

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně
Sekce úřední kontroly
Odbor zemědělské inspekce



VÝSLEDKY AKTIVNÍHO BIOMONITORINGU

Zpráva za rok 2011

Zpracovala: Ing. Lenka Klementová

Schválila: Mgr. Šárka Poláková, Ph.D.
vedoucí Oddělení bezpečnosti půdy a lesnictví

1. Úvod

Aktivní biomonitoring je jednou z možných metod vedoucích ke zjištění aktuálních atmosférických depozičních zátěží krajiny a především zemědělské produkce vybranými prvky. Spočívá v cíleném vystavení vybraných rostlin vlivům těchto prvků v zájmovém území a sledování jejich reakce. Ověřování metody aktivního biomonitoringu v podmínkách naší republiky bylo ukončeno v roce 1999 (PAVLÍČEK et al., 2000). Na základě výsledků tohoto ověřování byla vypracována metodika aktivního biomonitoringu, která je od roku 2000 používána na vybraných stanovištích ÚKZÚZ ke zjišťování pozadových hodnot vybraných anorganických a organických polutantů. Jako bioindikátory byly zvoleny jílek mnohokvětý a borovice černá. Výsledky biomonitoringu je možné použít jako referenční hodnoty při hodnocení atmosférické depozice na dalších lokalitách.

Tato zpráva obsahuje výsledky získané v roce 2011.

2. Charakteristika stanovišť

ÚKZÚZ zajišťuje provoz čtyř stanovišť v Čechách, na Moravě a Slezsku (Lípa, Přerov nad Labem, Opava a Jaroměřice nad Rokytnou), která jsou považována za relativně čistá i imisně nezatížená, a proto výsledky z těchto stanovišť mohou být považovány za pozadové hodnoty. Na těchto stanovištích probíhá sledování standardizovaných kultur jílku mnohokvětého. Stanoviště Jaroměřice nad Rokytnou bylo založeno jako náhrada za stanoviště v Třešti v roce 2009. Stanoviště Lípa bylo založeno v roce 2010 jako náhrada za stanoviště v Závišíně.

Dále se pomocí borovice černé porovnává úroveň znečištění ovzduší na dvou čistých (Závišín a Opava) a dvou zatížených stanovištích (Plzeň a Vratimov).

2.1. Charakteristika čistých stanovišť

045 (4025B) - Závišín	Karlovarský kraj, Chráněná krajinná oblast Slavkovský les
nadmořská výška	750 m n.m.
klimatický region	mírně chladný, vlhký
	průměrná roční teplota 6,4 °C
	průměrný roční úhrn srážek 702 mm
umístění stanoviště	na zahrádce rodinného domku v malé osadě, 3 km severně od Mariánských Lázní
možné zdroje kontaminace	- lokální topeniště osady - 3 km jižně město Mariánské Lázně - 25 km severně průmyslová oblast Sokolovsko

017 (2003 BO) - Přerov nad Labem	Středočeský kraj
nadmořská výška	182 m n.m.
klimatický region	teplý, mírně suchý
	průměrná roční teplota 8,5 °C
	průměrný roční úhrn srážek 550 mm
umístění stanoviště	areál odrůdové zkušebny na jihovýchodním okraji malé obce
možné zdroje kontaminace	- hospodářský dvůr - traktory, auta - lokální topeniště - 20 km západně pražské průmyslové čtvrti

121 (7005 B) – Jaroměřice nad Rokytnou	Kraj Vysočina, jihovýchodní část Českomoravské vrchoviny
nadmořská výška	425 m n.m.
klimatický region	mírně teplý, mírně vlhký
	průměrná roční teplota 8° C
	průměrný roční úhrn srážek 480 mm
umístění stanoviště	v areálu zkušební stanice na západním okraji obce
možné zdroje kontaminace	- lokální topeniště obce (obec je plynofikována) - hospodářský dvůr - traktory, auta - 10 km jihozápadně město Moravské Budějovice

145 (8002 B) - Opava	odrůdová zkušebna Pusté Jakartice , Moravskoslezský kraj
nadmořská výška	293 m n.m.
klimatický region	mírně teplý, mírně vlhký
	průměrná roční teplota 7-8 °C
	průměrný roční úhrn srážek 550 - 700 mm
umístění stanoviště	na okraji malé osady asi 6 km od severovýchodního okraje města Opavy
možné zdroje kontaminace	- lokální topeniště osady - hospodářský dvůr - 6 km jihozápadně město Opava

6002 B - Lípa	Kraj Vysočina, Českomoravská vrchovina
nadmořská výška	505 m n.m.
klimatický region	mírně chladný, vlhký
	průměrná roční teplota 7,5 °C
	průměrný roční úhrn srážek 594 mm
umístění stanoviště	vedle zkušební stanice Lípa v oploceném areálu studní na pitnou vodu na zatravněném pozemku
možné zdroje kontaminace	- lokální topeniště obce Lípa - 6,5 km severovýchodně město Havlíčkův Brod

2.2. Charakteristika zatížených stanovišť

901 - Plzeň	Plzeňský kraj
nadmořská výška	302 m n.m.
klimatický region	mírně teplý, suchý
	průměrná roční teplota 7-8 °C
	průměrný roční úhrn srážek 500 mm
umístění stanoviště	2,5 km východně na travnaté ploše ČOV Plzeň
možné zdroje kontaminace	- 500 m severozápadně seřadovací nádraží ČD - 1 km jižně výtopna městské části Doubravka - 1 km severozápadně výtopna města Plzně - 5 km severozápadně provozy podniku Škoda

903 - Vratimov	Moravskoslezský kraj
nadmořská výška	244 m n.m.
klimatický region	mírně teplý, vlhký
	průměrná roční teplota 8 °C
	průměrný roční úhrn srážek 800 mm
umístění stanoviště	obec na jihovýchodním předměstí Ostravy, v objektu zemědělského provozu firmy Lyčka
možné zdroje kontaminace	- lokální topeniště obce - 1 km severně zpracování strusky z okolních hald - 3 km severně ISPAT Nová Huť a návazně průmyslová aglomerace Ostravska

3. Metodika

Jako testovací rostliny slouží:

- **jílek mnohokvětý** (odrůda Fabio) – schválené osivo jílků mnohokvětých
- **borovice černá**

Dřeviny byly na stanovišti v Závišíně, Plzni, Opavě a Vratimově vysázeny do velkoobjemových dřevěných kontejnerů a jednotného substrátu v roce 1997.

V roce 2008 uhynuly v letním období borovice na stanovišti ve Vratimově, byly nahrazeny novými dřevinami. V roce 2009 uhynuly obě borovice na stanovišti v Plzni, rovněž v letním období. Ušlé rostliny byly nahrazeny novými.

3.1. JÍLEK

3.1.1. Příprava květináčů

Jílek byl vyset do plastových květináčů o průměru 20 cm, jejichž dnem byly protaženy dostatečně dlouhé samozavlažovací nasávací knoty ze sklolaminátové textilie o šířce 3 cm. Po protažení knotů otvory ve dně byly květináče naplněny substrátem tak, aby knoty zasahovaly min. do 2/3 objemu substrátu a substrát dosahoval 4 cm pod okraj květináče. Takto připravené květináče byly osety 4 g jílků mnohokvětých. Osivo bylo rovnoměrně rozděleno po celé ploše květináče, zasypáno 5 mm vrstvou substrátu a stlačeno pomocí šablony. Oseté květináče byly zality deionizovanou vodou a umístěny do plastových zásobníků s deionizovanou vodou tak, aby knoty mohly substrát udržovat neustále vlhký.

3.1.2. Údržba porostu

Dva týdny po zasetí se vzešlý jílek sestříhal nůžkami k okraji květináče. Po týdnu (tj. 3 týdny po zasetí) se porost sestříhal znovu. Po dalším týdnu (tj. 4 týdny po zasetí) se uskutečnil další sestřih a k jílku se aplikovalo 50 ml hnojivého roztoku. Hnojivý roztok sestával z 5,8 g kyselého fosforečnanu draselného (KH_2PO_4), 8,5 g dusičnanu draselného (KNO_3) a 5,3 g dusičnanu amonného (NH_4NO_3), rozpuštěných v litru deionizované vody. Po 5 týdnech od zasetí byly květináče umístěny na určené stanoviště, kde se porost naposledy sestříhal a aplikovalo se k němu dalších 100 ml hnojivého roztoku.

3.1.3. Expozice

Na každé expoziční stanoviště bylo umístěno šest květináčů s předpěstovanou kulturou jílků mnohokvětých. Květináče byly zasazeny do plastových zásobníků s deionizovanou vodou, do které byly nasávací knoty trvale ponořeny. Květináče se zásobníky vody byly umístěny do kovových stojanů tak, aby horní okraj květináčů byl ve výši 150 cm. Jílek byl exponován vždy po dobu jednoho měsíce.

3.1.4. Odběr vzorků

Na konci expoziční doby se jílek sestříhal k úrovni okraje květináče. Travní hmota se sklízela v rukavicích, aby odebíraný vzorek nepřišel do styku s pokožkou. Sestříhaný porost ze všech květináčů se smíchal do jednoho směsného vzorku. Ke stanovení organických polutantů bylo naváženo 3 x 10 g travní hmoty. Tyto navážky byly v alobalu uloženy do chladu,

případně byly zamrazeny. Zbytek vzorku se nechal při pokojové teplotě vysušit ke stanovení anorganických polutantů. V roce 2011 proběhlo celkem šest měsíčních cyklů (květen až říjen).

3.2. BOROVICE

Jehlice borovice černé (pouze jednoleté bez bazálních částí) se odebíraly k analýzám dvakrát ročně, a to na jaře (k 1.4.) a na podzim (k 1.10.).

3.3. STANOVOVANÉ PRVKY A SLOUČENINY

Odebrané vzorky asimilačních orgánů analyticky zpracovala Národní referenční laboratoř (dále jen NRL), regionální oddělení Opava podle metodických postupů - Analýza rostlinného materiálu - Jednotné pracovní postupy (Zbíral J. a kol., 2005). Ve vzorcích se stanovovaly anorganické polutanty (Hg, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr, V, Cu, Mn, As, Mo, Fe, Al a S) a 16 polycyklických aromatických uhlovodíků (16 EPA PAU):

acenaphtene	ANA	dibenzo[a,h]anthracene	DBA
anthracene	ANT	fluoranthene	FLT
acenaphtylene	ANY	fluorene	FLU
benzo[a]anthracene	BaA	chrysene	CHR
benzo[a]pyrene	BaP	indeno[1,2,3-c,d]pyrene	IPY
benzo[b]fluoranthene	BbF	naphtalene	NAP
benzo[k]fluoranthene	BkF	phenanthrene	PHE
benzo[g,h,i]perylene	BPE	pyrene	PYR

V počátečních letech sledování nebyl v NRL stanovován acenaphtylene (ANY). Vzhledem k tomu, že se ve vzorcích vyskytuje jen v zanedbatelném množství, výsledky uváděné v předcházejících zprávách (suma 15 PAU) se považovaly za srovnatelné s literárními údaji pro všech 16 EPA PAU. Od roku 2008 je stanovováno ve vzorcích jílku a jehličí všech 16 EPA PAU.

Obsahy anorganických polutantů byly vyjádřeny v mg.kg^{-1} sušiny, obsahy aromatických uhlovodíků v $\mu\text{g.kg}^{-1}$ čerstvé biomasy. V případech, kdy se obsah zjišťovaného polutantu nacházel pod hranicí meze stanovitelnosti, byla pro výpočet průměru použita poloviční hodnota meze stanovitelnosti.

Získaná biomasa byla přednostně používána ke stanovení obsahu organických polutantů.

3.4. SUBSTRÁT

Pro všechna stanoviště je každý rok pro výsev jílku zajišťován jednotný rašelinový substrát, jehož vzorek je analyzován v NRL. Výsledky rozboru vzorku substrátu dodaného v roce 2011 jsou uvedeny v příloze - tabulka č. 17.

4. Výsledky a diskuse

4.1. JÍLEK VE VEGETAČNÍM OBDOBÍ 2011

V roce 2011 se na většině stanovišť podařilo sklídit dostatečné množství hmoty jílku k rozborům jak na anorganické, tak na organické polutanty. Pouze na stanovišti v Lípě v srpnu nenarostl dostatek hmoty jílku pro stanovení síry a v říjnu pro stanovení rizikových prvků, sklizený jílek se přednostně použil na stanovení PAU. Na stanovišti v Opavě nenarostl jílek v červnu.

4.1.1. Anorganické polutanty v jílku

Průměrné, maximální a minimální obsahy anorganických polutantů zjištěné v jílku ze všech sledovaných stanovišť jsou uvedeny v tabulce 1 a jsou zde porovnány s požadovými hodnotami z Rakouska (Öhlinger, 2002).

Tabulka 1: Obsahy anorganických polutantů v jílku (aritmetický průměr za vegetační období 2011)

	2011			požad'ová hodnota ¹⁾
	průměr	maximum	minimum	
	mg.kg ⁻¹ sušiny			
Al	74,9	108,3	48,43	x
As	3,51	6,19	1,01	0,25
Cd	0,03	0,08	< 0,05	0,2
Cr	0,34	0,59	< 0,30	0,5
Cu	3,51	4,62	2,72	15
Fe	123,3	195,8	92,24	x
Hg	0,013	0,029	0,008	0,025
Mn	150,3	211,6	94,2	x
Mo	0,68	1,19	< 0,60	4,0
Ni	0,74	1,06	0,47	3,5
Pb	0,55	1,25	< 0,50	2,6
S	2522	4971	1108	5000
V	< 0,50	< 0,50	< 0,50	0,25
Zn	23,14	31,15	15,51	90

x - údaj chybí

¹⁾ Öhlinger, 2002

Za vegetační období 2011 byly průměrné obsahy většiny sledovaných prvků nižší než požadové hodnoty z Rakouska (tabulka 1). Výjimkou je arzén, u něhož došlo na všech stanovištích u všech vzorků k překročení požadové hodnoty pro arzén uváděné Öhlingerem (2002). I minimální hodnota arzenu zjištěná v jílku ze stanoviště v Opavě (1,01 mg.kg⁻¹) v říjnu je čtyřnásobně vyšší než uváděná požadová hodnota. U chromu a rtuti došlo

k překročení pozadových hodnot jen v některém ze sledovaných měsíců. U chrómu byla překročena pozadová hodnota v X. měsíci na stanovišti v Jaroměřicích ($0,59 \text{ mg.kg}^{-1}$). Na tomto stanovišti byly obsahy chrómu vyšší v porovnání s ostatními stanovišti i v jiných měsících sledování, nepřekračují však pozadovou hodnotu. Obsah rtuti v jílku byl vyšší než pozadová hodnota na stanovišti v Opavě ($0,029 \text{ mg.kg}^{-1}$) v V. měsíci sledování. U vanadu jsou hodnoty pod hranicí meze stanovitelnosti na všech stanovištích.

Podrobně jsou obsahy anorganických polutantů rozvedeny v tabulce 13 v příloze.

Mezi stanovišti jsou u některých anorganických polutantů výraznější rozdíly, jak je zřejmé z porovnání průměrných obsahů anorganických polutantů na jednotlivých stanovištích (tabulka 2). Na stanovišti v Jaroměřicích jsou v jílku vyšší obsahy arzenu, chrómu a molybdenu, na stanovišti v Přerově n. L. manganu a niklu, v Opavě olova.

Tabulka 2: Obsah anorganických polutantů v jílku na jednotlivých stanovištích (aritmetický průměr za vegetační období 2011)

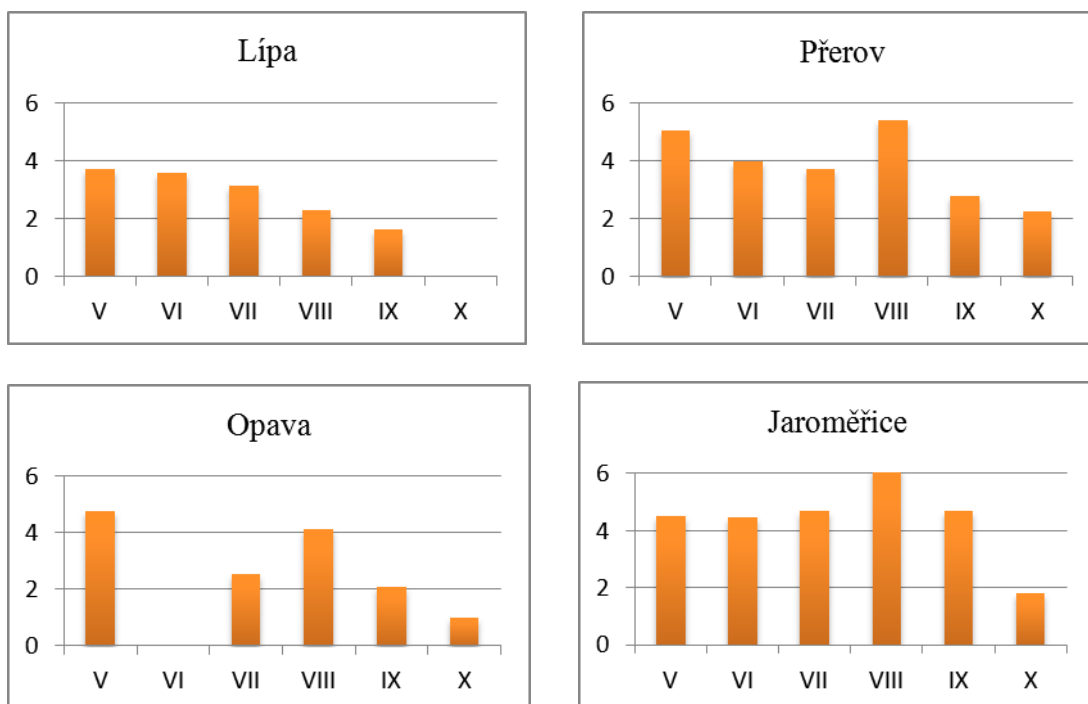
	Lípa	Přerov n/L	Opava	Jaroměřice
	mg.kg^{-1} sušiny			
Al	60,3	77,9	75,1	86,1
As	2,86	3,87	2,91	4,40
Cd	< 0,05	0,05	0,03	0,03
Cr	0,26	0,30	0,33	0,47
Cu	3,36	3,58	3,63	3,47
Fe	111,9	115,7	145,1	120,4
Hg	0,010	0,013	0,018	0,010
Mn	115,8	187,0	143,3	155,3
Mo	0,62	0,54	0,48	1,07
Ni	0,62	0,89	0,71	0,72
Pb	0,32	0,50	0,86	0,53
S	2872	3233	2318	1663
V	<0,50	< 0,50	<0,50	< 0,50
Zn	23,64	26,89	22,97	19,07

Při porovnání průměrných obsahů anorganických polutantů v jílku v závislosti na průběhu vegetačního období 2011 jsou u většiny jednotlivých anorganických polutantů nejvyšší hodnoty na konci vegetačního období (X. měsíc), výjimkou je arsen a molybden, jejichž průměrné obsahy jsou nejvyšší na počátku sledovaného období. Nejnižší průměrné obsahy anorganických polutantů byly zjištěny převážně v VI. měsíci, výjimkou je arsen, jehož nejnižší hodnoty byly zjištěny na konci vegetačního období, rovněž u molybdenu byly zjištěny nižší průměrné hodnoty ke konci vegetačního období (tabulka 3). Průměrné obsahy jednotlivých anorganických polutantů mohou být částečně zkresleny chybějícími hodnotami ze stanoviště v Lípě (X. měsíc) a v Opavě (VI. měsíc).

Tabulka 3: Změny obsahu anorganických polutantů v jílku v průběhu vegetačního období (aritmetický průměr stanovišť v měsících 2011)

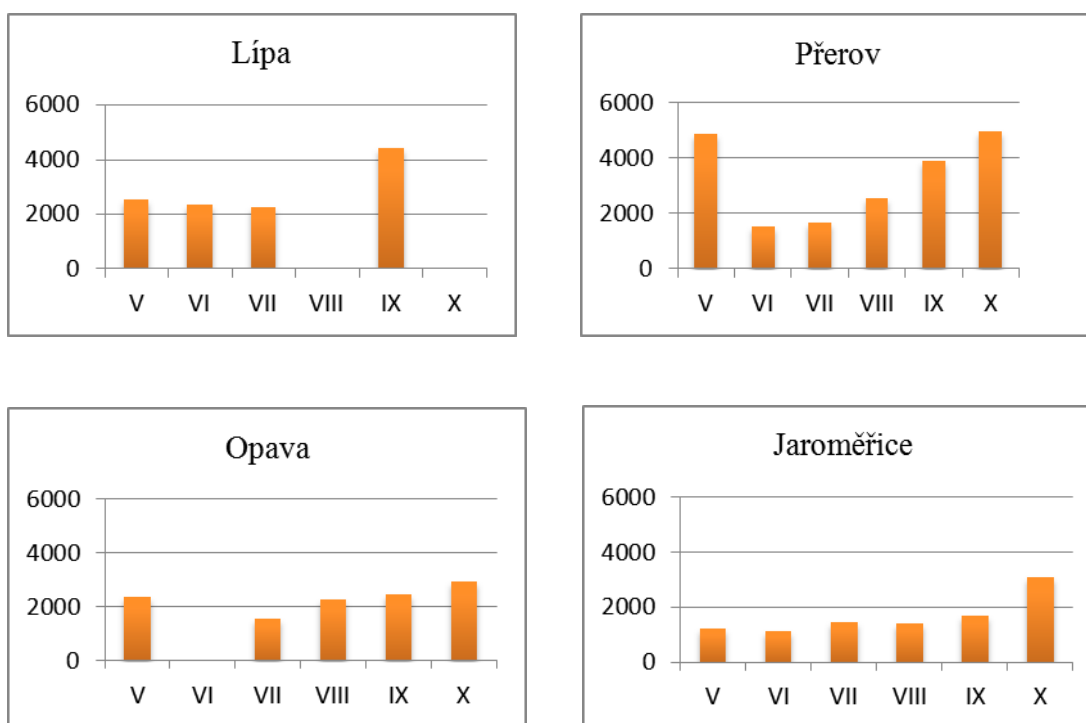
	V	VI	VII	VIII	IX	X
	mg.kg ⁻¹ sušiny					
Al	70,2	62,0	73,2	71,0	83,1	95,0
As	4,51	3,64	3,93	3,99	2,54	2,03
Cd	< 0,05	< 0,05	0,05	0,04	0,03	0,05
Cr	0,31	0,24	0,35	0,32	0,39	0,47
Cu	3,53	3,04	3,24	3,46	3,76	4,55
Fe	126,4	96,2	112,3	119,9	131,8	150,7
Hg	0,014	0,010	0,013	0,013	0,011	0,015
Mn	135,3	136,1	160,7	154,8	151,5	177,3
Mo	0,93	0,81	0,94	0,47	0,46	0,52
Ni	0,74	0,61	0,70	0,75	0,82	0,98
Pb	0,47	< 0,50	0,65	0,72	0,40	0,75
S	2745	1644	1718	2071	3105	3673
V	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Zn	22,6	21,1	22,7	24,3	23,7	24,0

Nejvyšší a nejnižší obsahy anorganických polutantů nebývají na jednotlivých stanovištích vždy zjištěny ve stejném období. Téměř shodný průběh zjištěných hodnot je na všech stanovištích u arzenu v druhé polovině vegetačního období, kdy na konci vegetačního období došlo k výraznému poklesu hodnot. Na stanovišti v Opavě a Lípě byla naměřena maxima na začátku vegetačního období, na stanovišti v Přerově n. L. a Jaroměřicích v VIII. měsíci sledování (graf 1).

Graf 1: Změny obsahů arzenu v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2011 (mg.kg⁻¹ sušiny)

Naopak u síry byly nejvyšší hodnoty na konci vegetačního období; v Opavě a Přerově n. L. jsou vyšší hodnoty i na začátku vegetačního období (graf 2). Vyšší hodnoty ke konci sledovaného období mohou být ovlivněny začínající topnou sezónou.

Graf 2: Změny obsahů síry v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2011 (mg.kg^{-1} sušiny)

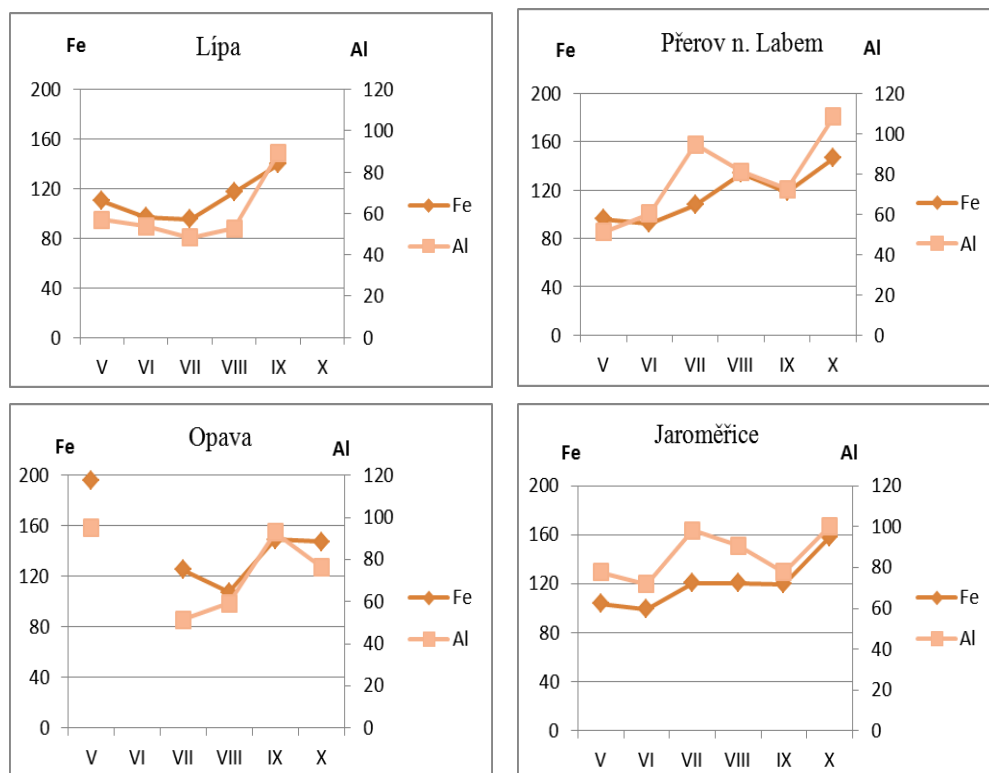
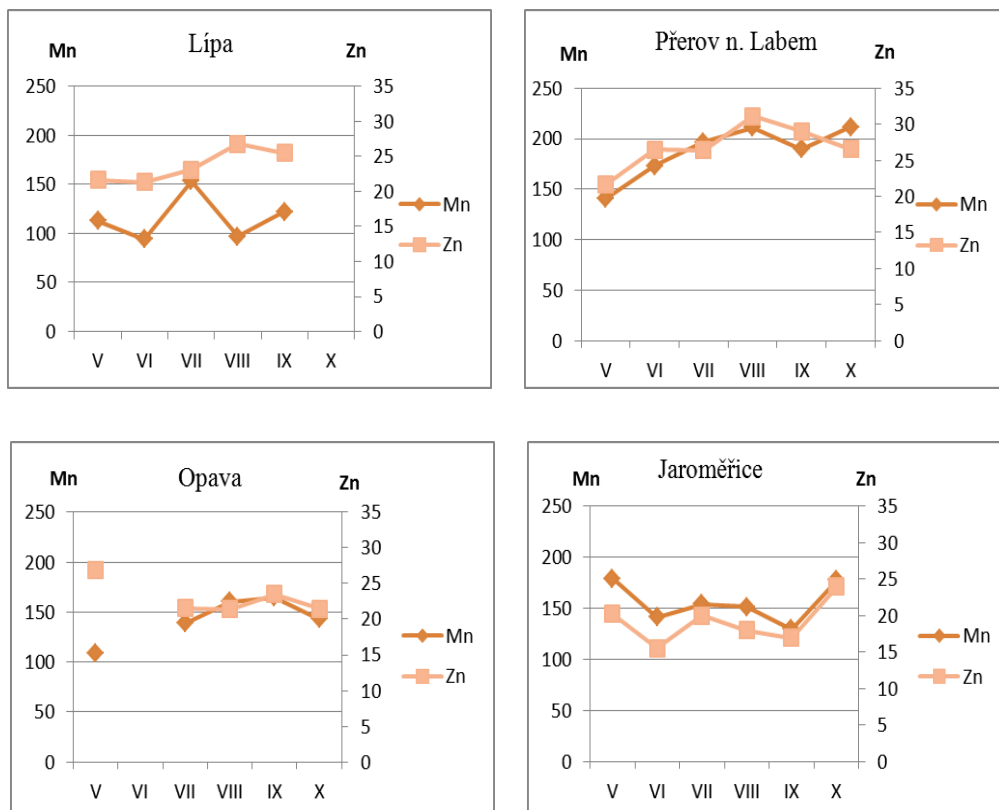


Podobně je tomu u hliníku a železa, kdy hodnoty měly stoupající tendenci ke konci vegetačního období (graf 3). Pouze na stanovišti v Opavě byly vysoké hodnoty těchto dvou prvků na začátku sledování v V. měsíci.

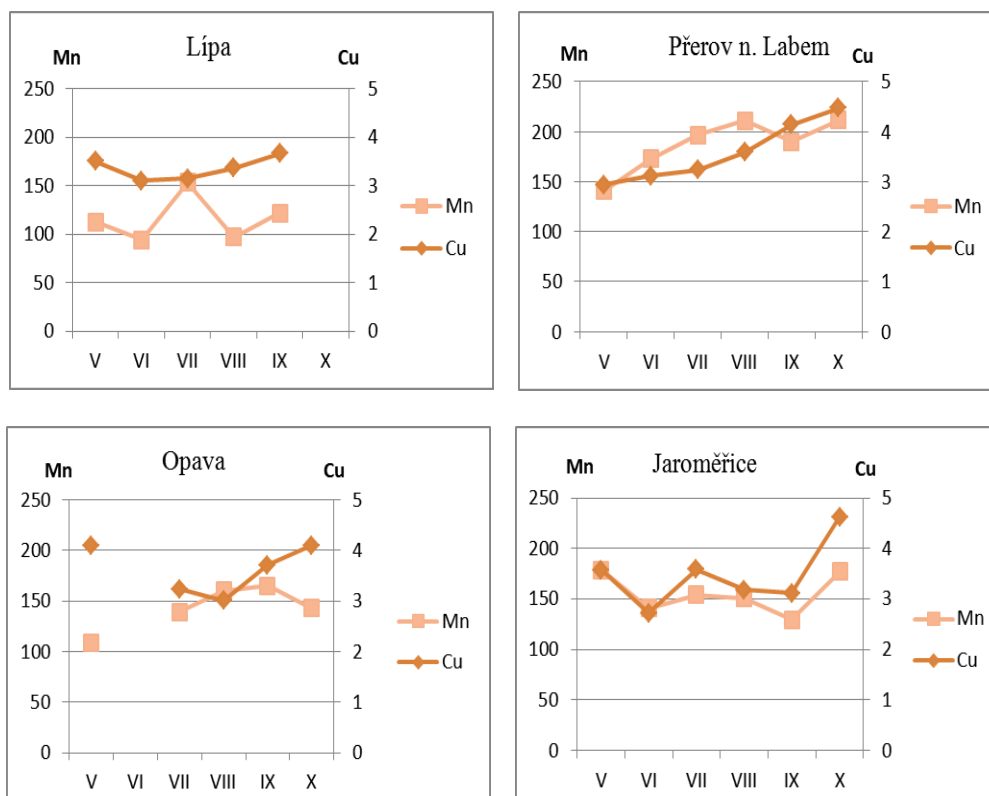
U manganu, mědi, niklu a zinku byly naměřené hodnoty v jednotlivých měsících mezi stanovišti rozdílné, rovněž průběh jejich změn ve sledovaném období je rozdílný. Na některých stanovištích však jsou změny hodnot prvků téměř shodné, především na stanovišti v Jaroměřicích (graf 4, 5 a 6).

Hodnoty vanadu byly pod hranicí meze stanovitelnosti na všech stanovištích v průběhu sledovaného období. Rovněž nízké byly hodnoty kadmia, pod hranicí meze stanovitelnosti byly všechny hodnoty na stanovišti v Lípě, na stanovišti v Jaroměřicích a v Opavě s výjimkou dvou hodnot (Jaroměřice VII. měsíc, Opava VIII. měsíc). Většina hodnot chromu, molybdenu a olova byla také nízká nebo pod hranicí meze stanovitelnosti. Výjimkou je stanoviště v Jaroměřicích, co se týká molybdenu a chromu, zde byly všechny zjištěné hodnoty vyšší nad hranici meze stanovitelnosti, na stanovišti v Opavě se to týká olova.

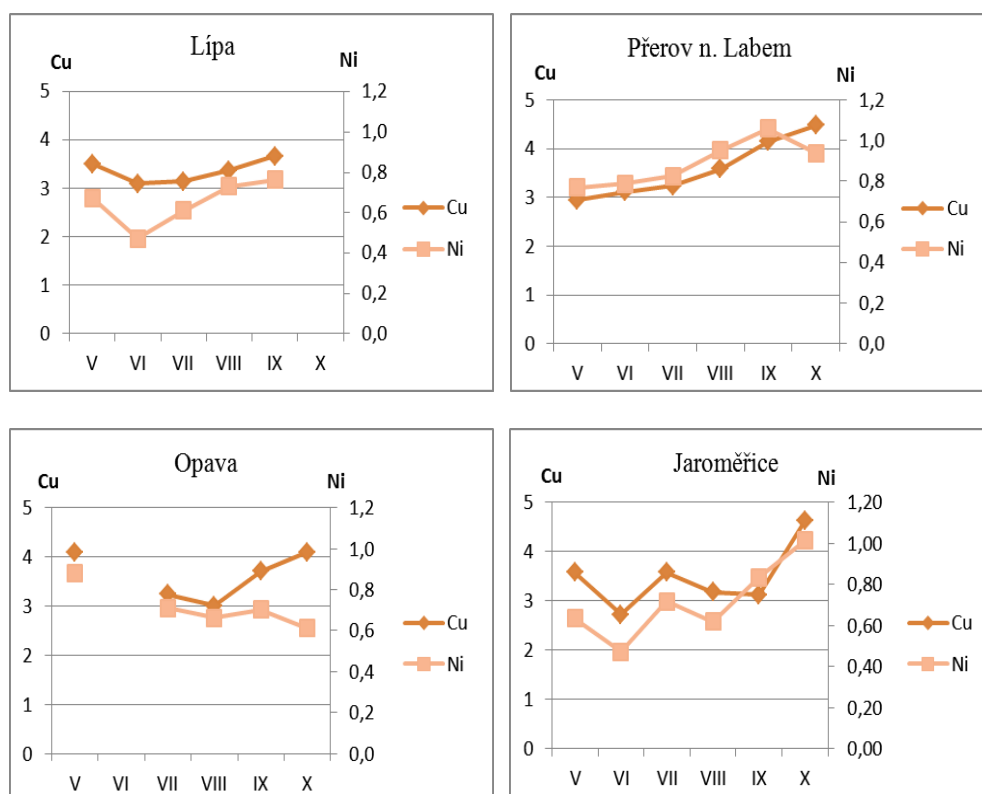
Zjištěné hodnoty rtuti jsou na jednotlivých stanovištích rozdílné a rovněž jejich průběh je odlišný.

Graf 3: Změny obsahů železa a hliníku v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2011 (mg.kg^{-1} sušiny)

Graf 4: Změny obsahů manganu a zinku v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2011 (mg.kg^{-1} sušiny)


Graf 5: Změny obsahů manganu a mědi v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2011 (mg.kg⁻¹ sušiny)



Graf 6: Změny obsahů mědi a niklu v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2011 (mg.kg⁻¹ sušiny)



4.1.2. Organické polutanty v jílku

Průměrný obsah polycyklických aromatických uhlovodíků v hmotě jílku mnohokvětého uvádí tabulka 4. V porovnání s rakouskou požadovou hodnotou je vysoký. I nejnižší zjištěný obsah polyaromatických uhlovodíků $63,00 \mu\text{g.kg}^{-1}$ čerstvé biomasy z prvního měsíce sledování ze stanoviště v Lípě je nad požadovou hodnotou a maximální hodnota sumy polyaromatických uhlovodíků zjištěná v hmotě jílku v Přerově nad Labem v posledním měsíci sledování je více než desetinásobně vyšší než uváděná literární hodnota.

Tabulka 4: Obsahy polycyklických aromatických uhlovodíků v jílku (aritmetický průměr za vegetační období 2011)

Σ PAU (16)	2011			požadová hodnota ¹⁾
	průměr	maximum	minimum	
	$\mu\text{g.kg}^{-1}$ čerstvé biomasy			
	94,01	209,30	63,00	23,0

¹⁾ Öhlinger, 2002

Vyšší hodnoty organických polutantů v jílku byly zjištěny na stanovištích v Přerově nad Labem a v Opavě, nejnižší na stanovišti v Lípě. (tabulka 5).

Tabulka 5: Obsah organických polutantů v jílku na jednotlivých stanovištích (průměr za vegetační období 2011)

	Lípa	Přerov n/L	Opava	Jaroměřice
	$\mu\text{g.kg}^{-1}$ čerstvé biomasy			
ANA	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00
ANT	< 2,00	2,74	2,93	1,91
ANY	< 20,00	< 20,00	< 20,00	< 20,00
BAA	2,44	3,17	2,71	2,95
BAP	< 3,00	2,06	2,04	2,64
BBF	3,43	5,11	4,27	5,84
BKF	2,16	3,47	2,52	3,43
BPE	< 5,00	3,68	3,00	< 5,00
DBA	< 3,00	2,41	2,12	1,84
FLT	8,05	12,88	16,21	11,59
FLU	< 4,00	8,09	4,22	3,22
CHR	2,45	2,99	3,02	2,53
IPY	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00
NAP	10,73	14,73	10,86	10,95
PHE	14,84	20,84	21,05	15,12
PYR	4,55	7,33	9,20	7,48
Σ PAU (16)	74,65	107,00	101,65	89,48

Pouze u tří sledovaných PAU za celé sledované vegetační období nebyla překročena mez stanovitelnosti ve vzorcích jílku ani na jednom stanovišti - u acenaphtene (ANA), acenaphtylene (ANY) a indeno[1,2,3-c,d]pyrene (IPY). Na stanovišti v Lípě nebyla překročena mez stanovitelnosti celkem u 8 sledovaných PAU, na ostatních stanovištích byla u řady polyaromatických uhlovodíků překročena mez stanovitelnosti často pouze v jednom z měsíců v průběhu sledovaného období, jedná se především o anthracene (ANT), benzo[a]anthracene(BAA), chrysene(ChR), benzo[a]pyrene(BAP), benzo[g,h,i]perylene(BPE), dibenzo[a,h]anthracene (DBA). Přesto je celkový obsah sumy 16 EPA PAU na sledovaných stanovištích v porovnání s výše uvedenou požadovou hodnotou z Rakouska velmi vysoký.

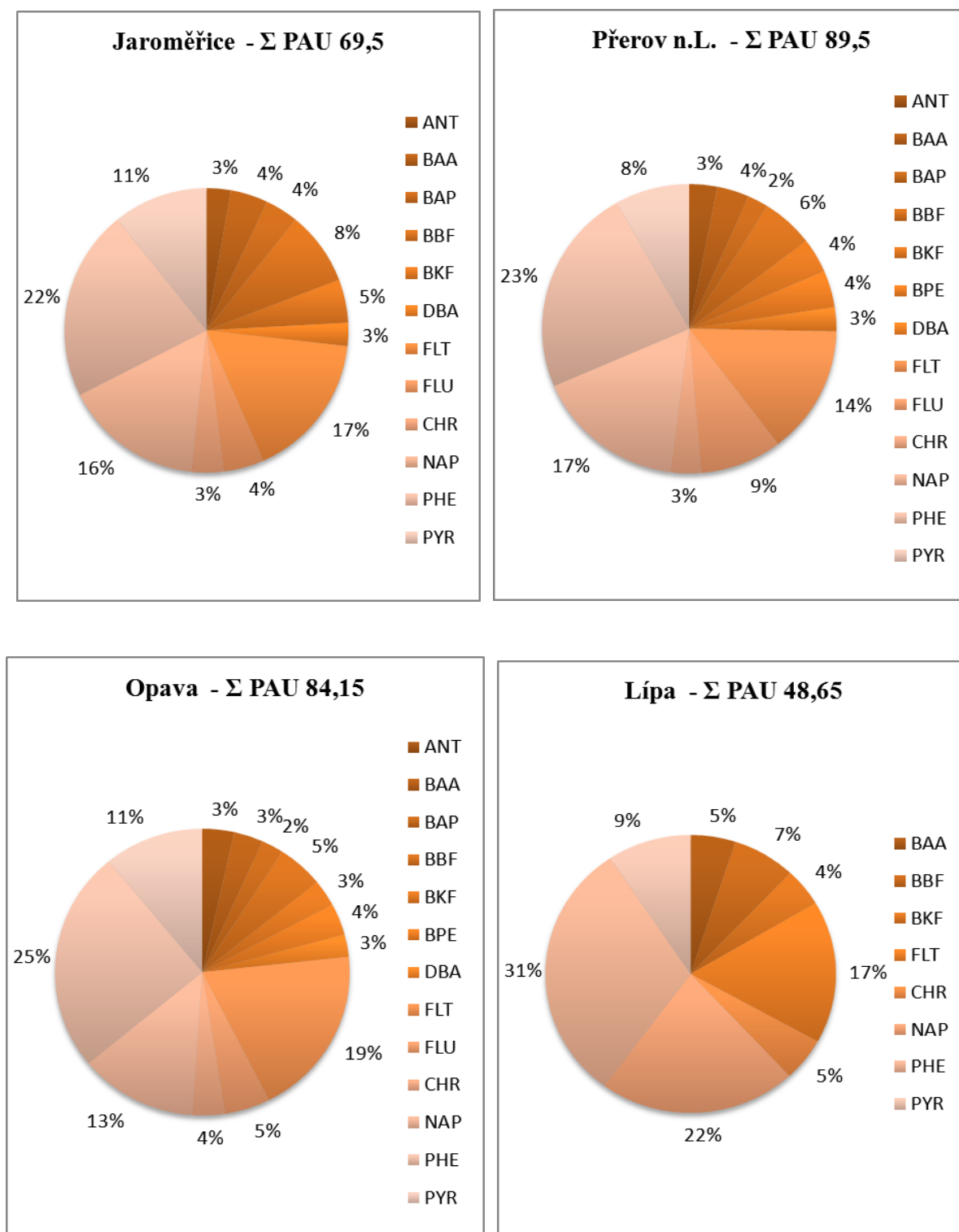
Na všech stanovištích tvořil nejvyšší podíl z celkového množství stanovených PAU fluoranthene (FLT), naphtalene (NAP), phenanthrene (PHE) a pyrene (PYR) (graf 5). Na stanovišti v Přerově nad Labem a v Opavě se na celkové sumě PAU podílel významně fluorene (FLU).

Tabulka 6 uvádí obsah organických polutantů v průběhu vegetačního období. V letních měsících byly zjištěny nižší hodnoty zachytu, v posledním měsíci sledování byly hodnoty zachytu nejvyšší. Změny zachytu organických polutantů v průběhu vegetačního období ukazuje graf 6. Výrazně vysoká byla hodnota celkové sumy PAU v posledním měsíci sledování na stanovištích v Přerově nad Labem a v Opavě, na čemž se především podílely zjištěné vysoké hodnoty phenanthrene (PHE) a pyrene (PYR).

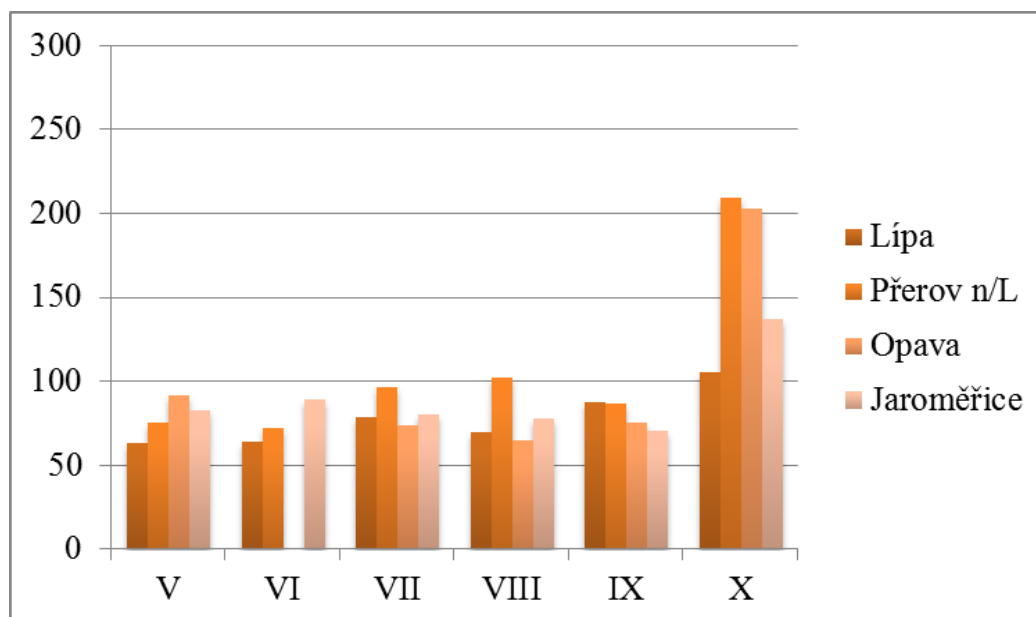
Tabulka 6: Změny obsahu organických polutantů v jílku v průběhu vegetačního období 2011 (aritmetický průměr stanovišť)

Σ PAU (16)	Lípa	Přerov n/L	Opava	Jaroměřice
	μg.kg ⁻¹ čerstvé biomasy			
V	63,00	74,84	91,49	82,91
VI	64,07	72,37	-	89,01
VII	78,77	96,71	73,84	80,02
VIII	69,46	102,27	65,02	77,81
IX	87,04	86,5	74,86	70,62
X	105,14	209,3	203,05	136,53
	77,91	107,00	101,65	89,48

Graf 5: Průměrné zjištěné obsahy organických polutantů v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2011 (% ze Σ hodnot PAU nad hranicí meze stanovitelnosti)



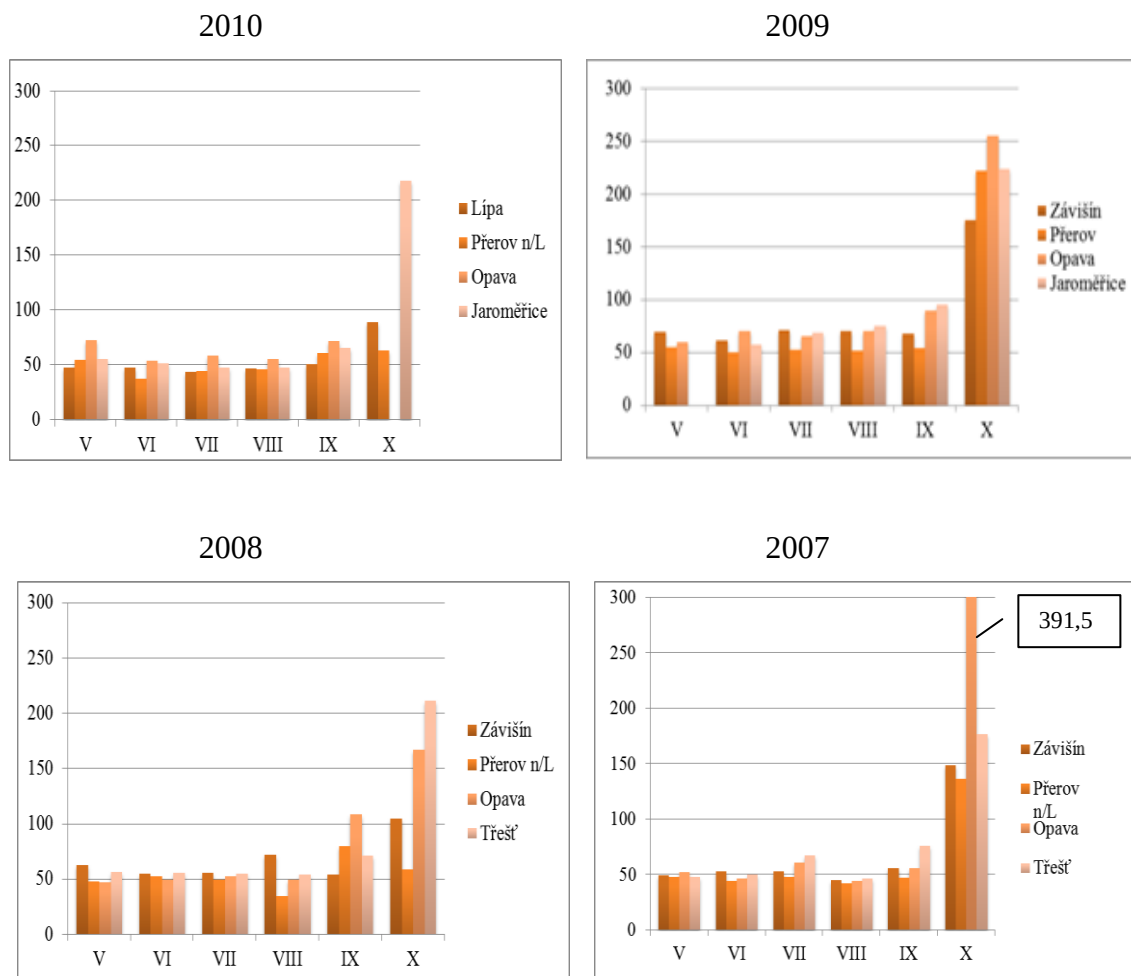
Graf 6: Změny obsahu organických polutantů v jílku v průběhu vegetačního období 2011 ($\Sigma 16$ PAU; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ čerstvé biomasy)



Nárůst zachytu organických polutantů v posledním měsíci sledování lze dát do souvislosti s nástupem topné sezóny. I v předcházejících letech sledování byly hodnoty v říjnu výrazně vyšší, jak ukazuje graf 7, a to bez ohledu na přemístění některých stanovišť.

Podrobně jsou obsahy polycyklických aromatických uhlovodíků v jílku rozvedeny podle stanovišť a měsíců v tabulce 14 v příloze.

Graf 7: Porovnání změn obsahu organických polutantů v jílku v průběhu vegetačních období 2007-2010 ($\Sigma 16$ PAU; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ čerstvé biomasy)



4.2. BOROVICE VE VEGETAČNÍM OBDOBÍ 2011

Borovice černá je druhým bioindikátorem, který je umístěn na dvou imisně nezatížených stanovištích společně s jíllem (Závišín, Opava) a na dvou stanovištích relativně imisně zatížených (Plzeň, Vratimov). Se získáváním biomasy nejsou problémy.

4.2.1. Anorganické polutanty v jehličí

Průměrné obsahy anorganických polutantů v jednoletém jehličí borovice černé za rok 2011 jsou uvedeny v tabulce 7.

Průměrné obsahy anorganických polutantů imisně zatížených stanovišť byly vyšší než na stanovištích imisně nezatížených u většiny anorganických polutantů, především výrazně vyšší hodnoty byly zjištěny u železa, hliníku a chromu. Minimální rozdíly mezi zatíženými a nezatíženými stanovišti vykazoval zinek a měď, hodnoty vanadu a molybdenu byly pod hranicí meze stanovitelnosti na všech stanovištích, hodnoty kadmia byly pod hranicí meze stanovitelnosti na imisně nezatížených stanovištích.

Tabulka 7: Obsahy anorganických polutantů v jehličí borovice (aritmetický průměr nezatížených a zatížených stanovišť v roce 2011)

	nezatížená stanoviště			zatížená stanoviště		
	průměr	maximum	minimum	průměr	maximum	minimum
	mg.kg ⁻¹ sušiny					
Al	61,72	78,40	36,88	130,40	170,00	101,60
As	0,30	0,69	< 0,20	0,61	1,20	0,27
Cd	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,07	0,13	< 0,05
Cr	0,20	0,33	< 0,30	0,65	0,91	0,45
Cu	3,03	3,46	2,26	3,11	3,42	2,67
Fe	51,49	65,49	38,57	143,47	256,00	86,81
Hg	0,013	0,018	0,008	0,019	0,022	0,013
Mn	95,57	110,50	86,75	119,56	134,80	100,60
Mo	< 0,60	< 0,60	< 0,60	< 0,60	< 0,60	< 0,60
Ni	1,20	1,89	0,60	1,27	2,06	0,58
Pb	0,42	0,94	< 0,50	0,73	1,68	< 0,50
S	1028	1094	975	1291	1505	925
V	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Zn	34,25	38,18	32,04	35,88	38,86	31,03

Průměrné obsahy jednotlivých anorganických polutantů na nezatížených a zatížených stanovištích jsou různé při porovnávání zimní (jarní odběr jehličí) a letní (podzimní odběr jehličí) periody, jak ukazují hodnoty v tabulce 8.

Tabulka 8: Obsahy anorganických polutantů v jehličí borovice v letní a zimní periodě (aritmetický průměr za periodu v roce 2011)

	nezatížená stanoviště		zatížená stanoviště	
	zimní perioda	letní perioda	zimní perioda	letní perioda
	mg.kg ⁻¹ sušiny			
Al	65,80	57,64	152,70	108,10
As	0,20	0,40	0,74	0,47
Cd	< 0,05	< 0,05	0,08	0,07
Cr	0,24	<0,30	0,73	0,56
Cu	2,69	3,38	2,91	3,30
Fe	54,95	48,02	175,78	111,41
Hg	0,014	0,014	0,021	0,016
Mn	91,63	99,51	130,90	108,25
Mo	< 0,60	< 0,60	< 0,60	< 0,60
Ni	1,05	1,35	1,32	1,21
Pb	0,60	<0,50	0,97	0,50
S	1021	1035	1335	1247
V	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Zn	32,41	36,09	37,27	34,49

Na zatížených stanovištích byly zjištěny vyšší obsahy anorganických polutantů v zimní periodě s výjimkou mědi. U některých prvků na zatížených stanovištích jsou tyto rozdíly velmi výrazné, týká se to především železa a hliníku. Na stanovišti ve Vratimově jsou pak výrazné rozdíly mezi zimní a letní periodou ještě u arzenu, olova a rtuti. Na imisně nezatížených stanovištích nejsou mezi zimní a letní periodou tak výrazné rozdíly. V letním období byly na všech stanovištích vyšší obsahy mědi, na imisně nezatížených stanovištích byly v letním období vyšší obsahy zjištěny i u manganu, niklu a zinku, na stanovišti v Opavě také u arzenu. U zinku je kolísání během period na stanovištích minimální bez ohledu na to, zda se jedná o imisně nezatížené nebo zatížené stanoviště.

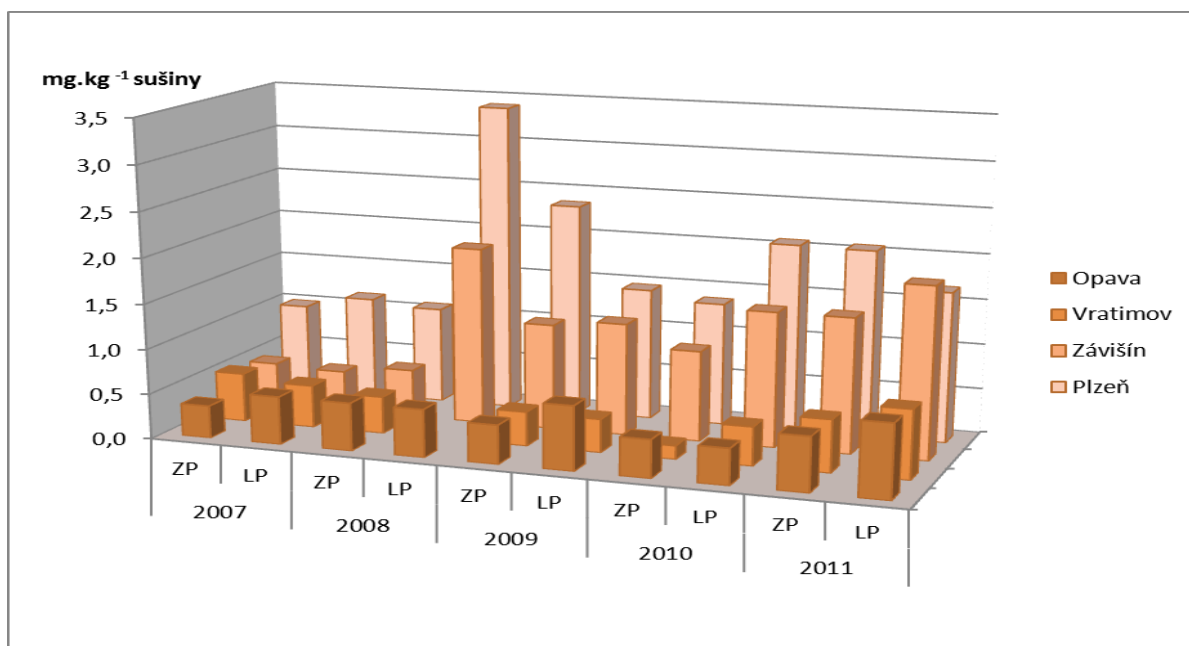
Průměrné obsahy anorganických polutantů naměřené v jehličí na nezatížených a zatížených stanovištích jsou uvedeny v tabulce 9.

Pokud porovnáme průměrné obsahy anorganických polutantů v jehličí na jednotlivých stanovištích, lze konstatovat, že na nezatížených stanovištích jsou obsahy anorganických polutantů převážně nižší než na stanovištích zatížených. Jako nejčistší stanoviště vychází Závišín, kde hodnoty pod hranicí meze stanovitelnosti byly zjištěny u šesti sledovaných anorganických polutantů – arzenu, kadmia, chrómu, molybdenu, olova a vanadu a nejnižší hodnoty v obou periodách u hliníku, železa a manganu. Nejvíce zatíženým stanovištěm je Vratimov, kde hodnoty arzenu, kadmia, železa a olova výrazně převyšují hodnoty z ostatních stanovišť v obou periodách. Zároveň jsou na tomto stanovišti naměřeny nejnižší hodnoty ze sledovaných stanovišť u niklu.

Tabulka 9: Obsahy anorganických polutantů v jehličí borovice (aritmetický průměr nezatížených a zatížených stanovišť v roce 2011)

	nezatížená stanoviště		zatížená stanoviště	
	Závišín	Opava	Plzeň	Vratimov
	mg.kg ⁻¹ sušiny			
Al	45,08	78,36	125,00	135,80
As	<0,20	0,49	0,35	0,86
Cd	<0,05	<0,05	<0,05	0,12
Cr	<0,30	0,24	0,50	0,79
Cu	3,28	2,78	3,05	3,16
Fe	41,49	61,48	90,68	196,25
Hg	0,017	0,009	0,019	0,018
Mn	87,64	103,50	121,45	117,70
Mo	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60
Ni	1,69	0,71	1,86	0,67
Pb	<0,50	0,59	<0,50	1,21
S	1042	1013	1505	1076
V	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Zn	35,48	33,02	38,40	33,36

U některých anorganických polutantů je zajímavé porovnání v závislosti na umístění stanoviště. Při porovnání obsahů u niklu na jednotlivých stanovištích jsou hodnoty ze západních Čech, kde jsou stanoviště Závišín a Plzeň, více než dvojnásobně vyšší než hodnoty ze stanovišť v Opavě a Vratimově, které jsou na severní Moravě. Tyto rozdíly jsou dlouhodobější, jak ukazuje porovnání změn v letech 2007-2011 (graf 7).

Graf 7: Změny obsahů niklu v jehličí borovice černé na jednotlivých stanovištích v letní (LP) a zimní periodě (ZP) v průběhu let 2007-2011 (mg.kg⁻¹ sušiny)


Podrobně jsou obsahy anorganických polutantů v jehličí uvedeny v tabulce 15 v příloze.

4.2.2. Organické polutanty v jehličí

Sledování organických polutantů v jehličí borovice černé ukazuje na rozdíly mezi nezatíženými a zatíženými stanovišti a rovněž na rozdíly mezi zimní a letní periodou.

Průměrné obsahy polycyklických aromatických uhlovodíků naměřené v jehličí borovice černé jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10: Obsahy organických polutantů v jehličí borovice (aritmetický průměr nezatížených a zatížených stanovišť v roce 2011)

Σ PAU (16)	nezatížená stanoviště			zatížená stanoviště		
	průměr	maximum	minimum	průměr	maximum	minimum
	μg.kg ⁻¹ čerstvé biomasy					
	165,90	211,68	94,41	253,51	564,43	108,30

Nejvyšší obsah (Σ 16 PAU) byl zjištěn na stanovišti Vratimov v zimní periodě, nejnižší na stanovišti Opava v letní periodě.

Na stanovištích v Závišíně, Opavě a Plzni nebyla překročena mez stanovitelnosti u sedmi sledovaných polyaromatických polutantů. Na žádném stanovišti nebyla mez stanovitelnosti překročena u tří uhlovodíků - acenaphtene (ANA), dibenzo[a,h]anthracene (DBA) a indeno[1,2,3-c,d]pyrene (IPY). Hodnoty benzo[a]pyrene (BaP) a benzo[g,h,i]perylene (BPE) byly pod hranicí meze stanovitelnosti na všech stanovištích s výjimkou stanoviště ve Vratimově. Acenaphtylene (ANY) byl nad mezí stanovitelnosti jen na stanovišti v Závišíně.

Průměrné hodnoty organických polutantů naměřené v jehličí na jednotlivých stanovištích uvádí tabulka 11.

Podle obsahů polycyklických aromatických polutantů je relativně nejčistším stanovištěm Opava, na nezatíženém stanovišti v Závišíně a zatíženém stanovišti v Plzni jsou obsahy v organických polutantů v zimní periodě srovnatelné, v letní periodě jsou vyšší na stanovišti v Závišíně. Nejvíce znečištěným stanovištěm podle obsahu polycyklických aromatických polutantů je stanoviště ve Vratimově.

V zimní periodě byly na všech stanovištích výrazně vyšší obsahy v porovnání s letní periodou. Výjimkou byl vysoký obsah acenaphtylene (ANY) na stanovišti v Závišíně a vyšší obsah naphtalene (NAP) na stanovišti v Opavě v letní periodě.

Rozdíly mezi průměrnými obsahy jednotlivých organických polutantů v zimní a letní periodě na nezatížených a zatížených stanovištích jsou zřetelné z tabulky 12.

Tabulka 11: Obsahy jednotlivých organických polutantů v jehličí borovice (aritmetický průměr jednotlivých stanovišť v roce 2011)

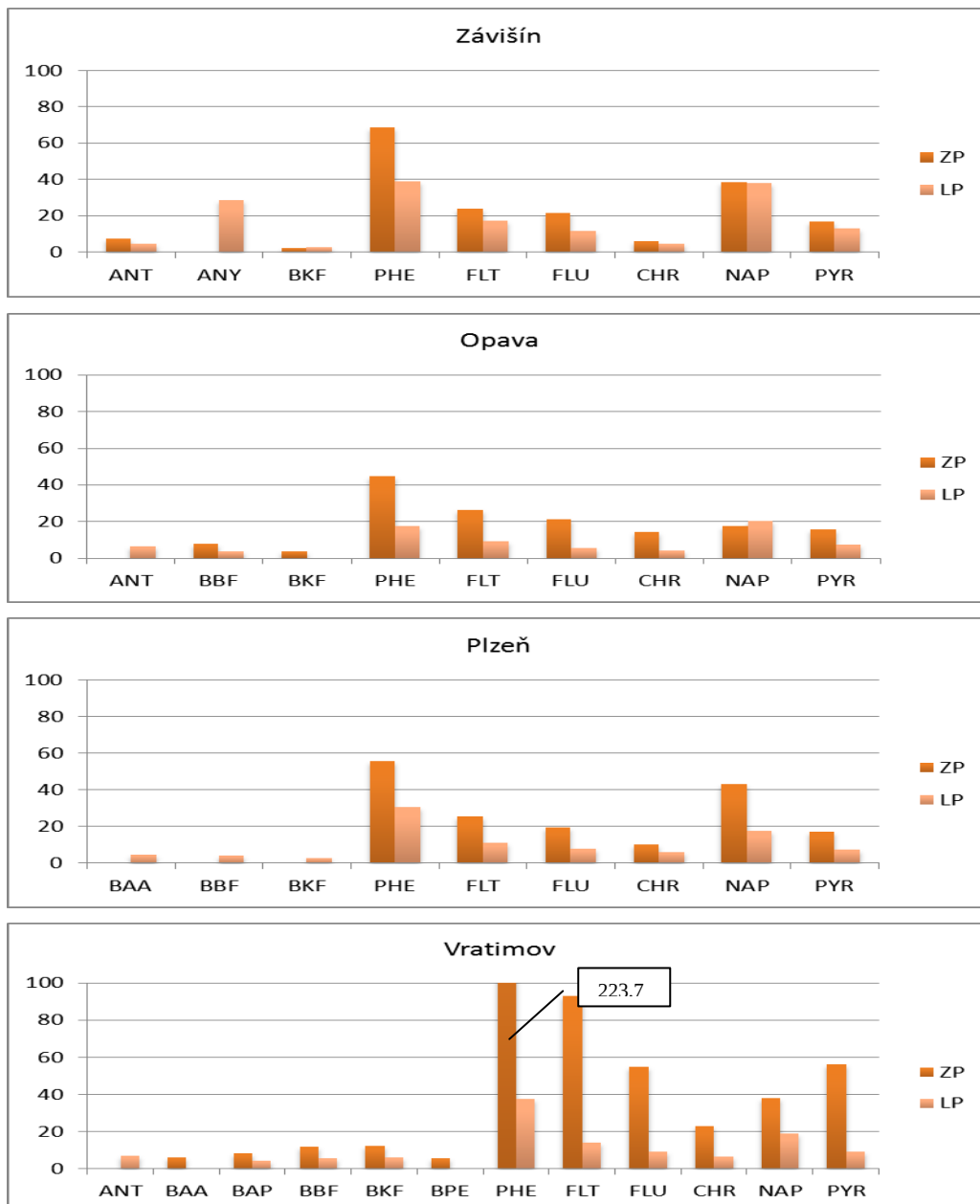
PAU	nezatížená stanoviště		zatížená stanoviště	
	Závišín	Opava	Plzeň	Vratimov
	$\mu\text{g.kg}^{-1}$ čerstvé biomasy			
ANA	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
ANT	6,00	3,71	<2,00	6,92
ANY	19,37	<20,0	<20,0	<20,0
BAA	<4,00	<4,00	3,27	4,11
BAP	<3,00	<3,00	<3,00	6,30
BBF	<3,00	5,81	2,74	8,57
BKF	2,43	2,27	1,91	9,03
BPE	<5,00	<5,00	<5,00	3,95
DBA	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
PHE	53,73	31,12	43,05	130,55
FLT	20,45	17,67	18,22	53,49
FLU	16,54	13,71	13,53	32,09
CHR	5,35	9,22	7,09	14,70
IPY	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
NAP	38,36	18,82	30,27	28,49
PYR	14,80	11,46	12,19	32,77
Σ PAU (16)	193,54	138,26	157,07	349,96

Tabulka 12: Obsahy jednotlivých organických polutantů v jehličí borovice v letní a zimní periodě (aritmetický průměr nezatížených a zatížených stanovišť v roce 2011)

PAU	nezatížená stanoviště		zatížená stanoviště	
	zimní perioda	letní perioda	zimní perioda	letní perioda
	$\mu\text{g.kg}^{-1}$ čerstvé biomasy			
ANA	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
ANT	6,98	2,74	6,92	<2,00
ANY	<20,0	19,37	<20,0	<20,0
BAA	< 4,00	< 4,00	5,40	< 4,00
BAP	<3,00	<3,00	4,95	2,85
BBF	4,69	2,63	7,82	3,50
BKF	2,86	1,85	7,46	3,49
BPE	<5,00	<5,00	3,95	<5,00
DBA	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
PHE	56,66	28,19	139,57	34,02
FLT	25,08	13,05	59,22	12,49
FLU	21,27	8,44	37,22	8,39
CHR	10,18	4,40	16,37	6,23
IPY	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
NAP	27,97	29,22	40,66	18,10
PYR	16,23	10,04	36,63	8,34
Σ PAU (16)	196,89	134,91	385,13	121,90

Na všech stanovištích tvořil nejvyšší podíl z celkové sumy PAU phenanthrene (PHE) a naphtalene (NAP) jak v letní periodě, tak v zimní periodě, s výjimkou stanovišť v Opavě a Vratimově, kde se v zimní periodě na celkové sumě podílí více phenanthrene (PHE) a fluoranthene (FLT) (graf 9). Na stanovišti ve Vratimově byly rovněž zjištěny velmi vysoké hodnoty pyrene (PYR) a fluorene (FLU) v porovnání s ostatními stanovišti.

Graf 9: Zjištěné obsahy (nad hranicí meze stanovitelnosti) organických polutantů v jehličí borovice na jednotlivých stanovištích v letní a zimní periodě 2011 (PAU v $\mu\text{g.kg}^{-1}$ čerstvé biomasy)



Obsahy všech polycyklických aromatických uhlovodíků v jehličí borovice černé na jednotlivých stanovištích jsou podrobně uvedeny v tabulce 16 v příloze.

5. Závěry

- V roce 2011 byly sledovány obsahy vybraných anorganických polutantů a organických polutantů (16 EPA PAU) v travní hmotě jílku (stanoviště Lípa, Přerov nad Labem, Jaroměřice, Opava) a v jehličí borovice černé (stanoviště Závěšín, Opava, Plzeň, Vratimov).
- Pozadové hodnoty anorganických polutantů, získané z literatury jako hodnoty pro Rakousko, byly překročeny ve všech vzorcích jílku u arzenu na všech stanovištích, u chromu došlo k překročení pozadových hodnot jen v X. měsíci na stanovišti v Jaroměřicích a u rtuti v V. měsíci na stanovišti v Opavě. U vanadu byly všechny hodnoty pod hranicí meze stanovitelnosti.
- U síry byly nejvyšší hodnoty na konci vegetačního období, což může být ovlivněno začínající topnou sezónou. Na stanovišti v Přerově byl vysoký obsah i na začátku sledování.
- Arzen má téměř shodný průběh zjištěných hodnot na všech stanovištích s maximem v letních měsících a s nízkými hodnotami na konci vegetačního období.
- Průběh změn obsahu zinku, manganu, niklu a mědi byl na jednotlivých stanovištích velmi podobný, mezi stanovišti již byly rozdíly.
- Pozadová hodnota organických polutantů byla překročena ve všech vzorcích jílku.
- Průměrný obsah organických polutantů v jílku byl nejvyšší na stanovišti v Přerově nad Labem, nejnižší hodnoty celkové sumy PAU byly zaznamenány na stanovišti v Lípě.
- Hodnoty organických polutantů v jílku nejnižší v letních měsících, se zvyšovaly ke konci vegetačního období.
- Na všech stanovištích tvořil nejvyšší podíl z celkové sumy PAU phenanthrene (PHE), naphtalene (NAP) a fluoranthene (FLT).
- Průměrné obsahy anorganických polutantů v jehličí borovice černé imisně zatížených stanovišť byly vyšší než průměrné obsahy na stanovištích imisně nezatížených u většiny anorganických polutantů.
- Na imisně zatížených stanovištích byly zjištěny v jehličí borovice černé výrazně vyšší hodnoty železa a hliníku v letní i zimní periodě než na stanovištích imisně nezatížených.
- Hodnoty většiny organických polutantů v jehličí borovice černé byly vyšší v zimní periodě na všech stanovištích s výjimkou mědi, jejíž obsah byl na všech stanovištích vyšší v letní periodě.
- Hodnoty vanadu a molybdenu byly pod hranicí meze stanovitelnosti ve všech vzorcích jehličí. Hodnoty kadmia byly pod hranicí meze stanovitelnosti na nezatížených stanovištích.
- Na stanovištích Závěšín a Plzeň byly v jehličí výrazně vyšší hodnoty niklu v obou periodách oproti stanovištím v Opavě a Vratimově.
- Vyšší hodnoty zachytu polycyklických aromatických uhlovodíků v jehličí borovice černé byly zjištěny v zimní periodě na všech stanovištích.
- Nejvyšší hodnota zachytu polycyklických aromatických uhlovodíků v jehličí byla zjištěna na stanovišti ve Vratimově v zimní periodě, nejnižší hodnota na stanovišti Opava v letní periodě.

- Nejvyšší podíl z celkové sumy PAU v jehličí tvořil phenanthrene (PHE), naphtalene (NAP) a fluoranthene (FLT) na všech stanovištích, na stanovišti Vratimov měl vysoký podíl na celkové sumě polyaromatických uhlovodíků také pyrene (PYR) a fluorene (FLU).
- Výsledky slouží pro stanovování požadových hodnot a pro sledování vývoje obsahů jednotlivých polutantů v závislosti na stanovišti a průběhu vegetačního období roku.

6. Literatura

- Öhlinger, R., 2002: Aktives und passives Biomonitoring: Richtwertevorschläge. Bundesamt für Agrarbiologie Linz
- Pavlíček, V., Ust'ak, S., Chvátal, V., Královec, J., Klementová, L., Hauptman, I., Honzík, R., 2000: Ověření metody aktivního biomonitoringu. Závěrečná zpráva vývojového úkolu (1997 – 1999). ÚKZÚZ Brno, VÚRV Praha – Ruzyně

Tabulková příloha

- Tabulka 13: Obsahy anorganických polutantů v sušině jílku - 2011
- Tabulka 14: Obsahy polyaromatických uhlovodíků v čerstvé hmotě jílku - 2011
- Tabulka 15: Obsahy anorganických polutantů v jehličí borovice černé - 2011
- Tabulka 16: Obsahy polyaromatických uhlovodíků v jehličí borovice černé - 2011
- Tabulka 17: Výsledky rozboru použitého substrátu

Tabulka 13: Obsahy anorganických polutantů v sušině jílku - 2011

Al	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	56,86	51,22	95,0	77,72	70,21
	VI	53,93	60,31	-	71,86	62,03
	VII	48,43	94,53	51,5	98,24	73,18
	VIII	52,84	81,06	59,3	90,75	70,99
	IX	89,28	72,36	93,0	77,81	83,11
	X	-	108,3	76,5	100,2	95,01
	průměr	60,27	77,96	75,08	86,10	75,76

As	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	3,70	5,04	4,79	4,51	4,51
	VI	3,56	4,00	-	4,47	3,64
	VII	3,14	3,71	2,53	4,70	3,93
	VIII	2,27	5,41	4,15	6,19	3,99
	IX	1,62	2,81	2,09	4,71	2,54
	X	-	2,26	1,01	1,80	2,03
	průměr	2,86	3,87	2,91	4,40	3,51

Cd	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	VI	<0,050	<0,050	-	<0,050	<0,050
	VII	<0,050	0,060	<0,050	0,053	0,048
	VIII	<0,050	0,079	0,053	<0,050	0,039
	IX	<0,050	0,061	<0,050	<0,050	0,034
	X	-	0,064	<0,050	<0,050	0,045
	průměr	<0,050	0,052	0,031	0,030	0,034

Cr	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<0,30	<0,30	0,43	0,50	0,31
	VI	<0,30	<0,30	-	0,43	0,24
	VII	0,31	0,38	0,31	0,42	0,35
	VIII	0,31	0,37	<0,30	0,44	0,32
	IX	0,41	0,33	0,37	0,44	0,39
	X	-	0,42	0,41	0,59	0,47
	průměr	0,26	0,30	0,33	0,47	0,34

Cu	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	3,51	2,94	4,09	3,58	3,53
	VI	3,10	3,11	-	2,72	3,04
	VII	3,15	3,23	3,24	3,58	3,24
	VIII	3,38	3,58	3,01	3,18	3,46
	IX	3,67	4,14	3,71	3,12	3,76
	X	-	4,47	4,10	4,62	4,55
	průměr	3,36	3,58	3,63	3,47	3,51

Tabulka 13: pokračování

Fe	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	110,2	95,83	195,8	103,8	126,4
	VI	97,1	92,24	-	99,3	96,2
	VII	95,4	107,7	125,2	120,8	112,3
	VIII	117,0	133,9	107,7	120,8	119,9
	IX	139,8	118,4	149,4	119,6	131,8
	X	-	146,3	147,5	158,3	150,7
	průměr	111,9	115,7	145,1	120,4	123,3

Hg	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	0,010	0,010	0,029	0,009	0,014
	VI	0,008	0,013	-	0,008	0,010
	VII	0,014	0,015	0,014	0,011	0,013
	VIII	0,008	0,017	0,016	0,010	0,013
	IX	0,008	0,012	0,014	0,009	0,011
	X	-	0,014	0,018	0,012	0,015
	průměr	0,010	0,013	0,018	0,010	0,013

Mn	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	112,6	140,7	109,0	178,7	135,3
	VI	94,2	172,9	-	141,1	136,1
	VII	153,4	196,4	139,0	153,9	160,7
	VIII	97,0	210,8	160,4	151,1	154,8
	IX	121,9	189,6	164,9	129,5	151,5
	X	-	211,6	143,0	177,2	177,3
	průměr	115,8	187,0	143,3	155,3	150,3

Mo	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	0,87	0,86	0,80	1,19	0,93
	VI	0,83	0,62	-	0,99	0,81
	VII	0,78	0,89	0,70	1,38	0,94
	VIII	<0,6	<0,6	<0,6	0,98	0,47
	IX	<0,6	<0,6	<0,6	0,94	0,46
	X	-	<0,6	<0,6	0,97	0,52
	průměr	0,62	0,54	0,48	1,07	0,68

Ni	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	0,67	0,77	0,88	0,64	0,74
	VI	0,47	0,79	-	0,47	0,58
	VII	0,61	0,83	0,71	0,72	0,72
	VIII	0,73	0,95	0,66	0,62	0,74
	IX	0,76	1,06	0,70	0,84	0,84
	X	-	0,94	0,61	1,01	0,85
	průměr	0,65	0,89	0,71	0,72	0,74

Tabulka 13: pokračování

Pb	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<0,50	<0,50	0,79	0,58	0,47
	VI	<0,50	<0,50	-	<0,50	<0,50
	VII	0,60	0,79	0,95	<0,50	0,65
	VIII	<0,50	1,20	0,94	0,58	0,74
	IX	<0,50	<0,50	0,87	<0,50	0,40
	X	-	<0,50	0,75	1,25	0,75
	průměr	0,32	0,50	0,86	0,53	0,55

S	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	2537	4850	2357	1234	2745
	VI	2315	1510	-	1108	1644
	VII	2223	1641	1560	1447	1718
	VIII		2555	2268	1411	2078
	IX	4414	3873	2456	1678	3105
	X	-	4971	2949	3099	3673
	průměr	2872	3233	2318	1663	2522

V	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	VI	<0,50	<0,50	-	<0,50	<0,50
	VII	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	VIII	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	IX	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	X	-	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	průměr	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50

Zn	mg.kg ⁻¹	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	21,60	21,65	26,9	20,23	22,60
	VI	21,30	26,50	-	15,51	21,10
	VII	23,12	26,41	21,5	19,94	22,75
	VIII	26,75	31,15	21,4	17,93	24,31
	IX	25,44	29,04	23,5	16,93	23,72
	X	-	26,57	21,5	23,90	23,99
	průměr	23,64	26,89	22,97	19,07	23,14

Tabulka 14: Obsahy polycyklických aromatických uhlovodíků v čerstvé hmotě jílku (16 EPA PAU) - 2011

ANA	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
	VI	<5,00	<5,00	-	<5,00	<5,00
	VII	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
	VIII	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
	IX	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
	X	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
	průměr	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00

ANT	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<2,00	<2,00	2,01	<2,00	1,25
	VI	<2,00	<2,00	-	<2,00	<2,00
	VII	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
	VIII	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
	IX	<2,00	<2,00	2,57	2,83	2,21
	X	<2,00	11,46	9,65	6,45	7,14
	průměr	<2,00	2,74	2,93	1,91	2,15

ANY	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
	VI	<20,00	<20,00	-	<20,00	<20,00
	VII	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
	VIII	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
	IX	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
	X	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
	průměr	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00

BAA	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<4,00	<4,00	<4,00	5,44	2,86
	VI	<4,00	<4,00	-	4,25	2,75
	VII	4,63	<4,00	<4,00	<4,00	2,66
	VIII	<4,00	5,53	<4,00	<4,00	2,88
	IX	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	2,00
	X	<4,00	5,51	5,53	<4,00	3,76
	průměr	2,44	3,17	2,71	2,95	2,82

BAP	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<3,00	<3,00	<3,00	3,86	2,09
	VI	<3,00	<3,00	-	<3,00	<3,00
	VII	<3,00	<3,00	<3,00	3,67	2,04
	VIII	<3,00	4,85	<3,00	3,80	2,91
	IX	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	X	<3,00	<3,00	4,19	<3,00	2,17
	průměr	<3,00	2,06	2,04	2,64	2,06

Tabulka 14: pokračování

BBF

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<3,00	4,34	5,45	6,00	4,32
VI	<3,00	4,13	-	6,18	3,93
VII	3,77	3,36	<3,00	6,11	3,68
VIII	4,12	6,92	3,40	6,15	5,15
IX	3,60	4,80	4,27	4,76	4,35
X	6,08	7,12	6,72	5,84	6,44
průměr	3,43	5,11	4,27	5,84	4,66

BKF

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<2,00	2,57	3,74	2,74	2,51
VI	<2,00	3,14	-	2,67	2,27
VII	2,21	4,34	3,10	5,18	3,71
VIII	2,49	4,46	<2,00	4,55	3,13
IX	2,75	2,71	2,12	2,75	2,58
X	3,51	3,57	2,66	2,67	3,10
průměr	2,16	3,47	2,52	3,43	2,89

BPE

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
VI	<5,00	<5,00	-	<5,00	<5,00
VII	<5,00	9,59	5,01	<5,00	4,90
VIII	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
IX	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
X	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
průměr	<5,00	3,68	3,00	<5,00	2,92

DBA

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
VI	<3,00	<3,00	-	<3,00	<3,00
VII	<3,00	6,97	4,62	3,56	4,16
VIII	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
IX	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
X	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
průměr	<3,00	2,41	2,12	1,84	1,97

FLT

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	4,14	5,00	8,70	7,62	6,36
VI	4,24	6,30	-	8,25	6,26
VII	5,33	5,49	5,60	6,75	5,79
VIII	6,06	7,02	4,96	6,80	6,21
IX	12,17	6,10	9,03	6,62	8,48
X	16,39	47,38	52,76	33,53	37,52
průměr	8,05	12,88	16,21	11,59	12,18

Tabulka 14: pokračování

FLU

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<4,00	7,63	6,73	<4,00	4,59
VI	<4,00	4,86	-	7,29	4,72
VII	<4,00	7,68	5,19	<4,00	4,22
VIII	<4,00	6,73	<4,00	<4,00	3,18
IX	<4,00	9,24	<4,00	<4,00	3,81
X	<4,00	12,38	5,21	4,03	5,91
průměr	<4,00	8,09	4,22	3,22	4,38

CHR

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
VI	<4,00	<4,00	-	<4,00	<4,00
VII	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
VIII	<4,00	4,46	<4,00	<4,00	<4,00
IX	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
X	4,68	5,49	7,10	5,18	5,61
průměr	2,45	2,99	3,02	2,53	2,75

IPY

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
VI	<10,00	<10,00	-	<10,00	<10,00
VII	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
VIII	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
IX	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
X	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
průměr	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00

NAP

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	9,56	11,85	13,60	13,19	13,47
VI	10,50	9,87	-	16,08	12,97
VII	12,61	15,72	10,64	10,95	12,77
VIII	10,92	18,75	11,56	12,18	12,53
IX	9,21	15,13	9,21	10,82	15,23
X	11,56	17,08	9,26	27,48	38,80
průměr	10,73	14,73	10,86	15,12	17,96

PHE

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	11,28	10,78	18,63	13,19	13,47
VI	11,04	11,79	-	16,08	12,97
VII	13,69	15,70	10,45	10,95	12,77
VIII	11,87	16,12	9,94	12,18	12,53
IX	19,08	16,07	14,93	10,82	15,23
X	21,79	54,59	51,32	27,48	38,80
průměr	14,84	20,84	21,05	15,12	17,96

Tabulka 14: pokračování**PYR**

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Lípa	Přerov n.L.	Opava	Jaroměřice	průměr
V	2,69	4,68	5,63	7,15	5,04
VI	3,25	4,29	-	6,23	4,59
VII	3,68	3,87	3,73	4,95	4,06
VIII	3,99	4,95	4,16	5,03	4,53
IX	5,98	4,45	5,31	4,38	5,03
X	7,71	21,73	27,16	17,12	18,43
průměr	4,55	7,33	9,20	7,48	6,95

Tabulka 15: Obsahy anorganických polutantů v jehličí borovice 2011 (ZP – zimní perioda, LP – letní perioda)

	mg.kg ⁻¹	nezatížená stanoviště			zatížená stanoviště		
		Závišín	Opava	průměr	Plzeň	Vratimov	průměr
Al	ZP	53,28	78,32	65,80	135,40	170,00	152,70
	LP	36,88	78,40	57,64	114,60	101,60	108,10
	průměr	45,08	78,36	61,72	125,00	135,80	130,40
As	ZP	<0,20	0,29	0,20	0,27	1,20	0,74
	LP	<0,20	0,69	0,40	0,43	0,51	0,47
	průměr	<0,20	0,49	0,30	0,35	0,86	0,61
Cd	ZP	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,13	0,08
	LP	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,11	0,07
	průměr	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,12	0,07
Cr	ZP	<0,30	0,33	0,24	0,55	0,91	0,73
	LP	<0,30	<0,30	<0,30	0,45	0,67	0,56
	průměr	<0,30	0,24	0,20	0,50	0,79	0,65
Cu	ZP	3,12	2,26	2,69	2,67	3,15	2,91
	LP	3,46	3,3	3,38	3,42	3,17	3,30
	průměr	3,28	2,78	3,03	3,05	3,16	3,11
Fe	ZP	44,41	65,49	54,95	95,55	256,00	175,78
	LP	38,57	57,47	48,02	86,81	136,00	111,41
	průměr	41,49	61,48	51,49	90,68	196,25	143,47
Hg	ZP	0,018	0,010	0,014	0,019	0,022	0,021
	LP	0,017	0,008	0,013	0,019	0,013	0,016
	průměr	0,017	0,009	0,013	0,019	0,018	0,019
Mn	ZP	86,76	96,49	91,625	127	134,8	130,9
	LP	88,52	110,5	99,51	115,9	100,6	108,25
	průměr	87,64	103,5	95,57	121,45	117,7	119,575
Mo	ZP	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60
	LP	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60
	průměr	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60
Ni	ZP	1,49	0,60	1,05	2,06	0,58	1,32
	LP	1,89	0,81	1,35	1,66	0,76	1,21
	průměr	1,69	0,71	1,20	1,86	0,67	1,27
Pb	ZP	<0,50	0,94	0,60	<0,50	1,68	0,97
	LP	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	0,75	0,50
	průměr	<0,50	0,59	0,42	<0,50	1,21	0,73
S	ZP	990	1051	1021	1443	1226	1335
	LP	1094	975	1035	1568	925	1247
	průměr	1042	1013	1028	1505	1076	1291
V	ZP	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	LP	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	průměr	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Zn	ZP	32,78	32,04	32,41	38,86	35,68	37,27
	LP	38,18	34,00	36,09	37,94	31,03	34,49
	průměr	35,48	33,02	34,25	38,40	33,36	35,88

Tabulka 16: Obsahy polycyklických aromatických uhlovodíků v jehličí borovice černé v roce 2011 (16 EPA PAU, ZP – zimní perioda, LP – letní perioda)

	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	nezatížená stanoviště			zatížená stanoviště		
		Závišín	Opava	průměr	Plzeň	Vratimov	průměr
ANA	ZP	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
	LP	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
	průměr	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
ANT	ZP	7,53	6,42	6,98	< 2,00	12,83	6,92
	LP	4,47	< 2,00	2,74	< 2,00	< 2,00	< 2,00
	průměr	6,00	3,71	4,86	< 2,00	6,92	3,96
ANY	ZP	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0
	LP	28,74	<20,0	19,37	<20,0	<20,0	<20,0
	průměr	19,37	<20,0	14,69	<20,0	<20,0	<20,0
BAA	ZP	<4,00	<4,00	<4,00	4,54	6,26	5,4
	LP	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
	průměr	<4,00	<4,00	<4,00	3,27	4,11	3,69
BAP	ZP	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	8,40	4,95
	LP	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	4,20	2,85
	průměr	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	6,30	3,90
BBF	ZP	<3,00	7,87	4,69	3,98	11,65	7,82
	LP	<3,00	3,75	2,63	<3,00	5,49	3,50
	průměr	<3,00	5,81	3,66	2,74	8,57	5,66
BKF	ZP	2,16	3,55	2,86	2,82	12,09	7,46
	LP	2,70	<2,00	1,85	<2,00	5,97	3,49
	průměr	2,43	2,27	2,35	1,91	9,03	5,47
BPE	ZP	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	5,39	3,95
	LP	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
	průměr	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	3,95	3,23
DBA	ZP	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	LP	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	průměr	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
PHE	ZP	68,77	44,54	56,66	55,44	223,7	139,57
	LP	38,69	17,69	28,19	30,65	37,39	34,02
	průměr	53,73	31,12	42,43	43,05	130,55	86,80
FLT	ZP	23,83	26,32	25,08	25,42	93,02	59,22
	LP	17,07	9,02	13,05	11,02	13,96	12,49
	průměr	20,45	17,67	19,06	18,22	53,49	35,86
FLU	ZP	21,48	21,05	21,27	19,49	54,95	37,22
	LP	11,6	5,28	8,44	7,56	9,22	8,39
	průměr	16,54	13,17	14,86	13,53	32,09	22,81
CHR	ZP	6,15	14,21	10,18	9,99	22,75	16,37
	LP	4,56	4,23	4,40	5,81	6,65	6,23
	průměr	5,35	9,22	7,29	7,09	14,7	10,90

Tabulka 16: pokračování

		nezatížená stanoviště			zatížená stanoviště		
	mg.kg ⁻¹	Závišín	Opava	mg.kg ⁻¹	Závišín	Opava	mg.kg ⁻¹
IPY	ZP	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
	LP	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
	průměr	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
NAP	ZP	38,54	17,39	27,97	43,13	38,19	40,66
	LP	38,19	20,25	29,22	17,4	18,79	18,10
	průměr	38,36	18,82	28,59	30,27	28,49	29,38
PYR	ZP	16,72	15,74	16,23	17,03	56,23	36,63
	LP	12,88	7,19	10,04	7,35	9,32	8,34
	průměr	14,80	11,46	13,13	12,19	32,77	22,48
	Σ PAU ZP	211,68	182,10	196,89	205,83	564,43	385,13
	Σ PAU LP	175,40	94,41	134,91	108,30	135,49	121,90

Tabulka č. 17 - Výsledky rozboru substrátu použitého v roce 2011

Al mg.kg ⁻¹ v sušině	As mg.kg ⁻¹ v sušině	Be mg.kg ⁻¹ v sušině	Cd mg.kg ⁻¹ v sušině	Co mg.kg ⁻¹ v sušině	Cr mg.kg ⁻¹ v sušině
12600	13,6	5,72	0,86	3,24	16,5

Cu mg.kg ⁻¹ v sušině	Fe mg.kg ⁻¹ v sušině	Hg mg.kg ⁻¹ v sušině	Mn mg.kg ⁻¹ v sušině	Mo mg.kg ⁻¹ v sušině	Ni mg.kg ⁻¹ v sušině
39,0	6340	0,116	82,9	1,63	15,0

Pb mg.kg ⁻¹ v sušině	V mg.kg ⁻¹ v sušině	Zn mg.kg ⁻¹ v sušině
5,92	31,7	14,3

P celk. v suš. mg.kg ⁻¹	K celk. v suš. mg.l ⁻¹	Mg celk. v suš. mg.l ⁻¹	Ca celk. v suš. mg.l ⁻¹	N (t) v sušině mg.l ⁻¹
1360	218	574	4350	19500

C:N	pH/H ₂ O	vodivost mS.cm ⁻¹	objemová hm.v suš. g.l ⁻¹	org./s %	vlhkost pův. vz. v %
21,9	4, 6	0,09	60,03	85,5	57,4

suš./sv %	ANA μg.kg ⁻¹ v sušině	ANT μg.kg ⁻¹ v sušině	ANY μg.kg ⁻¹ v sušině	BaA μg.kg ⁻¹ v sušině	BaP μg.kg ⁻¹ v sušině
88,5	25,9	15,4	<20,,0	25,0	33,8

BbF μg.kg ⁻¹ v sušině	BkF μg.kg ⁻¹ v sušině	BPE μg.kg ⁻¹ v sušině	DBA μg.kg ⁻¹ v sušině	FLT μg.kg ⁻¹ v sušině	FLU μg.kg ⁻¹ v sušině
49,5	20,6	47,2	12,1	64,8	30,0

CHR μg.kg ⁻¹ v sušině	IPY μg.kg ⁻¹ v sušině	NAP μg.kg ⁻¹ v sušině	PHE μg.kg ⁻¹ v sušině	PYR μg.kg ⁻¹ v sušině	Σ PAU (16)
22,0	15,2	118	117	112	718,5