

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně

Sekce zemědělských vstupů



BAZÁLNÍ MONITORING ZEMĚDĚLSKÝCH PŮD
OBSAH RIZIKOVÝCH PRVKŮ
1995 - 2013

Zpracovali: Mgr. Šárka Poláková, Ph.D.
Ing. Pavel Němec
Ing. Lenka Prášková, Ph.D.
Ing. Ladislav Kubík, Ph.D.
Ing. Aleš Sušil

Schválil: Ing. Miroslav Florián, Ph.D.
ředitel Sekce zemědělských vstupů

Brno, červenec 2016

OBSAH

1.	ÚVOD	5
2.	CÍLE	6
3.	METODIKA PRACÍ.....	7
3.1.	Monitorovací plochy	7
3.2.	Principy chemických metod.....	12
3.3.	Hodnocení výsledků	12
3.3.1.	Hodnocení dat získaných v průběhu základního vzorkování v roce 2013	12
3.3.2.	Hodnocení změn obsahů prvků za období 1995 - 2013	13
1.	VÝSLEDKY	15
3.4.	Hodnocení dat získaných v průběhu základního vzorkování 2013	15
3.4.1.	Statistické hodnocení souboru dat (2013).....	15
3.4.2.	Vyhodnocení obsahů rizikových prvků v půdách z hlediska limitních hodnot	22
3.5.	Hodnocení změn za období 1995 - 2013	24
4.	ZÁVĚR.....	34
5.	CITOVANÉ ZDROJE	36
6.	PŘÍLOHY	38

1. ÚVOD

Půda je základní prostředek lidské obživy. Cílené využívání půdy k získání potravy započalo v rámci neolitické revoluce nejméně před 10 000 lety. První známé systémy hospodaření na půdě (stepní systém, systém žďárový, systém záplavový) později vystřídal úhorový systém (trojpolní i vícepolní), ve kterém se objevila první snaha o udržitelné využití půdy, z něhož se postupně vyvíjely systémy střídavého hospodaření charakterizované vznikem osevních postupů udržujících rovnováhu a stálou úrodnost zemědělských půd. Systémy střídání plodin umožňují vyšší exploataci zemědělského systému (půdy) zároveň s jeho regenerací. Se zvyšujícím se počtem obyvatel Země se zvyšují také nároky na množství vyprodukovaných potravin. To vede k rostoucí zátěži půdy bez odpovídající regenerace; dochází k postupné degradaci půdy. Současně se zvyšuje zátěž půdy anorganickými i organickými polutanty.

K degradaci půdy dochází na regionální i globální úrovni. Za hlavní degradační procesy půdy byly definovány: eroze půdy, ztráta organické hmoty, kompakce, salinizace, sesuvy, kontaminace a zastavování půdy (tzv. soil sealing). Právně zakotvená ochrana půdy však existuje pouze na úrovni některých členských států EU, nikoli na celoevropské úrovni. Komplexní ochrana půdy na evropské úrovni je tématem od roku 2001, kdy se objevil první koncept strategie na ochranu půdy. V roce 2006 přijala Evropská komise dokument The Soil Thematic Strategy, který vytyčuje cíle ochrany půdy napříč Evropskou unií. Současně probíhaly práce na sestavení a přijetí závazného právního předpisu pro ochranu půdy Soil Framework Directive, jehož přijetí však bylo v roce 2010 zablokováno některými členskými státy EU.

Snaha půdu ochránit pro další generace, udržet její úrodnost na vysoké úrovni, stejně jako udržet její funkčnost i v jiných než v zemědělských oblastech (vododržnost, rekreace,), vedla k založení dlouhodobých systémů sledování půdy, jejichž hlavním cílem bylo popsat stav a vývoj předem vybraných kvalitativních parametrů.

Na území České republiky vznikl v roce 1992 systém monitoringu zemědělských půd, tzv. Bazální monitoring půd, a to na základě zkušeností z Bavorského zemědělského zemského ústavu (BLA), který poskytl vlastní používanou metodologii a know-how.

V roce 1995 proběhla úprava metodických postupů a nyní jsou, již beze změn, v šestiletých intervalech prováděny odběry půdních vzorků a jejich hodnocení. Vzhledem k velkému množství analyzovaných parametrů je hodnocení monitoringu rozděleno do několika dílčích zpráv.

Předkládaná zpráva hodnotí stav zemědělské půdy z hlediska obsahů rizikových prvků v půdě.

2. CÍLE

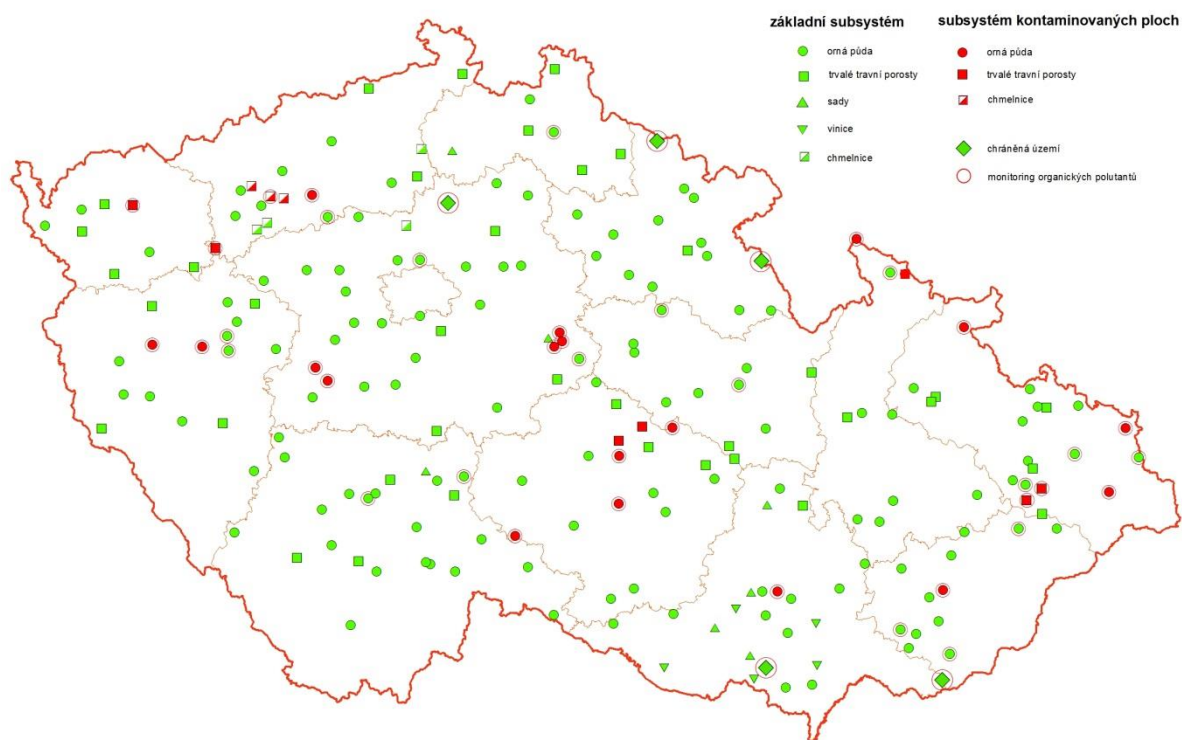
Hlavním cílem Bazálního monitoringu půd je charakterizace stavu a vývoje půdních parametrů zemědělských půd. K dílčím cílům patří poskytování důležitých dat jako podkladů pro činnost státní správy, např. za účelem tvorby nových legislativních předpisů, při rozhodovacích procesech na úrovni obcí, dále poskytování dat za účelem hodnocení a validace analytických metod, jako podkladů pro výuku na středoškolské i vysokoškolské úrovni, anebo mohou data o půdě sloužit jako jedna z mnoha datových vrstev různým státním a výzkumným institucím.

3. METODIKA PRACÍ

3.1. Monitorovací plochy

Síť monitorovacích ploch Bazálního monitoringu zemědělských půd (BMP) vznikla v roce 1992, kdy také proběhly první odběry půdních vzorků v základní síti 190 pozorovacích ploch. V roce 1995 byly odběry zopakovány za použití optimalizované metody vzorkování. V roce 1997 bylo dokončeno založení subsystému kontaminovaných ploch na lokalitách charakteristických anorganickým znečištěním, jak antropogenního, tak geogenního původu (27 pozorovacích ploch) a ze všech pozorovacích ploch byly odebrány půdní vzorky optimalizovanou metodou. Obrázek 1 ukazuje současné rozmístění lokalit BMP.

Obrázek 1. Lokalizace pozorovacích ploch Bazálního monitoringu půd v roce 2013 (poslední odběrová kampaň)

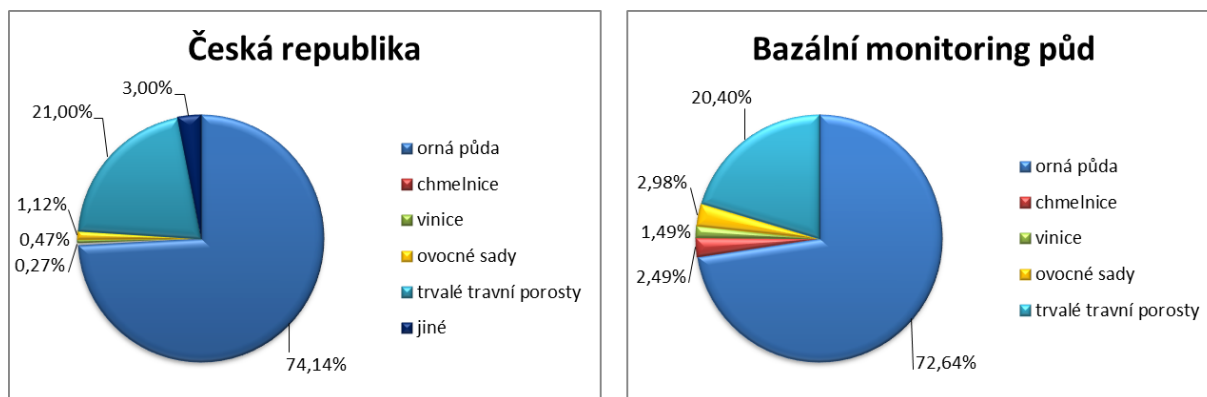


Hlavní zásady výběru pozorovacích ploch v základním subsystému monitoringu byly:

- dodržení vzájemného poměru mezi půdními typy tak, aby tento poměr odpovídal plošnému výskytu půdních typů v České republice,
- zastoupení kultur podle výskytu v České republice (graf 1),
- rovnoměrné rozložení pozorovacích míst na ploše okresu (regionu),
- vystižení rozdílných výrobních podmínek regionu.

Nejvýznamnější podmínkou pro založení plochy v subsystému kontaminovaných ploch byly nadlimitní obsahy rizikových prvků v půdě (ve smyslu tehdy platné vyhlášky MŽP č. 13/1994 Sb.).

Graf 1. Procentuální zastoupení kultur zemědělské půdy v České republice a v síti Bazálního monitoringu půd (v období založení monitoringu)



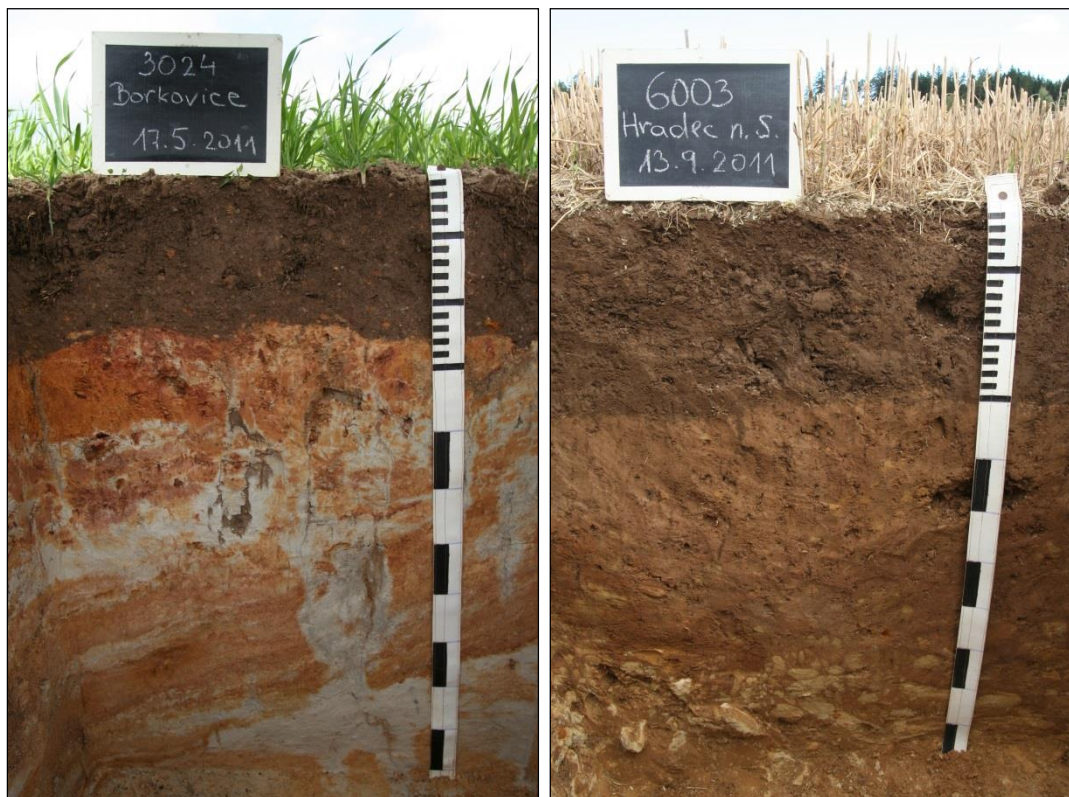
Zdaleka ne všechny pozorovací plochy se nachází v majetku ÚKZÚZ. Většina ploch leží na pozemcích náležejících právním subjektům, které zde hospodaří způsoby, jež jsou pro naše zemědělství typické. Z tohoto důvodu se v průběhu uplynulých více než 20 let změnil u některých pozorovacích ploch způsob využívání, popř. musely být některé plochy zrušeny, to znamená, že v jednotlivých vzorkovacích cyklech se mohl počet ploch BMP lišit (tabulka 1).

Tabulka 1. Zastoupení jednotlivých kultur v Bazálním monitoringu půd v jednotlivých letech základního vzorkování

Kultura	Počty ploch v jednotlivých letech			
	1995	2001	2007	2013
orná půda	163	161	155	154
trvalé travní porosty	31	35	43	44
sady	7	6	6	6
vinice	4	5	5	5
chmelnice	7	7	5	5
Celkem	212	214	214	214

Pozorovací plochy jsou definovány jako obdélníky o délce stran 25 x 40 m; o celkové rozloze 1000 m². Každá plocha je charakterizována zeměpisnými souřadnicemi, morfologií terénu, klimatickými a půdními poměry. V těsné blízkosti každé plochy byla vykopána a popsána pedologická sonda (obrázek 2).

Obrázek 2. Pedologické sondy na orných půdách: pozorovací plocha 3024B Borkovice (pseudoglej modální) a 6003B Hradec na Svitavou (kambizem luvická slabě oglejená)



V rámci celého souboru pozorovacích ploch monitoringu existují tři odběrová schémata:

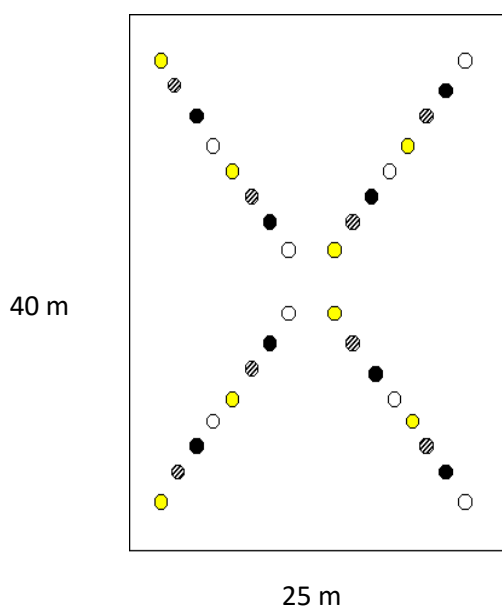
1. **Jednorázové odběry** jsou prováděny při výkopu pedologické sondy. Odebírají se neporušené půdní vzorky, tzv. fyzikální válečky z jednotlivých diagnostických horizontů ke stanovení vybraných fyzikálních vlastností půd a porušené půdní vzorky, ke stanovení chemických a fyzikálně-chemických vlastností půd. Tato stanovení jsou provedena na všech pozorovacích plochách sítě monitoringu.
2. **Základní odběry** jsou prováděny v šestileté periodě. Zjišťovány jsou především (agro)chemické vlastnosti půd. Odběry v základní periodě probíhají na všech pozorovacích plochách monitoringu.
3. **Každoroční odběry** jsou zaměřeny na sledování stavu a vývoje znečištění půd organickými polutanty, na možnou kontaminaci potravinového řetězce prostřednictvím zemědělských plodin a na půdní mikrobiologii. Tyto odběry probíhají na vybraném souboru pozorovacích ploch, více tabulka 2.

Tabulka 2. Parametry stanovené ve vzorcích půd a rostlin odebíraných v jednotlivých odběrových schématech

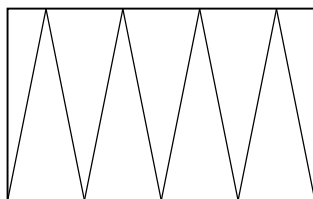
<u>Jednorázové odběry</u> <u>a identifikace pozorovací</u> <u>plochy</u>	<u>Základní vzorkování</u> <u>v šestileté periodě</u>	<u>Každoroční odběry</u>
- Fyzikální parametry - momentní vlhkost, objem. hmotnost red., pórovitost, max. kapilární vodní kapacita, vzdušná kapacita - Zrnitost C_{ox}, N_{tot} - Sorpční kapacita půdy - potenciální, aktuální - Prvková analýza (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn; Hg_{tot}) - lučavka královská - Popis půdní sondy - Záznam identifikačních údajů o pozorovací ploše	- Aktivní a výměnné pH - Přístupné živiny - P, K, Mg, Ca (Mehlich III) - Přístupné mikroelementy - B, Mo, Mn, Zn, Cu, Fe - Prvková analýza (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn; Hg_{tot}) - lučavka královská, 2M HNO_3 C_{ox}, N_{tot} - Sorpční kapacita půdy - aktuální	- Minerální dusík - N_{min} - Mikrobiální a biochemické parametry - Organické polutanty - HCH, HCB, látky skupiny DDT, PCB, PAH - Obsah rizikových prvků v zemědělských plodinách - Evidence dávek hnojení a přípravků na ochranu rostlin

Odběry vzorků při základních odběrech jsou prováděny po úhlopříčkách (obrázek 3); odebírají se vždy čtyři směsné vzorky z ornice a podorníčí, jejichž rozmístění na pozorovací ploše je na obrázku vyznačeno pomocí různých barev; při každoročních odběrech se vzorkování provádí metodou „po lomené čáře“ (obrázek 4).

Obrázek 3. Odběrové schéma vzorkování zemědělských půd v základní šestileté periodě odběrů



Obrázek 4. Odběrové schéma vzorkování zemědělských půd při každoročních odběrech („po lomené čáře“)



Hloubka odběru závisí na způsobu hospodaření na půdě. Vzorkované horizonty musí být důsledně odděleny. Pro jednotlivé kultury se uplatňují tyto zásady pro vzorkování:

Orná půda - odběr se provádí ze dvou horizontů:

1. 0 - 25 cm (ornice, O) (v případě menší mocnosti ornice se vzorek odebere jen z této vrstvy)
2. 25 - 60 cm (podorničí, P)

Z odběru se vylučuje přechodová vrstva 25 - 35 cm mezi ornici a podorničím.

Trvalé travní porosty - odběr se provádí ze tří horizontů:

1. poddrnová vrstva do 10 cm (O)
2. vrstva 10 - 25 cm (P)
3. vrstva 25 - 40 cm (R)

Odstraňuje se vrchní drnová vrstva zeminy. Odběrové vrstvy na sebe navazují bez mezivrstev.

Ovocné sady a vinice - odběr se provádí ze dvou horizontů:

1. vrstva 0 - 30 cm (O)
2. vrstva 30 - 60 cm (P)

Chmelnice - odběr se provádí ze dvou horizontů:

1. vrstva 10 - 40 cm (O)
2. vrstva 40 - 70 cm (P)

Vrstva zeminy 0 - 10 cm se z odběru vylučuje.

Pozorovací plochy je možno vzorkovat podle klimatických podmínek v průběhu roku. Vzorkování by však nemělo následovat dříve než 4 měsíce po hnojení P, K, Ca, Mg a musí být zohledněn stav porostu.

Odebrané vzorky se převážně za běžné teploty na určené místo, kde se suší na vzduchu a poté se prosejí (2mm síto). Je nutno dbát na homogenitu vzorku a zajistit, aby do jemnozeme nebyl drcen i skelet. Vzorky pro laboratoř jsou označeny jasným kódem, který se shoduje s kódem uvedeným v Dokumentačním listu k odběru a nakládání se vzorky.

Stanovení rizikových prvků bylo provedeno v půdních vzorcích odebraných v rámci tzv. základního vzorkování v šestileté periodě. Poslední odběrová kampaň proběhla v roce 2013. Vzorky byly odebrány podle schéma z obrázku 3.

Všechny analytické práce byly provedeny v Národní referenční laboratoři ÚKZÚZ.

3.2. Principy chemických metod

Stanovení rtuti na přístroji AMA-254

Rtuť byla měřena v upravených vzorcích půd na principu atomové absorpční spektrometrie na analyzátoru rtuti AMA-254 (TMA254).

Extrakce půd lučavkou královskou (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn)

Upravené vzorky půd byly extrahovány lučavkou královskou, tj. směsí koncentrované kyseliny chlorovodíkové a koncentrované kyseliny dusičné (3:1), za varu. Postup vychází z normy ISO 11466. Sledované parametry byly měřeny s využitím optické analytické instrumentace, tj. ICP-OES a FAAS.

Extrakce půd zředěnou kyselinou dusičnou (Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn)

Upravený půdní vzorek se extrahuje kyselinou dusičnou o koncentraci 2 mol.l⁻¹ za laboratorní teploty.

3.3. Hodnocení výsledků

Hodnocení výsledků probíhalo ve dvou krocích:

1. Hodnocení dat v rámci poslední odběrové kampaně (2013)
2. Hodnocení změn mezi odběrovými kampaněmi (1995 - 2013)

3.3.1. Hodnocení dat získaných v průběhu základního vzorkování v roce 2013

3.3.1.1. Statistické zpracování souboru dat (2013)

Numerické výsledky analýz byly podrobeny následujícímu statistickému zkoumání:

- Deskriptivní analýza dat – výpočet aritmetického průměru, mediánu, vyhledávání minim a maxim a výpočet 0.10, 0.25, 0.75 a 0.90 percentilu
- Exploratorní analýza dat – sestavení krabicových grafů (box plots) (Meloun, Militký, 2002),
- Testování statistické významnosti změn obsahů vybraných prvků mezi vybranými faktory pomocí Kruskal-Wallisovy neparametrické analýzy rozptylu a následným testováním rozdílů mezi úrovněmi faktorů pomocí tzv. Vlastního testu (Regular test), (Hendl, 2006, Hintze, 2015)

Obsahy vybraných prvků byly stanoveny ve všech odebraných směsných vzorcích. Obsahy prvků z jednotlivých směsných vzorků byly přepočteny na průměrnou hodnotu pro každý půdní horizont a tato průměrná hodnota sloužila k dalším výpočtům. Do statistického zpracování byly zahrnuty všechny hodnoty stanovených prvků; hodnoty nižší než mez stanovitelnosti (LOQ) byly položeny rovno 1/2LOQ.

Při testování rozdílů za pomoci neparametrické ANOVY byl zjišťován vliv faktorů 1) subsystémů, 2) horizontů, 3) kultur. Byl-li vliv faktoru statisticky významný, tj. nenáhodný, bylo provedeno vícenásobné testování (testování statistické průkaznosti rozdílů mezi úrovněmi faktoru). V případě subsystémů a půdních vrstev u všech kultur vyjma TTP měl faktor pouze dvě úrovně, proto je stanovení statistické významnosti vlivu faktoru prakticky totožné s vícenásobným porovnáním. V případě kultur má faktor pět úrovní. Proto na stanovení statistické významnosti vlivu faktoru navazuje určení statistické průkaznosti rozdílů mezi úrovněmi faktoru (jednotlivými kulturami) metodou vícenásobného porovnání.

Pro statistické zpracování byly použity programy MS Excel 2010, NCSS 10.

3.3.1.2. Vyhodnocení obsahů rizikových prvků v půdách z hlediska limitních hodnot

Zjištěné obsahy rizikových prvků byly porovnány s platnými limitními hodnotami pro zemědělské půdy.

V roce 2015 vstoupila v platnost novela zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu (zákon č. 41/2015 Sb.). Tento zákon zásadně změnil přístupy v hodnocení znečištění zemědělské půdy tím, že zavedl dvoustupňový systém limitů (tzv. preventivní a indikační hodnoty). Podle tohoto systému budou obsahy vybraných prvků a látek nejdříve porovnávány s *preventivními hodnotami*, které představují horní pozadové hranice obsahů rizikových látek a rizikových prvků v půdě. Překročení těchto hodnot neznamena konkrétní riziko, ale naznačuje možné ohrožení plnění některých funkcí půdy. Na zemědělské půdě, kde bylo zjištěno překročení preventivní hodnoty, bude nezbytné dodržovat určitá opatření a omezení tak, aby již nedocházelo k dalšímu zvyšování obsahů prvků či látek v půdě. Dalším „stupněm“ hodnocení jsou *indikační hodnoty*. Indikačními hodnotami se rozumí obsahy rizikových látek nebo rizikových prvků v zemědělské půdě, při jejichž překročení dochází k ohrožení zdravotní nezávadnosti potravin nebo krmiv, přímému ohrožení zdraví lidí nebo zvířat při kontaktu s půdou a negativnímu vlivu na produkční funkci zemědělské půdy. Rizika a případná nápravná opatření pak řeší příslušné instituce – Česká inspekce životního prostředí (ČIŽP), Státní zemědělská a potravinářská inspekce (SZPI), Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ), Státní veterinární správa (SVS) a krajské hygienické stanice. Tyto úpravy vstoupily v platnost dne 1. 4. 2015. Zmiňované preventivní a indikační hodnoty jsou definovány v novém prováděcím právním předpisu – ve vyhlášce č. 153/2016 Sb., o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., která nabyla účinnosti dne 1. června 2016.

Obsahy rizikových prvků byly hodnoceny také vzhledem k maximálně přípustným hodnotám stanoveným vyhláškou MŽP č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu.

3.3.1.3. Mapy obsahů prvků na monitorovacích plochách BMP

Lokality odběru směsných vzorků jsou prostorově určeny v souřadnicích S-JTSK. K souřadnicím jsou připojeny výsledky analýz v jednotkách $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Mapové interpretace jsou prováděny v geografickém informačním systému ArcGIS v.10.

Obsah rizikových prvků v půdě je v kartodiagramech (přílohy 7, 9 a 10) zobrazen jako procentická hodnota, kterou zaujímá obsah daného prvku na lokalitě vzhledem k limitní hodnotě. Skutečné obsahy byly vztaženy k preventivním hodnotám stanoveným vyhláškou č. 153/2016 Sb. i k maximálně přípustným hodnotám stanoveným vyhláškou č. 13/1994 Sb.

Prezentovaná forma mapových a statistických výstupů databáze poskytuje základní informace o obsazích vybraných rizikových prvků v půdách České republiky (po extrakci lučavkou královskou, ve výluhu 2M HNO_3).

3.3.2. Hodnocení změn obsahů prvků za období 1995 - 2013

Pro hodnocení změn a případných trendů byly ze souboru pozorovacích ploch Bazálního monitoringu půd vybrány ty plochy, které jsou v databázi monitoringu od začátku sledování dosud (tzn., že nebyly v průběhu monitoringu z jakýchkoli důvodů zrušeny, posunuty, či založeny jako nové plochy), jsou kontinuálně obhospodařovány jedním způsobem (nedošlo na nich ke změně kultury) a nezměnilo se jejich umístění v terénu (způsobené např. rozdělením pozemku více nájemcům, rozdílným hospodařením na pozorovací ploše, zástavbou, půdně-klimatickými změnami, jež opět vedly k rozdílnému využívání plochy). Celkem se jedná o 177 ploch (tabulka 3).

Tabulka 3. Struktura souboru BMP pro hodnocení změn a případných trendů v období 1995 - 2013

	Základní subsystém	Kontaminovaný subsystém	Monitoring půd ČR (celkem)
orná půda	127	15	142
trvalé travní porosty	18	3	21
sady	5	0	5
vinice	4	0	4
chmelnice	3	2	5
celkem	157	20	177

3.3.2.1. Statistické zpracování souboru dat 1995 - 2013

Numerické výsledky analýz byly podrobeny následujícímu statistickému zpracování:

- Deskriptivní analýza dat – výpočet aritmetického průměru, mediánu, vyhledávání minim a maxim a výpočet 0.10, 0.25, 0.75 a 0.90 percentilu - pro všechny odběrové cykly (1992, 1995, 2001, 2007, 2013)
- Exploratorní analýza dat – sestavení krabicových grafů (box plots) (Meloun, Milítký, 2002),
- Testování statistické významnosti změn obsahů vybraných prvků mezi odběrovými kampaněmi 1995 a 2013 pomocí Kruskal-Wallisovy neparametrické analýzy rozptylu a následným testováním rozdílů mezi úrovněmi faktorů pomocí tzv. Vlastního testu (Regular test), (Hendl, 2006, Hintze, 2015)

Obsahy vybraných prvků byly stanoveny ve všech odebraných dílčích vzorcích. Obsahy prvků z dílčích vzorků byly přepočteny na průměrnou hodnotu pro každý půdní horizont a tato průměrná hodnota sloužila k dalším výpočtům. Do statistického zpracování byly zahrnuty všechny hodnoty stanovených prvků; hodnoty nižší než mez stanovitelnosti (LOQ) byly položeny rovno 1/2LOQ.

Pro statistické zpracování byly použity programy MS Excel 2010, NCSS 10.

3.3.2.2. Mapové vyjádření (kartodiagramy) rozdílů obsahů vybraných prvků na jednotlivých monitorovacích plochách mezi odběrovými kampaněmi

Kartodiagramy (příloha 8) byly sestaveny v softwaru ArcGis v.10.0.

1. VÝSLEDKY

3.4. Hodnocení dat získaných v průběhu základního vzorkování 2013

3.4.1. Statistické hodnocení souboru dat (2013)

V roce 2013 se uskutečnily odběry vzorků půd z monitorovacích ploch Bazálního monitoringu půd na 214 pozorovacích plochách. Z každé plochy byly odebrány 4 dílčí vzorky z ornice, podorničí a v případě trvalých travních porostů také z druhého podorničního horizontu R - celkem tedy bylo odebráno 1888 vzorků. Ve všech vzorcích byly stanoveny vybrané rizikové prvky a to po extrakci lučavkou královskou, ve výluhu 2M HNO₃ a rtuť jako celkový obsah.

Pro všechny prvky je vypočtena **základní deskriptivní statistika** (přílohy 1 a 2) a zpracovány **box diagramy** (přílohy 3 a 4). Obsahy prvků na jednotlivých pozorovacích plochách jsou také vyjádřeny formou **map-kartodiagramů** (přílohy 7, 9 a 10). Dále byla použita **Kruskal - Wallisova Anova** a neparametrické následné testování průkaznosti rozdílů mezi skupinami. Uvedenými metodami byly testovány rozdíly mezi obsahy prvků podle různých třídících parametrů - subsystémů monitoringu (základní x kontaminovaný), horizonty (ornice x podorničí) a kulturami (orná půda x trvalé travní porosty x chmelnice x vinice x sady).

3.4.1.1. Obsahy rizikových prvků v lučavce královské

Arzén (As)

Obsahy arzenu v půdách pochází převážně z matečné horniny. Obsah As v nekontaminovaných půdách zřídka přesáhne 10 mg.kg⁻¹ (Adriano, 2001).

V zemědělských půdách v celém souboru dat BMP se obsahy arzenu pohybují v rozsahu 3,59 – 536 mg.kg⁻¹ (v ornici), medián přibližně kolem hodnoty 8 mg.kg⁻¹ v základním subsystému, v kontaminovaném subsystému jsou hodnoty vyšší (příloha 1); přičemž maximální obsah byl zjištěn v podorničí (682 mg.kg⁻¹) na ploše 2905KO v k.ú. Kutná Hora. Kutnohorsko a Příbramsko patří k oblastem zatíženým vysokými obsahy arzenu, což potvrzují nejen výsledky Bazálního monitoringu půd, ale také výsledky dalších programů ÚKZÚZ zaměřených na sledování kontaminace půd v ČR, např. Registru kontaminovaných ploch (Kubík et al., 2014, Poláková et al., 2014, tabulka 4) a dalších autorů (Němeček et al., 2010). S dalšími oblastmi s výraznými zátěžemi arzenem se lze setkat v severních a severozápadních Čechách. Vysoké obsahy byly zjištěny také v katastru obce Bílá Voda u Javorníka.

Tabulka 4. Průměrné obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách ČR z databáze Registr kontaminovaných ploch, 1998 - 2015 (mg.kg⁻¹, extrakce lučavkou královskou, Hg totální, data ÚKZÚZ 2015)

	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	V	Zn
Lehká půda	11,4	0,96	0,25	10,2	41,4	17,5	0,09	0,54	22,4	23,9	44,8	68,8
Ostatní půda	11,6	1,08	0,3	11,5	41,2	21,2	0,11	0,65	24,4	27,2	49,3	73,6

Mediány obsahů arzenu v *základním subsystému* jsou nižší než v *subsystému kontaminovaných ploch*, průkazný rozdíl byl však potvrzen pouze pro ornou půdu a to pro ornici i podorničí. Nebyly nalezeny rozdíly mezi obsahy v orničním a podorničním horizontu, ani mezi jednotlivými kulturami.

Berylium (Be)

Berylium je ubikvitní prvek, v životním prostředí se však vyskytuje pouze ve stopových množstvích. Různí autoři uvádí průměrný obsah v půdách 0,3 – 4,0 mg.kg⁻¹ (Adriano, 2001).

Rozsah obsahů berylia v celém souboru dat BMP pro orniční horizont činí 0,26 - 9,22 mg.kg⁻¹, mediány se pohybují kolem hodnoty 1 mg.kg⁻¹ (příloha 1) a jsou tedy srovnatelné s celorepublikovým průměrem (tabulka 4). Nejnižší i nejvyšší hodnoty byly naměřeny na plochách s trvalými travními porosty; maximální obsah byl zjištěn na ploše 4904KO v katastrálním území Jenišov, okres Karlovy Vary (v O i P horizontu je obsah berylia vyšší než 9 mg.kg⁻¹). Takto vysoké obsahy berylia jsou spíše vzácné. Zvýšené obsahy berylia lze kromě karlovarského okresu nalézt také v okrese sokolovském, jak dokládají i výsledky z Registru kontaminovaných ploch. Němeček et al. (2010) zmiňuje zvýšené zatížení beryliem v severočeském regionu, a to jak geogenního, tak antropogenního původu.

Obsahy berylia v *základním a kontaminovaném subsystému* jsou vyrovnané, rozdíly mezi obsahy v ornici a podorničí také nebyly nalezeny. Byly statisticky prokázány nižší obsahy berylia na vinicích *základního subsystému* v podorničí a to vzhledem ke všem ostatním sledovaným kulturám.

Kadmium (Cd)

Obsahy kadmia v zemědělských půdách se v průměru pohybují kolem 1 mg.kg⁻¹ a méně. Např. v okolí jezera Ontario v Kanadě jsou průměrné obsahy kadmia v zemědělské půdě 0,56 mg.kg⁻¹, podobně je tomu také např. ve Walesu. Ve Spojených státech amerických se průměrný obsah Cd v různých půdních typech pohybuje v rozsahu 0,08 – 0,72 mg.kg⁻¹. Jako požadová hodnota (celosvětově) se uvádí 0,4 mg.kg⁻¹ (Adriano, 2001). Geograficky bližší data jsou k dispozici např. z monitoringu půd Slovenskej republiky (Kobza et al., 2014). Zde střední obsahy kadmia kolísají od 0,11 do 0,44 mg.kg⁻¹ v závislosti na půdním typu, přičemž nejvyšších obsahů je dosahováno ve fluvizemích.

V základním subsystému monitoringu byly vypočteny pro jednotlivé kultury mediány v rozsahu <0,2 – 0,36 mg.kg⁻¹; v kontaminovaném subsystému jsou hodnoty vyšší (příloha 1). V celém souboru dat Bazálního monitoringu půd se obsahy kadmia v orniční vrstvě pohybují v rozmezí < 0,2 - 7,45 mg.kg⁻¹. Nejvyšší obsah byl stanoven ve vzorku z plochy 7901KO Malenovice u Zlína, okres Zlín. Kadmium je typickým kontaminantem v okolí Ostravy, v průmyslových oblastech severních a severozápadních Čech, v okolí Příbrami, Berouna, Kladna, Slaného, Liberce a v Praze; k výrazně zatíženým oblastem náleží také nejnižší terasy říčních niv (Němeček et al., 2010).

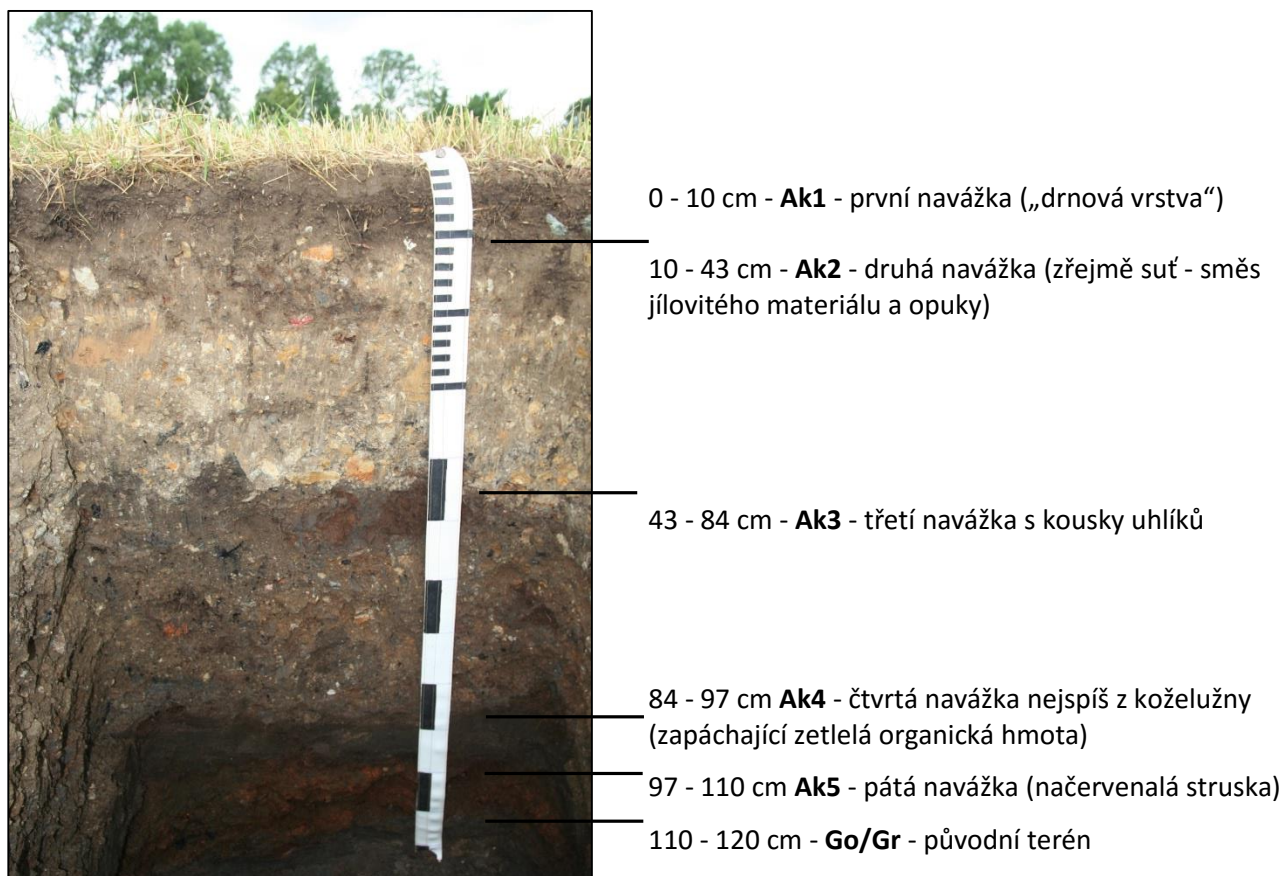
Obsahy kadmia jsou v *základním subsystému* nižší než obsahy v *subsystému kontaminovaném*, statisticky průkazné rozdíly jsou potvrzeny pro oba horizonty orných půd, a pro horizont R u trvalých travních porostů. Rozdíly mezi orničním a podorničním horizontem byly statisticky prokázány v *základním subsystému* u orných půd a ještě u sadů (ornice > podorničí). Kromě toho lze konstatovat, že obsahy kadmia v jednotlivých kulturách *základního subsystému* jsou relativně shodné, s výjimkou vyšších obsahů na plochách trvalých travních porostů. V *základním subsystému* byly statisticky potvrzeny průkazně vyšší obsahy kadmia (Cd) v orničním i podorničním horizontu v TTP proti orné půdě a dále v podorničí v TTP proti sadům.

Kobalt (Co)

Střední hodnoty obsahů kobaltu v půdách z různých částí světa většinou nepřesahují 10 mg.kg⁻¹. Např. pro USA uvádí Adriano (2001) průměrný obsah kobaltu 6,7 mg.kg⁻¹, pro polské půdy pak 4,7 mg.kg⁻¹.

Rozsah obsahů kobaltu v půdách BMP (v orničním horizontu) činí 1,94 - 32,9 mg.kg⁻¹. Mediány pro jednotlivé kultury v základním subsystému se pohybují kolem hodnoty 11 mg.kg⁻¹ (příloha 1), v kontaminovaném subsystému jsou hodnoty vyšší. Nejvyšší obsah 44,2 mg.kg⁻¹ byl zjištěn v horizontu R na ploše 6901K, kde se nachází antropozem kontaminovaná. Plocha leží v katastrálním území Staré Ransko, okres Havlíčkův Brod. Zvýšené obsahy lze dále očekávat v severočeském regionu a případně v říčních nivách (Němeček et al., 2010).

Obrázek 5. Půdní profil na monitorovací ploše 6901KO, k.ú. Staré Ransko. Plocha je využívána jako trvalý travní porost.



Obsahy kobaltu v základním subsystému jsou nižší než v subsystému kontaminovaném, rozdíly však nejsou statisticky průkazné. Zároveň lze konstatovat, že obsahy kobaltu mírně rostou směrem do hloubky; případné rozdíly mezi obsahy Co ve vzorkovaných horizontech se neprokázaly. Mediány obsahů kobaltu v jednotlivých kulturách základního i kontaminovaného subsystému jsou vyrovnané, nezjistily se žádné průkazné rozdíly.

Chrom (Cr)

Koncentrace chromu v půdě je velmi silně determinována matečnou horninou. Nejvyšší obsahy chromu jsou nalézány v půdách vzniklých na ultramafických vyvřelinách. Jako průměrná hodnota obsahu Cr v půdách se uvádí 50 mg.kg⁻¹ (Adriano, 2001). V České republice existují typické oblasti se zvýšenými obsahy chromu v půdách, nejznámější je oblast třebíčského masivu. Průměrný obsah chromu v zemědělských půdách ČR podle výsledků z Registru kontaminovaných ploch je 41 mg.kg⁻¹ (tabulka 4).

Mediány vypočtené pro jednotlivé kultury základního subsystému Bazálního monitoringu půd jsou v rozmezí 34 – 38 mg.kg⁻¹ (příloha 1). Obsahy chromu v orničním horizontu celého souboru dat BMP se nacházejí v rozsahu hodnot 10,23 - 18 050 mg.kg⁻¹. Maximální obsahy byly stanoveny ve vzorcích z plochy 6901K, k.ú. Staré Ransko, okres Havlíčkův Brod. Zjištěné hodnoty nevybočují z předchozích let. Chrom patří k tzv. geogenním prvkům tzn., že jeho obsahy v půdě přímo souvisí s matečnou horninou (bazické a ultrabazické horniny), ale v případě uvedené plochy se však jedná o kontaminaci antropogenního původu - nad původním terénem je více než 1 m různých druhů navážek. Významnou oblastí s tradičně vysokými obsahy chromu v půdě je oblast třebíčského masivu. Nicméně Němeček et al. (2010) uvádí Cr jako významný kontaminant, tentokrát antropogenního původu, i pro severomoravský region.

Obsahy chromu ve vzorcích ze *základního subsystému* jsou obecně nižší než ve vzorcích ze *subsystému kontaminovaného*, rozdíly však nejsou průkazné. Očekávané zvyšování obsahů směrem do hloubky není zcela jednoznačné a žádné rozdíly obsahů chromu mezi horizonty nebyly statisticky potvrzeny. Hodnoty mediánů obsahu chromu v jednotlivých kulturách *základního subsystému* jsou vyrovnané.

Měď (Cu)

Jako průměrný obsah mědi se uvádí 30 mg.kg⁻¹, s rozsahem hodnot 2 – 250 mg.kg⁻¹, pro běžné zemědělské půdy se očekává rozmezí hodnot 1 – 50 mg.kg⁻¹ (Adriano, 2001). Toto tvrzení zcela souhlasí s obsahy mědi zjištěnými v půdách BMP (příloha 1).

Obsahy mědi ve vzorcích orničního horizontu kolísají v rozsahu 4,70 – 231 mg.kg⁻¹. Z příloh 7 a 9 je vidět, že vyšší obsahy mědi lze očekávat zejména v severních Čechách (v Ústeckém kraji), což potvrzují také výsledky Registru kontaminovaných ploch, dále na Kutnohorsku a vysoký obsah byl zjištěn také v k.ú. Město Albrechtice, okres Bruntál. Antropogenně zvýšené obsahy mědi spojené se spalováním černého uhlí a metalurgií v severomoravském regionu zmiňuje také Němeček et al. (2010).

Je patrné (např. z přílohy 1), že obsahy mědi ve vzorcích ze *základního subsystému* jsou nižší než ve vzorcích z *kontaminovaného subsystému*. Průkaznost rozdílů byla potvrzena pro oba horizonty v případě orných půd; a pro horizont R v případě TTP. Rozdíly mezi horizonty byly zjištěny v orničním a podorničním horizontu u vinic a chmelnic *základního subsystému* (ornice > podorničí). Obsahy mědi ve vzorcích orných půd, TTP a sadů ze *základního subsystému* jsou vyrovnané. Vyšší obsahy byly nalezeny ve vinicích a chmelnicích. Statistická analýza dat potvrdila průkazné rozdíly mezi obsahy Cu pro ornici v orné půdě, TTP a sadech na jedné straně a obsahy ve vinicích a chmelnicích na straně druhé, což je následek používání přípravků na ochranu rostlin s obsahem mědi. Ve vzorcích z podorničí jsou průkazné rozdíly mezi ornou půdou a vinicemi, chmelnicemi dále pak mezi TTP, sady na jedné straně a chmelnicemi na straně druhé. Obsahy mědi ve vzorcích orných půd a TTP v *subsystému kontaminovaných ploch* jsou vyrovnané a výrazně nižší než obsahy ve vzorcích z chmelnic. Průkazný rozdíl byl potvrzen pouze pro obsahy v orné půdě a chmelnici a to pouze pro podorničí.

Molybden (Mo)

Molybden je prvek, který je v zemské kůře vzácný a také jeho obsahy v půdě jsou obecně nízké - pohybují se kolem 3 mg.kg⁻¹. Obsahy v rozsahu 0,5 – 5 mg.kg⁻¹ jsou považovány za normální, obsahy pod 0,5 mg.kg⁻¹ jsou považovány za nízké (Adriano, 2001).

V rámci BMP činí rozsah obsahů molybdenu v orničním horizontu celého souboru dat $<0,30 - 3,58 \text{ mg.kg}^{-1}$, přičemž nejvyšší obsah byl nalezen na orné půdě, na ploše 4023BO, k.ú. Červený Hrádek u Plzně.

Obsahy molybdenu ve vzorcích ze *základního subsystému* jsou vyrovnané, což je vidět z box diagramů přílohy 3. Obsahy Mo stanovené ve vzorcích z *kontaminovaného subsystému* byly vyšší, než ve vzorcích ze *subsystému základního*; průkazný rozdíl mezi subsystémy nalezen nebyl. Průkazný rozdíl nebyl zaznamenán ani mezi jednotlivými horizonty u sledovaných kultur. Box diagramy v příloze 3 zobrazují vyšší obsahy na chmelnicích v *kontaminovaném subsystému*. Statisticky byly potvrzeny rozdíly mezi obsahy molybdenu v orné půdě a chmelnicích, a to pro horizont O (ornice) i P (podorníci).

Nikl (Ni)

Celkové obsahy niklu v půdě jsou různorodé, především v závislosti na matečné hornině. Maximální obsahy se vyskytují v půdách vzniklých na hadcích ($X000 \text{ mg.kg}^{-1}$). Distribuce niklu v půdním profilu nemá stálý charakter. Existují půdy a oblasti, ve kterých jsou obsahy niklu rovnoměrně rozloženy v půdním profilu, jinde obsahy niklu s hloubkou klesají a někde mohou i růst. Obecně se považuje za průměrný obsah niklu v půdě hodnota kolem 20 mg.kg^{-1} (Adriano, 2001).

Obsahy niklu zjištěné v rámci Bazálního monitoringu půd korespondují s průměrnou celosvětovou koncentrací niklu v půdách. Rozsah obsahů niklu ve svrchním horizontu (O) celého souboru dat BMP činí $3,90 - 136 \text{ mg.kg}^{-1}$ (příloha 1). Uvedená maximální hodnota byla naměřená na lokalitě 3016B, k.ú. Kluky u Písku (orná půda). Nejvyšší obsah niklu (253 mg.kg^{-1}) byl nalezen na již zmiňované ploše 6901K, k.ú. Staré Ransko, okres Havlíčkův Brod v druhém podorničním horizontu R. Jedná se o trvalý travní porost, s více než 1 m mocnou vrstvou různých typů navážek. Tradičně vyšší obsahy niklu jsou v oblasti třebíčského masivu a Jižní Moravy, zejména v severní části okresu Znojmo a okresech Zlín a Uherské Hradiště.

Obecně lze říci, že obsahy Ni na lokalitách z *kontaminovaného subsystému* jsou vyšší než na lokalitách ze *subsystému základního*, nicméně statisticky mezi subsystémy nejsou průkazné rozdíly. Stejně tak nebyly nalezeny žádné průkazné rozdíly mezi obsahy Ni v jednotlivých kulturách, či mezi horizonty. Pouze na orné půdě v *základním subsystému* byly potvrzeny průkazně nižší obsahy v ornici než v podorníci.

Olovo (Pb)

Průměrný obsah olova v zemědělských půdách zjištěný v rámci vedení Registru kontaminovaných ploch činí pro lehké půdy $23,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ a pro půdy ostatní $27,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ (data ÚKZÚZ, 2016), Adriano (2001) uvádí střední obsahy (medián) olova ve Francii $23,8 \text{ mg.kg}^{-1}$, v Německu $32 - 45 \text{ mg.kg}^{-1}$ (v závislosti na kultuře) a ve Walesu 40 mg.kg^{-1} .

Obsahy olova v orniční vrstvě O Bazálního monitoringu půd se nachází v rozsahu $11,5 - 894 \text{ mg.kg}^{-1}$. Obsah Pb vyšší než 800 mg.kg^{-1} byl nalezen v orniční vrstvě tří lokalit - dvě se nachází v okrese Příbram, jedna v okrese Kutná Hora. Lokalizace zvýšených obsahů Pb na plochách BMP se shoduje se šetřením prováděným v rámci vedení Registru kontaminovaných ploch (Kubík et al., 2014; Poláková et al. 2014). Typické oblasti se zvýšenými obsahy olova se nachází na Plzeňsku, Příbramsku a Kutnohorsku. V případě BMP k těmto oblastem přibývá ještě lokalita z okresu Havlíčkův Brod - ve vzorku z monitorovací plochy 6904KO, k.ú. Utín (orná půda), byl stanoven vůbec nejvyšší obsah olova v rámci BMP - 1286 mg.kg^{-1} a to v podorníci. S největší pravděpodobností se jedná o pozůstatek z těžby stříbra

a rozsáhlé sklářské činnosti v této oblasti. Zvýšené obsahy olova se nachází na celém katastrálním území Utína (data ÚKZÚZ).

Obsahy olova v orné půdě a chmelnicích v *kontaminovaném subsystému* jsou mnohonásobně vyšší, než v *subsystému základním*. Obsahy jsou průkazně nižší v *základním subsystému* u orných půd pro oba sledované horizonty než v *kontaminovaném subsystému*. Dále je např. z přílohy 3 patrné, že obsahy Pb v ornici jsou vyšší než v podorničí a to ve všech kulturách v *základním subsystému*, což je pro olovo, jako antropogenní kontaminant, charakteristické. Průkazný je tento rozdíl u orných půd a TTP. V případě trvalých travních porostů se jedná o rozdíl mezi svrchním horizontem O, a druhým podorničním horizontem R. Toto zcela neplatí pro chmelnice v *kontaminovaném subsystému*. Obsahy v jednotlivých kulturách *základního subsystému* rostou v pořadí: vinice $\approx$ chmelnice < sady $\approx$ orná půda < TTP. Statisticky byl průkazně potvrzen nižší obsah Pb ve vinicích proti sadům, orné půdě a TTP, dále byl zjištěn průkazný rozdíl mezi ornou půdou, TTP a sady na jedné straně proti vinicím a chmelnicím na straně druhé. V *kontaminovaném subsystému* rostou obsahy olova v jednotlivých kulturách v pořadí: TTP < orná půda < chmelnice. Průkazné rozdíly mezi kulturami nebyly nalezeny.

Vanad (V)

Průměrné obsahy vanadu v půdách uvádí různí autoři v rozsahu 57 – 80 mg.kg⁻¹, s rozsahem hodnot až do 500 mg.kg⁻¹ (Adriano, 2001). Průměrné obsahy v zemědělských půdách ČR činí v ostatních půdách 49,3 mg.kg⁻¹ a v půdách lehkých 44,8 mg.kg⁻¹ (data ÚKZÚZ).

Rozsah obsahů vanadu v orničním horizontu v půdách BMP činí 13,8 - 203 mg.kg⁻¹. Mediány obsahů vanadu pro jednotlivé kultury základního subsystému se pohybují kolem hodnoty 40 mg.kg⁻¹ v půdách ostatních a kolem hodnoty 24 mg.kg⁻¹ v půdách lehkých (příloha 1). Ve vzorcích z kontaminovaného subsystému jsou hodnoty mediánů i průměrů vyšší a blíží se hodnotám udávaným v literatuře. Uvedená maximální hodnota byla naměřena na lokalitě 5011B, k.ú. Krásný Dvůr, okres Louny, což se shoduje s nálezy z Registru kontaminovaných ploch (Poláková et al., 2014), podle kterého lze oblasti se zvýšeným obsahem nalézt v severních Čechách (okresy Karlovy Vary, Chomutov, Louny) a na Klatovsku (Poláková et al., 2011 - potvrzeno pouze pro výluh 2M HNO₃).

Nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi *základním* a *kontaminovaným subsystémem* v obsazích vanadu, ačkoli v případě TTP a chmelnic jsou obsahy v kontaminovaném subsystému vyšší. Podobně se nenašly průkazné rozdíly mezi sledovanými horizonty ani v *základním subsystému*, ani *kontaminovaném subsystému*. Mezi kulturami v *základním subsystému* jsou mediány obsahů vyrovnané, v *kontaminovaném subsystému* rostou obsahy v jednotlivých kulturách v pořadí: orná půda < TTP < chmelnice. Rozdíl mezi ornou půdou a chmelnicemi je statisticky průkazný.

Zinek (Zn)

Nejčastěji citovaný rozsah obsahů zinku v půdě je 10 – 300 mg.kg⁻¹. Nejsou však vyloučené ani několiknásobně vyšší obsahy. Střední hodnoty (mediány) obsahů zinku v půdě uvádí různí autoři v rozsahu 40 – 77 mg.kg⁻¹ (Adriano, 2001). Z aktuálních dat Registru kontaminovaných ploch byla vypočtena průměrná hodnota obsahu zinku v ostatních půdách 68 mg.kg⁻¹ a v lehkých půdách 73 mg.kg⁻¹ (data ÚKZÚZ).

Obsahy zinku se v orničním horizontu O celého souboru dat z Bazálního monitoringu půd pohybují v rozmezí 22,4 – 1102 mg.kg⁻¹. Mediány pro jednotlivé kultury (příloha 1) jsou většinou vyšší, než čísla uvedená v literatuře. Nejvyšší obsah zinku byl stanoven ve vzorku z lokality 8906KO, k.ú. Dolní

Marklovice, okres Karviná. Druhý a třetí nejvyšší obsah zinku byl nalezen na lokalitě 2905KO, k.ú. Kutná Hora v ornici a podorníči. Lokality se zvýšenými obsahy Zn jsou v rámci republiky roztroušeny mozaikovitě (příloha 7 a 9), nicméně hlavní problematické oblasti se stále opakují - Lounsko, Příbramsko, Kutnohorsko.

Obsahy zinku v *základním subsystému* jsou nižší než v *subsystému kontaminovaných ploch*; rozdíl je průkazný pouze u orných půd jak v ornici, tak v podorníči. Přestože jsou mediány obsahů zinku v ornici vyšší než v podorníči, nezjistily se průkazné rozdíly v horizontech ani u *základního*, ani u *kontaminovaného subsystému*. Mediány obsahů zinku v jednotlivých kulturách *základního subsystému* jsou v orné půdě, sadech a vinicích v podstatě shodné, následují chmelnice a nejvyšší hodnoty byly zjištěny v trvalých travních porostech. Statisticky byl potvrzen průkazně vyšší obsah v TTP proti orné půdě a vinicím. Přestože jsou v *kontaminovaném subsystému* mezi kulturami mnohem větší rozdíly, nejsou tyto rozdíly statisticky významné.

Rtuť (Hg)

Obsahy rtuti v běžných půdách jen velmi zřídka přesáhnou hodnotu $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$. Průměrné obsahy rtuti v evropských půdách kolísají mezi $0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $0,16 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Adriano, 2001). Průměrné obsahy rtuti vypočtené z hodnot Registru kontaminovaných ploch činí $0,09 \text{ mg.kg}^{-1}$ pro ostatní půdy a $0,11$ pro půdy lehké (tabulka 4).

Obsahy rtuti ve vzorcích orničního horizontu celého souboru dat BMP kolísají v rozsahu $0,028 - 40,2 \text{ mg.kg}^{-1}$. Mediány v půdách *základního subsystému* dosahují maximálně $0,09 \text{ mg.kg}^{-1}$, v *kontaminovaném subsystému* jsou hodnoty vyšší (příloha 1). Maximální hodnota ($44,5 \text{ mg.kg}^{-1}$) byla stanovena ve vzorku z podorníči na ploše 5905KO, k.ú. Lubenec. Nejvyšší obsahy byly nalezeny na třech plochách obhospodařovaných jako trvalé travní porosty, přičemž dvě se nacházejí v okrese Nový Jičín (plocha 8903KO, k.ú. Žilina u Nového Jičína a 8025BP, k.ú. Hladké Životice) a třetí v okrese Louny (plocha 5905KO). Zátěž rtutí (Hg) v okrese Nový Jičín se jeví jako typická, což dokládá i srovnání s výsledky z Registru kontaminovaných ploch.

Z přílohy 1 a 3 jsou vidět výrazné rozdíly mezi obsahy rtuti (Hg) v *základním* (nižší) a *kontaminovaném* (vyšší) *subsystému*. Pro ornou půdu a TTP jsou tyto rozdíly průkazné, a to pro všechny horizonty. Dále je z přílohy 1 vidět pokles hodnot obsahů (resp. mediánů) s hloubkou. Rozdíl mezi obsahy v ornici a podorníči byl statisticky potvrzen pro ornou půdu (*oba subsystémy*) a TTP (pouze *pro základní subsystém*). Mediány obsahů rtuti (Hg) v *základním subsystému* vzrůstají v pořadí: chmelnice, vinice, sady, orná půda a TTP. Statisticky průkazně vyšší obsahy rtuti (Hg) ve vzorcích z TTP v *základním subsystému* proti všem ostatním kulturám byly potvrzeny pro oba horizonty; v případě chmelnice pouze pro podorníční horizont. V *kontaminovaném subsystému* vzrůstají obsahy v pořadí: orná půda, TTP, chmelnice. Průkazný rozdíl byl potvrzen pouze obsahy v orné půdě a TTP v podorníči.

3.4.1.2. Obsahy rizikových prvků ve výluhu 2M HNO_3

Pro úplnost jsou v příloze 2 uvedeny také tabulky základní statistiky a v příloze 10 kartodiagramy pro obsahy rizikových prvků stanovené ve výluhu 2M HNO_3 . Tato metoda stanovení obsahů rizikových prvků je uvedena pouze ve vyhlášce č. 13/1994 Sb. Ostatní právní normy zabývající se půdou již tuto metodu stanovení neuvádějí, a proto i v této zprávě se ke slovnímu hodnocení nepřistoupilo.

3.4.2. Vyhodnocení obsahů rizikových prvků v půdách z hlediska limitních hodnot

Obsahy rizikových prvků stanovené po extrakci lučavkou královskou byly dále hodnoceny vzhledem k nově platným *preventivním* hodnotám stanoveným vyhláškou MŽP č. 153/2016 Sb., ale také k *maximálním přípustným hodnotám* (MPH) stanoveným vyhláškou MŽP č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. *Preventivní hodnoty* jsou součástí nového systému hodnocení půdy a představují horní mez variability přírodního a difúzně-antropogenního pozadí a vymezují obsahy, pod jejichž úrovní nedochází k poškozování funkcí půdy. Překročení těchto hodnot ještě nepředstavuje konkrétní riziko, ale v takovém případě již na pozemky nesmí být aplikovány žádné materiály, v jejichž důsledku by se dále zvyšovala koncentrace těchto látek v půdě – např. kaly ČOV a sedimenty. Nový systém hodnocení půd dále zahrnuje tzv. *indikační hodnoty* jako druhý stupeň hodnocení půdy. Tyto limity byly navrženy za účelem ochrany kvality a kvantity zemědělské produkce a ochrany zdraví lidí a zvířat.

Hodnocení se provádí zvlášť pro půdy lehké a ostatní (běžné). Toto rozdělení se odvíjí od obsahu půdních částic o velikosti < 0,01 mm. Pokud je obsah těchto částic v půdě do 20 %, jedná se o půdu lehkou, pokud je vyšší, jsou půdy zařazovány do kategorie ostatní (běžné). V systému Bazálního monitoringu půd se nachází 25 lokalit s lehkou půdou a 189 lokalit s půdou ostatní. V následujících tabulkách jsou uvedeny jak příslušné limitní hodnoty, tak počet nadlimitních vzorků.

V případě hodnocení obsahů prvků v půdě na základě preventivních hodnot dochází na sledovaných lokalitách k překročení preventivní hodnoty častěji u lehkých půd (tabulka 5). Desetiprocentní hranice je v lehkých půdách překonána u arzenu, beryllia, kadmia a mědi; u půd ostatních u arzenu, kadmia a zinku. Celkově jsou preventivní hodnoty nejčastěji překračovány zinkem, kadmiem a arsenem. Je důležité si uvědomit, že preventivní hodnoty nejsou limity jako takové, ale představují horní mez přírodní variability obsahu prvku v půdě a jejich překročení je varováním a důležitým upozorněním pro zemědělce, které by mělo směřovat k udržitelnému hospodaření na půdě tak, aby již nadále nedocházelo k následnému přímému vnášení rizikových prvků do ohrožené půdy.

Tabulka 5. **Preventivní hodnoty** obsahů rizikových prvků v půdě podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. (mg.kg^{-1} suš.) a **počet vzorků/ploch BMP** s nadlimitními obsahy uvedených prvků

		As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn	Hg
Preventivní hodnota	lehká	15	1,5	0,4	20	55	45	-	45	55	120	105	0,3
	ostatní	20	2	0,5	30	90	60	-	50	60	130	120	0,3
Počet nadlimitních vzorků	lehká	4	3	3	2	2	3	-	2	2	0	2	0
	ostatní	25	7	29	2	7	11	-	11	15	2	31	10
	celkem	29	10	32	4	9	14	-	13	17	2	33	10
Procento nadlimitních vzorků	Lehká	16,0	12,0	12,0	8,0	8,0	12,0	-	8,0	8,0	0,0	8,0	0,0
	ostatní	13,2	3,7	15,3	1,1	3,7	5,8	-	5,8	7,9	1,1	16,4	5,3
	celkem	13,6	4,7	15,0	1,9	4,2	6,5	-	6,1	7,9	0,9	15,4	4,7

Rozdíly mezi lehkou a ostatní půdou lze pozorovat také na vzorcích z Registru kontaminovaných ploch (tabulka 6).

Tabulka 6. Registr kontaminovaných ploch - počet analyzovaných vzorků (extrakce lučavkou královskou; Hg totální) a procento vzorků překračující preventivní hodnotu podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. (data ÚKZÚZ 2015)

		As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn	Hg
Počet vzorků celkem		12078	12278	12297	12288	12309	12310	10818	12310	12308	12256	12310	50493
Procento nadlimitních vzorků	Lehká půda	14,3	11,9	11,2	3	16,9	2	-	3,9	3,4	0,9	8	1,2
	Ostatní půda	8,2	4,3	8,7	1,9	4,3	3,1	-	3,9	3,2	2,1	5,3	1,6
	Celkem	9,0	5,3	9,1	2,0	6,0	3,0	-	3,9	3,2	2,0	5,7	1,5

V Registru kontaminovaných ploch zůstávají z hlediska překračování limitních hodnot (tabulka 6) kadmium a arzen jako nejproblematictější prvky (přibližně 9% překročení), nicméně procento překročení je nižší než v systému monitoringu. Procento nadlimitních vzorků zinku je na úrovni chromu a beryllia.

V případě hodnocení obsahů rizikových prvků v půdě podle vyhlášky č. 13/1994 Sb. (příloha 13) byly na sledovaných lokalitách nejčastěji překročeny maximální přípustné hodnoty (MPH) pro arzén, zinek a kadmium. Stanovená limitní hodnota byla častěji překračována v půdách lehkých. Ještě markantněji lze toto pozorovat na vzorcích z Registru kontaminovaných ploch (příloha 13). Podle dat z roku 2015 dochází také u vzorků z Registru kontaminovaných ploch k překročení MPH (pro obsahy prvků stanovené po extrakci lučavkou královskou, vyhláška č. 13/1994 Sb.) častěji u lehkých půd (29,2 % nadlimitních vzorků) než u půd ostatních (11,7 %). U lehkých půd nejčastěji překračuje MPH kadmium, arzen a chrom. U půd ostatních ke třem uvedeným prvkům přistupuje nikl.

Pro úplnost je v příloze 14 uvedena také tabulka maximálních přípustných hodnot pro obsahy prvků stanovené ve výluhu 2M HNO₃, jež jsou také stanoveny vyhláškou č. 13/1994 Sb. Tato metoda stanovení obsahů rizikových prvků je uvedena pouze v této vyhlášce. Ostatní právní normy zabývající se půdou již tuto metodu stanovení neuvádějí. V případě hodnocení obsahů prvků podle vyhlášky č. 13/1994 Sb. (výluh 2M HNO₃) zjišťujeme, že nejvíce byly překračovány MPH pro arzen, olovo a zinek, z toho maximální přípustnou hodnotu pro As překračuje celkově více než 10 % vzorků/ploch z BMP. Nad 10 % jsou u lehkých půd také měď a vanad.

Obsahy všech stanovených prvků na všech monitorovacích plochách BMP jsou jako procento preventivní hodnoty (anebo maximální přípustné hodnoty) graficky znázorněny ve formě kartodiagramů v přílohách 7, 9 a 10.

3.5. Hodnocení změn za období 1995 - 2013

Pro vybrané pozorovací plochy BMP a všechny stanovené prvky je vypočtena **základní statistika** pro všechny odběrové cykly (1992, 1995, 2001, 2007, 2013). Tabulky se nachází v přílohách 5 a 6.

Dále byla použita **Kruskal - Wallisova Anova** a neparametrické následné testování průkaznosti rozdílů mezi druhým a pátým cyklem vzorkování, tzn. mezi odběry uskutečněnými v letech 1995 a 2013 provedenými shodně optimalizovanou metodou vzorkování. Uvedenými metodami byly testovány rozdíly mezi obsahy prvků podle různých třídících parametrů - subsystémů monitoringu (základní x kontaminovaný), horizontů (ornice x podorničí) a kultur (orná půda x trvalé travní porosty x chmelnice x vinice x sady). Rtuť nebyla do testování zahrnuta, protože v roce 1995 nebyla v půdních vzorcích stanovena.

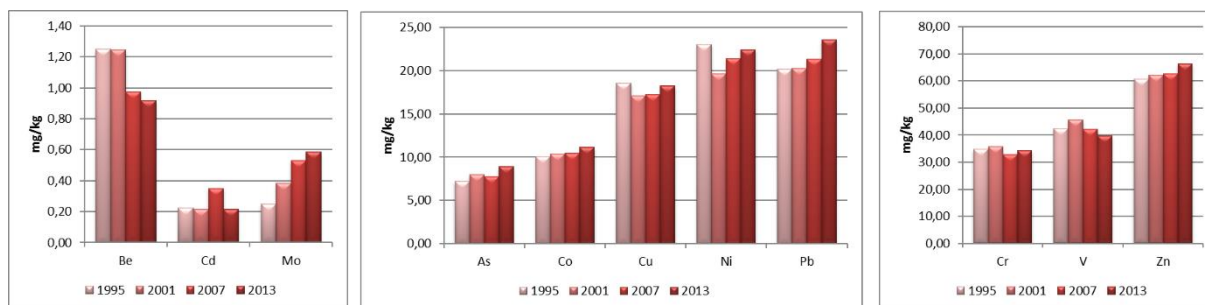
Tabulka 7. Průkazné rozdíly mezi obsahy prvků (stanovení po extrakci lučavkou královskou) ve vzorcích z cyklů 1995 a 2013 (Mann-Whitney, $\alpha = 0,05$)

			As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
orná půda	základní subsystém	ornice	++	++					++		++		++
		podorničí	++	++	++				++		++		++
	kontaminovaný subsystém	ornice											
		podorničí											
TTP	základní subsystém	ornice		++					++		+		
		podorničí		+					++				
		Podorničí 2		+					++		++		
	kontaminovaný subsystém	ornice											
		podorničí										+	
		Podorničí 2											
sady	základní subsystém	ornice		+					++				
		podorničí							++				
vinice	základní subsystém	ornice							+		+		
		podorničí											
chmelnice	základní subsystém	ornice											
		podorničí											
	kontaminovaný subsystém	ornice											
		podorničí											

Jak je vidět z tabulky 7, prvky, u nichž nejčastěji evidujeme průkazné rozdíly mezi lety 1995 a 2013 jsou molybden, berylium a olovo; následují zinek, arzén, kadmium a vanad. Nejčastěji došlo ke změnám v základním subsystému orných půd.

Změny obsahů analyzovaných prvků v odběrových periodách 1995 - 2013 jsou *pro ornou půdu (ornici)* znázorněny v grafu 2.

Graf 2. Mediány obsahů rizikových prvků v ornici orných půd na monitorovacích plochách Bazálního monitoringu půd v jednotlivých odběrových periodách



Od roku 1995 lze u některých prvků (arzénu, kobaltu, olova, zinku a molybdenu) pozorovat postupný nárůst obsahů. K procentuálně největší změně obsahů došlo u molybdenu – proti roku 1995 se medián souboru zvýšil o 134 %. Ostatní prvky (kadmium, chrom, měď, nikl, vanad) zůstávají v podstatě na úrovni z roku 1995, medián obsahů beryllia poklesl vůči roku 1995 o 27 %.

Změny obsahů prvků jsou graficky znázorněny formou kartodiagramů v příloze 8 a obrázcích 6 - 12.

Arzén (As)

Mediány obsahů arzénu v základním subsystému postupně rostou, průkazné zvýšení je však doloženo pouze pro orné půdy základního subsystému. V kontaminovaném subsystému jsou mediány vyrovnané. (Výjimkou se může jevit medián TTP v kontaminovaném subsystému v druhém podorničním horizontu R v roce 1996 (příloha 5), který je mnohonásobně vyšší než v ostatních periodách. Zde je to však způsobeno absencí jednoho vzorku. Soubor ploch TTP v kontaminovaném subsystému tvoří tři plochy, přičemž na dvou z nich jsou obsahy arzénu pod 10 mg.kg^{-1} , na zbývající ploše jsou obsahy v horizontu R nad 100 mg.kg^{-1} . Plocha se nachází v k.ú. Žižkovo Pole (okres Havlíčkův Brod). Tato oblast je zatížena historickou těžbou stříbra a sklářstvím. Navíc se jedná o fluvizem, u kterých je obecně prokázána zvýšená zátěž rizikovými prvky (Skála et al., 2014, Němeček et al., 2010).

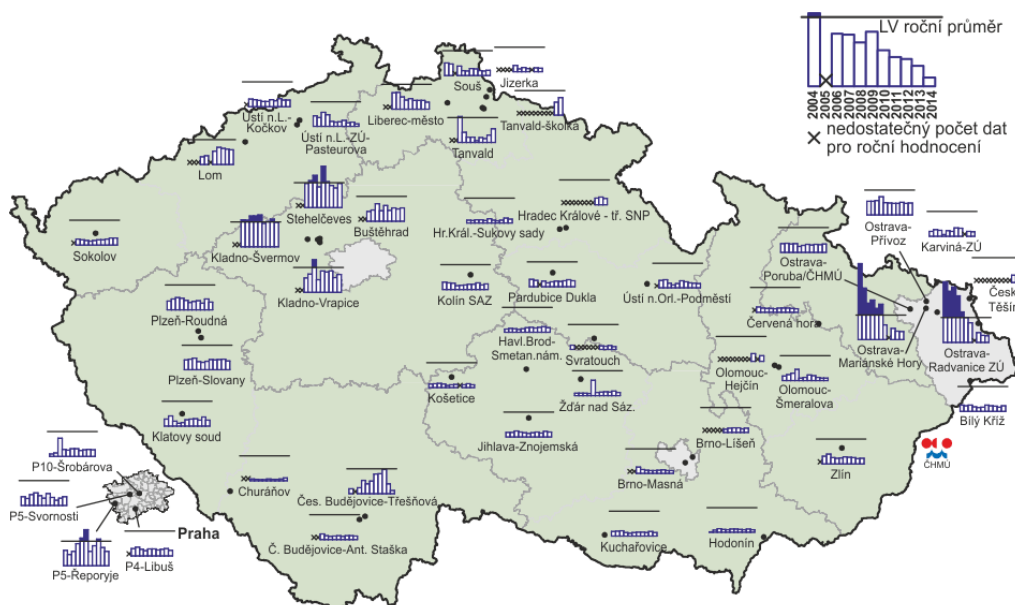
Ke zvýšení obsahů arzénu došlo na většině ploch. Ze zkoumaných 177 ploch se nárůst obsahů projevil na 161 plochách. V průměru se obsah arzénu v ornici zvýšil přibližně o $1,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ (zvýšení proti roku 1995 činí cca 30 %). K největšímu zvýšení v rámci celého souboru ploch došlo na ploše 2905KO z k.ú. Kutná Hora (okres Kutná Hora) a to o 139 mg.kg^{-1} (nárůst o 35 %). Jedná se o ornou půdu.

Za šíření arzénu v životním prostředí je odpovědná především atmosférická depozice. Do ovzduší se arzén dostane s pevnými částicemi, nebo jako aerosol při spalování fosilních paliv (jak v průmyslu, tak v domácích topeništích), popř. unášením „kontaminovaných“ částic větrem. Arzén je ubikvitní prvek a jeho obsah v půdě je podmíněn především geogeně, nicméně obsah může být zvýšen těžbou a zpracováním rud - u nás typické oblasti v okolí Příbrami a Kutné Hory a dále spalováním hnědého uhlí především české provenience - Chomutovsko, Mostecko. As byl také součástí pesticidů, tyto se však používaly jako insekticid v sadech a s nástupem chlorovaných pesticidů bylo jejich používání ukončeno. A protože je arzén ze své chemické podstaty průvodcem fosforu, mohly by možným zdrojem arzénu i být dovážena fosforečná hnojiva.

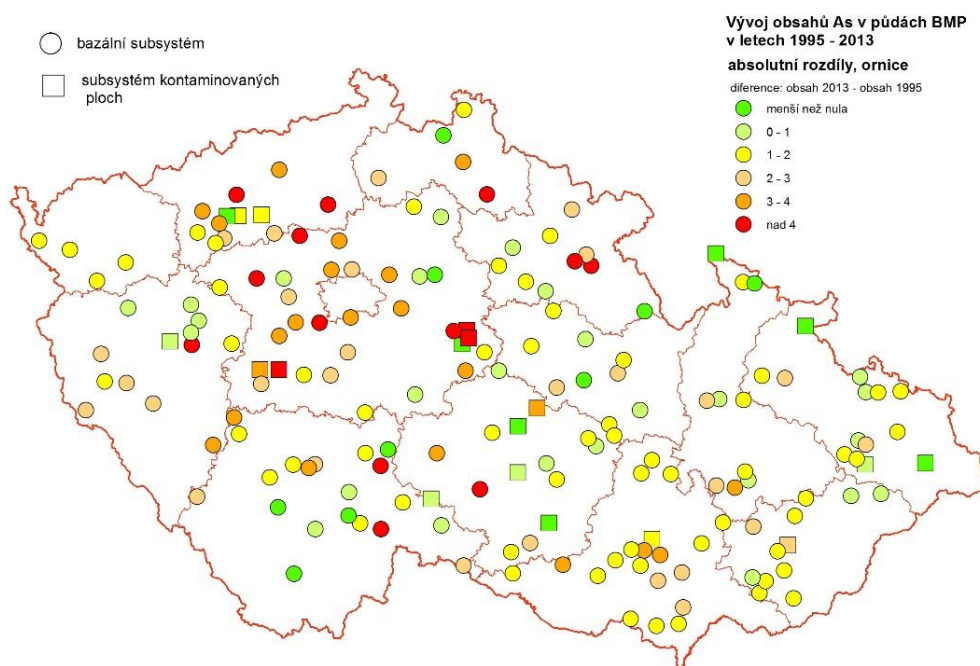
Jelikož zvýšení obsahů arzénu v zemědělských půdách je plošné, jeví se jako velmi pravděpodobný zdroj arzénu atmosférická depozice. Z údajů ČHMÚ (2016) vyplývá, že imise arzénu obecně za posledních 10 let (2004 – 2014) spíše stagnují, nicméně z obrázku 6 je vidět, že imise As jsou vyšší v Čechách, tomu odpovídá i vyšší nárůst obsahů As na plochách BMP v Čechách (obrázek 7). K nejvýznamnějším emisním zdrojům arzénu patří energetika a výroba tepla, významné zdroje se tedy nachází v oblastech s tepelnými elektrárnami a teplárnami spalujícími uhlí v Ústeckém, Středočeském

a Pardubickém kraji. K dalším významným zdrojům emisí všech těžkých kovů obecně patří spalovací procesy při výrobě skla, cementu, vápna a dalších minerálních produktů (ČHMÚ, 2016).

Obrázek 6. Roční průměrné koncentrace arzenu (As) v ovzduší na vybraných stanicích, 2004 – 2014 (zdroj ČHMÚ, 2016)



Obrázek 7. Změny obsahů arzenu (As) na monitorovacích plochách BMP mezi lety 2013 a 1995 (extrakce lučavkou královskou, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)



Berylium (Be)

Mediány obsahů berylia od roku 1995 klesly ve všech kulturách základního subsystému. Snížení obsahu Be je statisticky průkazné pro orniční i podorniční horizonty orných půd a TTP a v případě sadů pro orniční horizont. V kontaminovaném subsystému jsou mediány vyrovnané s výjimkou chmelnic (zde dochází k poklesu obsahů berylia).

Ke snížení obsahů berylia došlo prakticky na všech plochách – ze zkoumaných 177 ploch došlo k poklesu obsahu Be na 170 monitorovacích plochách. Obsah Be klesl v průměru o $0,25 \text{ mg.kg}^{-1}$ (proti roku 1995 se jedná o pokles přibližně 25 %). Téměř o 1 mg.kg^{-1} klesl obsah berylia na ploše 7027B v k.ú. Hrubčice, okres Prostějov (pokles cca o 20 %) a na ploše 7024B v k.ú. Vranín, okres Třebíč (zde se jedná o snížení obsahu proti roku 1995 cca o 40 %). Obě zmíněné plochy jsou obhospodařovány jako orná půda.

V přírodě je tento prvek velmi málo zastoupen a pro jeho vysokou reaktivitu se s ním lze setkat jen ve sloučeninách. Chová se podobně jako hliník tzn., že při nízkém pH se ze sloučenin uvolňuje a dostává se do půdy a vody, kde se sorbuje na povrch jílových minerálů. V půdách je berylium málo mobilní, při pH 4-8 tvoří nerozpustný BeO .

Třebichavský et al. (1997) uvádí, že se do životního prostředí dostává z přírodních (zvětrávání hornin, mineralizované vody z okolí ložisek uhlí a mineralizací) i antropogenních zdrojů (průmyslové emise, spalování fosilních paliv a odpadů). Bohatým zdrojem berylia je např. sokolovské uhlí a následně popílek vzniklý jeho spalováním, unikající do ovzduší (Holoubek et al., 1996). Zdrojem popílku v atmosféře je nejen popílek, který pronikl do komína přes odlučovací zařízení, ale také popílek unášený větrem ze skládek popílku a z pracovních postupů při manipulaci s popínkem. Berylium sorbované na prachové částice je v závislosti na velikosti částic deponováno na půdu buď suchou, nebo mokrou depozicí.

Je možné, že po rozsáhlých instalacích odlučovačů v průmyslovém sektoru v 90. letech 20. století došlo k plošnému snížení emisí popílku a tedy ke snížení imisní zátěže půdy. Zároveň dochází k postupnému snižování pH, což zvyšuje rozpustnost Be v prostředí a může docházet k jeho vyplavování.

Kadmium (Cd)

Mediány obsahů kadmia v základním subsystému kolísají, trend není jasný. V kontaminovaném subsystému je možno pozorovat výrazný pokles hodnot mediánů, s výjimkou chmelnic. Na chmelnicích se obsahy kadmia drží stále na stejné úrovni, v podorničí jsou vyšší obsahy než v ornici. Lze říci, že obsahy kadmia na chmelnicích v kontaminovaném subsystému odpovídají obsahům kadmia v orničním horizontu orných půd kontaminovaného subsystému (patří k nejvyšším). U orných půd však došlo k poklesu měřených hodnot. Nejvyšší obsahy kadmia v základním subsystému byly zjištěny v trvalých travních porostech.

Koncentrace kadmia v ovzduší (ČHMÚ, 2016) neustále klesají. Významnými emisními zdroji kadmia jsou metalurgický průmysl (výroba železa a oceli), energetika a výroba tepla (spalování nekvalitního uhlí), včetně lokálního vytápění domácností. V závislosti na těchto hlavních emisních zdrojích kadmia máme v České republice v podstatě dvě lokality s nadměrnou imisní zátěží kadmiiem – okres Jablonec nad Nisou a Ostrava-město. Emisní zdroje kadmia územně převažují v Moravskoslezském kraji vlivem koncentrace podniků na výrobu železa a oceli (obrázek 8). Oblast Tanvaldu v Libereckém kraji byla typická vysokými emisemi kadmia pocházejícími ze sklářských provozů. I po zavedení moderních technologií, které vedly ke snížení emisí kadmia, zde však dochází k překračování imisních limitů. Současné zdroje kadmia v této oblasti se nepodařilo přesně identifikovat. Nelze opomenout také silniční dopravu jako jeden z hlavních zdrojů kadmia v atmosféře.

Obrázek 8. Roční průměrné koncentrace kadmia (Cd) v ovzduší na vybraných stanicích, 2004 – 2014 (zdroj ČHMÚ, 2016)



Zvýšené obsahy Cd v půdě antropogenního původu lze najít v pánevních okresech (spalování hnědého uhlí) a dále v již zmíněném, silně imisně zatíženém, severomoravském regionu (spalování černého uhlí, metalurgický průmysl). Zvýšené obsahy Cd lze také očekávat v nívních oblastech (ve fluvizemích). Kadmium může sloužit jako indikátor antropogenní zátěže půd také v okolí Příbrami, Kladna, Berouna, Slaného a také v Praze (Němeček et al., 2010). Dalšími antropogenními zdroji mohou být fosforečná hnojiva, spalování odpadů, průmyslová výroba kovů a sloučenin a jejich aplikace.

V půdách Bazálního monitoringu půd jsou nalézány nejvyšší koncentrace kadmia ve vzorcích z okresů Louny a Příbram, dále ze zatíženého severomoravského regionu a ojediněle z okresů Šumperk, Zlín, Havlíčkův Brod a Brno.

Kobalt (Co)

Mediány obsahů kobaltu v základním subsystému od roku 1995 mírně rostou, statisticky průkazné zvýšení obsahů však nebylo prokázáno. V kontaminovaném subsystému jsou mediány vyrovnané. (Výjimkou se může jevit medián TTP v kontaminovaném subsystému v druhém podorničním horizontu R v roce 1996 (příloha 5), který byl přibližně 3x vyšší než v ostatních periodách. Zde je to však způsobeno absencí jednoho vzorku. Soubor ploch TTP v kontaminovaném subsystému tvoří pouze tři plochy, přičemž na dvou z nich se obsahy kobaltu pohybují kolem 10 mg.kg^{-1} , na zbývajících plochách jsou obsahy v horizontu R nad 100 mg.kg^{-1} . Plocha se nachází v k.ú. Žižkovo Pole (okres Havlíčkův Brod). Tato oblast je zatížená historickou těžbou stříbra a sklářstvím, navíc se jedná o fluvizem, u kterých je obecně prokázána zvýšená zátěž rizikovými prvky (Skála et al., 2014, Němeček et al., 2010).

Ke zvýšení obsahu kobaltu ve svrchním orničním horizontu došlo na 85 % orných půd v základním subsystému, v celém systému monitoringu vzrostl obsah kobaltu na 75 % ploch přibližně o $1,1 \text{ mg.kg}^{-1}$

(zvýšení cca o 10 % proti roku 1995). K největšímu zvýšení došlo na ploše v k.ú. Holetín v okrese Chrudim a to o $6,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ (zvýšení téměř o 50 %). Nyní je obsah kobaltu na této ploše v ornici nad 21 mg.kg^{-1} a dosahuje tedy přibližně 2/3 preventivní hodnoty. Na plochách v kontaminovaném subsystému jsou obsahy kobaltu vyrovnané.

Chrom (Cr)

Obsahy chromu v orničním horizontu (v celém systému monitoringu) na 60 % monitorovaných ploch klesají; přičemž pokles proti roku 1995 činí přibližně 20 % (medián). Na ostatních plochách došlo cca k desetiprocentnímu nárůstu obsahů. Z přílohy 8 je ovšem vidět, že ke kladným změnám obsahů chromu (ke zvýšení obsahů) došlo zejména v oblasti Jihomoravského kraje a přiléhajících částí kraje Zlínského, Olomouckého a kraje Vysočina. Celkové obsahy chromu v uvedené oblasti nijak nevybočují z celorepublikového průměru, ale došlo zde k největšímu zvýšení obsahu chromu.

Chrom je považován za typický prvek geogenního původu, jehož obsah v půdě závisí na matečné hornině; často je doprovázen niklem. Distribuce chromu v půdním profilu je proměnlivá, většinou obsahy chromu do hloubky rostou, může to však být i naopak. V půdách BMP nebyl statisticky rozdíl mezi obsahy chromu v ornici a podorníci. Průměrný celosvětový obsah chromu v půdě je 50 mg.kg^{-1} – obsahy v BMP jsou nižší.

Měď (Cu)

Obsahy mědi na monitorovacích plochách BMP jsou vyrovnané, s výjimkou vinic a chmelnic, na nichž dochází k neustálému zvyšování obsahů mědi. V příloze 8 lze vytyčit dvě oblasti s absolutními rozdíly mezi obsahy v roce 2013 a 1995 většími než 4 mg.kg^{-1} . První oblast, na Jižní Moravě, je tvořena převážně vinicemi, druhá oblast se nachází v Čechách a převážně ji tvoří chmelnice. Několik bodů znázorňuje také ornou půdu a trvalé travné porosty.

Na vinicích a chmelnicích sledovaných v rámci BMP byly prakticky každoročně aplikovány přípravky na ochranu rostlin obsahující měď a to i několikrát za rok. Nejčastěji se jednalo o přípravky Cuproxat, Curzate, Kuprikol, Ridomil a Aliette. U posledních dvou jmenovaných již byla ukončena platnost Rozhodnutí o povolení přípravku na ochranu rostlin.

Přírodními zdroji mědi jsou zvětrávání hornin, větrná eroze a roznášení prachu větrem, říční odnos do oceánů a sopečná činnost. Antropogenními zdroji jsou těžba, úprava a zhutňování Cu-rud, výroba slitin, spalování fosilních paliv, výroba a spotřeba sloučenin mědi, pesticidů, katalyzátorů a pigmentů, spalování tuhých komunálních odpadů a nebezpečných odpadů, odpadní vody z galvanoven apod. Vysoké obsahy mědi v půdách se vyskytují i v půdách hnojených kaly z ČOV, lihovarskými odpady a kejdou. Nicméně v případě monitorovaných ploch se jako hlavní zdroj mědi jeví přípravky na bázi mědi.

Molybden (Mo)

Střední hodnoty obsahů molybdenu ve všech kulturách a horizontech postupně rostou. Nárůst obsahů je statisticky průkazný pro ornou půdu, trvalé travní porosty a sady v základním subsystému (tabulka 7). Obsah molybdenu klesl vzhledem k roku 1995 v celém sledovaném souboru ploch pouze na dvou

stanovištích, a to o $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ (cca o 40 %). Na zbývajících plochách obsah Mo vzrostl přibližně o $0,32 \text{ mg.kg}^{-1}$. Relativně došlo ke zvýšení obsahů molybdenu o 110 % proti roku 1995.

Nejvyšší obsahy molybdenu byly zjištěny na chmelnicích v kontaminovaném subsystému, kde jsou obsahy Mo přibližně 2,5x vyšší než v základním subsystému.

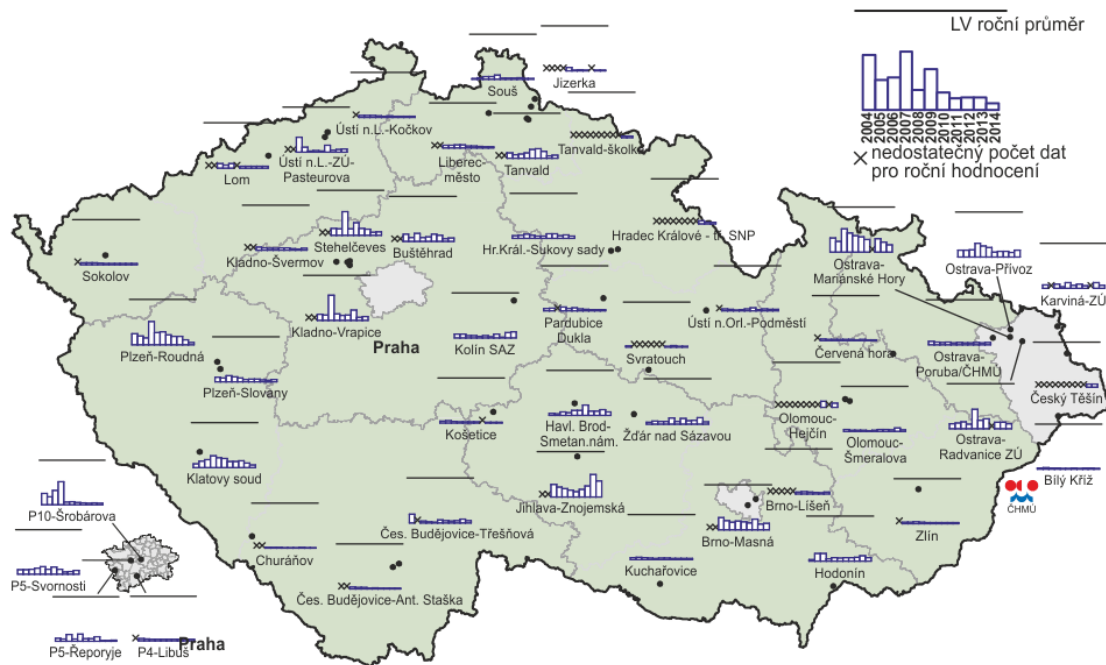
Antropogenními zdroji Mo jsou těžba, metalurgie, spalování fosilních paliv, sklářský, keramický a elektrotechnický průmysl. V atmosféře je vázán na pevné částice a dopadá zpět na zemský povrch. Obsah molybdenu v půdách závisí, kromě průmyslových emisí, na matečné hornině, stupni zvětrávání a obsahu organické hmoty (Mo má tendence akumulovat se v horizontech s vyšším obsahem organické hmoty, tedy v A horizontech půd), přičemž obsahy v půdě mohou být vyšší, než v matečné hornině (Adriano, 2001).

Nikl (Ni)

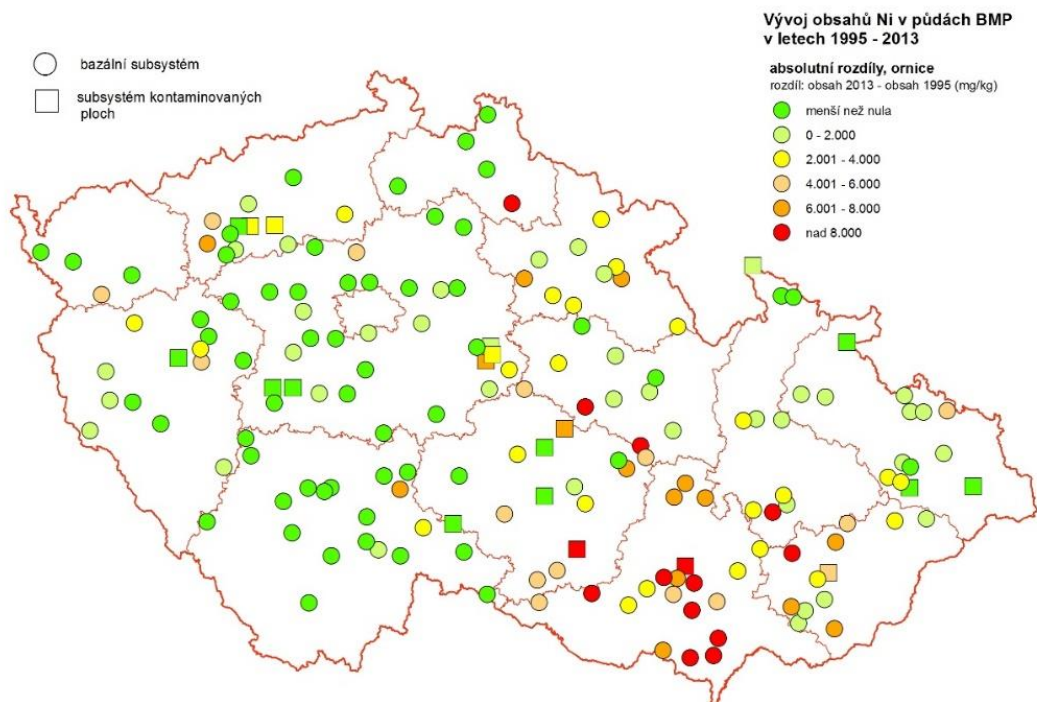
Obsahy niklu v půdách základního subsystému od roku 1995 mírně rostou, více v sadech a vinicích. V půdách kontaminovaného subsystému jsou obsahy niklu od roku 1995 vyrovnané. Z hodnocených 177 monitorovaných ploch došlo ke snížení obsahu niklu na 67 plochách, přičemž snížení činilo přibližně 10 % proti roku 1995. Naopak ke zvýšení obsahů niklu došlo na 108 plochách a vzhledem k roku 1995 činilo cca 17 %. Největší počet ploch, na kterých byl zaznamenán nárůst obsahů niklu, se nachází v Jihomoravském kraji a přilehlých částech kraje Zlínského, Olomouckého a kraje Vysočina. Tato skutečnost se značně podobá situaci u chromu.

Podle ČHMÚ (2016) mají převažující význam pro imise niklu spalovací procesy, především veřejná energetika a výroba tepla. Významné emisní oblasti se nachází v okolí tepelných elektráren a tepláren spalujících uhlí především v Ústeckém kraji a dále v okolí elektrárny Chvaletice (Pardubický kraj) a Teplárny ELÚ III (Plzeňský kraj). Nelze pominout ani spalovací procesy z chemického průmyslu, stavebnictví a výrobu železa a oceli. Nicméně oblasti s nadprůměrnými obsahy niklu v půdách BMP uvedeným emisním oblastem neodpovídají; z přílohy 7 je patrné, že vyšší obsahy niklu jsou v okolí Nového Jičína, Českých Budějovic a Písku a dále na Jižní Moravě a v části kraje Vysočina. (Tato zjištění korespondují s výsledky šetření prováděného v rámci vedení Registru kontaminovaných ploch, Poláková et al., 2011.) Právě ve dvou naposled jmenovaných oblastech jsou zaznamenány také největší změny obsahů niklu vzhledem k roku 1995 (obrázek 10); zvýšení obsahů se projevuje jak v ornici, tak v podornici.

Obrázek 9. Roční průměrné koncentrace niklu (Ni) v ovzduší na vybraných stanicích, 2004 – 2014 (zdroj ČHMÚ)



Obrázek 10. Změny obsahů niklu (Ni) na monitorovacích plochách BMP mezi lety 2013 a 1995 (extrakce lučavkou královskou, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)



Olovo (Pb)

Střední obsahy olova v půdách základního subsystému od roku 1995 rostou. V půdách kontaminovaného subsystému jsou obsahy u trvalých travních porostů a chmelnic vyrovnané, u orných půd se vyznačují meziročním kolísáním. Statisticky průkazné zvýšení obsahů bylo doloženo v základním subsystému orných půd, trvalých travních porostů a vinic.

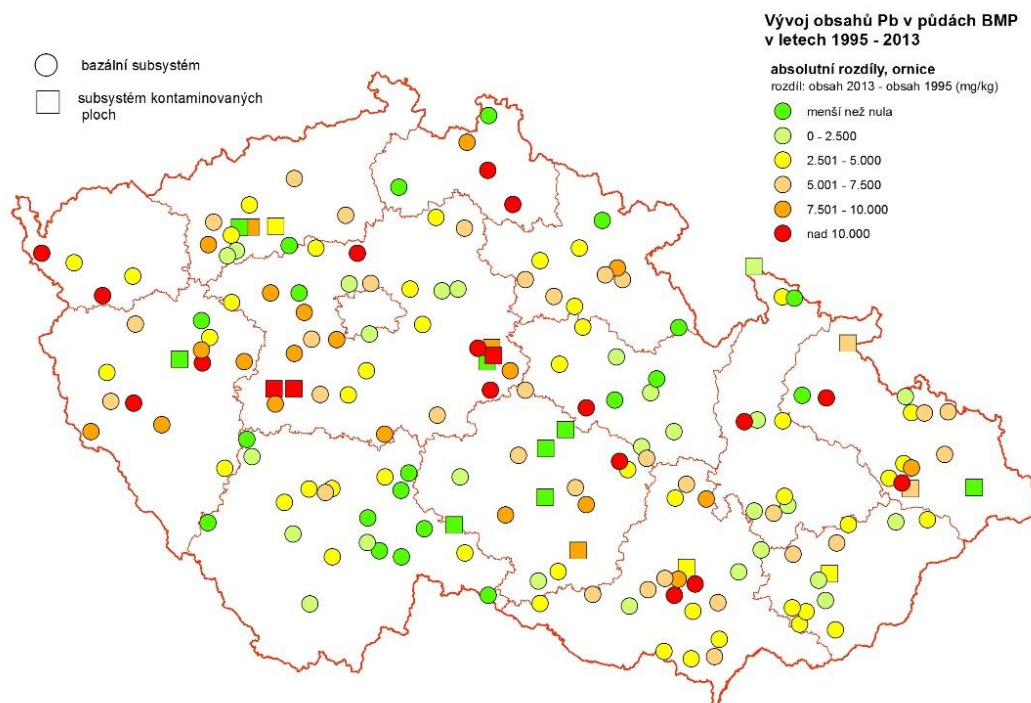
V celém sledovaném souboru monitorovacích ploch klesly obsahy olova proti roku 1995 pouze na 28 plochách (cca 16 % ploch), pokles Pb činil přibližně $2,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ (což představuje zhruba 10% pokles). Na zbývajících plochách se obsahy olova proti roku 1995 zvýšily a to o přibližně 5 mg.kg^{-1} (cca 25% zvýšení). Na obrázku 12 je vidět mozaikovitě zvyšování obsahů olova na jednotlivých monitorovacích plochách BMP.

Olovo se v životním prostředí šíří především atmosférou a ta představuje také hlavní zdroj olova v půdách. Většina olova obsaženého v atmosféře pochází z antropogenních emisí. Mezi hlavní zdroje v ČR patří výroba železa a oceli, spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví, veřejná energetika a výroba tepla, lokální vytápění domácností a silniční doprava (ČHMÚ, 2016). Nejvyšší obsahy olova jsou stále ve městech a v okolí komunikací (typický antropogenní kontaminant), kde obsahy prudce klesají se vzdáleností od komunikace (Mengel et Kirkby, 1987, Halliwell et al., 2000). Olovo v půdě může pocházet také z hnojiv.

Obrázek 11. Roční průměrné koncentrace olova (Pb) v ovzduší na vybraných stanicích, 2004 – 2014 (zdroj ČHMÚ)



Obrázek 12. Změny obsahů olova (Pb) na monitorovacích plochách BMP mezi lety 2013 a 1995 (extrakce lučavkou královskou; mg.kg^{-1})



Vanad (V)

Střední obsahy vanadu v základním i kontaminovaném subsystému ve všech kulturách klesají; v trvalých travních porostech základního subsystému statisticky významně. Celkem došlo ke snížení obsahů vanadu na 127 monitorovacích plochách a to přibližně o 5 mg.kg^{-1} (cca 10% snížení). Na ostatních plochách byly zjištěny vyšší obsahy vanadu v roce 2013 než v roce 1995, přičemž zvýšení činí necelých 6 % (cca $2,3 \text{ mg.kg}^{-1}$). Většina ploch se vzrůstajícím obsahem vanadu se nachází na Moravě.

Vanad je ubikvitní prvek. Do jednotlivých složek životního prostředí vstupuje jak z antropogenních, tak z geogenních zdrojů. K nejvýznamnějším antropogenním zdrojům patří emise ze zpracování oceli a z keramického a chemického průmyslu. Obsah v půdách je ovlivněn také matečnou horninou, přičemž obsahy se mohou pohybovat od jednotek až po stovky mg.kg^{-1} (Adriano, 2001).

Zinek (Zn)

Střední obsahy zinku v půdách Bazálního monitoringu půd vzrůstají; k statisticky průkaznému zvýšení obsahů zinku došlo v orných půdách základního subsystému. Ke zvýšení obsahů vzhledem k roku 1995 došlo na 144 plochách, přičemž zvýšení Zn činí v průměru $8,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ (přibližně 13 %). Na zbývajících plochách byly zjištěny nižší obsahy zinku a to přibližně o 5 mg.kg^{-1} (cca 6 %). Z přílohy 8 je vidět, že ke zvyšování obsahu dochází na území celé České republiky.

Zinek je součástí mnoha výrobků – nádobí, kosmetiky, dezinfekčních prostředků, laků, nátěrů, baterií aj. Dále se používá např. k ochraně dřeva, k ochraně materiálů proti korozi, v textilním a stavebním průmyslu atd. Intenzivní průmyslové zpracování Zn vede k jeho unikům do atmosféry, díky níž se šíří na velké vzdálenosti. Prostřednictvím srážek je poté deponován na zemský povrch. Zemědělská půda může být obohacována zinkem pocházejícím z hnojiv (Adriano, 2001).

4. ZÁVĚR

V roce 2013 se uskutečnily odběry vzorků půd z monitorovacích ploch Bazálního monitoringu půd na 214 pozorovacích plochách. Z každé plochy byly odebrány 4 dílčí vzorky z ornice, podorničí a v případě trvalých travních porostů také z druhého podorničního horizontu R. Celkem tedy bylo odebráno 1888 vzorků. Ve všech vzorcích byly stanoveny vybrané rizikové prvky a to po extrakci lučavkou královskou, ve výluhu 2M HNO₃ a rtuť jako celkový obsah.

Na základě výsledků z roku 2013 lze konstatovat, že obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách v systému Bazálního monitoringu půd jsou v ornici a podorničí většinou vyrovnané. U některých prvků, např. u kadmia, mědi, olova, zinku a rtuti jsou obsahy v ornici vyšší než v podorničí, nicméně tento rozdíl je buď neprůkazný, nebo je průkazný pouze u některých kultur. U olova a rtuti jsou obsahy uvedených prvků průkazně vyšší v ornici u orných půd a trvalých travních porostů (TTP), u mědi je tento rozdíl průkazný u vinic a chmelnic. Růst obsahů prvků směrem do hloubky můžeme pozorovat u kobaltu, niklu a vanadu, přičemž statisticky průkazný je tento rozdíl pouze u niklu (orná půda). U chromu nebyl žádný nárůst obsahů směrem do hloubky půdního profilu pozorován.

Co se týče rozdílu mezi kulturami, nebyl prokázán žádný statisticky průkazný rozdíl obsahů u arzénu, kobaltu, chromu a niklu. U třech prvků byly pozorovány vyšší obsahy v TTP než v ostatních kulturách, průkazně vyšší obsahy potom u kadmia a zinku (TTP x orná půda) a u rtuti (TTP x ostatní kultury). U berylia a olova byly pozorovány nižší obsahy ve vinicích než v ostatních kulturách, u mědi naopak vyšší.

Z hlediska kontaminace půdy rizikovými prvky jsou nejproblematictější oblasti Lounska, Příbramska, Kutnohorska a Havlíčkobrodska. Dále jsou časté nálezy zvýšených obsahů rizikových prvků na jednotlivých lokalitách v okresech Bruntál a Zlín.

V okrese Louny se nachází celkem deset pozorovacích ploch, z toho čtyři lokality s chmelnicemi, na kterých je samozřejmě typická zátěž mědi pocházející z přípravků na ochranu rostlin. Kromě mědi jsou na Lounsku plochy se zvýšenými obsahy As, Be, Cd, Pb a Zn. Pravděpodobně se jedná o mix antropogenní zátěže ze spalování hnědého uhlí (As, Be, Cd) a geogenní zátěže (As, Be, Pb, Zn).

V okolí Příbrami se nachází lokality s extrémními koncentracemi As, dále jsou zde nálezy zvýšených obsahů Cd, Pb a Zn - jedná se nejčastěji o kombinaci geogenní a antropogenní zátěže.

Extrémní koncentrace As se nalézají také v okrese Kutná Hora. Dále jsou zde zvýšené obsahy Cd, Pb, Zn a Cu - jedná se pravděpodobně opět o kombinaci geogenní a antropogenní zátěže pocházející z historické těžby rud (Němeček et al., 2010).

Na Havlíčkobrodsku se nachází tři problémové lokality. V jednom případě se jedná o vyložené lokální antropogenní zátěž pocházející z různých typů navážky, druhé dvě lokality jsou pod tlakem historické těžby stříbra. O rozdílném původu kontaminace svědčí i rozdílná kombinace prvků se zvýšenými obsahy. Zatímco na ploše s navážkou nacházíme zvýšená množství Cd, Cr, Ni a Zn, na zbývajících lokalitách se jedná o As, Pb a Zn.

U zmiňovaných lokalit z okresů Bruntál a Zlín lze předpokládat, že se jedná o antropogenní zátěž v případě Bruntálu způsobenou průmyslovými imisemi a v případě Zlína aplikací kalů v kombinaci s imisemi vlivy z průmyslové zóny.

Obsahy rizikových prvků stanovené po extrakci lučavkou královskou byly dále hodnoceny vzhledem k *preventivním hodnotám* stanoveným vyhláškou MŽP č. 153/2016 Sb. a také k *maximálním přípustným hodnotám* (MPH) stanoveným vyhláškou MŽP č. 13/1994 Sb. Preventivní hodnoty jsou součástí nového systému hodnocení půdy, který byl zaveden novelou zákona o ochraně zemědělského

půdního fondu (zákon č. 334/1992 Sb.) v roce 2015. Z tabulek i textu vyplývá, že na plochách BMP jsou nejčastěji překračovány limitní (popř. preventivní) hodnoty pro arzén, kadmium a zinek. Arzén a kadmium jako nejběžnější kontaminanty jsou potvrzeny také šetřením v rámci Registru kontaminovaných ploch (následuje chrom a nikl). Limitní hodnota je častěji překračována v lehkých půdách.

Pro hodnocení změn a případných trendů byly ze souboru pozorovacích ploch Bazálního monitoringu půd vybrány ty plochy, které jsou v databázi monitoringu od začátku sledování dosud (tzn., že nebyly v průběhu monitoringu z jakýchkoli důvodů zrušeny, posunuty, či založeny jako nové plochy), jsou kontinuálně obhospodařovány jedním způsobem (nedošlo na nich ke změně kultury) a nezměnilo se jejich umístění v terénu. Celkem se jedná o 177 ploch.

U těchto ploch bylo provedeno neparametrické následné testování (Kruskal - Wallisova Anova) průkaznosti rozdílů mezi druhým a pátým cyklem vzorkování, tzn. mezi odběry uskutečněnými v letech 1995 a 2013 provedenými shodně optimalizovanou metodou vzorkování. Prvky, u nichž nejčastěji evidujeme průkazné rozdíly mezi lety 1995 a 2013 jsou molybden, berylium a olovo; následují zinek, arzén, kadmium a vanad. Nejčastěji došlo ke změnám v základním subsystému orných půd. Od roku 1995 lze u některých prvků (arzenu, kobaltu, olova, zinku a molybdenu) pozorovat postupný nárůst obsahů. K procentuálně největší změně obsahů došlo u molybdenu. Ostatní prvky (kadmium, chrom, měď, nikl, vanad) zůstávají v podstatě na úrovni z roku 1995, medián obsahů berylia poklesl vůči roku 1995 o 27 %.

5. CITOVANÉ ZDROJE

- Adriano, D., C. *Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals*. 2nd edition. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, **2001**.
- Halliwell, D., Turoczy, N. et Stagnitti, F. Lead Concentrations in Eucalyptus sp. in a Small Coastal Town. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **2000**, 65, 583-590.
- Holoubek, I., Dušek, L., Čupr, P., Helešic, J., Damborský, J. *Polycyklické aromatické uhlovodíky v prostředí*. Český geologický ústav a Odbor ekologických rizik a monitoringu MŽP ČR, Praha, **1996**.
- Kobza, J.; et al. *Monitoring pôd Slovenskej republiky, súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu*; Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy NPPC: Bratislava, **2014**.
- Kubík, L.; Němec, P.; Poláková, Š. *Celkové obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách České republiky, kartogramy*; Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: Brno, **2014**.
- Mengel, K. et Kirkby, E. A. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Basel, **1987**.
- Němeček, J.; Vácha, R.; Podlešáková, E. *Hodnocení kontaminace půd v ČR*; Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy: Praha, **2010**.
- Poláková, Š.; Hutařová, K.; Němec, P.; Reininger, D. *Obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách České republiky, kartogramy*; Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: Brno, **2011**.
- Poláková, Š.; Hutařová, K.; Reininger, D.; Kubík, L. *Registr kontaminovaných ploch, 2M HNO₃ (1990 - 2009). Průběžná zpráva*; Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: Brno, **2011**.
- Poláková, Š.; Kubík, L.; Němec, P. *Registr kontaminovaných ploch, celkové obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách, průběžná zpráva (1998 – 2013)*; Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: Brno, **2014**.
- Skála, J., Sánka, O., Čechmánková, J., Vácha, R., Horváthová, V., Sánka, M., Mikeš O. *Soubor map. Kontaminace zemědělských půd v záplavových oblastech České republiky – část I. Rizikové prvky*. 1. vydání. VÚMOP, Praha, **2014**.
- Třebichavský, J., Havrdová D., Blohberger, M. *Těžké kovy*. 1. vyd. Ing. František Nekvasil. Expertizy a poradenství v oblasti odpadů a nerostných surovin, Kutná Hora, **1997**.
- Vyhláška č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu
- Vyhláška č. 153/2016 Sb., o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu

Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů.

Zbíral, J. et al. (2011). *Analýza půd II. Jednotné pracovní postupy*. 3. vyd. ÚKZÚZ, Národní referenční laboratoř, Brno, **2011**.

Znečištění ovzduší na území České republiky. Grafické ročenky, 2014. Český hydrometeorologický ústav.
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/14groc/gr14cz/IV6_TK_CZ.html (accessed April 17, 2016).