

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Sekce zemědělských vstupů



BAZÁLNÍ MONITORING ZEMĚDĚLSKÝCH PŮD
OBSAH RIZIKOVÝCH PRVKŮ
1995–2019

Zpracovali: Mgr. Šárka Poláková, Ph.D.

Ing. Ladislav Kubík, Ph.D.

Ing. Dušan Reiningger, Ph.D.

Schválil: Ing. Miroslav Florián, Ph.D.

ředitel Sekce zemědělských vstupů

Brno, leden 2023

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	CÍLE	6
3	METODIKA PRACÍ.....	7
3.1	Monitorovací plochy.....	7
3.2	Principy chemických metod.....	10
3.3	Struktura monitorovacích ploch v roce 2019	11
3.4	Hodnocení výsledků	12
3.4.1	Hodnocení dat získaných v průběhu základního vzorkování v roce 2019	12
3.4.2	Hodnocení změn obsahů prvků za období 1995–2019	14
4	VÝSLEDKY.....	15
4.1	Arzén (As)	15
4.2	Beryllium (Be)	20
4.3	Kadmium (Cd).....	24
4.4	Kobalt (Co).....	29
4.5	Chrom (Cr)	33
4.6	Měď (Cu).....	38
4.7	Molybden (Mo).....	42
4.8	Nikl (Ni).....	46
4.9	Olovo (Pb).....	51
4.10	Vanad (V)	56
4.11	Zinek (Zn).....	60
4.12	Rtuť (Hg)	64
4.13	Vyhodnocení obsahů rizikových prvků v půdách z hlediska limitních hodnot.....	68
5	ZÁVĚR	70
6	LITERATURA.....	73

1 ÚVOD

Půda je jedna ze základních složek životního prostředí, zcela nezbytná pro život na Zemi. Až do sametové revoluce se režim rizikovými prvky nijak významně nezabýval, což v souvislosti s velkým znečišťováním prostředí vyvolávalo velké obavy ohledně kontaminace našich půd. V 90. letech 20. století proto byly schváleny zákony k ochraně zemědělské půdy, ochraně přírody apod. a současně se podařilo založit síť bodů/lokalit, na kterých se měly dlouhodobě sledovat vybrané půdní parametry.

Bazální monitoring zemědělských půd byl založen v roce 1992, a to na základě zkušeností z Bavorského zemědělského zemského ústavu (BLA), který poskytl vlastní používanou metodologii a know-how. V současné době probíhá monitoring na 214 lokalitách, na kterých se minimálně 1x za šest provádí odběry půdních vzorků a jejich analýzy. Vzhledem k velkému množství analyzovaných parametrů je hodnocení monitoringu rozděleno do několika dílčích zpráv.

Předkládaná zpráva hodnotí stav zemědělských půd z hlediska obsahu rizikových prvků.

2 CÍLE

Bazální monitoring zemědělských půd je systém dlouhodobého sledování vybraných půdních parametrů na stálých monitorovacích plochách stálými metodami. To nám umožňuje hodnotit nejen současný stav, ale také vývoj jednotlivých parametrů v čase.

Získaná data slouží jako jeden z podkladů např. při tvorbě legislativních předpisů, za účelem validace analytických metod, jako podklad ke středoškolské nebo vysokoškolské výuce, případně jako jedna z mnoha datových vrstev zpracovávaných státními a výzkumnými institucemi a jsou (mimo jiné) uložena na serverech MZe.

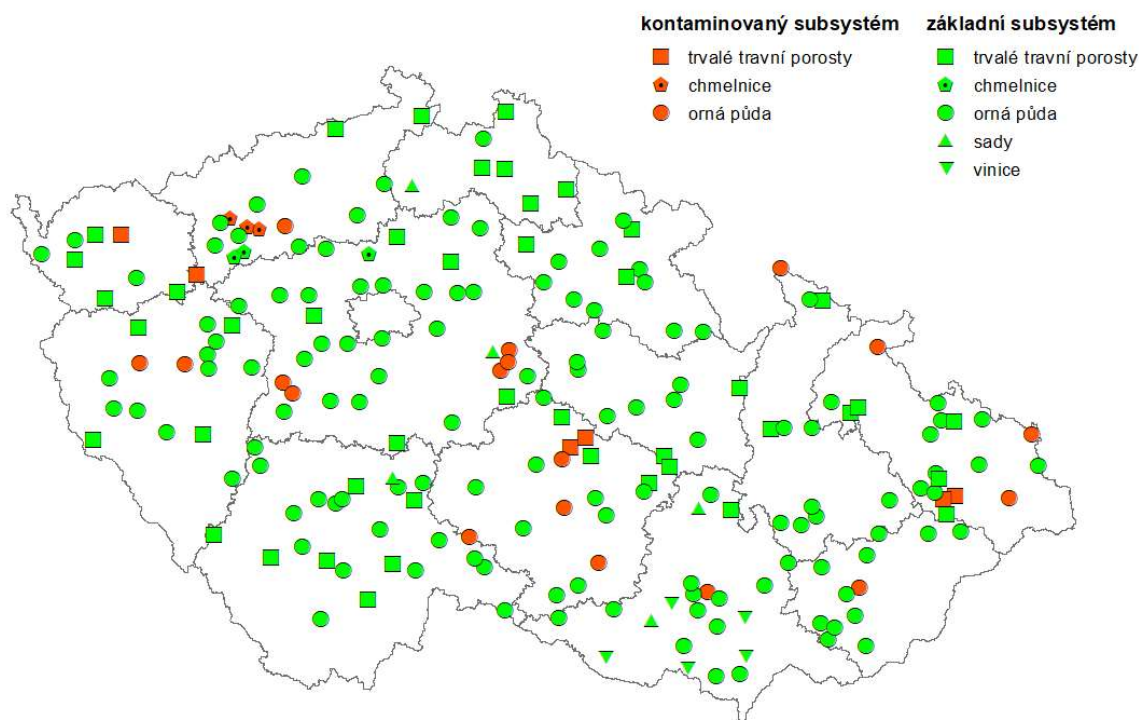
3 METODIKA PRACÍ

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.

V současné době je aktivních 187 ploch v základním subsystému a 27 ploch v subsystému kontaminovaných ploch. Obrázek 1 ukazuje současné rozmístění lokalit BMP.

Obrázek 1. Lokalizace pozorovacích ploch Bazálního monitoringu půd v roce 2019 (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,
- 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.).

Zdaleka ne všechny pozorovací plochy se nachází v majetku ÚKZÚZ. Většina ploch se nachází na pozemcích náležejících právním subjektům, které zde hospodaří způsoby, jež jsou pro naše zemědělství typické. Z tohoto důvodu se v průběhu uplynulých tří desetiletí změnil u některých pozorovacích ploch způsob využívání, popř. musely být některé plochy zrušeny, to znamená, že v jednotlivých vzorkovacích cyklech (kampaních) 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 vzorkovacích kampaních				
	1995	2001	2007	2013	2019
orná půda	163	161	155	154	148
trvalé travní porosty	31	35	43	44	50
sady	7	6	6	6	5 ¹
vinice	4	5	5	5	5
chmelnice	7	7	5	5	6 ²
Celkem	212	214	214	214	214

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

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.

¹ Sad na ploše 7007BP vykácen, nyní vzorkováno jako orná půda.

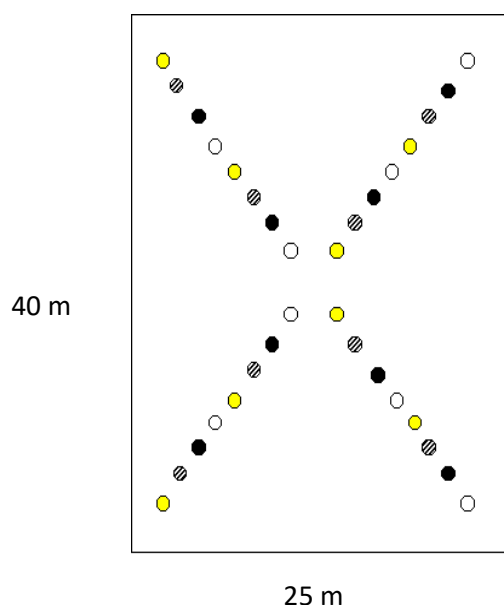
² Plocha 5904K byla v letech 2003–2016 obhospodařována jako orná půda. V roce 2017 byla zahájena stavba nové konstrukce a v roce 2018 se na ploše opět objevil chmel.

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

<u>Jednorázové odběry a identifikace pozorovací plochy</u>	<u>Základní vzorkování 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 HNO₃ - 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 2); odebírají se vždy čtyři směsné vzorky z ornice a podorničí, jejichž rozmístění na pozorovací ploše je na obrázku vyznačeno pomocí různých barev; při každoročních odběrech se vzorkování provádí metodou „po lomené čáře“.

Obrázek 2. Odběrové schéma vzorkování zemědělských půd v základní šestileté periodě odběrů



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. Odběrová kampaň proběhla v roce 2019. Vzorky byly odebrány podle schéma z obrázku 2.

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 zvýšené teploty po dobu 2 hodin. Sledované parametry byly měřeny na spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES).

Extrakce půd 0,43M kyselinou dusičnou (Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn)

Upravený půdní vzorek se extrahuje při laboratorní teplotě 0,43M kyselinou dusičnou při poměru (půda:extrakční roztok = 1:10 (m/V) po dobu 4 hodin. Sledované parametry byly měřeny na spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES).

3.3 Struktura monitorovacích ploch v roce 2019

V tabulce 3 je zaznamenán počet ploch v roce 2019 podle krajů ČR a v tabulce 4 je počet ploch BMP nacházejících se v jednotlivých výrobních oblastech.

V roce 2019 se soubor skládal ze 148 PP orných půd, 50 PP trvalých travních porostů, 5 PP sadů, 5 PP vinic a 6 PP chmelnic (tabulka 5). Celkem bylo odebráno 1912 vzorků (tabulka 6). U orných půd, sadů, vinic a chmelnic byly odebírány vzorky ze dvou horizontů (O, P) a z každého horizontu 4 směsné vzorky. Tzn., že z každé plochy bylo odebráno 8 vzorků. U trvalých travních porostů byly odebrány tři horizonty (O, P, R) a z každého horizontu opět 4 směsné vzorky. Z každé plochy TTP bylo tedy odebráno 12 vzorků.

Tabulka 3 Počet ploch BMP podle jednotlivých krajů ČR v roce 2019

Kraj	Celkem ploch	Orná	TTP	Sady	Vinice	Chmelnice
Hl. město Praha	0	0	0	0	0	0
Jihočeský	25	17	7	1	0	0
Jihomoravský	22	14	1	2	5	0
Karlovarský	8	3	5	0	0	0
Královéhradecký	13	10	3	0	0	0
Liberecký	7	1	5	1	0	0
Moravskoslezský	20	13	7	0	0	0
Olomoucký	11	9	2	0	0	0
Pardubický	10	8	2	0	0	0
Plzeňský	16	12	4	0	0	0
Středočeský	34	27	5	1	0	1
Ústecký	17	9	3	0	0	5
Vysočina	19	13	6	0	0	0
Zlínský	12	12	0	0	0	0
Celkem	214	148	50	5	5	6

Tabulka 4 Počet ploch BMP v jednotlivých výrobních oblastech v roce 2019

Výrobní oblast	Počet ploch
Kukuřičná	6
Řepařská	92
Bramborářská	109
Horská	7
Celkem	214

Tabulka 5 Zastoupení počtu PP v jednotlivých kategoriích půdních druhů v rámci kultur na plochách BMP v roce 2019

Druh půdy	Orná půda	TTP	Sady	Vinice	Chmelnice
Lehká	12	11	0	2	0
Střední	123	36	5	3	5
Těžká	13	3	0	0	1
Celkem	148	50	5	5	6

Tabulka 6 Počet odebraných a hodnocených PP a vzorků BMP v roce 2019

	Počet PP	Počet vzorků	Základní subsystém		Subsystém kontaminovaných ploch	
			Počet PP	Počet vzorků	Počet PP	Počet vzorků
Hodnocené vzorky	214	1912	187	1696	27	216

3.4 Hodnocení výsledků

Hodnocení výsledků probíhalo ve dvou krocích:

1. Hodnocení dat v rámci poslední odběrové kampaně (2019)
2. Hodnocení změn mezi odběrovými kampaněmi (1995–2019)

3.4.1 Hodnocení dat získaných v průběhu základního vzorkování v roce 2019

3.4.1.1 Statistické zpracování souboru dat (2019)

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)
- Testování statistické významnosti změn obsahů vybraných prvků mezi vybranými faktory pomocí Kruskal-Wallisovy neparametrické analýzy rozptylu a následným testováním rozdílů mezi úrovněmi faktorů (v případě hodnocení kultur byly testovány pouze obsahy v ornici)

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 těchto faktorů: 1) kultur, 2) horizontů. Byl-li vliv faktoru statisticky významný, tj. nenáhodný, bylo provedeno vícenásobné testování (testování statistické průkaznosti rozdílů mezi úrovněmi faktoru).

Pro statistické zpracování byly použity programy MS Excel 365, NCSS 8.

Obsahy rizikových prvků stanovené ve výluhu 0,43M HNO₃ byly podrobeny pouze deskriptivní analýze dat.

3.4.1.2 Vyhodnocení obsahů rizikových prvků v půdách z hlediska limitních hodnot

Zjištěné obsahy rizikových prvků (stanovené po extrakci lučavkou královskou) byly porovnány s platnými limitními hodnotami pro zemědělské půdy s přihlédnutím k nejistotám měření.

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 jsou obsahy vybraných prvků a látek nejdříve porovnávány s *preventivními hodnotami*, které představují horní požadované 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, je 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. Zmiňované preventivní a indikační hodnoty jsou definovány 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 stanovené ve výluhu 0,43M HNO₃ nemají stanovené žádné limitní hodnoty.

3.4.1.3 Mapy obsahů prvků na monitorovacích plochách BMP

Lokality odběru směsných vzorků jsou prostorově určeny v souřadnicovém systému S-JTSK. K souřadnicím jsou připojeny výsledky analýz v jednotkách mg.kg⁻¹. Mapové interpretace byly prováděny v geografickém informačním systému ArcGIS ArcMap 10.5.1.

Obsah rizikových prvků (po extrakci lučavkou královskou) v půdě je zobrazen jako procentická hodnota, kterou zaujímá obsah daného prvku na lokalitě vzhledem k preventivní hodnotě. Obsahy rizikových prvků stanovené ve výluhu 0,43M HNO₃ jsou zobrazeny v mg.kg⁻¹.

Prezentovaná forma mapových a statistických výstupů databáze poskytuje základní informace o obsazích vybraných rizikových prvků v půdách České republiky.

3.4.2 Hodnocení změn obsahů prvků za období 1995–2019

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, nebo 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 173 ploch (tabulka 7), dále jako „soubor stálých ploch“ nebo „stálé plochy“.

Tabulka 7. Struktura souboru BMP pro hodnocení změn a případných trendů v období 1995–2019

	Základní subsystém	Kontaminovaný subsystém	Monitoring půd ČR (celkem)
orná půda	122	15	137
trvalé travní porosty	19	3	22
sady	4	0	4
vinice	4	0	4
chmelnice	3	3	6
celkem	152	21	173

3.4.2.1 Statistické zpracování souboru dat 1995–2019

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 (1995, 2001, 2007, 2013, 2019)
- Exploratorní analýza dat – sestavení krabicových grafů (box plots),
- Testování statistické významnosti změn obsahů vybraných prvků mezi jednotlivými odběrovými kampaněmi – Anova pro opakovaná měření, pro orniční a podorniční vrstvu pro orné půdy a TTP. Testování rozdílů bylo provedeno Scheffeho testem. Sady, vinice a chmelnice statisticky hodnoceny nebyly z důvodu nízkého počtu ploch.

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 8.

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

Kartodiagramy byly sestaveny v softwaru ArcGIS ArcMap 10.5.1. V textu jsou zařazeny kartodiagramy vyjadřující absolutní rozdíl mezi obsahem prvku v roce 1995 a v roce 2019 v mg.kg^{-1} . V přílohách se nachází kartodiagramy vyjadřující rozdíl mezi obsahy prvku v uvedených letech vyjádřený pomocí nejistoty měření. Ke každé hodnotě naměřené v roce 2019 byla vypočtena nejistota měření (vyjádřená v mg.kg^{-1}) a tato byla porovnávána s rozdílem obsahů v letech 1995 a 2019.

4 VÝSLEDKY

4.1 Arzén (As)

Arzén je ubikvitní prvek, který je složkou více než 245 minerálů. Zvláště vysokých koncentrací dosahuje v sulfidických rudách (chalkofilní prvek). Jeho výskyt v půdě je primárně ovlivněn geologickým pozadím, jedná se tedy o geogenní prvek. Mezi další přírodní zdroje arsenu v životním prostředí patří především vulkanická činnost a lesní požáry. Přírozený obsah arzenu v půdě může být významně zvýšen průmyslovou činností. Mezi nejvýznamnější antropogenní zdroje arsenu patří zejména spalování fosilních paliv, těžba a zpracování rud a návazný metalurgický průmysl (Třebichavský, 1997, Adriano, 2001). A protože byl arzén součástí pesticidů určených k ošetření lesa a sadů, je nutné zmínit i tento zdroj³. Dalším možným zdrojem As v půdě, také spojeným se zemědělstvím, je používání fosforečných hnojiv se zvýšeným obsahem arzenu.

K šíření arzenu v životním prostředí dochází prostřednictvím atmosférické depozice. Do atmosféry se As dostane ve formě polévatého prachu nebo aerosolu, jak z přirozených, tak z antropogenních zdrojů. Poté je vzdušnými masami transportován na různé vzdálenosti až dojde k jeho odstranění z atmosféry formou suché nebo mokré depozice.

V půdě se arzén vyskytuje hlavně ve formě arzenitanů nebo arzeničnanů železa a hliníku, které jsou zejména v kyselém prostředí těžko rozpustné. S tím souvisí vyšší pohyblivost As při vyšším půdním pH (obsah v půdním roztoku je vyšší při vyšším pH). Obecně platí, že As^{3+} je slaběji sorbován než As^{5+} , je tedy v půdním profilu mobilnější a může se vyluhovat do nižších horizontů (Adriano, 2001). Arzén je řazen mezi prvky s nejnižší mobilitou a nejnižším transfer faktorem. Pouze extrémně vysoké geogenní obsahy mohou být ekologicky rizikové (přestup do rostlin) (Podlešáková et al., 2001, Kobza, 2005).

Obsah As v nekontaminovaných půdách zřídka přesáhne 10 mg.kg^{-1} . Půdy překrývající sulfidické rudy dosahují stovek mg.kg^{-1} – průměr 126 mg.kg^{-1} , rozpětí $2\text{--}8000 \text{ mg.kg}^{-1}$. Kobza (2017) uvádí pro zemědělské půdy Slovenska medián $8,91 \text{ mg.kg}^{-1}$ (extrakce lučavkou královskou).

V České republice jsou zvýšené obsahy As v půdě typické pro oblast Severočeských hnědouhelných pánví. Důvodem je jeho vyšší obsah v hnědém uhlí. V těchto oblastech se tedy vyskytují geogenně zvýšené obsahy As v půdě dále navýšované spalováním hnědého uhlí (a následnou atmosférickou depozicí). Nejvyšší obsahy As byly zjištěny na Chomutovsku a Mostecku. Geogenně podmíněné zvýšené obsahy As u nás souvisí také s těžbou rud. Dokladem toho jsou vyšší koncentrace As v okolí Příbrami a Kutné Hory. Arzén se do prostředí uvolňuje při zvětrávání pozůstatků důlní činnosti (hald, strusek), jedná se tedy o kombinaci geogenního (sulfidické rudy) a antropogenního znečištění. Spolu s Cu, Pb, Zn je As charakteristickým kontaminantem tohoto regionu (Tlustoš et al., 2007, Horák et al., 2016). Zvýšené hodnoty As se nachází také v severozápadních Čechách, Krkonoších, Jizerských horách a Orlických horách (Němeček et al., 2010).

Pro člověka a další živočichy jsou toxické všechny sloučeniny arzenu, kromě kovového (As^0), který je však po požití velmi rychle přeměněn na jinou, toxickou sloučeninu. Anorganické sloučeniny As jsou toxičtější než organické, a trojmocný arzén je toxičtější než pětímocný (Biotox.CZ, 2022). Fytotoxicita se projevuje omezením růstu a snížením produkce. Nedochází k takové akumulaci As v pletivech, která by byla toxikologicky významná pro člověka.

³ S nástupem chlorovaných pesticidů bylo jejich používání ukončeno.

Rok 2019

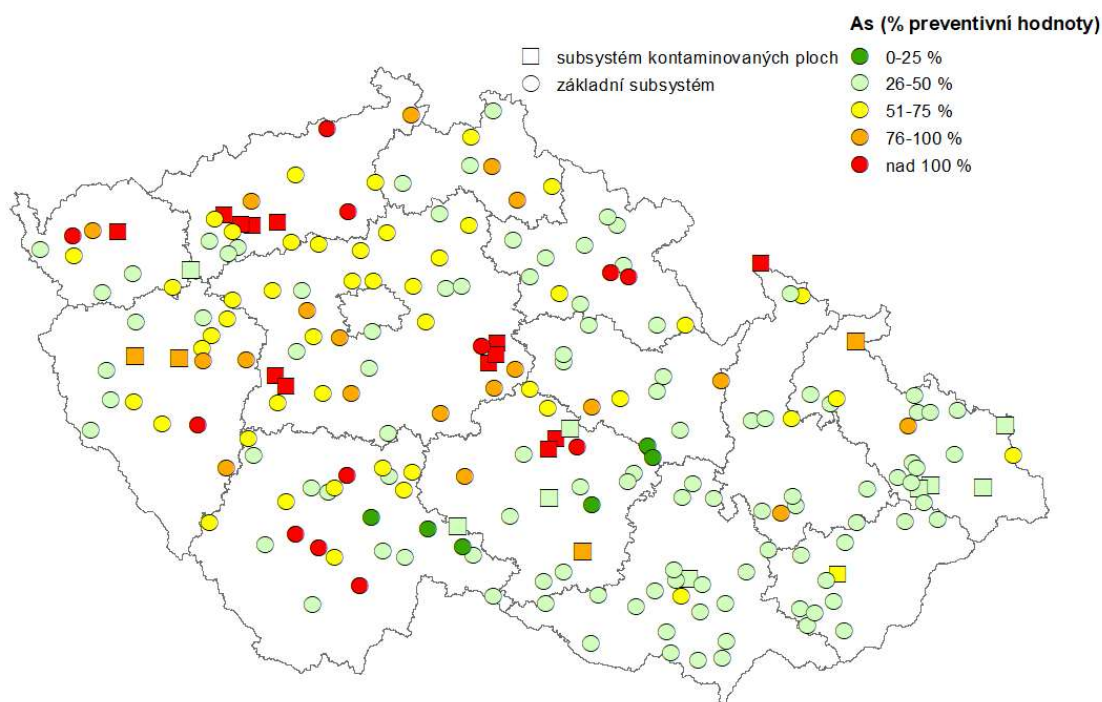
Rozsah naměřených obsahů As v celém souboru Bazálního monitoringu půd (BMP) se pohybuje od $<1,5$ do 715 mg.kg^{-1} suš., přičemž minimální i maximální obsahy byly zjištěny ve vzorcích podorničí orných půd. Nejnižší obsah byl naměřen ve vzorku podorničí z plochy 3012B, ve vzorku ornice na téže ploše byl obsah As také velmi nízký – $4,19 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. Naopak dva nejvyšší obsahy As pochází z plochy 2905KO v k.ú. Kutná Hora.

Tabulka 8 Základní statistika obsahu arzenu v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019 (lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

As	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
orná půda	O	148	19,78	9,02	3,82	556,25	5,79	7,19	13,23	18,99
	P	148	19,66	8,19	$<1,5$	715,25	5,30	6,44	12,01	17,78
TTP	O	50	14,72	9,41	3,57	65,53	5,41	7,62	15,80	30,94
	P	50	14,03	9,80	3,62	75,33	5,24	7,29	14,57	26,36
	R	50	14,12	9,24	2,82	135,48	5,04	6,58	12,82	23,59
sady	O	5	86,02	8,67	7,42	395,00	7,69	8,08	10,92	241,37
	P	5	88,72	8,47	7,98	408,00	8,17	8,46	10,67	249,07
vinice	O	5	6,54	6,44	4,16	9,89	4,33	4,60	7,62	8,98
	P	5	6,15	5,30	4,11	9,85	4,15	4,20	7,31	8,83
chmelnice	O	6	23,93	21,04	7,81	42,90	8,04	9,28	39,32	42,70
	P	6	24,05	20,68	6,82	46,23	7,18	8,87	38,91	44,30

O – ornice, P – podorničí, R – druhé podorničí

Obrázek 3 Obsah arzenu na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 vyjádřený jako procento preventivní hodnoty. Červeně jsou označeny plochy s obsahem As vyšším než preventivní hodnota (ornice, lučavka královská)

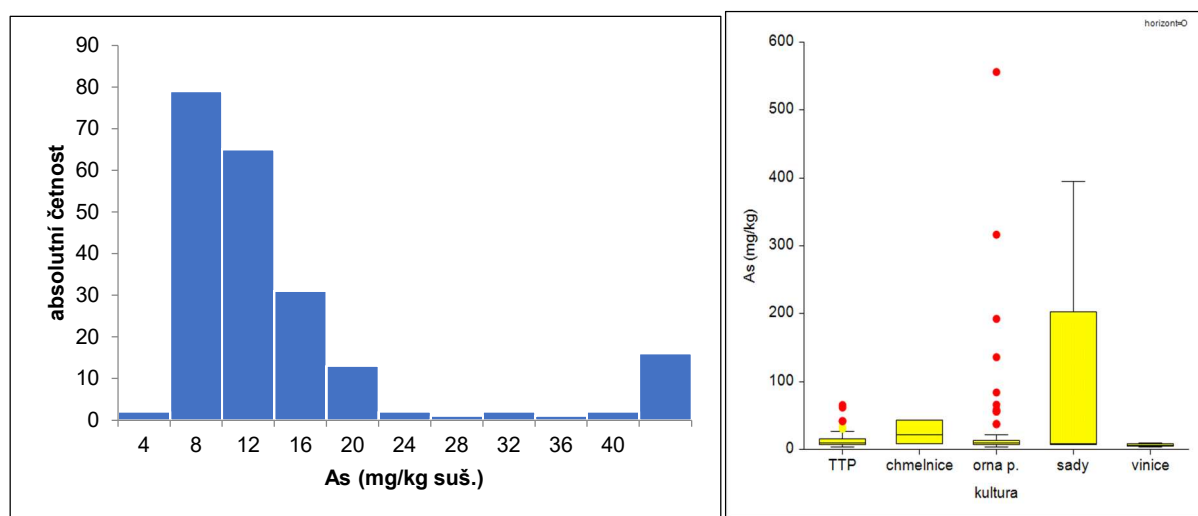


Vysoké obsahy arzenu v okolí Kutné Hory potvrzují i měření prováděná v rámci vedení tzv. Registru kontaminovaných ploch (RKP). Průměrné celkové obsahy As se v tomto souboru dat pohybují kolem 11 mg.kg^{-1} jak v lehkých, tak i středních a těžkých půdách (tabulka 9). Podle kartogramů sestavených na základě dat z RKP (Kubík et al., 2021) je vidět, že vyšší koncentrace As jsou, jak je zmíněno výše, v oblasti těžby rud a uhelných pánví a dále pak v okolí Kašperských Hor a u polských hranic v okolí Javorníka. Jak z kartogramů RKP, tak z obrázku 3 je vidět, že vyšší obsahy arzenu jsou v české části republiky, přičemž obsahy od 4 do 12 mg.kg^{-1} suš. arzenu se nachází na cca 67 % ploch BMP, na dalších 14 % ploch BMP má obsah 12 až 16 mg.kg^{-1} suš. (obrázek 4).

Tabulka 9 Průměrné obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách ČR z databáze Registr kontaminovaných ploch, 1998–2021 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, Hg totální, data ÚKZÚZ 2022)

	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
lehké půdy	11,4	0,95	0,23	10,4	42,9	18,1	0,09	23	25,1	44,2	71,4
běžné půdy	11,8	1,04	0,29	11,6	40,2	21,5	0,10	24,2	28,5	48,7	75,8

Obrázek 4 Rozložení obsahů arzenu v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)



Z průměrných hodnot se vymykají sady, zatímco medián odpovídá ostatním kulturám. Za vysokou hodnotu průměru odpovídá (v podstatě) extenzivní sad na ploše 2014B v k.ú Kutná Hora, na ostatních plochách je obsah As do 10 mg.kg^{-1} suš. Mediány obsahů As se v jednotlivých kulturách pohybují v jednotkových množstvích s výjimkou chmelnic, kde medián přesahuje 20 mg.kg^{-1} suš. (což je preventivní hodnota pro ostatní půdy). Rozdíly mezi kulturami však nebyly vyhodnoceny jako statisticky významné, stejně tak rozdíly mezi obsahy v ornici a podorníci.

Preventivní hodnota pro obsah As je pro ostatní půdy stanovena na 20 mg.kg^{-1} , pro lehké 15 mg.kg^{-1} . Preventivní hodnotu pro lehké půdy překročily 3 vzorky BMP, preventivní hodnota pro ostatní půdy byla překročena u 22 vzorků ve všech kulturách kromě vinic (hodnocen orniční/svrchní horizont). V počtu překročení preventivní hodnoty je As na třetím místě, těsně za Zn. Překročení jsou zejména v oblasti české části republiky, pouze 3 lokality leží v kraji

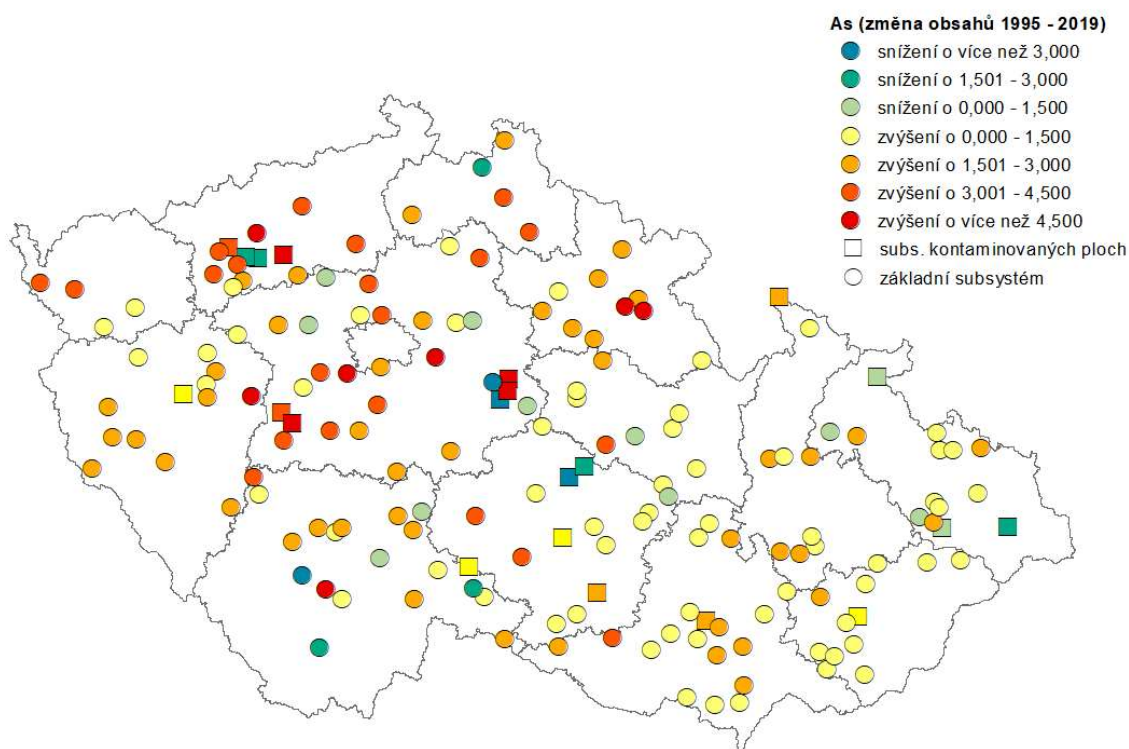
Vysočina mezi Havlíčkovým Brodem a Žďárem nad Sázavou (obrázek 3). V této oblasti se nachází/nacházela ložiska polymetalických rud, která byla zejména ve středověku intenzivně těžena (Rous, 2022).

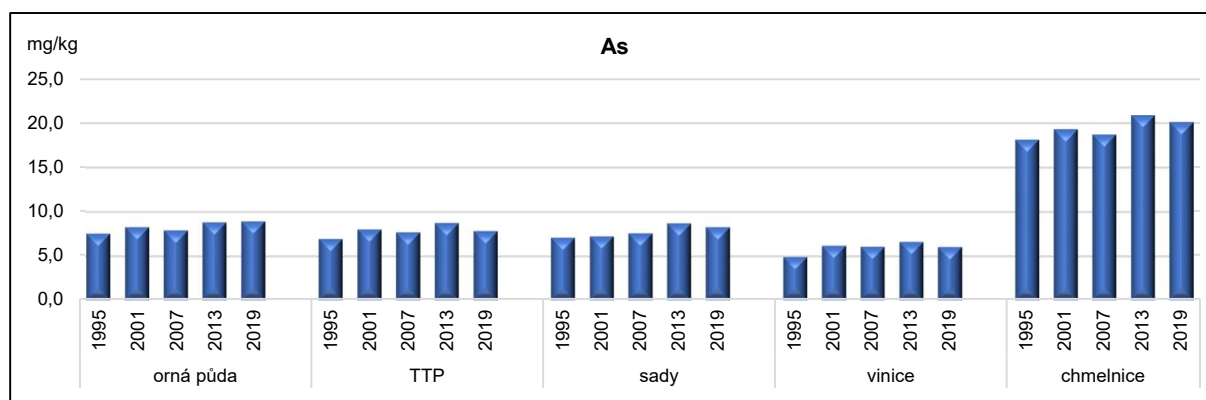
Hodnocení změn 1995–2019

Od roku 1995 došlo v rámci souboru stálých ploch (173 ploch) ke zvýšení obsahu As na 150 plochách (86 %). Na těchto plochách se obsah As zvýšil vůči roku 1995 přibližně o 25 % (cca $1,7 \text{ mg.kg}^{-1}$). Na zbývajících 23 plochách se obsahy As snížily, snížení činilo asi 12 % ($-1,33 \text{ mg.kg}^{-1}$). Největší kladný rozdíl byl zaznamenán na ploše 2905KO (nárůst obsahu arzenu o více než 100 mg.kg^{-1}) z k.ú. Kutná Hora. Jedná se o zcela výjimečnou hodnotu – druhé a třetí největší zvýšení činí 10, resp. 9 mg.kg^{-1} na plochách 2901KO (k.ú. Příbram) a 2904KO (k.ú. Kutná Hora). Z obrázku 5 lze jasně vidět zvýšení obsahu As na celém území ČR v rozsahu 0 až 3 mg.kg^{-1} , zatímco zvýšení o více než 3 mg.kg^{-1} lze pozorovat prakticky výhradně v české části republiky. Největší počet ploch s takto zvýšeným obsahem arzenu se nachází ve Středočeském a Ústeckém kraji, tedy v krajích, kde je geogenní vliv posilován antropogenní činností (těžba a úprava rud, spalování uhlí).

K růstu středních hodnot obsahů dochází u všech typů hospodaření (příloha 4), ze statistického hlediska však k významným změnám obsahů As v průběhu sledování (1995–2019) nedošlo, s výjimkou podorniční vrstvy u orných půd, kde bylo zaznamenáno významné zvýšení obsahů v letech 2013 a 2019 proti roku 1995.

Obrázek 5 Změny obsahů arzenu mezi periodami 1995 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg^{-1})



Obrázek 6 Mediány obsahů arzenu v orničním horizontu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Jelikož za hlavní zdroje arzenu byly označeny spalování hnědého uhlí a procesy související s těžbou rud (případně jejich kombinace) můžeme se podívat na výsledky dlouhodobého měření kvality ovzduší prováděného ČHMÚ (Škáchová et al., 2021). ČHMÚ uvádí jako nejvýznamnější zdroje emisí arzenu spalovací procesy – zejména energetiku a výrobu tepla, a to i v lokálních topeništích. Emise arzenu jsou tedy soustředěny v oblastech, ve kterých se nacházejí tepelné elektrárny a teplárny spalující uhlí především v Ústeckém, Středočeském a Pardubickém kraji. Nicméně dále ČHMÚ uvádí, že koncentrace arzenu v ovzduší za posledních 11 let (2010–2020) mírně klesají a jako nejzatíženější oblast uvádí Kladensko.

Zvýšení obsahů As v povrchových horizontech v průmyslových i rurálních oblastech doložili např. i Zhuang et McBride (2013), kdy porovnávali obsahy As ve vzorcích z roku 1913 a 2012 (dlouhodobý polní pokus v USA). Za příčinu označili atmosférickou depozici (fosilní paliva, doprava) a aplikaci fosforečných hnojiv.

Shrnutí

- rozsah naměřených obsahů As v celém souboru BMP v roce 2019: $<1,5\text{--}715 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suš.
- medián obsahů As v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019 činí: $9,02 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suš., $9,41 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suš., $8,67 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suš., $6,44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suš. a $21,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suš.
- v roce 2019 nebyly rozdíly mezi kulturami vyhodnoceny jako statisticky významné; mediány v jednotlivých kulturách klesají takto: chmelnice > TTP > orná p. > sady > vinice
- v roce 2019 nebyly rozdíly mezi horizonty vyhodnoceny jako statisticky významné
- v roce 2019 byla preventivní hodnota pro lehké půdy překročena 3x, hodnota pro ostatní půdy 22x – k překročení dochází zejména v české části republiky; v počtu překročení preventivní hodnoty je As na třetím místě za Zn
- v roce 2019 byly na 150 plochách (ze 173 stálých ploch) naměřeny vyšší obsahy As než v roce 1995, na těchto plochách se obsah As zvýšil přibližně o 25 %, k největšímu absolutnímu nárůstu obsahů dochází ve Středočeském a Ústeckém kraji
- růst středních hodnot obsahů As je pozorován u všech kultur; statisticky průkazná změna mezi roky 1995 a 2019 pouze v podorníční orných půd

4.2 Beryllium (Be)

Beryllium je ubikvitní prvek. V půdách je zastoupeno poměrně rovnoměrně. Jeho obsahy kolísají v rozmezí 0,1–15 mg.kg⁻¹. V ČR bylo Be v půdách sledováno až od roku 1990, zjištěný průměrný obsah činil 0,39 mg.kg⁻¹ (Třebichavský, 1997). Adriano (2001) uvádí průměrný obsah v půdách 0,3–4,0 mg.kg⁻¹.

Beryllium je reaktivní, a proto se v přírodě vyskytuje pouze ve sloučeninách. V půdě je málo mobilní, při pH=4–8 tvoří nerozpustný BeO. Při nízkém pH se ze sloučenin uvolňuje do půdy a vody. Jeho koncentrace rostou s klesajícím pH.

Zdroje Be v půdě mohou být jak geogenní (zvětrávání hornin, mineralizované vody z okolí ložisek rud), tak antropogenní (průmysl, spalování fosilních paliv a odpadů). V blízkosti elektráren, tepláren, metalurgických závodů a jaderně energetických zařízení byly v půdách zjištěny zvýšené obsahy až 50 mg.kg⁻¹ (Třebichavský, 1997). Významným zdrojem Be je spád popílku – hlavním nebezpečným prvkem sokolovského uhlí je právě velmi toxické a karcinogenní beryllium (Holoubek et al., 1996). Podle Němečka et al. (2010) je v České republice typická výrazná geogenní zátěž berylliem v severních a severozápadních Čechách, vysoká antropogenní zátěž tímto prvkem v důsledku spalování hnědého uhlí se vyskytuje pouze v pánevních okresech.

Pro rostliny je beryllium toxické už v malých dávkách; za toxické se považují koncentrace od 10 mg.kg⁻¹ sušiny. Již nižší obsahy ale brzdí klíčení rostlin a příjem Mg a Ca kořeny (Richter et Hlušek, 1994). Stejně tak je beryllium toxické pro člověka – rizikové je vdechování Be, působení berylnatých solí na pokožku, případně poranění materiálem obsahujícím beryllium. Pokud se dostane do krevního oběhu atakuje prakticky všechny tkáně a orgány; je karcinogenní (Patočka, 2006).

Rok 2019

Rozsah obsahů Be se v celém souboru ploch BMP pohybuje v rozmezí od <0,05 mg.kg⁻¹ suš. do 9,33 mg.kg⁻¹ suš. Přibližně 75 % ploch se nachází v intervalu 0,5–1,25 mg.kg⁻¹ suš. Minimální i maximální hodnoty byly naměřeny na plochách s travními porosty. Tři nejvyšší obsahy Be byly, stejně jako v roce 2013 (v minulé odběrové kampani), zjištěny ve vzorcích ornice, podorníčí a druhého podorníčí z plochy 4904KO v k.ú. Jenišov, okrese Karlovy Vary – jednalo se o obsahy vyšší než 8,4 mg.kg⁻¹ suš.

Průměrné obsahy Be zjištěné v BMP (tabulka 10) jsou mírně vyšší, než celorepublikový průměr zjištěný v rámci vedení Registru kontaminovaných ploch (tabulka 9), a to zejména u chmelnic. V BMP sledujeme šest chmelnic, z nichž se čtyři nachází v Ústeckém kraji, v okrese Louny. Za vysokými obsahy Be na chmelnicích nebude patrně způsob hospodaření, ale jejich rozmístění v rámci ČR, tzn. jejich dislokace v oblasti se zvýšenou geogenní i antropogenní zátěží. V tabulce 10 je vidět, že chmelnice mají zvýšené hodnoty nejen průměru, ale i mediánu. Toto zvýšení je proti ostatním kulturám statisticky významné. Rozdíly v obsazích mezi orničními a podorníčními horizonty nebyly prokázány.

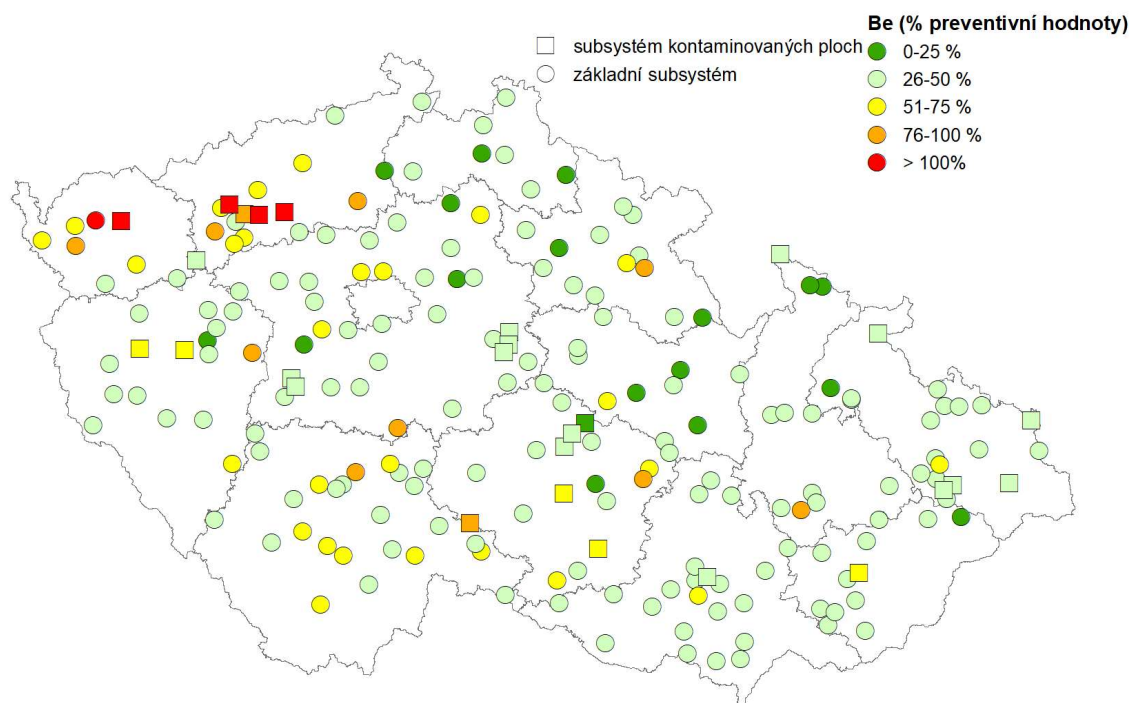
Preventivní hodnota obsahu Be v lehkých půdách je vyhláškou č. 153/2016 Sb. stanovena na 1,5 mg.kg⁻¹ suš., v ostatních půdách na 2,0 mg.kg⁻¹ suš. Preventivní hodnotu pro lehké půdy překročil jeden vzorek ornice (orná půda), preventivní hodnotu pro ostatní půdy překročily vzorky ze čtyř ploch (2x chmelnice, 2x TTP). Tyto plochy se nachází na území Ústeckého kraje, a Karlovarského kraje. Lokality s obsahem Be velmi blízko k překročení preventivní hodnoty se kromě již jmenovaných krajů nachází také na území kraje Vysočina (okres Pelhřimov), Jihočeského kraje (okres Písek) a Olomouckého kraje (okres Prostějov).

Tabulka 10 Základní statistika obsahu beryllia v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019 (lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

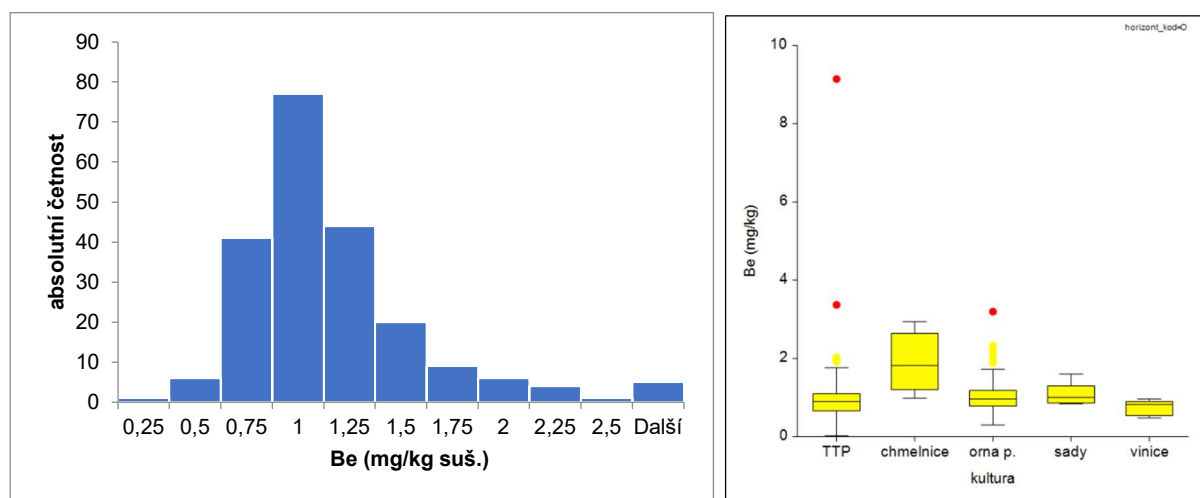
Be	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
Orná půda	O	148	1,02	0,95	0,30	3,20	0,65	0,77	1,18	1,45
	P	148	1,08	0,99	0,22	2,78	0,70	0,82	1,24	1,49
TTP	O	50	1,16	0,90	<0,05	9,15	0,58	0,67	1,10	1,77
	P	50	1,19	0,91	<0,05	9,33	0,59	0,69	1,16	1,83
	R	50	1,18	0,92	0,25	8,45	0,56	0,70	1,18	1,75
Sady	O	5	1,06	0,99	0,85	1,60	0,86	0,87	1,01	1,36
	P	5	1,08	1,03	0,75	1,52	0,84	0,98	1,15	1,37
Vinice	O	5	0,74	0,82	0,49	0,96	0,53	0,60	0,85	0,91
	P	5	0,73	0,78	0,47	0,94	0,51	0,58	0,87	0,91
Chmelnice	O	6	1,89	1,81	0,99	2,93	1,12	1,35	2,42	2,74
	P	6	1,90	1,89	1,00	2,94	1,11	1,32	2,37	2,69

O – ornice, P – podorničí, R – druhé podorničí

Obrázek 7 Obsah beryllia na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 vyjádřený jako procento preventivní hodnoty. Červeně jsou označeny plochy s obsahem Be vyšším než preventivní hodnota (ornice, lučavka královská) (aktualizace obrázku 05/2023)



Obrázek 8 Rozložení obsahů beryllia v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

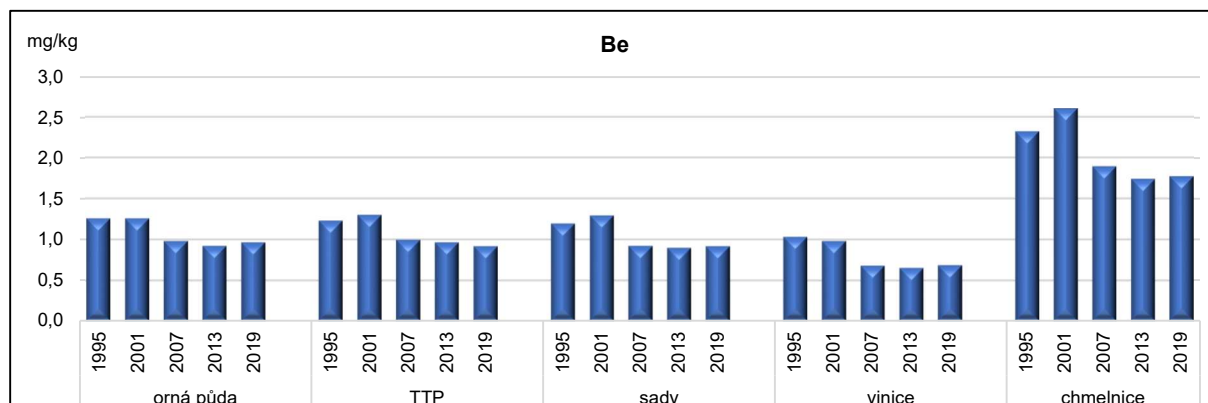


Hodnocení změn 1995–2019

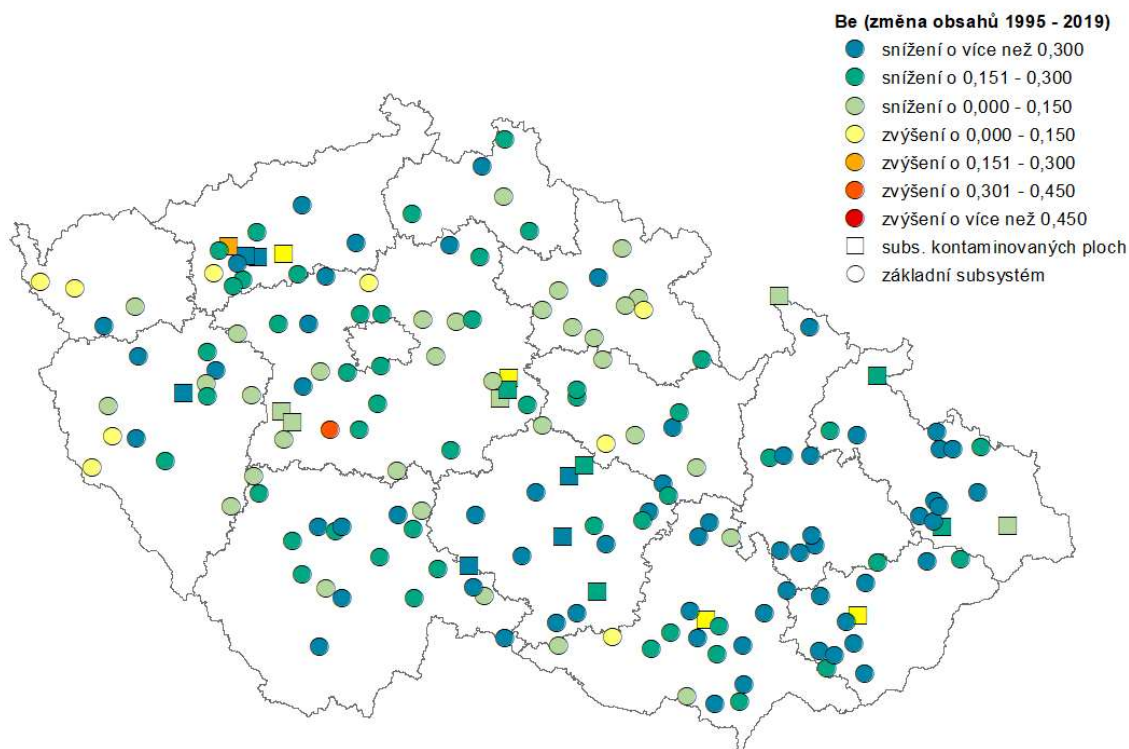
Prakticky na všech plochách BMP (91 %) došlo ke snížení obsahů beryllia (vzhledem k roku 1995), a to na 158 plochách z vybraných stálých 173 ploch. Obsah Be klesl přibližně o $0,27 \text{ mg.kg}^{-1}$ (proti roku 1995 se jedná o pokles přibližně 22 %). Největší záporný rozdíl, téměř 1 mg.kg^{-1} byl zjištěn na ploše 7024B v k.ú. Hrubčice, okres Prostějov (pokles cca o 27 %). Plocha je obhospodařována jako orná půda. Na zbývajících 15 plochách byl naměřen vyšší obsah Be, a to přibližně o $0,068 \text{ mg.kg}^{-1}$ (5 %).

Lze konstatovat, že nejvyšší obsahy Be byly naměřeny v letech 1995 a 2001, poté došlo k jejich snížení, a to u všech kultur (obrázek 9). Toto snížení obsahu Be je statisticky průkazné pro orniční i podorniční horizonty orných půd i TTP. Mezi roky 2007, 2013 a 2019 nebyly zjištěny významné rozdíly. Sady, vinice a chmelnice nebyly z důvodu nízkého počtu vzorků hodnoceny, nicméně pokles obsahů v posledních třech odběrových kampaních proti prvním dvěma je jasné vidět i zde.

Obrázek 9 Mediány obsahů beryllia v orničním horizontu (mg.kg^{-1})



Obrázek 10 Změny obsahů beryllia mezi periodami 1995 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg^{-1})



Shrnutí

- rozsah naměřených obsahů Be v celém souboru BMP v roce 2019: $<0,05$ – $9,33 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš.
- medián obsahů Be v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019 činí: $0,95 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš., $0,90 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš., $0,99 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš., $0,82 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. a $1,81 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš.
- v roce 2019 klesaly mediány v jednotlivých kulturách takto: chmelnice > sady – orná p. – TTP – vinice; jako statisticky významný byl vyhodnocen rozdíl mezi chmelnicemi a ostatními kulturami (chmelnice > orná p. – TTP – vinice), chmelnice jsou lokalizovány v oblasti se zvýšenou geogenní a antropogenní zátěží
- v roce 2019 nebyly rozdíly mezi horizonty vyhodnoceny jako statisticky významné
- v roce 2019 byla preventivní hodnota pro lehké půdy překročena 1x, hodnota pro ostatní půdy 4x – k překročení dochází zejména v Ústeckém a Karlovarském kraji
- v roce 2019 byly na 158 plochách (ze 173 stálých ploch) naměřeny nižší obsahy Be než v roce 1995, na těchto plochách klesl obsah Be přibližně o $0,275 \text{ mg.kg}^{-1}$ (22 %)
- ke snižování obsahů Be dochází u všech kultur; statisticky průkazné je pro kampaně 1995, 2001 vs. 2007, 2013, 2019 pro orníční i podorníční horizonty orných půd a TTP
- průkazný rozdíl mezi kampaněmi 1995 a 2019 platí pro obě testované kultury (orná p., TTP: 1995 < 2019)

4.3 Kadmiu (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 obsahy kadmia v zemědělské půdě $0,56 \text{ mg.kg}^{-1}$ (průměr), podobně je tomu také např. ve Walesu. Ve Spojených státech amerických se průměrný obsah Cd v různých půdních typech pohybuje v rozsahu $0,08\text{--}0,72 \text{ mg.kg}^{-1}$. Jako požadovaná hodnota (celosvětově) se uvádí $0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Adriano, 2001). Geograficky bližší data jsou k dispozici např. z monitoringu půd na Slovensku (Kobza et al., 2014). Zde střední obsahy kadmia kolísají od $0,11$ do $0,44 \text{ mg.kg}^{-1}$ v závislosti na půdním typu, přičemž nejvyšších obsahů je dosahováno ve fluvizemích (medián $0,27 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Z dat RKP vyplývá, že průměrná koncentrace Cd v zemědělských půdách lehkých je $0,23 \text{ mg.kg}^{-1}$, v půdách ostatních $0,29 \text{ mg.kg}^{-1}$ (tabulka 9). Lokality s nejvyššími koncentracemi Cd v České republice se nachází tam, kde se kombinují emise z uhelných elektráren a geogenních zdrojů – např. silně industrializovaná oblast horního Slezska, dále se nachází v okolí lokálních center průmyslu a hornictví – Příbram, Beroun, Kutná Hora. A zvýšené obsahy Cd jsou také v oblasti podkrušnohorské pánve – geogenní vliv plus průmyslová činnost, včetně atmosférické depozice (Bednářová et al., 2016, Kubík et al., 2021). V oblasti severní Moravy se jedná téměř výhradně o antropogenní zátěž (Němeček et al., 1996). Dle údajů ČHMÚ (Škáchová et al., 2020) jsou emise Cd (a Pb) výrazné právě v aglomeraci Ostrava – Karviná – Frýdek-Místek vlivem koncentrace podniků na výrobu železa a oceli.

Cd je velmi dobrý ukazatel antropogenní kontaminace oblastí (Němeček et al., 1996). Významným zdrojem Cd je průmysl – zejména výroba železa a oceli, lokálně sklářský průmysl, energetika a výroba tepla (spalování nekvalitního uhlí) a nelze pominout ani vliv lokálního vytápění domácností a nemalé množství Cd je obsaženo i v tabákovém kouři (Škáchová et al., 2021). Atmosférickou depozici, jako významný zdroj Cd, zmiňuje i Kobza (2003) – na 10 dlouhodobě monitorovaných lokalitách v nadmořské výšce nad 940 m n. m. byly zjištěny nadlimitní obsahy Cd a výrazně vyšší obsahy ve svrchních 10 cm půdy než v ostatních horizontech. Dalším zdrojem Cd mohou být fosforečná hnojiva, ale v roce 2005 publikoval J. Kobza výsledky padesátiletých pokusů, ve kterých se vliv fosforečného hnojení na zvýšení obsahu Cd neprojevil. Jako další emisní zdroj Cd se uvádí silniční doprava, nicméně existují práce, ve kterých závislost obsahu Cd v půdě na vzdálenosti od silnice nebyla prokázána (Hofman et al., 2011, Kašparová et al., 2011).

Kadmium patří mezi pH negativně závislé prvky, tzn. že jeho mobilita v půdě roste s klesajícím pH. Pohyblivost Cd a tím i jeho biopřístupnost je nejvyšší v kyselých půdách při pH $4,5\text{--}5,5$. K výraznému zvýšení rozpustnosti Cd dochází při pH $< 6,5$. Kvalitní organická hmota (např. vyzrálý kompost) může obsah mobilního Cd snížit (Bielek a kol., 2000, Podlešáková et al., 2001, Blake et al., 2002, Wilcke et al., 2005, Hanč, 2008, Urminská, 2017). Vzhledem ke své mobilitě lze Cd najít i v nižších vrstvách půdy.

Kadmium patří k prvkům akropetálně snadno pohyblivým, což znamená, že velká část Cd se (velmi snadno) transportuje do nadzemních částí rostlin Trakal et al. (2009). Kromě pH je pohyblivost a příjem Cd rostlinami úzce spjata s obsahem organické hmoty, vyšší transfer faktory byly nalezeny na půdách s nízkým pH a nízkým obsahem organické hmoty (Puschenreiter et al., 2000). Maximální akumulaci Cd v pletivech rostlin popsali Blake et al. (2002) při pH=4. Vzhledem ke všem těmto skutečnostem Podlešáková et al. (2001) považuje Cd za jeden z ekologicky nejvýznamnějších prvků.

Rok 2019

V celém souboru ploch BMP se obsahy Cd v ornici pohybují od méně než 0,15 mg.kg⁻¹ do 7,50 mg.kg⁻¹. Uvedená maximální hodnota byla dosažena na ploše 7901KO v k.ú. Malenovice u Zlína, okres Zlín, stejně jako tomu bylo i v minulé kampani v roce 2013. Zlínsko však není typickou oblastí se zvýšenými obsahy Cd. Z obrázku 11 lze vidět, že zvýšené obsahy Cd jsou převážně na Severní Moravě, na Vysočině, v okolí Kutné Hory, Příbrami a Plzně a v Podkrušnohoří.

Stejně jako u Be, tak v případě Cd je průměr i medián na chmelnicích vyšší než v ostatních kulturách, střední hodnoty klesají v pořadí: chmelnice > TTP > orná p. > vinice > sady. Rozdíl je statisticky významný mezi chmelnicemi a ornou půdou, sady, vinicemi. Průkazný rozdíl středních hodnot je také mezi TTP a ornou půdou. Statisticky významně vyšší obsahy v ornici proti podorníci byly potvrzeny pro orné půdy; v travních porostech byly potvrzeny vyšší obsahy Cd v ornici a podorníci vůči druhému podorníci (R).

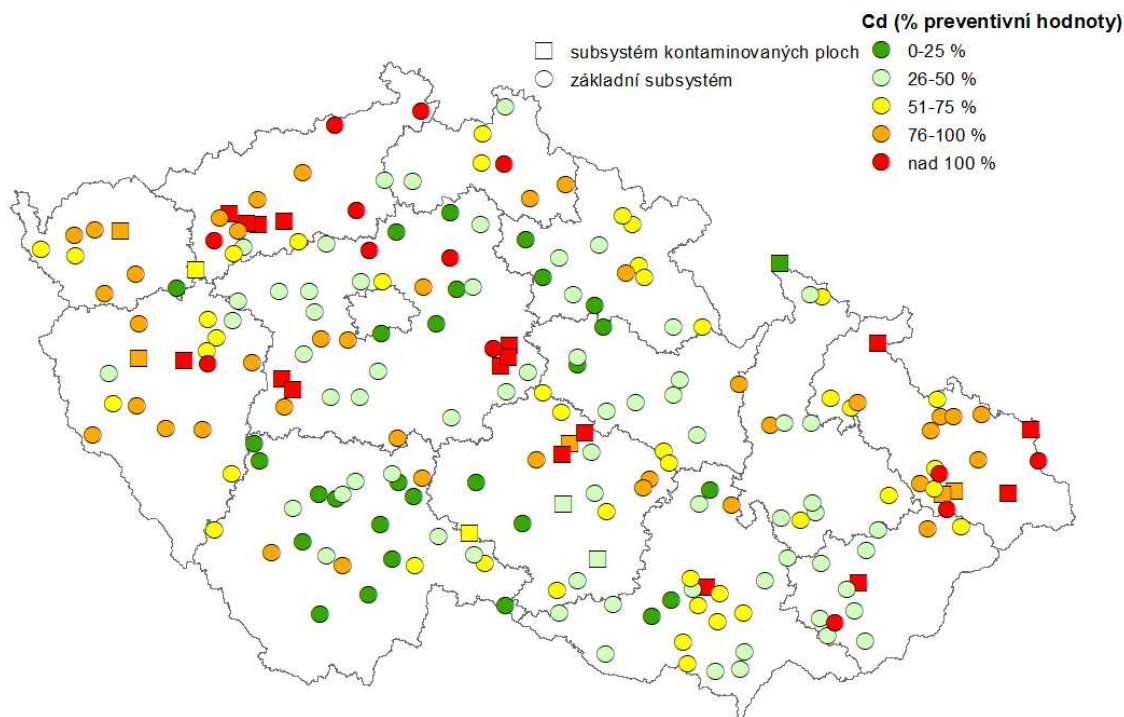
Preventivní hodnota pro Cd v lehkých půdách je podle platné vyhlášky 0,4 mg.kg⁻¹ suš., v ostatních půdách pak 0,5 mg.kg⁻¹ suš. K překročení preventivních hodnot došlo na 30 lokalitách! Jednalo se o dvě lokality s lehkou půdou, a 28 lokalit s půdou běžnou. A dále je zde dalších 12 lokalit, které vyhovely požadavkům vyhlášky pouze díky zohlednění nejistoty měření. K překračování preventivních hodnot dochází spíše v západní a severozápadní části ČR. Kadmium je prvek s nejčastěji překračovanou preventivní hodnotou.

Tabulka 11 Základní statistika obsahu kadmia v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019 (lučavka královská, mg.kg⁻¹ suš.)

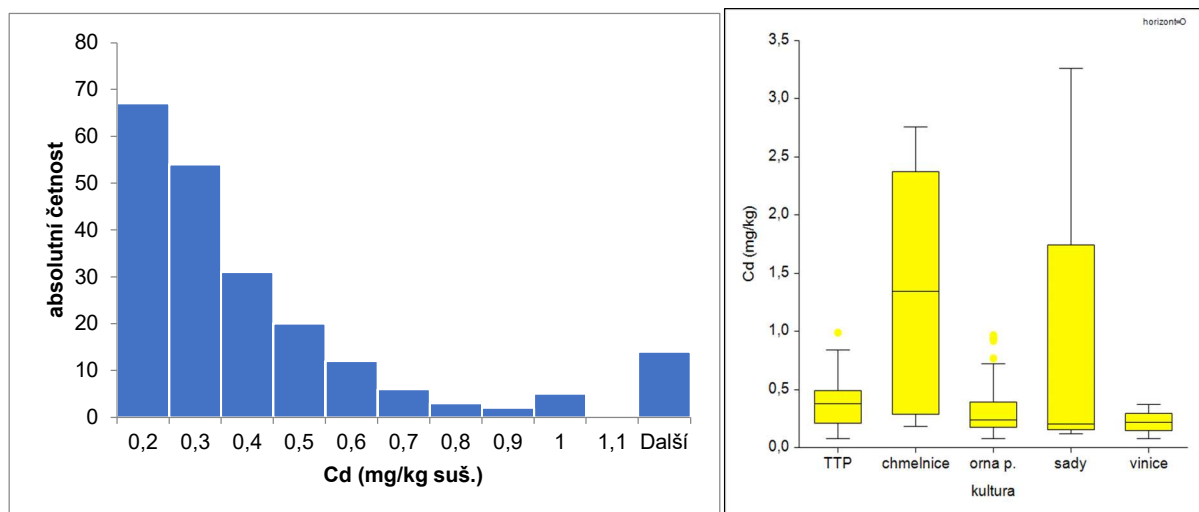
Cd	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
orná půda	O	148	0,49	0,24	< 0,15	7,50	< 0,15	0,18	0,39	0,68
	P	148	0,27	0,13	< 0,15	4,01	< 0,15	< 0,15	0,28	0,51
TTP	O	50	0,47	0,38	< 0,15	5,55	0,10	0,22	0,49	0,64
	P	50	0,45	0,36	< 0,15	4,96	< 0,15	0,22	0,49	0,63
	R	50	0,31	0,26	< 0,15	2,39	< 0,15	0,13	0,35	0,57
sady	O	5	0,80	0,20	0,12	3,26	0,15	0,20	0,23	2,05
	P	5	0,68	0,08	< 0,15	3,09	< 0,15	< 0,15	0,09	1,89
vinice	O	5	0,22	0,22	< 0,15	0,37	0,13	0,22	0,22	0,31
	P	5	0,20	0,17	< 0,15	0,37	0,10	0,13	0,24	0,31
chmelnice	O	6	1,37	1,34	0,18	2,76	0,25	0,45	2,15	2,50
	P	6	1,49	1,31	0,10	3,36	0,21	0,42	2,39	2,97

O – ornice, P – podorníci, R – druhé podorníci

Obrázek 11 Obsah kadmia na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 vyjádřený jako procento preventivní hodnoty. Červeně jsou označeny plochy s obsahem Cd vyšším než preventivní hodnota (ornice, lučavka královská)



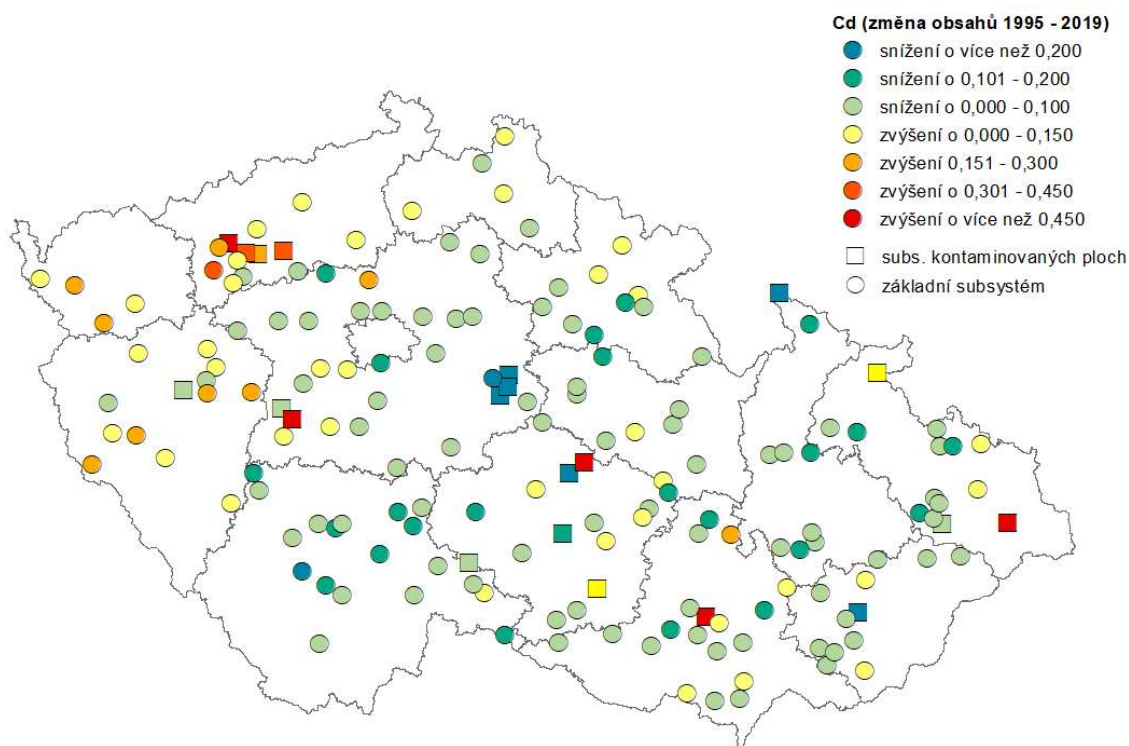
Obrázek 12 Rozložení obsahů kadmia v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.; box plot bez extrémních hodnot)



Hodnocení změn 1995–2019

Proti roku 1995 byl v roce 2019 naměřen nižší obsah na 113 lokalitách, a to přibližně o $0,07 \text{ mg.kg}^{-1}$ (22% pokles obsahů), naopak zvýšený obsah byl zjištěn na 57 lokalitách, a to přibližně o $0,09 \text{ mg.kg}^{-1}$ (32% zvýšení obsahů). Na třech lokalitách byl v roce 2019 zjištěn stejný obsah Cd jako v roce 1995.

Obrázek 13 Změny obsahů kadmia mezi periodami 1995 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg^{-1})



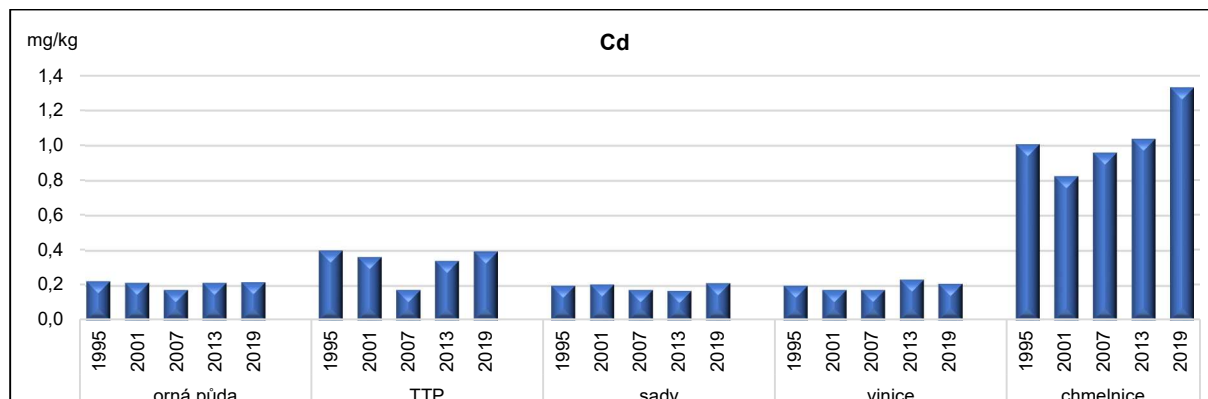
Zatímco zvýšené obsahy Cd se nachází na Severní Moravě, na Vysočině, v okolí Kutné Hory, Příbrami, Plzni a v podkrušnohorských pánvích (obrázek 11), k nárůstu obsahů Cd (proti roku 1995) došlo především v Podkrušnohoří a v Západních Čechách (obrázek 13). Největší absolutní zvýšení obsahu (o $1,4 \text{ mg.kg}^{-1}$) bylo zjištěno na ploše 8905KO v k.ú. Raškovice, okres Frýdek-Místek, přičemž na okolních monitorovacích plochách dochází spíše ke snižování obsahu Cd. Drtivá většina absolutních rozdílů mezi obsahem v roce 1995 a 2019 leží v intervalu nejistoty měření (příloha 8).

Na některých kontaminovaných plochách s obsahy Cd vyššími, než je preventivní hodnota, naopak evidujeme výrazné snížení obsahů. Např. v okolí Kutné Hory jsou takové lokality čtyři a na třech z nich došlo k největšímu absolutnímu snížení obsahu Cd.

Střední obsahy kadmia v orných půdách a travních porostech v jednotlivých odběrových kampaních se v průběhu sledování téměř nemění. Jediný statisticky průkazný rozdíl byl nalezen u podorní orných půd mezi rokem 2013 a 1995, 2007. Na obrázku 14 je vidět výrazný růst mediánu u chmelnic, tyto rozdíly však nebyly, stejně jako v případě sadů a vinic, z důvodu nízkého počtu ploch statisticky hodnoceny. Propad hodnoty mediánu u travních porostů v roce 2007 je ve skutečnosti pouze odrazem vysoké meze stanovitelnosti, která v té době činila $0,35$

mg.kg⁻¹. Naprosto stejný medián byl vypočten i pro ornou půdu, sady a vinice. (V případě, že naměřený obsah prvku byl menší než mez stanovitelnosti, do výpočtů se použila polovina limitu stanovitelnosti.)

Obrázek 14 Mediány obsahů kadmia v orničním horizontu (mg.kg⁻¹)



Vzrůstající trend obsahů Cd v půdě zaznamenali Zhuang et McBride (2013) při porovnávání obsahů Cd v půdních vzorcích z dlouhodobých agronomických pokusů z roku 1913 a 2012. Zaznamenali nárůst o 33 %, a to i v rurální oblasti. Zvýšení koncentrací autoři přičítají kumulativnímu vlivu atmosférické depozice a používání fosforečných hnojiv. Co se týká atmosférické depozice kadmia v České republice ČHMÚ (Škáchová et al., 2021) krom jiného uvádí, že a) koncentrace Cd v ovzduší za posledních 10 let mírně klesají, b) nejzatíženější lokalitou je okolí Jablonce nad Nisou a Tanvaldu a c) na emise kadmia má významný vliv lokální vytápění domácností.

Shrnutí

- rozsah naměřených obsahů Cd v celém souboru BMP v roce 2019: <0,15–7,50 mg.kg⁻¹ suš.
- medián obsahů Cd v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019 činí: 0,24 mg.kg⁻¹ suš., 0,38 mg.kg⁻¹ suš., 0,20 mg.kg⁻¹ suš., 0,22 mg.kg⁻¹ suš. a 1,34 mg.kg⁻¹ suš.
- v roce 2019 klesaly mediány v jednotlivých kulturách takto: chmelnice > TTP > orná p. > vinice > sady; jako statisticky významný byl vyhodnocen rozdíl mezi chmelnicemi a ostatními kulturami (chmelnice > orná p. – vinice – sady), a dále mezi TTP a ornou půdou (TTP > orná p.)
- v roce 2019 byly jako statisticky významné vyhodnoceny rozdíly mezi ornici a podorničím u orných půd, v travních porostech byly potvrzeny vyšší obsahy Cd v ornici a podorniči vůči druhému podorniči (R) (orná půda: O > P, TTP: O – P > R)
- v roce 2019 byla preventivní hodnota pro lehké překročena 2x, hodnota pro ostatní půdy 28x – k překročení dochází na celém území ČR. Kadmium je prvek s nejčastěji překračovanou preventivní hodnotou.
- v roce 2019 byly na 113 lokalitách (ze 173 stálých ploch) naměřeny nižší obsahy Cd než v roce 1995, na těchto plochách klesl vůči roku 1995 obsah Cd přibližně o 0,07 mg.kg⁻¹ (22 %); k růstu obsahů dochází téměř výhradně v Podkrušnohoří a v západních Čechách
- mezi jednotlivými odběrovými kampaněmi byl nalezen statisticky významný rozdíl pouze u podorniči orných půd mezi rokem 2013 a 1995, 2007 (2013 < 1995, 2007); růst mediánů je výrazný u chmelnic, tyto však nebyly statisticky hodnoceny
- statisticky průkazný rozdíl mezi první (1995) a poslední kampaní (2019) nebyl zjištěn

4.4 Kobalt (Co)

Kobalt je chalkofilní prvek, hromadí se zejména v ultrabazických horninách (Třebichavský et al., 1997). Střední hodnoty obsahu kobaltu v půdách z různých částí světa většinou nepřesahují 10 mg.kg^{-1} . Např. pro USA uvádí Adriano (2001) průměrný obsah kobaltu $6,7 \text{ mg.kg}^{-1}$, pro polské půdy pak $4,7 \text{ mg.kg}^{-1}$. Pro zemědělské půdy Slovenska uvádí Kobza (2017) medián $8,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ (extrakce lučavkou královskou).

Zdroje kobaltu v půdě jsou úzce spjaté s jeho výskytem – geogenně podmíněný výskyt vyšších obsahů Co je v oblastech s bazickými a ultrabazickými horninami (čediči) v severočeském regionu a také v severovýchodních Čechách (Němeček et al., 1996). K dalším přírodním zdrojům Co dle Třebichavského et al. (1997) patří sopečný prach a sopečné plyny, lesní požáry, depozice prachových částic, mineralizovaná voda. Antropogenně podmíněný původ Co je spjat s metalurgickým průmyslem, dále se spalováním paliv, těžbou a úpravou rud, výrobou Co a jeho slitin.

Z hlediska mobility v půdě patří k nejvýznamnějším prvkům, ale na rozdíl od Cd je mnohem méně škodlivý, protože jeho příjem rostlinami je nízký (Třebichavský et al., 1997, Podlešáková et al., 2001) – jeho pohyblivost v půdním profilu a příjem rostlinami je pH negativně závislý.

Pro živočichy je Co esenciální prvek. Merian et al. (1991) uvádí, že v některých oblastech světa se projevuje nedostatek Co v píce a musí být do krmiva doplňován. Kobalt je esenciální také pro rostliny, hranice mezi esencialitou na jedné straně a fytotoxicitou na straně druhé však může být velmi úzká (Ryzenko et al., 2017).

Rok 2019

V souboru BMP se obsah Co v orničním horizontu pohybuje v rozmezí $2,19\text{--}43,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš., zatímco v podorniči $1,62\text{--}53,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš., přičemž vyšší obsahy jsou v západní části republiky. Maximální obsah byl naměřen v podorniči plochy 4004B v k.ú. Horšov, okres Domažlice (orná půda). Střední obsahy Co v jednotlivých kulturách klesají v pořadí: chmelnice > TTP > orná p. > sady > vinice. Průkazný rozdíl je mezi chmelnicemi a ornou půdou, sady, vinicemi. Vzhledem k tomu, že (zejména na ultrabazických horninách) jsou zdroje Co geogenní, jsou obsahy Co v půdním profilu vyšší v půdotvorném substrátu, než v ornici (Třebichavský et al., 1997). Že obsahy kobaltu mírně rostou směrem do hloubky je vidět i ze základních statistik uvedených v tabulce 12, statisticky významné rozdíly mezi obsahy Co ve vzorkovaných horizontech se však neprokázaly.

Zhruba 60 % ploch vykazuje obsah Co mezi 8 a 16 mg.kg^{-1} suš., na dalších 30 % ploch jsou obsahy v sousedních dvou intervalech – tj. $4\text{--}8 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. a $16\text{--}20 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. (obrázek 16). Mediánové obsahy jsou nejvyšší na chmelnicích, rozdíl vůči ostatním kulturám je statisticky významný.

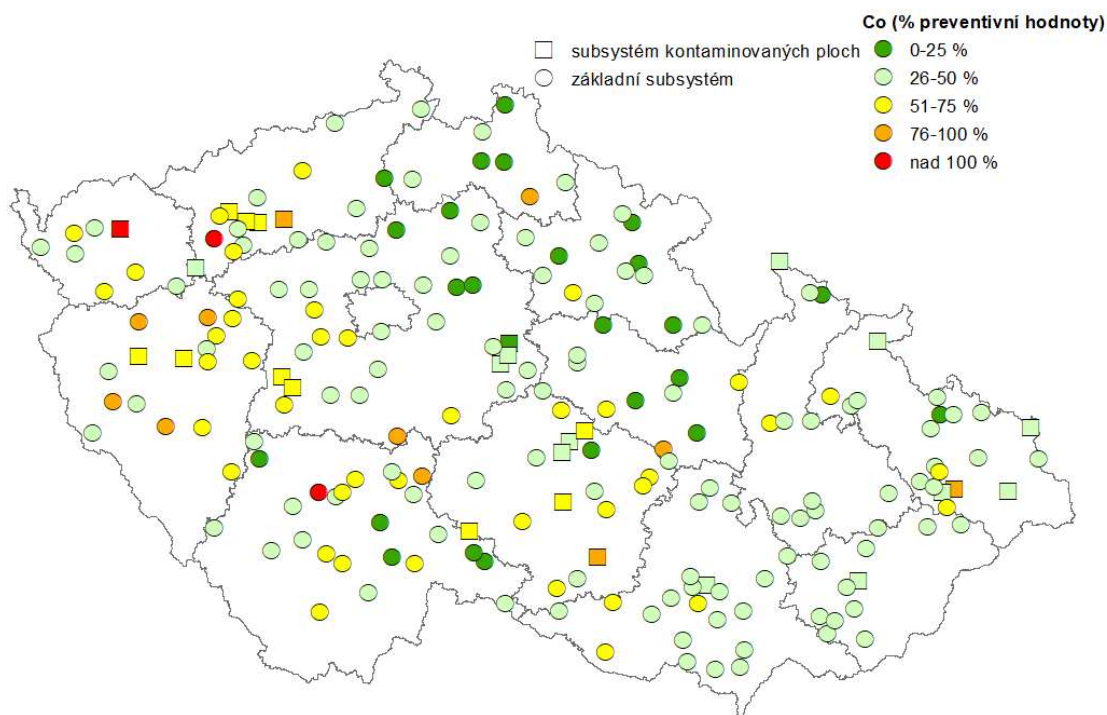
Preventivní hodnota pro obsah Co v půdě stanovená vyhláškou č. 153/2016 Sb. činí pro lehké půdy 20 mg.kg^{-1} suš. a pro půdy ostatní 30 mg.kg^{-1} suš. V orničním horizontu byla překročena celkem 3x, jednou pro lehké půdy (Jihočeský kraj) a dvakrát pro půdy ostatní (Karlovarský a Ústecký kraj).

Tabulka 12 Základní statistika obsahu kobaltu v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019 (lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

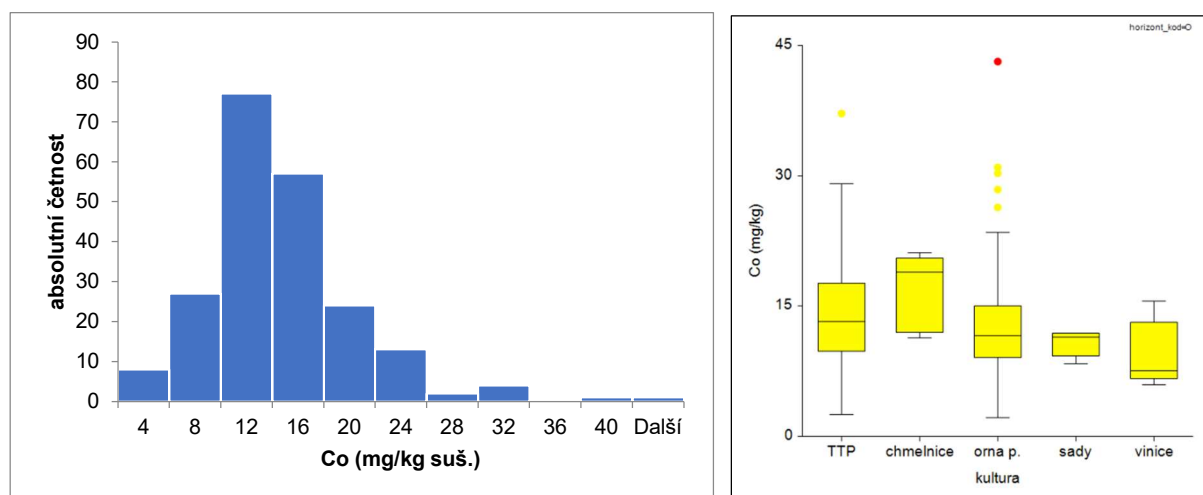
Co	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
orná půda	O	148	12,53	11,60	2,19	43,15	7,10	9,21	14,99	18,61
	P	148	13,63	12,33	1,63	52,33	7,49	9,62	15,85	20,22
TTP	O	50	13,70	13,19	2,56	37,18	4,68	9,88	17,56	22,11
	P	50	14,47	14,45	2,62	38,15	4,94	10,52	17,56	24,30
	R	50	15,27	14,08	2,66	49,65	5,19	10,10	17,72	24,33
sady	O	5	10,77	11,43	8,38	11,93	9,11	10,22	11,90	11,92
	P	5	11,62	12,00	8,29	15,25	9,15	10,45	12,10	13,99
vinice	O	5	9,42	7,59	5,95	15,60	6,51	7,36	10,63	13,61
	P	5	9,13	7,33	5,79	14,68	6,38	7,27	10,58	13,04
chmelnice	O	6	17,13	18,90	11,35	21,15	11,76	13,74	20,04	20,71
	P	6	18,05	20,04	11,35	23,10	11,98	14,42	20,93	22,14

O – ornice, P – podorníci, R – druhé podorníci

Obrázek 15 Obsah kobaltu na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 vyjádřený jako procento preventivní hodnoty. Červeně označeny plochy s obsahem Co vyšším než preventivní hodnota (ornice, lučavka královská)



Obrázek 16 Rozložení obsahů kobaltu v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)



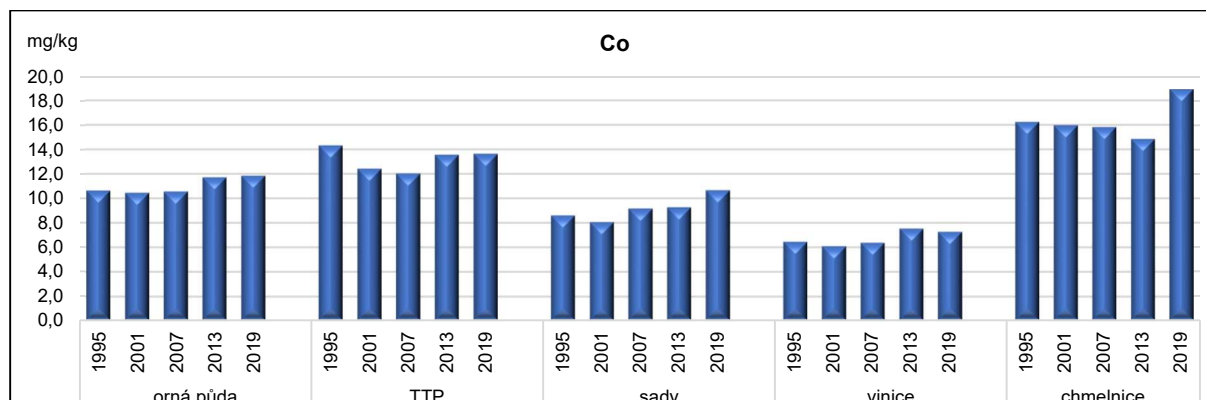
Hodnocení změn 1995–2019

Střední hodnoty obsahu Co v ornici i podorničí orných půd jsou během prvních tří odběrových kampaní (1995, 2001, 2007) srovnatelné, bez statisticky významných rozdílů. V následujících cyklech (2013, 2019) došlo ke zvýšení obsahů, nejvyšší střední hodnota zaznamenána v roce 2019. Mezi první a poslední kampaní je průkazný rozdíl. U travních porostů byl zaznamenán postupný růst středních obsahů Co od začátku sledování do roku 2019, přičemž rozdíly mezi cykly 1995, 2001 a 2007 nebyly statisticky průkazné. Nejvyšší hodnota byla dosažena v roce 2019, vůči roku 1995 je statisticky významný rozdíl pouze v podorničí. Postupné zvyšování mediánů v jednotlivých cyklech je vidět i u sadů, vinic a chmelnic (obrázek 17) – u těchto kultur však z důvodu nízkého počtu vzorků nebyly rozdíly statisticky hodnoceny.

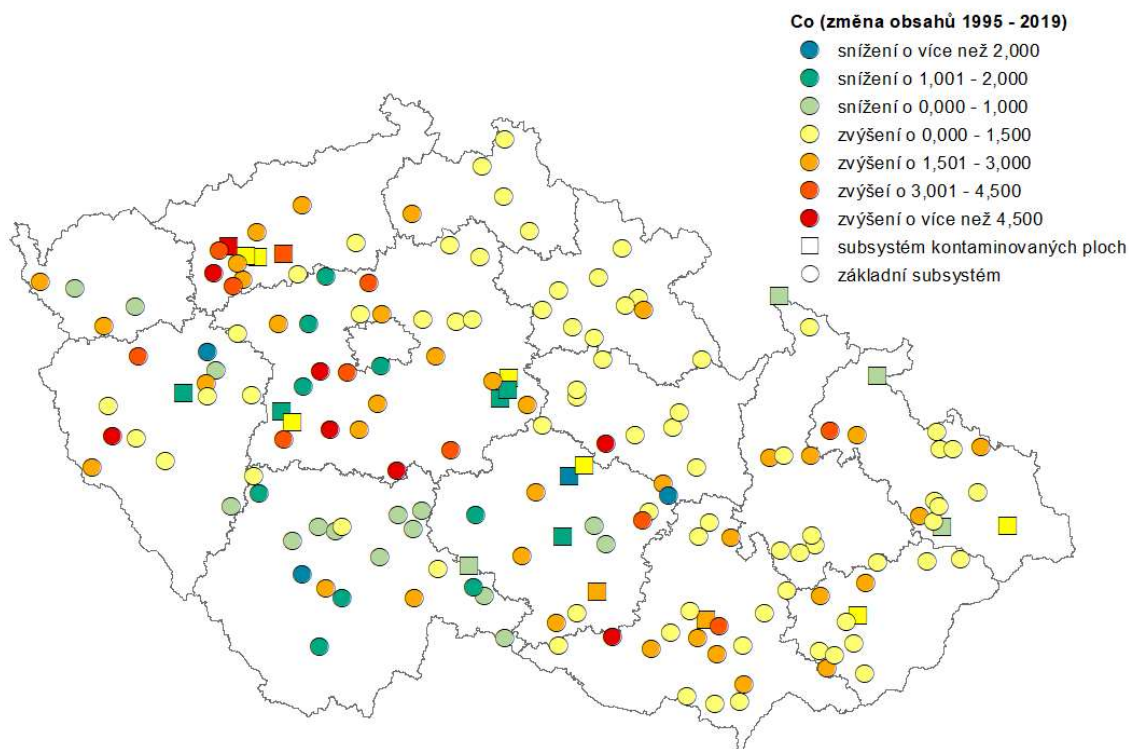
Celkem došlo ke zvýšení obsahů (vzhledem k roku 1995) na 136 plochách, a to přibližně o $1,38 \text{ mg.kg}^{-1}$ (14% zvýšení proti roku 1995), na zbývajících na plochách obsah Co poklesl cca o $0,95 \text{ mg.kg}^{-1}$ (pokles cca o 7 %).

Z hlediska překračování preventivní hodnoty se Co nejvíce jeví jako rizikový prvek, nicméně trend změn obsahů není příznivý.

Obrázek 17 Mediány obsahů kobaltu v orničním horizontu (mg.kg^{-1})



Obrázek 18 Změny obsahů kobaltu mezi periodami 1995 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg^{-1})



Shrnutí

- rozsah naměřených obsahů Co v celém souboru BMP v roce 2019: 2,19–43,2 mg.kg^{-1} suš.
- medián obsahů Co v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019 činí: 11,6 mg.kg^{-1} suš., 13,2 mg.kg^{-1} suš., 11,4 mg.kg^{-1} suš., 7,59 mg.kg^{-1} suš. a 18,9 mg.kg^{-1} suš.
- v roce 2019 mediány Co v jednotlivých kulturách klesají v pořadí: chmelnice > TTP > orná p. > sady > vinice. Průkazný rozdíl je mezi chmelnicemi a ornou půdou, sady, vinicemi (chmelnice > orná p. – sady – vinice)
- obsahy Co mírně rostou do hloubky, statisticky významné rozdíly mezi obsahy Co ve vzorkovaných horizontech se v roce 2019 neprokázaly
- v roce 2019 byla preventivní hodnota pro lehké byla překročena 1x, hodnota pro ostatní půdy 2x
- v roce 2019 byly na 136 lokalitách (ze 173 stálých ploch) naměřeny vyšší obsahy Co než v roce 1995, na těchto plochách vzrostl obsah kobaltu proti roku 1995 cca o 1,38 mg.kg^{-1} (14 %)
- střední obsahy Co rostou ve všech kulturách; statisticky významný rozdíl mezi kampaněmi 1995 a 2019 byl prokázán u orných půd (ornice, podorníci) a travních porostů (podorníci) (1995 < 2019); mezi prvními třemi kampaněmi nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly

4.5 Chrom (Cr)

Koncentrace chromu v půdě je velmi silně determinována matečnou horninou. Nejvyšší obsahy chromu jsou nalézány v půdách vzniklých na ultrabazických horninách (Adriano, 2001). Také další autoři, např. Němeček et al. (1996) nebo Desales et Ammann (2010) uvádí Cr jako typický prvek charakterizující geogenní zátěž na svahovinách z bazických a ultrabazických hornin. Třebichavský, 1997 zmiňuje obsah Cr v peridotitech až 2000 mg.kg⁻¹. Vysoký obsah je také v hadci, lateritech, bauxitu a uhlí. Adriano (2001) uvádí průměrný obsah Cr v půdách 50 mg.kg⁻¹, Richter et Hlušek (1994) rozsah od 5 do 120 mg.kg⁻¹ a Beneš (1994) udává průměrný obsah na půdách ČR 16–25 mg.kg⁻¹, ve světových půdách 84 mg.kg⁻¹ a Kobza (2017) medián pro zemědělské půdy Slovenska 41,6 mg.kg⁻¹.

Kromě geogenního původu, může být Cr také původu antropogenního, např. ve fluvizemích, nebo jako důsledek metalurgického průmyslu, např. Němeček et al. (2010) považují Cr za typický kontaminant antropogenního původu pro severomoravský region.

V půdě se Cr vyskytuje v několika oxidačních stavech, z nichž Cr³⁺ je nejstabilnější a Cr⁶⁺ je relativně toxická forma. Právě oxidační stav výrazně ovlivňuje chování Cr v půdě, přičemž tento stav závisí do velké míry na pH, obsahu a kvalitě organické hmoty a jílových minerálů, redox-potenciálu apod. Mobilitu Cr v půdním profilu nelze obecně snížit zvýšením pH (adsorpce Cr³⁺ roste s rostoucím pH a obsahem organické hmoty; adsorpce Cr⁶⁺ roste s klesajícím pH); přídavky kvalitní OH vedou pouze k sorpci Cr³⁺, toxický Cr⁶⁺ v roztoku zůstává.

Fytotoxicita v přirozených podmínkách prakticky neexistuje, Cr je velmi nesnadno přístupný rostlinám (Adriano, 2001, Zogaj et Düring, 2016), i při vysokých geogenních obsazích je velmi málo rozpustný, pouze obsahy nad 400 mg.kg⁻¹ suš. mohou být pro přestup do rostlin kritické (Podlešáková et al., 2001).

Rok 2019

V orničním horizontu půd BMP činí rozsah obsahů Cr 11,1–18125 mg.kg⁻¹ suš., v podorničí pak 8,4–16125 mg.kg⁻¹ suš., přičemž nejvyšší obsahy byly naměřeny ve všech třech horizontech (O, P, R) plochy 6901KO (travní porost) v k.ú. Staré Ransko, okres Havlíčkův Brod. Koncentrace Cr na této ploše jsou až o dva řády vyšší než na ploše s druhým nejvyšším obsahem Cr – na ploše 3016B byl v podorničí naměřen obsah 578 mg.kg⁻¹ suš. (orná půda). Extrémní obsahy na ploše 6901KO nevybočují z předchozích měření. Oblast Starého Ranska leží na komplexu bazických a ultrabazických hornin (Štelcl et Vávra, 2007) a již od 15. století zde probíhala aktivní hornická činnost, těžba rudy a její úprava (Zdař bůh.cz). Nicméně extrémní obsahy Cr na této ploše jsou důsledkem navážení odpadních materiálů z bývalé koželužny ve Ždírci nad Doubravou.

Obrázek 19 *Staré Ransko (6901KO) – monitorovací plocha v červenci 2022 a příslušný půdní profil (antropozem kontaminovaná, Anko)*



Průměrné obsahy Cr v tabulce 13 jsou nejvyšší u travních porostů. Zkreslení je způsobeno extrémně vysokými obsahy na již zmíněné ploše 6901KO. Mediány jednotlivých kultur jsou vyrovnané. Analýzou rozptylu byla potvrzena jejich shoda. Očekávané zvyšování obsahů směrem do hloubky není zcela jednoznačné a žádné rozdíly obsahů chromu mezi horizonty nebyly statisticky potvrzeny.

Vyšší obsahy Cr se vyskytují ve střední a východní části České republiky (obrázek 20). Přibližně 70 % ploch BMP vykazuje obsah Cr mezi 20 a 50 mg.kg⁻¹ suš.

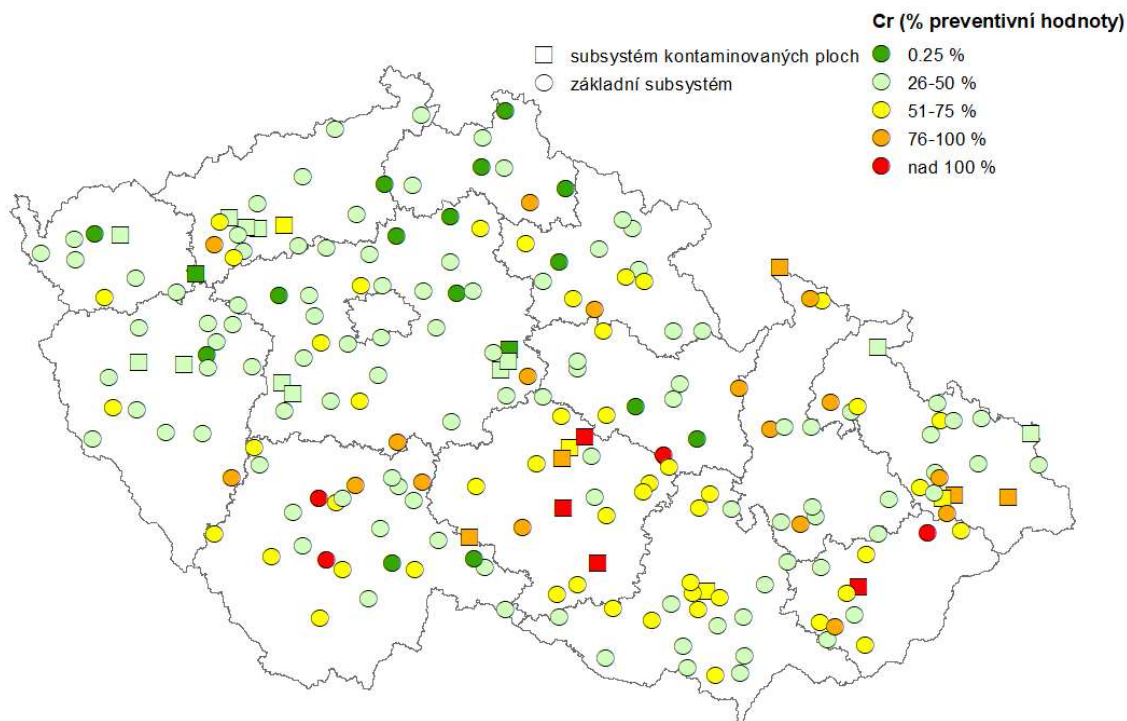
Preventivní hodnota obsahu Cr v lehkých půdách podle vyhl. č. 153/2016 Sb. činí 55 mg.kg⁻¹ suš., pro půdy ostatní 90 mg.kg⁻¹ suš. V orničním horizontu monitorovaných ploch byla překročena celkem 8x, z toho 5x na ostatních půdách.

Tabulka 13 *Základní statistika obsahu chromu v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019 (lučavka královská, mg.kg⁻¹ suš.)*

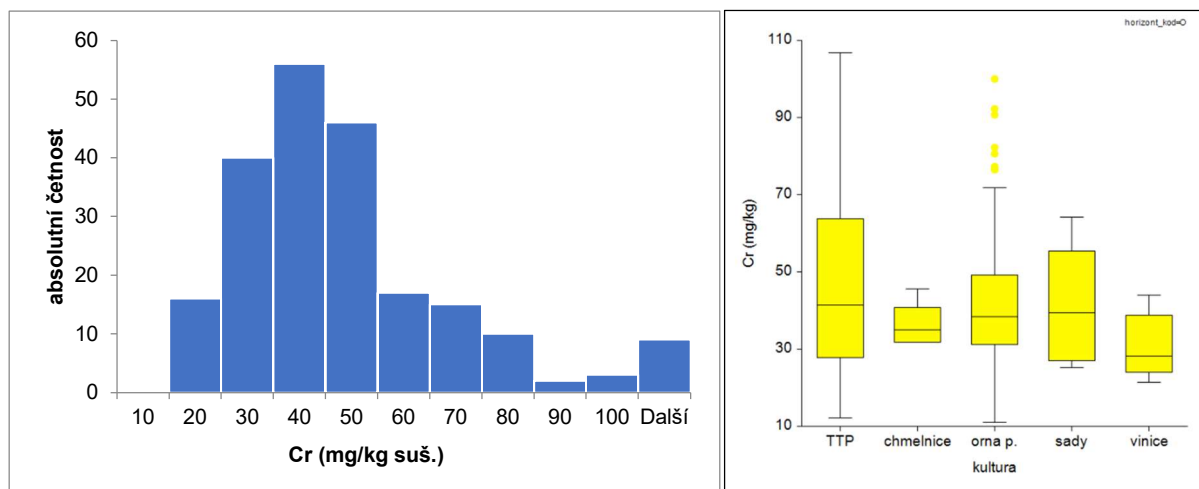
Cr	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
orná půda	O	148	51,64	38,34	11,05	563,0	23,09	31,24	49,11	70,03
	P	148	52,78	40,28	8,41	578,5	25,08	31,68	54,89	65,55
TTP	O	50	408,5	41,45	12,28	18125	15,99	28,36	62,81	78,98
	P	50	371,1	45,81	12,28	16125	15,66	29,59	65,59	84,52
	R	50	198,1	48,24	12,83	7500	15,64	25,78	60,91	76,05
sady	O	5	40,85	39,35	25,30	64,20	26,72	28,85	46,53	57,13
	P	5	40,94	46,28	23,70	53,85	27,71	33,73	47,15	51,17
vinice	O	5	30,73	28,23	21,43	43,93	23,46	26,50	33,55	39,78
	P	5	30,50	28,35	21,03	43,73	23,41	26,98	32,40	39,20
chmelnice	O	6	36,35	34,94	31,73	45,65	31,75	32,38	38,23	42,36
	P	6	34,93	33,59	29,95	43,18	30,35	30,84	37,91	40,85

O – ornice, P – podorničí, R – druhé podorničí

Obrázek 20 Obsah chromu na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 vyjádřený jako procento preventivní hodnoty. Červeně označeny plochy s obsahem Cr vyšším než preventivní hodnota (ornice, lučavka královská)



Obrázek 21 Rozložení obsahů chromu v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.; box diagramy bez extrémních hodnot)



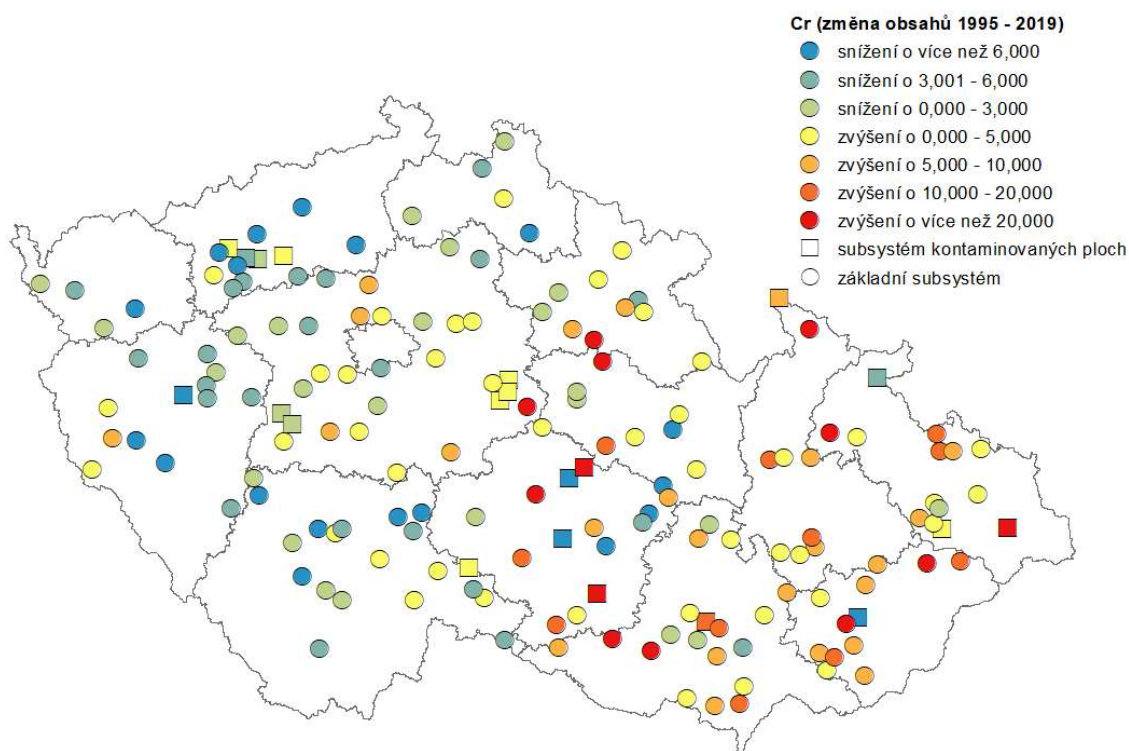
Hodnocení změn 1995–2019

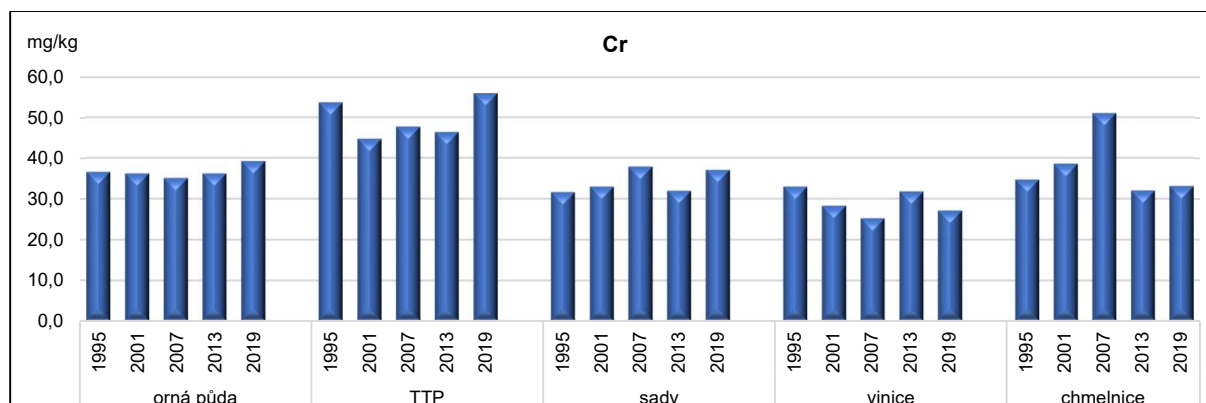
Obsahy chromu v orničním horizontu na 57 % monitorovaných ploch (99 ploch) rostou, průměrný nárůst proti roku 1995 činí přibližně 14 % (cca 4,96 mg.kg⁻¹). Na zbývajících plochách došlo k cca 11% snížení obsahů (4,2 mg.kg⁻¹). Z obrázku 22 je ovšem vidět, že ke kladným změnám obsahů chromu (ke zvýšení obsahů) došlo zejména ve východní (moravské) polovině České republiky.

Střední obsahy chromu v orných půdách (v obou horizontech) jsou nejvyšší v poslední odběrové kampani (2019), pro oba horizonty také platí, že obsahy v roce 1995 jsou nižší než v roce 2019 – tento rozdíl však není statisticky průkazný. V ornici jsou obsahy v kampaních 1995 až 2013 spíše vyrovnané, statisticky průkazný rozdíl je pouze mezi rokem 2007 a 2019 (2007 < 2019). V podorníci střední obsahy až do roku 2013 mírně klesají, v roce 2019 je zaznamenán nárůst. Statisticky významný rozdíl platí pro kampaně 2007, 2013 < 2019 (příloha 8). U travních porostů nebyly žádné statisticky významné rozdíly mezi kampaněmi zjištěny. Kultury s malým počtem stálých pozorovacích ploch nebyly statisticky hodnoceny, nicméně mírný růst mediánů lze pozorovat u sadů, naopak pokles u vinic a chmelnic.

S nesignifikantním poklesem obsahů Cr se setkali také Zhuang et al. (2013) při porovnání vzorků z dlouhodobého agronomického pokusu z let 1913 a 2012 ve Spojených státech amerických.

Obrázek 22 Změny obsahů chromu mezi periodami 1995 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg⁻¹)



Obrázek 23 Mediány obsahů chromu v orničním horizontu (mg.kg^{-1})**Shrnutí**

- rozsah naměřených obsahů Cr v celém souboru BMP v roce 2019: 11,1–18125 mg.kg^{-1} suš.
- medián obsahů Cr v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019 činí: 38,3 mg.kg^{-1} suš., 41,5 mg.kg^{-1} suš., 39,4 mg.kg^{-1} suš., 28,2 mg.kg^{-1} suš. a 35,0 mg.kg^{-1} suš.
- v roce 2019 klesaly mediány obsahů Cr v jednotlivých kulturách takto: TTP > sady > orná p. > chmelnice > vinice; rozdíly mezi kulturami nebyly vyhodnoceny jako statisticky významné
- očekávané zvyšování obsahů Cr směrem do hloubky není zcela jednoznačné, žádné rozdíly mezi horizonty nebyly statisticky potvrzeny
- v roce 2019 byla preventivní hodnota pro lehké byla překročena 3x, hodnota pro ostatní půdy 5x
- v roce 2019 byly na 99 lokalitách (ze 173 stálých ploch) naměřeny vyšší obsahy Cr než v roce 1995, na těchto plochách vzrostl obsah chromu proti roku 1995 cca o 4,96 mg.kg^{-1} (14 %)
- statisticky významné rozdíly mezi kampaněmi v rámci jednotlivých kultur byly zjištěny pouze u orné půdy, v ornici mezi roky 2007 a 2019 (2007 < 2019), v podorníci mezi roky 2007, 2013 a 2019 (2007, 2013 < 2019)
- obsahy naměřené v roce 1995 jsou nižší než v roce 2019, rozdíl není statisticky průkazný

4.6 Měď (Cu)

Jako průměrný obsah Cu 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). Pro zemědělské půdy Slovenska uvádí Kobza (2017) medián 20,2 mg.kg^{-1} .

Přírodními zdroji mědi jsou zvětrávání hornin, větrná eroze a roznášení prachu větrem, říční odnos do oceánů a sopečná činnost. Němeček et al. (1996) uvádí jako oblasti s výlučně geogenní zátěží Cu metalogenní zóny žul, rul a svorů. 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. Významné zvýšení obsahů Cu v půdě prokázali Ray et al. (2017) po dlouhodobé závlaze půdy odpadní vodou.

Podlešáková et al. (2001) řadí Cu k prakticky nemobilním prvkům (stejně tak Kašparová et al., 2011), u kterého ani vysoké obsahy nemají škodlivý efekt a udává jako možný kritický obsah z hlediska přestupu do rostliny více než 150 mg.kg^{-1} (geogenní původ).

Rok 2019

Rozsah obsahů Cu v orničním horizontu celého souboru ploch BMP činí 5,05–245,5 mg.kg^{-1} suš. Z obrázku 24 je vidět, že vyšší obsahy mědi lze očekávat zejména v severních Čechách (v Ústeckém kraji) a na Jižní Moravě, což potvrzují také výsledky z 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 Němeček et al. (2010). Horák et Hejman (2016) uvádí Cu (spolu s dalšími prvky – As, Pb, Zn) jako charakteristický kontaminant na Kutnohorsku (historická těžba rud a jejich zpracování – převážně v 13.–16. stol.).

Z deseti ploch s nejvyššími obsahy je šest chmelnic (tedy všechny). Z obrázku 25 je vidět, že obsahy Cu na chmelnicích jsou proti ostatním kulturám až o řád vyšší. A zvýšené jsou i obsahy ve vinicích. Střední obsahy v jednotlivých kulturách klesají v pořadí: chmelnice > vinice > TTP > orná p. > sady. Rozdíly mezi obsahy Cu na chmelnicích a vinicích a dalšími kulturami jsou významné.

A jelikož obsahy Cu v podorníci jsou v těchto kulturách až o 50 % nižší než v ornici (jako statisticky významný byl rozdíl mezi obsahy v ornici a podorníci potvrzen u vinic), oprávněně předpokládáme zvýšené antropogenní vstupy. 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 přípravek Cuproxat, Curzate, Kuprikol, Ridomil a Aliette. U posledních dvou jmenovaných již byla ukončena platnost Rozhodnutí o povolení přípravku na ochranu rostlin.

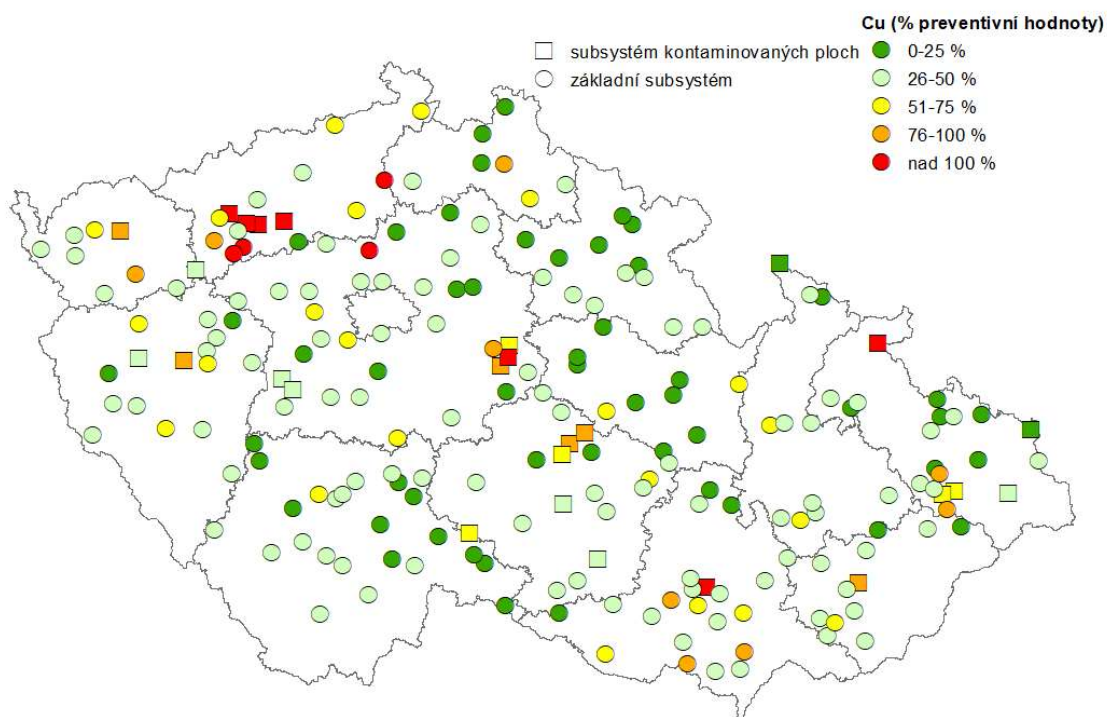
Preventivní hodnota pro obsah Cu v lehkých půdách dle platné vyhlášky je 45 mg.kg^{-1} suš., v ostatních půdách pak 60 mg.kg^{-1} suš. K překročení preventivní hodnoty pro ostatní půdy došlo na 9 monitorovacích plochách, a to na všech sledovaných chmelnicích (6x) a 3x na orné půdě. K překročení preventivní hodnoty pro lehké půdy došlo na 2 plochách s ornou půdou (obrázek 24).

Tabulka 14 Základní statistika obsahu mědi v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019 (lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

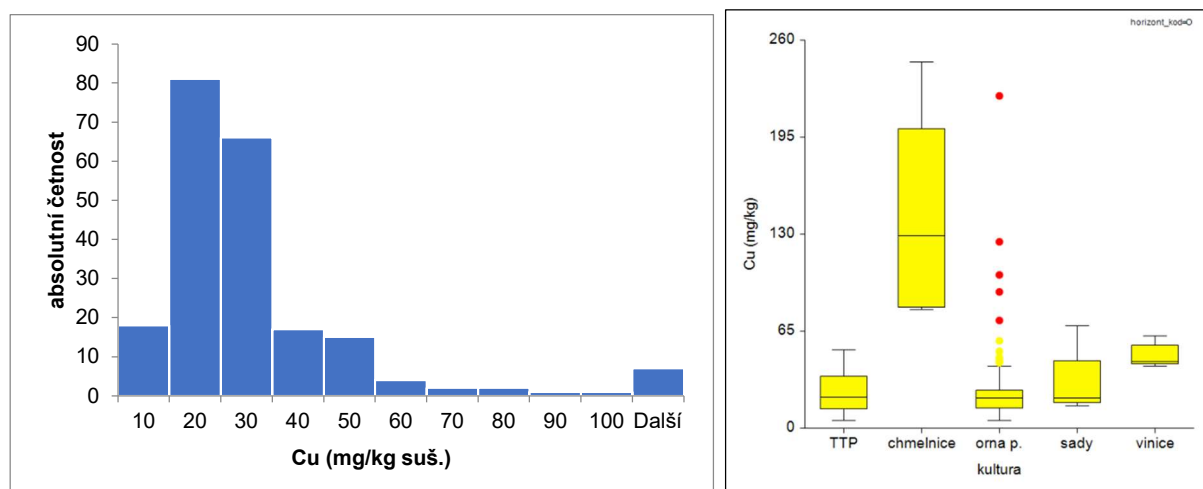
Cu	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
orná půda	O	148	24,24	20,03	5,05	222,75	10,90	13,84	25,05	37,79
	P	148	22,14	18,66	3,38	154,75	10,11	12,85	24,53	36,28
TTP	O	50	23,84	20,99	5,45	52,50	7,35	13,29	34,30	45,11
	P	50	23,90	21,08	5,35	55,50	6,92	12,98	34,76	44,08
	R	50	24,03	19,34	4,87	85,10	5,96	13,31	31,83	44,04
sady	O	5	29,12	20,15	15,18	68,78	16,89	19,45	22,03	50,08
	P	5	22,73	17,78	14,85	46,78	15,04	15,33	18,90	35,63
vinice	O	5	48,49	44,95	41,60	61,88	42,79	44,58	49,45	56,91
	P	5	31,74	30,53	20,28	46,35	23,36	27,98	33,58	41,24
chmelnice	O	6	141,78	129,13	79,58	245,50	80,59	92,64	172,44	215,63
	P	6	101,42	87,00	35,23	211,50	36,01	47,06	137,29	181,25

O – ornice, P – podorníci, R – druhé podorníci

Obrázek 24 Obsah mědi na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 vyjádřený jako procento preventivní hodnoty. Červeně označeny plochy s obsahem Cu vyšším než preventivní hodnota (ornice, lučavka královská)



Obrázek 25 Rozložení obsahů mědi v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

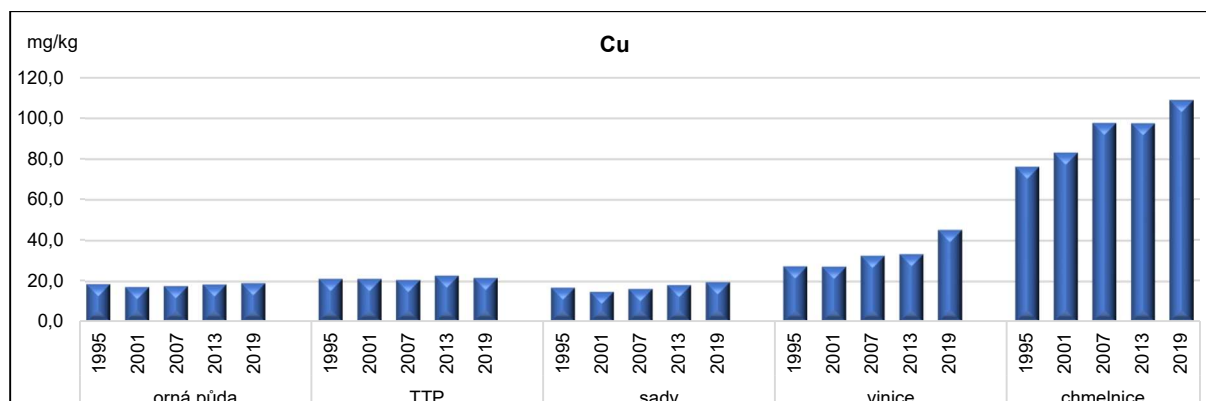


Hodnocení změn 1995–2019

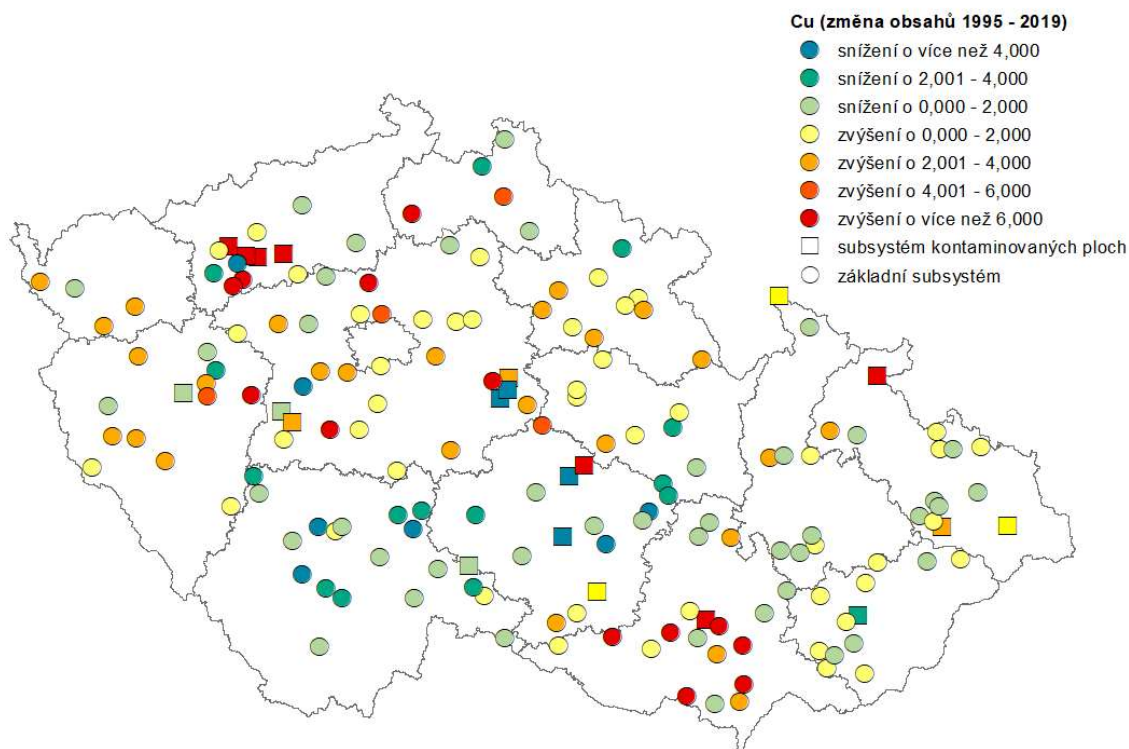
Obsahy Cu v travních porostech jsou vyrovnané, mezi jednotlivými odběrovými kampaněmi nejsou rozdíly. Střední obsahy Cu v orných půdách v jednotlivých odběrových kampaních se jeví velmi vyrovnané, nicméně v ornici došlo v roce 2001 k poklesu hodnot a byl zaznamenán významný rozdíl právě jen mezi roky 2001 a 1995 ($2001 < 1995$). V podorníci je rozdílů mezi kampaněmi více (příloha 8) – i zde došlo v roce 2001 k poklesu středních hodnot, významné rozdíly mezi kampaněmi byly vypočteny pro roky $2001 < 1995$, 2013, 2019. Zbývající kultury – sady, vinice a chmelnice nebyly statisticky hodnoceny. U všech těchto kultur dochází k postupnému zvyšování mediánů, u vinic a chmelnic k výraznému.

Zvýšení obsahu Cu v orničním horizontu (proti roku 1995) bylo zaznamenáno na 101 lokalitách, přibližně o $2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ (10% zvýšení), ke snížení obsahu mědi došlo na 72 lokalitách přibližně o $1,44 \text{ mg.kg}^{-1}$ (7% pokles). Pro srovnání – pouze na chmelnicích vzrostl obsah Cu od roku 1995 v průměru o 29 mg.kg^{-1} a na vinicích o cca 21 mg.kg^{-1} . U chmelnic a vinic předpokládáme zvyšování obsahů Cu prostřednictvím dávek aplikovaných přípravků na ochranu rostlin. Nicméně za vstup Cu do půdy jsou uvažována i statková hnojiva (Hlisnikovský et al., 2016). Z obrázku 27 dále vyplývá, že v Jihočeském kraji a kraji Vysočina obsahy mědi klesají.

Obrázek 26 Mediány obsahů mědi v orničním horizontu (mg.kg^{-1})



Obrázek 27 Změny obsahů mědi mezi periodami 1995 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg^{-1})



Shrnutí

- rozsah naměřených obsahů Cu v celém souboru BMP v roce 2019: 5,05–245,5 mg.kg^{-1} suš.
- medián obsahů mědi v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019 činí: 20,0 mg.kg^{-1} suš., 21,0 mg.kg^{-1} suš., 20,2 mg.kg^{-1} suš., 45,0 mg.kg^{-1} suš. a 129 mg.kg^{-1} suš.
- v roce 2019 střední obsahy v jednotlivých klesají v pořadí: chmelnice > vinice > TTP > orná p. > sady. Statisticky významné jsou rozdíly mezi chmelnicemi, vinicemi a dalšími kulturami (chmelnice – vinice > orná p. – TTP – sady)
- rozdíly mezi obsahy Cu v ornici a podorníci nebyly statisticky významné s výjimkou vinic (vinice: O > P)
- v roce 2019 byla preventivní hodnota pro lehké byla překročena 2x, hodnota pro ostatní půdy 9x
- v roce 2019 byly na 101 lokalitách (ze 173 stálých ploch) naměřeny vyšší obsahy Cu než v roce 1995, na těchto plochách vzrostl obsah mědi proti roku 1995 cca o 2,10 mg.kg^{-1} (10 %)
- statisticky významné rozdíly mezi kampaněmi v rámci jednotlivých kultur byly zjištěny pouze u orné půdy, v ornici mezi roky 2001 a 1995 (2001 < 1995), v podorníci mezi roky 2001 a 1995, 2013, 2019 (2001 < 1995, 2019, 2019)
- nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi obsahy v roce 1995 a v roce 2019

4.7 Molybden (Mo)

Molybden je prvek, který je v zemské kůře vzácný, jeho obsahy v půdě jsou nízké – pohybují se kolem 3 mg.kg^{-1} . Obsahy v rozsahu $0,5\text{--}5 \text{ mg.kg}^{-1}$ jsou považovány za normální, obsahy pod $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ jsou považovány za nízké (Adriano, 2001). Merian et al. (1991) uvádí průměrný obsah $1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš.

Antropogenními zdroji Mo jsou těžba, metalurgie, spalování fosilních paliv, sklářský, keramický a elektrotechnický průmysl.

Obsah Mo v půdách závisí, kromě průmyslových emisí, na matečné hornině, stupni zvětrávání a obsahu organické hmoty. V půdě má Mo tendence hromadit se v A (svrchních/orničních) horizontech (v několika horních centimetrech půdního profilu) s akumulovanou organickou hmotou. Adsorpce roste s klesajícím pH, maximální adsorpce je při $\text{pH}=3\text{--}5$. V alkalických půdách se Mo nachází v půdním roztoku (a může se tak objevit i v nižších vrstvách půdy), je mobilnější a pokud není z půdního profilu vyluhován (srážky, závlahy), dochází k přestupu do rostlin. Obsahy v půdě mohou být vyšší, než v matečné hornině (Adriano, 2001).

Pro rostliny je Mo esenciálním prvkem, jeho příjem je pH pozitivně závislý. Spolu s Cd a Zn patří k akropetálně snadno pohyblivým prvkům, tzn. že i v nadzemních částech rostlin může dosahovat vysokých, až škodlivých obsahů (Adriano, 2001, Trakal et al., 2009).

2019

Rozsah obsahů v orníční vrstvě monitorovaných ploch BMP činí $0,5\text{--}2,88 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. Maximum bylo, stejně jako v předchozí kampani v roce 2013, zjištěno na ploše 4023BO (k.ú. Červený Hrádek, okr. Plzeň-město), přičemž v podorníci téže plochy byl naměřen i absolutně nejvyšší obsah Mo – $3,52 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. Téměř 40 % monitorovacích ploch vykazuje obsah Mo $<0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. a dalších 40 % se pohybuje do $0,75 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš.

Nejvyšší střední hodnoty obsahů Mo vykazují chmelnice, proti ostatním zvýšený medián mají také travní porosty. Mezi mediány všech sledovaných jednotlivých kultur nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly. Stejně tak nebyly nalezeny významné rozdíly mezi obsahy Mo v ornici a podorníci jednotlivých kultur.

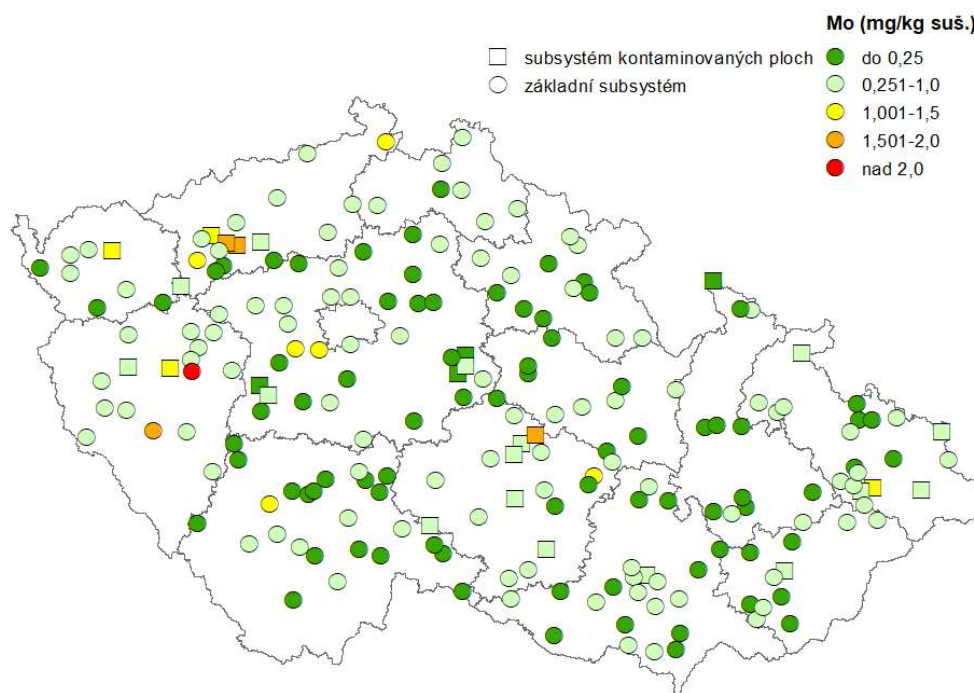
Pro Mo nejsou stanoveny preventivní hodnoty.

Tabulka 15 Základní statistika obsahu molybdenu v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019 (lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

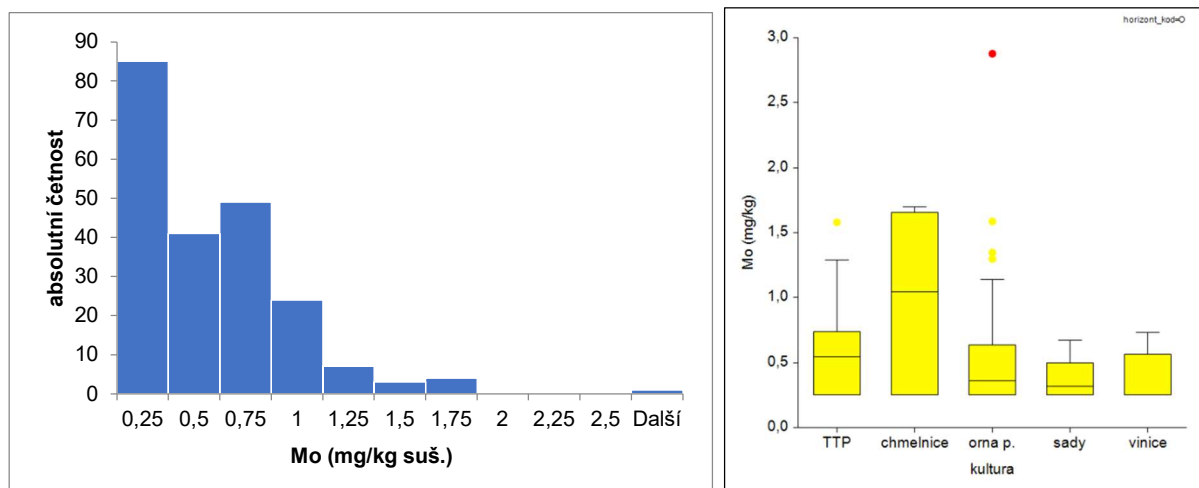
Mo	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
orná půda	O	148	0,48	0,36	<0,5	2,88	<0,5	<0,5	0,64	0,83
	P	148	0,46	<0,5	<0,5	3,52	<0,5	<0,5	0,60	0,79
TTP	O	50	0,56	0,55	<0,5	1,58	<0,5	<0,5	0,73	0,99
	P	50	0,56	0,56	<0,5	1,49	<0,5	<0,5	0,69	1,02
	R	50	0,54	0,43	<0,5	1,66	<0,5	<0,5	0,75	0,92
sady	O	5	0,36	0,32	<0,5	0,67	<0,5	<0,5	0,32	0,53
	P	5	0,29	<0,5	<0,5	0,36	<0,5	<0,5	0,34	0,35
vinice	O	5	0,38	<0,5	<0,5	0,73	<0,5	<0,5	0,40	0,60
	P	5	0,39	0,32	<0,5	0,65	<0,5	<0,5	0,47	0,58
chmelnice	O	6	0,99	1,05	<0,5	1,70	<0,5	0,42	1,52	1,67
	P	6	0,94	0,96	<0,5	1,76	0,29	0,44	1,34	1,58

O – ornice, P – podorníci, R – druhé podorníci

Obrázek 28 Obsah molybdenu na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 (ornice, lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)



Obrázek 29 Rozložení obsahů molybdenu v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)



Hodnocení 1995–2019

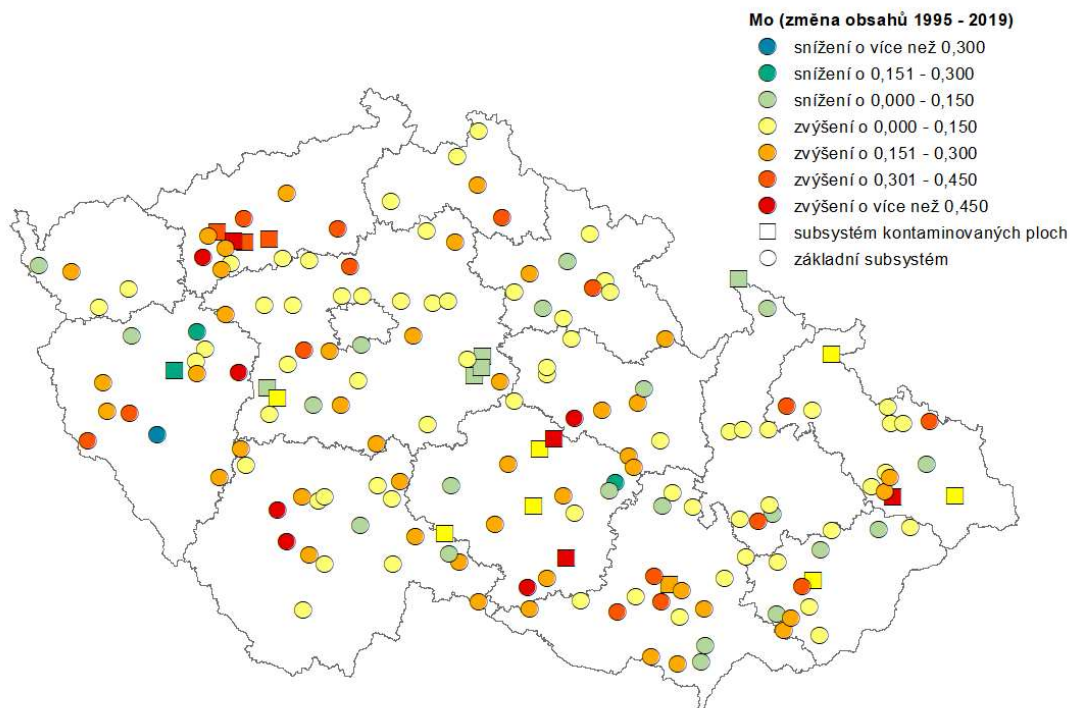
Proti roku 1995 byly zvýšené obsahy v roce 2019 zaznamenány na 152 plochách (téměř 90 % ploch), přičemž nárůst činil přibližně $0,15 \text{ mg.kg}^{-1}$, což je více než 50% zvýšení. Na zbývajících 21 plochách obsah molybdenu klesl cca o $0,06 \text{ mg.kg}^{-1}$ (cca 18% pokles).

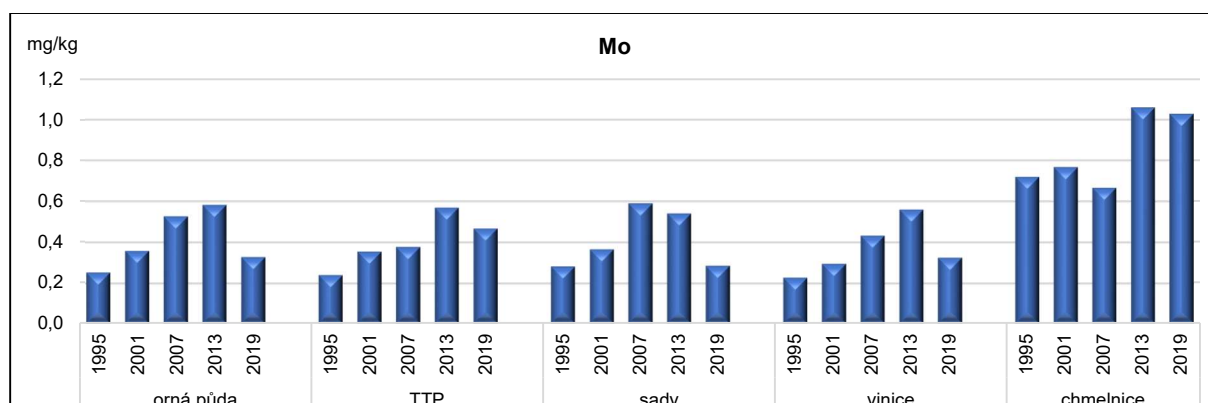
Střední obsahy Mo v orných půdách rostly do roku 2013, v letech 2007 a 2013 byly nejvyšší, v roce 2019 došlo ke snížení obsahu. Mezi jednotlivým kampaněmi jsou statisticky významné rozdíly (příloha 8), zjednodušeně lze říci, že v roce 1995 byly obsahy významně nižší než ve zbývajících kampaních ($1995 < 2001, 2007, 2013, 2019$) a zároveň že obsahy v kampaních 2007 a 2013 jsou významně vyšší než v ostatních cyklech ($2007, 2013 > 1995, 2001, 2019$). Uvedené charakteristiky platí jak pro ornici, tak pro podorníci.

Také v travních porostech střední hodnoty obsahů Mo rostly do roku 2013, kdy bylo dosaženo maximální hodnoty, v roce 2019 se projevil pokles hodnot. Statisticky významné rozdíly mezi kampaněmi lze zjednodušeně popsat velmi podobně jako je tomu u orných půd: u ornice i podorníci existuje průkazný rozdíl mezi kampaní 1995 a dalšími cykly ($1995 < 2007, 2013, 2019$) a zároveň je zde významně vyšší obsah v roce 2013 proti zbývajícím cyklům ($2013 > 1995, 2001, 2007, 2019$).

Propad mediánů v roce 2019 (obrázek 31) je důsledkem zvýšené meze stanovitelnosti ($\text{LOQ} = 0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$, pro výpočty byla použita hodnota $0,25 \text{ mg.kg}^{-1}$). Pro srovnání – v roce 2013 byla mez stanovitelnosti $0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$. I tak jsou střední hodnoty obsahů Mo v orných půdách i travních porostech v roce 2019 proti roku 1995 statisticky významně vyšší (ornice, podorníci). Obdobná je situace u sadů i vinic. U chmelnic lze pozorovat zvýšení střední hodnoty obsahu Mo až v roce 2013. Rozdíly mezi jednotlivými vzorkovacími cykly nebyly u sadů, vinic a chmelnic statisticky hodnoceny.

Obrázek 30 Změny obsahů molybdenu mezi periodami 1995 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg^{-1})



Obrázek 31 Mediány obsahů molybdenu v orničním horizontu (mg.kg^{-1})**Shrnutí**

- rozsah naměřených obsahů Mo v celém souboru BMP v roce 2019: $0,5\text{--}2,88 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš.
- medián obsahů Mo v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019 činí: $0,36 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš., $0,55 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš., $0,32 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš., $<0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. a $1,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš.
- v roce 2019 klesaly mediány v jednotlivých kulturách takto: chmelnice > TTP > orná p. > sady > vinice; rozdíly mezi kulturami nebyly vyhodnoceny jako statisticky významné
- v roce 2019 nebyly rozdíly mezi obsahy Mo v ornici a podorničí statisticky významné
- pro Mo není stanovena preventivní hodnota
- v roce 2019 byly na 152 lokalitách (ze 173 stálých ploch) naměřeny vyšší obsahy Mo než v roce 1995, na těchto plochách vzrostl obsah Mo proti roku 1995 cca o $0,15 \text{ mg.kg}^{-1}$ (více než 50 %)
- ve všech kulturách je pozorováno zvyšování středních obsahů do roku 2013 s mírným poklesem v roce 2019; u orných půd i travních porostů byly zaznamenány statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými odběrovými kampaněmi (orná půda, O, P: 1995 < 2001, 2007, 2013, 2019; 2007, 2013 > 1995, 2001, 2019; TTP, O, P: 1995 < 2007, 2013, 2019; 2013 > 1995, 2001, 2007, 2019)
- byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi obsahy v roce 1995 a 2019 v orných půdách i travních porostech (ornice, podorničí) (1995 < 2019)

4.8 Nikl (Ni)

Celkové obsahy niklu v půdě jsou různorodé, závisí především na matečné hornině. Maximální obsahy se vyskytují v půdách vzniklých na hadcích. Obecně se považuje za průměrný obsah niklu v půdě hodnota kolem 20 mg.kg^{-1} (Adriano, 2001), Kobza (2017) uvádí pro Slovensko medián $26,8 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Nikl v půdě je především geogenního původu, antropogenní vstupy jsou malé. Geologické podloží je odpovědné za zvýšené obsahy Ni v jihovýchodní části České republiky. Tam, kde se takové substráty nenachází (např. v Čechách) by mohly být zvýšené obsahy Ni výsledkem historických aplikací kalů ČOV (Bednářová et al., 2016). Nejvýznamnějšími antropogenními zdroji Ni podle ČHMÚ je energetika a výroba tepla (podíl těchto odvětví na emisích niklu v roce 2019 činil 36,8 %) (Škáchová et al., 2021) a tedy i emise jsou soustředěny do oblastí s tepelnými elektrárnami a teplárnami spalujícími uhlí v Ústeckém, Středočeském a Pardubickém kraji.

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 (Adriano, 2001). V půdě je málo rozpustný i při vysokých geogenních obsazích; jeho mobilita může být snížena vápněním až o 68–80 % (Podlešáková, E., Němeček, J., Vácha R. 2001).

2019

Rozsah obsahů niklu ve svrchním horizontu (O) celého souboru dat BMP činí 4,70 až 202 mg.kg^{-1} suš. (tabulka 16). Průměrné obsahy Ni v jednotlivých kulturách jsou spíše vyšší, než uvádí Adriano (2001), pohybují se kolem hodnoty 30 mg.kg^{-1} suš. (50 % ploch vykazuje obsah 15–35 mg.kg^{-1} suš.). Uvedená maximální hodnota byla naměřena na lokalitě 3016B, k.ú. Kluky u Písku (orná půda), stejně jako v minulé odběrové kampani v roce 2013. Vůbec nejvyšší obsah niklu (277 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.

Z databáze Registr kontaminovaných ploch (2M HNO_3) vyplývá, že zvýšené obsahy Ni se vyskytují v oblasti třebíčského masivu a Jižní Moravy, zejména v severní části okresu Znojmo a okresech Zlín a Uherské Hradiště (Poláková et al., 2011). Na monitorovacích plochách BMP jsou zvýšené obsahy, kromě zmíněných, zejména na Novojičínsku a v okolí Brna (obrázek 32).

Mediány (i průměry) v jednotlivých kulturách jsou vyrovnané. Stejně tak nebyly nalezeny žádné průkazné rozdíly mezi obsahy Ni v orničních a podorničních horizontech.

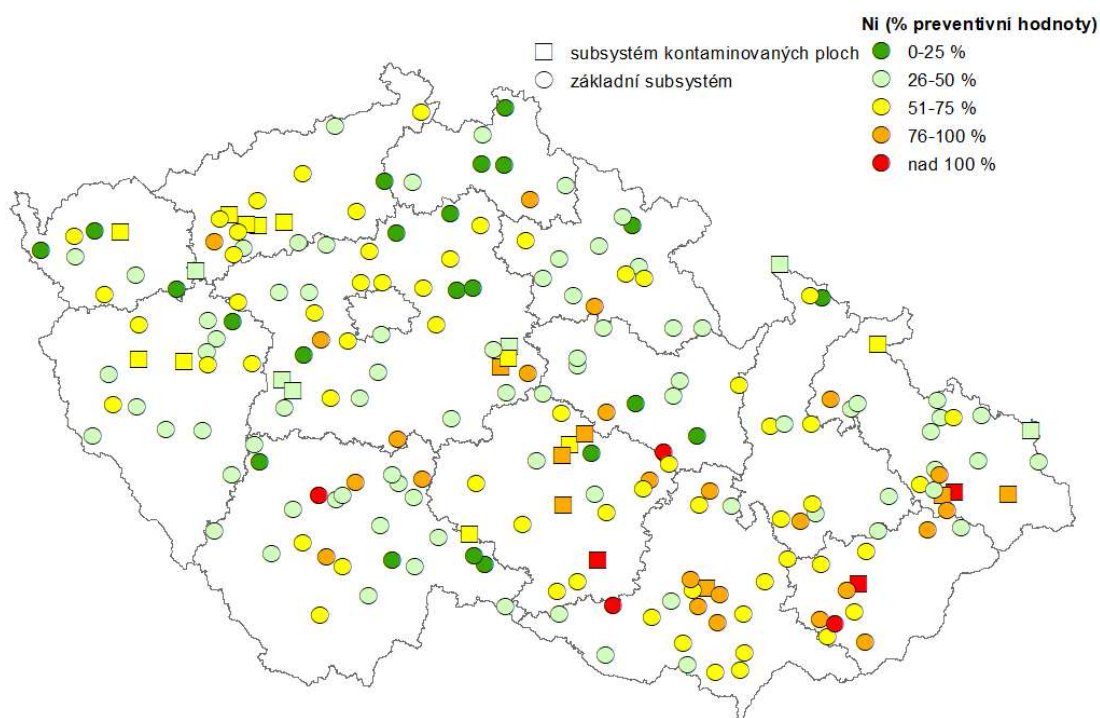
Preventivní hodnota pro lehké a ostatní půdy (45, resp. 50 mg.kg^{-1} suš.) byla v orničním horizontu překročena celkem 7x, z toho 2x na lehké půdě. Dalších sedm lokalit vyhovělo požadavkům vyhlášky jen díky zohlednění nejistoty měření.

Tabulka 16 Základní statistika obsahu niklu v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019 (lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

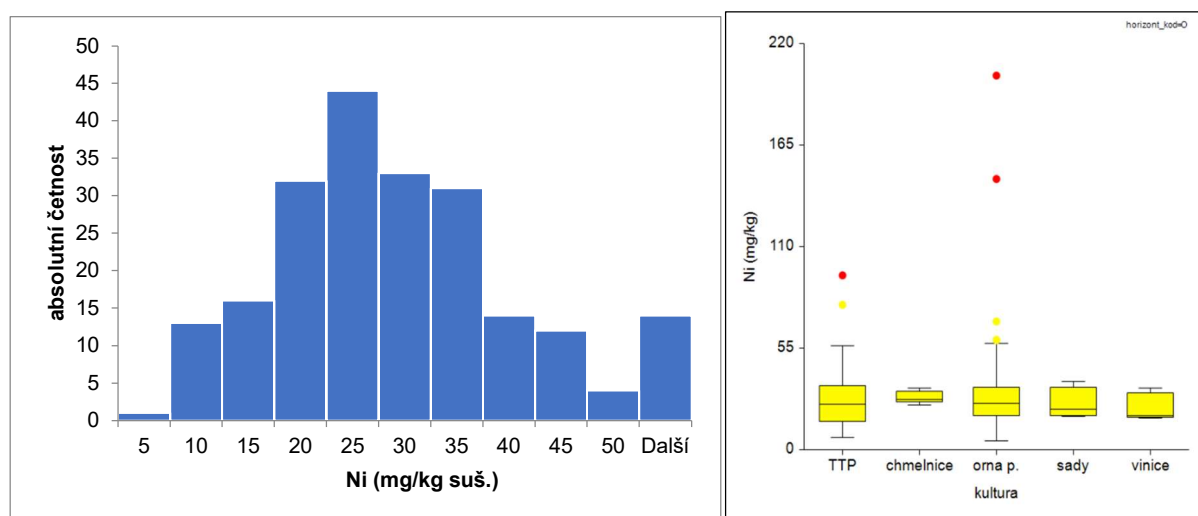
Ni	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
orná půda	O	148	28,75	24,89	4,70	202,75	14,27	18,59	34,03	41,54
	P	148	31,22	28,39	3,08	234,75	16,58	19,99	35,69	45,11
TTP	O	50	28,25	24,44	6,61	94,53	8,64	15,99	34,43	52,24
	P	50	30,32	25,83	7,05	102,58	9,32	16,15	36,12	53,07
	R	50	34,56	26,89	6,95	277,75	9,67	18,40	38,49	55,01
sady	O	5	25,33	21,98	18,25	37,05	18,42	18,68	30,70	34,51
	P	5	26,67	25,33	17,55	34,70	19,46	22,33	33,43	34,19
vinice	O	5	23,16	18,40	17,28	33,55	17,65	18,20	28,35	31,47
	P	5	23,05	20,25	16,53	33,50	17,57	19,13	25,85	30,44
chmelnice	O	6	28,40	27,43	24,18	33,63	25,49	26,88	30,17	32,30
	P	6	28,33	27,04	24,53	33,38	25,66	26,85	30,19	32,30

O – ornice, P – podorničí, R – druhé podorničí

Obrázek 32 Obsah niklu na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 vyjádřený jako procento preventivní hodnoty. Červeně označeny plochy s obsahem Ni vyšším než preventivní hodnota (ornice, lučavka královská)



Obrázek 33 Rozložení obsahů niklu v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, lučavka královská, mg.kg⁻¹ suš.)



Hodnocení 1995–2019

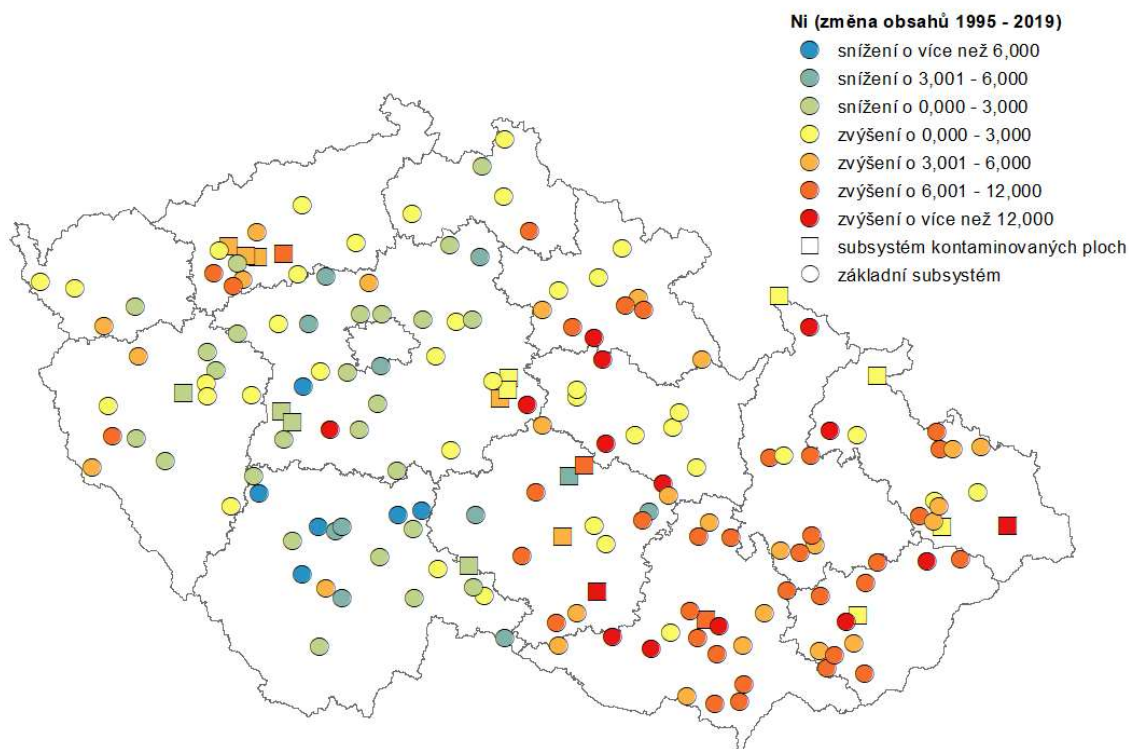
Obsahy niklu na sledovaných plochách od roku 1995 rostou. V roce 2019 bylo zaznamenáno zvýšení obsahů (proti roku 1995) na 127 plochách, tj. na 73 % ploch, přibližně o 4,5 mg.kg⁻¹ (nárůst o 21 %). Na 46 plochách byl naměřen nižší obsah Ni, a to cca o 2,16 mg.kg⁻¹, což představuje snížení o 9 %.

Nejnižší střední obsahy u orných půd pozorujeme v roce 2001, od té doby se neustále zvyšují. Jak v ornici, tak v podorníci jsou obsahy v roce 2001 statisticky významně nižší než v letech 1995, 2007, 2013, 2019 a rok 2019 je významně vyšší než kampaně 1995, 2001, 2007; mezi jednotlivými odběrovými kampaněmi existují ještě další průkazné rozdíly (příloha 8).

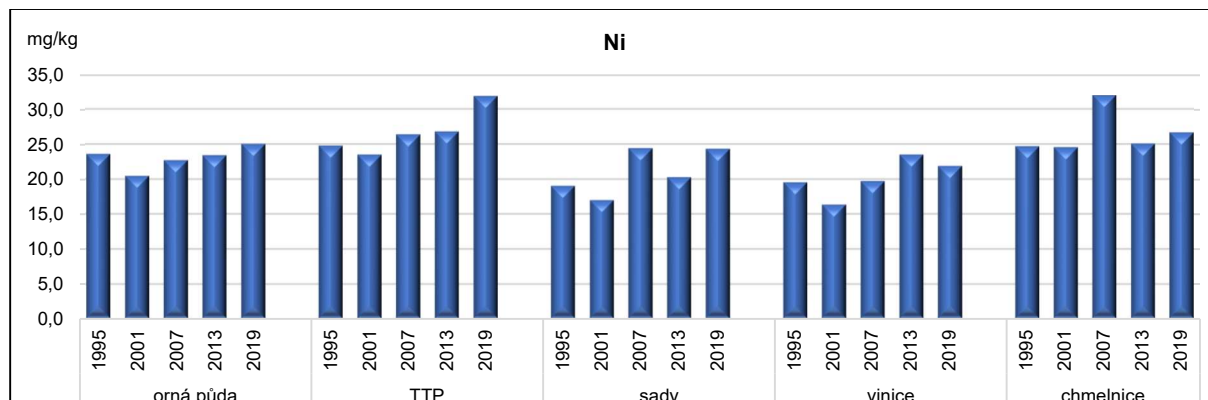
Také v případě travních porostů jsou nejnižší střední obsahy v roce 2001, které od té doby stále rostou. Pro oba horizonty platí, že rok 2001 < 2013, 2019 a 2019 > 1995, 2001, 2007. Mezi kampaněmi jsou další průkazné rozdíly. Pro obě uvedené kultury platí, že mezi roky 1995 a 2019 je statisticky významný rozdíl (v ornici, i podorníci; 1995 < 2019). Zvyšování obsahů pozorujeme i u vinic a sadů, obsahy niklu na chmelnicích mají vyrovnaný charakter. Z důvodu nízkého počtu ploch nebylo u těchto kultur provedeno statistické porovnání jednotlivých odběrových kampaní.

Zatímco zvýšené obsahy Ni se nachází v okolí Nového Jičína, mozaikovitě v kraji Vysočina a v Jihomoravském kraji, k nárůstu obsahů došlo ve všech moravských krajích, v kraji Vysočina, Pardubickém, Hradeckém, také v západních Čechách a v Podkrušnohoří. Pokles obsahů lze pozorovat prakticky pouze v Jihočeském a Středočeském kraji a v části kraje Plzeňského (obrázek 34). Statisticky průkazné zvýšení obsahů niklu u orných půd a travních porostů i růst obsahů u zbývajících kultur představuje značně znepokojivý trend.

Obrázek 34 Změny obsahů niklu mezi periodami 1995 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg^{-1})



Obrázek 35 Mediány obsahů niklu v orničním horizontu (mg.kg^{-1})



Shrnutí

- rozsah naměřených obsahů Ni v celém souboru BMP v roce 2019: 3,08–278 mg.kg^{-1} suš.
- medián obsahů Ni v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019: 24,9 mg.kg^{-1} suš., 24,4 mg.kg^{-1} suš., 22,0 mg.kg^{-1} suš., 18,4 mg.kg^{-1} suš. a 27,4 mg.kg^{-1} suš.
- v roce 2019 klesaly mediány v jednotlivých kulturách takto: chmelnice > orná p. > TTP > sady > vinice; rozdíly mezi kulturami nebyly vyhodnoceny jako statisticky významné
- v roce 2019 nebyly rozdíly mezi obsahy Ni v ornici a podorníci statisticky významné

- preventivní hodnota pro lehké půdy byla v roce 2019 překročena 2x, preventivní hodnota pro ostatní půdy 5x
- v roce 2019 byly na 127 lokalitách (ze 173 stálých ploch) naměřeny vyšší obsahy Ni než v roce 1995, na těchto plochách vzrostl obsah Ni proti roku 1995 cca o $4,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ (nárůst cca o 21 %)
- v rámci jednotlivých kampaní byla u orných půd i travních porostů zaznamenána nejnižší střední hodnota v roce 2001, od té doby obsahy rostou; mezi jednotlivými roky jsou statisticky významné rozdíly (orná půda, O, P: 2001 < 1995, 2007, 2013, 2019; 2019 > 1995, 2001, 2007; TTP, O, P: 2001 < 2013, 2019 a 2019 > 1995, 2001, 2007)
- byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi obsahy v roce 1995 a 2019 v orných půdách i travních porostech (ornice, podorníčí)

4.9 Olovo (Pb)

Průměrný obsah olova v zemědělských půdách zjištěný v rámci vedení Registru kontaminovaných ploch činí pro lehké půdy 25 mg.kg^{-1} a pro půdy ostatní 28 mg.kg^{-1} (data ÚKZÚZ, 2022), Adriano (2001) uvádí střední obsahy (medián) olova ve Francii $23,8 \text{ mg.kg}^{-1}$, v Německu $32\text{--}45 \text{ mg.kg}^{-1}$ (v závislosti na kultuře) a ve Walesu 40 mg.kg^{-1} , Kobza (2017) na Slovensku (také medián) $19,3 \text{ mg.kg}^{-1}$.

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. Dle ČHMÚ (Škáchová et. al., 2021) má nejvýznamnější podíl na emisích Pb výroba železa a oceli a odpalování ohňostrojů a pyrotechniky. Jako další zdroje lze uvést spalovací procesy, veřejnou energetiku a výrobu tepla a silniční dopravu. 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.

V půdě je Pb imobilní; nízké pH může způsobit zvýšení mobility, naopak dostatek kvalitní organické hmoty obsah Pb v mobilní frakci snižuje (Bielek a kol., 2000). Je to prvek s prakticky nejnižším transfer faktorem, pouze vysoké geogenní obsahy (nad 400 mg.kg^{-1} suš.) nebo mimořádná antropogenní aktivita by mohli mít nepříznivý vliv na přestup Pb do rostlin (Podlešáková, E., Němeček, J., Vácha R., 2000).

2019

Rozsah obsahů Pb v celém souboru ploch BMP (v orničním horizontu) činí $10,9\text{--}901 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. Nejvyšší obsah v ornici byl zjištěn na ploše 2902KO Lhota u Příbramě, okr. Příbram. Absolutně nejvyšší obsah Pb v celém souboru BMP (O, P, R dohromady) byl naměřen v P horizontu plochy 6904KO Utín, okr. Havlíčkův Brod stejně jako v minulé odběrové kampani. 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).

Zvýšené obsahy Pb se nachází ve Středočeském kraji (okr. Příbram, Kutná Hora), v kraji Vysočina (okr. Havlíčkův Brod), v Plzeňském kraji (okr. Plzeň-město) a v Ústeckém kraji (okr. Louny). Tomu odpovídají i výsledky šetření prováděného v rámci vedení Registru kontaminovaných ploch. V RKP se zvýšené obsahy Pb zobrazují, kromě zmíněných, i v jižních Čechách a Moravskoslezském kraji (Kubík et al., 2021). Dle ČHMÚ (Škáchová et al., 2021) jsou největší emise Pb v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek, a to vlivem koncentrace podniků na výrobu železa a oceli, na obsazích Pb v půdních vzorcích BMP se to však neprojevovalo. Ve Středočeském kraji je významné množství emisí olova do ovzduší vnášeno ze sekundární výroby olova v Kovohutích Příbram. Vysoké obsahy Pb v okolí Stříbra, Kutné Hory a Příbramě potvrzuje také Bednářová et al. (2016) a to jako důsledek těžby rud. V souvislosti s těžbou uhlí jsou zvýšené obsahy Pb v Krušných horách a v ostravském regionu.

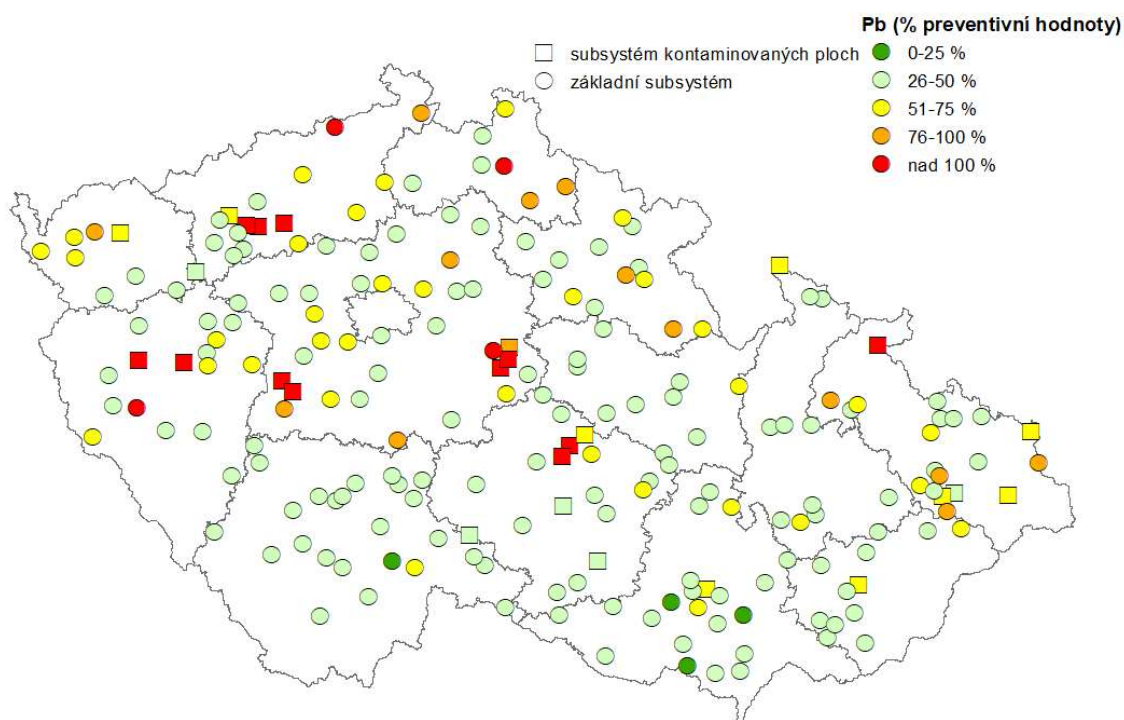
Z průměrů a mediánů se vymykají vinice, jejichž průměr i medián je nejnižší ze všech kultur, a to statisticky významně. Další průkazný rozdíl byl pozorován mezi ornou půdou a travními porosty. U sadů a orných půd můžeme pozorovat vyšší obsahy Pb v ornici než v podornici (což odpovídá pověsti Pb jako antropogenního kontaminantu), rozdíl byl statisticky potvrzen pro ornou půdu. Antropogenně podmíněné zvýšené obsahy Pb ve svrchních horizontech s prudkým poklesem směrem do hloubky zmiňuje také Kobza (2003) v souvislosti s monitorováním lokalit v nadmořských výškách nad 940 m n. m.

Preventivní hodnota (pro lehké půdy 55 mg.kg^{-1} suš., pro ostatní půdy 60 mg.kg^{-1} suš.) byla v orničním horizontu překročena celkem 16x, z toho 2x na lehké půdě.

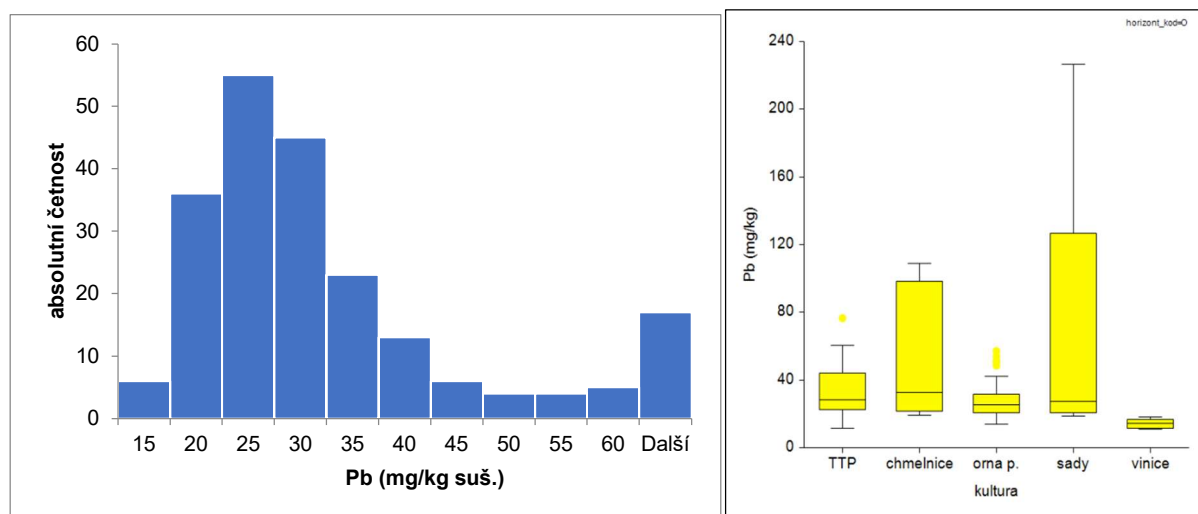
Tabulka 17 Základní statistika obsahu olova v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019 (lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

Pb	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
orná půda	O	148	54,42	25,36	13,95	901,25	18,22	20,82	31,27	44,22
	P	148	39,97	19,25	9,95	942,75	13,99	16,37	25,48	32,42
TTP	O	50	39,49	28,34	11,55	291,00	18,95	22,87	42,48	57,16
	P	50	40,75	30,98	11,45	340,50	16,77	21,26	42,65	57,85
	R	50	39,95	26,61	9,78	628,00	15,86	19,33	31,33	45,05
sady	O	5	64,40	27,15	18,93	226,50	20,17	22,03	27,40	146,86
	P	5	42,46	22,25	18,85	128,00	18,91	19,00	24,18	86,47
vinice	O	5	14,23	14,25	10,92	18,15	11,46	12,28	15,58	17,12
	P	5	12,19	11,98	8,94	14,30	10,06	11,75	13,98	14,17
chmelnice	O	6	51,91	32,79	19,38	109,00	20,99	22,81	81,73	101,96
	P	6	55,10	32,99	19,18	128,00	20,05	21,11	83,47	112,26

Obrázek 36 Obsah olova na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 vyjádřený jako procento preventivní hodnoty. Červeně jsou označeny plochy s obsahem Pb vyšším než preventivní hodnota (ornice, lučavka královská)



Obrázek 37 Rozložení obsahů olova v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.; box plot bez extrémních hodnot)



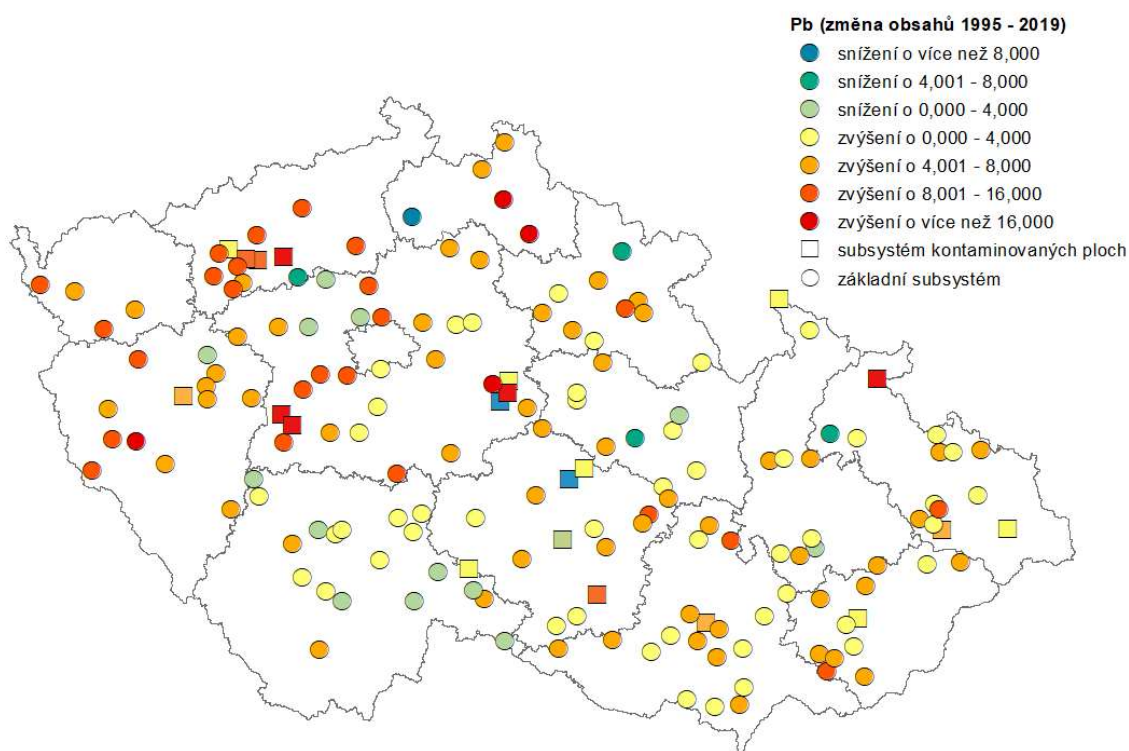
Hodnocení 1995–2019

Mediány obsahů olova v půdách od roku 1995 rostou. V roce 2019 byly obsahy vyšší než v roce 1995 naměřeny na 152 plochách (87 % ploch); zvýšení na těchto plochách činilo v průměru $5,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ (26 %). Na zbývajících 21 plochách obsah Pb klesl přibližně o $1,69 \text{ mg.kg}^{-1}$, což představuje pokles o 7 %.

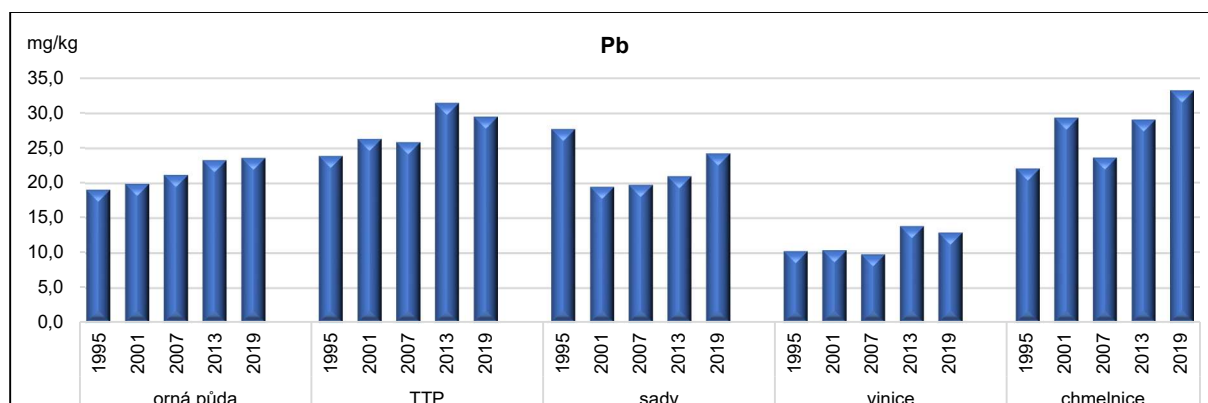
V ornici i podorníční orných půd lze sledovat postupný růst středních hodnot obsahů. Pro oba horizonty platí, že obsahy v letech 1995 a 2001 jsou srovnatelné (bez významných rozdílů) a významně nižší než v dalších třech kampaních (1995, 2001 < 2007, 2013, 2019). Zároveň platí, že mezi kampaněmi 2007, 2013 a 2019 průkazné rozdíly nejsou. Z obrázku 39 je vidět, že střední obsahy rostou také v případě travních porostů, nicméně zde nebyly žádné statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými odběrovými kampaněmi nalezeny. Postupný růst pozorujeme také u vinic a chmelnic. U sadů došlo v roce 2001 k poklesu hodnot, které od té doby rostou. Sady, vinice a chmelnice nebyly z důvodu nízkého počtu ploch statisticky hodnoceny.

Ačkoli nadlimitní obsahy Pb (ve smyslu překročení preventivní hodnoty) se vyskytují pouze na několika relativně izolovaných místech, ke zvyšování obsahů dochází plošně na celém území České republiky. Nejvýraznější (absolutní) změny jsou v západní části území (obrázek 38). Nastolený trend zvyšování obsahů není příznivý.

Obrázek 38 Změny obsahů olova mezi periodami 1995 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg^{-1})



Obrázek 39 Mediány obsahů olova v orničním horizontu (mg.kg^{-1})



Shrnutí

- rozsah naměřených obsahů Pb v celém souboru BMP v roce 2019: 8,94–943 mg.kg^{-1} suš.
- medián obsahů Pb v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019: 25,4 mg.kg^{-1} suš., 28,3 mg.kg^{-1} suš., 27,2 mg.kg^{-1} suš., 14,3 mg.kg^{-1} suš. a 32,8 mg.kg^{-1} suš.
- v roce 2019 klesají mediány v jednotlivých kulturách v pořadí: chmelnice > TTP > sady > orná p. > vinice; jako statisticky průkazné byly vyhodnoceny rozdíly mezi vinicemi

- a ostatními kulturami (chmelnice – TTP – sady – orná p. > vinice); další průkazný rozdíl existuje mezi TTP a ornou půdou (TTP > orná p.)
- v roce 2019 byly rozdíly mezi obsahy Pb v ornici a podorníčí orných půd vyhodnoceny jako statisticky významné (orná půda: O > P)
 - preventivní hodnota pro lehké půdy byla v roce 2019 překročena 2x, preventivní hodnota pro ostatní půdy 14x
 - v roce 2019 byly na 152 lokalitách (ze 173 stálých ploch) naměřeny vyšší obsahy Pb než v roce 1995, na těchto plochách vzrostl obsah Pb proti roku 1995 cca o $5,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ (nárůst cca o 26 %)
 - mediány obsahů olova pozvolna rostou u všech typů hospodaření; u orných půd došlo k významnému zvýšení středních hodnot obsahů v posledních třech kampaních (2007, 2013, 2019) vůči prvním dvěma (1995, 2001); k postupnému růstu hodnot dochází i u travních porostů, rozdíly mezi kampaněmi však nejsou průkazné (orná půda, O, P: 1995, 2001 < 2007, 2013, 2019)
 - byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi obsahy v roce 1995 a 2019 v orných půdách (ornice, podorníčí) (orná půda, O, P: 1995 < 2019)

4.10 Vanad (V)

Adriano (2001) ve své publikaci, ve které shrnuje informace od různých autorů, uvádí rozsah vanadu v půdách 57–80 mg.kg⁻¹, s maximem do 500 mg.kg⁻¹. Průměrné obsahy v zemědělských půdách ČR činí v ostatních půdách 48,7 mg.kg⁻¹ a v půdách lehkých 44,2 mg.kg⁻¹ (tabulka 9).

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. K nejvýznamnějším geogenním zdrojům patří matečná hornina, přičemž obsahy se mohou pohybovat od jednotek až po stovky mg.kg⁻¹ (Adriano, 2001).

V rámci výzkumu zaměřeného na rozlišení geochemického a antropogenního zatížení půd, který prováděl Němeček et al. (1996) bylo zjištěno, že v České republice je vanad (spolu s dalšími prvky, zejména s Cr, dále s Ni a Co) geogenního původu v severočeském regionu (na bazických a ultrabazických horninách) a v severovýchodních Čechách v areálech čedičů. Antropogenního původu je zejména v oblastech s metalurgickým průmyslem.

2019

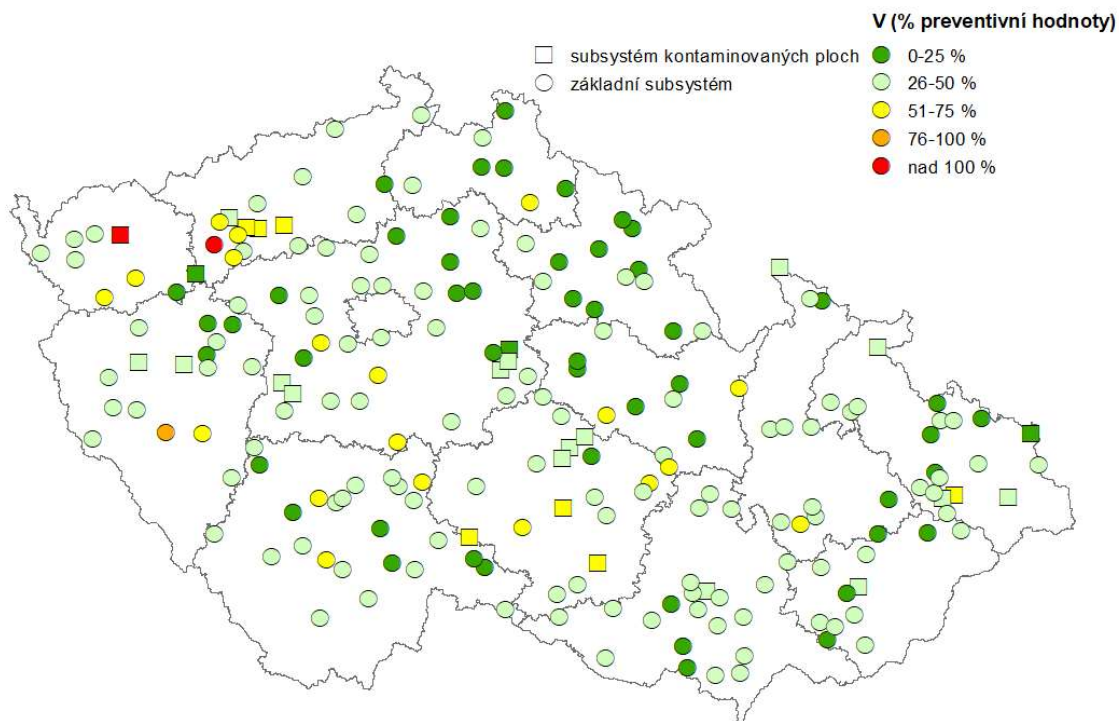
Rozsah obsahů vanadu v orničním horizontu celého souboru ploch BMP činí 14,1 až 262 mg.kg⁻¹ suš. Mediány jednotlivých kultur kolísají, nejvyšší střední obsahy vanadu se nalézají na chmelnicích v Ústeckém kraji. Stejně tak se v tomto kraji nachází plocha s nejvyšším obsahem vanadu – 5011B, k.ú. Krásný Dvůr, okres Louny. V této oblasti jsou zvýšené obsahy vanadu potvrzeny i daty z Registru kontaminovaných ploch (Kubík et al., 2021). Střední hodnoty (mediány) vanadu v jednotlivých kulturách klesají v pořadí: chmelnice > TTP > orná p. > sady > vinice. Vyšší obsahy vanadu na chmelnicích oproti ostatním kulturám byly statisticky potvrzeny (chmelnice > orná p. – sady – vinice). Rozdíly mezi obsahy vanadu v ornici a podorníci jednotlivých kultur nalezeny nebyly.

Ve sledovaném souboru byla překročena pouze preventivní hodnota pro ostatní půdy (130 mg.kg⁻¹), a to na dvou lokalitách – na již zmíněné ploše v k.ú. Krásný Dvůr (orná půda) a na ploše 4904KO v k.ú. Jenišov, v okrese Karlovy Vary (travní porost).

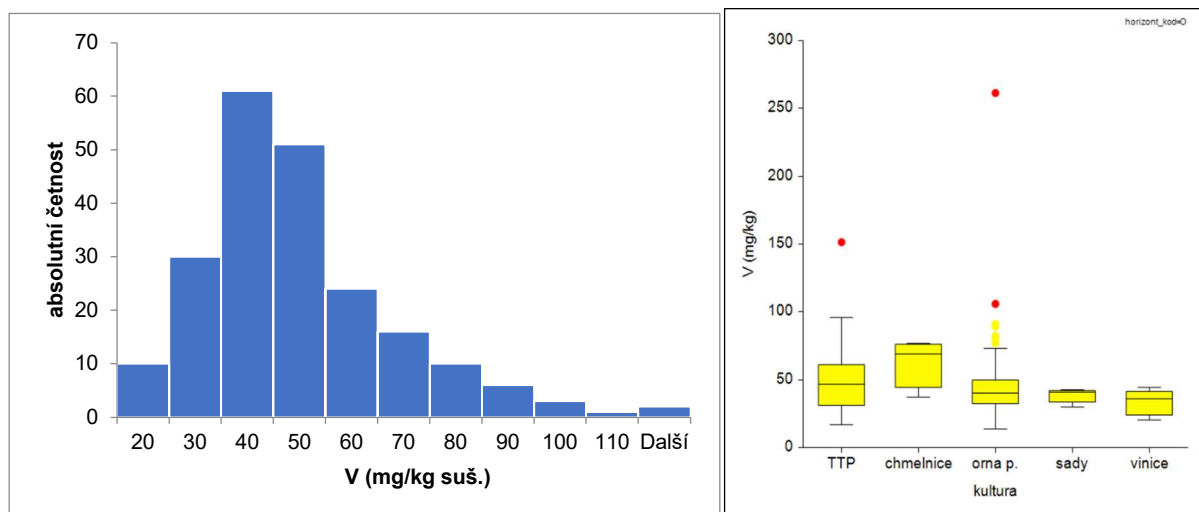
Tabulka 18 Základní statistika obsahu vanadu v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019 (lučavka královská, mg.kg⁻¹ suš.)

V	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
orná půda	O	148	44,45	40,04	14,05	261,50	25,94	32,73	49,72	64,97
	P	148	46,83	41,36	12,22	230,75	28,77	33,42	53,26	68,24
TTP	O	50	49,57	46,70	16,75	151,50	20,76	32,13	60,51	79,57
	P	50	51,08	48,50	16,55	156,00	21,89	32,20	60,26	82,75
	R	50	50,42	43,61	15,78	172,25	20,31	31,81	60,19	84,35
sady	O	5	38,25	40,58	30,08	42,65	32,74	36,73	41,20	42,07
	P	5	41,17	41,80	28,78	47,45	33,80	41,33	46,50	47,07
vinice	O	5	33,31	35,80	20,53	44,53	23,28	27,40	38,28	42,03
	P	5	33,79	34,60	20,73	49,10	23,12	26,70	37,83	44,59
chmelnice	O	6	62,51	69,09	37,28	76,98	41,88	51,03	75,49	76,56
	P	6	63,06	67,20	38,38	84,80	41,73	49,44	74,76	80,26

Obrázek 40 Obsah vanadu na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 vyjádřený jako procento preventivní hodnoty. Červeně jsou označeny plochy s obsahem vanadu vyšším než je preventivní hodnota (ornice, lučavka královská)



Obrázek 41 Rozložení obsahů vanadu v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)



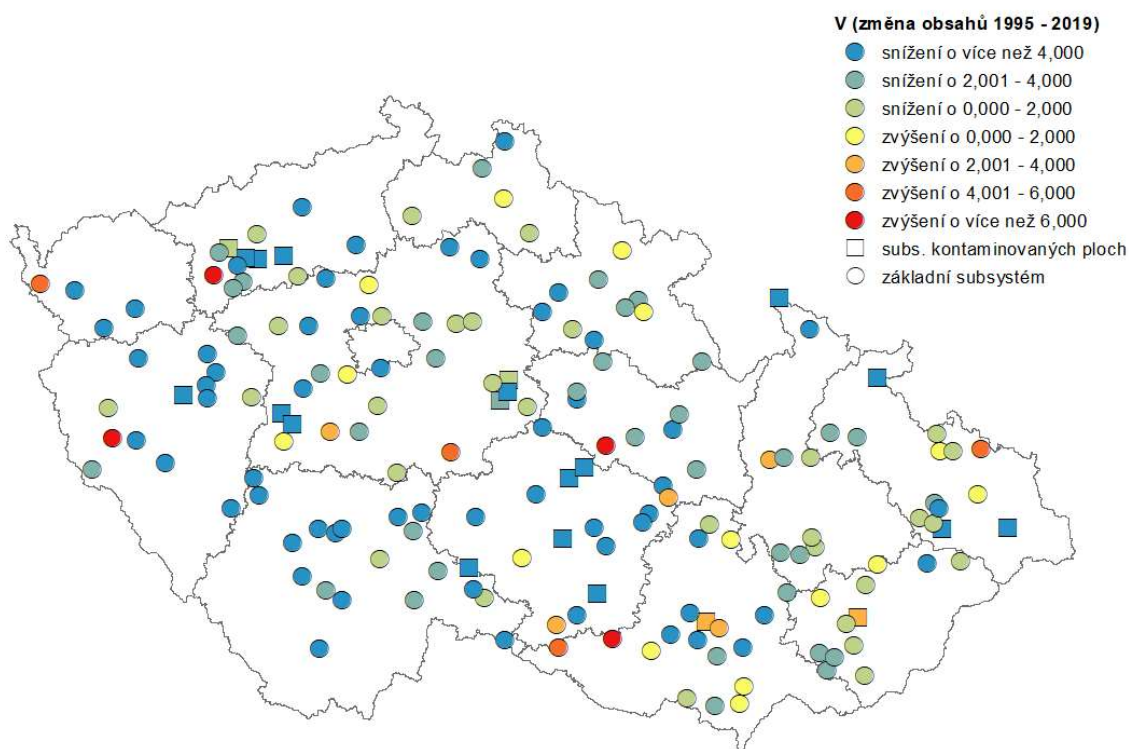
Hodnocení vývoje 1995–2019

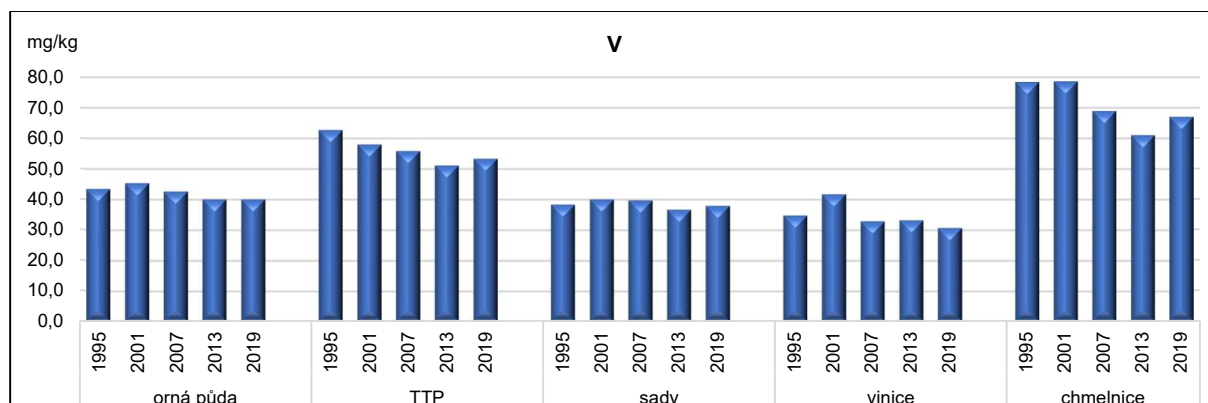
Střední obsahy vanadu v průběhu celého sledování, tj. od roku 1995 postupně ve všech kulturách klesají (obrázek 43). U orných půd dochází k průběžnému poklesu obsahů, v ornici jsou nejvyšší obsahy v kampaních 1995 a 2001 (vzájemně bez průkazných rozdílů), s významným rozdílem vůči roku 2007 a také k posledním dvěma kampaním (1995, 2001 > 2007 > 2013, 2019). V podornici je situace podobná – obsahy v letech 1995 a 2001 (vzájemně bez významných rozdílů) jsou průkazně vyšší než v posledních třech kampaních (1995, 2001 > 2007, 2013, 2019). Ke snižování obsahů dochází i v letech 2007 až 2019, rozdíl však není průkazný.

Průběžné snižování obsahů vanadu je patrné také u travních porostů. Ve svrchním horizontu byl průkazný rozdíl nalezen pouze mezi kampaněmi 1995 a 2013, 2019 (1995 > 2013, 2019). V podorničním horizontu obsahy klesaly do roku 2013, v roce 2019 se projevil mírný nárůst. Průkazný rozdíl existuje mezi kampaněmi 1995, 2001 a 2013 (1995, 2001 > 2013). Statisticky významné snížení obsahů v roce 2019 vůči roku 1995 bylo tedy potvrzeno v ornici i podornici orných půd a ve svrchním horizontu travních porostů (příloha 8). Snižování obsahů je vidět i u sadů, vinic a chmelnic – v těchto kulturách však nebyly rozdíly mezi kampaněmi z důvodu nízkého počtu ploch statisticky hodnoceny.

Celkem došlo ke snížení obsahů vanadu v roce 2019 vůči roku 1995 na 143 monitorovacích plochách, a to přibližně o 4 mg.kg^{-1} (cca 9% snížení). Na zbývajících plochách byly zjištěny obsahy vyšší než v roce 1995, přičemž zvýšení činí cca $2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ (necelých 6 %).

Obrázek 42 Změny obsahů vanadu mezi periodami 1995 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg^{-1})



Obrázek 43 Mediány obsahů vanadu v orničním horizontu (mg.kg^{-1})**Shrnutí**

- rozsah naměřených obsahů vanadu v celém souboru BMP v roce 2019: 12,2–262 mg.kg^{-1} suš.
- medián obsahů Pb v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019: 40,0 mg.kg^{-1} suš., 46,7 mg.kg^{-1} suš., 40,6 mg.kg^{-1} suš., 35,8 mg.kg^{-1} suš. a 69,1 mg.kg^{-1} suš.
- v roce 2019 klesaly střední obsahy (mediány) vanadu v jednotlivých kulturách v pořadí: chmelnice > TTP > orná p. > sady > vinice; jako statisticky významné byly vyhodnoceny rozdíly mezi chmelnicemi a ostatními kulturami (chmelnice > orná p. – sady – vinice)
- v roce 2019 nebyly rozdíly mezi obsahy vanadu v ornici a podorníci vyhodnoceny jako statisticky významné
- preventivní hodnota pro lehké půdy nebyla v roce 2019 překročena, preventivní hodnota pro ostatní půdy 2x
- v roce 2019 byly na 143 lokalitách (ze 173 stálých ploch) naměřeny nižší obsahy vanadu než v roce 1995, na těchto plochách klesl obsah vanadu proti roku 1995 cca o 4 mg.kg^{-1} (snížení cca o 9 %)
- střední obsahy vanadu ve všech kulturách klesají; u orných půd došlo k významnému snížení středních hodnot obsahů v posledních dvou kampaních vůči prvním třem (ornice: 1995, 2001 > 2007 > 2013, 2019; podorníci: 1995, 2001 > 2007, 2013, 2019); k postupnému snižování hodnot dochází i u travních porostů, ve svrchním horizontu byl potvrzen významný pokles mezi kampaněmi 1995 a 2013, 2019, v podorníčním horizontu mezi kampaněmi 1995, 2001 a 2013 (TTP, O: (1995 > 2013, 2019; TTP, P: 1995, 2001 > 2013))
- byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi obsahy v roce 1995 a 2019 v ornici a podorníci orných půd a ve svrchním horizontu travních porostů

4.11 Zinek (Zn)

Vycházíme-li z dat Registru kontaminovaných ploch, pak průměrné obsahy Zn v České republice jsou $75,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ v ostatních půdách a $71,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ v půdách lehkých (tabulka 9). Střední hodnoty (mediány) obsahů zinku v půdách celého světa uvádí různí autoři v rozsahu 40 až 77 mg.kg^{-1} (Adriano, 2001), Kobza (2017) uvádí střední hodnotu (medián) pro zemědělské půdy Slovenska $70,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ (extrakce lučavkou královskou).

Zinek je součástí mnoha výrobků – nádobí, kosmetiky, dezinfekčních prostředků, laků, nátěrů, baterií aj., dále se používá např. k ochraně dřeva či k ochraně materiálů proti korozi. Mezi bodové zdroje kontaminace patří slévárny, oblasti s hornickou činností a průmysl obecně. Intenzivní průmyslové zpracování Zn vede k jeho unikům do atmosféry, díky nimž se šíří na velké vzdálenosti. Prostřednictvím srážek je poté deponován na zemský povrch (Adriano, 2001). Dálkový přenos Zn indikují i výsledky monitoringu půd Slovenska (Kobza, 2003), kdy na vysokohorských půdách nacházejících se v nadmořských výškách nad 940 m n. m. byly zjištěny výrazně vyšší obsahy Zn ve svrchních 10 cm půdy než v hlubších horizontech. Zemědělská půda může být obohacována také zinkem pocházejícím z hnojiv.

Zinek se řadí k prvkům pohyblivým v půdním profilu. Jeho mobilita v půdě je v první řadě ovlivněna pH – s klesajícím pH roste obsah Zn v mobilní frakci. Naopak pokles mobility může být spojen s rostoucím podílem kvalitní organické hmoty, či vápněním. Zároveň patří k prvkům akropetálně snadno pohyblivým, s vysokým přestupem do rostlin (Bielek et al., 2000, Podlešáková et al., 2001, Trakal et al., 2009).

2019

Obsahy zinku se v orničním horizontu celého souboru dat z Bazálního monitoringu půd pohybují v rozmezí $22,4\text{--}1200 \text{ mg.kg}^{-1}$. Lokality BMP se zvýšenými obsahy jsou mozaikovitě roztroušeny po celém území České republiky podobně jako je tomu také s daty Registru kontaminovaných ploch (Kubík et al., 2021).

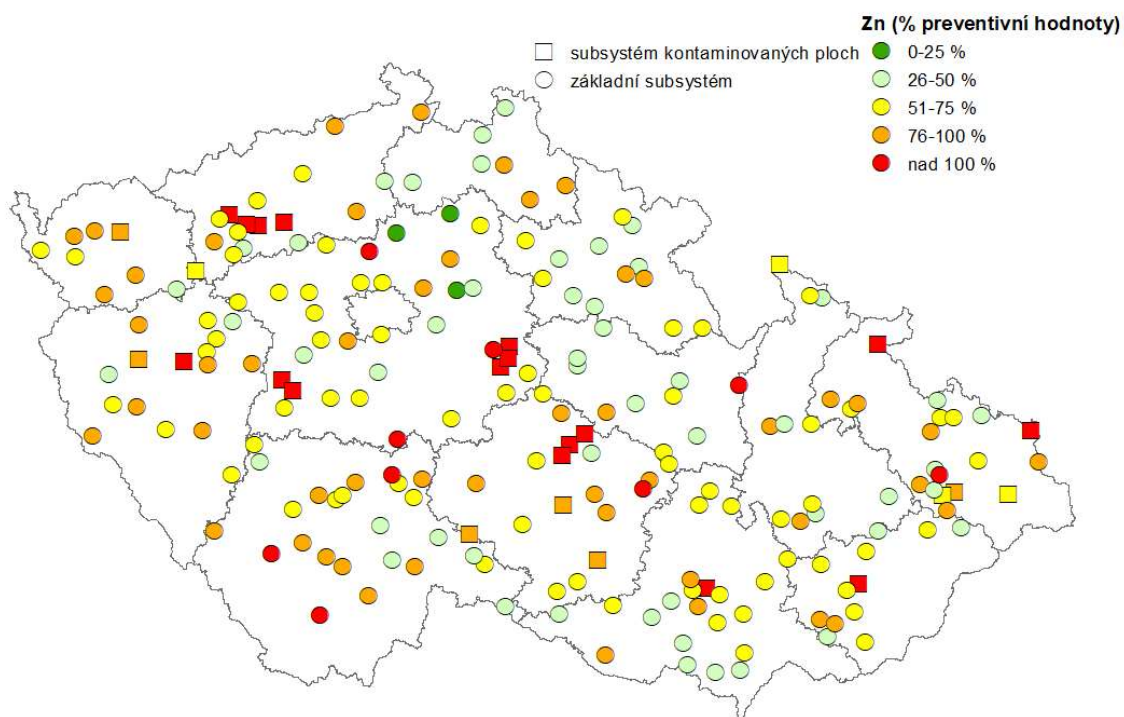
Nejvyšší průměrný obsah Zn byl vypočten pro sady, tento je však silně ovlivněn vysokým obsahem Zn na již dříve zmíněné ploše 2014B v k.ú. Kutná Hora. Oproti tomu na čtyřech ze šesti chmelnic jsou obsahy Zn vyšší než 120 mg.kg^{-1} suš. a tomu odpovídá nejen vysoký průměr, ale i vysoký medián. Střední hodnoty (mediány) v roce 2019 v jednotlivých kulturách klesají v pořadí: chmelnice > TTP > orná p. > sady > vinice. Významně vyšší obsahy Zn na chmelnicích proti orným půdám a vinicím byl potvrzen statisticky. Dále byl nalezen průkazný rozdíl mezi ornou půdou a TTP (TTP > orná p.). Mezi obsahy v jednotlivých horizontech rozdíly nalezeny nebyly.

Preventivní hodnota pro lehké půdy (105 mg.kg^{-1}) byla překročena na 2 lokalitách, hodnota pro ostatní půdy (120 mg.kg^{-1}) na 24 lokalitách! V počtu překročení preventivních hodnot je Zn na druhém místě za Cd (tabulka 21).

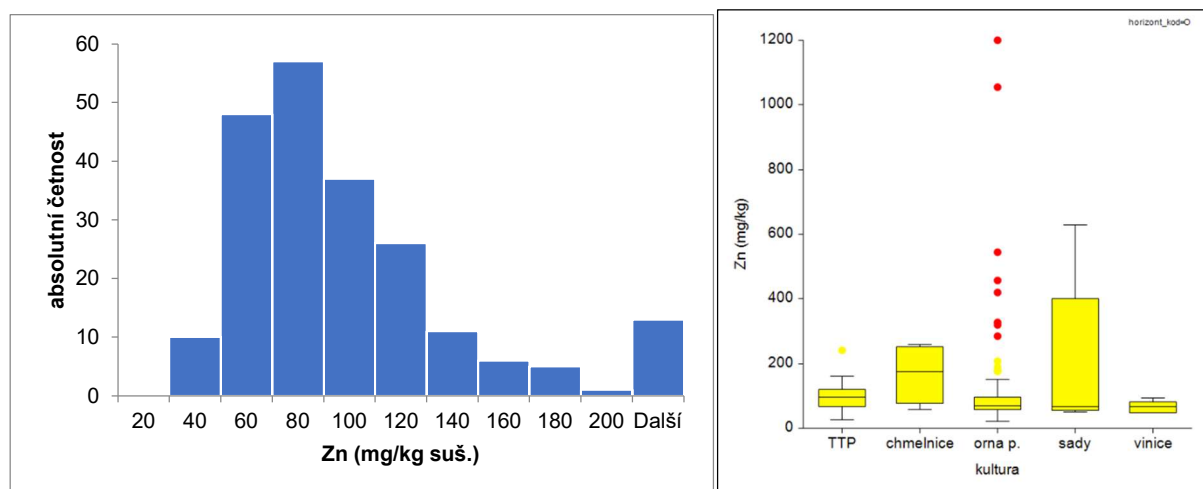
Tabulka 19 Základní statistika obsahu zinku v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019 (lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

Zn	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
Orná půda	O	148	104,16	70,41	22,40	1200,00	49,57	58,76	95,19	130,15
	P	148	89,56	65,99	20,68	1042,50	45,09	52,95	90,98	118,96
TTP	O	50	96,87	94,93	26,40	241,25	44,64	70,22	118,56	137,20
	P	50	96,01	91,96	25,50	277,75	38,65	70,19	120,62	134,40
	R	50	92,97	87,84	24,63	309,25	37,11	67,44	107,25	139,78
Sady	O	5	196,15	67,38	50,90	630,00	54,52	59,95	172,50	447,00
	P	5	169,03	63,83	48,20	582,00	52,22	58,25	92,88	386,35
Vinice	O	5	65,19	66,15	47,15	93,60	48,06	49,43	69,60	84,00
	P	5	57,09	59,25	37,85	85,78	39,63	42,30	60,28	75,58
Chmelnice	O	6	166,80	175,88	57,78	258,00	70,14	105,50	232,38	254,38
	P	6	156,94	162,13	51,50	253,75	62,33	95,18	220,00	246,38

Obrázek 44 Obsah zinku na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 vyjádřený jako procento preventivní hodnoty. Červeně jsou označeny plochy s obsahem Zn vyšším než preventivní hodnota (ornice, lučavka královská)



Obrázek 45 Rozložení obsahů zinku v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

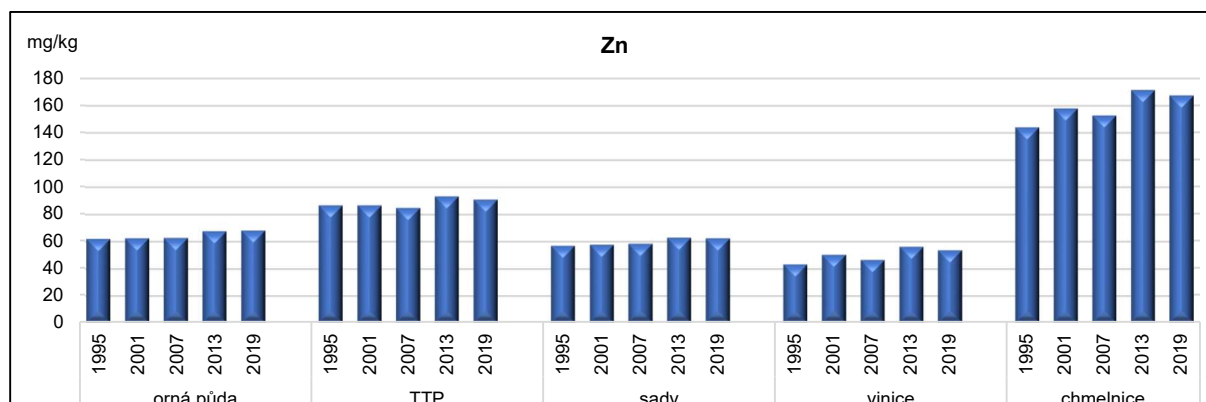


Hodnocení změn 1995–2019

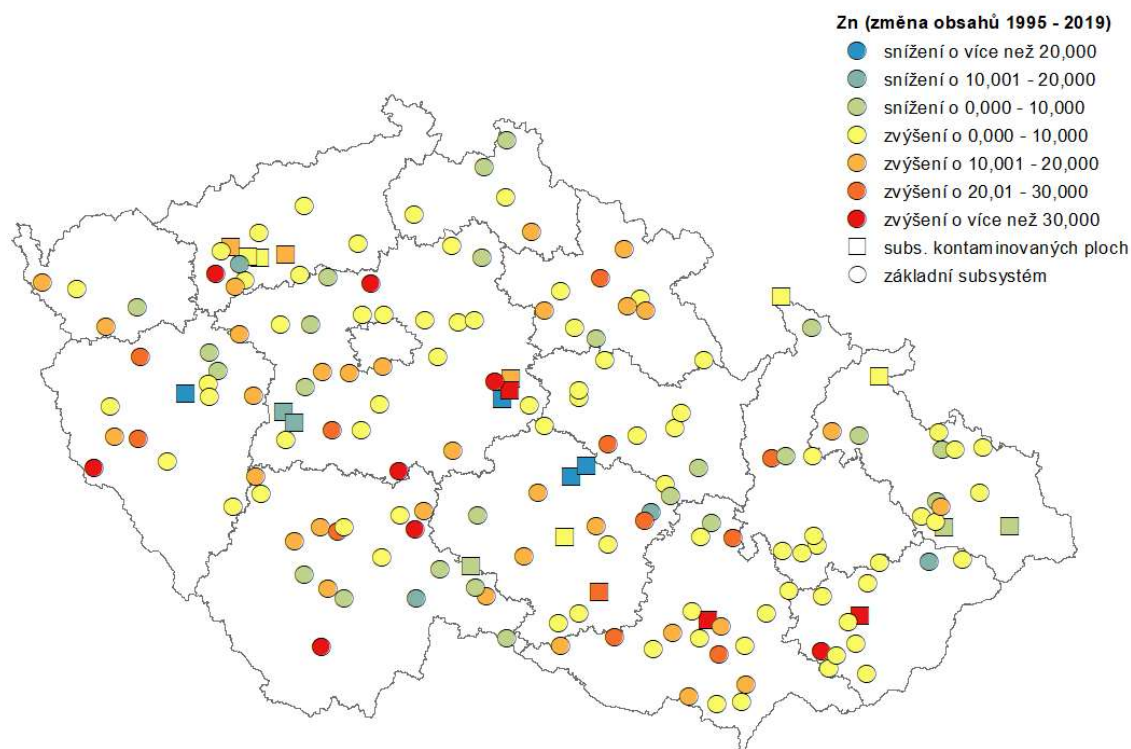
Zvýšení obsahů zinku v roce 2019 vůči roku 1995 na plochách BMP lze pozorovat např. z obrázku 47. K nárůstu obsahů dochází mozaikovitě po celém území republiky. Toto zvýšení se projevilo na 136 stálých plochách (tj. 78 % ploch) a činilo přibližně $8,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ (nárůst o více než 14 %). Na zbývajících 37 plochách se obsah zinku snížil cca o $5,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ (7 %).

Střední obsahy zinku v jednotlivých odběrových kampaních mírně rostou u všech kultur. V roce 2019 byly zjištěny střední obsahy vyšší než v roce 1995 jak v orných půdách, tak v travních porostech, nikde však průkazně. Průkazné rozdíly existují pouze mezi odběrovými kampaněmi 2001 a 2007 vs. 2013 a 2019 v ornici orných půd (příloha 8). Postupné zvyšování středních hodnot zinku lze pozorovat i u sadů, vinic a chmelnic – tyto kultury však nebyly z důvodu nízkého počtu ploch statisticky testovány.

Obrázek 46 Mediány obsahů zinku v orničním horizontu (mg.kg^{-1})



Obrázek 47 Změny obsahů zinku mezi periodami 1995 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg⁻¹)



Shrnutí

- rozsah naměřených obsahů Zn v celém souboru BMP v roce 2019: 20,7–1200 mg.kg⁻¹ suš.
- medián obsahů Zn v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019: 70,4 mg.kg⁻¹ suš., 95,0 mg.kg⁻¹ suš., 67,4 mg.kg⁻¹ suš., 66,1 mg.kg⁻¹ suš. a 176 mg.kg⁻¹ suš.
- v roce 2019 klesaly střední hodnoty (mediány) v jednotlivých kulturách v pořadí: chmelnice > TTP > orná p. > sady > vinice; jako statisticky významné byly vyhodnoceny rozdíly mezi chmelnicemi a ornými půdami a vinicemi (chmelnice > orná p. – vinice) a dále mezi TTP a ornou půdou (TTP > orná p.)
- v roce 2019 nebyly rozdíly mezi obsahy Zn v ornici a podorníci vyhodnoceny jako statisticky významné
- preventivní hodnota pro lehké půdy byla v roce 2019 překročena 2x, preventivní hodnota pro ostatní půdy 24x; v počtu překročení preventivních hodnot je Zn na druhém místě
- v roce 2019 byly na 136 lokalitách (ze 173 stálých ploch) naměřeny vyšší obsahy Zn než v roce 1995, na těchto plochách vzrostl obsah Zn proti roku 1995 cca o 8,8 mg.kg⁻¹ (nárůst cca o 14 %)
- střední obsahy zinku v jednotlivých odběrových kampaních mírně rostou u všech kultur, průkazné rozdíly byly potvrzeny pouze pro orníční horizont orných půd mezi kampaněmi 2001 a 2007 vs. 2013 a 2019 (orná půda, ornice: 2001, 2007 < 2013, 2019)
- nebyly zjištěny žádné statisticky významné rozdíly mezi obsahy v roce 1995 a 2019

4.12 Rtuť (Hg)

Rtuť je v zemské kůře velmi vzácná. Adriano (2001) uvádí jako průměrné obsahy rtuti v evropských půdách 0,01 až 0,16 mg.kg⁻¹ (přičemž obsah vyšší než 0,1 mg.kg⁻¹ bývá překročen jen zřídka), De Vos et Tarvainen (2006) 0,04 mg.kg⁻¹, Kobza (2017) průměr 0,09 mg.kg⁻¹ a medián 0,07 mg.kg⁻¹. Průměrné obsahy rtuti vypočtené z hodnot Registru kontaminovaných ploch činí 0,09 mg.kg⁻¹ pro ostatní půdy a 0,10 pro půdy lehké (tabulka 9).

Hlavním geogenním zdrojem Hg je sulfid rtuťnatý (HgS) – rumělka neboli cinabarit. V České republice jsou výskyty cinabaritu sporé, nachází se především na Berounsku a Chebsku. Velkým antropogenním zdrojem je spalování fosilních paliv a za sekundární zdroje je považována půda a vegetace. V rámci EU je za hlavní zdroj Hg považováno spalování uhlí (Korpas, 2018).

Bednářová et al. (2016) zmiňuje malé izolované oblasti v severovýchodní části republiky s vysokými koncentracemi Hg. Tyto oblasti jsou spojené s mezozoickými horninami (vyvrásněnými během Alpské orogeneze). Relativně homogenní obsahy Hg v zemědělských půdách spojuje s dálkovým atmosférickým transportem.

2019

Obsahy rtuti ve vzorcích orničního horizontu celého souboru dat BMP kolísají v rozsahu 0,066–51,5 mg.kg⁻¹. Uvedená maximální hodnota byla naměřena (stejně jako v minulé kampani v roce 2013) na ploše 5905KO v k.ú. Lubenec, okres Louny. Plocha je obhospodařovaná jako travní porost. Také další dvě lokality s nejvyššími obsahy Hg jsou travní porosty. Jedná se o plochu 8903KO a 8025BP, obě z okresu Nový Jičín. Zátěž Hg v okrese Nový Jičín se jeví jako typická, což dokládají i výsledky z Registru kontaminovaných ploch (Kubík et al., 2021).

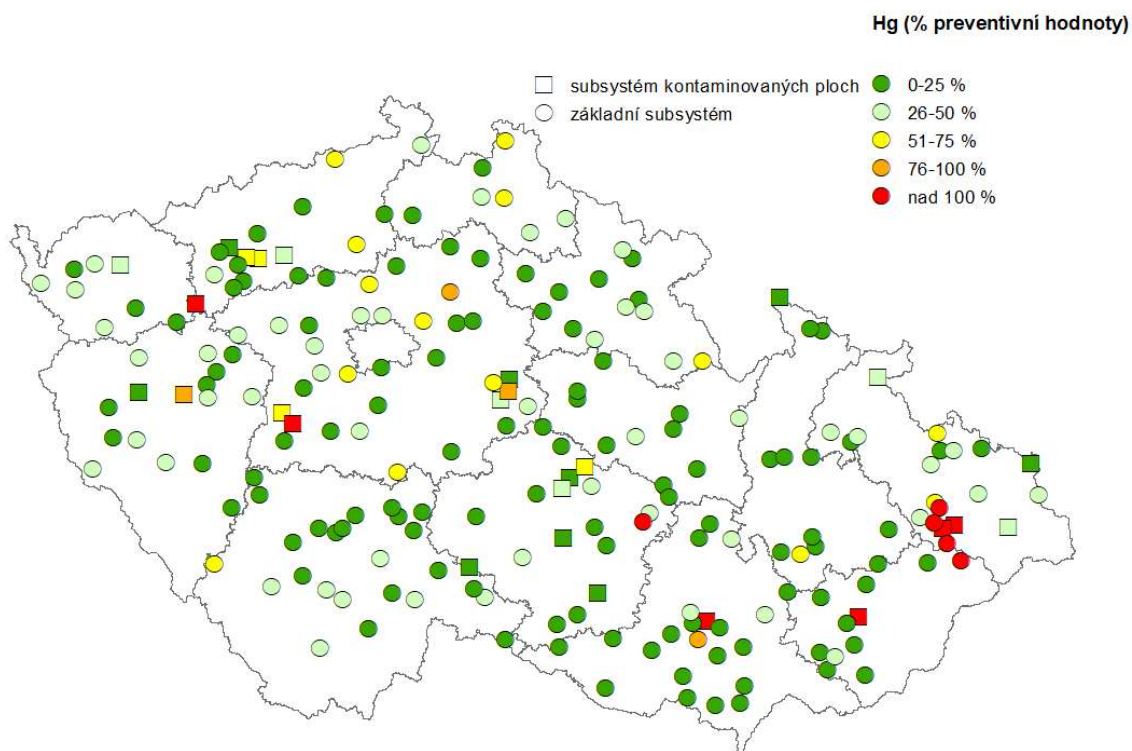
Nejvyšší střední hodnoty (mediány) vykazují chmelnice, následují travní porosty, orná půda, sady a vinice. Nejnížší obsahy Hg ve vinicích proti ostatním kulturám byly statisticky prokázány. Průkazný rozdíl panuje také mezi travními porosty a ornou půdou. U orných půd si lze všimnout zvýšených obsahů Hg vzhledem k podorníci, rozdíl je statisticky významný. Statisticky byl potvrzen i rozdíl v obsazích Hg mezi orníci a podorníčem na straně jedné a druhým podorníčem na straně druhé u TTP.

Pro obsah Hg v půdě je stanovena stejná preventivní hodnota pro lehké i pro ostatní půdy (0,3 mg.kg⁻¹). V souboru ploch BMP došlo k překročení uvedené preventivní hodnoty celkem 9x.

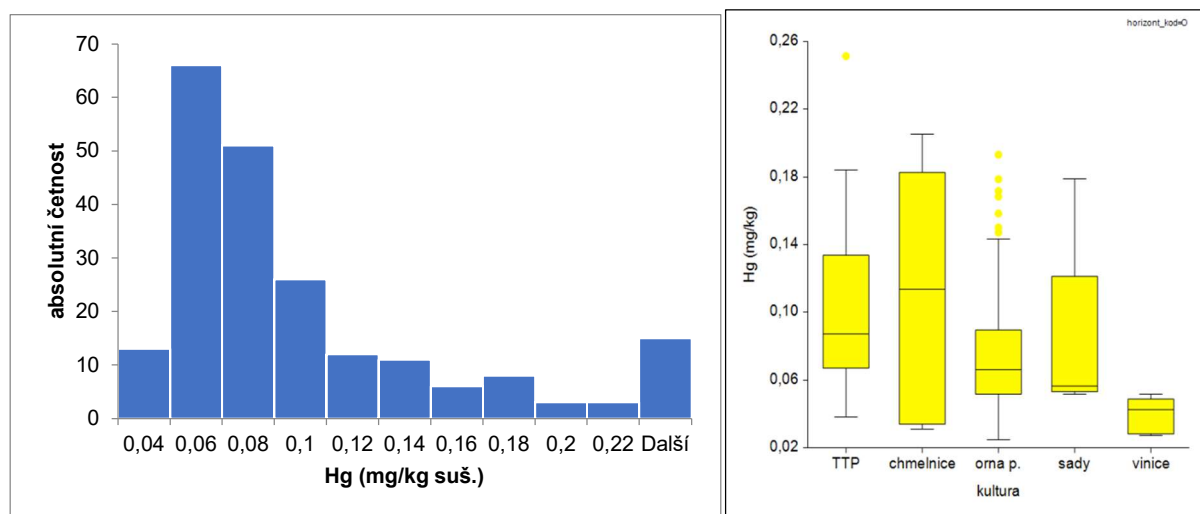
Tabulka 20 Základní statistika obsahu rtuti v jednotlivých kulturách BMP – rok 2019
(lučavka královská, mg.kg^{-1} suš.)

Hg	horizont	počet	průměr	medián	min	max	10.perc	25.perc	75.perc	90.perc
orná půda	O	148	0,095	0,066	0,025	0,747	0,045	0,052	0,089	0,162
	P	148	0,067	0,046	0,015	0,896	0,028	0,037	0,067	0,111
TTP	O	50	1,920	0,087	0,038	51,550	0,059	0,067	0,128	0,272
	P	50	1,664	0,085	0,034	39,575	0,048	0,066	0,126	0,291
	R	50	1,425	0,065	0,021	38,650	0,041	0,053	0,106	0,289
sady	O	5	0,081	0,057	0,052	0,179	0,053	0,055	0,064	0,133
	P	5	0,056	0,051	0,033	0,091	0,034	0,037	0,070	0,083
vinice	O	5	0,039	0,043	0,027	0,052	0,028	0,030	0,046	0,049
	P	5	0,043	0,043	0,028	0,064	0,029	0,030	0,048	0,057
chmelnice	O	6	0,112	0,114	0,031	0,205	0,033	0,040	0,175	0,190
	P	6	0,104	0,094	0,029	0,199	0,029	0,033	0,170	0,188

Obrázek 48 Obsah rtuti na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 vyjádřený jako procento preventivní hodnoty. Červeně jsou označeny plochy s obsahem Hg vyšším než preventivní hodnota (ornice, celkový obsah)



Obrázek 49 Rozložení obsahů rtuti v celém souboru ploch BMP a v jednotlivých kulturách v roce 2019 (ornice, celkem všechny plochy BMP, celkový obsah, mg.kg^{-1} suš.; box plot bez extrémních hodnot)

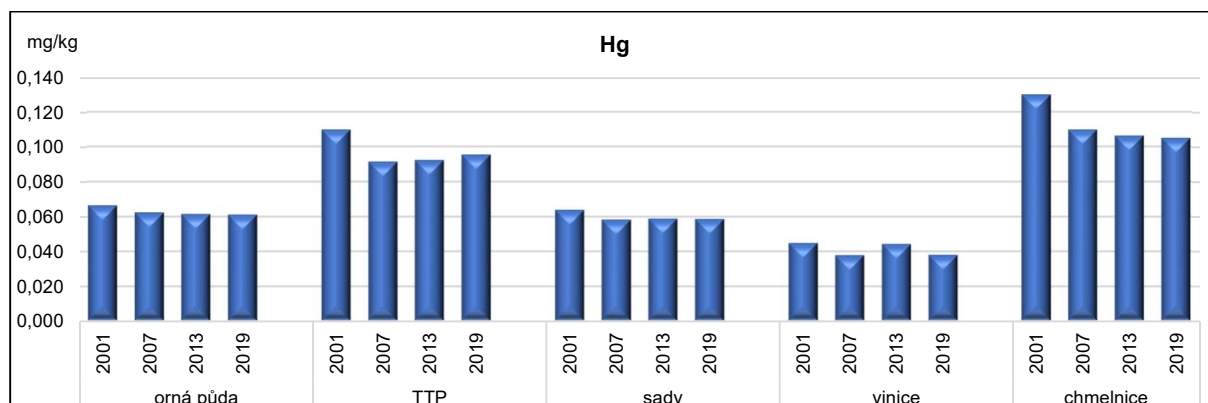


Hodnocení změn 1995–2019

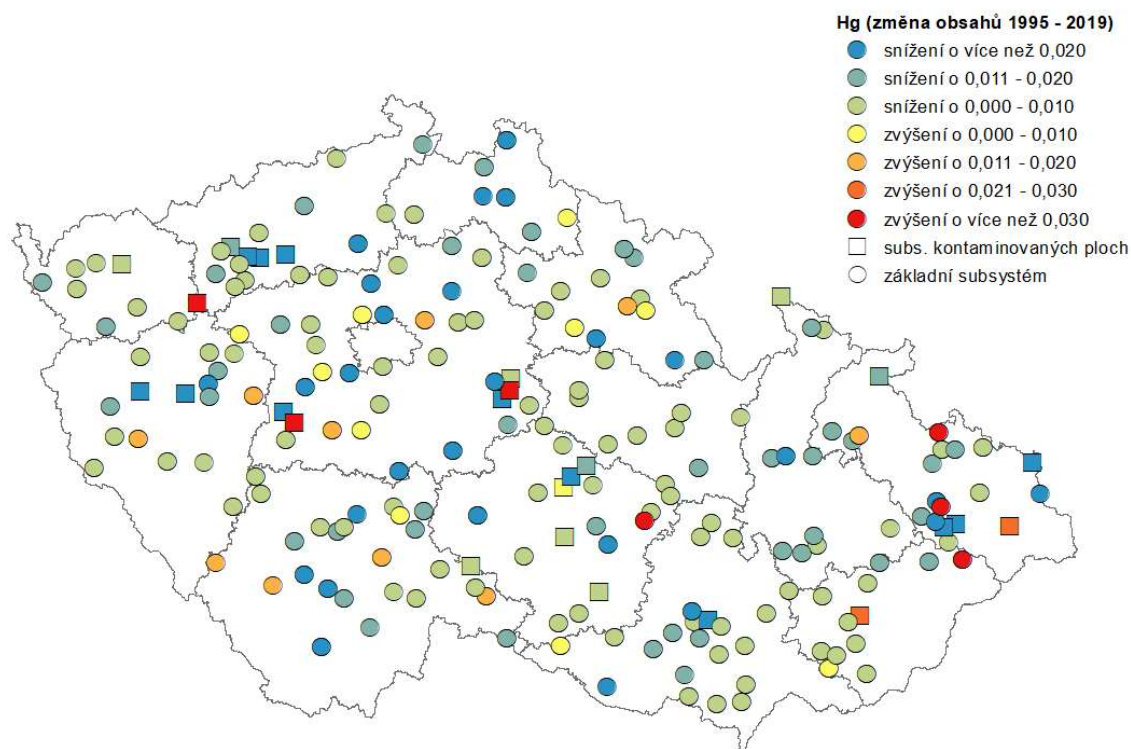
Stanovení obsahu rtuti ve vzorcích z roku 1995 nebylo provedeno, do hodnocení jsou zahrnuty čtyři kampaně – 2001, 2007, 2013 a 2019. Obsahy rtuti na jednotlivých plochách BMP se proti roku 2001 v poslední kampani snížily přibližně o $0,009 \text{ mg.kg}^{-1}$ (14% snížení). Pokles byl zaznamenán u 148 ploch (na 85 % ploch) a projevuje se na celém území ČR (obrázek 50). Na zbývajících plochách se obsah rtuti zvýšil přibližně o $0,013 \text{ mg.kg}^{-1}$ (15% zvýšení).

Nižší mediány obsahů Hg v roce 2019 vůči roku 2001 lze pozorovat ve všech kulturách (obrázek 50). Statisticky průkazný pokles však platí pouze pro orné půdy, ornici (2001 > 2019) (příloha 8).

Obrázek 50 Mediány obsahů rtuti v orničním horizontu (mg.kg^{-1})



Obrázek 51 Změny obsahů rtuti mezi periodami 2001 a 2019 na stálých plochách BMP (ornice, lučavka královská, mg.kg⁻¹)



Shrnutí

- rozsah naměřených obsahů Hg v celém souboru BMP v roce 2019: 0,015–51,6 mg.kg⁻¹ suš.
- medián obsahů Hg v orných půdách, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích (ornice) v roce 2019: 0,066 mg.kg⁻¹ suš., 0,0870 mg.kg⁻¹ suš., 0,057 mg.kg⁻¹ suš., 0,043 mg.kg⁻¹ suš. a 0,114 mg.kg⁻¹ suš.
- v roce 2019 klesají střední hodnoty (mediány) v jednotlivých kulturách v pořadí: chmelnice > TTP > orná p. > sady > vinice; jako statisticky významné byly vyhodnoceny rozdíly mezi vinicemi a ostatními kulturami (chmelnice – TTP – orná p. > vinice); průkazný rozdíl je také mezi travními porosty a ornou půdou (TTP > orná p.)
- v roce 2019 byly rozdíly mezi obsahy Hg v ornici a podorníci vyhodnoceny jako statisticky významné (orná půda: O > P, TTP: O – P > R)
- preventivní hodnota je pro lehkou a ostatní půdu stejná, v roce 2019 byla překročena 9x
- v roce 2019 byly na 148 lokalitách (ze 173 stálých ploch) naměřeny nižší obsahy Hg než v roce 1995, na těchto plochách klesl obsah Hg proti roku 1995 cca o 0,009 mg.kg⁻¹ (pokles cca o 14 %)
- střední obsahy Hg mírně klesají u všech kultur, průkazné rozdíly byly potvrzeny pouze pro orniční horizont orných půd mezi kampaněmi 2001 a 2019 (orná půda, ornice: 2001 > 2019)

4.13 Vyhodnocení obsahů rizikových prvků v půdách z hlediska limitních hodnot

K hodnocení obsahů rizikových prvků v zemědělských půdách slouží vyhláška č. 153/2016 Sb. v aktuálním znění, která uplatňuje dva stupně limitních hodnot. Prvním stupněm jsou tzv. preventivní hodnoty. V podstatě se jedná o horní hranici přirozeného (antropo-geogenního) pozadí hladin/obsahů rizikových prvků. Při jejich překročení nesmí být na půdu přímo aplikován upravený kal nebo sediment a zároveň by každý hospodář měl intenzívně sledovat kvalitu a složení všech látek, které na takový pozemek aplikuje, aby nedocházelo k dalšímu zvyšování obsahů. Druhým stupněm hodnocení půd jsou hodnoty indikační, jejichž překročení již může znamenat přímé ohrožení kvality potravin a krmiv, přímé ohrožení růstu rostlin a přímé ohrožení zdraví lidí a zvířat. Platné preventivní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 21 zároveň s počty a procenty lokalit s nadlimitními vzorky.

Při hodnocení je nutno zohlednit i půdní druh (a v případě indikačních hodnot někdy i pH půdy). Vyhláška rozlišuje půdy lehké (s podílem částic menších než 0,01 mm méně než 20 %) a půdy ostatní. V systému Bazálního monitoringu půd se nachází 25 lokalit s lehkou půdou a 189 lokalit s půdou ostatní. V následující tabulce jsou uvedeny jak příslušné limitní hodnoty, tak počet nadlimitních vzorků/lokalit.

Tabulka 21 Preventivní hodnoty podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. (mg.kg^{-1} suš.) a počet vzorků ornice, resp. ploch BMP s nadlimitními obsahy

		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 lokalit	lehká	3	1	2	1	3	2	-	2	2	0	2	0
	ostatní	22	4	28	2	5	9	-	5	14	2	24	9
	celkem	25	5	30	3	9	11	-	7	16	2	26	9
Procento nadlimitních lokalit	lehká	12,0	4,0	8,0	4,0	12,0	8,0	-	8,0	8,0	0,0	8,0	0,0
	ostatní	11,6	2,1	14,8	1,1	2,6	4,8	-	2,6	7,4	1,1	12,7	4,8
	celkem	11,7	2,3	14,0	1,4	4,2	5,1	-	3,3	7,5	0,9	12,1	4,2

Obecně platí, že častěji je limit, v tomto případě preventivní hodnota, překračován u půd lehkých. Desetiprocentní hranici u lehkých půd překračuje As a Cr; v běžných půdách Cd, Zn a As. Celkově jsou preventivní hodnoty nejčastěji překračovány u Cd, Zn a As. Toto zjištění lze porovnat s výsledky tzv. Registru kontaminovaných ploch (tabulka 22). Také z této databáze vyplývá, že k nejproblematictějším prvkům z hlediska překračování preventivní hodnoty patří Cd, As a Zn.

Obsahy prvků (po extrakci lučavkou královskou) na všech monitorovacích plochách BMP jsou jako procento preventivní hodnoty graficky znázorněny v jednotlivých kapitolách. Obsahy prvků ve výluhu 0,43M HNO_3 jsou tabelárně zpracovány v přílohách 9 a 10, graficky v příloze 11.

Tabulka 22 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 2022)

	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
Počet vzorků celkem	17555	17755	17781	17765	17786	17787	56220	17787	17785	17733	17787
Lehké půdy	14,3	11,4	10,9	3,8	18,4	2,9	1,5	4,7	4,7	1,0	9,8
Ostatní půdy	8,4	3,5	9,7	2,0	4,0	3,2	1,5	4,1	3,8	2,3	6,5
Celkem půdy	9,1	4,5	9,8	2,2	5,8	3,1	2,0	4,2	3,9	2,2	7,0

5 ZÁVĚR

V roce 2019 se uskutečnily v pořadí již páté odběry vzorků půd z monitorovacích ploch Bazálního monitoringu půd, které byly provedeny optimalizovanou metodou vzorkování. Z každé plochy byly odebrány čtyři vzorky ornice, podorničí a v případě travních porostů i druhého podorničí. Celkem bylo odebráno 1912 vzorků. Ve všech vzorcích byly stanoveny obsahy rizikových prvků v lučavce královské a ve výluhu 0,43M HNO₃, rtuť byla stanovena jako celkový obsah.

V roce 2019 byly nejvyšší střední obsahy prvků nalezeny vždy na chmelnicích, rozdíl mezi chmelnicemi a ostatními kulturami byl průkazný u Be, Cd, Co, V a Zn. Jedinou výjimku tvoří chrom – nejvyšší medián obsahu Cr byl vypočten pro travní porosty. Naopak nejnižší mediány byly nalezeny především na vinicích, průkazný rozdíl mezi vinicemi s nejnižším mediánem a ostatními kulturami byl potvrzen u Pb a Hg. V případě Cd a Cu byl nejnižší medián vypočten pro sady. Obsahy Cu jsou nejvyšší u chmelnic a vinic. Střední hodnoty u těchto dvou kultur jsou významně vyšší než u travních porostů, orné půdy a sadů. Průkazné rozdíly mezi jednotlivými kulturami nebyly nalezeny u As, Cr, Mo a Ni. Významné rozdíly mezi obsahy prvků v horizontech byly potvrzeny pouze u orné půdy u Cd, Pb a Hg, u travních porostů u Cd a Hg pro vinice u Cu (tabulka 23).

Tabulka 23 Přehledné výsledky testování rozdílů mezi kulturami a horizonty (2019, ANOVA)

	testování kultur		testování horizontů				
	stat. významnost	popis	orná p.	TTP	sady	vinice	chmel.
As	-	-	-	-	-	-	-
Be	*	chmelnice > sady – orná p. – TTP – vinice	-	-	-	-	-
Cd	*	chmelnice > orná p. – vinice – sady; TTP > orná p.	O>P	O=P>R	-	-	-
Co	*	chmelnice > orná p. – vinice – sady	-	-	-	-	-
Cr	-	-	-	-	-	-	-
Cu	*	chmelnice – vinice > orná p. – TTP – sady	-	-	-	O>P	-
Mo	-	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-	-
Pb	*	chmelnice – TTP – sady – orná p. > vinice; TTP > orná p.	O>P	-	-	-	-
V	*	chmelnice > orná p. – sady – vinice	-	-	-	-	-
Zn	*	chmelnice > orná p. – vinice; TTP > orná p.	-	-	-	-	-
Hg	*	chmelnice – TTP – orná p. > vinice; TTP > orná p.	O>P	O=P>R	-	-	-

Statisticky významný rozdíl je vyjádřen buď hvězdičkou (*), nebo popiskem (např. O>P)

Mezi lokality se zvýšenou zátěží rizikovými prvky patří bezesporu Lounsko, Kutnohorsko a Příbramsko. Na Lounsku evidujeme zvýšenou zátěž As, Be, Pb a samozřejmě Cu – nachází se zde většina monitorovaných chmelnic. Za významný zdroj mědi na chmelnicích se obecně považuje používání přípravků na ochranu rostlin s mědí. Kromě uvedených prvků se zde setkáváme se zvýšenými obsahy Cd a Zn. U těchto dvou prvků však nelze hovořit o typických oblastech, jejich zvýšené obsahy se totiž nachází mozaikovitě po celém území ČR. Předpokládané zdroje jsou antropogenního (spalování hnědého uhlí – As, Be, Cd) a geogenního původu (As, Be, Pb, Zn).

V okolí Kutné Hory se nachází lokality se zvýšenou zátěží především As, ale také Cu a Pb. A stejně jako v případě Lounska jsou zde i zvýšené nálezy Cd a Zn. Tyto nálezy jsou důsledkem historické těžby rud, jedná se tedy opět o kombinaci antropogenní a geogenní zátěže.

Podobně je tomu na Příbramsku. Také zde se setkáváme se zátěží As, Cd, Pb a Zn, která je výslednicí antropogenních a geogenních vlivů spojených zejména s těžbou a úpravou rud.

Dále se v Jihočeském kraji a kraji Vysočina vyskytují lokality se zvýšenými obsahy Cr a Ni podmíněné jak geogenně, tak antropogenně (těžba rud). Spíše antropogenního původu pak budou obsahy Cr a Ni ve Zlínském kraji a kraji Moravskoslezském.

Zvýšená zátěž mědi se vyskytuje, kromě výše uvedených, také v Jihomoravském kraji, a to na vinicích. Zátěž rtuť je typická pro oblast Novojičínska.

Zjištěné obsahy rizikových prvků byly dále hodnoceny vzhledem k limitům uvedeným ve vyhlášce č. 153/2016 Sb. Preventivní hodnota byla nejčastěji překročována u Cd (19 % ploch) a zinku (17,8 % ploch). Na více než 10 % ploch (11,7 %) byla překročena preventivní hodnota pro As.

K hodnocení změn, ke kterým došlo v průběhu celého monitoringu, tj. od roku 1995 bylo vyčleněno 173 monitorovacích ploch. Na těchto plochách nedošlo ke změně způsobu hospodaření a nezměnilo se ani jejich umístění v terénu. U těchto ploch byla provedena analýza rozptylu pro opakovaná měření.

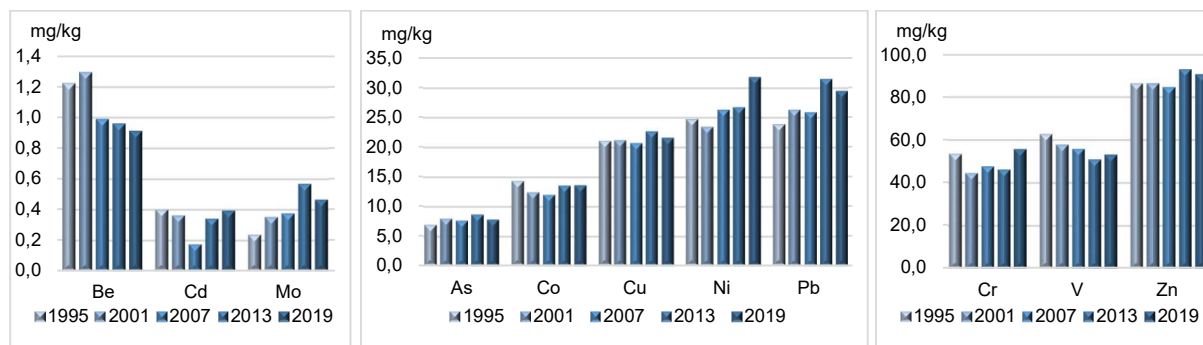
U většiny prvků lze pozorovat růst koncentrací – v roce 2019 byl vyšší obsah než v roce 1995 naměřen na většině monitorovaných lokalit u As, Co, Mo, Ni, Pb a Zn. Naopak u Be, Cd, V a Hg byly v roce 2019 detekovány obsahy nižší než v první odběrové kampani v roce 1995. Přibližně vyrovnaný počet lokalit s poklesem a vzrůstem obsahů vykazují Cr a Cu. Tento nárůst, (případně snížení) obsahů mezi lety 1995 a 2019 je však významný pouze pro některé prvky a kultury (tabulka 24).

Tabulka 24 Průkazné rozdíly mezi obsahy prvků (stanovení po extrakci lučavkou královskou) v kampaních 1995 a 2019 (ANOVA pro opakovaná měření)

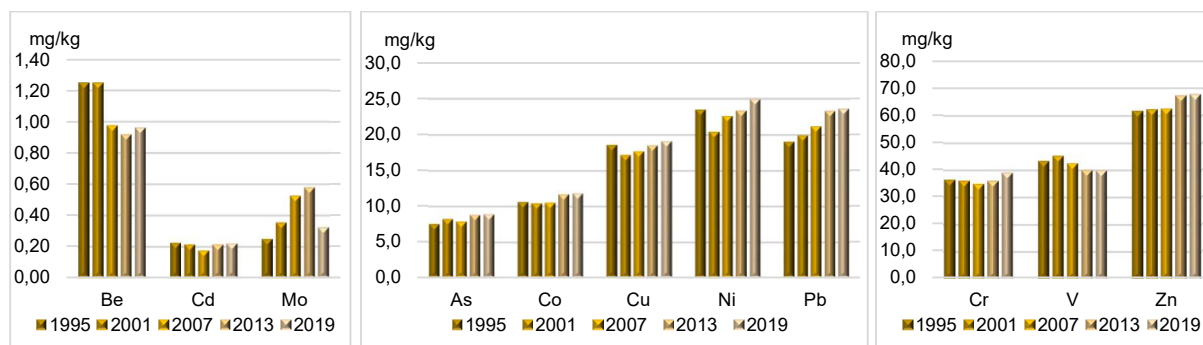
		As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn	Hg*
orná půda	ornice	-	*	-	*	-	-	*	*	*	*	-	*
	podorničí	*	*	*	*	-	-	*	*	*	*	-	-
TTP	ornice	-	*	-	-	-	-	*	*	-	*	-	-
	podorničí	-	*	-	*	-	-	*	*	-	-	-	-

*U Hg se porovnávaly kampaně 2001 a 2019

Obrázek 52 Mediány obsahů rizikových prvků ve svrchním horizontu trvalých travních porostů na monitorovacích plochách Bazálního monitoringu půd v jednotlivých odběrových kampaních



Obrázek 53 Mediány obsahů rizikových prvků v ornici orných půd na monitorovacích plochách Bazálního monitoringu půd v jednotlivých odběrových kampaních



6 LITERATURA

- Adriano, D.C. *Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals*. 2nd edition. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, **2001**.
- Arsen As. BIOTOX.CZ Web site, www.biotox.cz/toxikon/anorgan/ja_5a.php#As (accessed June 10, 2022)
- Bednářová, Z.; Kalina, J.; Hájek, O.; Sáňka, M.; Komprdová, K. Spatial distribution and risk assessment of metals in agricultural soils. *Geoderma* **2016**, 284, 113–121.
- Beneš, S. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí, II. část*. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha, **1994**.
- Bielek, P. a kol.: *Jubilejná správa o podě Slovenskej republiky a činnosti Výskumného ústavu podoznalectva a ochrany pody v Bratislave*. 1. vyd. Bratislava, VÚPOP, **2000**. 123 s. ISBN 80-85361-72-8.
- Blake, L., Goulding, K.W.T. Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. *Plant and Soil*. **2002**, no. 240, s. 235–251.
- De Vos, W., Tarvainen, T., Salminen, R., Reeder, J.A., De Vivo, B., Demetriades, A., Pirč, S., Batista, M.J., Marsina, K., Ottesen, R., O'Connor, P.J., Bidovec, M., Lima, A., Siewers, V., Taylor, H., Shaw, R., Salpeteur, I., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Slaninka, I., Lax, K., Gravesen, P., Birke, M., Breward, N., Ander, E.L., Jordan, G., Ďuriš, M., Klein, P., Pasieczna, A., Lis, J., Mazreku, A., Gilucis, A., Heitzmann, P., Klaver, G., Petersell, V., *Geochemical atlas of Europe. Part 2. Interpretation of geochemical maps* **2006**.
- Desaules, A.; Ammann, S. Advances in long-term soil-pollution monitoring of Switzerland. *J. Plant Nutr. Soil Sci* **2010**, 173, 525–535.
- 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.
- Hlisnikovský L., Mühlbachová G., Kunzová E., Hejčman M., Pechová M. *Changes of risky element concentrations under organic and mineral fertilization*. *Plant Soil Environ.* **2016**, 62: 355–360.
- Hofman, J., Anděl P., Bezchlebová J., Černohlávková J., Lána J., Sochová J., Kobetičová K., Hilscherová K. Contamination, ecotoxicity, microbial and physico-chemical properties of soils in frequent urban roads surroundings. Presented at Průmyslová ekologie II, Beroun, 23.–24. 3. 2011.
- Horák, J., Hejčman, M. Contamination Characteristics of the Confluence of Polluted and Unpolluted Rivers – Range and Spatial Distribution of Contaminants of a Significant Mining Centre (Kutná Hora, Czech Republic). *Soil Water Res.* **2016**, 11 (4):235–243. doi: 10.17221/118/2015-SWR
- Hrudová, E. Abionozologie pro rostlinolékaře. MENDELU. Agronomická fakulta. http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index.htm (accessed June 30, 2022).

- Kašparová M., Száková J., Sysalová J. and Tlustoš P. Vliv dopravy na obsah vybraných rizikových prvků v půdě a vegetaci v blízkosti dálnice D1. *Ochrana ovzduší* **2011**, (3), 12–17.
- Kobza, J. Soil Contamination in Mountainous Regions of Slovakia. *Vedecké práce č. 25* **2002**, Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy: Bratislava, **2003**; pp 47–54.
- Kobza, J. Soil and plant pollution by potentially toxic elements in Slovakia. *Plant Soil Environ.* **2005**, 6, 243–248.
- 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 pôdoznanectva a ochrany pôdy NPPC: Bratislava, **2014**.
- Kobza, J. Quality of agricultural soils in Slovakia. *Polish Journal of Soil Science* **2017**, 2, 279–289.
- Korpas, J. Mercury emission from brown coal-fired power plants **2018**. *Waste forum*, 3, 378–382.
- Meloun, M.; Militký, J. *Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy*, 2nd ed.; Nakladatelství Academia: Praha, **2006**.
- Mengel, K. et Kirkby, E. A. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Basel, **1987**.
- Němeček, J., Podlešáková, E. et Vácha, R. Geochemické a antropogenní zatížení půd. *Rostlinná výroba* **1996**, 42 (12), 535–541.
- Němeček, J., Vácha, R., Podlešáková, E. *Hodnocení kontaminace půd v ČR*; Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy: Praha, **2010**.
- Patočka, J. Beryllium, 2006. Toxicology. <http://toxicology.cz/> (accessed June 30, 2022).
- Podlešáková, E., Němeček, J., Vácha, R. Mobility and Bioavailability of Trace Elements in Soils. In *Trace Elements in Soil: bioavailability, flux and transfer*, 1st ed.; Iskandar, I., Kirkham, M., Eds.; CRC Press LLC: Boca Raton, **2001**; pp 21–42.
- Kubík, L., Svoboda, T., Reininger, D., Poláková, Š. *Obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách České republiky, kartogramy*; Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: Brno, **2021**.
https://eagri.cz/public/web/file/691280/_20_6_2022_Kartogramy_2021.pdf (accessed December 1, 2022)
- Puschenreiter, M., Horak, O. Influence of different soil parameters on the transfer factor soil to plant of Cd, Cu and Zn for wheat and rye. *Die Bodenkultur* **2000**, 51 (1), 3–10.
- Richter, R.; Hlušek, J. *Výživa a hnojení rostlin*, 1. část, 1st ed.; Vysoká škola zemědělská: Brno, **1994**.
- Ray, P., Datta, S. Long-term irrigation with zinc smelter effluent affects important soil properties and heavy metal content in food crops and soil in Rajasthan, India. *Soil Science and Plant Nutrition* **2017**, 63 (6), 628–637.
- Rous, P. Historie hornictví na Havlíčkobrodsku. Muzeum Vysočiny Havlíčkův Brod.
<https://www.muzeumhb.cz/objevujte/historie-hornictvi-na-havlickobrodsku/> (accessed June 15, 2022).

- Ryzhenko, N.O., Kavetsky, S.V., Kavetsky, V.M. Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Ni phytotoxicity assessment as function of its substance polarity shift. *Polish journal of Soil Science* **2017**, 2, 197–215. DOI: 10.17951/pjss/2017.50.2.197
- Škáchová, H. et al. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020, **2021**. Český hydrometeorologický ústav. <https://info.chmi.cz/rocenka/ko2020/> (accessed Dec 01, 2022).
- Štelcl, J., Vávra, V. Staré Ransko, 2007. Multimediální mineralogicko – petrografický exkurzní průvodce po území Čech. https://pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz/Stare_ransko/stare_ransko.htm (accessed July 12, 2022).
- Tlustoš, P., Száková, J., Šichorová, K., Pavlíková, D., Balík, J. Rizika kovů v půdě v agroekosystémech v ČR, 2007. Vědecký výbor fytosanitární a životního prostředí. <http://www.phytosanitary.org/?link=cs/projekty/2007/> (accessed Dec 03, 2021).
- Trakal, L., Tlustoš, P., Száková, J. Sledování pohybu olova a kadmia v půdě, jejich transport do rostlin. In Racionální použití hnojiv: Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 26. 11. 2009. Praha: ČZU v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, 2009. s. 137–140. ISBN 978-80-213-2006-2.
- 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**.
- Urminská, J. Biopřístupnost kadmia ovlivněná vybraným remediačním médiem. *Agrochémia* **2017**, 2, 2–8.
- 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
- Wilcke, W., Krauss, M., Kobza, J.. Concentrations and forms of heavy metals in Slovak soils. *J. Plant. Nutr. Soil Sci* **2005**, 168, 676–686.
- Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů.
- Zdař bůh.cz Historie báňské činnosti v oblasti Starého Ranska. ZDAŘ BŮH.CZ. <https://www.zdarbuh.cz/reviry/rd-pribram/historie-banske-cinnosti-v-oblasti-stareho-ranska/> (accessed July 12, 2022).
- Zhuang, P.; McBride, M. B. Changes During a Century in Trace Element and Macronutrient Concentration of an Agricultural Soil. *Soil Sci.* **2013**, 178 (3), 105–108.
- Zogaj, M., Düring, R. Plant uptake of metals, transfer factors and prediction model for two contaminated regions of Kosovo. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **2016**, 179, 630–640.