

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně
Odbor bezpečnosti krmiv a půdy
Odbor zemědělské inspekce



VÝSLEDKY AKTIVNÍHO BIOMONITORINGU

Zpráva za rok 2009

Zpracovala: Ing. Lenka Klementová

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

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 jílky 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 2009.

2. Charakteristika stanovišť

ÚKZÚZ zajišťuje provoz čtyř stanovišť v Čechách, na Moravě a Slezsku (Závišín, Přerov n/L, 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.

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 - 6 km jihozápadně město Opava

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 seřaďovací 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 Závěšíně, Plzni, Opavě a Vratimově

vysázeny do velkoobjemových dřevěných kontejnerů a jednotného substrátu v roce 1997.

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 zalaty 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. Sestřihávaný porost ze všech květináčů se smíchal do jednoho směsného vzorku. Ke stanovení organických polutantů bylo naváženo 2 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 2009 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 (v dubnu) a na podzim (v říjnu).

3.2 . 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 polyaromatických uhlovodíků (PAU 16):

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

V předcházejících letech nebyl v NRL acenaphtylene (ANY) stanovován. 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 APU.

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.

4. Výsledky a diskuse

4.1. JÍLEK VE VEGETAČNÍM OBDOBÍ 2009

Na většině stanovišť bylo ve vegetačním období 2009 sklizeno dostatečné množství hmoty jílku k rozborům jak na anorganické, tak na organické polutanty. Pouze na stanovišti Závišín v říjnu nenarostl dostatek hmoty jílku pro všechna stanovení a sklizený jílek se přednostně použil na stanovení organických polutantů. Stanoviště Jaroměřice nad Rokytnou se zakládalo na začátku vegetačního období za stanoviště v Třešti a v prvním měsíci sledovaného období se jílek nesklízel.

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 2009

	2009			Pozad'ová hodnota ¹⁾
	průměr	maximum	minimum	
	mg.kg ⁻¹ sušiny			
Al	97,4	214,0	44,9	x
As	4,03	7,71	1,23	0,25
Cd	0,05	0,15	< 0,05	0,2
Cr	0,30	0,61	< 0,30	0,5
Cu	3,71	5,52	1,68	15
Fe	120,1	244,0	76,0	x
Hg	0,013	0,020	0,009	0,025
Mn	152,6	221,0	95,7	x
Mo	0,32	0,73	< 0,60	4,0
Ni	0,82	1,31	0,54	3,5
Pb	0,59	1,50	< 0,50	2,6
S	3160	5020	2230	5000
V	0,29	0,59	< 0,50	0,25
Zn	23,6	40,6	11,9	90
x - údaj chybí				
1) ÖHLINGER,2002				

Průměrné obsahy většiny sledovaných prvků za vegetační období 2009 byly nižší než požadové hodnoty z Rakouska (tabulka 1). U chrómu, síry, molybdenu a vanadu došlo k překročení požadových hodnot jen v některém ze sledovaných měsíců. Obsahy chrómu v jílku

byly jen mírně vyšší než požadová hodnota na dvou stanovištích – Opava ($0,55 \text{ mg.kg}^{-1}$), Jaroměřice ($0,61 \text{ mg.kg}^{-1}$) v X. měsíci sledování. U síry byla mírně překročena požadová hodnota v X. měsíci na stanovišti v Přerově (5020 mg.kg^{-1}). Molybden byl pod hranicí meze stanovitelnosti na všech stanovištích s výjimkou jediné zjištěné hodnoty $0,73 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny na stanovišti v Závišíně v IX. měsíci. Obdobně u vanadu je většina hodnot pod hranicí meze stanovitelnosti. Pouze na stanovišti v Přerově v VIII. a IX. měsíci sledování a v Opavě v X. měsíci byly naměřeny hodnoty mírně přesahující mez stanovitelnosti ($< 0,50 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny). Výjimkou je arzén, u něhož došlo u všech zjištěných hodnot na všech stanovištích k překročení požadové hodnoty pro arzén uváděné Öhlingerem (2002). I minimální hodnota arzénu zjištěná v jílku ze stanoviště Přerov ($1,23 \text{ mg.kg}^{-1}$) v X. měsíci je téměř pětinasobně vyšší než uváděná požadová hodnota. Podrobně jsou obsahy anorganických polutantů rozvedeny v tabulce 13 v příloze.

Jak vyplývá z porovnání průměrných měsíčních obsahů anorganických polutantů na jednotlivých stanovištích (tabulka 2), stanoviště Závišín je relativně nejčistší. V roce 2009 zde bylo nejvíce nejnižších průměrných hodnot sledovaných prvků. Vyšší zde byla průměrná hodnota síry a rovněž průměrná hodnota zinku než na ostatních stanovištích. Nízké hodnoty většiny anorganických polutantů byly rovněž naměřeny na stanovišti v Jaroměřicích.

Tabulka 2: Obsah anorganických polutantů v jílku na jednotlivých stanovištích (aritmetický průměr za vegetační období 2009)

	Závišín	Přerov n/L	Opava	Jaroměřice
	mg.kg^{-1} sušiny			
Al	62,0	143,9	95,3	88,5
As	2,94	4,63	4,04	4,52
Cd	$< 0,05$	0,07	0,08	0,04
Cr	0,20	0,36	0,30	0,35
Cu	3,83	3,89	3,68	3,43
Fe	88,0	148,8	137,8	105,8
Hg	0,014	0,011	0,016	0,010
Mn	116,1	179,3	165,3	149,6
Mo	0,39	$< 0,60$	$< 0,60$	$< 0,60$
Ni	0,80	0,94	0,86	0,69
Pb	0,36	0,62	0,83	0,55
S	3480	3155	3242	2762
V	$< 0,50$	$< 0,50$	$< 0,50$	$< 0,50$
Zn	31,9	24,7	20,0	17,8

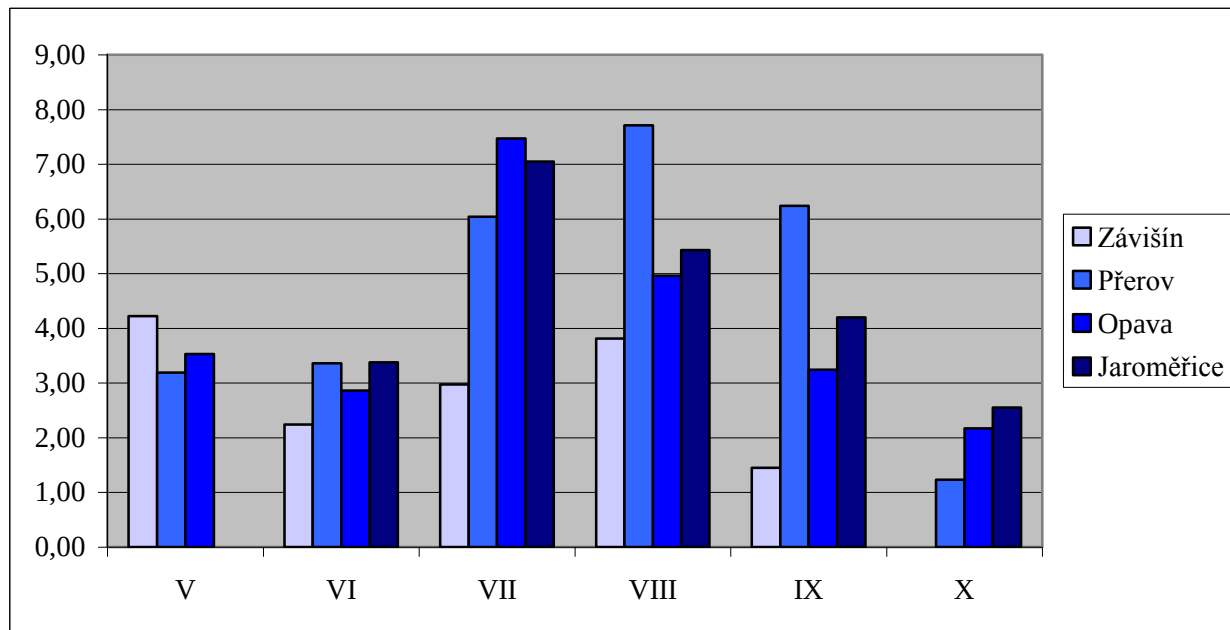
Obsahy anorganických polutantů v jílku byly v průběhu vegetačního období 2009 rozdílné jak na jednotlivých stanovištích, tak ve sledovaných měsících. Při porovnání průměrných obsahů stanovišť jsou u většiny jednotlivých anorganických polutantů nejnižší hodnoty na začátku a nejvyšší na konci sledovaného období (tabulka 3). Nejvyšší a nejnižší obsahy anorganických polutantů byly naměřeny v různém období a jen u některých polutantů je toto období shodné na všech stanovištích. U kadmia, chrómu a olova byly naměřeny nízké nepříliš rozdílné hodnoty, na stanovišti v Závišíně téměř vždy pod hranicí meze stanovitelnosti. Rovněž u molybdenu a vanadu byly hodnoty velmi nízké, jen ve třech případech byly nad hranicí meze stanovitelnosti. Arzén jako jediný sledovaný anorganický polutant má nejnižší naměřené hodnoty v jílku ke konci vegetačního období. Průběh zjištěných hodnot je téměř shodný na všech

stanovištích s maximem v letních měsících, s postupem vegetačního období hodnoty klesaly a nejnižší hodnoty byly naměřeny v posledním měsíci sledování (graf 1). Naopak u síry byly nejvyšší hodnoty na konci vegetačního období, v Závěšíně a Přerově jsou vyšší hodnoty i na začátku vegetačního období. Vyšší hodnoty ke konci sledovaného období mohou být ovlivněny začínající topnou sezónou. Podobně je tomu i u mědi a železa, kdy hodnoty měly stoupající tendenci ke konci vegetačního období (grafy 2, 3). U manganu a zinku byly naměřené hodnoty mezi stanovišti rozdílné, na jednotlivých stanovištích však ve sledovaném období je průběh změn u těchto prvků téměř shodný (graf 4) s výjimkou zinku v VII. měsíci sledování na stanovišti v Závěšíně. Zjištěné hodnoty niklu a rtuti jsou na jednotlivých stanovištích rozdílné a rovněž jejich průběh je odlišný. Hliník má nejnižší zjištěné obsahy na počátku sledování na všech stanovištích, pak se v průběhu vegetačního období jeho obsah vyvíjí na stanovištích různě, nejvyšší hodnoty byly zaznamenány ke konci sledování.

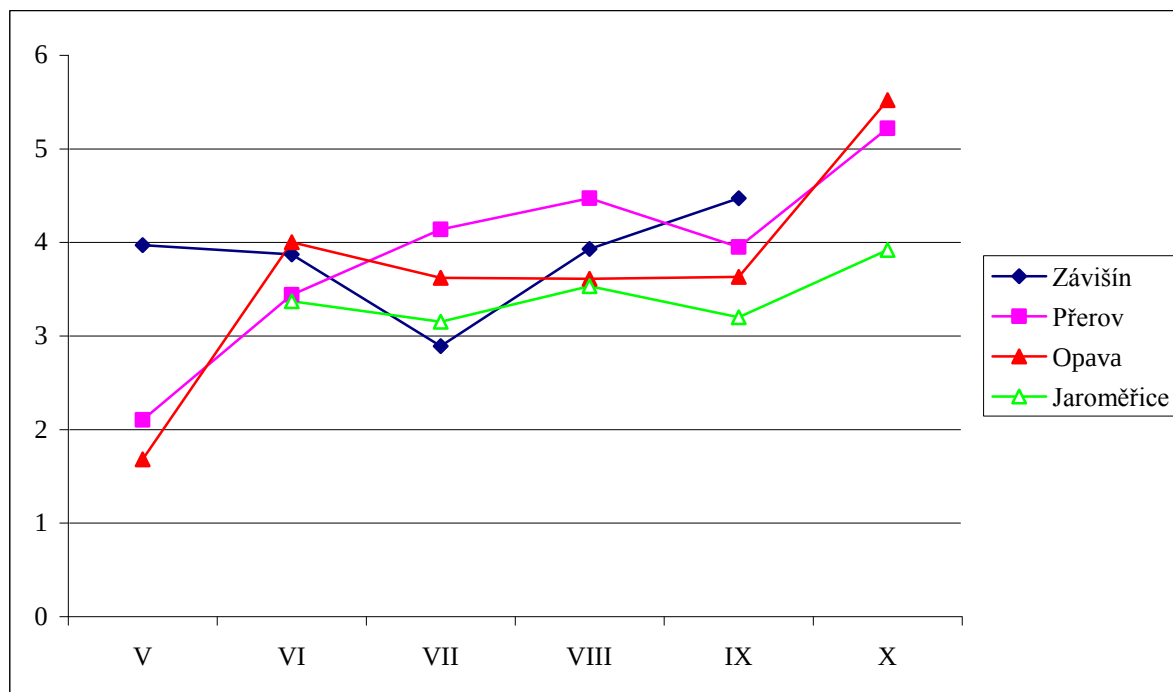
Tabulka 3: Změny obsahu anorganických polutantů v jílku v průběhu vegetačního období (aritmetický průměr stanovišť v měsících 2009)

	V	VI	VII	VIII	IX	X
	mg.kg ⁻¹ sušiny					
Al	51,8	64,9	87,7	104,0	121,3	173,7
As	3,65	2,96	5,88	5,48	3,78	1,98
Cd	0,04	0,07	0,06	0,04	0,05	0,08
Cr	< 0,30	0,30	0,21	0,27	0,40	0,52
Cu	2,58	3,67	3,45	3,89	3,81	4,89
Fe	105,8	92,6	98,1	119,8	140,5	189,3
Hg	0,011	0,013	0,012	0,015	0,013	0,012
Mn	130,3	149,0	139,4	169,8	154,3	185,3
Mo	< 0,60	< 0,60	< 0,60	< 0,60	0,41	< 0,60
Ni	0,70	0,72	0,79	1,04	0,90	0,84
Pb	0,35	0,69	0,36	< 0,50	0,85	1,21
S	3407	3140	2603	3150	2818	4177
V	< 0,50	< 0,50	< 0,50	0,33	0,34	0,35
Zn	20,3	24,2	23,8	23,0	23,6	25,9

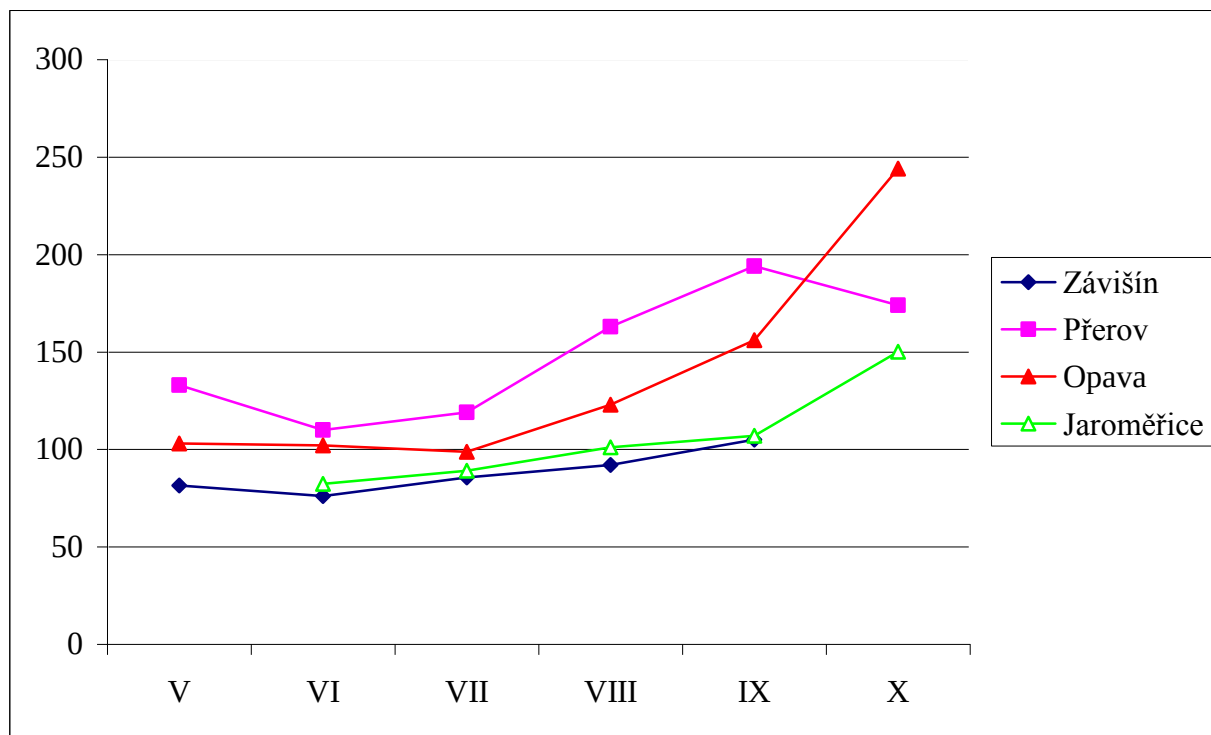
Graf 1: Změny obsahů arzenu v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2009 (mg.kg^{-1} sušiny)



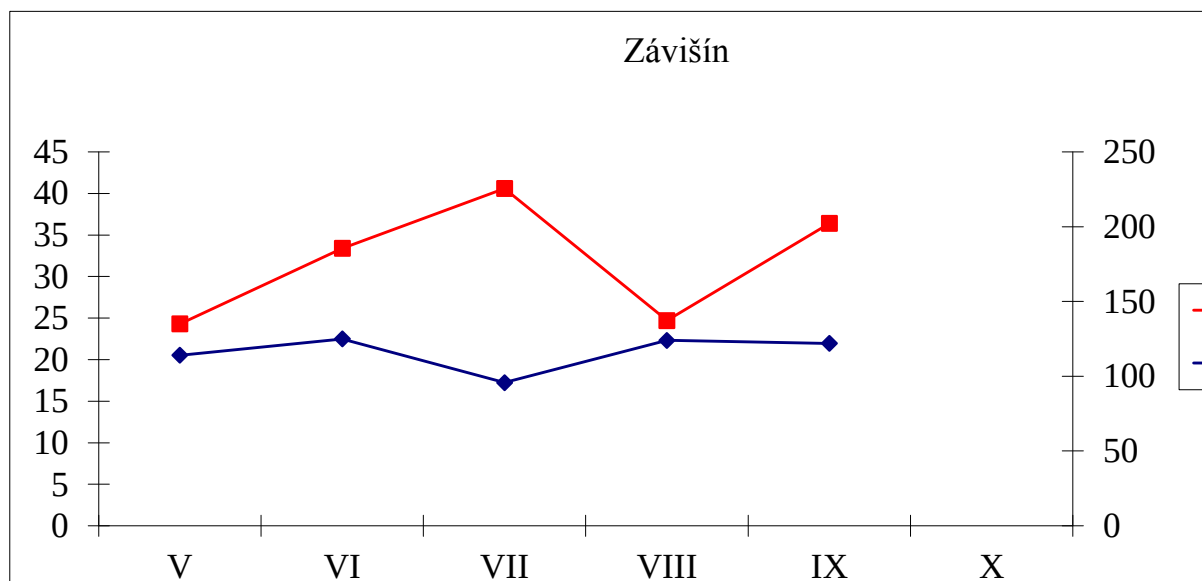
Graf 2: Změny obsahů mědi v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2009 (mg.kg^{-1} sušiny)

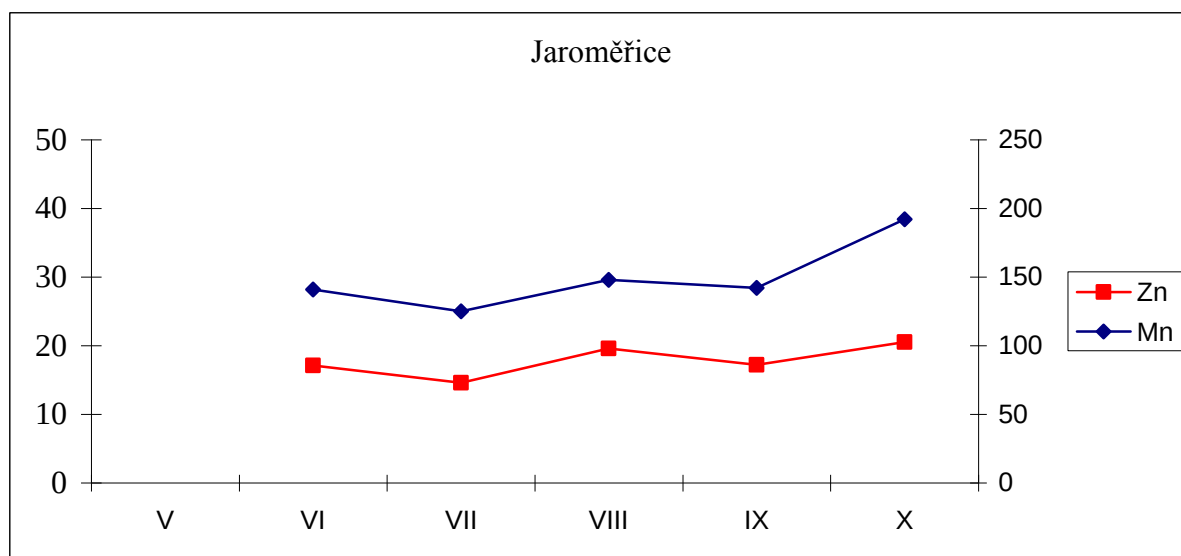
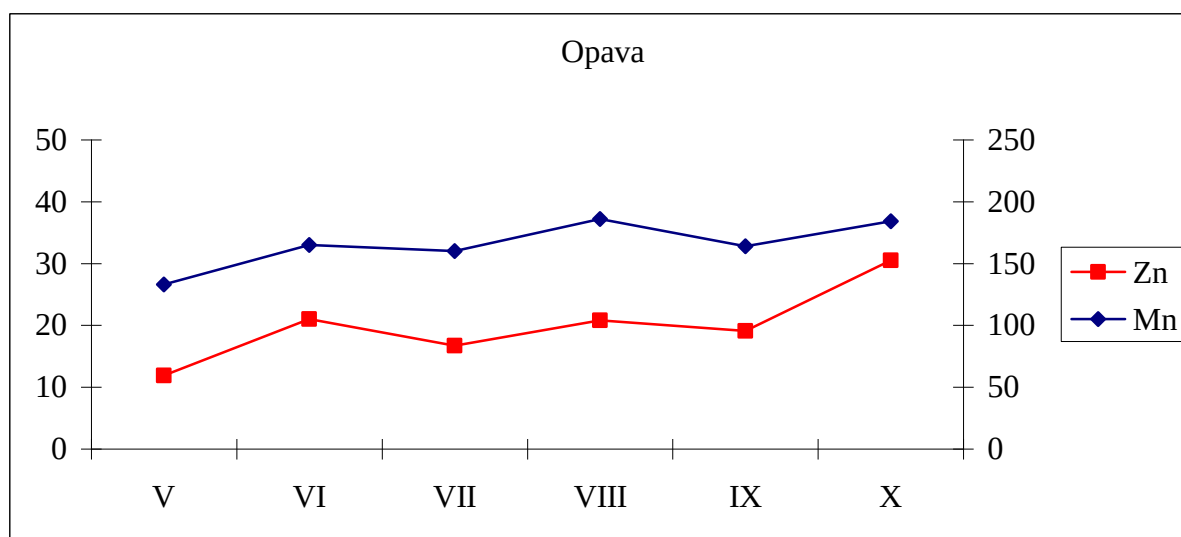
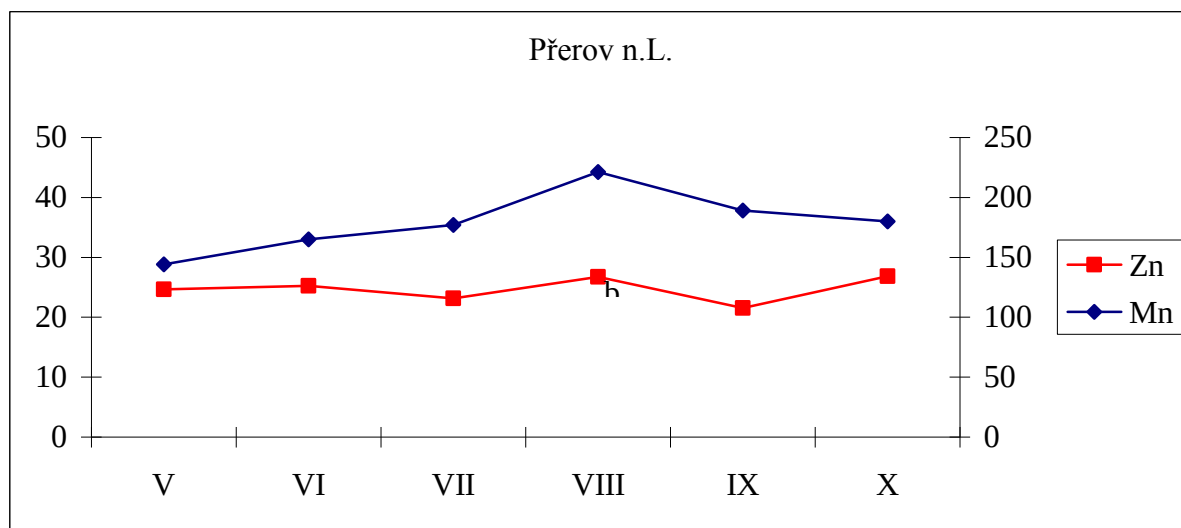


Graf 3: Změny obsahů železa v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2009 (mg.kg^{-1} sušiny)



Graf 4: změny obsahů zinku a manganu v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2009 (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 je nad požadovou hodnotou a maximální hodnota zjištěná v hmotě jílku v roce 2009 je více než desetinásobně vyšší než uváděná požadová hodnota.

Tabulka 4: Obsahy polycyklických aromatických uhlovodíků v jílku (aritmetický průměr za vegetační období 2009)

Σ PAU (16)	2009			požadová hodnota ¹⁾
	průměr	maximum	minimum	
	μg.kg ⁻¹ čerstvé biomasy			
	93,00	255,22	50,20	23,0

1) ÖHLINGER,2002

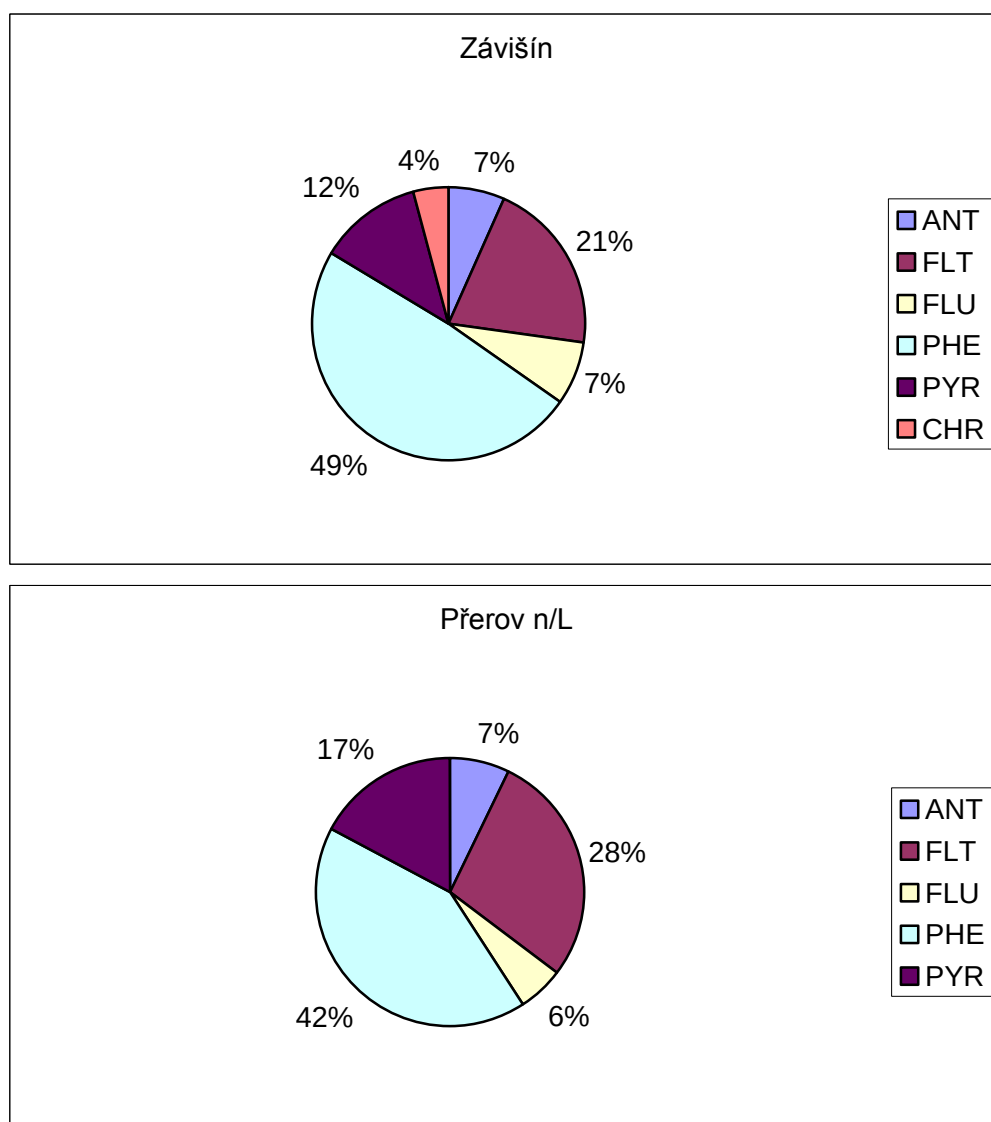
Tabulka 5: Obsah organických polutantů v jílku na jednotlivých stanovištích(průměr za vegetační období 2009)

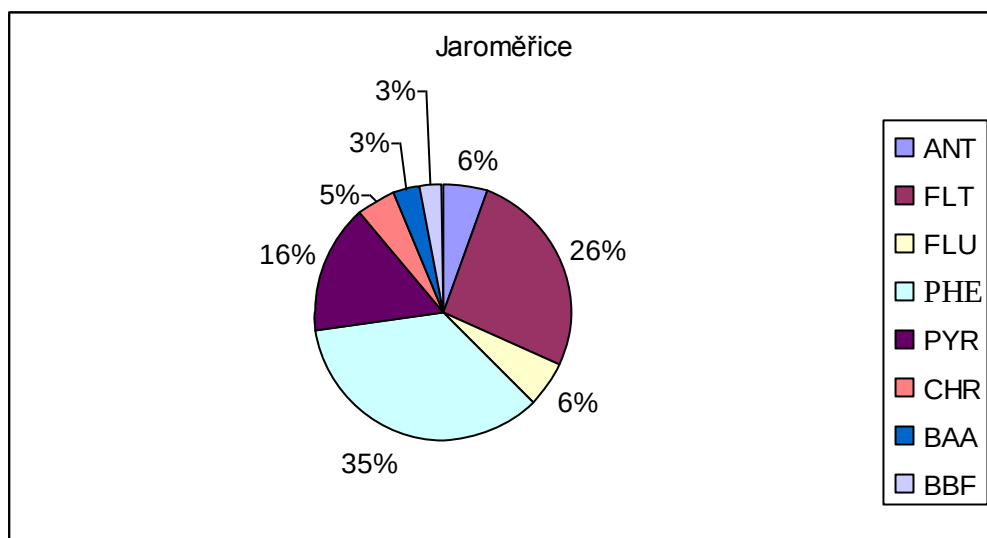
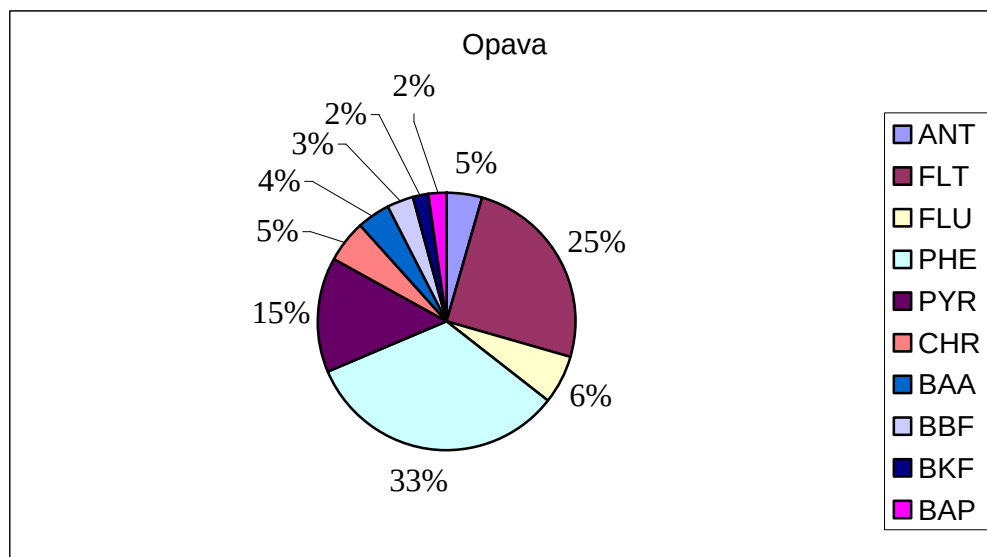
	Závišín	Přerov n/L	Opava	Jaroměřice
	μg.kg ⁻¹ čerstvé biomasy			
ANA	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00
ANT	3,74	3,52	3,55	4,38
ANY	< 20,00	< 20,00	< 20,00	< 20,00
BAA	< 4,00	< 4,00	3,24	2,53
BAP	< 3,00	< 3,00	1,80	< 3,00
BBF	< 3,00	< 3,00	2,52	2,29
BPE	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00
BKF	< 2,00	< 2,00	1,42	< 2,00
DBA	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00
FLT	11,45	13,43	19,31	20,02
FLU	4,14	2,71	4,65	4,53
CHR	2,39	< 4,00	4,04	3,75
IPY	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00
NAP	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00
PHE	27,30	20,32	25,63	27,44
PYR	6,76	8,25	11,30	12,44
Σ PAU (16)	85,78	80,88	101,46	103,87

Vyšší hodnoty organických polutantů v jílku byly zjištěny na stanovištích v Opavě a Jaroměřicích (tabulka 5).

Na stanovišti v Přerově byla pouze u pěti sledovaných PAU překročena mez stanovitelnosti ve vzorcích jílku za celé sledované vegetační období, ve vzorcích jílku ze stanoviště v Závišíně to bylo u šesti PAU. Přesto je celkový obsah sumy 16 EPA PAU na těchto stanovištích v porovnání s výše uvedenou požadovnou hodnotou z Rakouska více než trojnásobně vyšší. Na všech stanovištích tvořil nejvyšší podíl z celkového množství stanovených PAU phenanthrene (PHE), fluoranthene (FLT) a pyrene (PYR) (graf 5). Hodnoty ostatních sledovaných polyaromatických uhlovodíků byly nízké, většinou pod hranicí meze stanovitelnosti. Pokud byla mez stanovitelnosti překročena, tak ve vzorcích jílku z konce vegetačního období v IX. a X. měsíci sledování, a to převážně na stanovišti v Jaroměřicích a Opavě. Obsahy anthracene (ANT) byly zvýšené na stanovišti v Závišíně i v V. a VII. měsíci sledování. Na žádném stanovišti nebyla mez stanovitelnosti překročena v žádném měsíci za sledované období u acenaphtene (ANA), acenaphtylene (ANY), benzo[g,h,i]perylene (BPE), dibenzo[a,h]anthracene (DBA), indeno[1,2,3-c,d]pyrene (IPY) a naphtalene (NAP).

Graf 5: Průměrné zjištěné obsahy organických polutantů v jílku na jednotlivých stanovištích v průběhu vegetačního období 2009 (% ze Σ hodnot PAU nad hranicí meze stanovitelnosti)



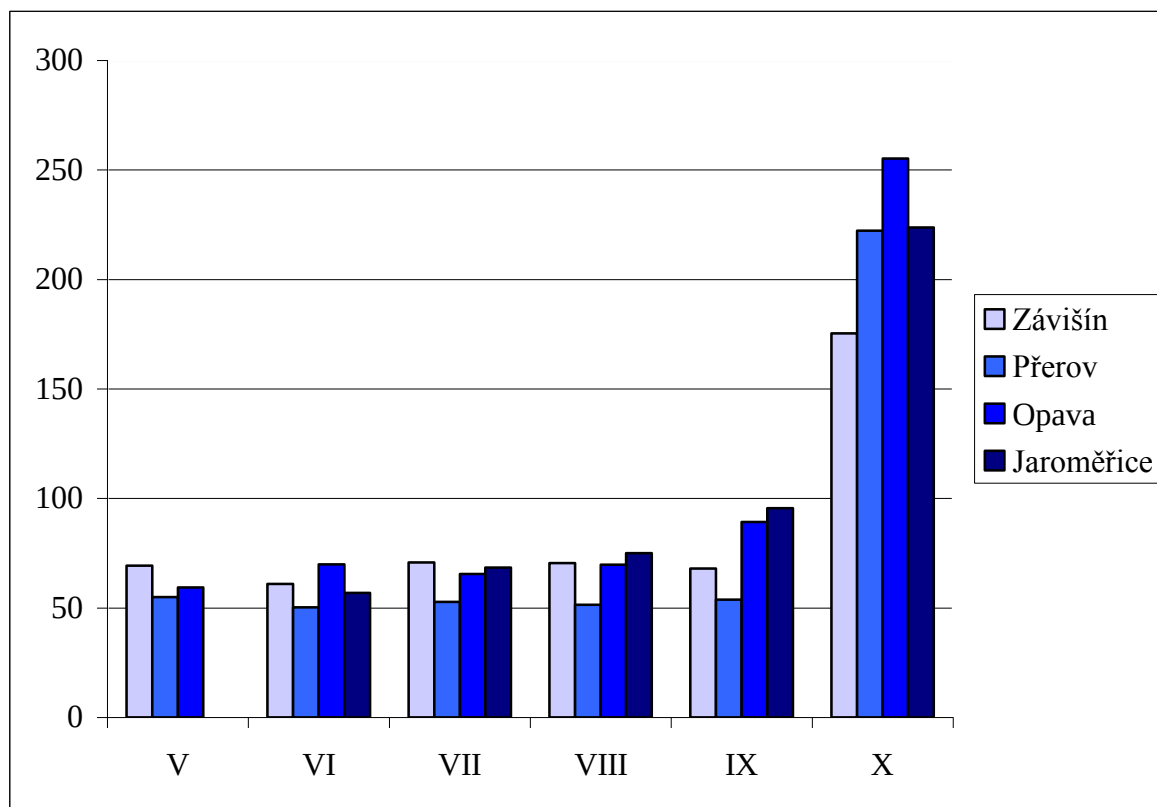


Tabulka 6: Změny obsahu organických polutantů v jílku v průběhu vegetačního období 2009 (aritmetický průměr stanovišť)

Σ PAU (16)	Závišín	Přerov n/L	Opava	Jaroměřice
	μg.kg ⁻¹ čerstvé biomasy			
V	69,30	55,00	59,28	-
VI	60,87	50,20	69,86	56,87
VII	70,76	52,70	65,47	68,42
VIII	70,39	51,40	69,71	74,98
IX	67,98	53,80	89,20	95,45
X	175,39	222,20	255,22	223,64
	85,78	80,88	101,46	103,87

Tabulka 6 uvádí obsah organických polutantů v průběhu vegetačního období. Výrazný je nárůst zachytu organických polutantů v posledním měsíci sledování (graf 6), což lze dát do souvislosti s nástupem topné sezóny. Především hodnoty phenanthrene (PHE) a fluoranthene (FLT) se v posledních měsících sledování výrazně zvýšily. Nejnížší hodnoty zachytu celkové sumy PAU v jednotlivých měsících byly zaznamenány na stanovišti v Přerově s výjimkou posledního měsíce sledování, kdy nejnižší hodnoty byly naměřeny v jílku na stanovišti v Závěšíně.

Graf 6: Změny obsahu organických polutantů v jílku v průběhu vegetačního období 2009 (Σ 16 PAU; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ čerstvé biomasy)



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

4.2. BOROVICE VE VEGETAČNÍM OBDOBÍ 2009

Borovice černá je druhým bioindikátorem, který je umístěn na dvou imisně nezatížených stanovištích společně s jíllem (Závěšín, 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 2009 jsou uvedeny v tabulce 7.

Průměrné obsahy imisně zatížených stanovišť byly vyšší než na stanovištích imisně

nezatížených u většiny anorganických polutantů, především výrazně vyšší hodnoty byly zjištěny u železa. Minimální rozdíly mezi zatíženými a nezatíženými stanovišti vykazoval zinek, hodnoty vanadu byly pod hranicí meze stanovitelnosti na všech stanovištích, hodnoty kadmia, chrómu, olova a molybdenu byly pod hranicí meze stanovitelnosti na imisně nezatížených stanovištích. Pouze zjištěné hodnoty mědi byly nepatrně vyšší na stanovištích relativně čistších.

Tabulka 7: Obsahy anorganických polutantů v jehličí Borovice aritmetický průměr nezatížených a zatížených stanovišť v roce 2009

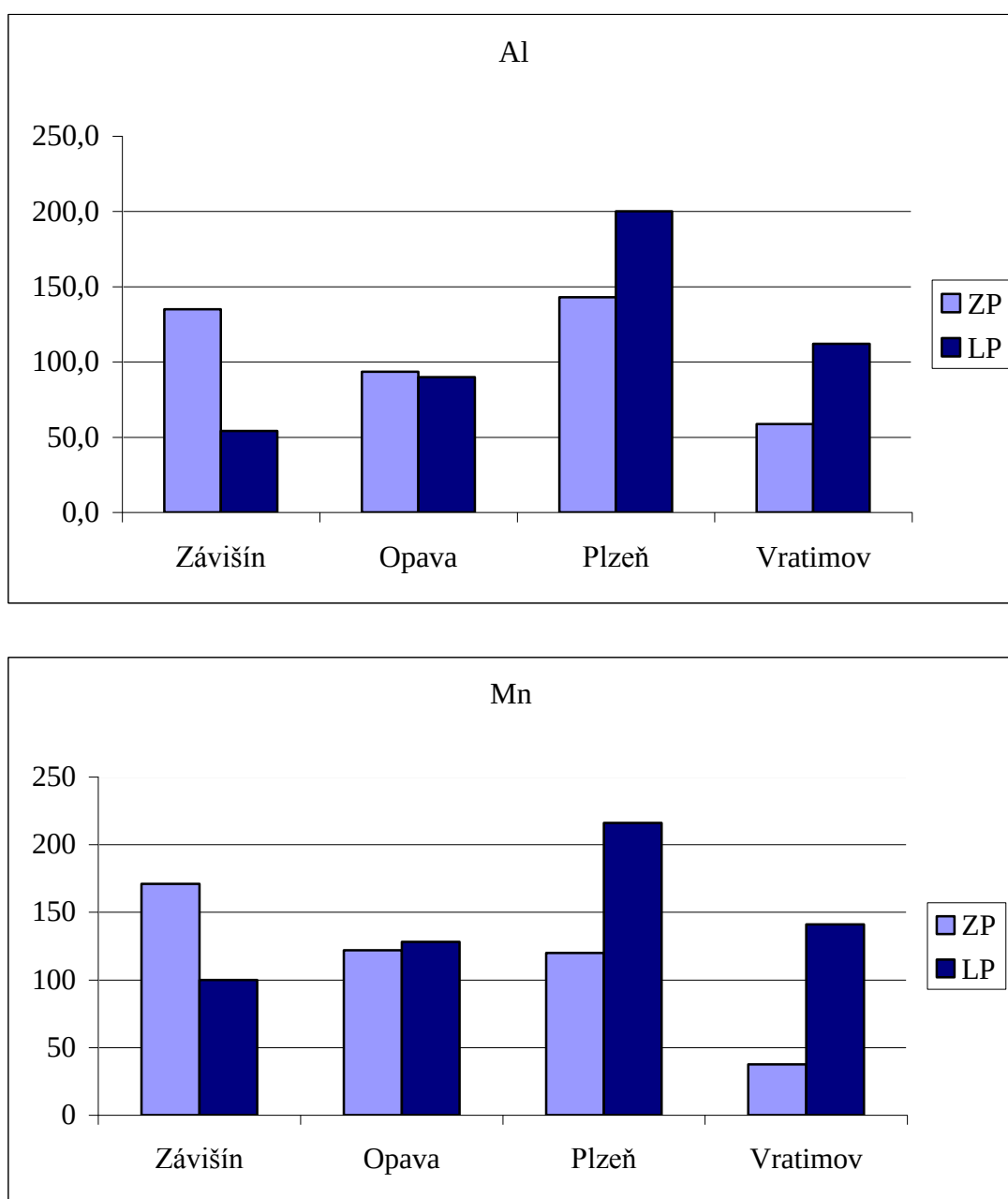
	nezatížená stanoviště			zatížená stanoviště		
	průměr	maximum	minimum	průměr	maximum	minimum
	mg.kg ⁻¹ sušiny					
Al	93,1	135,0	54,2	128,4	200,0	58,7
As	0,18	0,26	< 0,20	0,68	2,15	< 0,20
Cd	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,09	0,18	< 0,05
Cr	< 0,30	< 0,30	< 0,30	0,41	0,68	< 0,30
Cu	3,03	3,37	2,42	2,38	2,88	1,80
Fe	52,5	59,9	42,7	129,4	161,0	95,7
Hg	0,011	0,017	0,006	0,017	0,023	0,014
Mn	130,2	171,0	99,9	128,6	216,0	37,5
Mo	< 0,60	< 0,60	< 0,60	0,98	1,65	< 0,60
Ni	0,89	1,24	0,43	1,14	2,35	0,37
Pb	< 0,50	< 0,50	< 0,50	0,88	1,95	< 0,50
S	971	1170	868	1342	1480	1090
V	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Zn	32,03	34,80	29,30	37,98	51,90	27,90

Tabulka 8: Obsahy anorganických polutantů v jehličí borovice v letní a zimní periodě (aritmetický průměr za periodu v roce 2009)

	nezatížená stanoviště		zatížená stanoviště	
	zimní perioda	letní perioda	zimní perioda	letní perioda
	mg.kg ⁻¹ sušiny			
Al	114,3	72,0	100,9	156,0
As	0,18	0,18	0,18	1,18
Cd	< 0,05	< 0,05	0,08	0,10
Cr	<0,30	<0,30	0,40	0,42
Cu	2,72	3,34	2,29	2,47
Fe	53,7	51,3	128,4	130,5
Hg	0,014	0,009	0,016	0,019
Mn	146,5	114,0	78,8	178,5
Mo	< 0,60	< 0,60	0,98	< 0,60
Ni	0,80	0,98	1,37	0,92
Pb	<0,50	<0,50	1,10	0,66
S	1019	924	1225	1460
V	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Zn	32,65	31,40	36,05	39,90

Rozdíly hodnot u jednotlivých anorganických polutantů na zatížených a nezatížených stanovištích jsou různé při porovnávání zimní (jarní odběr jehličí) a letní (podzimní odběr jehličí) periody, jak ukazují hodnoty v tabulce 8. Vyšší průměrné hodnoty byly zjištěny na zatížených stanovištích v letní periodě, jen obsahy molybdenu, niklu a olova byly vyšší v zimním období na zatížených stanovištích. U některých polutantů je kolísání obsahu během period na stanovišti minimální, např. zinek na stanovišti v Závišíně, Opavě a Vratimově, u některých prvků jsou mezi periodami výrazné rozdíly, týká se to hliníku a manganu na stanovišti v Závišíně, Plzni a Vratimově (viz graf 6), někdy jsou tyto rozdíly jen na jednom stanovišti jako u arzenu, molybdenu a olova na stanovišti ve Vratimově.

Graf 7: Změny obsahů hliníku a manganu v jehličí borovice v letní (LP) a zimní periodě (ZP) na jednotlivých stanovištích (mg.kg^{-1} sušiny)



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

Tabulka 9: Obsahy anorganických polutantů v jehličí Borovice (aritmetický průměr nezatížených a zatížených stanovišť v roce 2009)

	nezatížená stanoviště		zatížená stanoviště	
	Závišín	Opava	Plzeň	Vratimov
	mg.kg ⁻¹ sušiny			
Al	94,6	91,7	171,5	85,4
As	<0,20	0,26	0,16	1,20
Cd	<0,05	<0,05	0,16	<0,05
Cr	<0,30	<0,30	0,57	0,25
Cu	3,20	2,86	2,83	1,93
Fe	47,6	57,4	113,9	145,0
Hg	0,014	0,008	0,020	0,014
Mn	135,5	125,0	168,0	89,3
Mo	<0,60	<0,60	<0,60	0,98
Ni	1,21	0,57	1,91	0,38
Pb	<0,50	<0,50	0,53	1,37
S	893	1050	1420	1265
V	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Zn	34,15	29,90	47,25	28,70

Pokud porovnáme průměrné obsahy anorganických polutantů v jehličí na jednotlivých stanovištích, vychází jako nejčistší stanoviště Závišín, kde hodnoty pod hranicí meze stanovitelnosti byly zjištěny u šesti sledovaných anorganických polutantů – arzenu, kadmia, chromu, molybdenu, olova a vanadu a nejnižší hodnoty v obou periodách u železa a síry. Nejvíce zatíženým stanovištěm je Plzeň, kde hodnoty hliníku, kadmia, chromu, železa, manganu, niklu, síry a zinku převyšují hodnoty z ostatních stanovišť. Na zatíženém stanovišti ve Vratimově jsou překvapivě naměřeny u některých anorganických polutantů nejnižší hodnoty ze sledovaných stanovišť – u mědi, niklu a zinku v obou periodách, u hliníku a manganu v zimní periodě, zároveň jsou však zde vysoké obsahy železa a olova.

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

4.2.2. Organické polutanty v jehličí

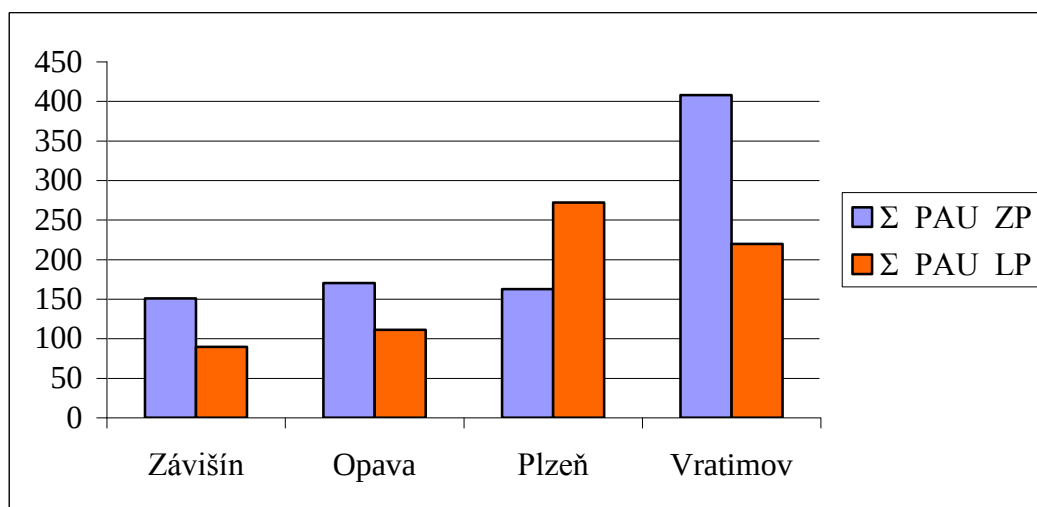
Průměrné obsahy polycyklických aromatických uhlovodíků naměřené v jehličí borovice černé jsou uvedeny v tabulce 10. V jednom vzorku nebyl stanoven acenaphtylene (ANY), protože nebylo možné tuto látku správně kvantifikovat z důvodu špatného separování vzorku.

Nejvyšší obsah (Σ 16 PAU) byl zjištěn na stanovišti Vratimov v zimní periodě, nejnižší na stanovišti Závišín v letní periodě. V zimní periodě byly vyšší obsahy v porovnání s letní periodou na všech stanovištích s výjimkou Plzně, kde byly vyšší obsahy v letní periodě.

Rozdílné hodnoty zachytu PAU na jehličí na zatížených a nezatížených stanovištích mezi zimní a letní periodou ukazuje graf 8.

Tabulka 10: Obsahy organických polutantů v jehličí borovice (aritmetický průměr nezatížených a zatížených stanovišť v roce 2009)

Σ PAU (16)	nezatížená stanoviště			zatížená stanoviště		
	průměr	maximum	minimum	průměr	maximum	minimum
	μg.kg ⁻¹ čerstvé biomasy					
	130,30	170,10	89,40	265,63	407,70	162,70

Graf 8: Obsah organických polutantů v jehličí borovice v letní (LP) a zimní periodě (ZP) (Σ 16 PAU; μg.kg⁻¹ čerstvé biomasy)


U pěti uhlovodíků nebyla jejich mez stanovitelnosti překročena na žádném stanovišti - acenaphtene (ANA), acenaphtylene (ANY), benzo[g,h,i]perylene (BPE), dibenzo[a,h]anthracene (DBA) a indeno[1,2,3-c,d]pyrene (IPY). Hodnoty benzo[a]pyrene (BaP) byly nad hranicí meze stanovitelnosti jen na stanovišti ve Vratimově. Na stanovišti v Závišíně a v Plzni nebyly hodnoty meze stanovitelnosti v jehličí překročeny ještě u benzo[k]fluoranthene (BkF) a benzo[b]fluoranthene (BbF). Hodnoty benzo[a]anthracene (BaA) byly pod hranicí stanovitelnosti na stanovišti v Závišíně.

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

Tabulka 11: Obsahy jednotlivých organických polutantů v jehličí borovice (aritmetický průměr jednotlivých stanovišť v roce 2009)

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	6,28	3,51	8,80	13,34
ANY	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0
BAA	<4,00	5,33	6,20	8,59
BAP	<3,00	<3,00	<3,00	2,72
BBF	<3,00	4,58	<3,00	9,64
BKF	<2,00	2,15	<2,00	4,24
BPE	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
DBA	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
PHE	35,75	31,55	68,30	97,90
FLT	15,35	23,80	46,70	50,30
FLU	10,25	7,60	15,10	23,15
CHR	13,45	< 4,00	7,40	22,25
IPY	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
NAP	18,30	10,05	24,55	26,85
PYR	9,85	15,50	14,88	33,35
Σ PAU (16)	120,10	140,50	217,45	313,80

V letní periodě byly obsahy jednotlivých uhlovodíků nižší na nezatížených stanovištích s výjimkou chrysene (CHR) na stanovišti v Závišíně, obsahy tohoto polutantu byly vyšší na stanovišti v Závišíně než na zatíženém stanovišti v Plzni. Rovněž v zimní periodě byly zjištěny nejnižší hodnoty jednotlivých organických polutantů na nezatížených stanovištích, opět s výjimkou chrysene (CHR) na stanovišti v Závišíně. Rozdíly mezi průměrnými obsahy jednotlivých organických polutantů v zimní a letní periodě na zatížených a nezatížených stanovištích jsou zřetelné z tabulky 12.

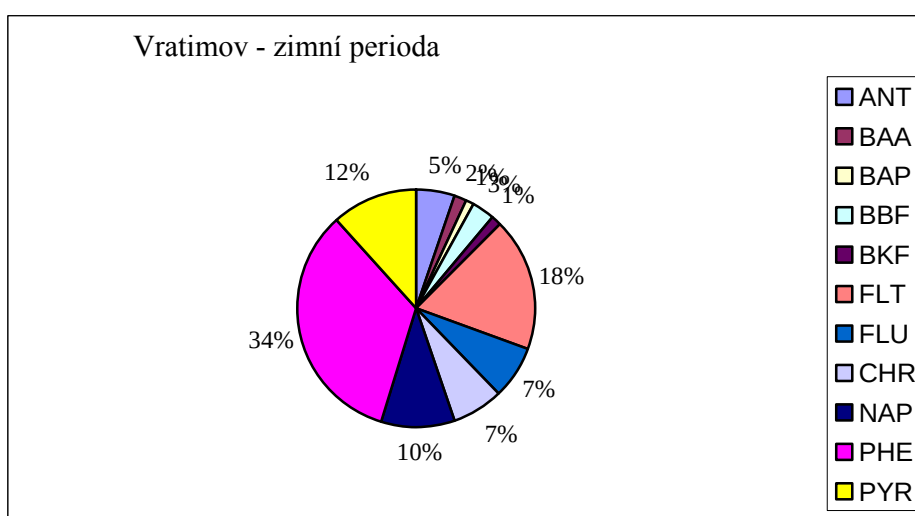
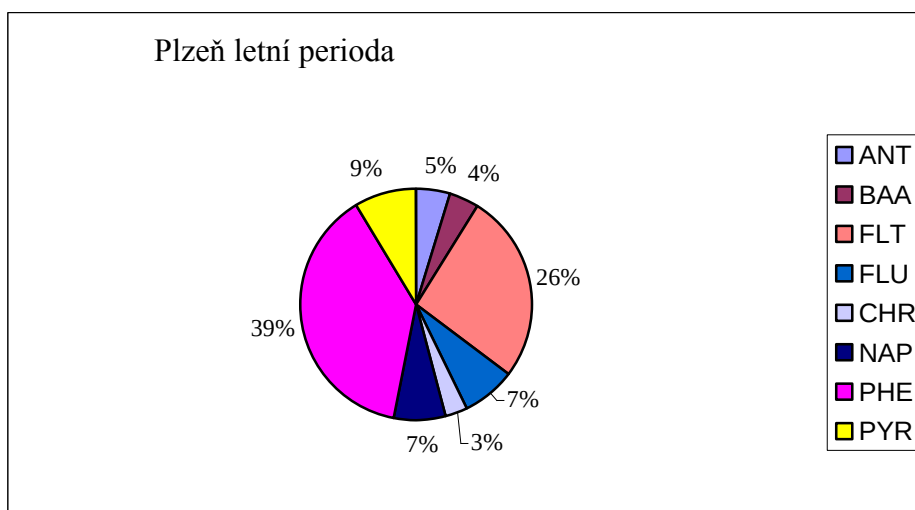
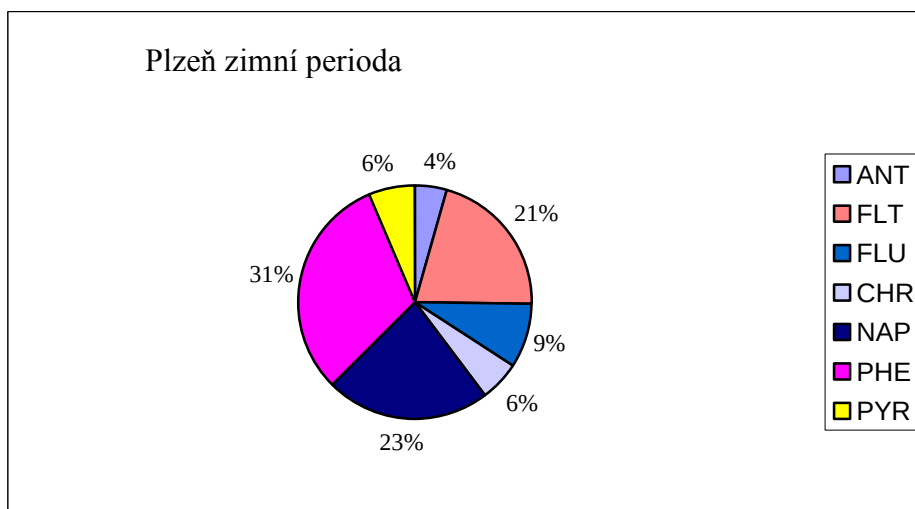
Tabulka 12: Obsahy jednotlivých organických polutantů v jehličí borovice v letní a zimní periodě (aritmetický průměr nezatížených a zatížených stanovišť v roce 2009)

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	6,40	3,39	11,70	6,57
ANY	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0
BAA	3,17	4,16	4,54	10,25
BAP	<3,00	<3,00	2,72	<3,00
BBF	3,28	2,80	6,70	4,44
BKF	1,59	1,57	2,97	2,27
BPE	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
DBA	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
PHE	42,70	24,60	85,60	80,60
FLT	23,55	15,60	49,00	48,00
FLU	12,31	5,54	20,20	18,05
CHR	8,10	7,35	17,03	12,63
IPY	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
NAP	21,95	6,23	34,95	16,45
PYR	14,45	10,90	27,03	21,20
Σ PAU (16)	160,45	100,15	285,20	246,05

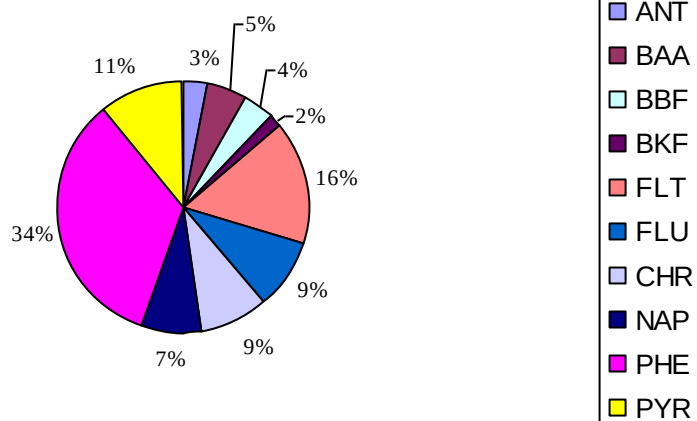
Na všech stanovištích nejvyšší podíl z celkové sumy PAU tvořil phenanthrene (PHE), fluoranthene (FLT) a pyrene (PYR), jak v letní, tak v zimní periodě. V zimní periodě byl zjištěn také vysoký obsah naphtalene (NAP) na stanovišti v Plzni a Vratimově, jeho obsah byl vyšší i na stanovištích v Opavě a v Závišíně v porovnání s letní periodou. Vyšší obsahy byly zaznamenány i u fluorene (FLU) na všech stanovištích s výjimkou letní periody na nezatížených stanovištích, kde byly jeho hodnoty výrazně nižší. Na stanovišti ve Vratimově byl poměrně vysoký obsah chrysene (CHR) v zimní periodě v porovnání s ostatními stanovišti. Na stanovišti v Opavě byl chrysene (CHR) v obou periodách pod hranicí meze stanovitelnosti.

Poměrné zastoupení jednotlivých polycyklických aromatických uhlovodíků, jejichž obsah se nacházel nad hranicí meze stanovitelnosti, se v závislosti na výši celkové sumy PAU na stanovištích a mezi periodami výrazně neměnilo (graf 9). Týká se to především již výše zmíněných tří uhlovodíků - phenanthrene (PHE), fluoranthene (FLT) a pyrene (PYR). Na stanovišti v Plzni v zimní periodě měl vysoký podíl na celkové sumě PAU naphtalene (NAP), rovněž na stanovišti v Závišíně a v Opavě byl jeho podíl v zimní periodě vyšší, na stanovišti v Opavě byl v letní periodě pod hranicí meze stanovitelnosti.

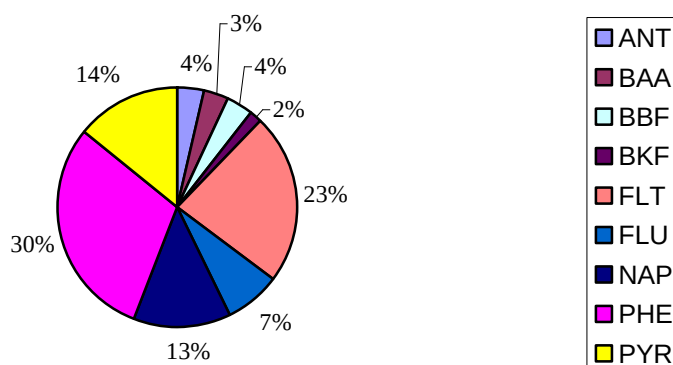
Graf 9: Průměrné zjištěné obsahy organických polutantů v jehličí borovice na jednotlivých stanovištích v letní a zimní periodě 2009 (% ze Σ hodnot PAU nad hranicí meze stanovitelnosti)



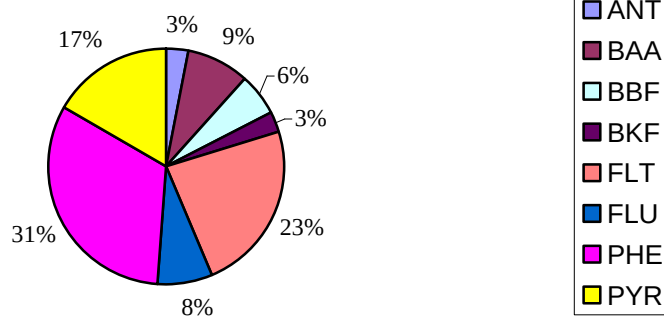
Vratimov letní perioda

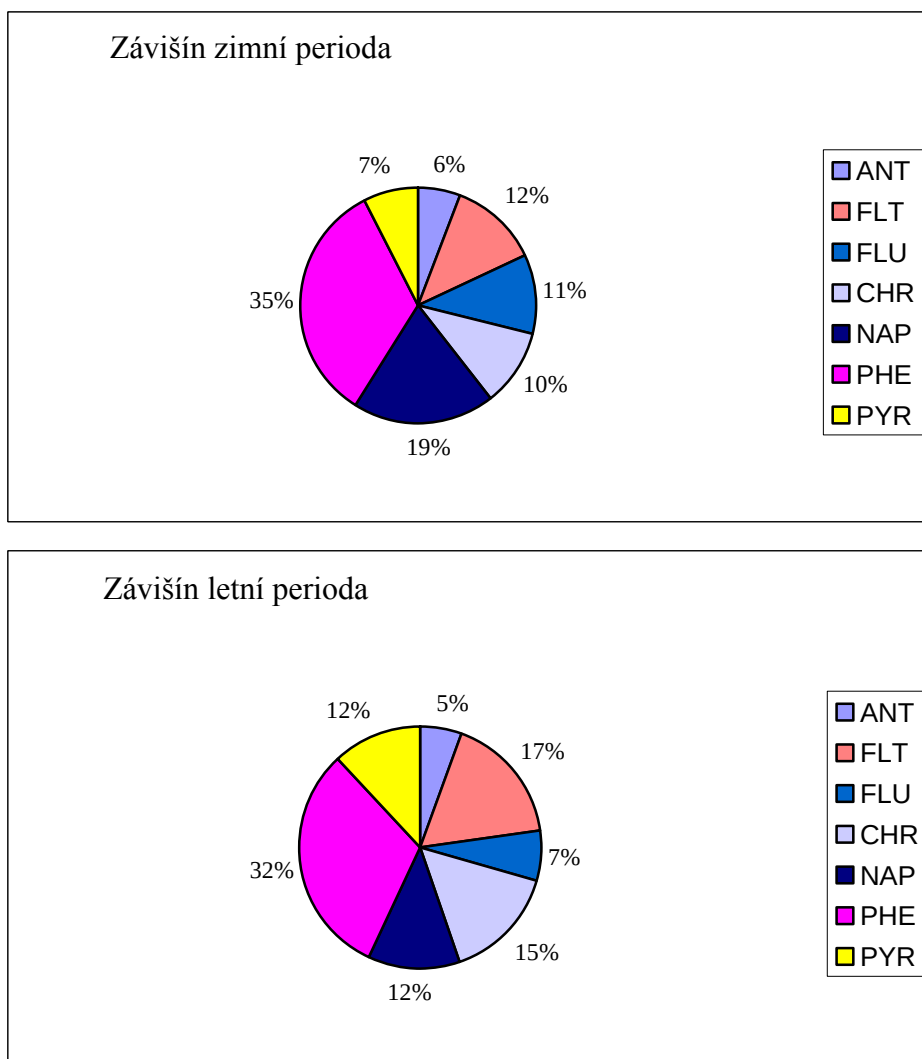


Opava zimní perioda



Opava letní perioda





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

5. Závěry

- V roce 2009 byly sledovány obsahy vybraných anorganických polutantů a organických polutantů (16 EPA PAU) v travní hmotě jílku (stanoviště Závišín, Přerov nad Labem, Jaroměřice, Opava) a v jehličí borovice černé (stanoviště Závišín, Opava, Plzeň, Vratimov).
- Pozadňové hodnoty anorganických polutantů, získané z literatury jako hodnoty pro Rakousko, byly překročeny ve všech vzorcích jílku u arzenu na všech stanovištích, u chrómu, síry a vanadu došlo k překročení pozadňových hodnot jen v některých sledovaných měsících a na některých stanovištích.
- Změny obsahů jednotlivých anorganických polutantů v jílku byly u většiny sledovaných anorganických polutantů v průběhu vegetačního období 2009 rozdílné jak na jednotlivých stanovištích, tak ve sledovaných měsících.
- U síry byly nejvyšší hodnoty na konci vegetačního období, což může být dáno do souvislosti se začátkem topné sezóny. Výjimkou je stanoviště v Závišíně, kde vzorek za poslední měsíc sledování chyběl a nejvyšší hodnota byla zjištěna na počátku sledování. Rovněž u mědi a železa byly nejvyšší hodnoty na konci vegetačního období.

- Arzén má téměř shodný průběh zjištěných hodnot na všech stanovištích s maximem v letních měsících (s výjimkou stanoviště v Závišíně, kde je maximum v prvním měsíci sledování). Nejnížší hodnoty byly naměřeny v posledním měsíci sledování.
- Hodnoty vanadu a molybdenu byly pod hranicí meze stanovitelnosti téměř ve všech vzorcích jílku. U kadmia a olova byla pod hranicí meze stanovitelnosti polovina naměřených hodnot.
- Pozad'ová hodnota organických polutantů byla překročena ve všech vzorcích jílku.
- Průměrný obsah organických polutantů v jílku byl nejvyšší na stanovišti v Jaroměřicích nad Rokytnou, nejnižší hodnoty celkové sumy PAU byly zaznamenány na stanovišti v Přerově nad Labem.
- Na všech stanovištích tvořil nejvyšší podíl z celkové sumy PAU phenanthrene (PHE), fluoranthene (FLT) a pyrene (PYR).
- Hodnoty phenanthrene (PHE), fluoranthene (FLT), anthracene (ANT) a pyrene (PYR) se výrazně zvýšily v posledním měsíci sledování.
- Průměrné obsahy anorganických polutantů v jehličí borovice černé imisně zatížených stanovišť byly vyšší než průměrné obsahy na stanovištích imisně nezatížených u většiny anorganických polutantů. Pouze průměrné hodnoty mědi jsou nepatrně vyšší na nezatížených stanovištích.
- Hodnoty jednotlivých anorganických polutantů v jehličí imisně nezatížených a zatížených stanovišť jsou rozdílné jak při porovnávání zimní (jarní odběr jehličí) a letní (podzimní odběr jehličí) period, tak při porovnávání jednotlivých stanovišť.
- Na imisně zatížených stanovištích byly v jehličí zjištěny především výrazně vyšší hodnoty železa v letní i zimní periodě než na stanovištích imisně nezatížených.
- Hodnoty vanadu byly pod hranicí meze stanovitelnosti ve všech vzorcích jehličí. Olovo a chrom byly pod hranicí meze stanovitelnosti na nezatížených stanovištích. Hodnoty kadmia nad hranicí meze stanovitelnosti byly pouze v Plzni a molybdenu jen v zimní periodě ve Vratimově.
- Na zatíženém stanovišti ve Vratimově byly naměřeny nejnižší hodnoty v obou periodách u mědi, niklu a zinku, v zimní periodě i u hliníku a manganu.
- Nejvíce zatíženým stanovištěm z pohledu anorganických polutantů je Plzeň, kde téměř u všech anorganických polutantů byly naměřeny nejvyšší hodnoty, a to jak v letní, tak i v zimní periodě.
- Vyšší hodnoty zachytu polycyklických aromatických uhlovodíků byly zjištěny v zimní periodě na všech stanovištích s výjimkou stanoviště Plzeň, kde byly vyšší hodnoty zachytu PAU naměřeny v letní periodě.
- Nejvyšší hodnota zachytu polycyklických aromatických uhlovodíků v jehličí byla zjištěna na stanovišti ve Vratimově v zimní periodě, nejnižší hodnota na stanovišti Závišín v letní periodě.
- Nejvyšší podíl z celkové sumy PAU v jehličí tvořil phenanthrene (PHE), fluoranthene (FLT) a pyrene (PYR), a to jak v zimní, tak i v letní periodě, na stanovišti v Plzni, v Závišíně a v Opavě v zimní periodě měl vysoký podíl na celkové sumě polyaromatických uhlovodíků také naphthalene (NAP).
- Výsledky slouží pro stanovování pozad'ových 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., UŠŤAK, 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 - 2009
- Tabulka 14: Obsahy polyaromatických uhlovodíků v čerstvé hmotě jílku - 2009
- Tabulka 15: Obsahy anorganických polutantů v jehličí borovice černé - 2009
- Tabulka 16: Obsahy polyaromatických uhlovodíků v jehličí borovice černé - 2009

Tabulka 13: Obsahy anorganických polutantů v sušině jílku

Al	mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	44,9	60,7	49,8	-	51,8
	VI	47,4	92,8	60,9	58,5	64,9
	VII	87,2	116,0	67,7	80,0	87,7
	VIII	48,7	214,0	76,4	76,9	104,0
	IX	81,9	211,0	109,0	83,2	121,3
	X	-	169,0	208,0	144,0	173,7
	průměr	62,0	143,9	95,3	88,5	97,4

As	mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	4,22	3,19	3,53	-	3,65
	VI	2,24	3,36	2,86	3,38	2,96
	VII	2,97	6,04	7,47	7,05	5,88
	VIII	3,81	7,71	4,96	5,43	5,48
	IX	1,45	6,24	3,24	4,20	3,78
	X	-	1,23	2,17	2,55	1,98
	průměr	2,94	4,63	4,04	4,52	4,03

Cd	mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<0,05	0,06	<0,05	-	0,04
	VI	<0,05	0,07	0,150	<0,05	0,07
	VII	<0,05	0,07	0,110	<0,05	0,06
	VIII	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	0,04
	IX	<0,05	0,08	0,070	<0,05	0,05
	X	-	0,08	0,070	0,08	0,08
	průměr	<0,05	0,07	0,08	0,04	0,05

Cr	mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<0,30	<0,30	<0,30	-	<0,30
	VI	<0,30	0,31	0,38	0,37	0,30
	VII	<0,30	0,37	<0,30	<0,30	0,21
	VIII	<0,30	0,45	<0,30	0,31	0,27
	IX	0,40	0,46	0,42	0,33	0,40
	X	-	0,40	0,55	0,61	0,52
	průměr	0,20	0,36	0,30	0,35	0,30

Cu	mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	3,97	2,10	1,68	-	2,58
	VI	3,87	3,44	4,00	3,37	3,67
	VII	2,89	4,14	3,62	3,15	3,45
	VIII	3,93	4,47	3,61	3,53	3,89
	IX	4,47	3,95	3,63	3,20	3,81
	X	-	5,22	5,52	3,92	4,89
	průměr	3,83	3,89	3,68	3,43	3,71

Tabulka 13: pokračování

Fe	mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	81,5	133,0	103,0	-	105,8
	VI	76,0	110,0	102,0	82,2	92,6
	VII	85,6	119,0	98,7	89,0	98,1
	VIII	92,0	163,0	123,0	101,0	119,8
	IX	105,0	194,0	156,0	107,0	140,5
	X	-	174,0	244,0	150,0	189,3
	průměr	88,0	148,8	137,8	105,8	120,1

Hg	mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	0,012	0,010	0,011	-	0,011
	VI	0,017	0,012	0,013	0,009	0,013
	VII	0,010	0,010	0,018	0,010	0,012
	VIII	0,016	0,012	0,020	0,010	0,015
	IX	0,015	0,011	0,016	0,010	0,013
	X	-	0,012	0,016	0,009	0,012
	průměr	0,014	0,011	0,016	0,010	0,013

Mn	mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	114,0	144,0	133,0	-	130,3
	VI	125,0	165,0	165,0	141,0	149,0
	VII	95,7	177,0	160,0	125,0	139,4
	VIII	124,0	221,0	186,0	148,0	169,8
	IX	122,0	189,0	164,0	142,0	154,3
	X	-	180,0	184,0	192,0	185,3
	průměr	116,1	179,3	165,3	149,6	152,6

Mo	mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<0,60	<0,60	<0,60	-	<0,60
	VI	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60
	VII	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60
	VIII	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60
	IX	0,73	<0,60	<0,60	<0,60	0,41
	X	-	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60
	průměr	0,39	<0,60	<0,60	<0,60	0,32

Ni	mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	0,54	0,86	0,70	-	0,70
	VI	0,71	0,98	0,55	0,62	0,72
	VII	0,62	0,91	1,02	0,59	0,79
	VIII	1,19	0,94	1,31	0,70	1,04
	IX	0,96	0,88	0,89	0,85	0,90
	X	-	1,06	0,74	0,71	0,84
	průměr	0,80	0,94	0,86	0,69	0,82

Tabulka 13: pokračování**Pb**

mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<0,50	<0,50	0,54	-	0,35
VI	<0,50	0,75	1,50	<0,50	0,69
VII	<0,50	0,68	<0,50	<0,50	0,36
VIII	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
IX	0,79	1,15	0,92	0,54	0,85
X	-	0,64	1,50	1,48	1,21
průměr	0,36	0,62	0,83	0,55	0,59

S

mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	4150	3840	2230	-	3407
VI	3580	2960	3340	2680	3140
VII	2370	2390	2900	2750	2603
VIII	3880	2720	3420	2580	3150
IX	3420	2000	3220	2630	2818
X	-	5020	4340	3170	4177
průměr	3480	3155	3242	2762	3160

V

mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<0,50	<0,50	<0,50	-	<0,50
VI	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
VII	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
VIII	<0,50	0,56	<0,50	<0,50	0,33
IX	<0,50	0,59	<0,50	<0,50	0,34
X	-	<0,50	0,56	<0,50	0,35
průměr	<0,50	0,36	0,30	<0,50	0,29

Zn

mg.kg ⁻¹	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	24,3	24,6	11,9	-	20,3
VI	33,4	25,2	21,0	17,1	24,2
VII	40,6	23,1	16,7	14,6	23,8
VIII	24,7	26,7	20,8	19,6	23,0
IX	36,4	21,5	19,1	17,2	23,6
X	-	26,8	30,5	20,5	25,9
průměr	31,9	24,7	20,0	17,8	23,6

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

ANA	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<5,00	<5,00	<5,00	-	<5,00
	VI	<5,00	<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	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	2,03	<2,00	<2,00	-	1,34
	VI	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
	VII	2,33	<2,00	<2,00	<2,00	1,33
	VIII	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
	IX	<2,00	<2,00	2,58	3,28	1,97
	X	15,10	16,10	14,7	15,6	15,38
	průměr	3,74	3,52	3,55	4,38	3,80

ANY	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<20,00	<20,00	<20,00	-	<20,00
	VI	<20,00	<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	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<4,00	<4,00	<4,00	-	<4,00
	VI	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
	VII	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
	VIII	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
	IX	<4,00	<4,00	4,73	<4,00	2,68
	X	<4,00	<4,00	6,68	4,65	3,83
	průměr	<4,00	<4,00	3,24	2,53	2,44

BAP	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<3,00	<3,00	<3,00	-	<3,00
	VI	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	VII	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	VIII	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	IX	<3,00	<3,00	3,29	<3,00	1,95
	X	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	průměr	<3,00	<3,00	1,80	<3,00	1,58

Tabulka 14: pokračování

BBF	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<3,00	<3,00	<3,00	-	<3,00
	VI	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	VII	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	VIII	<3,00	<3,00	<3,00	3,53	2,01
	IX	<3,00	<3,00	4,69	3,44	2,78
	X	<3,00	<3,00	4,42	<3,00	2,23
	průměr	<3,00	<3,00	2,52	2,29	1,95

BKF	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<2,00	<2,00	<2,00	-	<2,00
	VI	<2,00	<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	2,28	<2,00	1,32
	X	<2,00	<2,00	2,26	<2,00	1,32
	průměr	<2,00	<2,00	1,42	<2,00	1,11

BPE	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<5,00	<5,00	<5,00	-	<5,00
	VI	<5,00	<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

DBA	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	<3,00	<3,00	<3,00	-	<3,00
	VI	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	VII	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	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	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00

FLT	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
	V	8,67	5,93	7,61	-	7,40
	VI	4,86	3,83	7,75	6,32	5,69
	VII	6,41	4,18	6,26	7,16	6,00
	VIII	6,15	3,86	7,73	11,20	7,24
	IX	6,42	4,55	12,7	15,70	9,84
	X	36,2	58,2	73,8	59,70	56,98
	průměr	11,45	13,43	19,31	20,02	16,05

Tabulka 14: pokračování

FLU

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<4,00	<4,00	<4,00	-	<4,00
VI	<4,00	<4,00	7,31	2,00	3,33
VII	5,76	<4,00	4,92	7,11	4,95
VIII	4,52	<4,00	5,63	2,00	3,54
IX	4,79	<4,00	<4,00	4,93	3,43
X	5,76	6,23	6,06	6,61	6,17
průměr	4,14	2,71	4,65	4,53	4,01

CHR

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<4,00	<4,00	<4,00	-	<4,00
VI	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
VII	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
VIII	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
IX	<4,00	<4,00	4,73	4,55	3,32
X	4,33	<4,00	11,5	8,18	6,50
průměr	2,39	<4,00	4,04	3,75	3,05

IPY

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<10,00	<10,00	<10,00	-	<10,00
VI	<10,00	<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

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	<5,00	<5,00	<5,00	-	<5,00
VI	<5,00	<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

PHE

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	18,80	10,50	12,40	-	13,90
VI	18,30	8,32	15,50	10,40	13,13
VII	19,50	10,30	17,10	14,80	15,43
VIII	21,30	9,47	17,60	18,00	16,59
IX	19,30	10,50	18,10	25,20	18,28
X	66,60	72,80	73,10	68,80	70,33
průměr	27,30	20,32	25,63	27,44	25,17

Tabulka 14: pokračování

PYP

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Závišín	Přerov	Opava	Jaroměřice	průměr
V	5,80	3,53	4,27	-	4,53
VI	2,71	3,06	6,30	5,15	4,31
VII	4,76	3,21	4,19	6,35	4,63
VIII	5,42	3,02	5,75	8,75	5,74
IX	4,47	3,70	10,10	9,85	7,03
X	17,40	33,00	37,20	32,1	29,93
průměr	6,76	8,25	11,30	12,44	9,69

Tabulka 15: Obsahy anorganických polutantů v jehličí borovice 2009 (ZP – zimní perioda, LP – letní perioda)

	mg.kg ⁻¹	nezatížená stanoviště			zatížená stanoviště		
		Závišín	Opava	průměr	Plzeň	Vratimov	průměr
Al	ZP	135,0	93,5	114,3	143,0	58,7	100,9
	LP	54,2	89,8	72,0	200,0	112,0	156,0
	průměr	94,6	91,7	93,1	171,5	85,4	128,4
As	ZP	<0,20	0,25	0,18	<0,20	0,25	0,18
	LP	<0,20	0,26	0,18	0,21	2,15	1,18
	průměr	<0,20	0,26	0,18	0,16	1,20	0,68
Cd	ZP	<0,05	<0,05	<0,05	0,13	<0,05	0,08
	LP	<0,05	<0,05	<0,05	0,18	<0,05	0,10
	průměr	<0,05	<0,05	<0,05	0,16	<0,05	0,09
Cr	ZP	<0,30	<0,30	<0,30	0,45	0,35	0,40
	LP	<0,30	<0,30	<0,30	0,68	<0,30	0,42
	průměr	<0,30	<0,30	<0,30	0,57	0,25	0,41
Cu	ZP	3,02	2,42	2,72	2,77	1,80	2,29
	LP	3,37	3,30	3,34	2,88	2,05	2,47
	průměr	3,20	2,86	3,03	2,83	1,93	2,38
Fe	ZP	52,5	54,8	53,7	95,7	161,0	128,4
	LP	42,7	59,9	51,3	132,0	129,0	130,5
	průměr	47,6	57,4	52,5	113,9	145,0	129,4
Hg	ZP	0,017	0,010	0,014	0,017	0,014	0,016
	LP	0,011	0,006	0,009	0,023	0,014	0,019
	průměr	0,014	0,008	0,011	0,020	0,014	0,017
Mn	ZP	171,0	122,0	146,5	120,0	37,5	78,8
	LP	99,9	128,0	114,0	216,0	141,0	178,5
	průměr	135,5	125,0	130,2	168,0	89,3	128,6
Mo	ZP	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	1,65	0,98
	LP	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60
	průměr	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	0,98	0,64
Ni	ZP	1,17	0,43	0,80	2,35	0,38	1,37
	LP	1,24	0,71	0,98	1,46	0,37	0,92
	průměr	1,21	0,57	0,89	1,91	0,38	1,14
Pb	ZP	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1,95	1,10
	LP	<0,50	<0,50	<0,50	0,53	0,78	0,66
	průměr	<0,50	<0,50	<0,50	0,39	1,37	0,88
S	ZP	868	1170	1019	1360	1090	1225
	LP	918	930	924	1480	1440	1460
	průměr	893	1050	971	1420	1265	1342
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	34,80	30,50	32,65	42,60	29,50	36,05
	LP	33,50	29,30	31,40	51,90	27,90	39,90
	průměr	34,15	29,90	32,03	47,25	28,70	37,98

Tabulka 16: Obsahy polycyklických aromatických uhlovodíků v jehličí borovice černé v roce 2009 (16 EPA PAU, ZP – zimní perioda, LP – letní perioda)

	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	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	8,04	4,76	6,40	5,89	20,10	13,00
	LP	4,51	2,26	3,39	11,70	6,57	9,14
	průměr	6,28	3,51	4,89	8,80	13,34	11,07
ANY	ZP	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0
	LP	Nestanov.	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0
	průměr	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0
BAA	ZP	<4,00	4,33	3,17	<4,00	7,07	4,54
	LP	<4,00	6,32	4,16	10,40	10,10	10,25
	průměr	<4,00	5,33	3,66	6,20	8,59	7,39
BAP	ZP	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	3,93	2,72
	LP	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
	průměr	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	2,72	2,11
BBF	ZP	<3,00	5,06	3,28	<3,00	11,90	6,70
	LP	<3,00	4,09	2,80	<3,00	7,37	4,44
	průměr	<3,00	4,58	3,04	<3,00	9,64	5,57
BKF	ZP	<2,00	2,17	1,59	<2,00	4,93	2,97
	LP	<2,00	2,13	1,57	<2,00	3,54	2,27
	průměr	<2,00	2,15	1,58	<2,00	4,24	2,62
BPE	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
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	45,70	39,70	42,70	42,20	129,00	85,60
	LP	25,80	23,40	24,60	94,40	66,80	80,60
	průměr	35,75	31,55	33,65	68,30	97,90	83,10
FLT	ZP	16,40	30,70	23,55	28,40	69,60	49,00
	LP	14,30	16,90	15,60	65,00	31,00	48,00
	průměr	15,35	23,80	19,58	46,70	50,30	48,50
FLU	ZP	14,90	9,72	12,31	11,80	28,60	20,20
	LP	5,59	5,48	5,54	18,40	17,70	18,05
	průměr	10,25	7,60	8,93	15,10	23,15	19,13
CHR	ZP	14,20	< 4,00	8,10	7,55	26,50	17,03
	LP	12,70	< 4,00	7,35	7,25	18,00	12,63
	průměr	13,45	< 4,00	7,73	7,40	22,25	14,83

Tabulka 16: pokračování

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	26,30	17,60	21,95	30,70	39,20	34,95
	LP	9,96	< 5,00	6,23	18,40	14,50	16,45
	průměr	18,13	10,05	14,09	24,55	26,85	25,70
PYR	ZP	10,00	18,90	14,45	8,65	45,40	27,03
	LP	9,69	12,10	10,90	21,10	21,30	21,20
	průměr	9,85	15,50	12,68	14,88	33,35	24,12
	Σ PAU ZP	150,80	170,10	160,45	162,70	407,70	285,20
	Σ PAU LP	89,40	110,90	100,15	272,20	219,90	246,05