

VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Ústav chemie a analýzy potravin

Technická 5, 166 28 Praha 6

tel.: 220 443 057 a 185; e-mail: jana.hajslova@vscht.cz; vladimir.kocourek@vscht.cz



Monitoring ovoce a plodin v okolí letiště Praha - Ruzyně

Technická zpráva

<i>Smlouva č.:</i>	ČSL ev. č. 436 99 065 z 1.9.2005 a dodatek č. 1 z června 2008 (č. VŠCHT 323615070)
<i>Zahájení projektu:</i>	15.07. 2005
<i>Zpráva za období:</i>	01.01. 2008 - 31.10. 2008
<i>Vydána dne:</i>	31.10. 2008
<i>Zadavatel:</i>	Správa Letiště Praha, s.p.
<i>Pracoviště:</i>	Vysoká škola chemicko-technologická v Praze Ústav chemie a analýzy potravin
<i>Odpovědný řešitel:</i>	Prof. Ing. Jana HAJŠLOVÁ, CSc., vedoucí laboratoře
<i>Spoluřešitelé:</i>	Doc. Ing. Vladimír Kocourek, CSc.; Ing. Lucie Drábová, Dr. Ing. Marie Suchanová; Ing. Jakub Schůrek,

OBSAH

I.	Cíl monitoringu.....	2
II.	Podmínky monitoringu.....	2
1.	Realizační pracoviště	2
2.	Vzorkovací plán, rozsah sledování vybraných škodlivin.....	2
3.	Výběr typu vzorků, monitorovaných lokalit a sledovaných škodlivin	2
III.	Výsledky monitoringu	7
1.	Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)	7
2.	Toxické kovy	27
3.	Zbytky paliva a těžké aromatické uhlovodíky	41
IV.	Závěry studie 2005 – 2008	53
V.	Použité literární zdroje	54
VI.	Seznam zkratk	55
VII.	Přílohy.....	57

Seznam příloh:

- Příloha 1: Osvědčení o akreditaci laboratoře (2007)
Příloha 2: Monitoring ovoce a zemědělských plodin v okolí letiště Praha-Ruzyně – rozsah a postupy
Příloha 3: Meteorologické podmínky v období vzorkování 2005 – 2008 (ČHMÚ-OLM) - *elektronicky*
Příloha 4: Přehled nálezů sledovaných PAU a stopových prvků v trvalém travním porostu, jablkách, pšenici a listech jahodníku (tabulky)
Příloha 5: Databáze výsledků monitoringu 2005 - 2008 (*elektronicky v Excelovém formátu*)
Příloha 6: Fotodokumentace odběrových lokalit (*elektronicky v komprimovaném formátu jpeg*)

I. Cíl monitoringu

Cílem monitoringu je zhodnocení potenciálního vlivu Letiště Praha Ruzyně na znečištění ovoce, plodin a krmiv pěstovaných na území okolních obcí v souvislosti s jeho provozem.

Pro naplnění tohoto cíle je od roku 2005 realizováno pravidelné zjišťování povahy a míry kontaminace vybraných (bioindikátorových) plodin a krmiv v bezprostředním okolí letiště Praha.

II. Podmínky monitoringu

1. Realizační pracoviště

Studie byla realizována laboratoří Ústavu chemie a analýzy potravin (vedoucí Prof. Ing. Jana Hajšlová, CSc.). Tato laboratoř má od roku 1999 zaveden funkční systém managementu jakosti podle mezinárodní normy ČSN EN ISO/IEC 17025 a je pravidelně akreditována Českým institutem pro akreditaci jako akreditovaná zkušební laboratoř č. 1316.2. Kopie platného akreditačního osvědčení je v [Příloze 1](#).

2. Vzorkovací plán, rozsah sledování vybraných škodlivin

Plán vzorkování a rozsah sledování cílových kontaminujících látek (vybraných škodlivin) je popsán v [Příloze 2](#), která byla zpracována ještě před zahájením monitoringu a odsouhlasena zadavatelem. Pro rok 2008 byl plán vzorkování na žádost zadavatele rozšířen o další lokalitu (BAB), která zahrnuje oblast od severního okraje Červeného vrchu přes Hanspaulku až ke zřícenině na Babě.

Pro samotné odběry vzorků jsou k dispozici podrobné standardizované postupy vzorkování jednotlivých materiálů, včetně meteorologických podmínek a podmínek pro přepravu a uchování vzorků. Jednotlivé typy vzorků jsou pro přehlednost označovány třímístnými kódy, jejichž přehled je uveden v [seznamu zkratk](#).

Stanovený plán vzorkování a odběrové postupy byly v praxi dodrženy a nebyly zaznamenány žádné významnější odchylky. Byly odebrány všechny plánované vzorky v počtu stanoveném pro jednotlivé lokality. Nepostradatelná spolupráce se zástupci všech dotčených obcí byla bezproblémová.

3. Výběr typu vzorků, monitorovaných lokalit a sledovaných škodlivin

Výběr druhu vzorků, lokalit a cílových látek (škodlivin) byl předmětem vstupní dokumentace v [Příloze 2](#). Analýzy těkavých látek byly na základě aktuálních výsledků ještě doplněny o kvalitativní – a v roce 2007 a 2008 i kvantitativní - stanovení skupiny látek označovaných jako BTEX (benzen, toluen, ethylbenzen, xylene). Navíc byl též proveden necílový screening obdobných těkavých látek, které by potenciálně mohly indikovat stopy leteckého paliva pronikajícího do ekosystému.

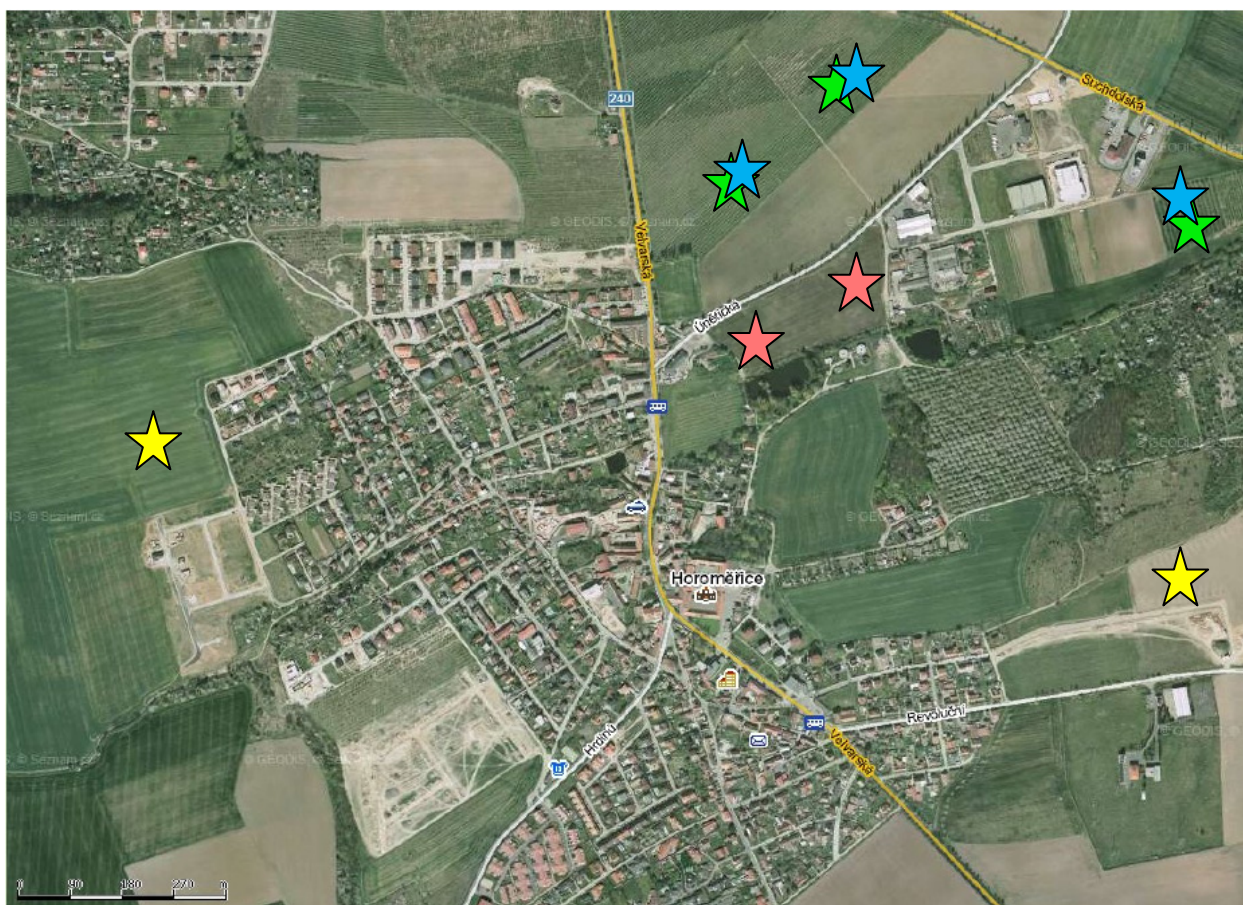
Jako tzv. kontrolní lokality byly v průběhu akce zvoleny lokality v oblasti Jílového u Prahy a na jižním okraji Rynholce, kde je vliv letecké dopravy velmi omezený.

V **Příloze 3a a 3b** je přehled meteorologických údajů ve vzorkovacích sezonách 2005 až 2008 s vyznačením dní odběru. Kromě přehledu teplot, slunečního svitu a srážek jsou k dispozici také údaje o frekvenci směru a rychlosti větru. Tyto údaje předal zadavatel monitoringu a byly naměřeny v prostoru letiště Praha (přesná lokalizace uvedena). Oproti roku 2007 byly v době odběru vzorků teploty většinou o něco vyšší, sluneční svit přibližně stejný, srážek poněkud méně ale několik dní před odběrem bylo o něco deštivěji.

Rozmístění vzorkovaných lokalit je zřejmé z **Obrázků 1a až 1g**. U jednotlivých odběrních bodů jsou pro orientaci barevně vyznačeny vzorkované plodiny. Vzájemné vzdálenosti v rámci katastrálního území jedné obce jsou (vzhledem k předpokládanému rozptylu škodlivin) relativně malé. Používané plné kódy lokalit sestávají z pořadového čísla odběrního bodu a zkratky obce – viz [Seznam zkratk](#). V jednotlivých letech se lokalizace odběrových míst významněji neměnila, drobné změny byly odůvodněny změnou stanoviště konkrétních plodin. Vzdálenosti mezi původním a novým bodem byly vždy řádově v desítkách až stovkách metrů, což je z hlediska interpretace výsledků ve vztahu k atmosférickému znečištění nevýznamné.

Lokalizace jednotlivých míst odběru vzorků je provedena pomocí zeměpisných souřadnic v systému WGS 84 (pro určení souřadnic byly použity internetové mapy Geodis Brno, s.r.o.) – viz [Příloha 5](#).

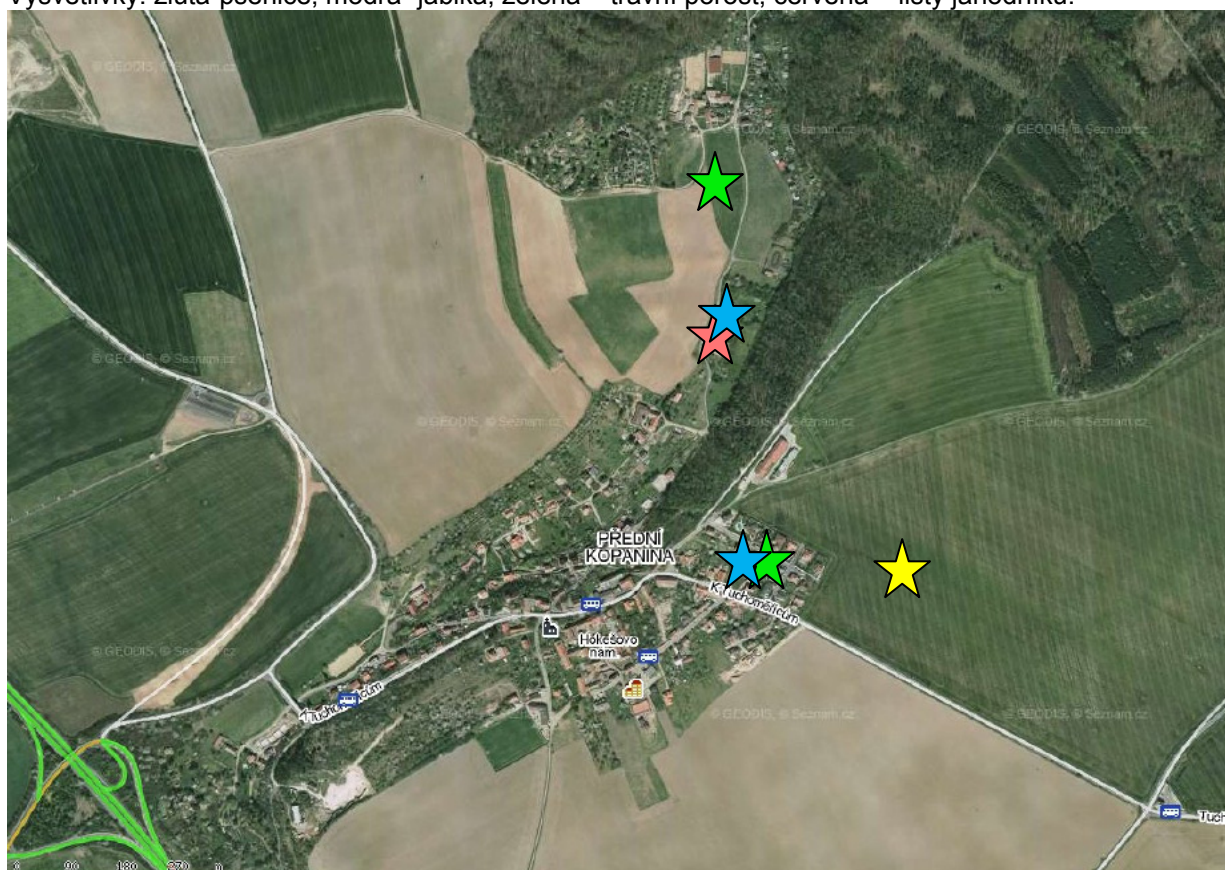
V místech odběru vzorků byla rovněž pořizována fotodokumentace, která je uložena v komprimovaném formátu jpeg - viz [Příloha 5 a 6](#). V názvu příslušného souboru s digitální fotografií je vždy pořadové číslo lokality, kód obce nebo letiště a kód plodiny.



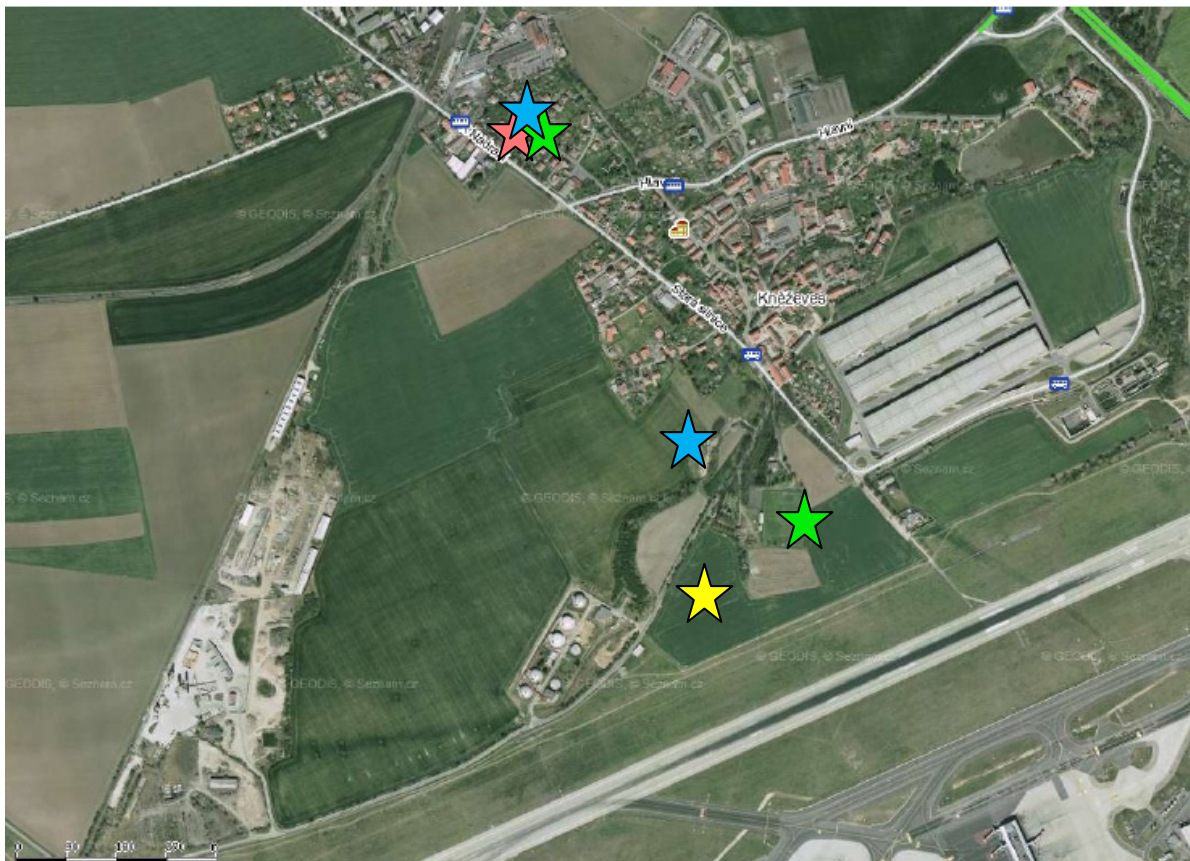
Obrázek 1a: Orientační mapa odběru vzorků v **Horoměřicích**; přesná lokalizace viz [Příloha 5](#)). Vysvětlivky: žlutá- pšenice; modrá- jablka; zelená – travní porost; červená – listy jahodníku.



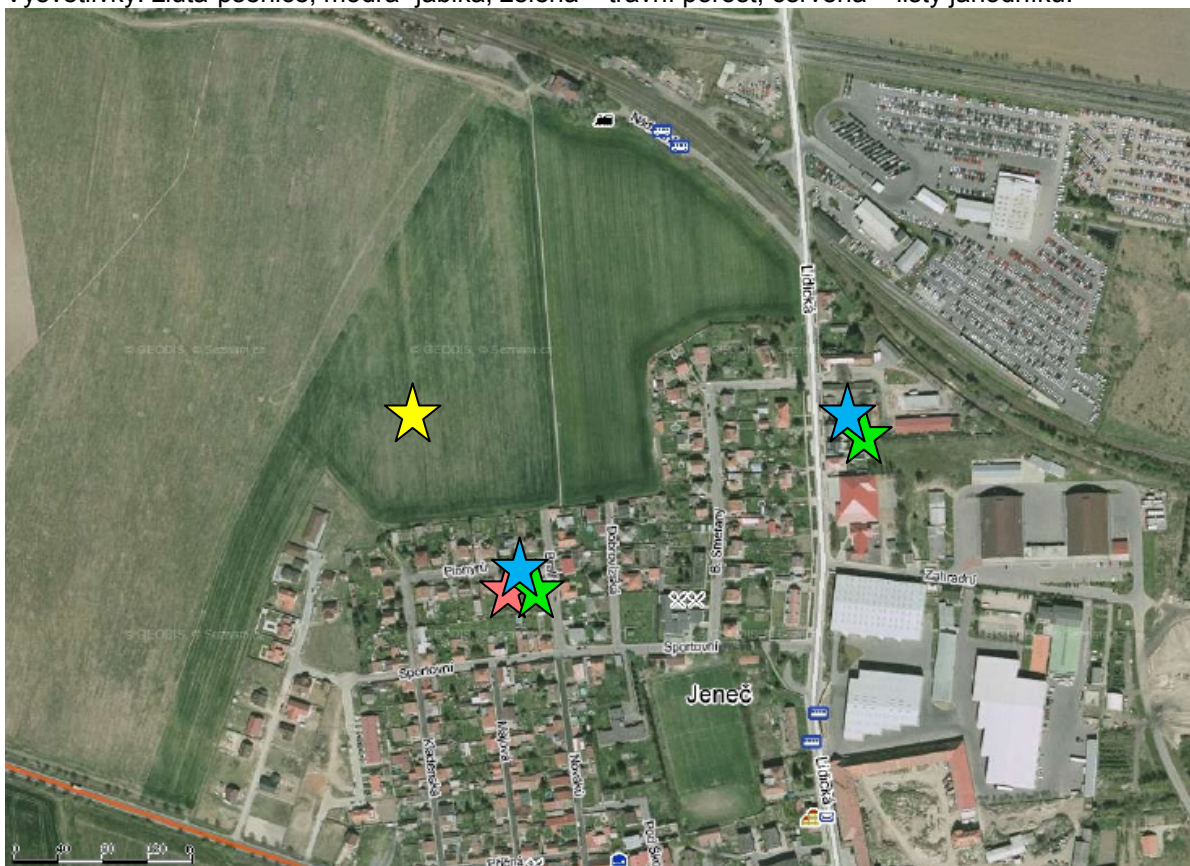
Obrázek 1b: Orientační mapa odběru vzorků v **Nebušicích**; přesná lokalizace viz [Příloha 5](#)).
Vysvětlivky: žlutá- pšenice; modrá- jablka; zelená – travní porost; červená – listy jahodníku.



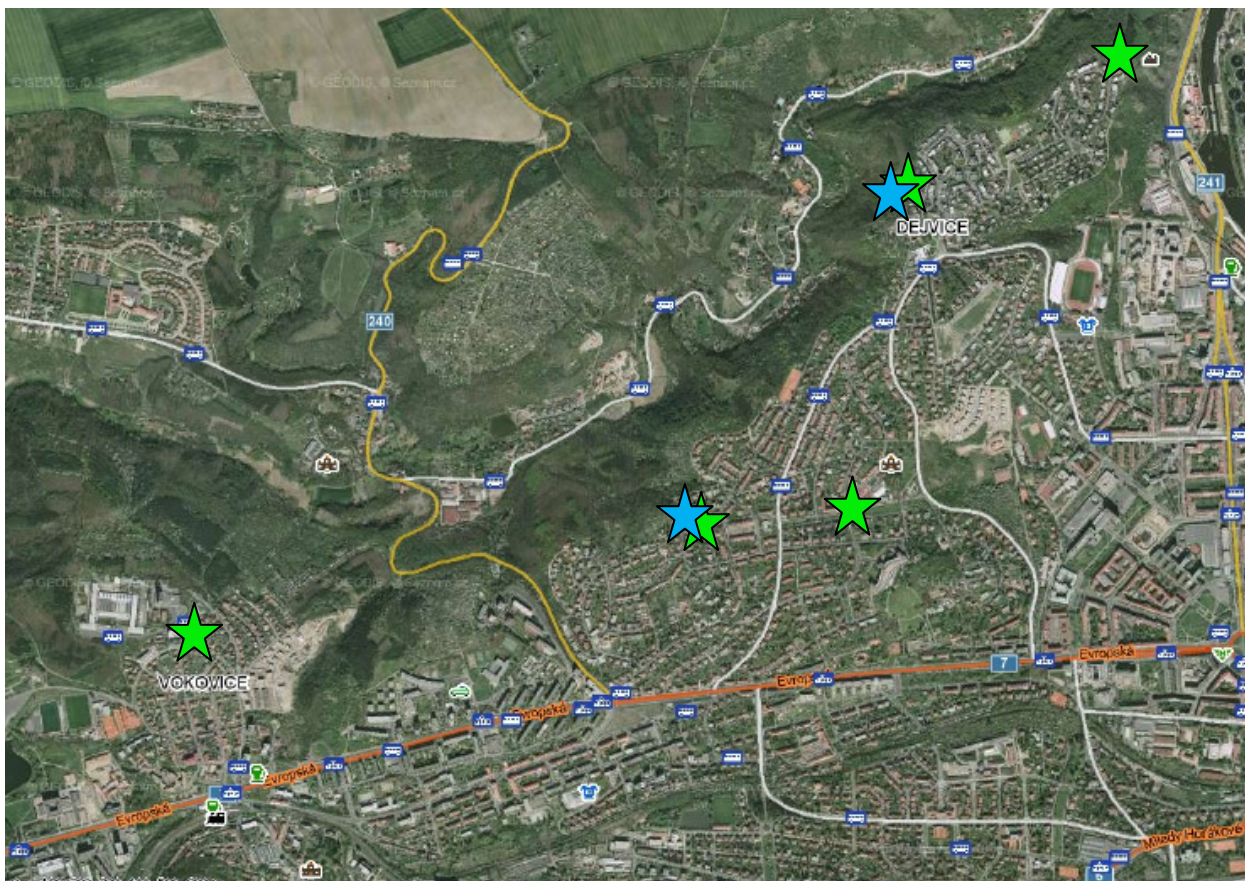
Obrázek 1c: Orientační mapa odběru - **Přední Kopanina**; přesná lokalizace viz [Příloha 5](#)).
Vysvětlivky: žlutá- pšenice; modrá- jablka; zelená – travní porost; červená – listy jahodníku.



Obrázek 1d: Orientační mapa odběru - Kněžves; přesná lokalizace viz [Příloha 5](#)).
Vysvětlivky: žlutá-pšenice; modrá- jablka; zelená – travní porost; červená – listy jahodníku.



Obrázek 1e: Orientační mapa odběru - Jeneč; přesná lokalizace viz [Příloha 5](#)).
Vysvětlivky: žlutá-pšenice; modrá- jablka; zelená – travní porost; červená – listy jahodníku.



Obrázek 1f: Orientační mapa odběru – **Baba-Hanspaulka-Č.vrch**; přesná lokalizace viz [Příloha 5](#)).
Vysvětlivky: modrá- jablka; zelená – travní porost



Obrázek 1g: Orientační mapa odběru – **areál Letiště Praha**; přesná lokalizace viz [Příloha 5](#)).
Vysvětlivky: žlutá- pšenice; modrá- jablka; zelená – travní porost

III. Výsledky monitoringu

Podrobný přehled charakteristických vlastností sledovaných polutantů, možných emisních zdrojů, toxicity, pohybu v životním prostředí a koncentracích nalézaných na vegetaci byl zpracován v úvodní zprávě z r. 2005. Aby však tato zpráva mohla být využívána bez potřeby vracet se ke zprávě minulé, jsou dále některé skutečnosti významné pro interpretaci naměřených údajů zopakovány v kapitolách věnovaných přehledu problematiky u jednotlivých skupin kontaminantů.

1. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)

1.1 Přehled problematiky

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) představují významnou, prakticky všudypřítomnou skupinu organických kontaminantů. K jejich emisím do atmosféry dochází při spalování fosilních materiálů a dřeva. Vedle těchto "historicky" starých vstupů jsou v současné době PAU emitovány do prostředí zejména v souvislosti s řadou antropogenních činností. Mezi nejdůležitější zdroje jejich emisí patří především různé průmyslové procesy (výroba tepelné a elektrické energie, spalování odpadů aj.) a doprava, tj. zejména spalování pohonných hmot.

S úrovní kontaminace atmosféry, do níž jsou PAU primárně emitovány a která představuje hlavní transportní medium pro většinu polutantů uvolňovaných do našeho prostředí, úzce souvisí hladiny PAU nacházené v půdě, vegetaci, vodě a v sedimentech.

Pro sledování imisní zátěže těmito environmentálními kontaminanty lze využít celou řadu různých typů aktivních vzorkovacích zařízení pro odběr ovzduší, kde se aktuální koncentrace škodlivin měří v definovaném objemu nasátého vzduchu. Namísto nákladného aktivního vzorkování atmosféry (které stejně odráží jen okamžitý stav a nikoli dlouhodobou zátěž prostředí) lze využít tzv. pasivní vzorkovače, tvořené povrchy rostlinných matric. Použití vegetace jako bioindikátoru znečištění atmosféry PAU má několik výhod; zejména možnost vzorkování stejného typu matric v různých lokalitách nám umožňuje porozumět transportním procesům, které probíhají v atmosféře. Důležitý je i fakt, že rostliny (zemědělské plodiny) jsou klíčovou složkou potravního řetězce člověka, a informace o jejich zátěži tak indikuje možnou míru expozice populace environmentálními polutanty a s tím spojená zdravotní rizika.

Nejvýznamnější fyzikálně-chemické vlastnosti pro 16 "prioritních" PAU podle US EPA (Agentury pro ochranu životního prostředí, USA), definované pro teplotu 25 °C, jsou uvedeny v **Tabulce I**. Těchto 16 PAU bylo v roce 1976 uvedeno US EPA jako prioritní pro stanovení v odpadních vodách a později se tento soubor 16 PAU začal používat i při monitorování ovzduší, půdy a biotických složek prostředí. Z této skupiny jsou často eliminovány pouze těkavé dvou- a tříjaderné PAU (Naph, Ace, Acy, Fln), a to zejména vzhledem k neúnosně vysokým ztrátám během analytického stanovení a tedy přílišnému rozptylu výsledků.

Těkavost PAU je charakterizována tenzí par. Její hodnota je závislá na okolní teplotě a klesá v řadě od nízko- k výšemolekulárním PAU. Nízkomolekulární PAU jsou těkavější než poměrně stabilní vysokomolekulární. Pohyblivost PAU v prostředí opět souvisí s jejich molekulovou hmotností. PAU s nižší molekulovou hmotností jsou v prostředí poměrně pohyblivé, zatímco PAU s molekulovou hmotností vyšší jsou vzhledem k vyšším molekulovým objemům a extrémně nízké těkavosti a rozpustnosti relativně nepohyblivé.

Dominantním zdrojem PAU v našem prostředí jsou emise, které pocházejí z různých antropogenních aktivit. Anthropogenní zdroje PAU je možné rozdělit na mobilní, kde hlavní příspěvek tvoří emise z benzínových a dieslových motorů a stacionární, mezi které je možné zařadit celou škálu spalovacích procesů zahrnujících domácí topeniště, spalování odpadů a výrobu elektrické energie a průmyslové aktivity (výroba hliníku, koku a železa, zpracování ropy). Složení emisí PAU z dopravních prostředků je závislé zejména na typu motoru, provozních podmínkách a složení paliva. Obsah PAU v palivech a motorových olejích se často pohybují až na hladinách mg/kg. Ačkoli největší podíl na emisích z mobilních

zdrojů mají spalovací motory, PAU se dostávají do prostředí také vlivem opotřebení asfaltových vozovek, pneumatik a olejových náplní motorů vozidel.

Jak ve městech, tak ve venkovských oblastech významně přispívají ke kontaminaci ovzduší PAU domácí topeniště na tuhá paliva, která v kamnech a kotlích hoří často nedokonale za tvorby velkého množství sazí bohatých na PAU. Tento zdroj je dosud významně rozšířen a je obtížně kontrolovatelný. Česká republika patří k zemím Evropy s nejvíce znečištěným životním prostředím zejména díky tomu, že spalováním uhlí, které je zde hlavním zdrojem energie, jsou do prostředí emitována velká množství PAU. Poměrné zastoupení (profily) emitovaných PAU typické pro různé zdroje – viz **Tabulka II** – může teoreticky sloužit k identifikaci původu znečištění. Na malém území s pestrými a variabilními zdroji však dochází k takovému překryvu, že jejich vzájemné odlišení je v praxi nemožné.

Polycyklické aromatické uhlovodíky patří mezi první atmosférické polutanty, u kterých byl zjištěn karcinogenní potenciál. Z toxikologického hlediska je možné PAU rozdělit na potenciálně karcinogenní a nekarcinogenní. Toto dělení je však poněkud zjednodušující, zejména vzhledem k faktu, že toxicita jednotlivých PAU úzce souvisí se strukturou dané molekuly.

Vzhledem k tomu, že PAU se v prostředí vyskytují vždy jako komplexní směs látek, je organismus vystaven většinou působení více než jednoho reprezentanta této skupiny. Hlavním zdrojem nejistoty posouzení rizika expozice PAU je nekompletnost dat o toxicitě jejich směsí. V praxi se dnes někdy využívá obdobná strategie, která byla zavedena pro hodnocení toxicity směsi PCB. Vychází se ze zjednodušujícího předpokladu o podobnosti toxického účinku chemicky příbuzných látek jedné skupiny. Tento model faktoru ekvivalentní toxicity f_{TEF} kalkuluje s aditivním efektem daných komponent a s vyjádřením tohoto účinku jako ekvivalentního množství toxického benzo[a]pyrenu (referenční látky s dobře popsáním karcinogenním účinkem a mechanismem působení). Jednoduchý vztah pak umožní kalkulovat toxicitu různých směsí PAU jako tzv. ekvivalent toxicity f_{TEQ} :

$$f_{TEQ} = \sum w_{PAU,i} \cdot f_{TEF,i}$$

kde $w_{PAU,i}$ je obsah příslušného PAU a $f_{TEF,i}$ je ekvivalentní faktor toxicity pro příslušný PAU. Teoretické hodnocení toxicity PAU pomocí f_{TEF} je závislé na mnoha faktorech. Toxicita PAU může být ovlivněna konečným stavem působení PAU – *in vivo* nebo *in vitro*, dále aditivními efekty způsobenými možnými interakcemi mezi jednotlivými PAU ve směsi, kdy případná interakce může záviset na množství (koncentraci) PAU, ale i na době působení. Vzájemné interakce mezi PAU mohou být ovlivněny přítomností některé specifické sloučeniny a slabě karcinogenního nebo nekarcinogenního PAU (např. fluoranthenu a pyrenu), která mohou jak podporovat, tak inhibovat nebo mít kokarcinogenní efekt na toxicitu směsi PAU. Karcinogenní potenciál směsi, ve které jsou přítomny různé PAU nebo jejich různé množství může být ovlivněn jejich biologickou dostupností, metabolismem a kompeticí o vazebná místa.

V **Tabulce III** jsou uvedeny hodnoty $f_{TEF,i}$ získané z některých studií zabývajících se posuzováním toxicity jednotlivých PAU. Nejsilnějšími karcinogeny mezi PAU jsou tedy benzofluorantheny, benzo[a]pyren, benz[a]anthracen, dibenz[a,h]anthracen a indeno[1,2,3-cd]pyren. Aby došlo k projevu jejich latentního karcinogenního potenciálu, je však nutné PAU podrobit metabolické konverzi a aktivaci.

PAU inkorporované do jednotlivých složek terestrického ekosystému, se nechovají staticky, ale mohou podléhat řadě změn. K jejich přeměně či pohybu může docházet různými procesy, mezi něž patří biodegradace, chemická transformace, fotolýza, vytěkání, vylouhování a metabolismus.

Pro komplexní charakterizaci osudu PAU v životním prostředí je tedy nutné nejenom zjištění vlastní zátěže (obsahu sledovaného analytu), ale i znalost výše zmíněných zákonitostí osudu polutantů v prostředí.

Zátěž prostředí PAU je reprezentována celkovým množstvím PAU přítomným ve všech jeho složkách a zároveň představuje souhrn profilů PAU emitovaných ze všech jejich možných zdrojů. PAU ve většině případů vstupují do prostředí jako složky směsí. Charakter zátěže se mění v závislosti na zdroji znečištění, vzdálenosti od tohoto zdroje a v závislosti na orografii. Atmosférická depozice představuje hlavní cestu pro přestup PAU do terestrického ekosystému a atmosféra je také hlavním transportním médiem PAU v prostředí.

Tabulka I: Přehled fyzikálně-chemických vlastností PAU spolu s jejich dalšími charakteristikami; zkratky – viz seznam (str. 56)

PAU	CAS ^{a)}	Sumární vzorec	Počet aromatických jader	Molární hmotnost (g/mol)	Bod tání (°C)	Bod varu (°C)	Rozpustnost ve vodě (g/m ³) ^{b)}	log K _{ow} ^{b)}	Tenze par (Pa) ^{b)}	Henryho konstanta (Pa.m ³ /mol) ^{b)}	log K _{OA} ^{b)}
Naph	91-20-3	C ₁₀ H ₈	2	128,17	80	218	31,69	3,37	10,4	43,01	5,13
Ace	83-32-9	C ₁₂ H ₁₀	3	154,21	95	279	3,8	4,00	0,3	12,17	6,21
Acy	208-96-8	C ₁₂ H ₈	3	152,12	92	265-275	3,93	4,07	0,9	8,4	-
Fin	86-73-7	C ₁₃ H ₁₀	3	166,22	116	295	1,98	4,18	0,09	7,87	6,68
Phe	85-01-8	C ₁₄ H ₁₀	3	178,23	101	340	1,1	4,57	0,02	3,24	7,47
Ant	120-12-7	C ₁₄ H ₁₀	3	178,23	216	342	0,0446	4,54	0,001	3,96	7,34
Fit	206-44-0	C ₁₆ H ₁₀	4	202,26	111	375	0,26	5,22	0,00123	1,04	8,88
Pyr	129-00-0	C ₁₆ H ₁₀	4	202,26	156	360	0,132	5,18	0,0006	0,92	8,61
B[a]A	56-55-3	C ₁₈ H ₁₂	4	228,29	160	435	0,011	5,91	2,8x10 ⁻⁵	0,581	9,52
Chr	218-01-9	C ₁₈ H ₁₂	4	228,29	255	448	0,0018	5,75	5,7x10 ⁻³	0,0122	10,42
B[b]F	205-99-2	C ₂₀ H ₁₂	5	252,32	168	481	0,0012	6,57	6,6x10 ⁻⁵	-	10,17
B[k]F	207-08-9	C ₂₀ H ₁₂	5	252,32	217	481	0,00055	6,84	5,2x10 ⁻⁸	0,016	-
B[a]P	50-32-8	C ₂₀ H ₁₂	5	252,32	179	496	0,0038	6,04	7,0x10 ⁻⁷	0,046	10,77
DB[ah]A	53-70-3	C ₂₂ H ₁₄	5	278,35	267	524	0,0005	6,75	3,7x10 ⁻¹⁰	0,00017	13,91
B[gh]P	191-24-2	C ₂₂ H ₁₂	6	276,34	277	-	0,00026	7,23	-	0,075	11,01
I[1,2,3-cd]P	193-39-5	C ₂₂ H ₁₂	6	276,34	163	536	0,062	7,66	-	-	-

- nenalezeno

a) Chemical Abstracts System

b) pro 25 °C

Tabulka II: Profily PAU pro různé zdroje znečištění – charakteristický poměr k benzo[a]pyrenu

Zdroj →→	S1	S2	M1	M2	M3	M4
B[b]F	0,05	1,2	1,2	0,9	0,9	5,6
B[k]F	0,01	0,4	0,9	1,2	1,0	8,2
B[a]P	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
I[1,2,3-cd]P	0,8	0,1	1,0	1,4	1,1	1,4

S1: stacionární – spalování uhlí (v domácnosti i průmyslové)

S2: stacionární – spalování dřeva

M1: mobilní – osobní automobily – zážehový motor (benzin) bez katalyzátoru

M2: mobilní - osobní automobily zážehový motor (benzin) s katalyzátorem

M3: mobilní – osobní automobily - vznětový motor (diesel; nafta), přímé vstřikování

M4: mobilní – těžké nákladní automobily se vznětovým (diesel) motorem

Tabulka III: Hodnoty f_{TEF} pro jednotlivé PAU

Sloučenina	Nisbet a LaGoy [1]
Benzo[a]pyren	1,0
Dibenz[a,h]anthracen	5
Benz[a]anthracen	0,1
Benzo[b]fluoranthren	0,1
Benzo[k]fluoranthren	0,1
Indeno[1,2,3-cd]pyren	0,1
Anthracen	0,01
Benzo[g,h,i]perylen	0,01
Chrysen	0,01
Acenaphthen	0,001
Acenaphthylen	0,001
Fluoranthren	0,001
Fluoren	0,001
2-Methylnaphthalen	0,001
Naphthalen	0,001
Phenanthren	0,001
Pyren	0,001

Míra transportu mezi jednotlivými složkami ekosystému je funkcí fyzikálně-chemických vlastností jednotlivých PAU (rozpuštnost ve vodě, lipofilita, těkavost), stavem PAU (tj. zda jsou spojené s částicemi či v plynném stavu), stavem prostředí (povětrnostní podmínky), depozicí, reakcemi, které v prostředí probíhají (fotooxidace, chemická oxidace, mikrobiální degradace).

Přestupy PAU mezi jednotlivými fázemi prostředí lze teoreticky popsat pomocí různých rozdělovacích koeficientů. Jednotlivé rozdělovací koeficienty charakterizují vztah mezi hladinami polutantů mezi dvěma sousedními fázemi v termodynamické rovnováze a jsou klíčovými charakteristikami pro přestup látek mezi jednotlivými složkami ekosystému.

Koeficientem, který charakterizuje přestup PAU z atmosféry do biotické složky prostředí, je rozdělovací koeficient n -oktanol/vzduch K_{OA} . K_{OA} může být odhadnut na základě poměru K_{OW}/K_{AW} . Z hodnot K_{OA} je možné predikovat mechanismus přestupu PAU z atmosféry do biotické složky. Těkavé PAU s hodnotami $\log K_{OA} < 8$ jsou sorbovány povrchem vegetace přímo z plynné fáze atmosféry, pro PAU s $\log K_{OA} > 11$ převažujícím mechanismem přestupu do biotické složky prostředí depozice částic.

Doba setrvání PAU v různých částech prostředí je různá v závislosti na vlastnostech dané látky a na vlastnostech a podmínkách prostředí, tedy na ročním období, teplotě, sluneční radiaci, apod. U nízkomolekulárních PAU jsou typické poločasy rozpadu v atmosféře dny, týdny ve vodě a měsíce v půdě. Tyto látky tedy nejsou významně perzistentní. Tří- a čtyřjaderné PAU mají poločasy rozpadu v jednotlivých složkách ekosystému asi dvakrát delší. Těžší PAU s pěti a více jádry jsou již poměrně perzistentními látkami s poločasy rozpadu týdny ve vzduchu, měsíce ve vodě a roky v půdě a

sedimentech. V tkáních vyšších organismů jsou nalézány hladiny PAU obvykle velmi nízké, což je způsobeno jejich rychlou metabolickou přeměnou. Většina obratlovců je vybavena enzymatickým aparátem, který jim umožňuje PAU metabolizovat za vzniku intermediátů, z nichž některé jsou cytotoxické a karcinogenní.

V atmosféře jsou PAU přítomny buď v plynné fázi nebo sorbované na pevné částice. Primárně jsou PAU emitovány do plynné fáze atmosféry a poté jsou inkorporovány na tuhé částice buď kondenzací při ochlazení emisí nebo adsorpčním mechanismem. Distribuce PAU mezi plynnou a pevnou fází atmosféry je ovlivněna několika faktory – tenzí par PAU (která je funkcí teploty), množstvím částic (z hlediska povrchu dostupného pro adsorpci PAU), teplotou ovzduší, obsahem PAU a afinitou jednotlivých PAU k částicím organické hmoty.

Při vyšších teplotách dochází k obohacení plynné fáze těkavějšími PAU, v zimním období naopak dochází ke kondenzaci plynných PAU na povrch částic a tak jejich zvýšené depozici na zemský povrch včetně vegetace. Se vzrůstající molekulovou hmotností, resp. větším počtem kondenzovaných jader dochází k asociaci s pevnými částicemi aerosolu a organickým podílem půd. Obecně lze však charakterizovat distribuci PAU v atmosféře tak, že tříjaderné PAU jsou přítomny především v plynné fázi atmosféry, pěti- a šestijaderné PAU jsou primárně sorbovány na částice a čtyřjaderné PAU jsou přítomny v obou fázích atmosféry.

Distribuce PAU v atmosféře (atmosférický transport částic a jejich fyzikální odstranění z atmosféry) závisí zejména na velikosti atmosférických částic, přičemž největší důraz je z hlediska expozice lidské populace kladen na tzv. respirabilní frakci ($< 1 \mu\text{m}$). U částic o velikosti $0,1 - 3 \mu\text{m}$, se kterými jsou PAU především asociovány, se předpokládá, že mohou v atmosféře přetrvávat po několik dní i déle. V závislosti na atmosférických podmínkách mohou být tyto částice přenášeny v atmosféře i na velké vzdálenosti, přičemž často ani deštěm (tj. mokrou depozicí) nedochází k jejich účinnému odstranění z atmosféry. Větší částice (více než $3 - 5 \mu\text{m}$) jsou odstraňovány z atmosféry především prostou sedimentací a srážkami a je možné je nalézt spíše v blízkém okolí emisních zdrojů.

Rychleji než suchou depozicí dochází k odstranění PAU z atmosféry mokrou depozicí, kterou lze rozdělit podle velikosti kapek a typu přenosu na horizontální (mlha, rosa, námraza) a vertikální (déšť, sněh). Plynné PAU a PAU vázané na větších částicích jsou strhávány především atmosférickými srážkami (pod-oblačné vymývání). Hlavní podíl PAU vázaných v aerosolech je sorbován v mračnech, z nichž jsou postupně vymývány deštěm (vnitro-oblačné vymývání). Nálezy PAU ve srážkách jsou tedy výsledkem jak vnitro-oblačného, tak pod-oblačného vymývání, přičemž vnitro-oblačné vymývání představuje velmi účinný postup zejména pro odstranění PAU asociovaných s částicemi. PAU přítomné v plynné fázi jsou odstraňovány z atmosféry v důsledku pod-oblačného vymývání, na základě přestupu mezi plynnou a vodní fází. PAU deponované na zemský povrch mohou nicméně po depozici zpět vytékat, a to zejména z vodních ploch.

Průměrný obsah PAU ve srážkách se pohybuje v jednotkách až stovkách ng/dm^3 v závislosti na jejich rozpustnosti ve vodě (PAU s nízkou molekulovou hmotností jsou rozpustné ve vodě na hladinách $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, vyšší na hladinách ng/dm^3). Obecně lze říci, že nálezy PAU ve srážkách jsou vyšší v zimě než v létě, což odráží sezónní variace hladin PAU v atmosféře. Sněžení je také mnohem efektivnějším způsobem pro odstranění PAU z atmosféry než déšť.

Nejvyšší množství PAU jsou přítomna v ovzduší v zimě a spíše v městských než venkovských oblastech. K vyšším nálezům polyaromátů v zimním období přispívají zejména změny v produkci emisí (zvýšení produkce emisí z domácích topenišť a automobilových exhalací) a změny meteorologických podmínek (kratší doba svitu a nižší teplota, teplotní inverze). Tyto faktory významně ovlivňují rozptýlení vzdušných polutantů a změny ve fázové distribuci PAU (plynná fáze - částice).

V literatuře jsou uváděny údaje o množství PAU ve volném ovzduší v prostoru Evropy v zimním období, které může být 2 – 10krát vyšší než v létě. Obsah PAU v ovzduší se mohou pohybovat v rozpětí několika řádů. Za hodnoty odpovídající pozadí bývají považovány hladiny $0,1 - 1 \text{ ng}/\text{m}^3$, střední hodnoty v ovzduší městských a průmyslových aglomerací se většinou pohybují mezi $0,3 - 6 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Míra znečištění vegetace PAU je ovlivněna fyzikálně-chemickými vlastnostmi jednotlivých PAU (rozdělovací koeficient K_{OW} , rozpustnost ve vodě, tenze par, Henryho konstanta), dále

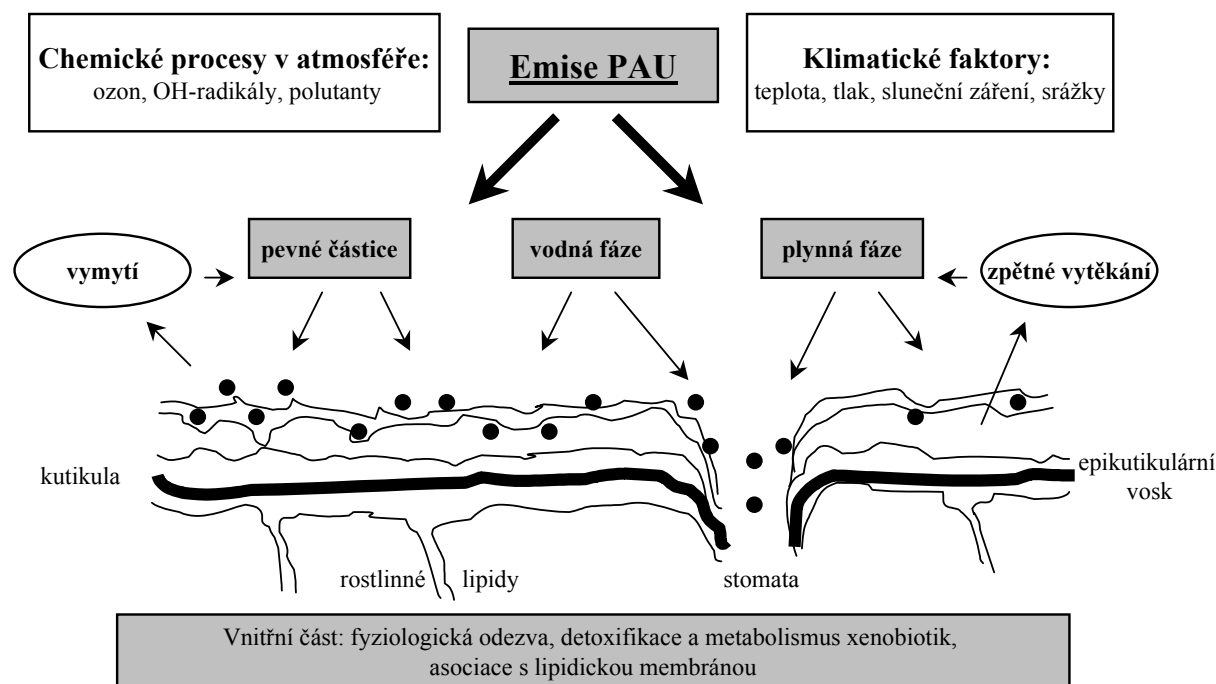
meteorologickými podmínkami a samozřejmě samotným obsahem PAU v prostředí. Také morfologie rostliny, tj. plocha povrchu dosažitelná pro adsorpci a obsah lipidů má významný vliv na kontaminaci vegetace PAU.

V důsledku atmosférické depozice je značná část PAU deponována do půdy nebo na povrch vegetace. Hlavní cestou kontaminace vegetace je sorpce PAU listovou plochou přímo z ovzduší a dále z deponovaných částic.

Nevýznamnou cestou kontaminace vegetace je absorpce PAU z půdního roztoku a povrchem kořenů. Translokace PAU v rostlinách z půdy kořenovým systémem je ovlivněna hydrofobním charakterem těchto látek a je možné ji odhadnout na základě hodnoty K_{ow} . Její rozsah je ovlivněn vodním režimem rostliny a přítomností tzv. "oil chanel" ("vodivých kanálků") v kořenovém systému, které umožňují snadnější přestup PAU do vnitřních pletiv. Foliární příjem PAU odpařených z kontaminovaných půd je ale také možným zdrojem znečištění vegetace PAU.

Faktory ovlivňující přestup PAU do vegetace jsou znázorněny na **Obrázku 2**.

Fázová rovnováha mezi obsahem PAU v atmosféře a ve vegetaci je funkcí teploty; na jaře a na podzim, kdy je teplota ovzduší nižší, jsou nacházeny ve vegetaci obvykle vyšší hladiny PAU, v letním období, kdy je naopak okolní teplota vyšší, jejich obsahy klesají. Foliární příjem PAU je totiž důsledkem kontaminace atmosféry PAU a vegetace tak může být použita jako indikátor znečištění ovzduší. Rozdíly v nálezích PAU v různých druzích vegetace v dané lokalitě mohou být značné, např. vzhledem k rozdílnostem mezi odebíranými rostlinnými orgány (jehličím, listy, plody).



Obrázek 2: Faktory ovlivňující příjem PAU vegetací

Atmosférické kontaminanty jsou zákonitě koncentrovány zejména v těch částech rostlin, které jsou v přímém kontaktu s ovzduším. V případě konzumace může právě rozsah kontaminace povrchových vrstev vegetace PAU představovat jeden z hlavních zdrojů těchto látek v lidské dietě.

Povrch rostlin je pokryt epidermální tkání, lipofilní membránou, jejíž hlavní složkou je biopolymer kutin a "voskovité" lipidy. Tato membrána pokrývá vnější stěny pokožkových buněk rostlin a slouží rostlinám k ochraně před nekontrolovatelnými ztrátami vody z rostlinných pletiv a infekcí. Vysoký kumulační potenciál pro PAU (ale i ostatní lipofilní atmosférické kontaminanty) mají zejména rostliny, resp. jejich části, s vysokým obsahem povrchových lipidů a členitým povrchem ("chloupky"). Prostřednictvím stomat (průduchů) mohou být PAU inkorporovány také do vnitřních pletiv rostlin (listů).

Míra sorpce PAU vegetací závisí také na poměru povrchu rostliny k její celkové biomase. Rostliny s vysokou hodnotou tohoto poměru, tedy s velkou plochou listů nebo jehlic, představují značný potenciál pro sorpci PAU z atmosféry. Dalším faktorem je samozřejmě, vedle obsahu PAU v atmosféře, délka vegetačního nebo růstového období rostliny, tedy doba expozice.

Použití vegetace jako indikátoru kontaminace atmosféry má však i svá omezení; nutným předpokladem pro správné posouzení získaných dat je znalost mechanismu příjmu polutantů a faktorů (již zmíněných), které jej ovlivňují. Předpokladem pro posouzení zátěže je také zpracování dostatečného množství vzorků, tedy systematické a důsledné monitorování kontaminace. Aby bylo možné stanovit úroveň zátěže měst a regionů, je třeba získat velké množství vzorků z různých lokalit tak, aby byl minimalizován efekt vlivu bodového zdroje kontaminace a snížen vliv variability mezi odebranými vzorky ze sledované oblasti. I přes to se však běžná směrodatná odchylka mezi nálezy pro jeden druh rostliny rostoucí ve stejné oblasti může pohybovat v rozpětí 20 – 60 %.

Poznatzky o sorpci PAU vegetací lze shrnout do několika bodů:

- nízkomolekulární PAU jsou s ohledem na typ povrchu sledované matrice rostlinami sorbovány snadněji než výšemolekulární,
- sorpce PAU vegetací je ovlivněna klimatickými podmínkami, zejména teplotou (s jejím poklesem roste míra depozice PAU do vegetace), velikostí a charakterem povrchu,
- hladiny PAU ve vegetaci jsou obvykle vyšší v nadzemních částech rostlin než v částech podpovrchových a na povrchu rostlin než ve vnitřních pletivech,
- rostliny s velkým povrchem listů, drsným charakterem povrchu a vysokým obsahem kutikulárních vosků obsahují obvykle vyšší hladiny PAU na jednotku hmotnosti
- celková kontaminace rostlin PAU je zásadním způsobem ovlivněna prašností prostředí

Nálezy PAU ve vegetaci se pohybují v rozmezí setin až stovek $\mu\text{g}/\text{kg}$. V blízkosti intenzivních zdrojů kontaminace se však můžeme setkat i s nálezy mnohem vyššími, které dosahují až desítek mg/kg . Konkrétní hodnoty nálezů PAU ve vegetaci a dalších složkách životního prostředí byly již uvedeny a diskutovány ve zprávě za rok 2005.

1.2 Analýza vzorků na obsah PAU

Vyšetření vzorků jablek, listů jahodníku, travního porostu a pšenice na obsah PAU probíhalo v souladu s metodou akreditovanou Českým institutem pro akreditaci (ČIA) (zkušební laboratoř č. 1316.2, s osvědčením o akreditaci č. 492/2007) jako zkušební metoda KM 23: Polycyklické aromatické uhlovodíky. Tato metoda je akreditována pro 12 PAU, dosud prioritně sledovaných v životním prostředí (EPA list).

Principem metody je extrakce PAU z vhodně upravených matric do organického rozpouštědla. Separace PAU od případných koextraktů se v extraktech izolovaných z rostlinných matric a půdy provádí pomocí gelové permeační chromatografie (GPC). PAU se stanoví pomocí reverzní vysokoúčinné kapalinové chromatografie s fluorescenční detekcí (HPLC/FLD). Jednotlivé analyty jsou identifikovány a kvantifikovány na základě srovnání s příslušnými standardy, pomocí metody vnějšího standardu.

Vzhledem k nedávnému stanovisku vědeckého výboru Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (červen 2008) byly všechny dosavadní výsledky sumárního obsahu PAU přepočteny na sumu 8 PAU, která má napříště v evropských databázích reprezentovat zátěž potravin a plodin a indikovat tak expozici těmto kancerogenům. Pro sumu těchto PAU (v Příloze 5 označených červeně) jsou k dispozici nejen údaje o úrovni kontaminace potravin ale i o celkové expozici člověka PAU. Jedná se o následující látky:

Benzo[a]anthracen, Chrysen, Benzo[b]fluranthen, Benzo[k]fluranthen, Benzo[a]pyren, Benzo[ghi]perylene, Dibenz[a,h]anthracen a Indeno[1,2,3-cd]pyren

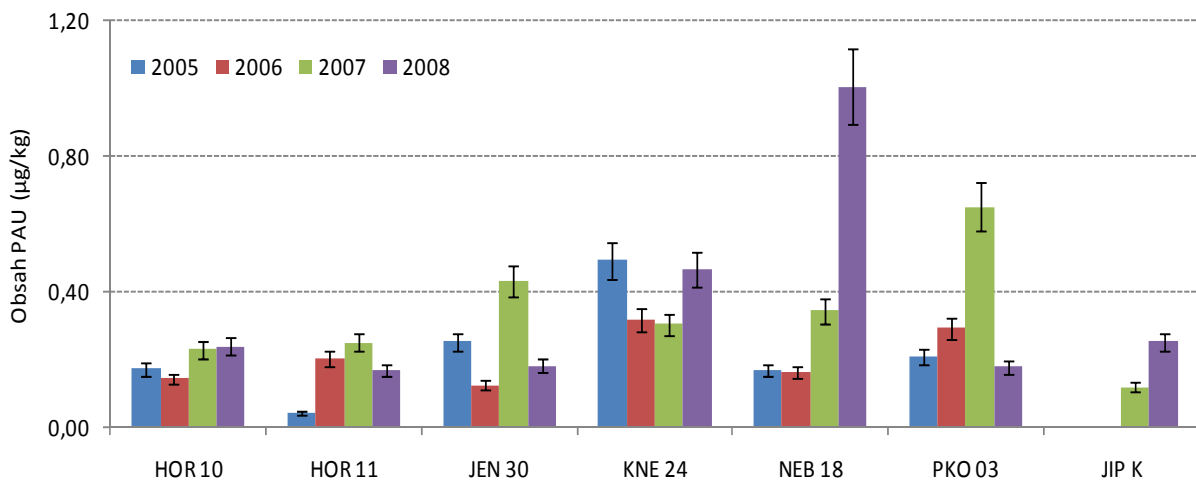
1.3 Výsledky a diskuse nálezů PAU

Pšenice

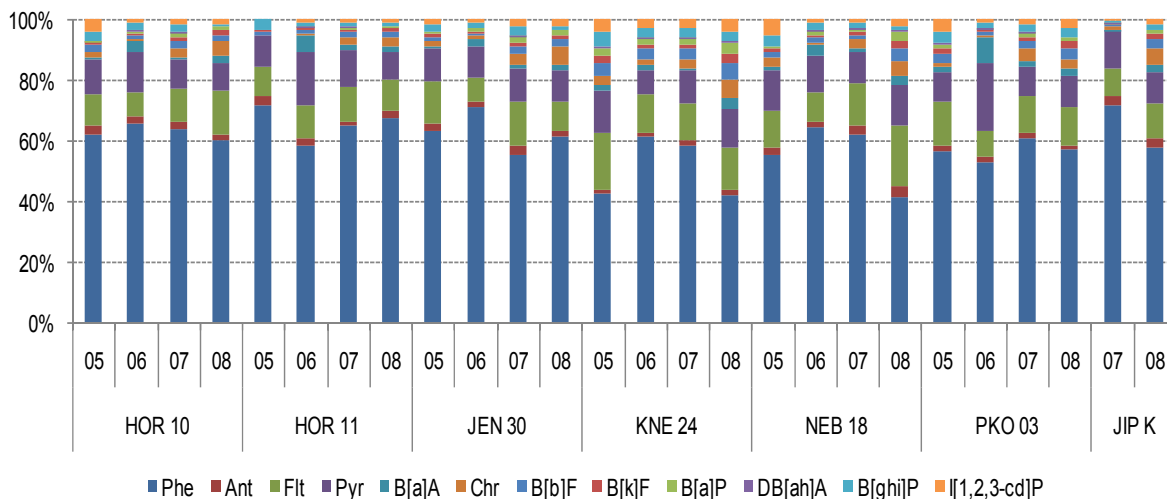
Z porovnání celkového množství PAU v zrna pšenice vyplývá, že nedošlo k významným změnám v nálezech PAU oproti předchozím letům (2005 – 2007). Výjimku tvoří pouze lokalita NEB 18 kde došlo k výraznému nárůstu kontaminace, což může být důsledek nového lokálního/náhodného zdroje kontaminace, který se uplatnil právě v době odběrů.

Hladiny PAU v pšenici se ve všech sledovaných letech pohybovaly v rozmezí odpovídajících hodnotám zjištěným pro lokality v jiných oblastech ČR s víceméně průměrnou zátěží PAU a řádově odpovídaly i nálezům v kontrolní lokalitě Jílového u Prahy (JIP K). Sezonní výkyvy však naznačují, že aktuální koncentrace se mohou měnit v širokém rozmezí.

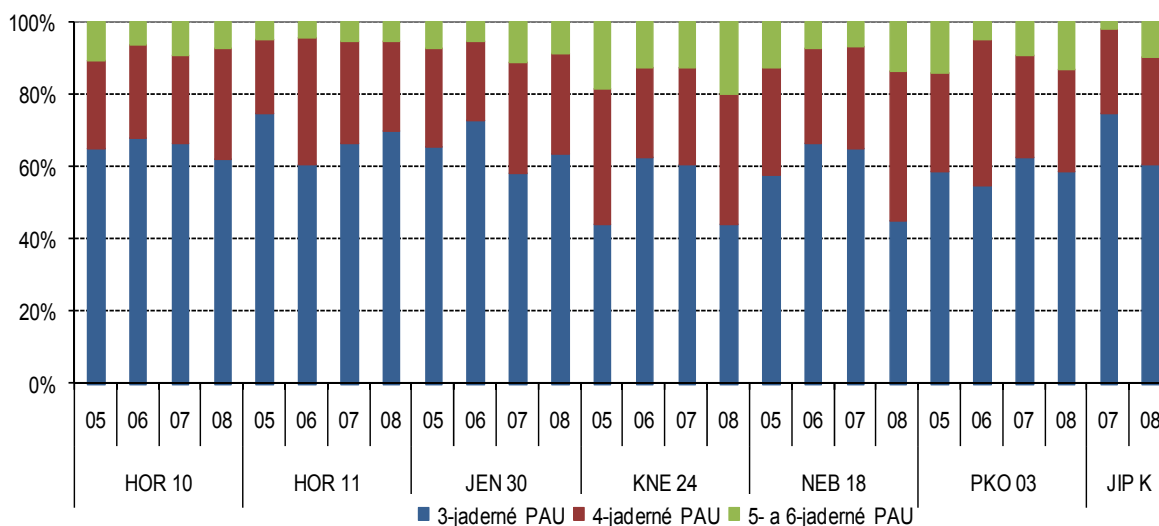
Procentuální zastoupení jednotlivých PAU i jednotlivých skupin PAU zůstává ve většině sledovaných lokalit obdobné jako v předchozích letech a odpovídá hladkému povrchu plodiny, na kterém nedochází k zachytu pevných částic s adsorbovanými „těžšími“ PAU. Ve spektru sledovaných PAU tak dominují netoxické polyaromáty s nižší molekulovou hmotností, tj. 3-jaderné PAU (viz **Obrázky 4, 5**). Rozdělení PAU do skupin podle počtu aromatických jader je uvedeno v **Tabulce IV**.



Obrázek 3: Celkový obsah PAU (suma 8 PAU) v pšenici – úsečky vymezují nejistotu výsledku analýzy



Obrázek 4: Relativní zastoupení PAU v pšenici



Obrázek 5: Relativní zastoupení jednotlivých skupin PAU v pšenici

Tabulka IV: Rozdělení PAU do skupin podle počtu aromatických jader

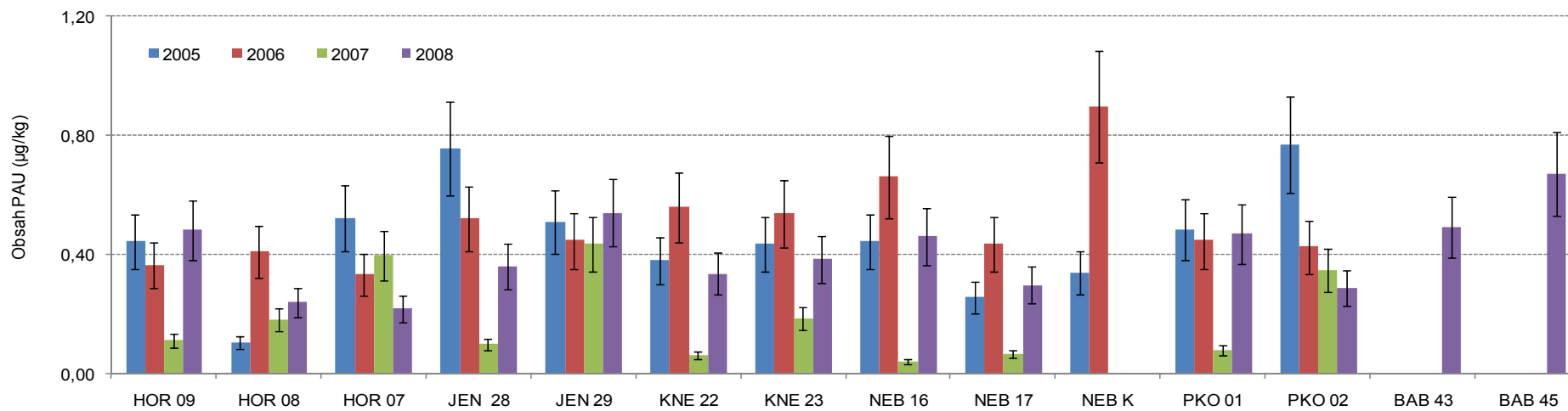
Počet jader	PAU
3	Phe, Ant
4	Flt, Pyr, B[a]A, Chr
5,6	B[b]F, B[k]F, B[a]P, DB[ah]A, B[ghi]P, I[1,2,3-cd]P

Jablka

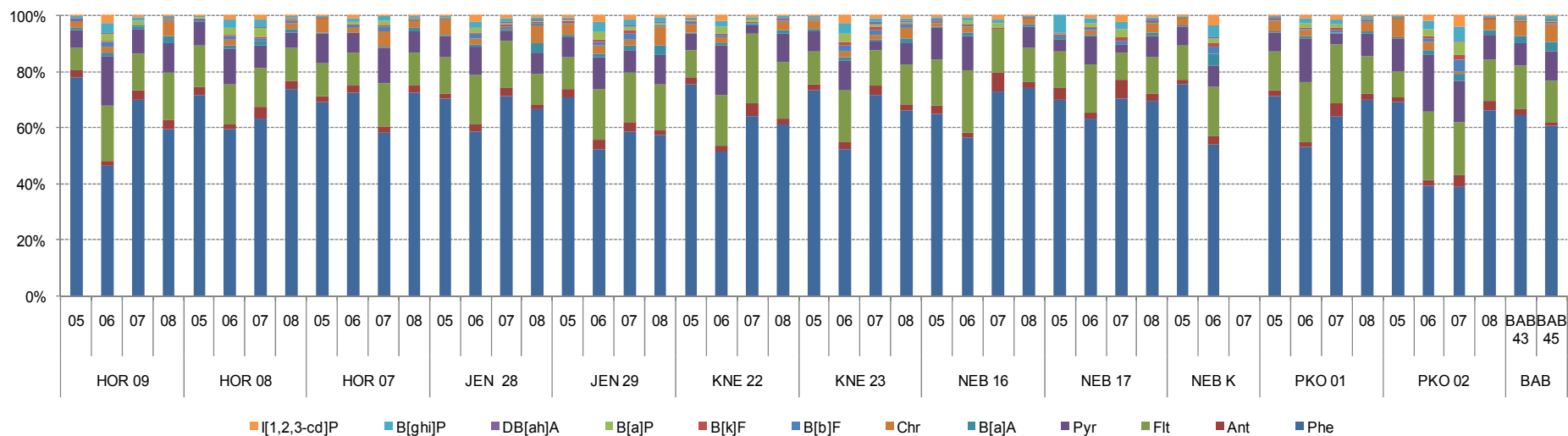
Z porovnání celkového množství PAU nalezených v jablkách v jednotlivých letech (**Obrázek 6**) vyplývá, že nálezy v roce 2008 korespondují s výsledky z let 2005 a 2006 a jsou vyšší než v roce 2007, kdy pravděpodobně došlo k omytí PAU deponovaných na prachových částicích, vlivem četnějších srážek v období odběru. V nově zařazených lokalitách BAB43 a BAB45 byly zaznamenány poněkud vyšší nálezy PAU, což může být důsledek lokálního/náhodného zdroje kontaminace v době odběru.

Z **Obrázku 7**, kde je znázorněno relativní zastoupení jednotlivých PAU ve všech sledovaných letech vyplývá, že s výjimkou lokality PKO 02, kde bylo v letech 2006 a 2007 zjištěno významně nižší množství phenanthrenu, nebyly shledány mezi lokalitami významné rozdíly.

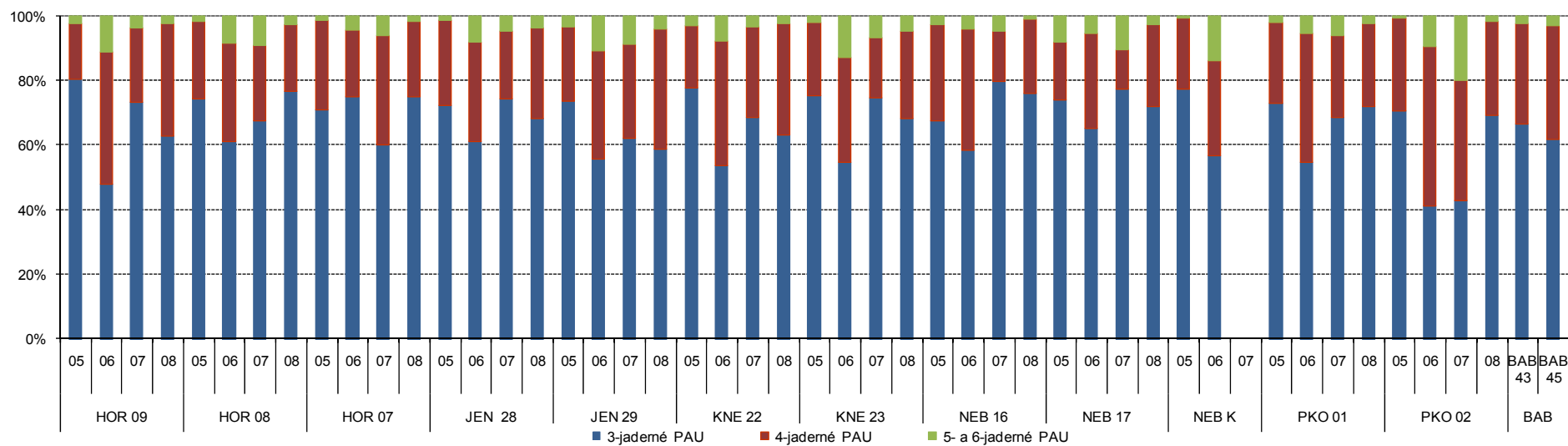
Ve spektru PAU (**Obrázky 7 a 8**) zjištěném u jablek převažují PAU tří- a čtyř- jaderné. Největší podíl z celkového nálezu obvykle představuje phenanthren, který v tomto případě tvoří až 70 % z celkového obsahu PAU. Pěti- a šestijaderné PAU, mezi které patří některé toxické látky, tvoří naopak pouze přibližně 10 % z nálezu. Relativní zastoupení jednotlivých skupin PAU tedy odpovídá rozdílné morfologii a složení povrchů, a také předpokládaným mechanismům přestupů PAU z okolního prostředí na povrch matrice. Hladký povrch neumožňuje záchyt „pevných“ částic s adsorbovanými PAU. Voskový povrch jablek, u kterého dochází k přímé absorpci PAU z plynné fáze atmosféry do vosku, má za následek dominantní zastoupení 3-jaderných PAU ve sledovaném spektru.



Obrázek 6: Celkový obsah PAU (suma 8 PAU) v jablkách – úsečky vymezují nejistotu výsledku analýzy



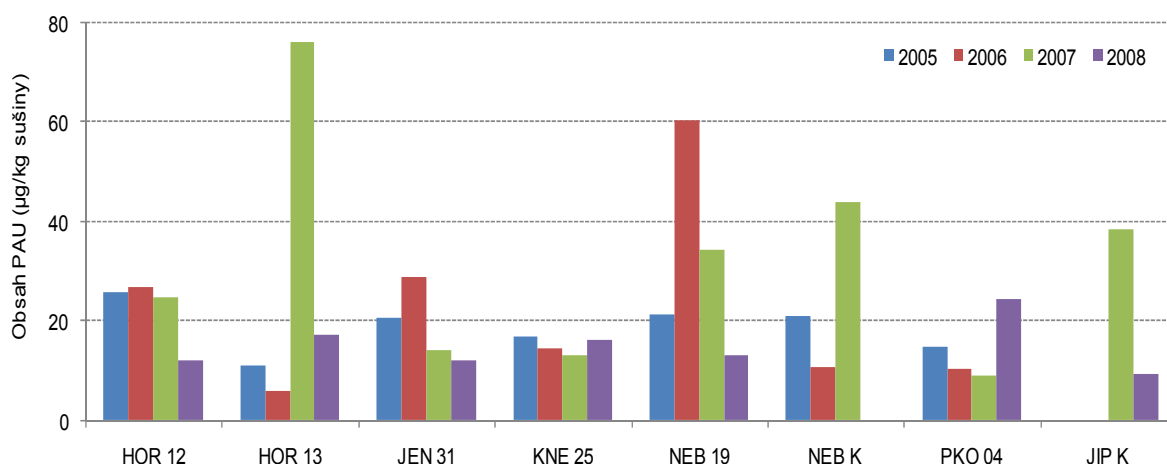
Obrázek 7: Relativní zastoupení PAU v jablkách



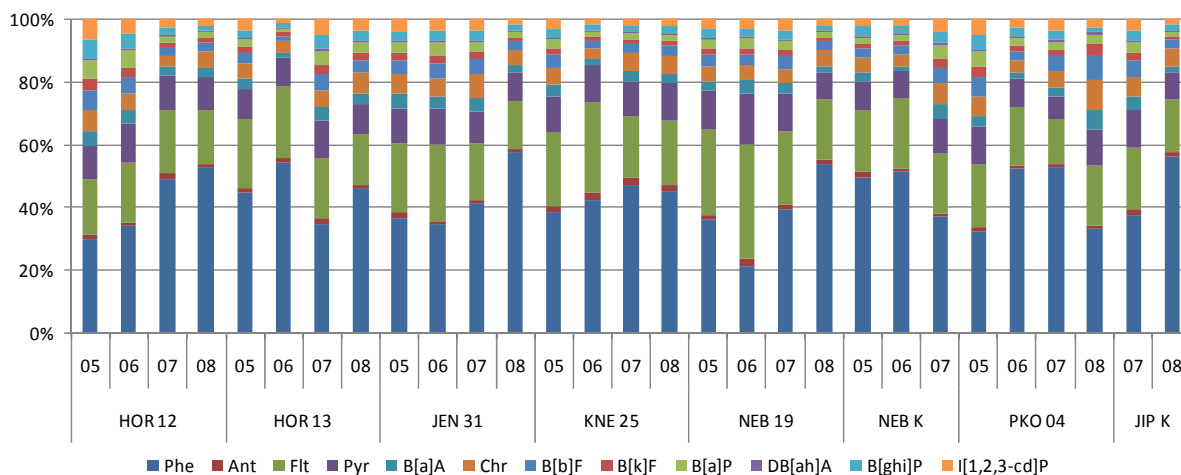
Obrázek 8: Relativní zastoupení jednotlivých skupin PAU v jablkách

Listy jahodníku

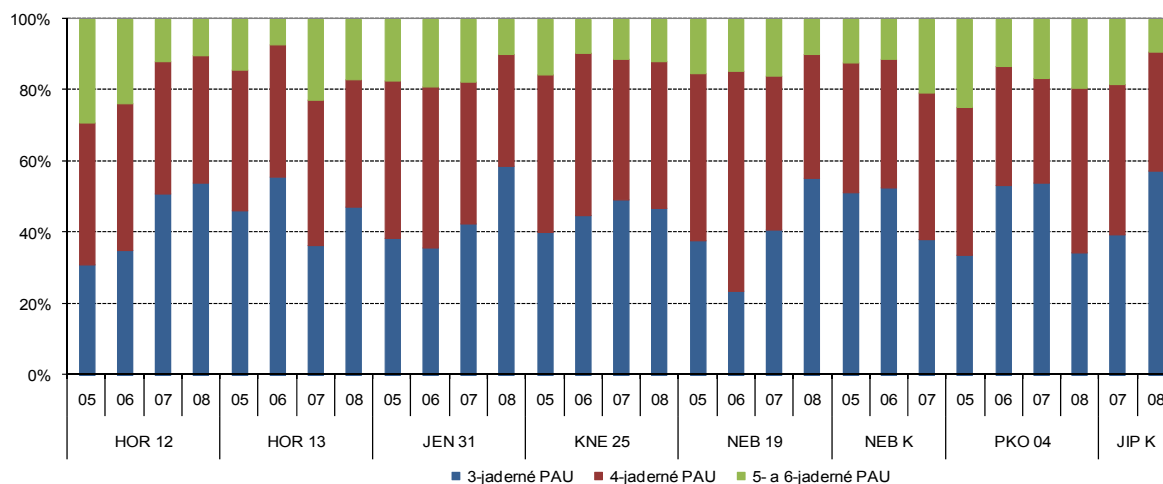
V roce 2008 nedošlo ve většině lokalit k výrazným změnám v nálezech PAU oproti předchozím rokům (2005-2007) a lze konstatovat, že nálezy PAU se pohybovaly na podobné úrovni jako v lokalitě JIP K, která byla v roce 2007 zvolena jako kontrolní lokalita s předpokládanou nízkou kontaminací. V lokalitě HOR 13 (2008), byly po výrazném nárůstu v roce 2007, opět zjištěny nálezy PAU odpovídající letům 2005 a 2006. K výraznému snížení kontaminace došlo také v kontrolní oblasti JIP K (**Obrázek 9**). Jak vyplývá z **Obrázků 10 a 11**, trendy v zastoupení jednotlivých PAU i jednotlivých skupin PAU ve většině lokalit jsou si v meziročním porovnání podobné, přičemž je zřejmé, že v případě listů jahodníku s více členitým povrchem s trichomy dochází k záchytu pevných částic na povrch matrice a k navýšení podílu vícejaderných PAU.



Obrázek 9: Celkový obsah PAU (suma 8 PAU) v listech jahodníku – úsečky vymezují nejistotu výsledku analýzy



Obrázek 10: Relativní zastoupení PAU v listech jahodníku



Obrázek 11: Relativní zastoupení jednotlivých skupin PAU v listech jahodníku

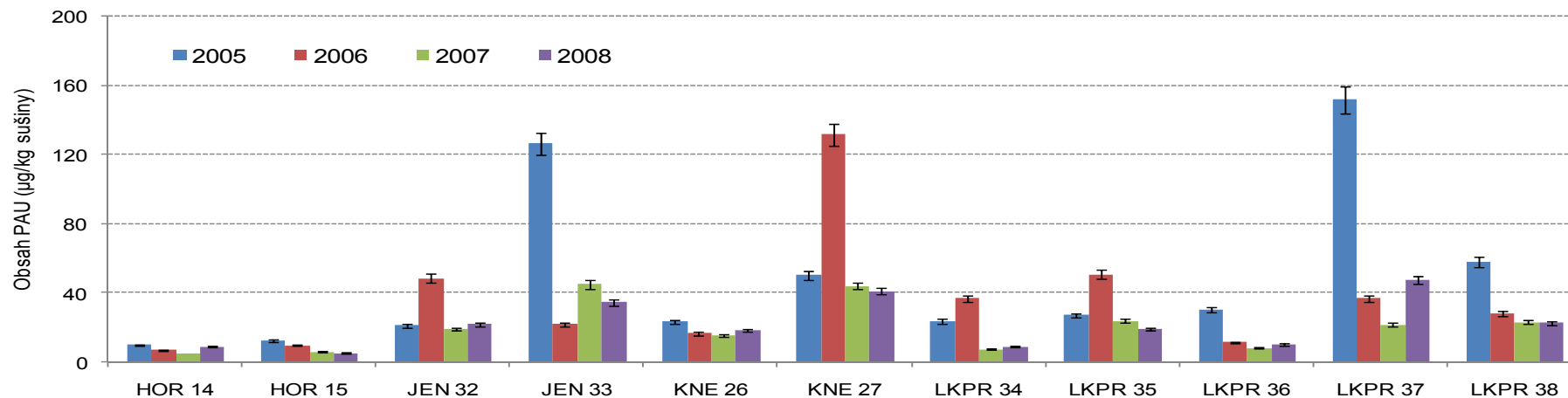
Trvalý travní porost

Z porovnání celkového množství PAU nalezeného v trvalém travním porostu v jednotlivých letech (**Obrázek 12**) vyplývá, že nálezy v roce 2008 kolísaly přibližně na stejné úrovni jako v předchozích letech. Vyšší hodnota kontaminace byla zaznamenána pouze v lokalitě BAB 42, BAB 44 a kontrolní lokalitě JIP K, což lze pravděpodobně přisoudit (podobně jako výkyvy v předchozích letech u lokalit PKO, KNE, JEN a LKPR) náhodnému místnímu zdroji kontaminace. Tuto hypotézu pro lokality BAB (2008) a PKO (2007) potvrzuje také výrazná změna v zastoupení jednotlivých skupin PAU, kdy došlo k nárůstu výskytu 5- až 6-jaderných PAU, což indikuje kontaminaci vegetace prašnou depozicí (**Obrázek 13**). Vyšší podíl 4-jaderných PAU byl zaznamenán v kontrolní lokalitě JIP K. Na druhou stranu, v některých lokalitách HOR, PKO, LKPR a NEB došlo k poklesu kontaminace výšejadernými (5- a 6-jadernými) PAU (**Obrázky 13 a 14**).

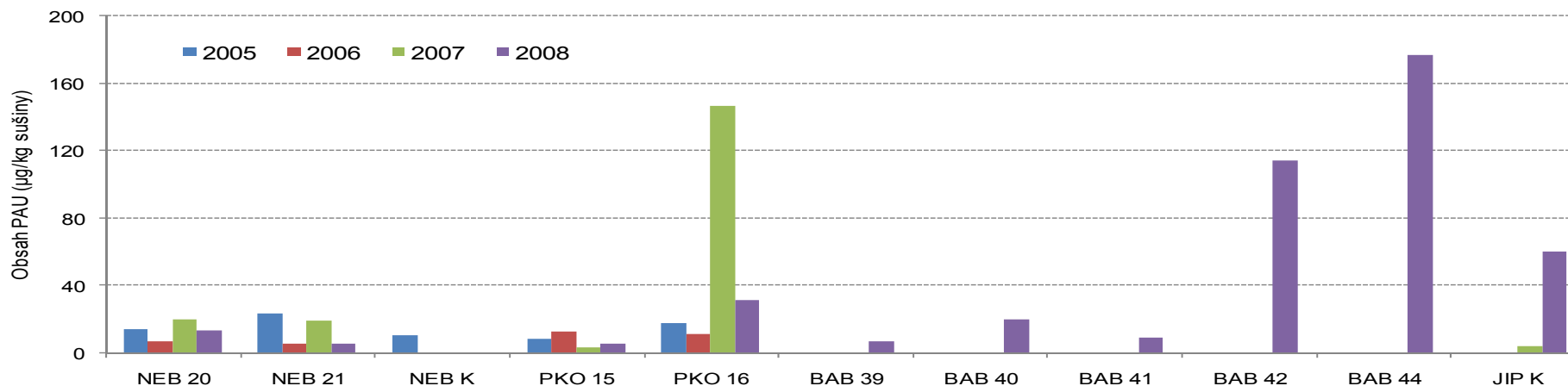
Ekvivalent toxicity (TEQ)

Pro objektivní posouzení zátěže zemědělských plodin PAU ve sledovaných lokalitách z pohledu (eko)toxikologického lze porovnávat hodnoty toxických ekvivalentů TEQ, které vycházejí z relativního karcinogenního potenciálu některých PAU. Pro posouzení tohoto hlediska byl vybrán trvalý travní porost z následujících důvodů: (1) tato matrice dobře odráží imisní zátěž prostředí; (2) travní porost byl dostupný ve všech sledovaných lokalitách, včetně lokality LKPR; (3) využívá se jako krmivo a tak vstupuje do potravního řetězce člověka. Výpočet TEQ pro orientační posouzení toxicity směsi PAU byl pro účely této studie proveden podle modelu Nisbeta a LaGoye [1], vzhledem ke spektru uvedených PAH.

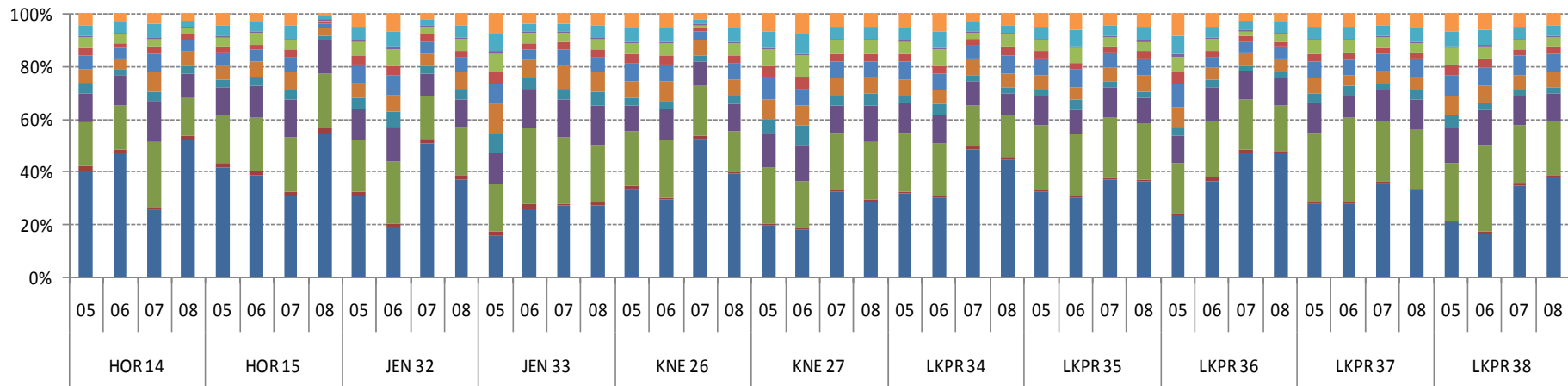
Porovnání vypočítaných TEQ je uvedeno na **Obrázku 15**. Z porovnání s **Obrázkem 12** vyplývá, že v tomto případě hodnoty TEQ korelují s celkovými nálezy PAU (suma osmi „evropskými“). Mezi nejvíce zatížené lokality se v roce 2005 řadily LKPR a JEN, v roce 2006 došlo k nárůstu zátěže v lokalitě KNE: V roce 2007 byla výrazná zátěž zaznamenána v lokalitě PKO a naopak nejnižší zátěž byla zjištěna pro kontrolní lokalitu JIP K. V letošním roce (2008) byla poněkud zvýšená zátěž zaznamenána v lokalitě JIP K a lokalitách BAB 42 a BAB 44.



pokračování:

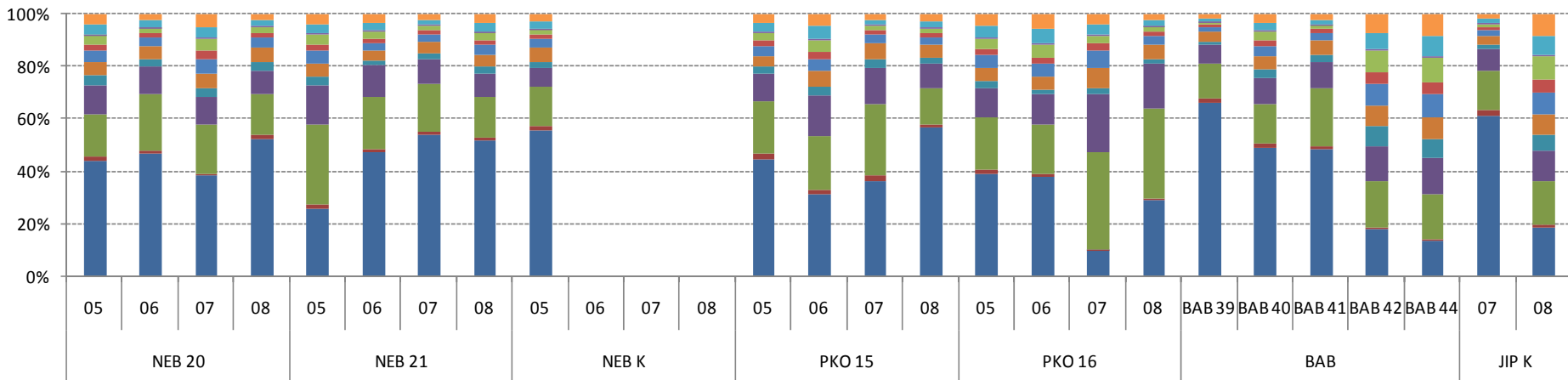


Obrázek 12: Celkový obsah PAU (suma 8 PAU) v trvalém travním porostu - úsečky vymezují nejistotu výsledku analýzy
 Pozn.: Vzorek NEB K (2006) byl od r. 2007 nahrazen vzorkem JIP K



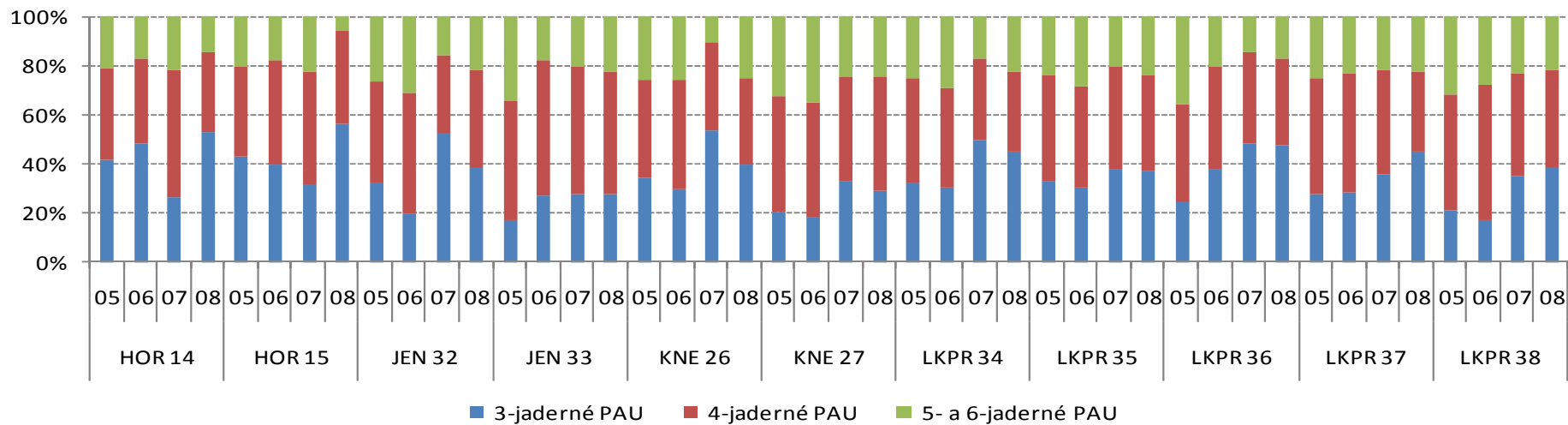
■ Phe ■ Ant ■ Flt ■ Pyr ■ B[a]A ■ Chr ■ B[b]F ■ B[k]F ■ B[a]P ■ DB[ah]A ■ B[ghi]P ■ I[1,2,3-cd]P

pokračování:

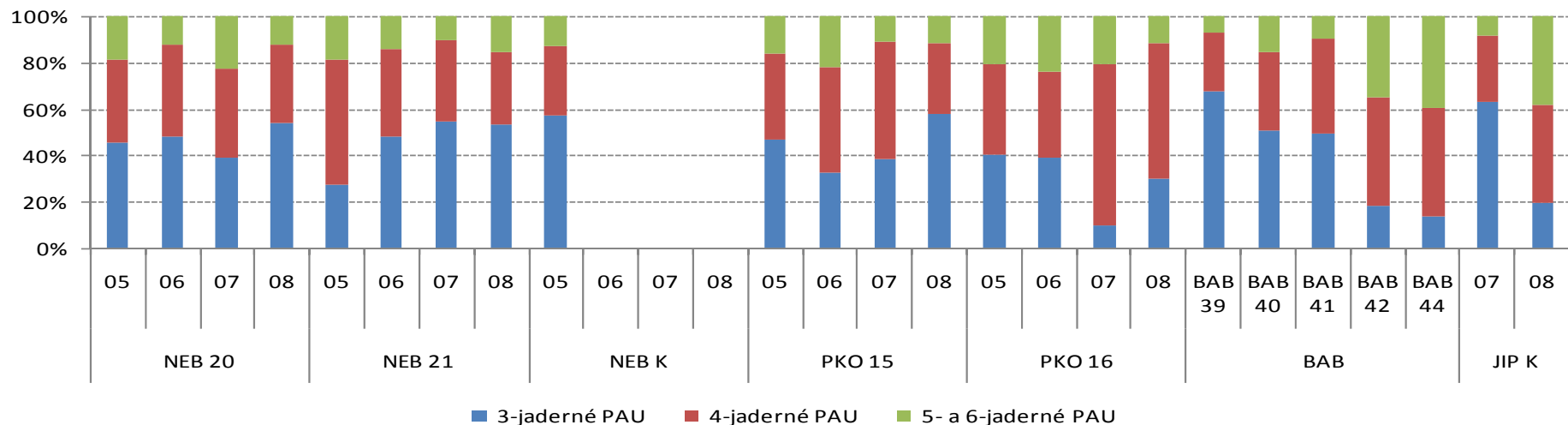


■ Phe ■ Ant ■ Flt ■ Pyr ■ B[a]A ■ Chr ■ B[b]F ■ B[k]F ■ B[a]P ■ DB[ah]A ■ B[ghi]P ■ I[1,2,3-cd]P

Obrázek 13: Relativní zastoupení PAU v trvalém travním porostu
 Pozn.: Vzorek NEB K (2006) byl od r. 2007 nahrazen vzorkem JIP K

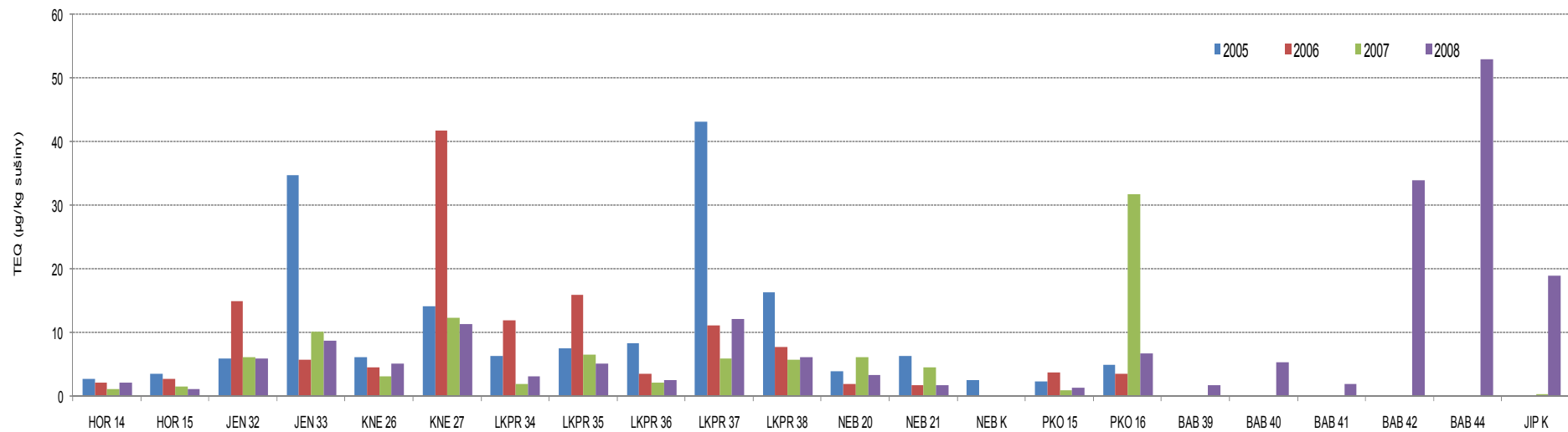


pokračování:



Obrázek 14: Relativní zastoupení jednotlivých skupin PAU v trvalém travním porostu

Pozn.: Vzorek NEB K (2006) byl od r. 2007 nahrazen vzorkem JIP K



Obrázek 15: Hladiny karcinogenních PAU v trvalém travním porostu vyjádřené jako TEQ (vztaženo k benzo[a]pyrenu)

Celkový přehled výsledků

Celkový přehled výsledků, vyjádřených jako suma 8 sledovaných PAU, zjištěných v letech 2005 - 2008 je uveden v Tabulce V. Podrobnější údaje o nálezech PAU v roce 2008 jsou uvedeny v **Tabulkách VIII - XI v Příloze 4**. Jak ze souhrnné **Tabulky V** vyplývá, mezi nejvíce zatížené rostlinné matrice patří podle očekávání trvalý travní porost a listy jahodníku – viz diskuse schopností členitého povrchu zachytávat polutanty. V případě těchto plodin byl zjištěn i nejvyšší rozptyl mezi nálezy z jednotlivých lokalit. Nízké nálezy byly ve vzorcích pšenice a jablek. Vzhledem k přirozeně vyšší nejistotě výsledků analytického stanovení na těchto stopových hladinách je hodnocení rozdílů mezi lokalitami či rozpoznávání časových trendů velmi obtížné.

Tabulka V: Celkový přehled výsledků (suma 8 sledovaných PAU) zjištěných v letech 2005 až 2008

Plodina	Rok	Medián*	10% kvantil*	90% kvantil*
Pšenice	2005	0,2	0,1	0,4
	2006	0,2	0,1	0,3
	2007	0,3	0,2	0,5
	2008	0,2	0,2	0,7
Jablka	2005	0,4	0,3	0,7
	2006	0,5	0,4	0,6
	2007	0,1	0,1	0,4
	2008	0,4	0,2	0,6
Trvalý travní porost	2005	8,4	3,3	28,7
	2006	16,8	7,7	55,1
	2007	19,2	5,6	44,7
	2008	19,3	6,0	60,7
Listy jahodníku	2005	7,7	5,9	9,4
	2006	12,7	7,6	39,2
	2007	29,4	11,9	53,3
	2008	13,0	10,8	19,9

* hodnoty pro pšenici a jablka v µg/kg

* hodnoty pro trvalý travní porost a listy jahodníku v µg/kg sušiny

2. Toxické kovy

2.1 Přehled problematiky

Sledované toxické kovy (Ni, Cd, Cr, Mo, V, Cu, Hg, Pb, Zn) obecně indikují znečištění prostředí a plodin a jejich aktuální koncentrace nalézané ve vegetaci do značné míry odráží jejich atmosférickou depozici (imisní situaci). Nelze ovšem zapomínat i na geologické a půdní podmínky, což může porovnávání údajů z různých míst komplikovat.

Interpretovat nálezy těžkých kovů v urbánní oblasti s celkově vysokou dopravní zátěží a domácími topeništi na pevná paliva je obtížné, neboť příspěvky z jednotlivých zdrojů nelze spolehlivě rozlišit. V okolí letiště Ruzyně je situace navíc komplikovaná i blízkostí velkého metalurgického komplexu v Kladně, který byl po dlouhá desetiletí nejvýznamnějším zdrojem emisí těžkých kovů v celé oblasti. Zde byly ve velkém měřítku zpracovávány i ušlechtilé oceli s obsahy některých minoritních prvků. Oblast letiště Ruzyně přitom leží v převládajícím směru vzdušného proudění.

V souvislosti s provozem proudových leteckých motorů bývá někdy zmiňován vanad. Vanad vyniká velkou strukturální pevností a odolností proti korozi i za extrémních podmínek. V moderní technice nachází uplatnění zejména tam, kde běžně používaný hliník není samotný dostatečně pevný a nerezová ocel by zase byla příliš těžká. Takovým případem jsou zejména speciální konstrukční části letadel (ve slitinách s titanem a hliníkem) - Slitiny vanadu s titanem a hliníkem jsou hojně používány v leteckých tryskových motorech a turbínách, kde při vysoké teplotě a rychlých otáčkách dochází k otěru a v důsledku toho k emisím do prostředí.

Rostliny přijímají vanad z půdy, z ovzduší i povrchové vody. Již 10 - 20 mg/L vanadu ve vodě může poškodit růst vyšších rostlin. Pouze luštěniny snášejí vyšší koncentrace, neboť vanad využívají v procesu fixace dusíku. Fytotoxicita vanadu spočívá v interferenci s absorpcí železa a vnějším projevem jeho nedostatku je pak apikální chloróza rostlin. Vanad ale narušuje také využití manganu, mědi, vápníku a fosforu a může tedy dokonce ovlivnit nutriční hodnotu rostlin. Vanad jeví určitou míru afinity k lipidům (tukům a olejům) a lze ho tedy nalézt v tukové tkáni exponovaných organismů. Bioakumulace či biokoncentrace vanadu je ale pro savce, ptáky a ryby nízká, podstatnější kumulaci lze očekávat spíše u bezobratlých a nižších živočichů.

2.2 Analýza vzorků na obsah toxických kovů

Obsah kovů (kromě rtuti) ve sledovaných plodinách byl stanoven podle interní zkušební metody technikou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP/MS). Analyzované vzorky byly před vlastním měřením rozloženy pomocí kyseliny dusičné v mikrovlnném rozkladném zařízení. Obsah Hg byl stanoven pomocí analyzátoru AMA 254.

2.3 Výsledky a diskuse nálezů toxických kovů

Obsahy běžně sledovaných těžkých kovů, jako je olovo, kadmium, měď, zinek a rtuť v jablkách a pšenici (viz [Příloha 5](#)) silně kolísají, nicméně z rozdílů mezi jednotlivými lokalitami nelze ani po čtyřech letech sledování odvodit žádné průkazné zákonitosti a zdá se, že jde spíše o lokální vlivy dané incidentními meteorologickými podmínkami a orografickými či geologickými vlivy.

Výsledky pro jednotlivé toxické prvky a matrice jsou přehledně dokumentovány na **Obrázcích 16 až 33**, kde jsou pro každou lokalitu uvedeny výsledky za celé období 2005 – 2008.

Nejrozsáhlejší soubor vzorků tvoří trvalý travní porost (TTP), který bylo možno odebrat prakticky ve všech sledovaných lokalitách. TTP pak může sloužit jako universální bioindikátor zátěže pro srovnávací účely.

Z dlouhodobě sledovaných lokalit byl v r. 2008 zvýšený obsah prakticky všech těžkých kovů nalezen u vzorku KNE 27 (zahrada rodinného domu, p. Kettner). Vysoké hladiny byly zde zjištěny pro kadmium, olovo a rtuť a dále pro chrom a vanad. Tyto nálezy korespondují rovněž se zvýšenými nálezy kadmia, olova, rtuti a zinku v listech jahodníku z téže zahrady (KNE 25).

Zvýšené koncentrace těžkých kovů byly v roce 2008 zjištěny v travním porostu odebraném v lokalitě BAB 44 („u Matěje“). Jednalo se o obsahy olova (2 300 µg/kg sušiny) kadmia (244 µg/kg sušiny), případně rtuti, chromu a vanadu. Zvýšené nálezy je možno vysvětlit lokálním zdrojem znečištění. Ovšem podobné koncentrace kovů byly nalezeny i ve vzorku z lokality BAB 42 (Hanspaulka), která leží ve vzdálenosti 700 m jihozápadně od BAB 44. Chybu při analýze vzorků lze vyloučit, neboť úroveň celkového znečištění TTP z BAB 44 a BAB 42 dokumentují i zvýšené nálezy organických látek (PAU, BTEX). Naproti tomu jablka z těchto zahrad vykazují pro všechny sledované látky hodnoty, které se nijak významně neliší se od průměrných. Rovněž ostatní vzorky TTP ze zbývajících lokalit BAB vykazují víceméně průměrné hodnoty znečištění těžkými kovy (v mezích nejistoty odběru a stanovení). Je tedy velmi pravděpodobné, že příčinou zvýšených hodnot kontaminace je lokální zdroj, který působí incidentně (krátkodobě). Vzhledem ke značné meziroční variabilitě koncentrací jednotlivých látek nelze zatím činit žádné závěry a výsledky je nutno ověřit v dalším roce.

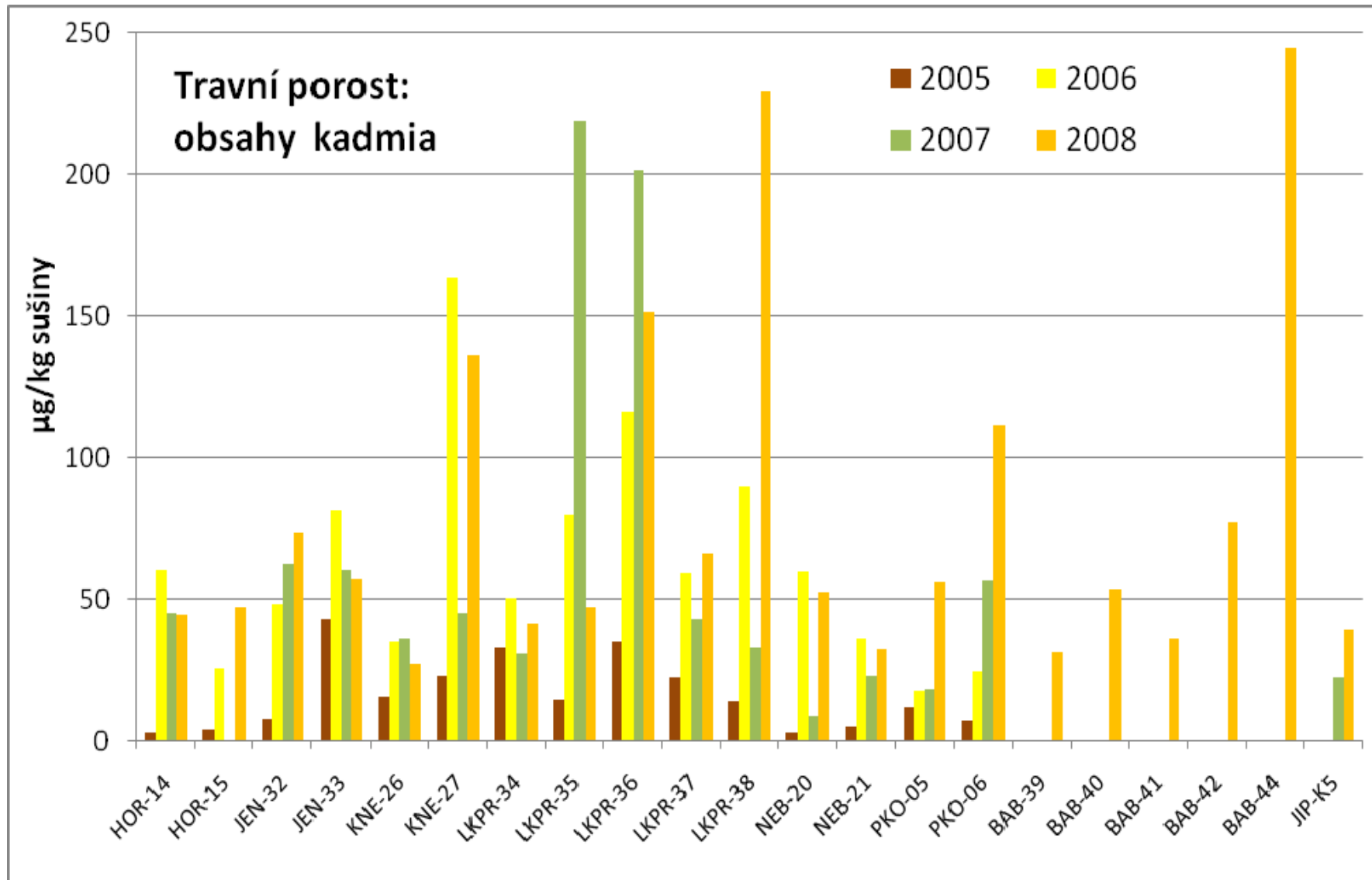
Travní porost v areálu letiště Praha (LKPR) vykazuje v roce 2008 mírně zvýšené koncentrace kadmia a niklu pro LKPR 38 (mezi TWY A a Z) a LKPR 36 (východně od prahu RWY 06). Také v sezoně 2008 se opakovaně potvrdilo, že v těsné blízkosti vzletových a pojezdových drah bývá celková kontaminace travního porostu stopovými prvky jen nevýznamně vyšší oproti travnímu porostu na území okolních obcí. Možné vysvětlení bylo podáno již ve zprávě za rok 2006 a znovu je diskutováno v části věnované PAU a BTEX.

Koncentrace vanadu v TTP za léta 2005 až 2008 jsou zvýšené v lokalitách JEN 33 a KNE 27. Nejvyšší obsahy byly ale nalezeny v roce 2008 v lokalitách BAB 42 a BAB 44, zatímco přímo v areálu letiště jsou koncentrace spíše průměrné.

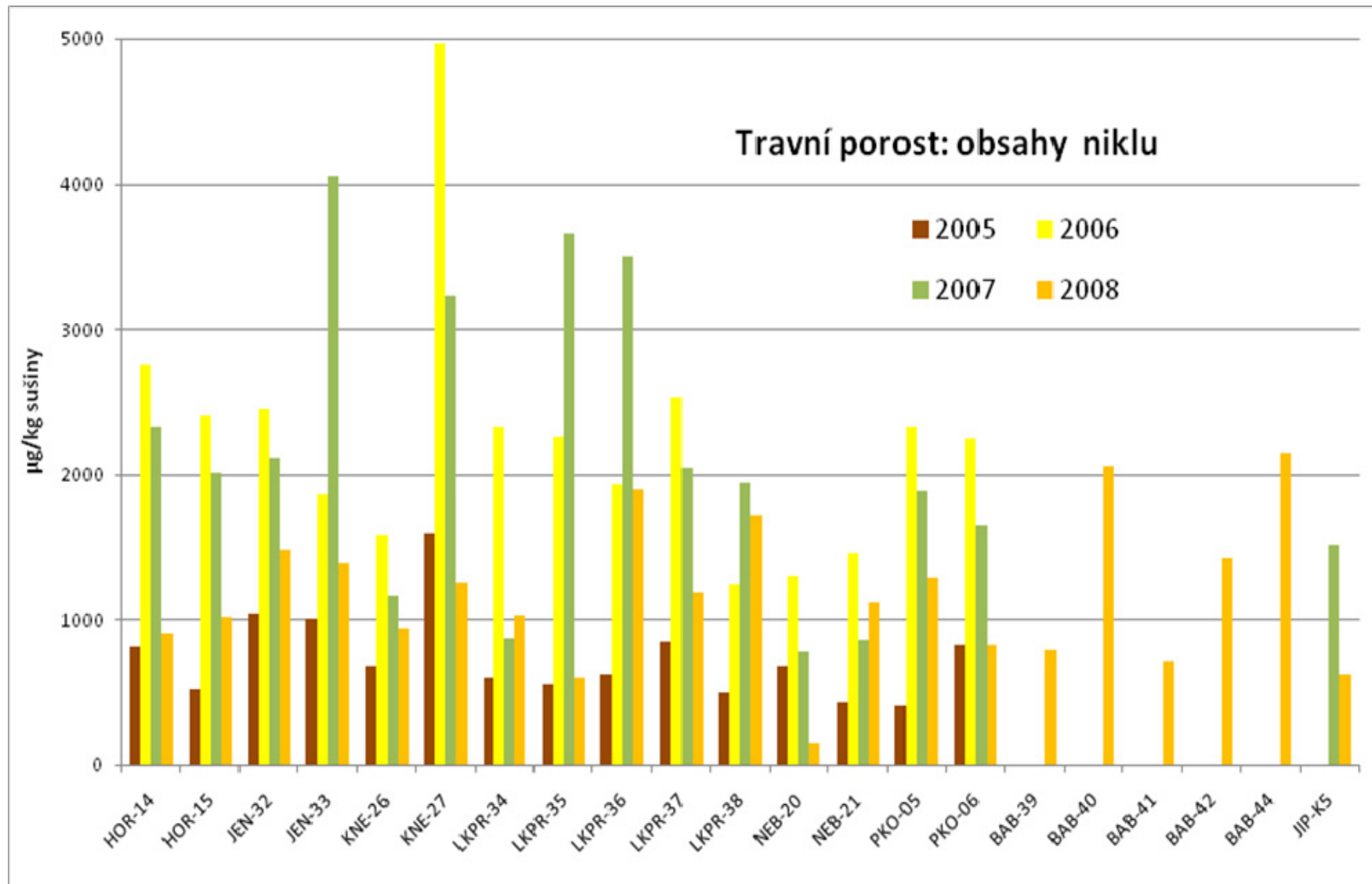
Obsahy vanadu v listech jahodníku jsou meziročně dosti proměnlivé, mediánová hodnota v období 2005 – 2008 kolísala v rozmezí od 446 do 1486 µg/kg sušiny, v roce 2008 byl medián 710 µg/kg sušiny. Nejvyšší koncentrace chromu a olova obsahuje jahodník z obou lokalit v Horoměřicích. Zvýšenou hladinu olova, niklu, chromu a molybdenu vykazoval také vzorek jahodníku z Přední Kopaniny. Nízkou kontaminaci vykazovaly vzorky NEB 819 a JIP 8K1 (kromě obsahu molybdenu, který byl u obou nadprůměrný).

V případě všech vzorků pšenice jsou všechny hodnoty pro kadmium, olovo a rtuť hluboko pod hodnotami nejvyššího přípustného množství povoleného pro potravinářskou či krmnou pšenici [4] a kolísání mezi sezonami i mezi lokalitami je prakticky nevýznamné. Například pro olovo je limitní hodnota v obilovinách stanovena Nařízením č.1881/2006/ES [4] až 200 µg/kg a pro kadmium 100 µg/kg. V této studii byla mediánová (střední) hodnota pro olovo pouhých 8 µg/kg a pro kadmium 25 µg/kg s maximální hodnotou naměřenou v HOR 11: 43 µg/kg.

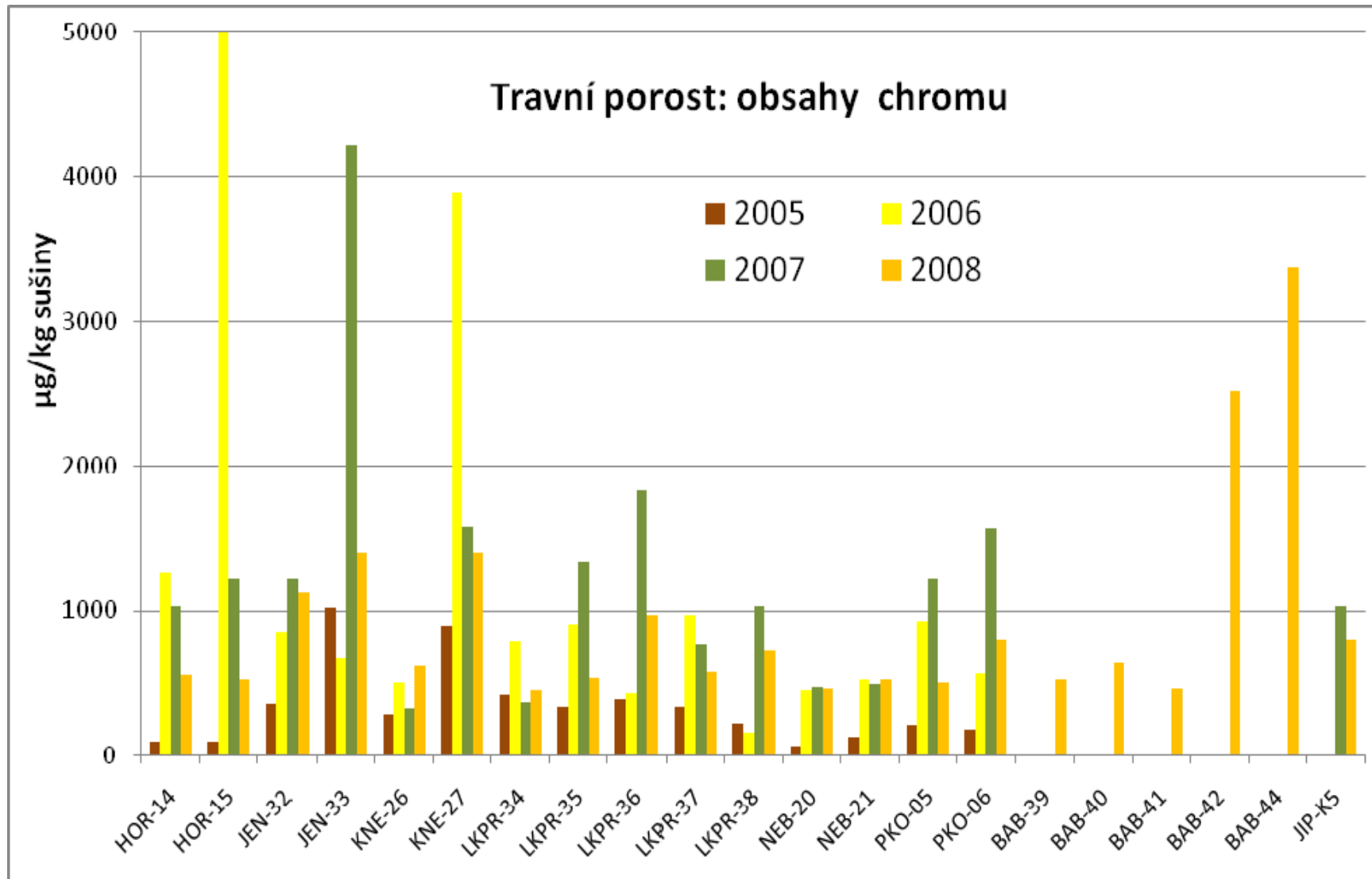
Nařízení č.1881/2006/ES také uvádí maximální koncentrace olova v ovoci 100 µg/kg a kadmia 50 µg/kg. Ve skutečnosti žádný z nálezů nepřekročil hodnotu 10 µg/kg pro olovo a koncentrace kadmia byly pod mezí stanovitelnosti (méně než 1 µg/kg). U jablek s relativně malým povrchem v poměru k hmotnosti plodu není ale dosažení maximálních povolených koncentrací za normálních okolností ani reálné.



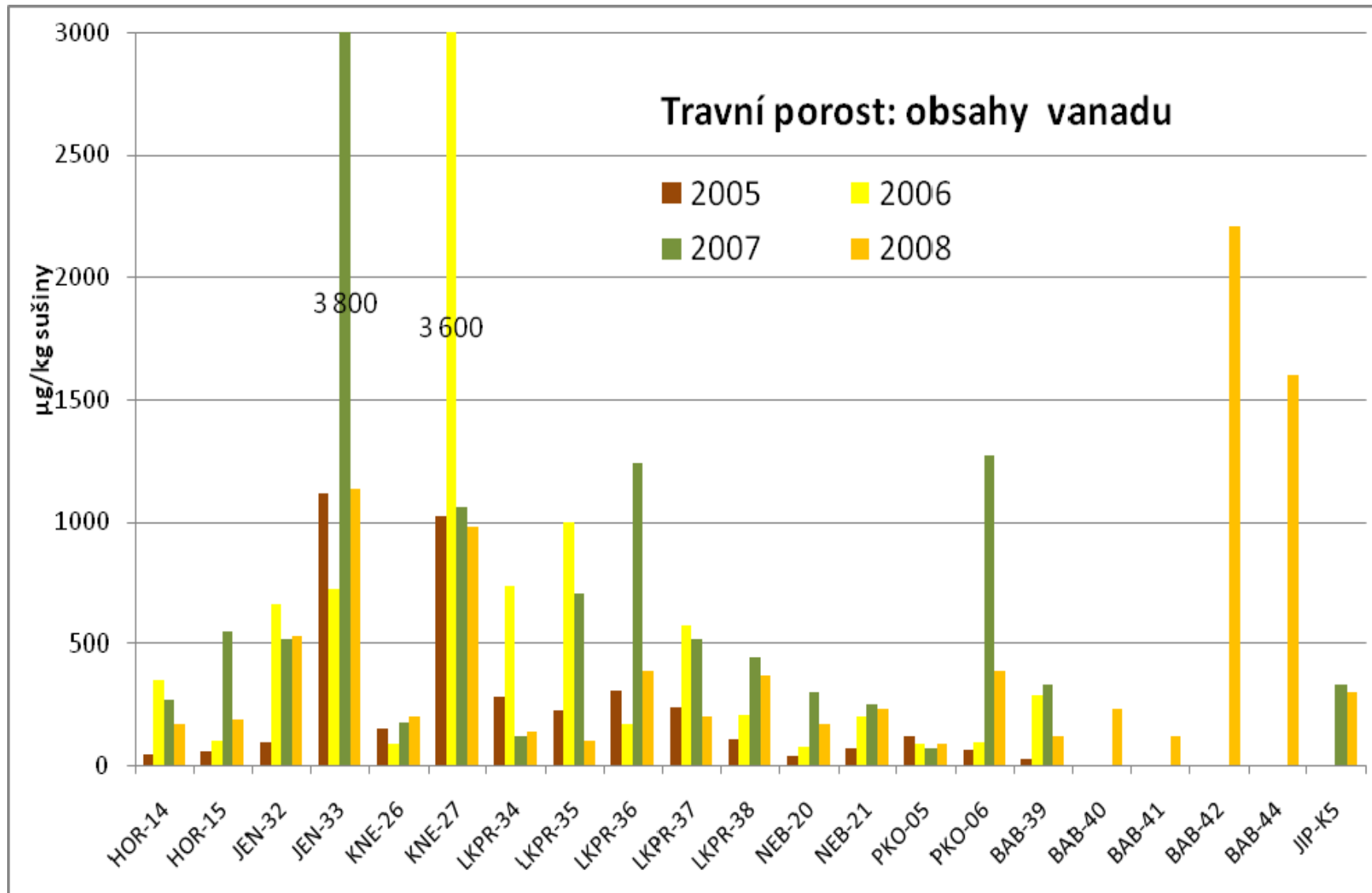
Obrázek 16: Obsahy kadmia v TTP – 2005 až 2008



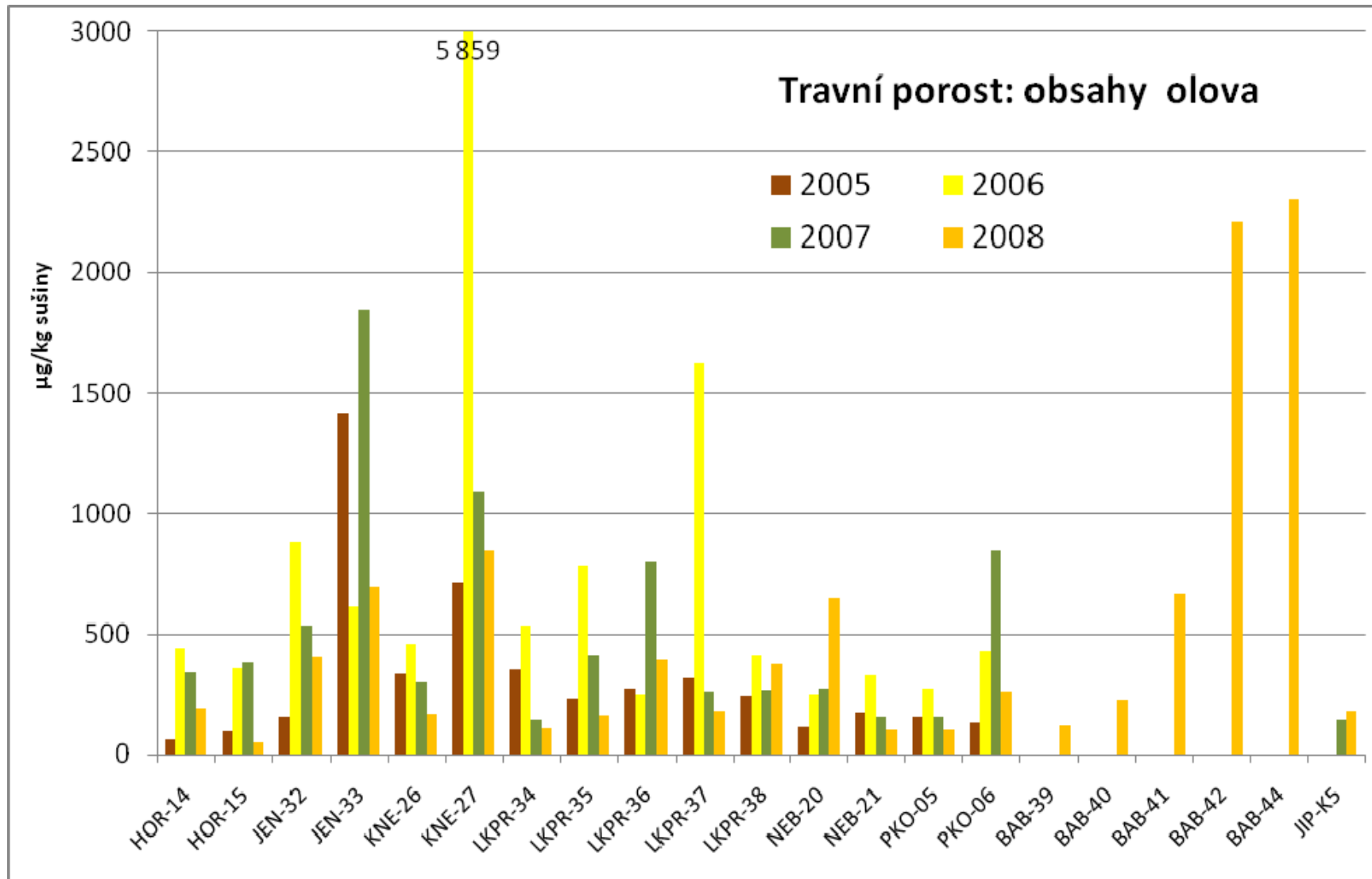
Obrázek 17: Obsahy niklu v TTP – 2005 až 2008



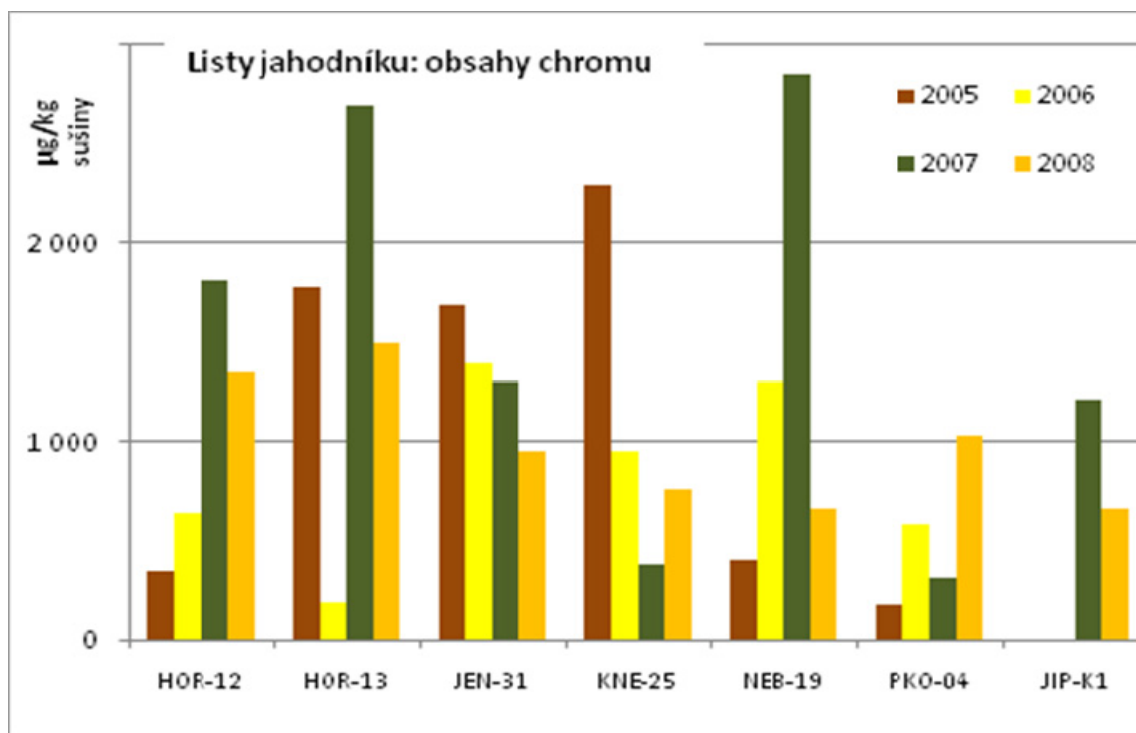
Obrázek 18: Obsahy chromu v TTP – 2005 až 2008



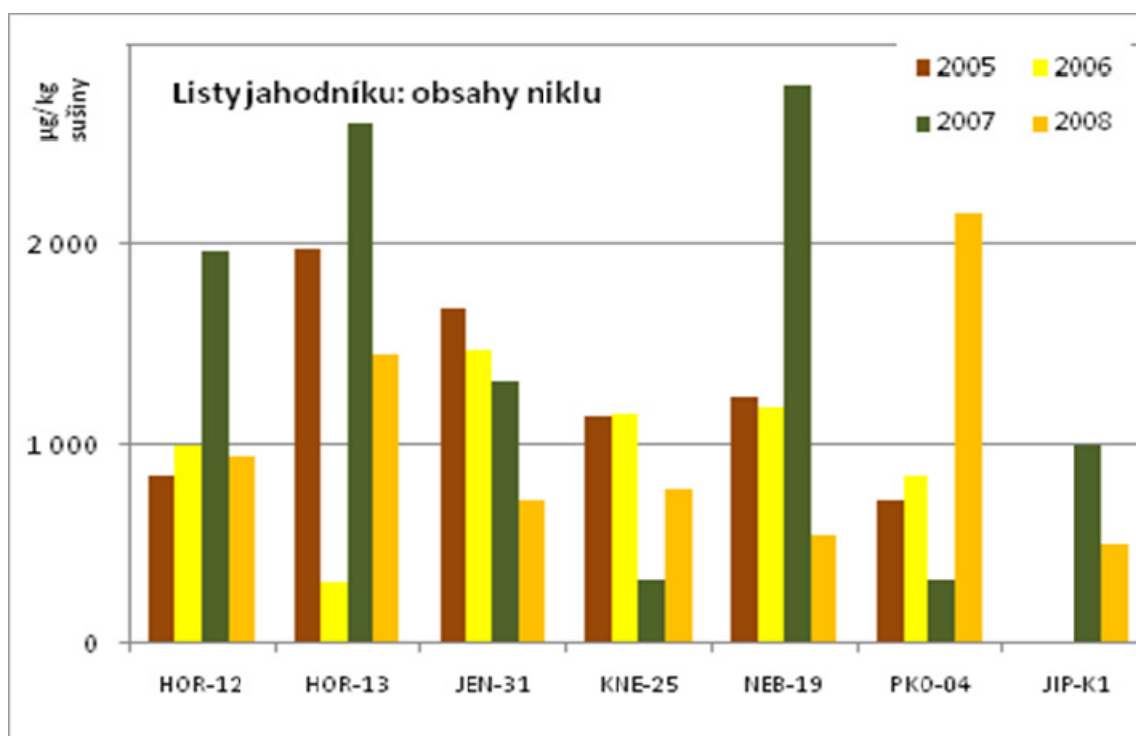
Obrázek 19: Obsahy vanadu v TTP – 2005 až 2008



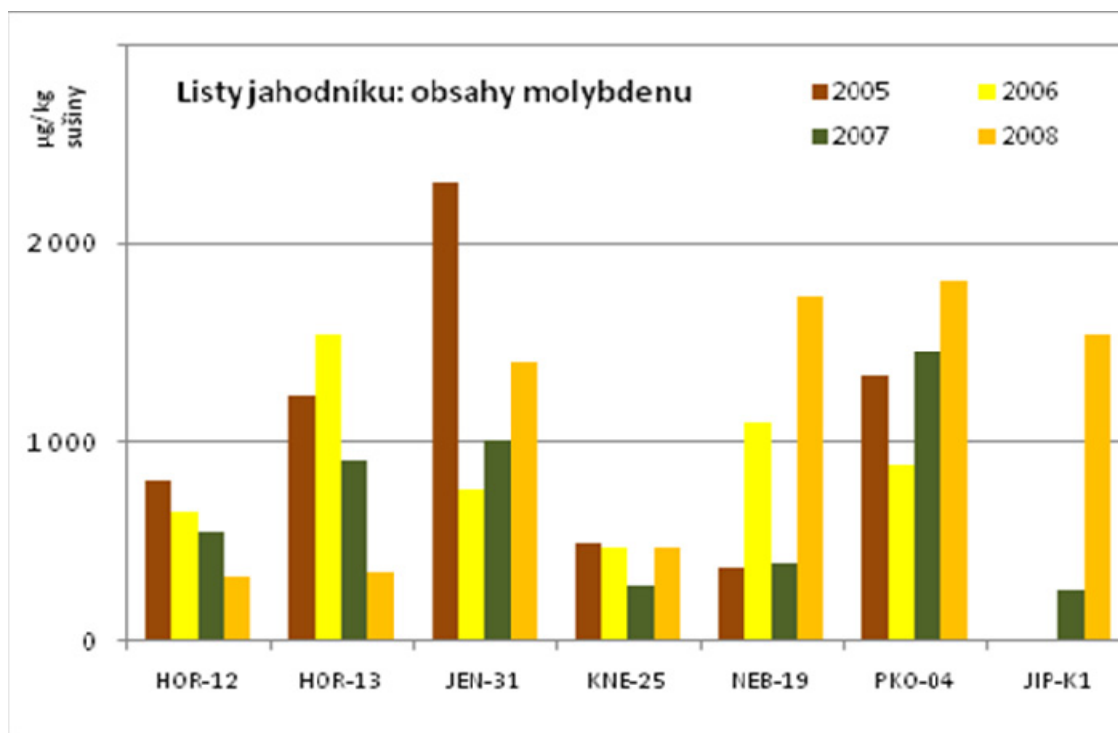
Obrázek 20: Obsahy olova v TTP – 2005 až 2008



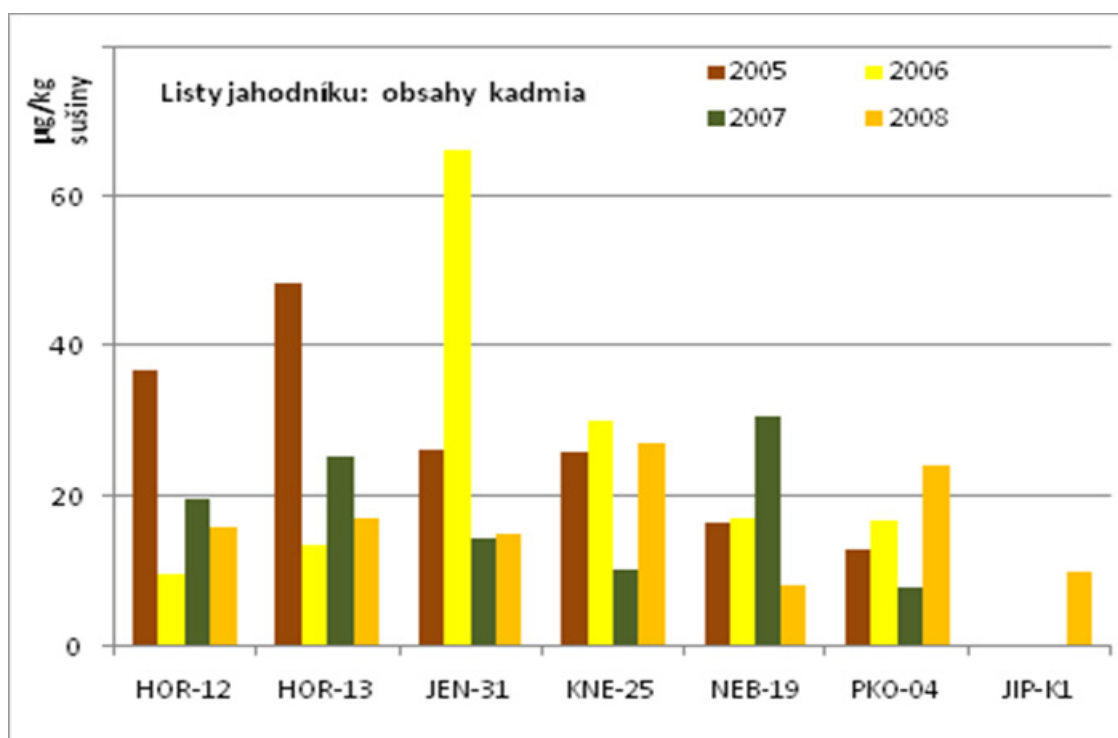
Obrázek 21: Obsahy chromu v listech jahodníku – 2005 až 2008



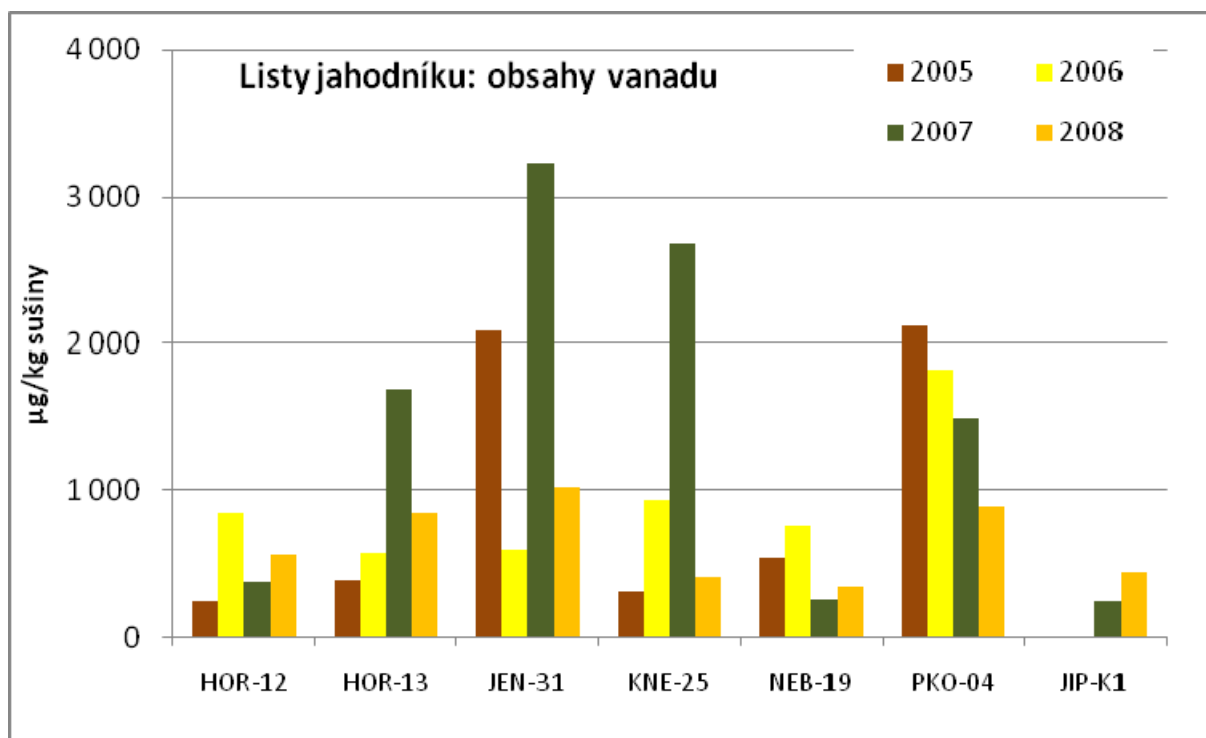
Obrázek 22: Obsahy niklu v v listech jahodníku – 2005 až 2008



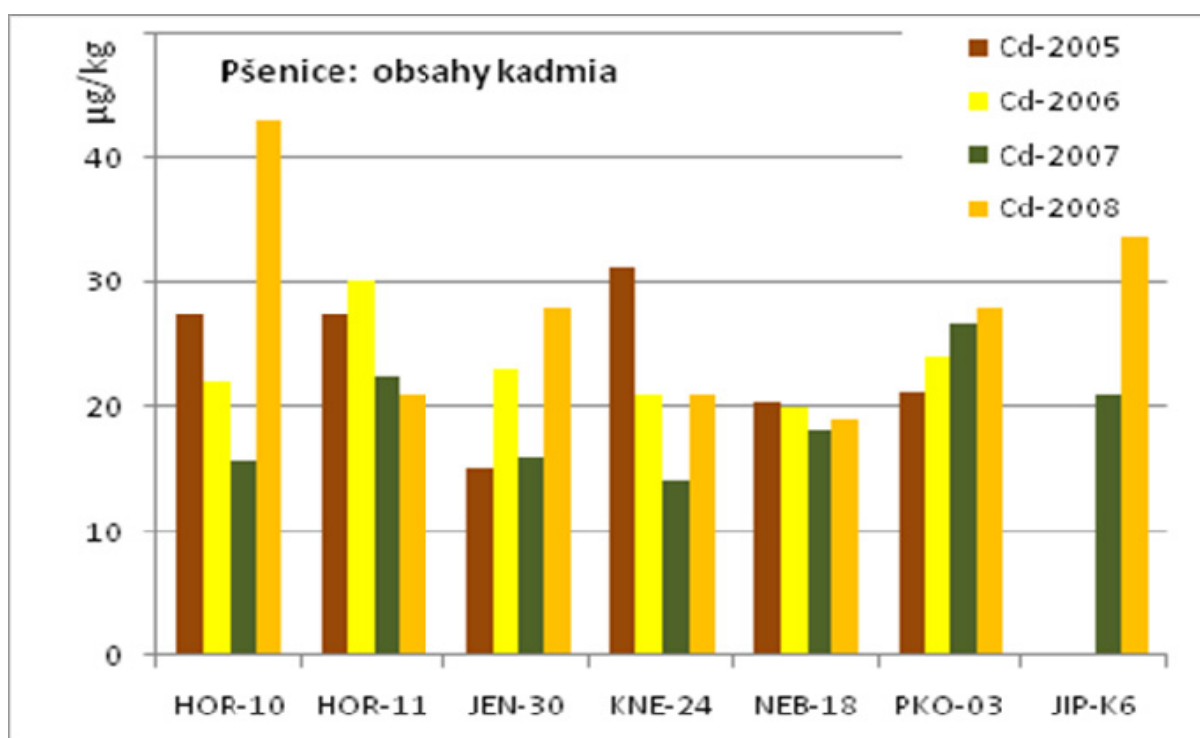
Obrázek 23: Obsahy molybdenu v listech jahodníku – 2005 až 2008



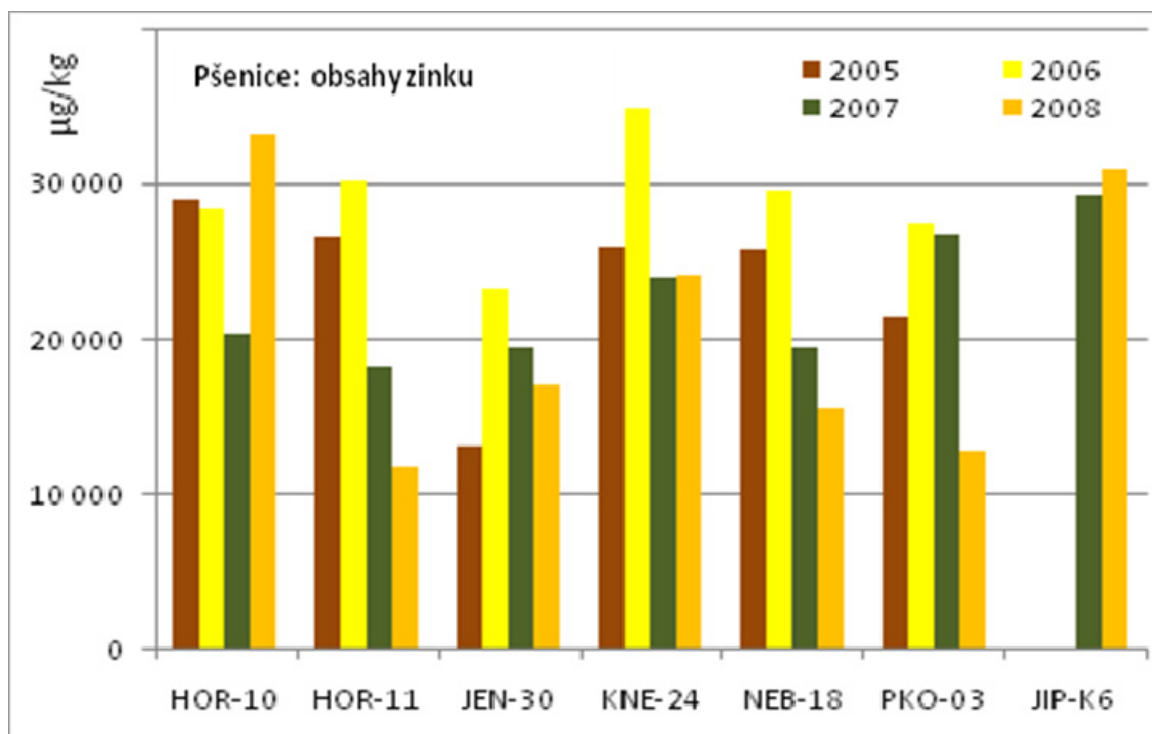
Obrázek 24: Obsahy zinku v listech jahodníku – 2005 až 2008



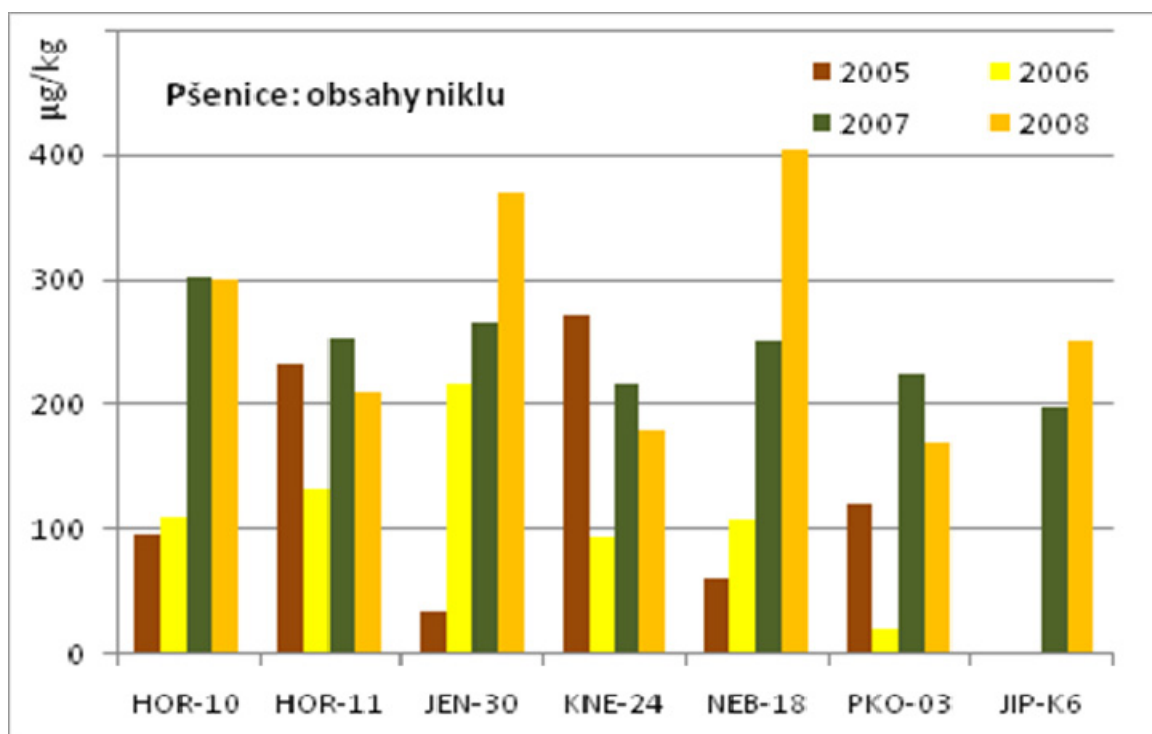
Obrázek 25: Obsahy vanadu v listech jahodníku v období 2005 – 2008



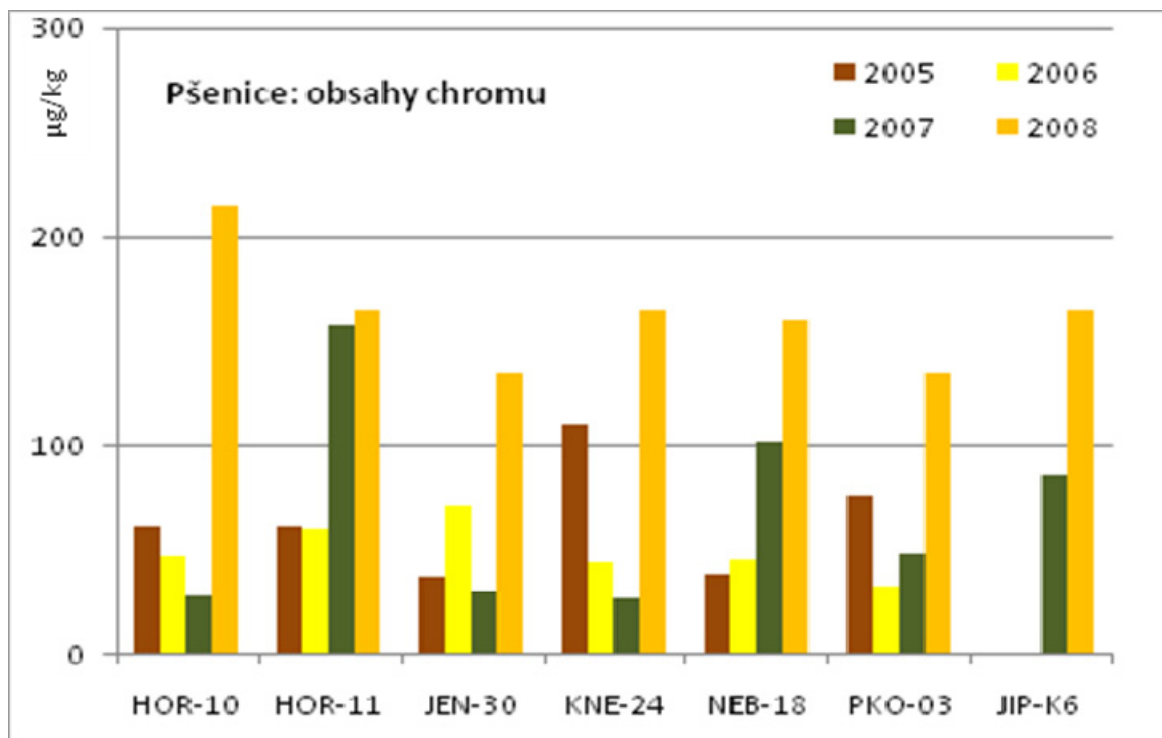
Obrázek 26: Obsahy kadmium v pšenici – 2005 až 2008



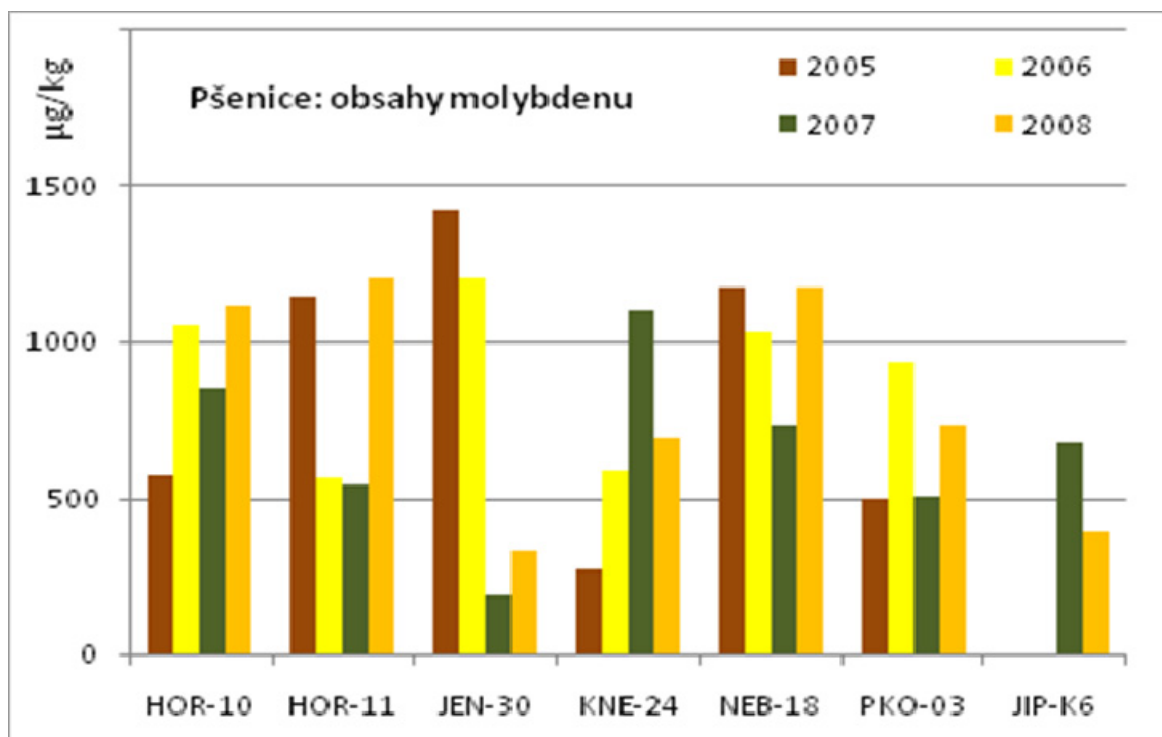
Obrázek 27: Obsahy zinku v pšenici – 2005 až 2008



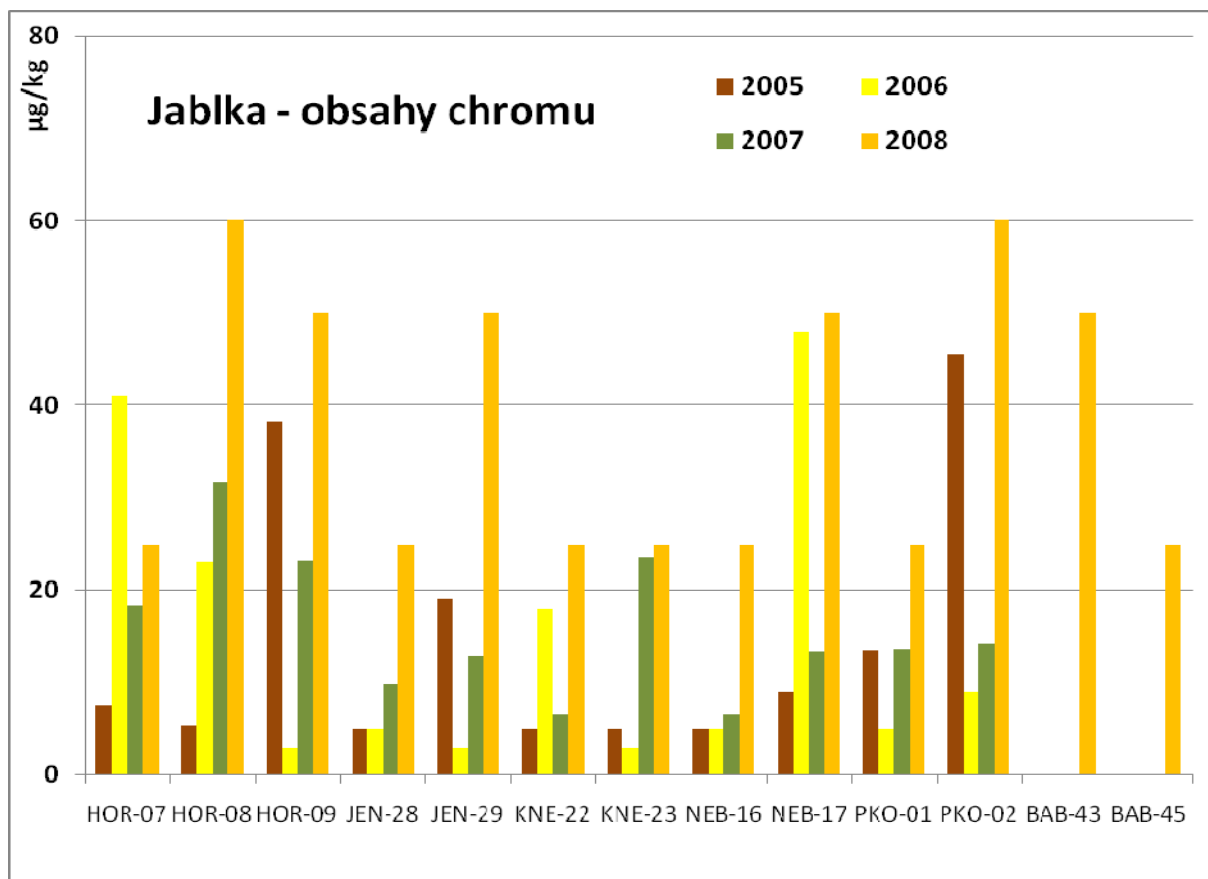
Obrázek 28: Obsahy niklu v pšenici – 2005 až 2008



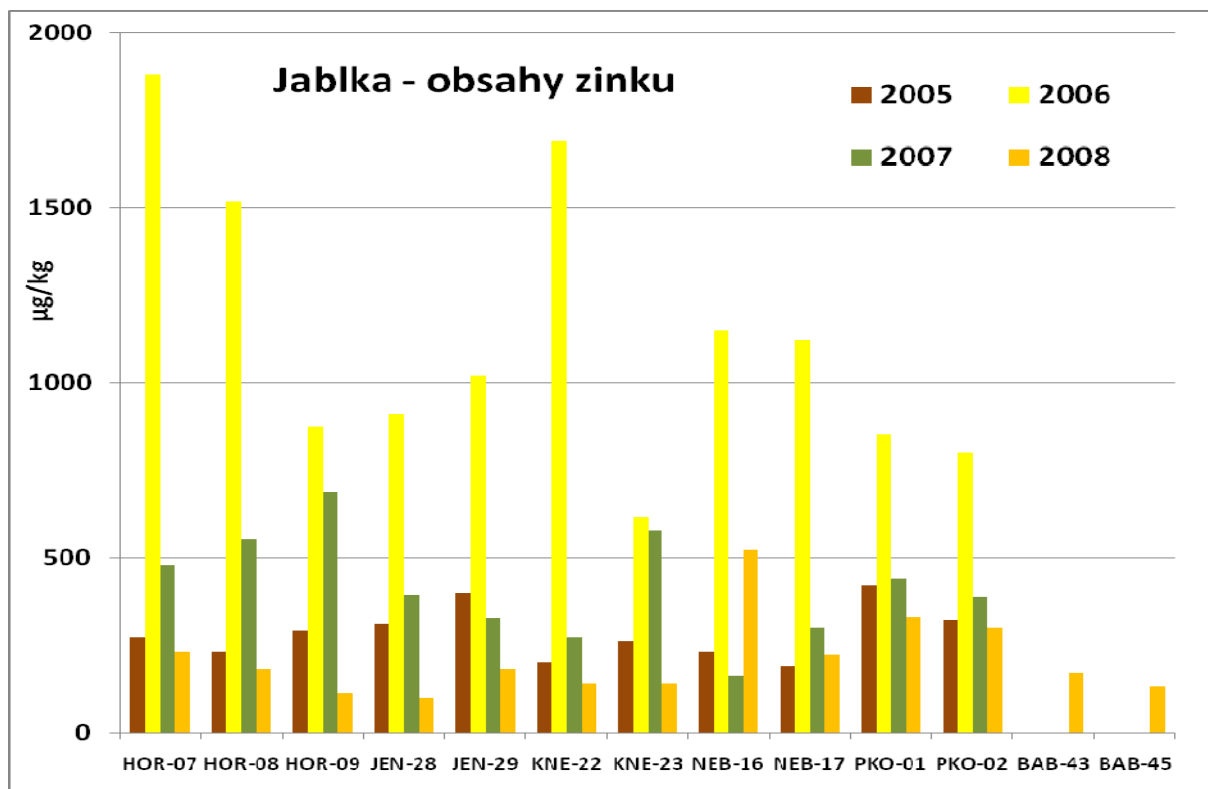
Obrázek 29: Obsahy chromu v pšenici – 2005 až 2008



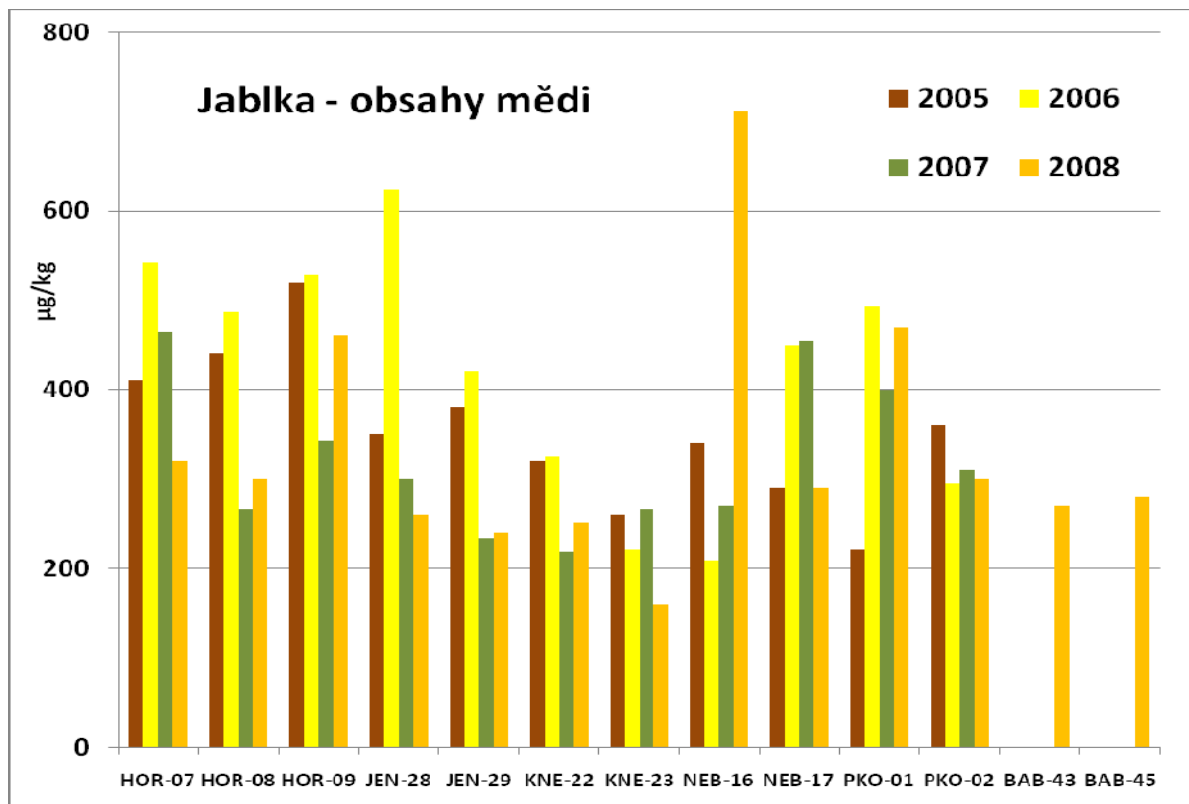
Obrázek 30: Obsahy molybdenu v pšenici – 2005 až 2008



Obrázek 31: Obsahy chromu v jablkách – 2005 až 2008



Obrázek 32: Obsahy zinku v jablkách – 2005 až 2008



Obrázek 33: Obsahy mědi v jablkách – 2005 až 2008

3. Zbytky paliva a těkavé aromatické uhlovodíky

3.1 Přehled problematiky

Tato část monitoringu se zabývá vyšetřením všech monitorovaných rostlinných materiálů na obsah těkavých kontaminujících látek, jejichž výskyt v ekosystému může mít souvislost mimo jiné s provozem letiště. K tomuto účelu byla v roce 2007 použita metoda mikroextrakce na tuhou fázi (SPME, Solid-phase Microextraction) ve spojení s dvourozměrnou plynovou chromatografií (GCxGC) a hmotnostně spektrometrickou detekcí (detektor TOF-MS). Vyšetření vzorků bylo zaměřeno na sledování případných zbytků nespáleného paliva používaném pro tryskové motory (Jet A) a dále na těkavé aromatické uhlovodíky (BTEX).

Charakteristika cílových analytů:

S ohledem na environmentální a toxikologické aspekty se převážně monitorují zejména těkavé aromatické uhlovodíky, konkrétně skupina látek značených BTEX, benzen, toluen, ethylbenzen a isomery xylenu (p-, m- a o-). Rozhodujícím zdrojem atmosférických emisí aromatických uhlovodíků – zejména benzenu a jeho derivátů jsou především výfukové plyny motorových vozidel. Emise z mobilních zdrojů představuje přibližně 85 % celkových emisí aromatických uhlovodíků.

Letecké palivo (kerosen) patří mezi ropné produkty, které se získávají rafinací surové ropy. Tyto produkty obsahují celou řadu látek, mnohé z nich jsou toxické, například aromatické uhlovodíky (benzen a alkylované benzeny) a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Letecké palivo patří mezi střední frakci, kterou tvoří především směs C9 -C15 uhlovodíků. Tato frakce obsahuje aromatické uhlovodíky jako je skupina BTEX. Benzen patří mezi látky karcinogenní pro živočichy. Dlouhodobá expozice benzenu má negativní vliv na krevtvorbu. Může vést ke snížení počtu červených krvinek vedoucí až k anémii či leukemii. Chronická expozice vyvolává také poškození jater, ledvin a bílých krvinek.

Protože složení leteckého paliva (a případných dalších ropných produktů) je velmi komplexní, je zapotřebí při výběru analytické metody vzít v úvahu následující požadavky:

(1) metoda musí být aplikovatelná na různé druhy matric (vzduch, voda, půda, tráva, plodiny..), (2) s ohledem na možné ztráty cílových analytů je preferována možnost využití „přímé“ metody bez komplikovaných způsobů izolace analytů, (3) zpracovaný vzorek k plynově-chromatografické analýze musí být relativně prostý netěkavých podílů (nebezpečí zhoršení parametrů chromatografického systému). SPME technika nabízí elegantní řešení a splňuje požadavky pro daný typ analýz.

SPME metoda představuje rychlý, citlivý a snadno automatizovatelný přístup, který zjednodušuje analýzy těkavých a méně těkavých, polárních a nepolárních látek v různých typech matric. Minimalizuje manipulaci se vzorkem, eliminuje používání organických rozpouštědel (snižuje náklady a je šetrná k životnímu prostředí) a je možné dosáhnout velice nízkých detekčních limitů, řádově ng/kg.

Podstatou SPME techniky je sorpce těkavých látek na křemenné vlákno potažené vhodnou stacionární fází. Při extrakci analytů je toto vlákno umístěno nad vzorek (head-space SPME) nebo vnořeno přímo do vzorku (přímá SPME).

V této práci použítá konkrétní metoda je založena na ustanovení rovnováhy mezi množstvím analytu ve vzorku, na vlákne a v head-space prostoru nad vzorkem. Po ukončení sorpce je vlákno zavedeno do vyhřívaného injektoru plynového chromatografu, kde jsou analyty tepelně desorbovány a naneseny na kolonu. Rovnovážný stav SPME techniky závisí na mnoha faktorech, mimo jiné na koncentraci analytu ve vzorku a na typu a tloušťce polymeru, který pokrývá vlákno..

Srovnávací analýzy vycházejí ze skutečnosti, že každý rostlinný vzorek uvolňuje charakteristické spektrum přirozených těkavých složek (sekundárních metabolitů). Při vyšetření par (emisí) odebraných z prostoru nad nimi metodou HS-SPME-GC/MS získáme chromatografický profil charakteristický pro analyzovaný druh vzorku (tj. soubor signálů-píků o různých retenčních časech a intenzitách). Každý vzorek můžeme tak charakterizovat jeho vlastním (přirozeným) profilem. Při

vyšetření vzorků zmíněnou metodou se pak kontaminace vzorků jinými látkami projeví změnou profilu oproti „referentnímu“, nekontaminovanému vzorku.

3.2 Provedení analýz

Stanovení těkavých látek BTEX v dodaných vzorcích bylo realizováno pomocí techniky mikroextrakce na tuhou fázi (SPME) v “head-space” prostoru. Pro sorpci těkavých analytů z plynné fáze nad vzorkem bylo použito vlákno se stacionární fází polydimethylsiloxan /karboxen/ divinylbenzen (PDMS/CX/DVB). Sledované látky (analyty) byly poté z vlákna tepelně desorbovány v nástřikovém prostoru plynového chromatografu.

Jako instrumentální koncovka byl využit vysoko-rychlostní plynový chromatograf s Time-of-Flight hmotnostním spektrometrem (GC/TOF-MS), případně též orthogonální dvoudimenzionální plynová chromatografie (GC x GC) s hmotnostně spektrometrickou detekcí (TOF-MS).

- ◆ Plynový chromatograf Agilent Technologies 7890A s elektronickou kontrolou tlaku (EPC) a split/splitless injektorem
- ◆ hmotnostní detektor TruTOF™ HT TOFMS, LECO Corp., (USA)
- ◆ automatický nástřikový systém MPS 2, Gerstel (Ger)
- ◆ automatický injektor pro plynový chromatograf 7890A, Agilent Technologies, (USA)
- ◆ (GC×GC) with high speed TOF-MS detector (Pegasus III, LECO Corp.)
- ◆ SPME vlákno s fází PDMS/CX/DVB, Supelco (USA)
- ◆ kapilární křemenná kolona pro plynovou chromatografii Innowax 30 m × 0,25 mm × 0,25 μm; J&W (USA)

Příprava vzorku spočívá v navážení 1 g analyzovaného materiálu do 5 ml SPME-vialky. Vialka se uzavře SPME-septem a vloží vložená do karuselu do nástřikového systému Gerstel ke zpracování automatizovanou SPME technikou. Po proběhnutí sorpce následuje zavedení vlákna do nástřikového systému GC a desorpce analyzovaných látek.

Identifikace cílových látek je prováděna na základě porovnání parametrů píků vzorku s parametry standardů a se spektry v referenční knihovně spekter pomocí software ChromeTOF (LECO Corp., USA).

Obsahy analytů se kvantifikují metodou vnějšího standardu, tj. interpolací z kalibračních křivek (sestavených pro jednotlivé analyty na základě tzv. spiků do nekontaminovaných materiálů). „Necílový screening“ markerů paliva je založen na stejné analytické koncovce (GC x GC/TOF-MS). Zde je ale plně využít potenciál této instrumentální techniky, který umožňuje sběr plných hmotnostních spekter a tzv. spektrální dekonvoluci, tedy samostatnou identifikaci píků v koeluci. Výsledkem je pak detekce i těch sloučenin, které nebyly ve vzorcích cíleně hledány.

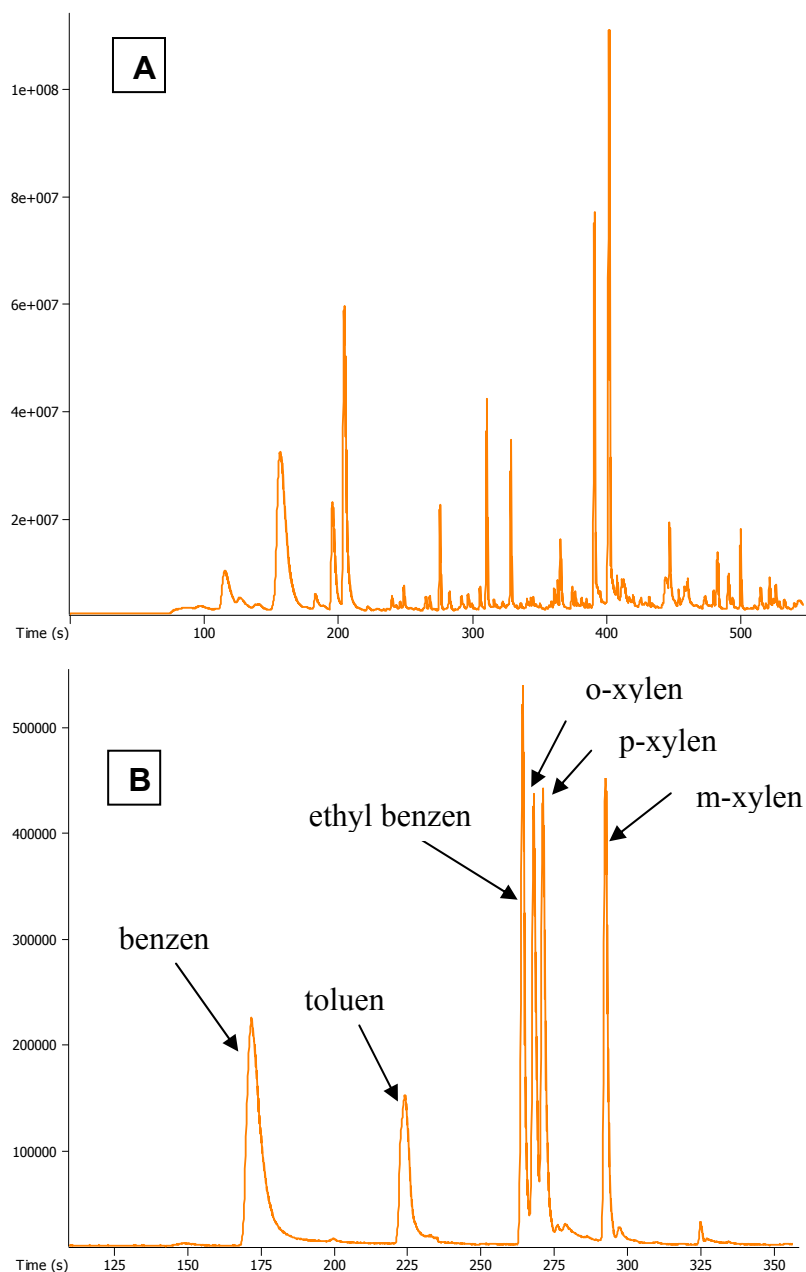
Touto metodou byly analyzovány všechny odebrané vzorky na případný obsah reziduí leteckého paliva a dále na obsah směsi těkavých aromatických uhlovodíků souhrnně nazývaných BTEX. Všechny vzorky byly analyzovány dvakrát.

V případě „necílového screeningu“ je vlastní identifikace neznámých látek prováděna pomocí specializovaného softwaru ChromaTOF (LECO Corp., USA), který vyhodnotí měřená GC/TOF-MS data na základě nastavení specifických parametrů jako šířka píku, poměr S/N pro detekci píků, minimální hodnota parametru similarity hmotnostních spekter. Tyto parametry přímo vycházejí z daného měření a determinují následnou detekci píků, identifikaci analytů pomocí knihovny hmotnostních spekter a dekonvoluci.

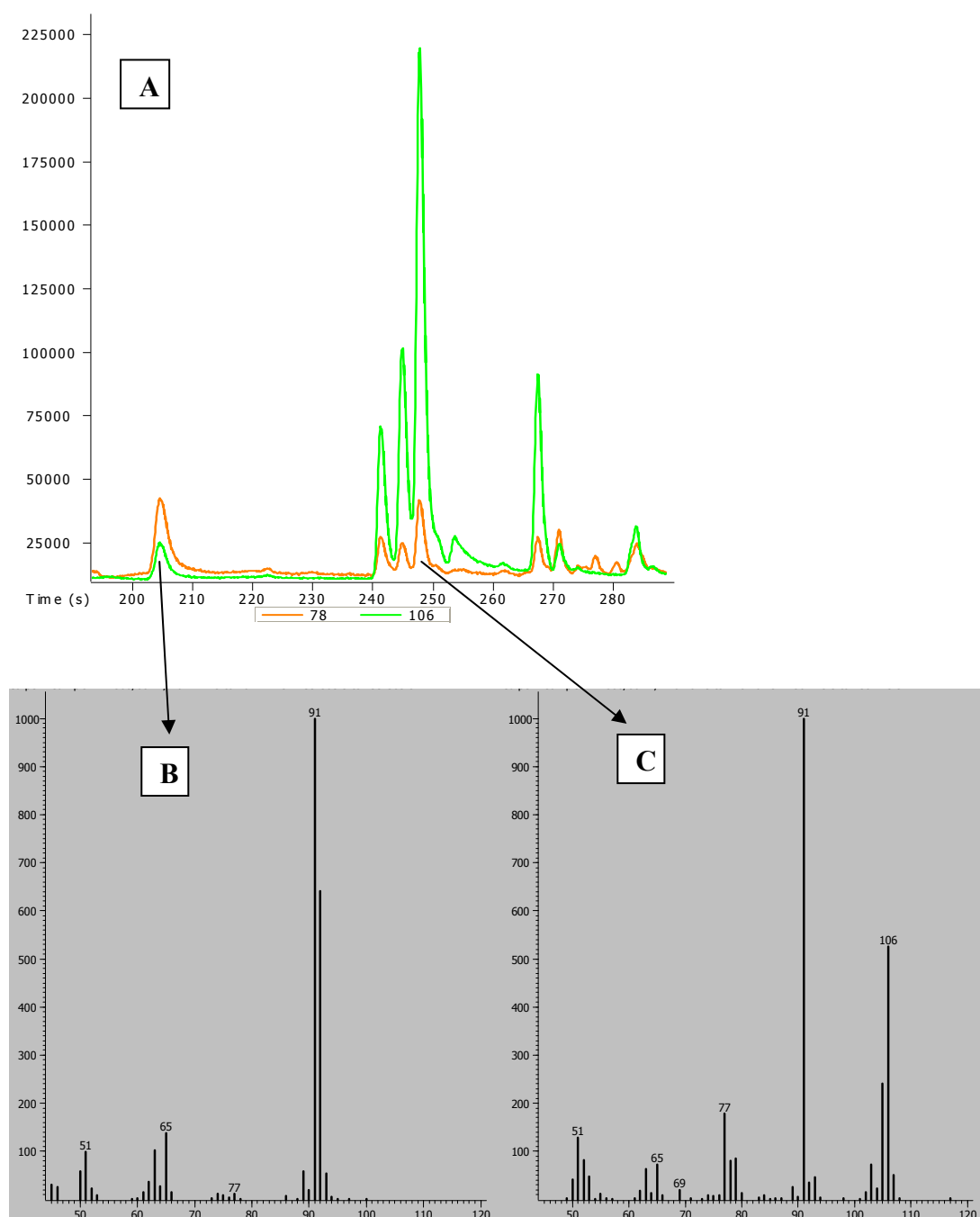
3.3 Výsledky analýz

A. Výsledky stanovení skupiny látek BTEX.

Typický příklad chromatografického výstupu z analýzy látek BTEX metodou SPME GC/TOF-MS je na **Obrázku 34**. Je zřejmé, že cílové sloučeniny jsou velmi dobře separované navzájem i od ostatních interferujících složek matrice. Pro ilustraci potenciálu použité techniky je na tomto obrázku použit reálný vzorek trávy JEN 832, do kterého bylo přidáno přesné množství BTEX (spike). Výsledky obsahu BTEX ve všech odebraných vzorcích plodin a travního porostu jsou uvedeny v databázové **Příloze 5**.

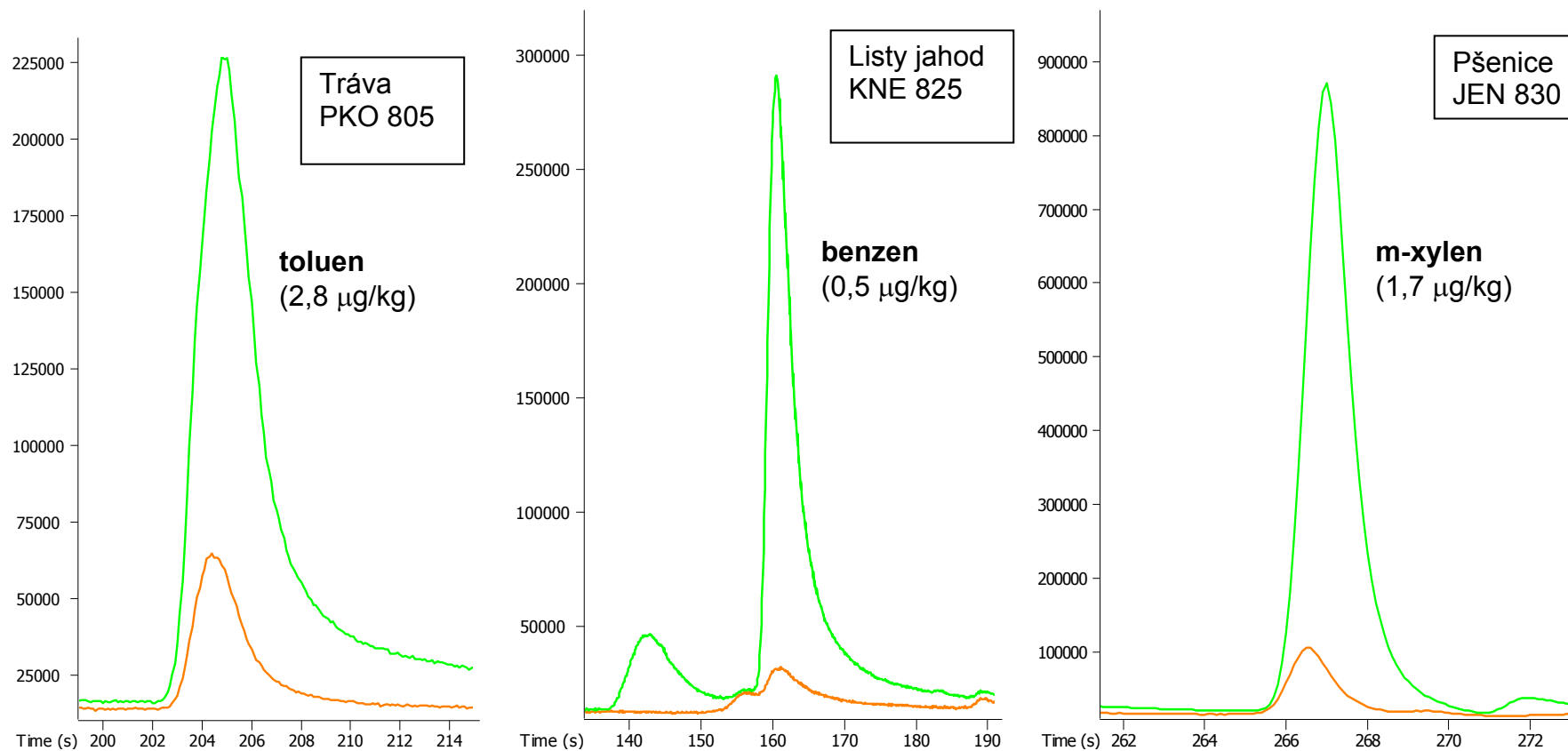


Obrázek 34 : Záznam SPME–GC/TOF-MS analýzy trávy JEN 832 s přidavkem látek BTEX ($20 \mu\text{g}/\text{kg}$). (A) Celkový profil těkavých látek vzorku (TIC), (B) Identifikace jednotlivých analytů.

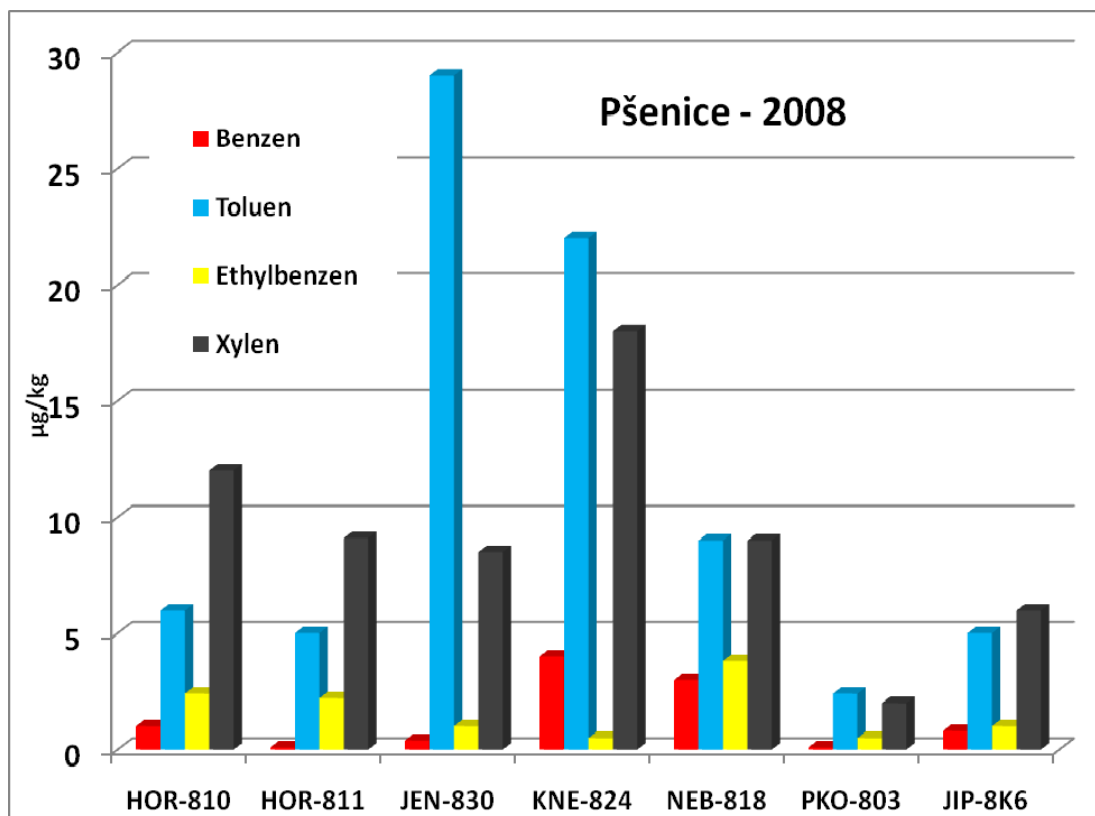


Obrázek 35: (A) Záznam SPME–GC/TOF–MS analýzy vzorku JEN 830. Zobrazen průběh iontu 91 (oranžová linka) a 106 (zelená linka). Ukázka stanovení toluenu (B) a p-xylynu (C).

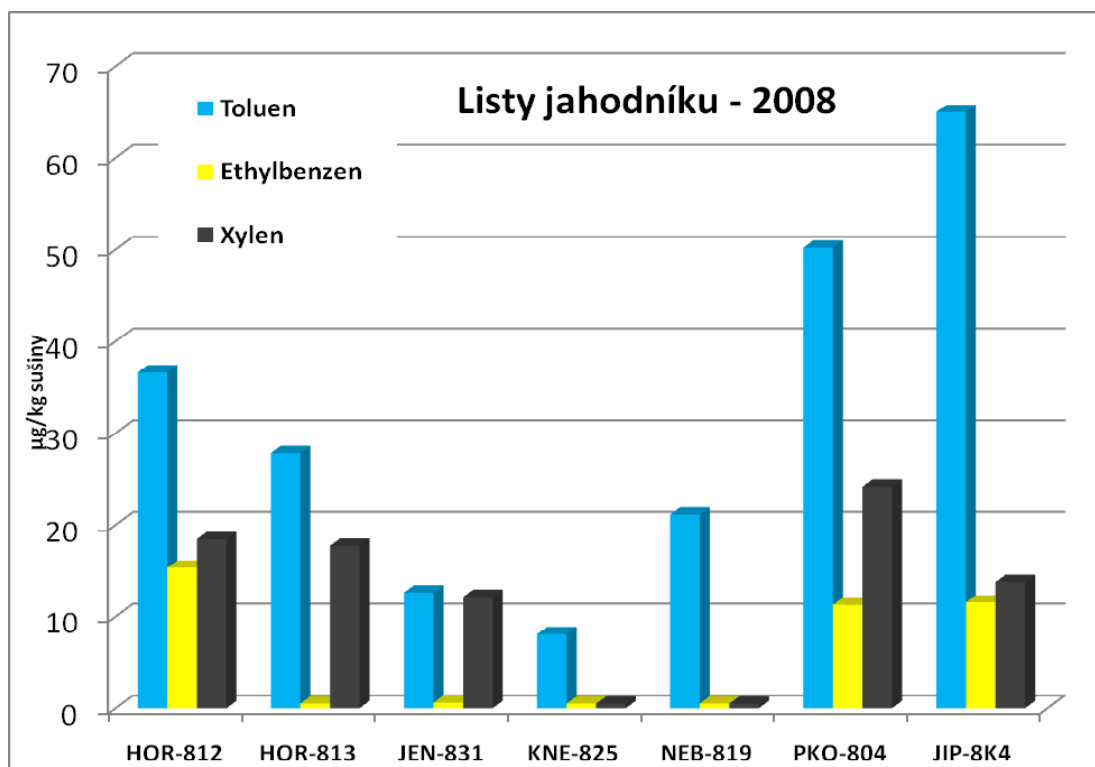
Separace toluenu a p-xylynu přítomných ve vzorku pšenice jsou ilustrovány na **Obrázku 35**. Konfirmace identity byla provedena na základě hmotnostních spekter, a to jednak podle přímého srovnání s referenčními standardy a jednak porovnáním s knihovnou spekter NIST.



Obrázek 36: Srovnání obsahu cílových analytů v matrici (oranžová linka) a matrici se spikem BTEX (zelená linka, 20 µg/kg).



Obrázek 37 : Obsahy BTEX v pšenici



Obrázek 38 : Obsahy toluenu, ethylbenzenu a xyleny v listech jahodníku

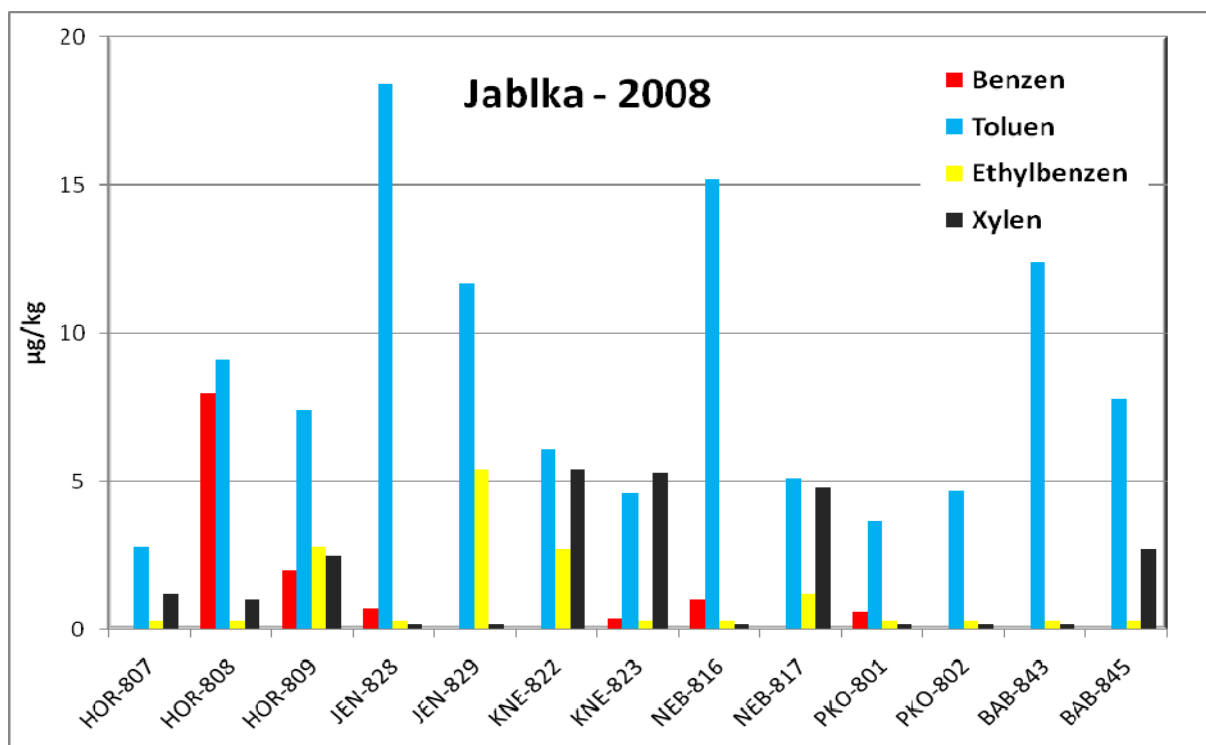
Vysoká citlivost použité metody je zřejmá z **Obrázku 36**, kde jsou „přirozené“ nálezy látek BTEX ve vybraných vzorcích porovnány s „umělým“ přídavkem známého množství (20 µg/kg).

Je zajímavé, že nejvyšší sumární koncentrace těchto látek byly zjišťovány v pšenici z Kněževsi a Jenče a v listech jahodníku a Přední Kopaniny. V těchto lokalitách je typický relativně vysoký podíl toluenu a xylenu – viz **Obrázky 37- 40**. Vysoký obsah toluenu však vykazoval i jahodník z kontrolní lokality JIP. Poněkud zvýšené koncentrace xylenu jsou typické pro jahodník a pšenici z oblasti Horoměřic.

Nápadně zvýšené koncentrace toluenu byly nalezeny u jablek z Jenče a Hanspaulky a též u jednoho vzorku z Nebušic, který však může být ovlivněn blízkostí silnice. Vyšší obsah benzenu se vyskytl u jablek z Horoměřic.

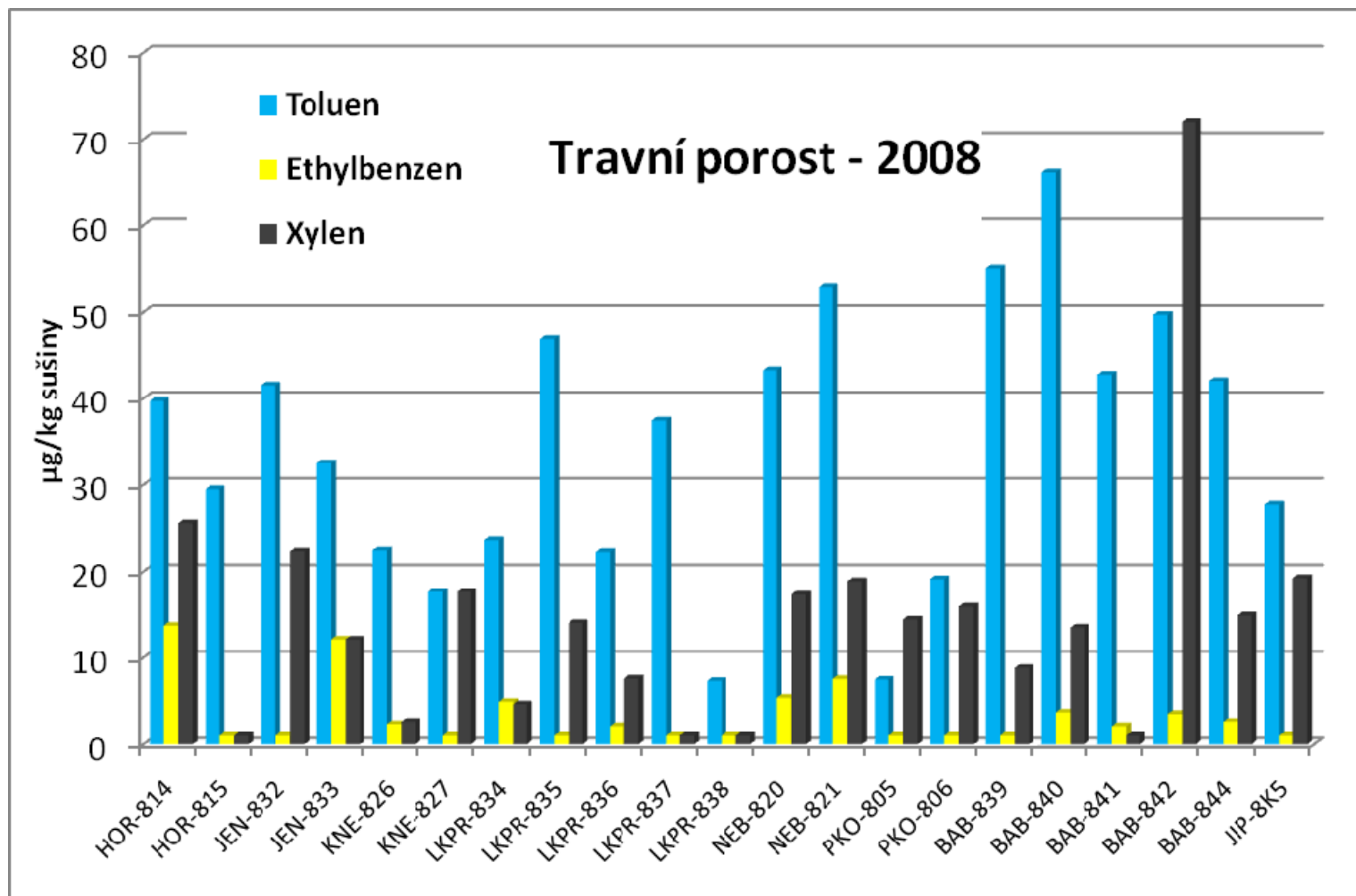
Travní porost vykazoval obsahy BTEX vcelku vyrovnané. Zvýšené hodnoty byly nalezeny v travním porostu lokality BAB 840 (veřejná zeleň Hanspaulka, svah v blízkosti komunikace).

V samotném areálu Letiště Praha byly celkové obsahy látek BTEX ve všech odběrních bodech jen průměrné. Koncentrace nižší než by se dalo čekat u zjevně exponované trávy lze vysvětlit výbornými rozptylovými podmínkami na letištní ploše a skutečností, že tyto těžké látky se v travním porostu nekumulují. V teplém počasí dochází k odparu z plochy listů a ustaví se tak zřejmě rovnováha odpovídající aktuální (krátkodobé) expozici z ovzduší a rychlosti odpařování.



Obrázek 39 : Obsahy toluenu, ethylbenzenu a xylenu v travním porostu

U listů jahodníku a travního porostu nebyl do grafu zahrnut benzen, neboť nálezy se pohybovaly pod mezí stanovitelnosti.

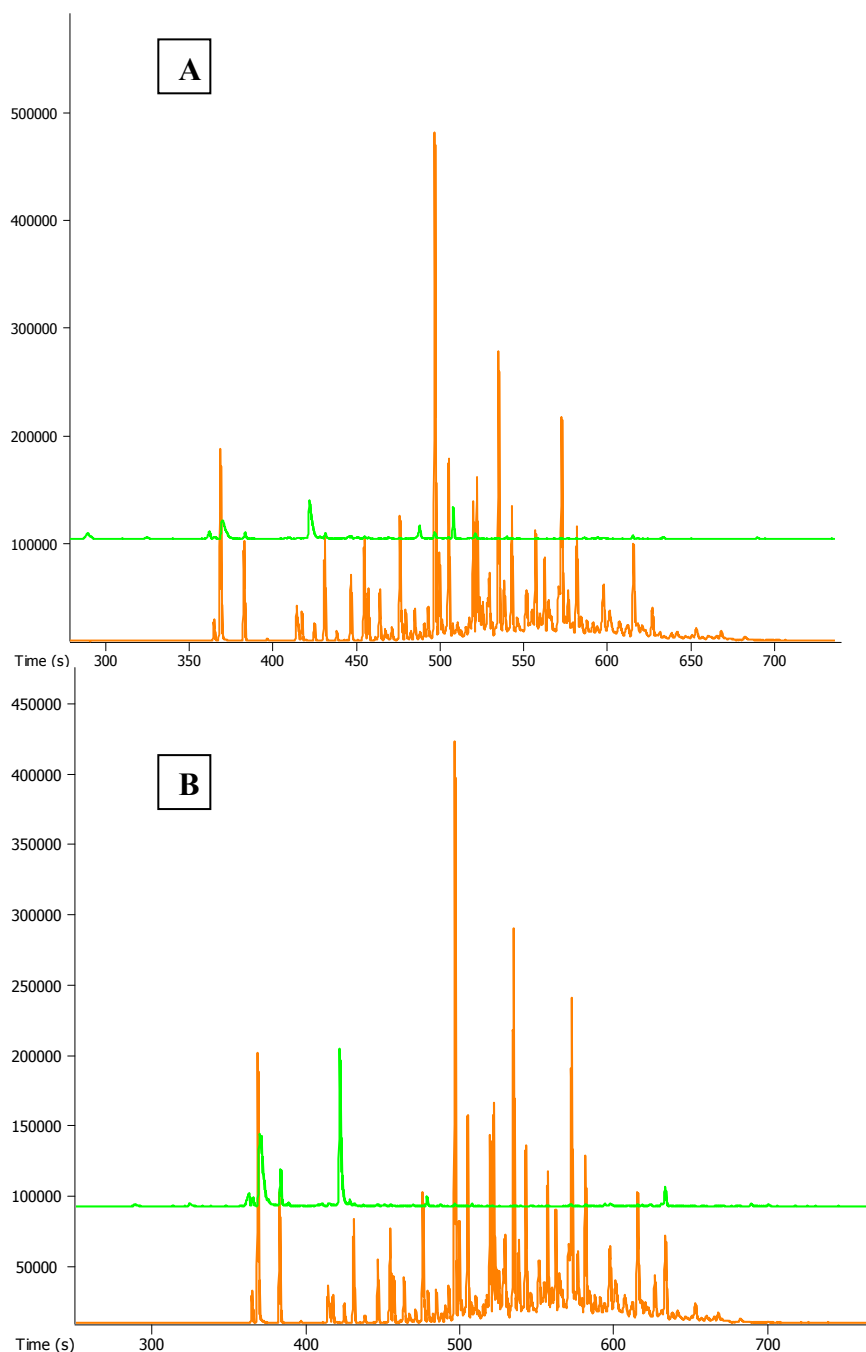


Obrázek 40 : Obsahy toluenu, ethylbenzenu a xyleny v travním porostu

B. Výsledky detekce stop leteckého paliva na plodinách na základě porovnání chromatografických profilů.

Všechny vzorky byly analyzovány nejméně dvakrát a každý vzorek byl pak porovnán se vzorkem, do něhož bylo přidáno přesné množství paliva Jet A (spike). Takto uměle kontaminované vzorky simulují situaci, kdy dojde ke znečištění plodiny leteckým palivem. Typický příklad porovnání chromatografických záznamů získaných metodou SPME GC/TOF-MS je na **Obrázku 41**. Oranžově je vyznačen záznam charakteristický pro příslušné ropné produkty z paliva JET A.

Výsledky jsou opět uvedeny v **Příloze 5**, porovnáním profilů nebyly stopy původního leteckého paliva Jet A v žádném ze vzorků prokázány.



Obrázek 41: Srovnání chromatogramů z SPME–GC/TOF-MS analýzy vzorku BAB 845 (A) a BAB 843 (B) - zelená linka, a vzorků s přidavkem paliva JET A (1 mg/kg) - oranžová linka.

C. Necílový screening markerů ropných produktů.

Nalezení dalších kontaminujících těkavých látek jiných než BTEX bylo provedeno v rámci necílového screeningu organických látek přítomných v odebraných vzorcích. Účelem bylo identifikovat konkrétní látky, které by mohly indikovat možnou kontaminaci vegetace ropnými produkty. Při vyhledávání těchto sloučenin bylo postupováno s přihlédnutím k následujícím kritériím:

- (i) Případný marker byl identifikován metodou založenou na SPME ve více odebraných vzorcích alespoň dvou typů matrice,
- (ii) Současně byl takový potenciální marker identifikován i v kontrolním vzorku destilované vody, do které bylo přidáno palivo Jet A (1 mg/l).
- (iii) Současně nebyl tento marker identifikován ve slepém vzorku vody bez přídavku paliva.

Tabulka VI: Identifikované potenciální markery paliva.

Název	číslo
2-pentanon	1
tetramethylbutan	2
2-pentanol	3
3-pentanol	4
2-hexanol	5
methyl ester kyseliny benzoové	6
<i>ethyl ester kyseliny oktanové*</i>	7*

Ethylester kyseliny oktanové by mohl být ze seznamu potenciálních markerů zřejmě dále vyřazen, neboť se v roce 2008 vyskytoval pouze v jediné matrici (travním porostu).

Tabulka VII: Výskyt potenciálních markerů paliva (nález označen symbolem „X“)

matrice	název	číslo markeru						
		1	2	3	4	5	6	7
pšenice zrno	PKO 03	X	-	-	-	-	-	-
	HOR 10	-	-	X	X	-	X	-
	HOR 11	-	-	X	X	X	-	-
	NEB 18	X	X	-	X	X	X	-
	KNE 24	-	-	X	X	-	-	-
	JEN 30	X	-	X	X	X	-	-
	JIP K	-	-	-	-	X	-	-
tráva	PKO 05	X	-	X	X	X	-	X
	PKO 06	-	-	-	-	X	-	-
	HOR 14	-	-	-	-	X	-	-
	HOR 15	-	-	-	-	-	-	X
	NEB 20	-	-	-	-	X	-	-
	NEB 21	-	-	-	-	-	-	-
	KNE 26	-	-	-	-	X	-	X
	KNE 27	X	-	X	X	X	-	-
	JEN 32	-	-	X	-	-	-	-
	JEN 33	-	-	X	-	-	-	-
	LKPR 34	X	-	X	X	X	-	X
	LKPR 35	-	-	-	-	X	-	-
	LKPR 36	X	X	-	X	X	X	-
	LKPR 37	-	X	-	-	X	-	X
	LKPR 38	-	-	X	-	X	-	-
	BAB 39	-	-	X	-	-	-	-
	BAB 40	-	-	X	-	-	-	-
	BAB 41	X	-	X	X	X	-	X
	BAB 42	-	-	-	-	X	-	-
BAB 44	X	-	X	X	-	-	-	
JIP K	-	-	X	-	X	-	-	
jahodové listí	PKO 04	-	-	-	X	X	-	-
	HOR 12	-	X	-	-	-	-	-
	HOR 13	X	-	X	X	X	-	-
	NEB 19	-	-	X	X	-	-	-
	KNE 25	-	X	-	X	X	X	-
	JIP K	-	-	X	-	X	-	-
jablka	PKO 01	X	X	X	X	-	X	-
	PKO 02	X	X	-	-	-	-	-
	HOR 07	X	-	X	X	-	-	-
	HOR 08	-	-	X	X	-	-	-
	HOR 09	X	-	X	-	X	-	-
	NEB 16	-	-	-	-	X	-	-
	NEB 17	X	-	X	X	X	-	-
	KNE 22	-	X	-	-	-	-	-
	KNE 23	-	-	X	-	X	-	-
	JEN 28	-	-	-	-	-	X	-
	JEN 29	X	X	X	X	X	-	-

matrice	název	číslo markeru						
		1	2	3	4	5	6	7
	BAB 43	x	-	x	x	-	-	-
	BAB 45	-	x	x	x	-	-	-

U vzorků pšenice NEB 18, travních porostů PKO 05, BAB 41, LKPR 36 a LKPR 34, a dále u jablek PKO 01 a JEN 29, byly nalezeny zvýšené obsahy látek BTEX (v rámci celého souboru analyzovaných vzorků) a současně přítomnost většiny ostatních kvalitativních markerů paliva. V těchto vzorcích bylo identifikováno alespoň 5 vybraných markerů (mimo BTEX).

Při posuzování přítomnosti těchto látek ve vzorcích plodin a travního porostu je nutno vzít do úvahy následující skutečnosti:

1. Ačkoli bylo při určení markerů použito letecké palivo Jet A, tyto sloučeniny jsou zřejmě obsaženy také v motorové naftě a obdobných ropných produktech, případně mohou pocházet i z jiných zdrojů.
2. Některé tyto sloučeniny byly detekovány také ve vzorcích trávy a plodin odebraných mimo oblast Prahy, tedy v lokalitách s malou silniční dopravou a bez významnějšího vlivu letecké dopravy (může jít o tzv. dálkový transport ovzduším).
3. Získané údaje jsou kvalitativní a nevypovídají o poměrném zastoupení jednotlivých látek.

Významným zjištěním je však skutečnost, že téměř všechny vzorky s nadprůměrně vysokými nálezy BTEX současně obsahovaly nejméně 5 možných markerů ropných produktů (viz červeně označené řádky v „mapě“). Současně vzorky odebrané v dopravou nezatíženě oblasti u Jílového u Prahy a Rynholce (mimo významnější vliv letecké dopravy) – travní porost, listy jahodníku i pšenice – měly nízké obsahy BTEX a ze 7 potenciálních markerů leteckého paliva obsahovaly pouze stopy 2-propanolu.

Na druhou stranu je však zajímavé, že vysoké koncentrace BTEX a současně i 5 – 6 markerů byly obsaženy v travním porostu pouze ve 2 z 5 odběrních bodů ležících přímo v areálu letiště.

Výstupem této části je tedy zatím spíše vytipování potenciálních markerů přítomnosti ropných látek (či produktů jejich nedokonalého spalování), které by měly být dále potvrzeny nebo odmítnuty pro další sledování zátěže plodin.

IV. Závěry studie 2005 – 2008

Monitoring indikátorových rostlinných matric terestrického ekosystému byl ve svém čtvrtém roce (2008) realizován za variabilních meteorologických podmínek, potvrdil však výsledky a závěry z předchozích let. Pro přehlednost jsou zde opakovány i průběžné závěry z předchozích zpráv.

Ve vzorcích pšenice, jablek, listí jahodníku a trvalého travního porostu, odebraných v pěti obcích v blízkosti mezinárodního letiště Praha-Ruzyně, byly sledovány chemické kontaminanty vybrané jako indikátory zátěže ovoce, plodin a krmiv provozem letiště. Jednalo se o dvanáct polycyklických aromatických uhlovodíků - PAU (doporučených dle EPA), dále o těžké aromatické uhlovodíky (BTEX), stopy po leteckém palivu a dále o devět stopových prvků (těžkých kovů). Body odběru vzorků v obcích byly vybrány s ohledem na nejpoužívanější trasy leteckého provozu a travní porost byl odebírán rovněž v blízkosti vzletových a pojezdových drah v areálu letiště Ruzyně. Od roku 2008 bylo sledování rozšířeno na prostor od Baby přes Hanspaulku až k Červenému vrchu.

1. V monitorované oblasti jsou na plodinách (jablka, pšenice) trvale nalézány obsahy PAU prakticky stejné nebo jen mírně přesahující průměrné hodnoty zjišťované v minulosti jako víceméně „běžné“ na celém území ČR v rámci monitoringu životního prostředí. V žádném ze sledovaných vzorků, včetně travního porostu, nedošlo k významnému překročení hladin PAU, které jsou obvyklé v městské oblasti silně zatížené dopravou, případně dalšími lokálními emisními zdroji.
2. Na základě naměřených kvalitativních i kvantitativních údajů nelze jednoznačně identifikovat zdroj znečištění. Pravděpodobně v dané oblasti dochází k překryvu různých emisních zdrojů, jako je např. provoz motorových vozidel, domácí topeniště a jiné spalovací procesy. Samotný vliv emisí z leteckých motorů nelze oddělit od vlivu intenzivní automobilové dopravy v monitorované oblasti, přičemž ta je ale ze značné části spojená právě s pozemním provozem letiště Praha.
3. Zátěž plodin běžně sledovanými prvky - kadmíem, olovem, rtuť, niklem, mědí a zinkem - se v jednotlivých lokalitách v blízkosti letiště navzájem významně odlišuje, zdroje kontaminace však nelze blíže určit a velmi pravděpodobně je nelze připsat jen samotnému leteckému provozu. Hladiny těchto těžkých kovů jsou celkově porovnatelné s těmi, které byly zjišťovány v monitoringu potravních řetězců v různých lokalitách ČR již dříve a odpovídají literárním údajům i legislativním požadavkům na potraviny a krmiva.
4. Realizovaná vyšetření prozatím přímo neprokázala v letech 2005 až 2008 na vzorkovaných plodinách žádné stopy po nespáleném palivu používaném pro tryskové motory (Jet A). Z toho lze odvodit, že v období odběru vzorků nedošlo k žádnému významnějšímu úniku leteckého paliva (úmyslnému nebo neúmyslnému). V roce 2007 byla pro tento účel nově implementována špičková instrumentální technika GCxGC/TOF-MS s vyšší separační a identifikační schopností.
5. Ve všech rostlinných bioindikátorech, zejména s větším povrchem (jako je travní porost) byly nalezeny a kvantifikovány uhlovodíky BTEX (benzen, toluen, ethylbenzen a xyleny). Tyto látky jsou běžně přítomny v ovzduší zatíženém intenzivní dopravou a/nebo průmyslovými emisemi. Na rozdíl od ovzduší, nejsou ale BTEX v plodinách zpravidla systematicky sledovány a proto srovnání s jinými studii chybí.

6. Pomocí techniky GCxGC/TOF-MS byly vytipovány některé organické sloučeniny, které by potenciálně mohly indikovat expozici plodin ropným látkám. Všechny vzorky plodin s nadprůměrně vysokými nálezy BTEX současně obsahovaly i větší počet potenciálních markerů. V roce 2008 se však jako lokality s vyšší zátěží jeví většinou ty, které v předchozím roce vykazovaly zátěž spíše nižší.
7. Data získaná v sezonách 2005 až 2008 konsistentně vypovídají o průměrné úrovni a (značném) kolísání kontaminace ovoce, plodin a objemných krmiv v monitorované oblasti v období 4 letních sezon. Neprokázala se ale zatím žádná souvislost mezi obsahem sledovaných látek v plodinách a vzdáleností lokality od letiště, resp. osy přiblížení. Výsledky nepochybně reflektují jen krátkodobé vlivy panující v období odběru, které jsou dané například meteorologickými podmínkami, orografií, režimem provozu letiště ale i zdroji znečištění v jednotlivých obcích (silný provoz nákladní dopravy, stavebních strojů a rovněž zvýšená prašnost).
8. Velké mezisezonní rozdíly a silné kolísání koncentrací škodlivin ztěžuje rozpoznání rozdílů a časových trendů. Data za celé období 2008 bude vhodné zpracovat dále pomocí vícerozměrné statistiky (zatím to z časových důvodů nebylo možné).

V. Použité literární zdroje

- [1] Nisbet I.C.T., LaGoy P.K. (1992) Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAUs). Regul.Toxicol.Pharmacol.16:290-300.
- [2] Volka K.: Hodnocení stavu životního prostředí – monitoring cizorodých látek potravních řetězců v letech 1995 – 2000, VŠCHT Praha, ISBN 80-7080-506-4, (2002).
- [3] Volka K.: Vliv chemického znečištění životního prostředí na kontaminaci a kvalitu biotických složek ekosystémů, VŠCHT Praha, (2003).
- [4] NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006 ze dne 19. prosince 2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách.
- [5] Emission Inventory Guidebook (1999): <http://reports.eea.europa.eu/EMEPCORINAIR5/en/BPAH.pdf>
- [6] Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. The EFSA Journal (2008) 724, 1-114 http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1211902034842.htm
- [7] Composition of Foods Raw, Processed, Prepared. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 19. U.S. Department of Agriculture, ARS, Beltsville, Aug. 2006.

VI. Seznam zkratek

Ace	acenaphthen
Acy	acenaphthylen
Ant	anthracen
B[a]A	benz[a]anthracen
B[a]P	benzo[a]pyren
B[b]F	benzo[b]fluoranthren
B[ghi]P	benzo[ghi]perylen
B[k]F	benzo[k]fluoranthren
BTEX	benzen, toluen, ethylbenzen, xylen
DB[ah]A	dibenz[a,h]anthracen
Flt	fluoranthren
Flu	fluoren
Chr	chrysen
I[1,2,3-cd]P	indeno[1,2,3-cd]pyren
Naph	naphthalen
Phe	phenanthren
Pyr	pyren
ϕ	obsah organického materiálu v částicích
ρ	hustota pevné fáze
BCF	bioconcentration factor; biokoncentrační faktor
ČIA	Český institut pro akreditaci
ČR	Česká republika
FLD	fluorescence/fluorimetric detector; fluorescenční/fluorimetrický detektor
GPC	gel permeation chromatography; gelová permeační chromatografie
HS (Head – space)	separační analytická technika, kdy se analyty uvolněné ze vzorku do parní fáze nad ním vhodným způsobem izolují pro další analýzu
HPLC	high performance liquid chromatography; vysokoúčinná kapalinová chromatografie
K_{AW}	rozdělovací koeficient vzduch/voda
K_{OA}	rozdělovací koeficient <i>n</i> -oktanol/vzduch
K_{OC}	rozdělovací koeficient organický podíl/voda
K_{OW}	rozdělovací koeficient <i>n</i> -oktanol/voda
K_{SA}	rozdělovací koeficient půda/vzduch
K_{SW}	rozdělovací koeficient sediment/voda a půda/voda
L	podíl lipidické frakce na povrchu listů
RSD (%)	relativní směrodatná odchylka charakterizující rozptyl (chybu) výsledků
RWY	vzletová a přistávací dráha
SPME	extrakce na tuhé vlákno
TWY	pojezdová dráha
US EPA	United States Environmental Protection Agency - Agentura pro ochranu životního prostředí, USA)
W_{org}	obsah PAU v biotě
W_x	obsah PAU v okolním prostředí

Kódy lokalit / obcí:

BAB	Baba, Hanspaulka, Červený vrch
HOR	Horoměřice
JEN	Jeneč
JIP	Kontrolní lokalita: Jílové u Prahy nebo Rynholec-jih
KNE	Kněževes
LKPR nebo PRG	Prostor letiště Praha-Ruzyně (mezinárodní kód)
NEB	Nebušice
PKO	Přední Kopanina

Kódy vzorkovaných a analyzovaných materiálů:

JAB	Jablka
LJA	Listy jahodníku
PSE	Pšenice
TTP	Trvalý travní porost

VII. Přílohy

Příloha 1: Osvědčení o akreditaci laboratoře

Příloha 2: Monitoring ovoce a zemědělských plodin v okolí letiště Praha-Ruzyně – rozsah a postupy

Příloha 3: Meteorologické podmínky v monitorovaném období (ČHMÚ-OLM)

Příloha 4: Přehled nálezů sledovaných PAU a stopových prvků v trvalém travním porostu, jablkách, pšenici a listech jahodníku (doplněno o BTEX v travním porostu)

Příloha 5: Databáze odběrů a výsledků monitoringu (elektronicky v Excelovém formátu)

Zprávu vypracovali: Prof. Ing. Jana Hajšlová, CSc.....
Doc. Ing. Vladimír Kocourek, CSc.
Ing. Lucie Drábová
Dr. Ing. Marie Suchanová
Ing. Jakub Schůrek

Datum schválení: 30.10.2008



NÁRODNÍ AKREDITAČNÍ ORGÁN
Český institut pro akreditaci,
obecně prospěšná společnost
110 00 Praha 1 - Nové Město, Opletalova 41

vydává

OSVĚDČENÍ O AKREDITACI

č. 492 / 2007

pro
zkušební laboratoř č. 1316.2
**Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
Metrologická a zkušební laboratoř
Technická 5, 166 28 Praha 6 - Dejvice**

Předmět akreditace:

Analýza organických a anorganických látek v potravinách, krmivech a složkách životního prostředí v rozsahu uvedeném v příloze tohoto osvědčení.

Jménem akreditované zkušební laboratoře jednají prof. Ing. Jana Hajšlová, CSc. a prof. Ing. Miloslav Suchánek, CSc. a za správnost protokolů odpovídají prof. Ing. Miloslav Suchánek, CSc., prof. Ing. Jana Hajšlová, CSc. a doc. Ing. Vladimír Kocourek, CSc.

Toto osvědčení o akreditaci vydal Český institut pro akreditaci, o.p.s. na základě posouzení splnění akreditačních kritérií podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

a po zjištění, že zkušební laboratoř je odborně způsobilá objektivně a nezávisle vykonávat činnosti uvedené v rozsahu předmětu akreditace.

Adresát tohoto osvědčení je oprávněn používat při své činnosti v rozsahu tohoto osvědčení a po dobu jeho platnosti vedle svého názvu označení „akreditovaná zkušební laboratoř č. 1316.2“, pokud dodržuje veškeré příslušné předpisy vztahující se k činnosti akreditované zkušební laboratoře, včetně předpisů vydaných Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.

Prokáže-li se, že adresát tohoto osvědčení neplní akreditační kritéria rozhodná pro jeho vydání a závazky podmiňující akreditaci, může Český institut pro akreditaci, o.p.s. účinnost tohoto osvědčení pozastavit nebo osvědčení o akreditaci zrušit nebo změnit.

Toto osvědčení platí do: 31.05.2009

a v plném rozsahu nahrazuje osvědčení o akreditaci vydané ČIA č. 353/2006 ze dne 28.08.2006

V Praze dne: 24.07.2007



Ing. Jiří Růžička, MBA
ředitel
Českého institutu pro akreditaci, o.p.s.

Poučení:
Proti tomuto osvědčení, pokud jde o rozsah předmětu akreditace, má adresát možnost podat písemné námítky do 10 dnů od jeho převzetí. Námítky nemají odkladný účinek.

©TISK VICTORIA SECURITY PRINTING a.s. PRAHA

Kopie Osvědčení o akreditaci Metrologické a zkušební laboratoře provádějící zkoušky

Příloha 4

Tabulka VIII: Obsah sledovaných PAU v pšenici (µg/kg)

	HOR 810	HOR 811	JEN 830	KNE 824	NEB 818	PKO 803	JIP 8K6	min.	max.	medián 2008	medián 2007	medián 2006	medián 2005
<i>Phe</i>	0,99	1,06	0,64	0,65	1,89	0,53	0,83	0,53	1,89	0,83	1,53	0,77	0,72
<i>Ant</i>	0,03	0,04	0,02	0,03	0,19	0,02	0,04	0,02	0,19	0,03	0,06	0,02	0,03
<i>Flt</i>	0,24	0,16	0,10	0,21	0,92	0,11	0,17	0,10	0,92	0,17	0,29	0,12	0,15
<i>Pyr</i>	0,16	0,15	0,11	0,19	0,61	0,10	0,15	0,10	0,61	0,15	0,29	0,16	0,14
BaA	0,04	0,02	0,02	0,06	0,13	0,02	0,04	0,02	0,13	0,04	0,03	0,05	0,02
Chr	0,08	0,05	0,06	0,09	0,23	0,03	0,07	0,03	0,23	0,07	0,06	0,03	0,03
BbF	0,04	0,03	0,02	0,08	0,20	0,04	0,04	0,02	0,20	0,04	0,05	0,02	0,03
BkF	0,02	0,01	0,01	0,04	0,10	0,02	0,02	0,01	0,10	0,02	0,03	0,01	0,02
BaP	0,03	0,01	0,02	0,06	0,15	0,01	0,02	0,01	0,15	0,02	0,03	0,01	0,02
DBahA	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,00	0,01	<0,01	<0,01
BghiP	0,01	0,02	0,01	0,05	0,05	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02	0,05	0,04	0,04
IcdP	0,03	0,02	0,02	0,06	0,12	0,03	0,03	0,02	0,12	0,03	0,05	0,01	0,05
Suma 8 PAU	0,24	0,17	0,18	0,46	1,01	0,18	0,25	0,17	1,01	0,24	0,30	0,19	0,19

Tabulka IX: Obsah sledovaných PAU v jablkách (µg/kg)

	HOR 807	HOR 808	HOR 809	JEN 828	JEN 829	KNE 822	KNE 823	NEB 816	NEB 817	PKO 801	PKO 802
<i>Phe</i>	2,72	2,83	2,88	1,78	2,17	2,96	2,48	7,89	2,72	4,75	2,64
<i>Ant</i>	0,11	0,12	0,16	0,05	0,05	0,11	0,08	0,20	0,10	0,15	0,13
<i>Flt</i>	0,45	0,44	0,81	0,30	0,64	0,97	0,53	1,33	0,51	0,91	0,59
<i>Pyr</i>	0,28	0,22	0,51	0,20	0,39	0,49	0,29	0,78	0,30	0,53	0,35
BaA	0,05	0,04	0,11	0,09	0,12	0,07	0,06	0,11	0,05	0,08	0,06
Chr	0,10	0,09	0,24	0,17	0,26	0,14	0,14	0,21	0,13	0,23	0,15
BbF	0,01	0,03	0,04	0,03	0,01	0,03	0,05	0,04	0,02	0,04	0,02
BkF	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01
BaP	0,01	0,02	0,03	0,02	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
DBahA	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
BghiP	0,02	0,02	0,02	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
IcdP	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,01
Suma 8 PAU	0,22	0,24	0,48	0,36	0,54	0,33	0,38	0,46	0,30	0,47	0,28

	BAB 843	BAB 845	min.	max.	medián 2008	medián 2007	medián 2006	medián 2005
<i>Phe</i>	3,17	3,10	1,78	7,89	2,83	1,06	2,64	5,53
<i>Ant</i>	0,09	0,06	0,05	0,20	0,11	0,07	0,10	0,16
<i>Flt</i>	0,76	0,75	0,30	1,33	0,64	0,27	0,77	0,86
<i>Pyr</i>	0,41	0,54	0,20	0,78	0,39	0,10	0,44	0,51
BaA	0,11	0,18	0,04	0,18	0,08	0,02	0,04	0,04
Chr	0,25	0,33	0,09	0,33	0,17	0,02	0,09	0,13
BbF	0,02	0,02	0,01	0,05	0,03	0,02	0,05	0,04
BkF	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
BaP	0,04	0,06	0,01	0,06	0,02	0,02	0,09	0,02
DBahA	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
BghiP	0,04	0,05	0,02	0,07	0,03	0,02	0,10	0,03
IcdP	0,02	0,03	0,01	0,04	0,03	0,02	0,07	0,04
Suma 8 PAU	0,49	0,67	0,18	0,75	0,36	0,10	0,45	0,44

Tabulka X: Obsah sledovaných PAU v listech jahodníku ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)

	HOR 812	HOR 813	JEN 831	KNE 825	NEB 819	PKO 804	JIP 8K4	min.	max.	medián 2008	medián 2007	medián 2006	medián 2005
Phe	34,0	28,8	40,9	36,0	41,0	23,2	29,6	23,3	41,0	34,0	50,2	32,0	24,6
Ant	0,60	0,76	0,71	1,24	1,05	0,72	0,73	0,60	1,24	0,73	1,88	0,83	1,09
Flt	10,7	10,0	10,6	16,5	14,4	12,9	8,9	8,86	16,5	10,7	26,0	15,3	14,8
Pyr	6,76	6,03	6,55	9,42	6,42	8,17	4,52	4,52	9,42	6,55	14,9	9,8	7,26
BaA	1,82	2,11	1,65	2,25	1,50	4,29	1,16	1,16	4,29	1,82	4,28	1,70	2,85
Chr	3,58	4,15	3,49	4,44	3,83	6,55	3,03	3,03	6,55	3,83	5,48	3,31	4,10
BbF	1,70	2,44	1,75	2,55	2,10	5,19	1,34	1,34	5,19	2,10	4,76	2,31	2,78
BkF	0,91	1,34	0,95	1,32	1,04	2,67	0,67	0,67	2,67	1,04	2,47	1,16	1,55
BaP	1,27	2,14	1,34	1,69	1,56	2,21	0,86	0,86	2,21	1,56	3,71	1,70	2,35
DBahA	0,14	0,21	0,13	0,19	0,18	0,50	0,10	0,10	0,50	0,18	0,51	0,18	0,25
BghiP	1,18	2,11	1,24	1,76	1,15	1,12	0,86	0,86	2,11	1,18	3,76	1,93	2,43
IcdP	1,40	2,43	1,51	2,02	1,63	1,89	1,08	1,08	2,43	1,63	4,44	1,91	2,71
Suma 8 PAU	12,0	16,9	12,1	16,2	13,0	24,4	9,11	9,11	24,4	13,0	29,4	12,7	7,67

Tabulka XI: Obsah sledovaných PAU v trvalém travním porostu ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)

	HOR 814	HOR 815	JEN 832	JEN 833	KNE 826	KNE 827	LKPR 834	LKPR 835	LKPR 836	LKPR 837	LKPR 838
<i>Phe</i>	20,8	28,0	25,0	26,6	21,0	32,8	13,4	21,8	19,7	47,3	28,3
<i>Ant</i>	0,54	0,98	1,11	1,35	0,59	1,29	0,24	0,27	0,33	0,79	0,39
<i>Flt</i>	5,87	10,6	12,5	22,0	8,12	25,7	4,94	12,6	7,23	32,4	15,8
<i>Pyr</i>	3,68	6,58	6,89	14,8	5,87	16,0	2,50	5,99	4,25	15,8	7,43
BaA	1,17	0,86	2,74	5,06	1,68	5,49	0,66	1,49	0,87	5,56	1,70
Chr	2,30	1,59	4,41	7,43	3,21	7,40	1,59	3,61	2,23	6,87	4,62
BbF	1,70	0,85	3,63	5,40	3,38	6,80	2,09	3,74	1,85	10,0	4,88
BkF	0,83	0,35	1,82	2,76	1,57	3,46	0,96	1,65	0,84	3,43	2,16
BaP	0,93	0,53	3,00	4,55	2,54	5,78	1,42	2,41	1,19	4,66	2,74
DBahA	0,12	0,03	0,30	0,42	0,28	0,60	0,19	0,29	0,12	0,88	0,37
BghiP	1,01	0,56	3,16	4,19	2,89	5,69	0,90	2,98	1,76	7,54	2,97
IcdP	1,16	0,66	3,09	4,81	2,97	5,99	1,34	3,09	1,48	8,44	3,44
Suma 8 PAU	9,21	5,42	22,2	34,6	18,5	41,2	9,13	19,2	10,3	47,4	22,9

	NEB 820	NEB 821	PKO 805	PKO 806	BAB 839	BAB 840	BAB 841	BAB 842	BAB 844
<i>Phe</i>	32,6	13,8	17,4	49,2	42,3	39,7	25,8	39,8	42,2
<i>Ant</i>	0,90	0,41	0,48	0,92	0,94	1,36	0,62	1,49	1,99
<i>Flt</i>	9,94	4,09	4,27	58,4	8,43	12,1	11,9	40,4	56,4
<i>Pyr</i>	5,62	2,43	2,93	29,2	4,54	7,79	5,47	30,2	43,1
BaA	2,06	0,71	0,67	2,32	0,96	2,69	1,49	17,3	23,1
Chr	3,49	1,18	1,40	9,49	2,22	4,47	2,96	17,7	27,1
BbF	2,15	1,01	0,93	5,84	1,22	3,02	1,45	18,7	28,2
BkF	1,11	0,51	0,44	2,78	0,60	1,71	0,74	9,63	14,8
BaP	1,52	0,78	0,64	3,15	0,70	2,77	0,83	19,2	30,0
DBahA	0,16	0,08	0,06	0,35	0,08	0,26	0,08	1,60	2,57
BghiP	1,37	0,90	0,77	3,67	0,80	2,29	1,09	13,8	24,4
IcdP	1,54	0,84	0,82	3,95	0,97	2,78	1,05	16,2	26,9
Suma 8 PAU	13,4	6,01	5,73	31,6	7,54	20,0	9,70	114	177

pokračování tabulky XI:

	JIP 8K5	min.	max.	medián 2008	medián 2007	medián 2006	medián 2005
<i>Phe</i>	21,5	13,41	49,2	26,6	25,8	14,9	22,3
<i>Ant</i>	1,10	0,24	1,99	0,90	0,54	0,57	0,87
<i>Flt</i>	19,4	4,09	58,4	12,1	14,8	10,0	13,3
<i>Pyr</i>	14,10	2,43	43,1	6,58	7,61	6,36	6,88
BaA	6,83	0,66	23,1	1,70	1,79	1,46	2,12
Chr	8,94	1,18	27,1	3,61	3,90	3,45	4,11
BbF	10,1	0,85	28,2	3,38	3,94	2,99	4,43
BkF	5,41	0,35	14,8	1,65	1,85	1,57	2,11
BaP	10,4	0,53	30,0	2,54	2,46	2,22	3,01
DBahA	1,00	0,03	2,57	0,28	0,33	0,25	0,34
BghiP	8,28	0,56	24,4	2,89	2,06	2,37	3,21
IcdP	9,75	0,66	26,9	2,97	2,60	2,65	3,58
Suma 8 PAU	60,7	5,42	177	19,2	19,1	16,8	8,38

Tabulka XII: Obsah sledovaných stopových prvků v trvalém travním porostu (µg/kg sušiny)

	HOR-814	HOR-815	JEN-832	JEN-833	KNE-826	KNE-827	LKPR-834	LKPR-835	LKPR-836	LKPR-837	LKPR-838	NEB-820	NEB-821
V	170	190	530	1 130	200	980	140	100	390	200	370	170	230
Cr	560	520	1 120	1 400	620	1 400	450	530	970	580	720	460	520
Ni	900	1 020	1 480	1 390	940	1 250	1 030	600	1 900	1 190	1 720	150	1 120
Cu	5 290	9 570	9 780	7 860	6 240	11 200	3 440	3 960	3 540	5 660	6 910	7 810	6 150
Zn	24 100	27 900	72 400	71 300	25 300	54 400	10 800	15 300	12 500	17 100	17 900	35 000	23 600
Mo	5 790	3 660	2 520	3 280	900	4 300	660	1 380	310	2 620	500	1 890	10 200
Cd	44,0	47,0	73,0	57,0	27,0	136,0	41,0	47,0	151,0	66,0	229,0	52,0	32,0
Pb	190	<100	400	700	170	850	110	160	390	180	370	650	100
Hg	13	11	10	14	18	27	11	19	19	16	17	19	12

pokrač.	PKO-805	PKO-806	BAB-839	BAB-840	BAB-841	BAB-842	BAB-844	JIP-K5	min.	max.	medián 2008	medián 2007	medián 2006	medián 2005
V	90	390	120	230	120	2 210	1600	300	90	2 210	230	513	246	392
Cr	500	800	520	640	460	2 520	3370	800	450	3 370	620	1 220	726	717
Ni	1 290	820	790	2 050	710	1 420	2150	620	150	2 150	1 120	2 010	2 255	1 783
Cu	6 160	8 270	6 280	8 400	7 680	10 800	8930	6190	3 440	11 200	6 910	8 114	10 023	8 182
Zn	18 700	42 400	27 900	42 100	31 100	60 100	49 200	24 400	10 800	72 400	27 900	43 614	56 714	34 733
Mo	1 780	3 480	3 940	3 040	2 240	9 160	4960	2750	310	10 200	2 750	3 955	3 361	2 335
Cd	56,0	111,0	31	53	36	77	244	39	27	244	53	44	55	37
Pb	100	260	120	220	670	2210	2300	180	100	2 300	240	345	431	573
Hg	12	23	20	23	12	47	32	22	10	47	18	19	109	33

Tabulka XIII: Obsah stopových prvků v jablkách (µg/kg)

	HOR-807	HOR-808	HOR-809	JEN-828	JEN-829	KNE-822	KNE-823	NEB-816	NEB-817	PKO-801	PKO-802	BAB-843	BAB-845
V	<5	<5	<5	10	9	8	9	12	<5	<5	<5	10	7
Cr	<50	60	50	<50	50	<50	<50	<50	50	<50	60	50	<50
Ni	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	60	<50	<50	<50
Cu	320	300	460	260	240	250	160	710	290	470	300	270	280
Zn	230	180	110	100	180	140	140	520	220	330	300	170	130
Mo	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Cd	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pb	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Hg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

pokrač.	min.	max.	medián 2008	medián 2007	medián 2006	medián 2005
V	<5	12	7	1	1	2
Cr	<50	60	<50	14	7	9
Ni	60	60	60	10	17	46
Cu	160	710	290	301	436	355
Zn	100	520	180	394	965	265
Mo	<50	<50	<50	19	17	9
Cd	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pb	<10	<10	<10	1	2	2
Hg	<1	<1	<1	0	1	1

Tabulka XIV: Obsah stopových prvků v pšenici (µg/kg)

PSE	HOR 810	HOR 811	JEN 830	KNE 824	NEB 818	PKO 803	JIP 8K6	min.	max.	medián 2008	medián 2007	medián 2006	medián 2005
V	3	3	3	3	60	3	3	-	60	3	3	2	6
Cr	270	430	330	320	330	270	330	270	430	325	65	47	62
Ni	170	300	210	750	180	370	250	170	750	255	252	109	109
Cu	3 990	5 160	3 480	4 100	4 730	5 200	5 630	3 480	5 200	4 415	3 155	3 515	3 230
Zn	12 900	33 200	11 800	15 500	24 200	17 100	30 900	11 800	33 200	16 300	19 600	29 000	25 850
Mo	730	1 110	1 200	1 170	690	330	390	330	1 200	920	792	982	855
Cd	28	43	21	19	21	28	42	19	43	25	17	23	24
Pb	8	8	8	8	8	8	50	-	-	8	8	7	9
Hg	1	1,0	0,5	1,0	1	0,5	5,0	0,5	1	1	2	3	3

Tabulka XV: Obsah stopových prvků v listí jahodníku ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)

LJA	HOR-812	HOR-813	JEN-831	KNE-825	NEB-819	PKO-804	JIP-8K1	min.	max.	medián 2008	medián 2007	medián 2006	medián 2005
V	850	1 020	890	340	410	570	440	340	1 020	710	1 486	758	446
Cr	1 350	1 500	950	750	660	1 030	660	660	1 500	990	1 302	633	678
Ni	940	1 450	720	780	550	2 160	500	550	2 160	860	1 316	1 142	1 142
Cu	3 640	3 890	2 470	4 100	2 690	3 530	2 630	2 470	4 100	3 585	4 106	3 971	4 222
Zn	12 400	12 100	17 500	26 800	14 600	11 300	15 500	11 300	26 800	13 500	27 041	28 000	14 751
Mo	330	350	1 400	470	1 740	1 810	1 550	330	1 810	935	551	880	1 232
Cd	16	17	15	27	8	24,0	10	8	27	17	20	17	26
Pb	500	570	410	650	190	260	250	190	650	455	951	651	689
Hg	19,0	19,0	20,0	22,0	13,0	15,0	18,0	13	22	19	17	86	33

Tabulka XVI: Obsah BTEX v v trvalém travním porostu ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sušiny)

	HOR-814	HOR-815	JEN-832	JEN-833	KNE-826	KNE-827	LKPR-834	LKPR-835	LKPR-836	LKPR-837	LKPR-838	NEB-820	NEB-821
benzen	18,1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	15,1	6,0
toluen	39,7	29,5	41,5	32,5	22,4	17,6	23,5	46,8	22,2	37,4	7,3	43,2	52,8
ethyl-benzen	13,7	<2	<2	12,1	2,2	<2	4,9	<2	2,0	<2	<2	5,4	7,5
xylen	25,6	<2	22,3	12,1	2,5	17,6	4,7	14,0	7,6	<2	<2	17,3	18,9
SUMA	97,2	29,5	63,8	56,8	27,1	35,2	33,1	60,8	31,8	37,4	7,3	81,0	85,3

<i>pokrač.</i>	PKO-805	PKO-806	BAB-839	BAB-840	BAB-841	BAB-842	BAB-844	JIP-8K5	min.	max.	medián 2008	medián 2007
benzen	<0,5	<0,5	3,7	<0,5	<0,5	23,7	3,7	3,2	<0,5	23,7	<0,5	9,2
toluen	7,5	19,1	55,1	66,1	42,7	49,7	42,0	27,8	7,3	66,1	37,4	24,0
ethyl-benzen	<2	<2	<2	3,7	2,0	3,6	2,5	<2	<2	13,7	2,0	4,7
xylen	14,4	15,9	8,8	13,5	<2	75,7	14,9	19,2	<2	75,7	14,0	12,6
SUMA	21,9	35,0	67,6	83,4	44,7	153	63,1	50,2	<2	153	47,5	59,6