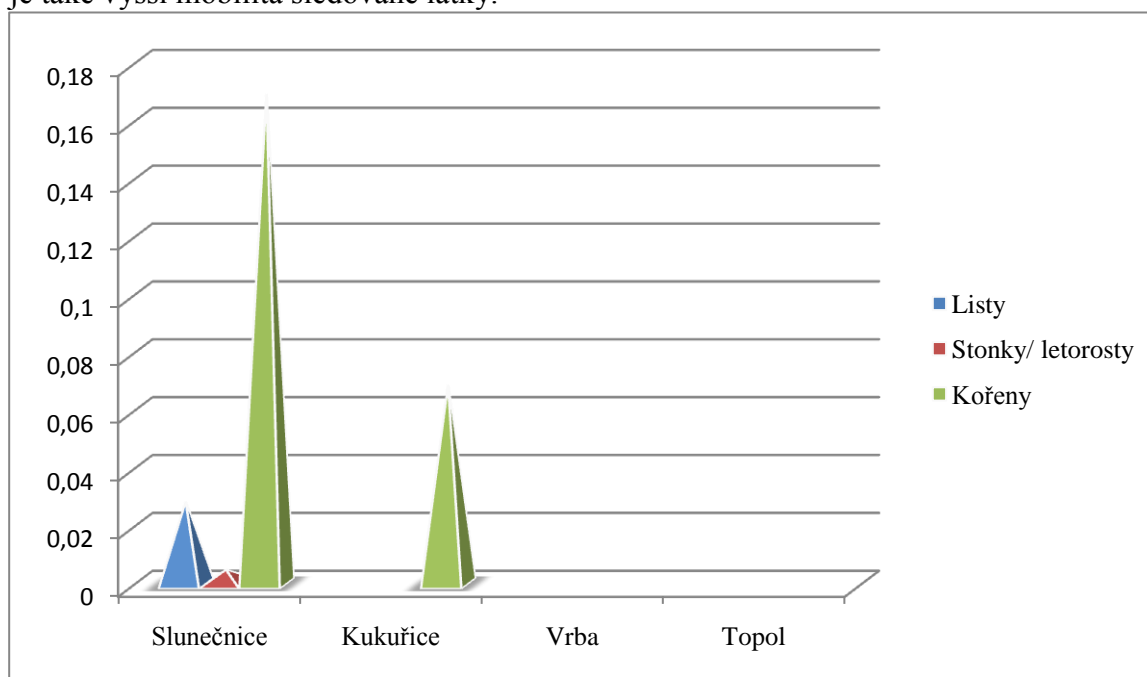
Bioakumulační faktor pěstovaných rostlin

Prvním kritériem hodnoceným při pěstování rostlin na kontaminovaných půdách je obsah rizikových prvků v jednotlivých částech biomasy rostlin. Přesto není možné hodnotit rostliny pouze na základě celkových obsahů, protože ty mohou být v některých případech zavádějící. Neříkají nám nic o schopnosti rostlin odebírat rizikové prvky z půdy ani o potenciální remediační efektivitě pěstování vzhledem k míře znečištění dané oblasti. Remediační schopnosti testovaných druhů je možné mnohem lépe popsat pomocí dalších charakteristik. Schopnost rostlin přijímat prvky z růstového média je vyjádřena poměrem koncentrace prvku v rostlině ku celkovému obsahu prvku v půdě. Tento poměr bývá nazýván Bioakumulační faktor (BCF) (Kabata- Pendias a Pendias, 2001).

Bioakumulační faktor (BCF) je možné vypočítat takto:

$$BCF = \frac{\text{Obsah PCB v rostlině}}{\text{Obsah PCB v půdě}}$$

Jedná se tedy o osvojovací schopnost rostliny pro danou látku/prvek. Čím je jeho hodnota vyšší, tím má rostlina větší schopnost akumulovat sledovanou látku ve své biomase, a zároveň je také vyšší mobilita sledované látky.



Graf 3: Bioakumulační faktor celkového obsahu PCB v rostlinách po 2 letech pěstování ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Nejvyšší hodnota BCF byla nalezena v kořenech u slunečnic a kukuřic ($0,169 \mu\text{g.kg}^{-1}$ a $0,069 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Největší hodnota BCF v nadzemní biomase rostlin, byla nalezena v listech slunečnice, $0,028 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Například Strek et al. (1981) našel hodnotu BCF v nadzemní biomase rostlin v rozsahu od 0,001 v kukuřici (*Zea mays*) až po maximum 0,041 u červené řepy (*Beta vulgaris*). White et al. (2006) našel hodnotu BCF v nadzemní biomase 0,2 u *Cucurbita pepo* (cuketa) pěstované na kontaminované půdě s obsahem PCB $105 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Mikes et al. (2009) testoval ředkev setou (*Raphanus sativus*) a našel hodnotu BCF mezi 0,01 a 0,22 a v nadzemní biomase byla hodnota BCF až 0,54.

Závěr

Porovnáním hodnot celkového obsahu PCB s vyhláškou stanovující maximální povolenou koncentraci PCB v půdách jsme zjistili, že na pozemku bývalé spalovny byla na jednom bodě (č. 5) 7650 krát převyšena stanovená koncentrace.

Podarilo se nám vypěstovat testované rostliny (*Salix x smithiana*, *Helianthus annuus*, *Populus nigra x maximowiczii*, *Zea mays*) každou v počtu 10 kusů v místě odběrného bodu č. 5. Na konci vegetační sezóny byly sklizeny 4 kusy od každé rostliny, následně rozděleny na jednotlivé části a z nich připraveny směsné vzorky k analýzám.

Porovnáním hodnot PCB kongenerů v jednotlivých částech rostlin bylo zjištěno:

- Obecně vyšší akumulční schopnost rostlin byla zjištěna u PCB kongenerů, které obsahují ve své molekule šest nebo sedm atomů chlorů tedy kongenery č. 138, 153 a 180.
- Nejvíce rostliny přijímaly PCB kongener č. 153 do svých kořenů, naopak nejméně rostliny přijímaly PCB kongener č. 118.
- Slunečnice roční přijímala PCB i do svých nadzemních částí, do listů, je tedy nejvhodnější pro akumulaci PCB.

Z vypočteného bioakumulačního faktoru lze vyvodit tyto závěry:

- Nejvhodnější pro odstranění PCB z půd z námi sledovaných rostlin je slunečnice roční.

S porovnáním s výsledky z loňského roku můžeme vyvodit tyto závěry:

- Slunečnice roční je nejen vhodná k akumulaci PCB, ale je také vhodná k akumulaci rtuti. Slunečnice také přijímala ve větší míře arzen avšak pouze do svých kořenů.
- Vrba Smithova je vhodná k akumulaci kadmia a rtuti, PCB však nepřijímala do žádné ze svých částí.

Z našeho dvouletého sledování vyplývá, že některé námi pěstované rostliny lze využít pro dekontaminaci takto znečištěných půd. Nevýhodou námi testované technologie však je dlouhá doba, která je potřebná k odstranění kontaminantu z půdy. Při dalším sledování by bylo vhodné se také zaměřit na půdní vlastnosti (např. pH, obsah organické hmoty atd.), které také ovlivňují přístupnost PCB k rostlinám.

Citovaná literatura

- Alexander M., Aleem M. I. H. (1961): *J. Agric. Food Chem.*, 9, 44.
- Baird C. (1998): *Environmental chemistry*. University of Western Ohio. W.H. Freeman and Company, New York, 291-379.
- Baird C. (1999): *Environmental chemistry*. W. H. Freeman and company, New York.
- Beck A. J., Johnston D. L., Jones K. C. (1996): *The form and bioavailability of non-ionic organic chemicals in sewage sludge amended soils*. *Sci. Tot. Environ.*, 246 (1): 51-60.
- Bobovnikova TJ., Alekseeva L.B., Dibtseva A.V., Chemik G.V., Orlinsky D.B., Pripulina LV., Pleskachevskaya G.A. (2000): *The influence of a capacitor plant in Serpukhov on vegetable contamination by polychlorinated biphenyls*. *Sci. Tot. Environ.*, 246 (1): 51-60.
- Campanella B.F., Bock C., Schroder P. (2001): *Phytoremediation to increase the degradation of PCBs and PCDD/Fs - Potential and limitations*. *Environ. Sci. & Pollut. Res.*, 9 (1): 73-85.
- Demnerová K. (2001): *Bioremediační technologie k odstranění polycyglorovaných bifenylyů ze životního prostředí*. Úvodní národní inventura POPs v ČR. RECETOX - TOCOEN & Associates: 78-81.
- Demnerová K. (2003): *Bioremediační technologie k odstranění polycyglorovaných bifenylyů ze životního prostředí*. Úvodní národní inventura POPs v ČR. RECETOX - TOCOEN & Associates No. 249: 75-84.
- Hetflejš J. (1993): *Chem. Listy*, 87, 407-417.
- Hetflejš J. (1994): *Chem. Listy*, 88, 545-556.
- Holoubek I., Holoubková I., Kočan A., Kohoutek J., Machálek P., Pekárek V., Bureš V. (1999): *Podklady pro důvodovou zprávu pro ratifikaci Protokolu POPs*. RECETOX - TOCOEN & Associates, Brno. TOCOEN REPORT No, 149.
- Holoubek I., Rieder M., Kužílek V., Čupr P. (2003): *Základní charakteristiky sledovaných látek*. Národní inventura persistentních organických polutantů v České republice. RECETOX - TOCOEN & Associates, Brno. TOCOEN REPORT No, 249.
- Hoffman D.J., Rattner B.A., Brton G.A., Jr., Cairns J., Jr. (2001): *Handbook of Ecotoxicology*, 424-439, CRC Press, Inc., Boca Raton.
- Chu S.G., Cai M.L., Xu X.B. (1999): *Soil-plant transfer of polychlorinated biphenyls in paddy fields*. *Sci. Tot. Environ.*, 234 (1-3): 119-126.
- Janča, J., Zentrich, J.A.: *Herbář léčivých rostlin 4*. Eminent, Praha, 2004. ISBN 80-85876-20-5
- Javorská, H., Tlušťos P., Pavlíková, D., Najmanová, J.: *Use of Plants for Remediation of Soil Contaminated with Polychlorinated Biphenyls*. In: Proceedings of 11th International

Conference Reasonable Use of Fertilizers. Czech University of Agriculture in Prague, Department of Agroenvironmental Chemistry and Plant Nutrition, 2004: p. 115- 118.

Kabata, Pendias A. - Pendias H.: *Trace Elements in Soils and Plants*, 3rd Edition, CRC Press, Boca Raton, USA, 2001

Kacálková, L., Tlustoš, P.: *Směsná kontaminace plochy bývalé spalovny v Hradci Králové*. Východočeský sborník přírodovědný – Práce a studie, 14, 2007. ISBN 978-80-86046-94-5

Kol. autorů: *Kukuřice setá* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. [citováno 24.6. 2008]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Kuku%C5%99ice_set%C3%A1

Kučerová P., Macková M., Macek T., 1999: *Perspektivy fytořemediace při odsraňování organických polutantů a xenobiotik z životního prostředí*. Chemické listy, vol. 93: 19-26.

Lakomá, M.: *Slunečnice roční* [online]. [citováno 24.6. 2008]. Dostupné z: <http://www.slunecnice.cz/texty/slunecnice-rocni/>

Mikes, O., Cupr, P., Stefan, T., Klanova, J.: Uptake of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides from soil and air into radishes (*Raphanus sativus*). Environmental Pollution, 2009, 155: p. 488-496

Mikl P. (1996): *Planeta*, 17-19.

Novák P. a kol., 1998: *Závěrečná zpráva projektu PPŽP 620/7/97 „Zpracování a vyhodnocení celkového stavu narušení a trendů degradace půd ČR“*. Praha.

Procházka L., Bříza J., Martan A., Krpálková J. (1990): *Prakt. Lék.*, 70, 207-210.

Pulkrábek, J., Capouchová, I.: *Speciální fytořemediace*. Skripta ČZU Praha, 2003. ISBN 80-213-1020-0

Soudek, P.: *Fytořemediace*. [online]. ueb.cas. [cit. 4.1.2009]. Přístup z: <http://www.ueb.cas.cz/Laboratory%20of%20Plant%20Biotechnologies/fytořemediace.pdf>

Strek, H. J., Weber, J. B., Shea, P. J., Mrozek, E., Overcash, M. R.: Reduction of polychlorinated biphenyls toxicity and uptake of carbon- 14 activity by plants through the use of activated carbon. J. Agric. Food Chem., 1981, 29: p. 288-293

Šnobl, J., Štand, J., Vašák, J., Zimolka, J.: *Energetické využití rostlinné biomasy*. Dílčí část skript Rostlinná výroba IV. Skripta ČZU v Praze, 2004. ISBN 80-213-1153-3

Šroller a kol.: *Speciální fytořemediace – rostlinná výroba*. Ekopress, Praha, 1997. ISBN 80-86119-04-1

Tlustoš, P., Pavlíková, D., Balík, J., Száková, J., Hanč, A., Balíková, M.: *Příjem a distribuce arzenu a kadmia rostlinami*. *Plant Soil Environ.*, 2001, vol. 44, no. 10, s. 463-469

Tlustoš, P., Száková, J., Vysloužilová, M., Pavlíková, D., Weger, J., Javorská, H.: *Variation in the uptake of Arsenic, Cadmium, Lead, and Zinc by different species of willows Salix spp. Grown in contaminated soils*. Central European Journal of Geology 2(2), 2007: s. 254-275

Višnovský P., [et al.] (1997): *Farmakologie látek znečišťujících životní prostředí*, Karolinum, Praha, ISBN 80-7184-407-1. 230.

Vyhláška MŽP ČR č. 257/2009 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu.

Weber, M. D., Pietz R. I., Granato T. C., Svoboda M. L., 1990: *Plant uptake of PCB and other organic contaminants from sludge- treated coal rouse*. J. Environ. Qual. 23:1019-26

Weger, J.: *Rychle rostoucí dřeviny a potenciál jejich využití v podmínkách ČR*. Disertační práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007, 130s.

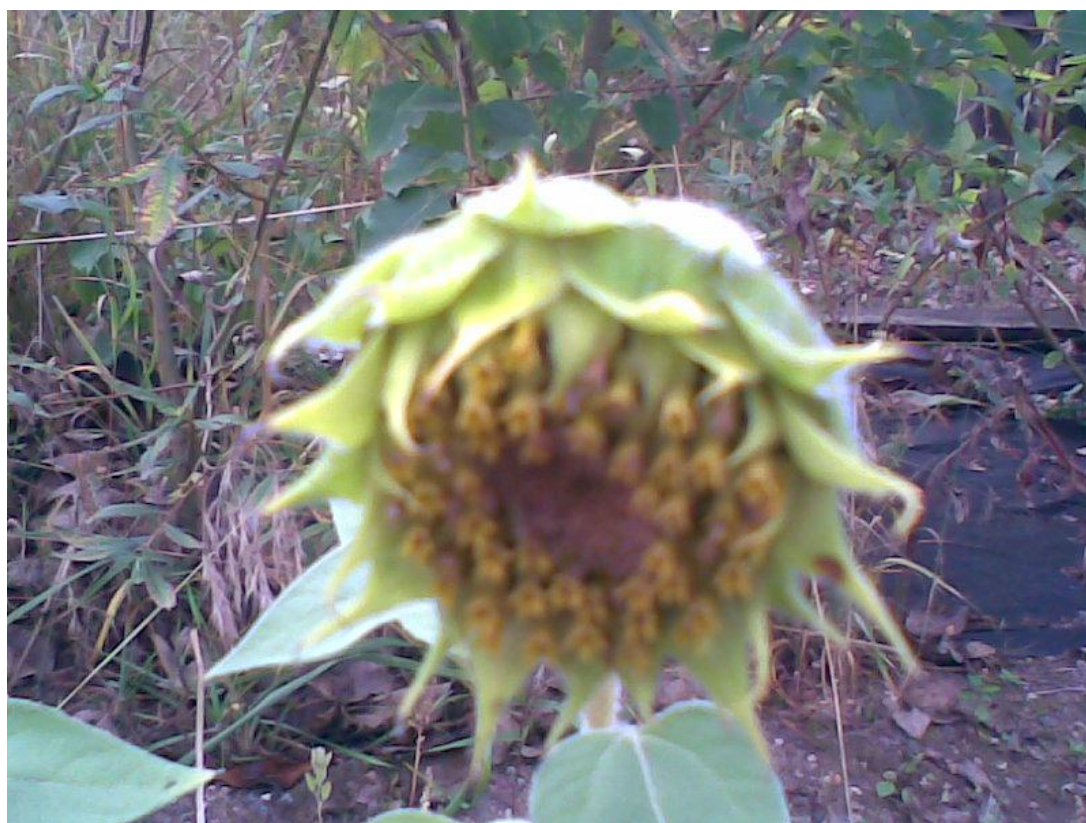
White, J., Parrish, Z., Isleyen, M., Gent M., Iannucci-Berger, W., Eitzer, B., Kelsey, J., Mattina. M.: Influence of citric acid amendmets on the availability of weathered PCBs to plant and earworm species. Int. J. Phytoremediation, 2006, 8: p. 63-79

Zeeb B. A., Amphlett J. S., Rutter A., Reimer K. J., 2006: *Potential for phytoremediation of polychlorinated biphenyls-(PCB)-contaminated soil*. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 8: 199-221.

Přílohy



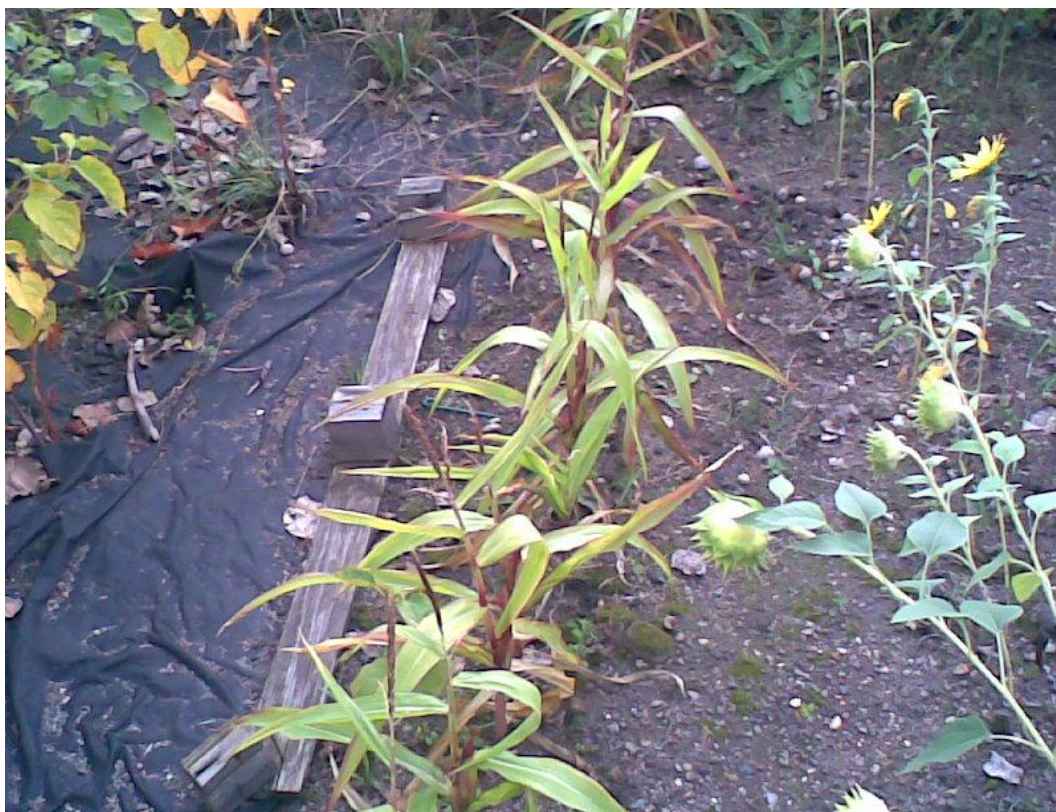
Obrázek 4: Pozemek pro pěstování



Obrázek 5: Vypěstovaná slunečnice



Obrázek 6: Vypěstovaný topol



Obrázek 7: Vypěstované kukuřice



Obrázek 8: Malé slunečnice



Obrázek 9: Malé vrby



Obrázek 10: Pozemek pro pěstování 2



Obrázek 11: Stará spalovna