

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně
Sekce zemědělských vstupů



BAZÁLNÍ MONITORING ZEMĚDĚLSKÝCH PŮD
OBSAH PŘÍSTUPNÝCH MIKROELEMENTŮ
B, Cu, Fe, Mn, Zn

2019

Zpracoval: Ing. Lenka Prášková, Ph.D.

Předkládá: Mgr. Šárka Poláková, Ph.D.

Schválil: Ing. Josef Svoboda, Ph.D.
ředitel Sekce zemědělských vstupů

Brno, červen 2024

Autoři fotografií:

Ing. Ladislav Kubík, Ph.D.

Ing. Pavel Kuttelvascher

Ing. Boleslava Pilcová

Ing. Pavel Roháček

Ing. Jana Šmídová

Ing. Lenka Štěpařová

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	CÍLE	6
3	METODIKA PRACÍ.....	7
3.1	Obecná charakteristika	7
3.2	Odběr vzorků.....	8
3.3	Termín odběru a úprava vzorků	9
3.4	Analyzované parametry.....	9
3.5	Principy chemických metod.....	9
3.5.1	Stanovení obsahu Cu, Fe, Mn a Zn v extrakčním roztoku DTPA-TEA podle Lindsaye a Norvella..	10
3.5.2	Stanovení obsahu B extrakcí půdy vodou za varu podle Bergera a Truoga.....	10
3.5.3	Stanovení obsahu B, Cu, Fe, Mn, Zn v extraktu podle Mehlicha 3	10
3.6	Databáze výsledků	11
4	STRUKTURA MONITOROVACÍCH PLOCH V ROCE 2019.....	12
5	HODNOCENÍ PŮDNÍCH DAT ZE VZORKOVÁNÍ Z ROKU 2019.....	15
5.1.1	Vstupní data	15
5.1.2	Postup zpracování dat	16
6	OBEČNÁ CHARAKTERISTIKA MIKROELEMENTŮ	18
6.1	Zdroje mikroelementů v půdě	18
6.1.1	Matečná hornina.....	18
6.1.2	Druhotné zdroje	19
6.2	Faktory působící na obsah mikroelementů v půdě	19
6.2.1	Půdní reakce.....	20
6.2.2	Oxidačně-redukční podmínky.....	20
6.2.3	Půdní organická hmota.....	20
6.2.4	Zrnitostní složení	20
6.3	Ztráty mikroelementů z půdy.....	20
6.4	Zásady hnojení mikroelementy	21
7	HISTORICKÝ VÝVOJ SLEDOVÁNÍ OBSAHU MIKROELEMENTŮ V PŮDÁCH ČR.....	22
8	VÝSLEDKY OBSAHU PŘÍSTUPNÝCH MIKROELEMENTŮ	24
8.1	Bór	24
8.1.1	Obecná charakteristika bóru.....	24

8.1.2	Hodnocení obsahu přístupného bóru v půdě v roce 2019	24
8.1.3	Závěry z hodnocení obsahu přístupného bóru v půdě na plochách BMP	29
8.2	Měď	30
8.2.1	Obecná charakteristika mědi	30
8.2.2	Hodnocení obsahu přístupné mědi v půdě v roce 2019	30
8.2.3	Závěry z hodnocení obsahu přístupné mědi v půdě na plochách BMP	34
8.3	Železo	35
8.3.1	Obecná charakteristika železa	35
8.3.2	Hodnocení obsahu přístupného železa v půdě v roce 2019	35
8.3.3	Závěry z hodnocení obsahu přístupného železa v půdě na plochách BMP	40
8.4	Mangan	41
8.4.1	Obecná charakteristika manganu	41
8.4.2	Hodnocení obsahu přístupného manganu v půdě v roce 2019	41
8.4.3	Závěry z hodnocení obsahu přístupného manganu v půdě na plochách BMP	45
8.5	Zinek	46
8.5.1	Obecná charakteristika zinku	46
8.5.2	Hodnocení obsahu přístupného zinku v půdě v roce 2019	47
8.5.3	Závěry z hodnocení obsahu přístupného zinku v půdě na plochách BMP	51
8.6	Shrnutí	52
9	LITERÁRNÍ ZDROJE	53

1 ÚVOD

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) provádí pravidelné víceleté odběry půdních vzorků včetně analýz na obsah mikroelementů na monitorovacích plochách založených na zemědělské půdě ČR. Tyto plochy tvoří soubor nazvaný Bazální monitoring půd (BMP). Bazální monitoring půd se skládá z 214 pozorovacích ploch umístěných na zemědělské půdě.

Půdní data shromažďována ÚKZÚZ jsou výslednicí časově, personálně a profesionálně velmi náročných operací od kvalifikovaných odběrů vzorků půd, jejich přípravu pro rozbor, analýzu v laboratoři, až po závěrečné vyhodnocení. Nedílnou součástí databáze jsou nedocenitelné informace laskavě posílané zemědělcům ke každé monitorovací ploše, které se týkají každoročního pěstování plodin včetně jejich ošetřování pesticidy a hnojení.

Tento ucelený soubor výsledků je hodnotnou databází, která slouží k vyhodnocení půdních vlastností a jejich vývoje a slouží k prevenci možných negativních jevů vedoucím k degradaci půdy.

Tato zpráva hodnotí obsahy mikroelementů v půdách BMP za rok 2019 a doplňuje zprávu Bazální monitoring zemědělských půd – půdní reakce a obsah živin 2019.

2 CÍLE

Bazální monitoring půd (BMP) byl založen za účelem pravidelného a dlouhodobého sledování stavu a vývoje vybraných ukazatelů půdní kvality. Toto sledování je prováděno na stálém souboru ploch stejnými metodami.

Výsledky poskytují podklad pro správné agrotechnické zásahy, posuzují vliv intenzity hnojení na půdní vlastnosti, vliv hospodaření se živinami v půdě. Slouží ke komunikaci se zemědělskou praxí a k potřebnému navázání vzájemné spolupráce. Pro orgány státní správy poskytují informace o stavu a vývoji půdních vlastností.

Výsledky sledování jsou cenným zdrojem dat pro vědeckovýzkumné projekty a validace analytických metod.

Data jsou z ÚKZÚZ předávána na MZe (Ministerstvo zemědělství), kde tvoří podklad k legislativním účelům.

Hlavním cílem je využití znalostí z Bazálního monitoringu půd pro správnou péči o zachování půdní úrodnosti. A zvyšování povědomí o půdě.

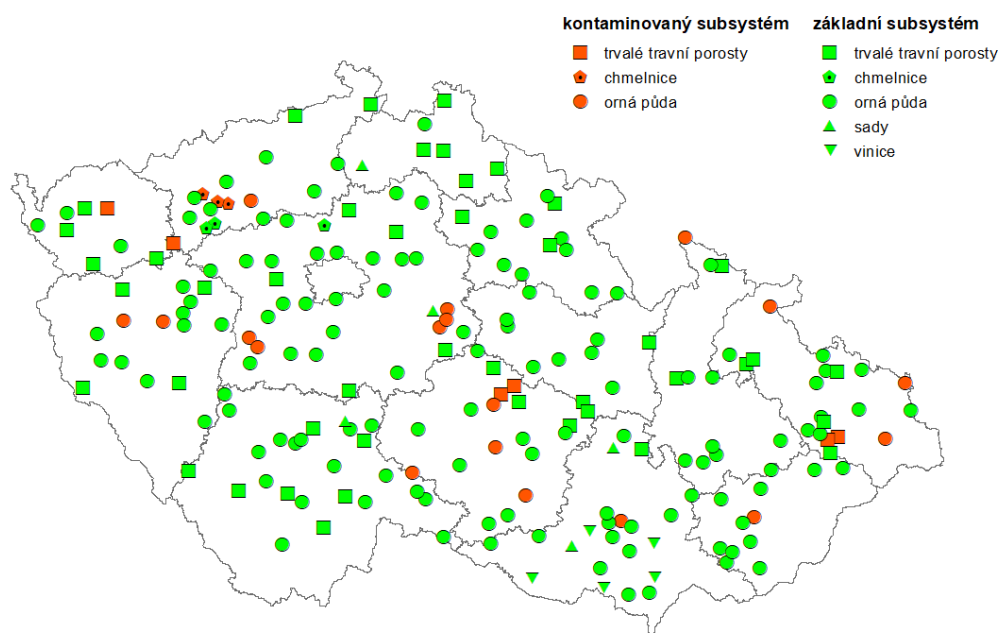
3 METODIKA PRACÍ

3.1 Obecná charakteristika

Bazální monitoring půd byl založen v roce 1992. Skládá se ze stálého souboru pozorovacích ploch (PP) na orné půdě, trvalých travních porostech (TTP), sadech, vinicích a chmelnicích a dělí se na základní subsystém a subsystém kontaminovaných ploch. Subsystém kontaminovaných ploch je charakteristický anorganickým znečištěním půd antropogenního nebo geogenního původu. Větší část ploch je umístěna na pozemcích konvenčně obhospodařovaných zemědělci a pouze část je na pozemcích zkušebních stanic ÚKZÚZ. Plochy jsou přesně zakresleny a zaměřeny zeměpisnými souřadnicemi, aby plocha byla prostorově identická pro každý odběr. Na plochách se neprovádí ze strany pracovníků ÚKZÚZ žádné zásahy, vše je ponecháno na vůli hospodařících zemědělců. Hospodařící zemědělci zasílají každý rok informace o prováděných aplikacích hnojiv a přípravků na ochranu rostlin.

První odběry proběhly v roce 1992, v roce 1995 byly zopakovány za použití optimalizované metody vzorkování. Tzv. základní odběry vzorků půd probíhají v šestileté periodě (roky 1995, 2001, 2007, 2013, 2019) vždy podle stejného schématu (obrázek 2). Vzorkovány jsou všechny pozorovací plochy BMP. Úprava vzorků a analytické metody jsou rovněž ve všech cyklech stejné.

Obrázek 1 Lokalizace pozorovacích ploch BMP



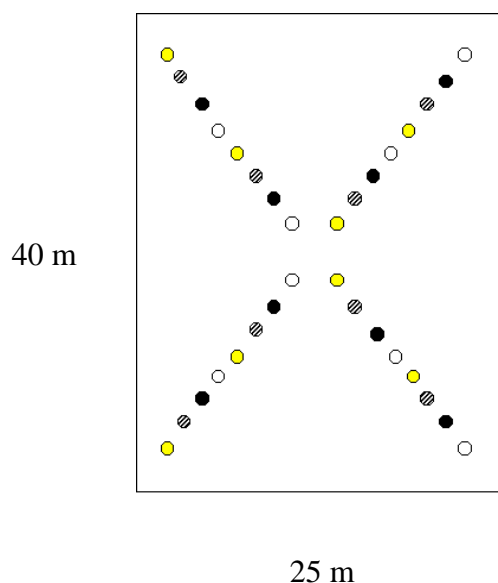
Terénní, analytické a vyhodnocovací práce jsou prováděny v souladu s platnými metodikami vypracovanými pro jednotlivé úkoly a požadavky MZe. Analytické metody se řídí jednotnými pracovními postupy. Současně jsou uplatněny národní nebo mezinárodní normy odběrů vzorků a analytických prací.

Terénní a vyhodnocovací práce byly v roce 2019 zabezpečovány pracovníky Sekce zemědělských vstupů ÚKZÚZ v jednotlivých regionech (Brno, Opava, Havlíčkův Brod, Praha, Chrastava, Plzeň, Planá nad Lužnicí), analytické práce Národní referenční laboratoří ÚKZÚZ

v Plzni, Brně a Opavě. Všechny laboratoře jsou zapojeny do vnitřního systému řízení jakosti organizovaného Národní referenční laboratoří a všechny jsou akreditovány ČIA (Český institut pro akreditaci). Laboratoře se pravidelně účastní mezilaboratorních porovnávacích zkoušek na národní i mezinárodní úrovni.

3.2 Odběr vzorků

Obrázek 2 Odběrové schéma na pozorovací ploše pro opakované odběry v šestileté periodě



Umístění individuálních odběrů k získání 4 směsných vzorků:



Pro jednotlivé kultury se uplatily tyto zásady pro vzorkování:

Orná půda – odběr se provedl ze dvou horizontů:

1. 0–25 cm (ornice, označení vzorku – O, odebrané směsné vzorky O1, O2, O3, O4).
V případě menší mocnosti ornice se vzorek odebere jen z této vrstvy.
2. 35–60 cm (podorničí, označení vzorku – P, odebrané směsné vzorky P1, P2, P3, P4).

Z odběru se vyloučila přechodová vrstva 25–35 cm mezi ornici a podorničím.

TTP – odběr se provedl ze tří horizontů:

1. poddrnová vrstva do 10 cm (označení vzorku – O, odebrané směsné vzorky O1, O2, O3, O4)
2. vrstva 10–25 cm (označení vzorku – P, odebrané směsné vzorky P1, P2, P3, P4)
3. vrstva 25–40 cm (označení vzorku – R, odebrané směsné vzorky R1, R2, R3, R4)

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

Ovocné sady a vinice – odběr se provedl v řadách stromů (keřů) ze dvou horizontů:

1. vrstva 0–30 cm (označení vzorku – O, odebrané směsné vzorky O1, O2, O3, O4)
2. vrstva 30–60 cm (označení vzorku – P, odebrané směsné vzorky P1, P2, P3, P4)

Chmelnice – odběr se provedl ze dvou horizontů:

1. vrstva 10–40 cm (označení vzorku – O, odebrané směsné vzorky O1, O2, O3, O4)
2. vrstva 40–70 cm (označení vzorku – P, odebrané směsné vzorky P1, P2, P3, P4)

Vrstva zeminy 0–10 cm se z odběru vyloučila.

3.3 Termín odběru a úprava vzorků

Pozorovací plochy byly vzorkovány podle povětrnostních podmínek v průběhu celého roku. Vzorkování nenásledovalo dříve než 4 měsíce po hnojení P, K, Ca, Mg a byl zohledněn stav kultury.

Pro potřeby archivace a vybraných analýz bylo nutno získat min. 1 kg suché půdy pro každý směsný vzorek po prosevu. To znamenalo cca 1,5 kg čerstvého vzorku, u půd s výrazně vyšším podílem skeletu > 2 mm i více. U orné půdy to odpovídalo 16 vpichům (v každém z 8 míst 2 vpichy). U TTP v horizontu 0–10 bylo nutno provést v jednom odběrovém místě 4–5 vpichů. K odběru se používal Edelmannův vrták.

Při odběru bylo nutno zejména dbát, aby byly důsledně odděleny vzorkované horizonty. Vzorky se ukládají do papírových sáčků (dvojitých nebo papír – mikroten, aby nedošlo k protržení).

Vzorky byly vysušeny a prosety na prosévačkách s velikostí síta 2 mm. Bylo nutno dbát na homogenitu vzorku a zajistit, aby do jemnozeme nebyl drcen i skelet. Sáčky se vzorky se označily kódem pozorovací plochy.

Část vzorku sloužila k analýzám a část vzorku byla archivována.

3.4 Analyzované parametry

Analýzy byly provedeny s využitím platných postupů Národní referenční laboratoře.

Půdní vzorky se analyzovaly výhradně v Národní referenční laboratoři ÚKZÚZ v Brně a v Plzni, která má osvědčení o akreditaci podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005.

- Cu, Fe, Mn, Zn – podle Lindsaye a Norvella; od roku 2013 navíc také ve výluhu podle Mehlicha 3
- B – podle Bergera – Truoga

3.5 Principy chemických metod

V roce 2019 byly analýzy mikroelementů prováděny stejnými analytickými metodami jako v předešlých cyklech – pro Cu, Fe, Mn, Zn metoda podle Lindsaye a Norvella, pro B metoda

podle Bergera a Truoga. Stanovení obsahu mikroelementů v extraktu podle Mehlicha 3 bylo v roce 2019 provedeno podruhé. Poprvé bylo prováděno v odběrovém cyklu v roce 2013.

Analýzy byly prováděny podle platných jednotných pracovních postupů Národní referenční laboratoře ÚKZÚZ.

3.5.1 Stanovení obsahu Cu, Fe, Mn a Zn v extrakčním roztoku DTPA-TEA podle Lindsaye a Norvella

Uvedený extrakční postup byl vyvinut pro stanovení mědi, zinku, manganu a železa. Postupně byla použitelnost tohoto extrakčního roztoku rozšiřována na různé půdně klimatické oblasti a prvky. V platné normě ISO 14870 je použití tohoto extrakčního roztoku rozšířeno o stanovení olova, kadmia, niklu a chromu.

Mírně alkalická reakce extrakčního činidla a přítomnost iontů vápníku omezuje rozpouštění karbonátů a tím se sníží i extrakce okludovaných mikroelementů, které jsou pro rostliny nepřístupné. Extrakce probíhá při pH 7,3, teplotě 20 °C a při poměru (půda : extrakční roztok = 1 : 2) (m/V) za přesně definovaných podmínek extrakce. Půda se extrahuje roztokem, který obsahuje 0,1 mol/l triethanolaminu, 0,01 mol/l chloridu vápenatého a 0,005 mol/l DTPA (Analýza půd II, postup 2.1.1; Zbíral et al., 2011).

Vlastní stanovení obsahů mědi, železa, manganu a zinku v půdním extraktu se provádí metodou plamenové atomové absorpční spektrofotometrie s elektrotermickou atomizací (AAS-ETA) (Analýza půd II, postup 2.1.2; Zbíral et al., 2011).

3.5.2 Stanovení obsahu B extrakcí půdy vodou za varu podle Bergera a Truoga

Tento extrakční postup byl vyvinut pro stanovení bóru a je prakticky celosvětově využíván především vzhledem k jeho dobré korelaci s příjmem bóru rostlinami. Postup byl podrobně ověřen a rutinně využíván několik let v rámci průzkumu půd ČR.

Vzorek půdy se extrahuje vodou za varu (Analýza půd II, postup 2.2.1; Zbíral et al., 2011).

Extrakt se použije pro vlastní stanovení obsahu bóru, které se provádí spektrofotometricky azomethinem-H (Analýza půd II, postup 2.2.2; Zbíral et al., 2011). Bór reaguje s azomethinem-H (4-hydroxy-5(salicylidenamino)-2,7 naftalen disulfonová kyselina) za vzniku oranžovo-žlutého komplexu při pH 4 až 5. Zbarvené organické látky se odstraní oxidací manganistanem. Rušící ionty jsou maskovány přidavkem komplexujícího činidla (EDTA). Rušivý vliv barevného komplexu Fe³⁺-EDTA a nadbytek manganistanu se odstraní přidavkem kyseliny askorbové.

3.5.3 Stanovení obsahu B, Cu, Fe, Mn, Zn v extraktu podle Mehlicha 3

Extrakční roztok podle Mehlicha 3 byl původně navržen jako náhrada extrakčního roztoku podle Mehlicha 2 pro stanovení obsahu přístupných živin P, K, Mg, Ca. Extrakční roztok podle Mehlicha 3 má na přístrojovou techniku poněkud nižší korozivní účinky než Mehlich 2. Postup byl podrobně ověřen pro půdy ČR a v současné době je používán v AZPP (Agrochemickém zkoušení zemědělských půd) České republiky. Postup umožňuje kromě makroelementů i stanovení některých mikroelementů, především mědi a zinku, případně i síry, železa, hliníku,

manganu, bóru a dalších prvků, což nejlépe odpovídá současnému trendu v analýze půd, kde je stále více využíváno víceprvkových analytických měřicích postupů (ICP-OES, CZE, IC, ICP-MS aj.) (Analýza půd I, Zbírál, Honsa, et al., 2010).

Půda se extrahuje kyselým roztokem, který obsahuje fluorid amonný pro zvýšení rozpustnosti různých forem fosforu vázaných na hliník. V roztoku je přítomen i dusičnan amonný, který příznivě ovlivňuje desorpci draslíku, hořčíku a vápníku. Kyselá reakce vyluhovacího roztoku je nastavena kyselinou octovou a kyselinou dusičnou. Přítomnost EDTA zajišťuje dobrou uvolnitelnost nutričně významných mikroelementů (Analýza půd I, postup 30068.1; Zbírál, et al., 2016).

Vlastní obsah uvedených mikroelementů je stanoven v tomto extraktu metodou atomové emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu (ICP-OES) (Analýza půd I, postup 30074.1; Zbírál, et al., 2016). Aerosol vzorku se proudem argonu přivede do argon-argonového plazmatu, ve kterém dojde k termické excitaci a ionizaci prvků. Při následné deexcitaci dojde k vyzáření charakteristických kvant. Měřením intenzity emitovaného záření charakteristického kvanta se určí obsah daného prvku ve vzorku. Tuto metodu optické emisní spektrometrie lze využít pro stanovení širší škály prvků (Ca, Mg, K, P, Al, Cu, Fe, Mn, Zn, S a B).

3.6 Databáze výsledků

Výsledky analýz jednotlivých vzorků jsou za celé sledované období shromažďovány v databázi BMP, ve které jsou ukládány rovněž informace o sledovaných plochách (druh a množství aplikovaných minerálních hnojiv, organických hnojiv a pesticidů, pěstované plodiny a jejich výnos).

4 STRUKTURA MONITOROVACÍCH PLOCH V ROCE 2019

V tabulce 1 je zaznamenán počet ploch v roce 2019 podle krajů ČR a v tabulce 2 podle jednotlivých výrobních oblastí.

Soubor tvoří neměnný počet 187 PP (pozorovacích ploch) v základním subsystému a 27 PP v subsystému kontaminovaných ploch (tabulka 3).

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 4). Oproti předchozímu cyklu vzorkování, které proběhlo v roce 2013, došlo v souboru k navýšení počtu TTP na úkor orných půd (tabulka 8). Soubor je zastoupen 13 půdními typy tabulka 5.

Celkem bylo odebráno 1912 vzorků. U orných půd, sadů, vinic a chmelnic byly odebrány 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 6).

Tabulka 1 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 2 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 3 Počet odebraných a hodnocených PP a vzorků BMP v roce 2019

Rok	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

Tabulka 4 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 5 Počet PP a kultur podle jednotlivých půdních typů na plochách BMP v roce 2019

Půdní typ	Počet PP					
	Celkem	Orná	TTP	Sady	Vinice	Chmelnice
Antropozem	1	-	1	-	-	-
Černice	2	2	-	-	-	-
Černozem	18	16	-	-	2	-
Fluvizem	29	22	3	-	-	4
Glej	11	6	5	-	-	-
Hnědozem	39	32	1	4	-	2
Kambizem	73	44	28	-	1	-
Luvizem	14	14	-	-	-	-
Pararendzina	2	1	1	-	-	-
Pseudoglej	16	7	9	-	-	-
Regozem	3	1	1	-	1	-
Rendzina	4	2	1	-	1	-
Šedozem	2	1	-	1	-	-
Celkem	214	148	50	5	5	6

Tabulka 6 Počet odebraných vzorků z jednotlivých horizontů ploch BMP v roce 2019

Kultura	Počet ploch	Vzorkované horizonty		
		O	P	R
Orná půda	148	592	592	-
TTP	50	200	200	200
Sady	5	20	20	-
Vinice	5	20	20	-
Chmelnice	6	24	24	-
Celkem	214	856	856	200
			1912	

V roce 2019 bylo odebráno celkem 1912 vzorků (tabulka 6). Ve všech těchto vzorcích byla provedena analýza na obsah mikroelementů metodou podle Mehlicha 3. Od roku 2013 bylo přistoupeno k redukci počtu analyzovaných vzorků na stanovení ve specifických výluzích (Cu, Zn, Mn, Fe – podle Lindsaye-Norvella; B – podle Bergera-Truoga). Analyzovány byly všechny O horizonty a pouze u TTP i P horizonty (R horizonty nebyly na stanovení ve specifických výluzích analyzovány). Počty a analyzované horizonty uvádí tabulka 7.

Tabulka 7 *Počet stanovení na obsah mikroelementů provedených ve specifických výluzích a počet stanovení provedených metodou podle Mehlicha III v horizontech kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2019*

Metoda stanovení mikroelementů (B, Cu, Fe, Mn, Zn)	Vzorkované horizonty			Celkem
	O	P	R	
Specifická vyluhovadla (Lindsay-Norvell, Berger-Truog)	856	200	-	1056
Extrakt podle Mehlicha 3	856	856	200	1912
Celkem	1712	1056	200	

Tabulka 8 *Změny v zastoupení počtu PP jednotlivých kultur na plochách BMP v roce 2019 oproti roku 2013*

	Počet PP celkem	Orná půda	TTP	Sady	Vinice	Chmelnice
2019	214	148	50	5	5	6
2013	214	154	44	6	5	5

5 HODNOCENÍ PŮDNÍCH DAT ZE VZORKOVÁNÍ Z ROKU 2019

5.1.1 Vstupní data

Zpráva hodnotí obsahy přístupných mikroprvků extrahovaných ve specifických výluzích (B podle Bergera a Truoga; Cu, Fe, Mz, Zn podle Lindsaye a Norvella) a B, Cu, Fe, Mn, Zn extrahovaných metodou podle Mehlicha 3. Výsledky jsou udávány v mg.kg^{-1} suchého vzorku půdy. Mezi mikroprvky patří také molybden, který byl v souboru BMP stanovován pouze při založení v roce 1992 a v prvním cyklu vzorkování v roce 1995. Hodnocení tohoto prvku bylo provedeno ve zprávě z roku 2016, která hodnotila přístupné mikroelementy mezi lety 1995–2013 (Prášková, Němec, 2016).

Tabulka 9 Kritéria pro hodnocení obsahu mikroprvků ve specifických výluzích (Neuberg, 1990)

Prvek	Druh půdy	Obsah v mg.kg^{-1} zeminy		
		Nízký	Střední	Vysoký
bór (Berger-Truog)	L	pod 0,40	0,40–0,70	nad 0,70
	S	pod 0,60	0,60–1,00	nad 1,00
	T	pod 0,80	0,80–1,50	nad 1,50
molybden (Grigg) ¹	L	pod 6,40	6,40–7,00	nad 7,00
	S	pod 6,80	6,80–7,80	nad 7,80
	T	pod 7,20	7,20–8,20	nad 8,20
měď (Lindsay-Norvell)	L, S, T	pod 0,80	0,80–2,70	nad 2,70
mangan (Lindsay-Norvell)	L, S, T	pod 10	10–100	nad 100
zinek (Lindsay-Norvell)	L, S, T	pod 1,00	1,00–2,50	nad 2,50
železo (Lindsay-Norvell) ²	L, S, T	pod 8	8–75	nad 75

¹... vyjádřeno tzv. molybdenovým číslem Mo_c . $\text{Mo}_c = 10 \times \text{Mo}$ (v mg.kg^{-1} zeminy)

²... stanovení obsahu železa je prováděno pouze ve zvláštních případech

Tabulka 10 Kritéria pro hodnocení obsahu mikroživin ve výluhu dle Mehlicha 3 (Zbiral, 2012)

Prvek	Druh půdy	Obsah v mg.kg^{-1} zeminy		
		Nízký	Střední	Vysoký
bór	L	do 0,55	0,56–0,75	nad 0,75
	S	do 0,70	0,71–1,00	nad 1,00
	T	do 0,85	0,86–1,40	nad 1,40
měď	L, S, T	do 1,6 ¹⁾	1,61–4,5	nad 4,5
zinek	L, S, T	do 2,2	2,21–5,0 ¹⁾	nad 5,0
mangan	L, S, T	do 30,0 ¹⁾	30,1–200	nad 200
železo	L, S, T	do 60	60,0–420	nad 420

¹⁾... obiloviny reagující velmi dobře na Cu se hnojí až do obsahu 2,0 mg.Cu.kg^{-1} půdy, manganem se hnojí všechny plodiny až do obsahu 45 mg.Mn.kg^{-1} půdy. Kukuřice se hnojí zinkem i při jeho středním obsahu v půdě.

Obsahy vybraných prvků byly stanoveny ve všech čtyřech odebraných směsných vzorcích v horizontech ornice O (O1, O2, O3, O4), v horizontech podorničí P (P1, P2, P3, P4) a v horizontech druhého podorničí R (R1, R2, R3, R4). Obsahy prvků ze směsných vzorků z každého horizontu pozorovací plochy (4 vzorky) byly pro potřeby této závěrečné zprávy přepočteny na jednu 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.

Předkládaná zpráva hodnotí obsahy mikroelementů ve specifických výluzích.

Pro porovnání obsahů mikroelementů v půdách BMP s celorepublikovými výsledky AZZP (Agrochemické zkoušení zemědělských půd z let 2017–2022; Smatanová, 2023) z hlediska zásobenosti půd jednotlivými mikroelementy, bylo použito stanovení ve výluhu dle Mehlicha 3 a kategorie AZZP uvedené v tabulce 10. Podle tabulky 11 vycházející z Pracovních postupů ÚKZÚZ pro agrochemické zkoušení zemědělských půd byla následně navržena korekce hnojení. Další hodnocení obsahů mikroelementů ve výluhu dle Mehlicha 3 je zpracováno formou tabulek v příloze 1, 3, 5, 7, 8.

Hodnocen byl rok odběru 2019 a to u všech 214 monitorovacích ploch.

Obsahy mikroelementů ve specifických výluzích byly v roce 1995, 2001 a 2007 stanoveny ve všech odběrových vrstvách půdy (horizont O = ornice, horizont P = podorničí, horizont R = druhé podorničí u TTP). Od cyklu 2013 jsou jejich obsahy stanoveny pouze v O horizontech orných půd, sadů, vinic a chmelnic a v O a P horizontech u TTP. Obsahy mikroelementů metodou podle Mehlicha 3 jsou stanovovány od roku 2013 a to ve všech odběrových horizontech půdy.

Tabulka 11 Opatření pro korekci dávek živin (pracovní postupy ÚKZÚZ pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2017 až 2022)

Obsah	Hodnocení + korekce dávky P, K, Mg, Ca pro hnojařský zásah
Nízký (N)	potřeba dosycení příslušnou živinou, povýšit vypočtenou dávku o 50 %
Vyhovující (VH)	potřeba mírného dosycení příslušnou živinou, povýšit vypočtenou dávku o 20–30 %
Dobrý (D)	příznivý obsah, jehož udržení je potřeba zajistit nahrazovacím hnojením příslušnou živinou, dodávat živinu podle odběrových normativů
Vysoký (V)	potřeba vypustit hnojení příslušnou živinou na přechodnou dobu (asi 2–3 roky), než bude dosaženo kategorie dobré
Velmi vysoký (VV)	zvyšování tohoto obsahu je nevhodné z ekologického hlediska, hnojení příslušnou živinou je nepřipustné – vypustit hnojení příslušnou živinou na dobu, než budou k dispozici nové výsledky AZZP

5.1.2 Postup zpracování dat

Zpracování numerických dat vzorkování roku 2019 je zpracováno pro soubor 214 PP bez rozlišení na základní a kontaminovaný subsystém, podle následujícího schématu:

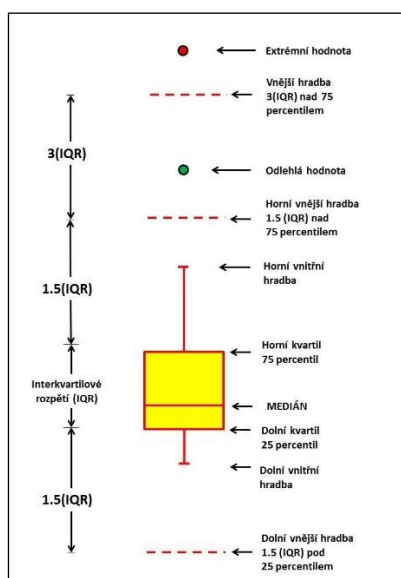
1. popisná statistika – výpočet aritmetického průměru; mediánu; 25. a 75. percentilu; vyhledání minima a maxima.
2. vizualizace výsledků popisné statistiky – histogram, krabicový graf

3. mapy obsahů prvků na monitorovacích plochách. Obsah je zobrazen jako hodnota, kterou zaujímá obsah daného prvku na lokalitě vzhledem k hodnotícím kritériím
4. vyhodnocení obsahů z hlediska kritérií pro hodnocení obsahů mikroelementů v půdě ve výluhu dle Mehlich 3

Pro statistické zpracování byly použity programy: statistický program (software pro statistickou analýzu dat) R, MS Excel 365. 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.

Box diagram (box plot, krabicový graf) představuje grafické zobrazení statistických charakteristik minimum, maximum, medián a kvartily, které umožní jejich posouzení. Program Excel také nabízí zobrazení průměru. Lze zvolit zobrazení také tzv. odlehlých hodnot, jako samostatných bodů. Konec „vousu“ představuje poslední hodnotu v rámci rozsahu, který je spočítán na základě výšky krabice (mezikvartilové rozpětí). Odlehlé hodnoty představují velmi vzdálené body od většiny ostatních naměřených hodnot.

Obrázek 3 **Struktura box diagramu**



6 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA MIKROELEMENTŮ

Diferencují-li se jednotlivé biogenní prvky podle jejich funkce v rostlinách, nejsou stopové prvky vlastními stavebními prvky pro tvorbu sloučenin vytvářejících užitnou podstatu sklizňových produktů, ale tyto prvky jsou důležité především proto, že vytvářejí a ovlivňují složitý aparát enzymatické a jiné katalytické činnosti vedoucí k řízení důležitých biochemických a fyziologických procesů v rostlinném organismu (Neuberg, 1978a).

Z hlediska základních problémů výživy rostlin platí pro mikroelementy stejné obecné zákonitosti jako pro makroelementy. Protože však jde o řádově jiné obsahy těchto prvků v celém zemědělském výrobním procesu, mají mikroelementy určitá specifika, která je třeba zohlednit při řešení jejich problematiky (Neuberg, 1978a):

- a) Rostliny odebírají přibližně 1000 krát menší množství těchto prvků ve srovnání s makroelementy.
- b) V relaci k odběru je celková zásoba mikroelementů v půdě přibližně 10 krát vyšší než u makroelementů. Ovšem v přístupných frakcích nejsou tyto vztahy tak jednoznačné.
- c) Oblast optimálního obsahu leží u stopových prvků v užším intervalu než u makroelementů. Již poměrně malé množství stopových prvků může být příčinou buď nedostatku, nebo přehnojení, zvláště u některých prvků.
- d) Požadavek různých plodin na jednotlivé mikroelementy je výrazněji odlišný, než je tomu u makroelementů.
- e) Malá zapravovaná množství mohou činit v praxi obtíže při jejich aplikaci.
- f) Diagnostické a analytické práce v oboru stopových prvků vyžadují vysokou citlivost a speciální postupy, které musí být vedeny tak, aby nedošlo k žádné kontaminaci těchto prvků z okolí (zařízení atd.)

6.1 Zdroje mikroelementů v půdě

6.1.1 Matečná hornina

Hlavním zdrojem mikroprvků v půdách jsou matečné horniny. Charakter vznikajících půd včetně obsahu, uvolnitelnosti, a rozmístění mikroprvků v půdním profilu je ovlivněn druhem horniny, zrnitostí, petrografickým a tím i jejím chemickým složením. Uvolnitelnost mikroprvků z hornin je závislá na jejich vazbách v nerostech, v nichž se vyskytují. Snáze zvětrávající nerosty lehko obohacují půdy prvky; odolnější nerosty se během tvorby půdy hromadí a zvyšují celkový obsah a naopak snižují uvolnitelný obsah mikroprvků (Beneš, 1978).

Celkový i uvolnitelný obsah jednotlivých mikroprvků ve vyvřelých horninách stoupá od kyselých hornin přes neutrální k horninám bazickým. Mimo nerostné složení je obsah mikroprvků ve vyvřelých horninách ovlivněn i místem a dobou jejich vzniku. K horninám, které mají nízké i podprůměrné přirozené zásoby všech celkových i uvolnitelných mikroprvků nebo jejich podstatné většiny, patří pegmatity, aplity, žuly a částečně i granodiority. K horninám, které mají vysokou přirozenou zásobu všech nebo většiny sledovaných mikroprvků, patří čediče, čedičové tufy, částečně melafýry. Obsahy mikroprvků v sedimentárních horninách jsou stejně jako u vyvřelých ovlivněny petrografickým složením,

množstvím a velikostí částic a charakterem základní hmoty nebo tmelu. Zvýšení obsahu mikroelementů je způsobeno hlavně zvýšením obsahu jílovitých částic včetně charakteru jílových nerostů. Ze sedimentárních hornin mají nízkou nebo podprůměrnou přirozenou zásobu sledovaných mikroprvků štěrky, štěrkopísky, písky, arkózy, křemence, slepence, dolomity, opuky, vápence. K horninám s vysokým obsahem mikroprvků patří jíly a částečně i jílovce. Většina hodnot celkových i uvolnitelných obsahů mikroprvků v usazených horninách je nižší než v horninách vyvřelých (Beneš, 1978).

Uvolnitelnost mikroprvků z hornin a nerostů je jedním z hlavních faktorů podmiňujících jejich dostatek nebo nedostatek v půdách. Uvolňování probíhá různou rychlostí v závislosti na charakteru nerostů a charakteru vazeb (Beneš, 1978). Vyšší obsah mikroelementů mají půdy, které obsahují lehce zvětratelný mineralogický podíl, který se skládá zejména z biotitu, augitu a olivínu. Vysoký obsah mikroelementů mají též půdy v blízkosti rudných ložisek (Kobza et al., 2014). Nejvyšší absolutní uvolnitelnost všech mikroprvků byla ze sedimentárních hornin, u nichž se na základě dřívějších zvětrávacích procesů částečně nebo úplně rozpadly krystalové mřížky původních nerostů. Poměrně větší množství mikroprvků je poutáno sorpcí na povrchu jednotlivých částic, a tím je dán předpoklad k snadnějšímu výluhu. Nejnižší uvolnitelnost byla zjištěna u vyvřelých hornin. Při hodnocení celkové uvolnitelnosti ze všech hornin je nutné uvažovat i poměrně vysokou uvolnitelnost z uhličitánových hornin (Beneš, 1978).

6.1.2 Druhotné zdroje

Antropogenní činností vznikají materiály, které jsou do půdy vnášeny řízeně se snahou půdu obohatit především o organickou složku. Patří sem popílky, komunální odpady, odpadní průmyslové vody, odpady při úpravě rud, minerální hnojiva. Stopové prvky se dostávají do půdy též imisemi (Beneš, 1994).

6.2 Faktory působící na obsah mikroelementů v půdě

V půdách se nacházejí mikroprvky v různých formách a jejich obsah i dynamiku ovlivňuje řada faktorů. Jsou to jednak faktory statické jako je matečná hornina, klimatické podmínky, roční období, geomorfologie terénu apod., a jednak faktory dynamické jako je obsah a kvalita humusu, půdní reakce, zrnitost, propustnost, sorpční kapacita, mikrobiální aktivita, redoxpotenciál, celkový chemismus apod. Složitost celé problematiky mikroelementů v půdách spočívá v tom, že všechny tyto faktory působí na obsah, formu a chování mikroprvků komplexně, často protichůdně a výsledkem jsou značné rozdíly ve využitelnosti mikroprvků rostlinami.

Velmi důležité je, aby nedocházelo k nadměrnému příjmu těchto prvků rostlinami s ohledem na možné nebezpečí škodlivosti až toxicity pro vyšší živočichy. Pro zvířata i člověka je toxický hlavně molybden a měď.

Všeobecně je známo, že neutrální až alkalické půdy jsou mikroprvky lépe zásobeny, zvláště půdy zrnitostně těžší, ale jejich uvolnitelnost pro rostliny je nižší. Naopak lehké a kyselejší půdy mají obsahy mikroprvků nižší, ale jejich přístupnost pro rostliny je příznivější. Proto je také snadnější pohyb těchto prvků, vedoucí často až k deficitu (Beneš, 1994).

6.2.1 Půdní reakce

Obecně v kyselejších prostředí se zvyšuje rozpustnost a tím i přijatelnost Fe, Mn, Zn, Cu a B a naopak se snižuje přijatelnost Mo. Proto vápnění patří k nejvýznamnějším opatřením působícím na příjem většiny mikroprvků. Ovšem i použití minerálních hnojiv může měnit (i když jen lokálně) pH půdy a významně tak zasahovat do příjmu mikroprvků (Beneš, 1994).

6.2.2 Oxidačně-redukční podmínky

V půdě jsou oxidačně-redukční podmínky ovlivňovány hlavně hodnotou pH, provzdušeností, strukturou, obsahem organických látek, ročním obdobím a biologickou činností půd. Redukce má za následek zvýšenou rozpustnost a tím i přijatelnost rostlinami. Zvýšená přijatelnost Mn, Fe, Cu, Zn může dosáhnout i hranic toxicity. Oxidace naproti tomu způsobuje většinou nižší využitelnost rostlinami (Beneš, 1994).

6.2.3 Půdní organická hmota

Půdní organická hmota působí svým obsahem i kvalitou. Všeobecně se uvádí, že na půdách s vysokým obsahem organické hmoty je nedostatek mikroprvků, což je vysvětlováno jejich silnou vazbou na organickou hmotu. Humusové látky představují v půdách nejstálější sloučeniny, které skutečně nejvíce přispívají k sorpci kovů z roztoku, nejvíce u Cu (Beneš, 1994).

6.2.4 Zrnitostní složení

Zrnitostní složení významně ovlivňuje jak obsah, tak i uvolnitelnost a přístupnost prvků pro rostliny. Půdní koloidy, hlavně jílové částice, mají velký aktivní povrch a tím i vysokou sorpční schopnost. Nejvýznamnější zásobárnou mikroprvků je montmorilonit a také amorfní alumosilikáty (Beneš, 1994).

6.3 Ztráty mikroelementů z půdy

Největší vliv na ztráty mikroelementů mají povrchové a podzemní vody, odnos prvků erozní činností a odnos prvků pěstováním a sklizní zemědělských plodin. Mimo to se značnou měrou na ztrátách podílí i charakter jednotlivých prvků. Z přirozených faktorů se pak na odnosu významně podílejí i poměry klimatické, geomorfologické, hydrogeologické, geologické a vegetační, které se pak vzájemně ovlivňují a vytvářejí tak celou řadu různých ekosystémů ovlivňujících celkové ztráty prvků z krajiny (Beneš, 1994).

Charakter jednotlivých prvků v úzké spojitosti s charakterem půdních podmínek ovlivňují vzájemné vazby prvků nebo stupeň jejich uvolnitelnosti do podzemních vod i stupeň přístupnosti pěstovanými plodinami (Beneš, 1994).

6.4 Zásady hnojení mikroelementy

Jak již bylo řečeno, celková zásoba mikroelementů je v půdě v relaci k makroelementům přibližně 10 krát vyšší, ale jejich potřeba se na rozdíl od základních živin pohybuje v řádech několika gramů na hektar. Složitost celé problematiky hnojení mikroelementy vyplývá z předcházejících kapitol. Důležitý je dostatečný obsah přístupných frakcí mikroprvku pro rostlinu a uvědomit si, že příhodné půdní podmínky (především pH, obsah organické půdní hmoty) zpřístupňující rostlinám jeden mikroprvek, často slouží proti příjmu mikroprvku druhého (Vaněk et al., 1999).

Pokud se rozhodneme přistoupit k aplikaci mikroprvkových hnojiv, je kromě dodržení doporučené dávky na jednotku plochy velmi důležité rovnoměrné rozmístění aplikované sloučeniny. S ohledem na malá aplikovaná množství je nutná aplikace ve směsi s ostatními hnojivy, kde je použité hnojivo dobře promíseno. Je možné používat kombinovaná hnojiva, která obsahují více mikroelementů zároveň (např. Cererit obsahuje B, Cu, Mo, Zn). Těmito hnojivy lze udržovat určitou hladinu mikroprvků v půdě. Nelze jimi ale odstranit výrazný nedostatek mikroprvku (Vaněk et al., 1999).

Alternativou k aplikaci půdní je použití mikroprvkového hnojiva ve formě postřiku (samostatně nebo v kombinaci s jinými hnojivy např. DAM 390, aj.) cíleného přímo na povrch rostlin (Vaněk et al., 1999). Mimokořenovou výživou lze kromě významného ovlivnění kvantity a kvality výnosu zabránit i přehnojování půd a snížit riziko ohrožení životního prostředí. Přitom při mimokořenové výživě je možné dosáhnout až 85% účinnosti živin, zatímco při aplikaci do půdy pouze 30–60% využití v závislosti na druhu půdy (Hlušek et al., 2002). Účinnost aplikace je odvislá od vlastností aplikované látky, přídavných látek a použité koncentrace, významný je i stav rostliny (orgán, stáří, vývojová fáze, vlhkost povrchu a výživný stav), ale především od vnějších podmínek jako je teplota, vlhkost, světlo, denní doba, cirkulace vzduchu apod. Při suchém počasí je nebezpečí rychlého oschnutí postřiku a naopak dešťovými srážkami může být aplikovaná látka smyta (Vaněk et al., 2002). Řada živin je v rostlině relativně nemobilní a tak nesporným kladem foliární aplikace je velmi účinné a rychlé vpravení živiny do rostliny listy a umožnění operativní korekce výživného stavu (Hlušek et al., 2002). Při aplikaci přes listy musí živiny překonat kutikulu, či jiné ochranné vrstvy listů. V této souvislosti jsou důležité vlastnosti postřikové kapaliny. Velký vliv má například pH, použití adjuvantů – látek zlepšujících vlastnosti roztoku a forma, v jaké se vyskytují mikroprvky – (soli, cheláty apod.) (Černý et al., 2018). Hnojiva používaná k mimokořenové aplikaci jsou vodorozpustná s pohotovými živinami a slouží jako rychlý zdroj zejména v případech fyziologických poruch z nedostatku živin z půdy (např. po vápnění). Složení těchto hnojiv vychází z nároků rostlin, pro které jsou doporučována, respektují zejména poměr a vhodné formy živin, čímž je zaručena vysoká účinnost. Optimální koncentrace roztoku pro mimokořenovou mikroprvkovou výživu je doporučována od 0,1 do 0,5 % (u makroprvkových jsou to v průměru 2% roztoky) (Hlušek et al., 2002). Další výhodou mimokořenového hnojení je při vhodné kombinaci s jinými zásahy i ekonomika aplikace (Vaněk et al., 2002).

7 HISTORICKÝ VÝVOJ SLEDOVÁNÍ OBSAHU MIKROELEMENTŮ V PŮDÁCH ČR

Od roku 1956 se na orných půdách a intenzívně využívaných trvalých travních porostech sledovaly agrochemické vlastnosti (obsah uhličitánů, pH, potřeba vápnění, obsah přístupného P, K, Mg) v pravidelných pětiletých cyklech (Mazanec, 1978, vyhláška č. 47/1961 Sb.). Výrazně se zvyšující intenzita hnojení působící rychlejší změny půdních vlastností si od roku 1980 vyžádala zkrácení intervalu zkoušení na tři roky, přičemž louky a pastviny se stanovily na zkoušení v šestiletých obdobích (Vyhláška č. 119/1981 Sb.). Poslední tříletý interval u orných půd byl uzavřen v roce 1992 a dále byla stanovena délka odběrového cyklu na šest let, což odpovídá délce zavedené v některých sousedních státech (Klement et al., 2012). Se systematickým řešením problematiky stopových prvků ve výživě rostlin, potažmo v půdách, bylo v České republice započato začátkem 70. let dvacátého století (Mazanec, 1978).

První průzkum 1971–1975

V rámci pětiletého cyklu zkoušení půd v období 1971–1975 (4. cyklus od roku 1956) byl na podnět Ministerstva zemědělství a výživy proveden průzkum obsahu stopových prvků v půdách ČSR. Hlavním cílem průzkumu bylo získat údaje o zásobenosti půd manganem, molybdenem, zinkem, mědí a bórem, vymežit půdní typy a územní celky s rozdílnou potřebou podrobnější kontroly obsahu těchto prvků po roce 1975 a vyhodnotit závislost obsahu stopových prvků na některých mechanických a chemických vlastnostech půd (Mazanec, 1978). Na základě této koncepce byla také pro příslušná léta celostátně naplánována potřebná množství jednotlivých prvků za předpokladu, že budou dodávány v lehce přístupných vodorozpustných formách (Neuberg, 1978b).

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský průzkum zajišťoval metodicky, organizačně a analyticky. Odběr půdních vzorků prováděly zemědělské oblastní laboratoře. V rámci uvedeného průzkumu se v období 1971–1975 odebralo ve všech okresech ČSR celkem 34 148 půdních vzorků z celé výměry orné půdy; jeden vzorek reprezentoval v průměru 106 ha. Obsah stopových prvků byl ve všech odebraných vzorcích stanoven ve výluhu 1N HCl. Vlastní stanovení obsahu mědi, manganu a zinku bylo provedeno atomovou absorpční spektrometrií (AAS) (viz. kapitola 3.7.1), stanovení bóru bylo provedeno kolorimetricky 1,1 diantrimidem a stanovení molybdenu kolorimetricky rodanidovou metodou. U vybraného souboru 3550 půdních vzorků byl stanoven podle podkladů Expediční skupiny pro výzkum půd půdní typ, popřípadě subtyp. U každého půdního vzorku z uvedeného souboru bylo dále stanoveno pipetovací metodou zrnitostní složení, modifikovanou metodou podle Mehlicha hodnoty sorpčních vlastností půdy, elektrometricky v suspenzi půdy v roztoku KCl půdní reakce (Mazanec, 1978).

Druhý průzkum 1981–1986

Druhý průzkum půd zaměřený na obsah stopových prvků byl na základě vyhlášky Ministerstva zemědělství a výživy ČSR situován na plochy speciálních kultur (vinice, chmelnice, intenzívně obhospodářované sady), na pravidelně zavlažované pozemky všeho druhu a na pozemky, na nichž byla pěstována zelenina. Dále na genetické půdní typy, na nichž byl již zjištěn velmi malý obsah stopových prvků. A také na pozemky, kde byl pozorován výskyt fyziologického onemocnění pěstovaných plodin (vyhláška č. 119/1981 Sb.). Jeden vzorek byl odebírán z plochy 3 ha uvedených kultur (2 ha v případě vinic), přičemž se plocha přiměřeně zmenšila v případě nevyrovnanosti pozemku (Mazanec, Panýr, 1981). Způsob odběru vzorků a jejich

analýzy byly prováděny stejně jako při průzkumu orných půd (první průzkum 1971–1975). Z výsledků druhého průzkumu vyplynulo, že obsah mikroprvků v půdách speciálních plodin byl podobný obsahu těchto prvků v ornících zjišťovaných v prvním průzkumu. Pouze u půd chmelnic byly zjištěny vyšší obsahy mědi a zinku a vinice vykazaly zvýšený obsah mědi (Nerad, 1994).

Třetí průzkum 1986–1991

Na základě získaných poznatků byl proveden třetí podrobný průzkum orných půd v letech 1986–1991 (v rámci dvou tříletých cyklů). Během tohoto období byly odebrány vzorky ze všech honů o výměře 10 ha a větší. Každý pozemek splňující uvedenou podmínku byl reprezentován jedním vzorkem. Celkem bylo prozkoušeno 2 707 571 ha orné půdy.

U každého vzorku se zjišťoval obsah mědi, zinku, manganu, bóru a molybdenu následujícími metodami:

- Cu, Mn, Zn ve výluhu podle Lindsaye a Norvella atomovou absorpční spektrometrií (AAS),
- B ve výluhu horkou vodou podle Bergera-Truoga fotometricky,
- Mo ve výluhu podle Grigga kolorimetricky (Nerad, 1994).

Obsahy jednotlivých mikroelementů v půdě byly hodnoceny podle kritérií uvedených v tabulce 9.

Výsledky průzkumu byly vyjádřeny procentickými podíly kategorií obsahu za jednotlivé správní celky (okresy, kraje).

Výsledky rozborů byly průběžně předávány zemědělským podnikům, které tak získaly dlouhodobě platnou informaci o obsahu stopových prvků na rozhodující výměře obhospodařované půdy (83,9 %) (Nerad, 1994).

Současnost

Podle vyhlášky č. 275/1998 Sb. se provádělo v rámci Agrochemického zkoušení zemědělských půd, které garantuje ÚKZÚZ, v určitém procentu vzorků též stanovení obsahu stopových prvků (mědi, zinku, manganu, železa, bóru). Analýzy byly prováděny v extraktu podle Mehlich 3. V rámci několikaletého ověřování korelací obsahů ve výluhu dle Mehlich 3 a obsahů v dosud používaných specifických výluzích byla navržena kritéria pro hodnocení v extraktu dle Mehlich 3 (tabulka 10). V průběhu minulých let se počet vybraných vzorků ustálil na cca 7000, což představuje přibližně 9 % z celkového počtu odebraných vzorků (Smatanová, Němec, 2018). Od roku 2021 jsou mikroprvky v extraktu dle Mehlich 3 stanovovány standardně ve všech odebraných vzorcích (Smatanová, 2023).

8 VÝSLEDKY OBSAHU PŘÍSTUPNÝCH MIKROELEMENTŮ

8.1 Bór

8.1.1 Obecná charakteristika bóru

V půdách a rostlinách je bór (B) přítomen jako trojmocný, ve sloučeninách nejčastěji jako sůl kyseliny ortoborité (H_3BO_3), ale i metaborité, a některých kyselin polyboritých. Celkový přirozený obsah v ornících činí 5–100 mg B.kg^{-1} převážně v anorganické formě; v organických vazbách je ho v půdě velmi málo. Průměrný obsah výměnného bóru činí asi 1,0–4,0 mg.kg^{-1} , z čehož více než polovina je ve vodorozpustné formě. Průměrné množství bóru odebírané každoročně sklizněmi činí 50–500 g.ha^{-1} , přičemž v humidních půdách se znatelně vymývá (Finck, 1969). Podle bilance (Čumakov, Neuberg, 1969) se navrácí do zemědělského koloběhu živin zpět do půdy asi 57 % bóru. Nejčastěji se vyskytuje jeho deficiencie v lehkých půdách, které se však také mohou snadno přehnojit (Neuberg, 1978a).

Rozpustnost B v půdách je značně závislá na pH. Nejvíce je bór rozpustný při pH 5–7 a nad 8,5. Značný význam kromě pH má i zrnitostní složení a obsah organické půdní hmoty. Vysoký obsah jílovitých částic snižuje příjem B rostlinami. S řadou organických sloučenin vytváří komplexy, které jsou oproti minerálním sloučeninám pro rostliny přijatelnější. Většina přijatelného B se proto uvolňuje rozkladem organické půdní hmoty, zvláště v kyselejších půdách (Beneš, 1994).

Nedostatek B se často vyskytuje také v půdách převápněných a přehnojených draslíkem a na půdách sladkovodních sedimentů, kde obsah B ve výluhu podle Bergera-Truoga je nižší než 1 mg.kg^{-1} . Toxicita (vyšší obsah než 5 mg.kg^{-1} půdy) se může projevit u broskvoní a vinné révy v přehnojených půdách a při používání kalů ke hnojení (Beneš, 1994).

Bór významně působí na kvalitu produkce, zvláště na obsah cukrů v řepě a ovoci, na množství vitamínů a na odolnost proti bakteriálním chorobám (Beneš, 1994).

Bórem se hnojí pozemky, které mají nízký obsah bóru v půdě. Je nutné zohledňovat půdní druh. Proto se na lehkých půdách používá dávka okolo 1 kg B.ha^{-1} a u těžších půd až 3 kg B.ha^{-1} ve formě kyseliny borité nebo tetraboritanu sodného (Beneš, 1994).

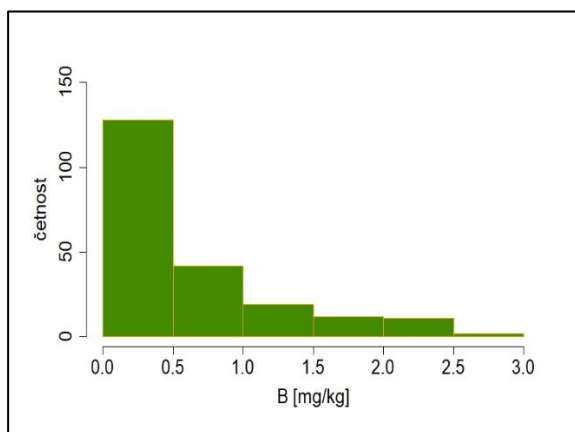
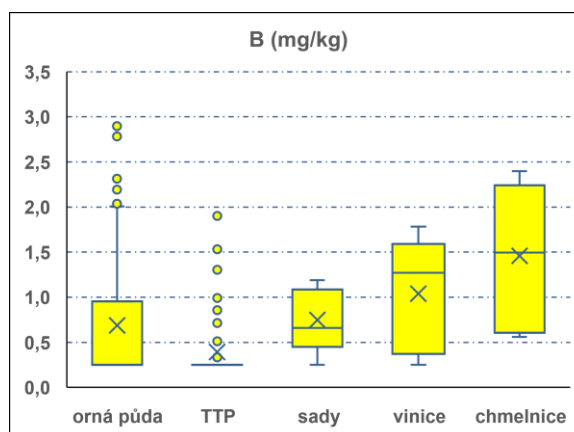
8.1.2 Hodnocení obsahu přístupného bóru v půdě v roce 2019

Obsah bóru v extraktu podle Bergera-Truoga se v půdách celého souboru ploch pohybuje v rozsahu < 0,5–2,90 mg.kg^{-1} , přičemž největší zastoupení je na úrovni < 0,5 mg.kg^{-1} . Hodnoty < 0,5 mg.kg^{-1} se vyskytují na 128 PP, což tvoří 60 % z celkových 214 PP (obrázek 4). Průměrná hodnota je 0,65 mg.kg^{-1} , mediánová hodnota je < 0,5 mg.kg^{-1} . Nejvyšší obsah byl zaznamenán na orné půdě na PP 7013B Újezd u Brna v okrese Brno-venkov na půdním typu černozem (2,90 mg.kg^{-1}) (obrázek 9). Tento obsah zdaleka nedosahoval hodnoty vyšší než 5 mg.kg^{-1} , která podle Beneše (1994) působí již toxicky. V úvahu přichází v zasolených půdách suchých oblastí aridního klimatu.

Tabulka 12 Základní statistika obsahu bóru v jednotlivých kulturách a v celém souboru monitorovacích ploch BMP (2019, Berger-Truog, mg.kg⁻¹ suchého vzorku)

B	Horizont	Počet	Min	25. perc.	Medián	Průměr	75 perc.	Max
orná půda	O	148	<0,5	<0,5	<0,5	0,69	0,95	2,90
TTP	O	50	<0,5	<0,5	<0,5	0,39	<0,5	1,90
	P	50	< 0,5	0,25	0,25	0,36	0,25	1,81
sady	O	5	<0,5	0,65	0,66	0,75	0,98	1,19
vinice	O	5	<0,5	0,49	1,27	1,04	1,40	1,78
chmelnice	O	6	0,56	0,70	1,49	1,46	2,15	2,40
Celý soubor 214 PP	O	214	<0,5	<0,5	<0,5	0,65	0,86	2,90

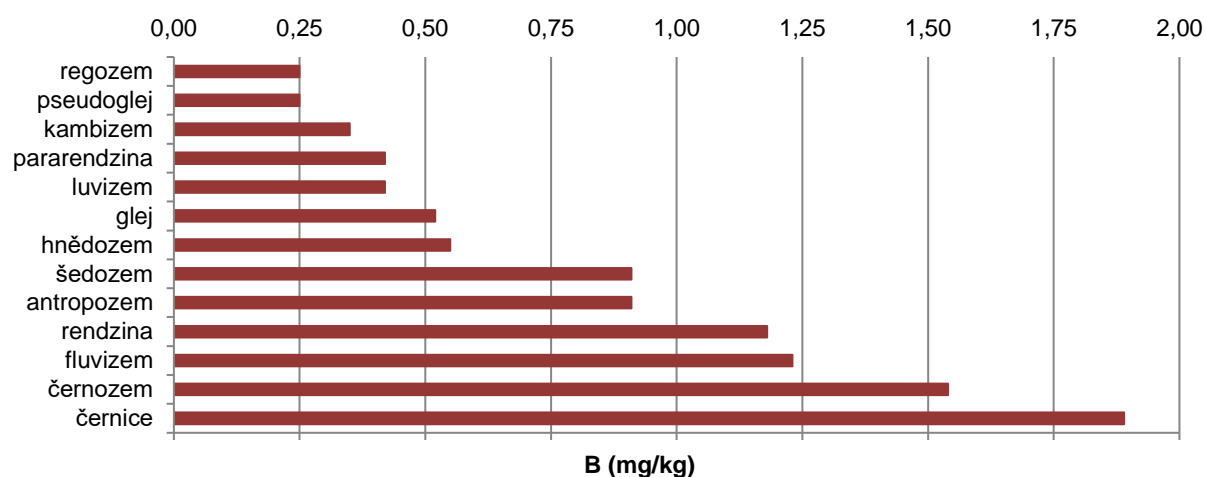
O – ornice, P – podorničí

Obrázek 4 Rozložení obsahu bóru v celém souboru 214 ploch BMP (2019, Berger-Truog, mg.kg⁻¹ suchého vzorku)

Obrázek 5 Grafické znázornění statistických parametrů obsahu bóru v jednotlivých kulturách (2019, Berger-Truog, mg.kg⁻¹ suchého vzorku)


Nejvyšší průměrné i mediánové obsahy se vyskytovaly na chmelnicích (1,46 mg.kg⁻¹ a 1,49 mg.kg⁻¹) a vinicích (1,04 mg.kg⁻¹ a 1,27 mg.kg⁻¹). Beneš (1994) uvádí, že nedostatek B se často vyskytuje v půdách na vápencích nebo v půdách převápněných. Toto tvrzení nelze však zevšeobecňovat. Nepotvrdilo se nám v případě vinice (PP 7019B) na rendzině, což je půdní typ vzniklý právě na vápenatých a dolomitových substrátech, kde obsah přístupného vápníku v ornici byl v roce 2019 zjištěn 30 325 mg Ca.kg⁻¹ – obsah vysoký a obsah přístupného bóru 1,40 mg.kg⁻¹ – obsah vysoký. Rovněž tak na dalších dvou vinicích (PP 7014B a 7018B) byly jak obsahy bóru, tak obsahy vápníku vysoké.

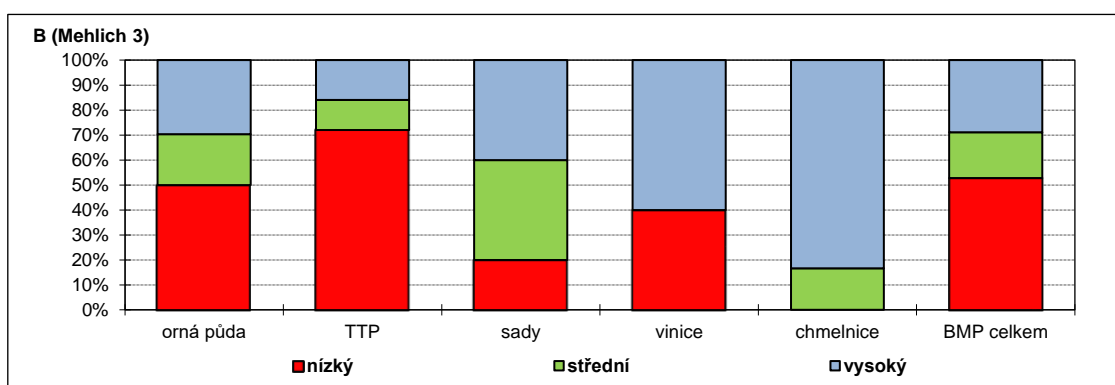
Půdní typy, které dosáhly nejvyšších průměrných obsahů bóru v ornici vrstvě, byly: černice (1,89 mg.kg⁻¹), černozem (1,54 mg.kg⁻¹), fluvizem (1,23 mg.kg⁻¹).

Obrázek 6 Porovnání průměrných hodnot obsahu bóru u jednotlivých půdních typů na PP BMP (2019, ornice, Berger-Truog, mg.kg⁻¹ suchého vzorku)



Pro hodnocení obsahu bóru se používají 3 kategorie (obsah nízký, střední a vysoký), které se odvíjejí od půdního druhu (tabulka 9, 10). Tabulka 9 slouží pro hodnocení obsahů mikroelementů stanovených ve specifických vyluhovacích a tabulka 10 pro obsahy stanovené ve vyluhovadle dle Mehlicha 3. Podle tabulky 10 byly kategorizovány jednotlivé pozorovací plochy (obrázek 8) a vypočítáno procentické zastoupení kultur v kategoriích z odběrů za rok 2019 (obrázek 7).

Obrázek 7 Procentické zastoupení jednotlivých kategorií obsahu bóru u kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 podle Kritérií pro hodnocení obsahu bóru v půdě ve vyluhu dle Mehlicha 3



Největší procento vzorků celého souboru 214 PP se v roce 2019 nalézalo v kategorii „nízký“ (52,8 % PP), a to u orné půdy 50,0 % vzorků a u trvalých travních porostů dokonce 72,0 % PP. Naopak u vinic a chmelnic převládá obsah „vysoký“. Ovocné plodiny mají vyšší nároky na obsah bóru a to z důvodu jeho vlivu na metabolismus sacharidů (Balík et al., 2018), je proto pozitivní, že výskyt sadů je z větší části situován na půdách se středním a vysokým obsahem bóru. Naším zjištěním zcela odpovídají výsledky celorepublikového programu Agrochemické zkoušení zemědělských půd z let 2017–2022 (Smatanová, 2023), kdy bylo na celkové prozkoušené výměře 1 427 406 ha zjištěno v kategorii „nízký“ obsah 53,7 % ploch. Orných půd bylo prověřeno 1 192 599 ha a zjištěno 49,1 % půd s nízkým obsahem, u trvalých travních porostů bylo prověřeno 222 615 ha se zjištěním 80,0 % vzorků v oblasti nízkého obsahu. Speciálních kultur – sadů, vinic a chmelnic bylo prozkoušeno 6 195 ha, 3 805 ha a 2 192 ha

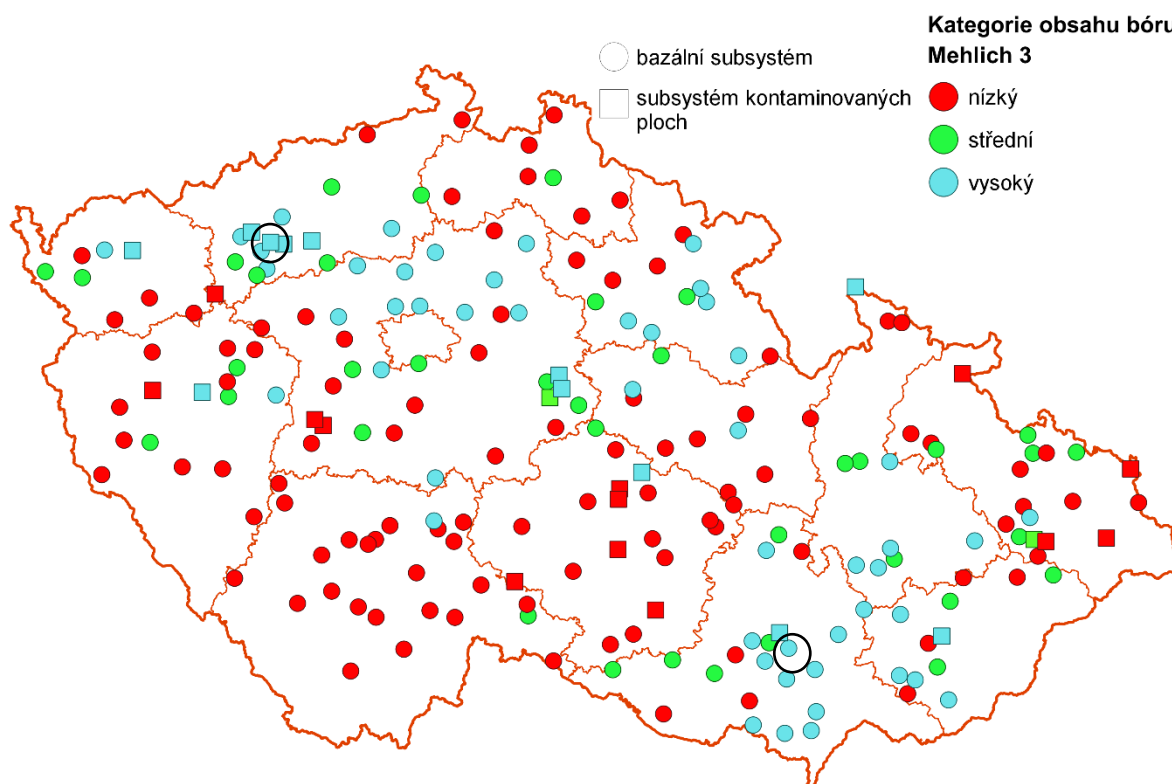
a zjištěn byl rovněž jako v případě monitorovacích ploch BMP vysoký obsah – sady u 55,2 % vzorků, vinice 77,4 % a chmelnice 64,3 %.

Z mapy na obrázku 8 jsou patrné nízké obsahy bóru v kraji Vysočina, kde i Nerad při třetím průzkumu obsahu mikroelementů v půdě uváděl, že v okrese Žďár nad Sázavou, Jihlava a Třebíč byl zjištěn největší podíl půd s nízkým obsahem B (cca přes 30 % půdy v jednotlivých okresech); jako další oblast s poměrně velkým podílem půd s nízkým obsahem B zmiňuje Jižní Čechy. Naše aktuální zjištění tomuto odpovídá a rovněž také plně koresponduje s výsledky AZZP (Smatanová, 2023), viz obrázek 10.

Půdy na úrovni „nízkého“ obsahu přístupného bóru tvořily v roce 2019 jednu polovinu ploch BMP. Naopak speciální kultury se vyznačovaly obsahem vysokým. Půdy s nízkým obsahem je třeba dosytit – vypočtenou dávku bóru pro pěstované plodiny (tzv. normativ) navýšit o 50 %. Zvláště náročnými na bór jsou cukrovka, krmná řepa, mák řepka, vojtěška, len, salát, jablono, hrušeň, bobovité rostliny (Beneš, 1994).

Obsah vysoký je nadměrný a hnojení je v těchto případech zbytečné a z ekologického hlediska nežádoucí.

Obrázek 8 Obsah bóru stanovený v extraktu dle Mehlicha 3 na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 podle Kritérií pro hodnocení obsahu bóru v půdě ve výluhu dle Mehlicha 3



Obrázek 9 *Plochy s nejvyšším obsahem bóru (v extraktu dle Bergera-Truoga) jsou označeny kroužkem na obrázku 8*
7013B (Újezd u Brna, okres Brno-venkov, orná půda, černozem, 2,90 mg.kg⁻¹)
5903KO (Žatec, okres Louny, chmelnice, fluvizem, 2,40 mg.kg⁻¹)



7013B, orná půda, Újezd u Brna (foto 2019)



5903KO, chmelnice, Žatec (foto 2019)

Obrázek 10 *Obsah bóru v zemědělských půdách z provedených odběrů AZPP z let 2017–2022 (výluh dle Mehlicha 3), (Smatanová, 2023). Na mapě jsou dobře patrné oblasti s vysokým a nízkým obsahem bóru, které odpovídají zjištěním ze systému BMP.*

Agrochemické zkoušení zemědělských půd 2017 – 2022

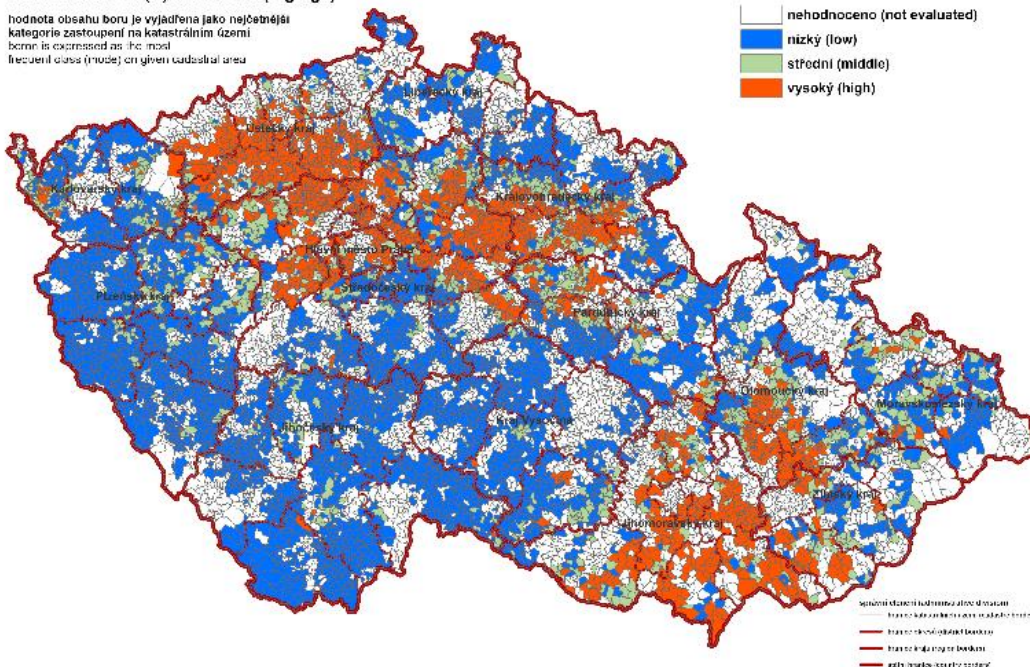
Agrochemical soil testing 2017 – 2022

Bor (B) Mehlich III (mg.kg⁻¹)
Available boron (B) Mehlich III (mg.kg⁻¹)

hodnota obsahu bóru je vyjádřena jako nejčastější
 kategorie zastoupení na katastrálním území
 boron is expressed as the most
 frequent class (mode) on given cadastral area

Kategorie obsahu bóru
Available boron content category

- nezhodnoceno (not evaluated)
- nízký (low)
- střední (middle)
- vysoký (high)



8.1.3 Závěry z hodnocení obsahu přístupného bóru v půdě na plochách BMP

- Bór v ornici celého souboru nabýval hodnot v rozmezí $< 0,5\text{--}2,90 \text{ mg.kg}^{-1}$ (extrakt podle Bergera-Truoga), přičemž nejvíce četný byl obsah $< 0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ a to na 60 % pozorovacích ploch. Průměrná hodnota celého souboru 214 PP byla $0,65 \text{ mg.kg}^{-1}$ a mediánová hodnota $< 0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$.
- Průměrný obsah bóru v ornici (extrakt podle Bergera-Truoga) rostl v pořadí: TTP ($0,39 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ orná půda ($0,69 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ sady ($0,75 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ vinice ($1,04 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ chmelnice ($1,46 \text{ mg.kg}^{-1}$).
- Zjištěná průměrná hodnota bóru v ornici (dle Bergera-Truoga) v rámci půdních typů stoupala v pořadí: regozem ($< 0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ pseudoglej ($< 0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ kambizem ($0,35 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ pararendzina ($0,42 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ luvizem ($0,42 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ glej ($0,52 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ hnědozem ($0,55 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ šedozem ($0,91 \text{ mg.kg}^{-1}$) = antropozem ($0,91 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ rendzina ($1,18 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ fluvizem ($1,23 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ černozem ($1,54 \text{ mg.kg}^{-1}$) $<$ černice ($1,89 \text{ mg.kg}^{-1}$).
- Podle třídění do kategorií dle AZZP (extrakt dle Mehlich 3) se největší procento ploch nalézalo v kategorii obsahu „nízký“ (52,8 % PP), a to u orné půdy 50,0 % vzorků a u trvalých travních porostů dokonce 72,0 % PP. Speciální kultury (sady, vinice, chmelnice) vykazaly nejvyšší procento ploch v kategorii „vysoký“ – sady 40 % PP, vinice 60 % PP, chmelnice 83,3 % PP.

8.2 Měď

8.2.1 Obecná charakteristika mědi

V půdách a rostlinách je měď (Cu) přítomna z největší části jako dvojmocný kation, ovšem v organických vazbách často vystupuje jako jednomocná, přičemž má značný sklon k tvorbě komplexních sloučenin (chelatazi). Do půdy se kromě zvětrávání příslušných minerálů obsahujících měď dostává statkovými a minerálními hnojivy a poměrně značně i prostředky na ochranu rostlin. Celkový přirozený obsah v ornících činí 5–100 mg.kg⁻¹ v naprosté většině v anorganické formě. Ovšem v silně humózních půdách může tvořit organická vazba až polovinu celkového obsahu. Průměrný obsah výměnné mědi je pro půdy udáván v rozmezí 0,2–2,0 mg.kg⁻¹, z čehož vodorozpustný podíl činí 1–10 % této hodnoty. Za běžných podmínek činí návratnost mědi (Čumakov, Neuberg, 1969) v zemědělském koloběhu živin asi 49,6 % mědi.

Nedostatek Cu je nejčastější na lehkých podzolových půdách, v oblastech s vysokými srážkami, na půdách rendzin, na vápnatých sedimentech, ale také na půdách přehnojených dusíkem, fosforem, zinkem a při převápnění (Beneš, 1994). V některých případech může naopak akumulace mědi v půdě vést k projevům toxicity. To může být podpořeno i činností člověka spojenou s nadměrným užíváním měďnatých sloučenin sloužících k ochraně rostlin, zejména síranu měďnatého (Kulhánek et al., 2018). Vysoké obsahy Cu v půdě jsou časté v půdách hnojených čistírenskými kaly. Nadměrný obsah Cu snižuje přijatelnost Fe. Vysoké obsahy Cu v půdním roztoku jsou pro rostliny značně toxické, toto nebezpečí je možné omezit vápněním a zvýšeným hnojením organickými hnojivy (Beneš, 1994). Pokud je zvýšená koncentrace Cu v prostředí, zůstává většinou lokalizována v kořenech (Vaněk et al., 1999).

Vyšší nároky na Cu mají obiloviny, dále ovocné stromy a špenát. Mědi se hnojí půdy s nízkým obsahem, přičemž kladný účinek lze očekávat až do obsahu přístupné mědi 10 mg.kg⁻¹ půdy. Dávky se pohybují podle půdy do 20 kg Cu.ha⁻¹, nejčastěji ve formě síranu měďnatého (Beneš, 1994). Pro přihnojování během vegetace se používá 0,1 % roztok síranu měďnatého (Vaněk et al., 1999).

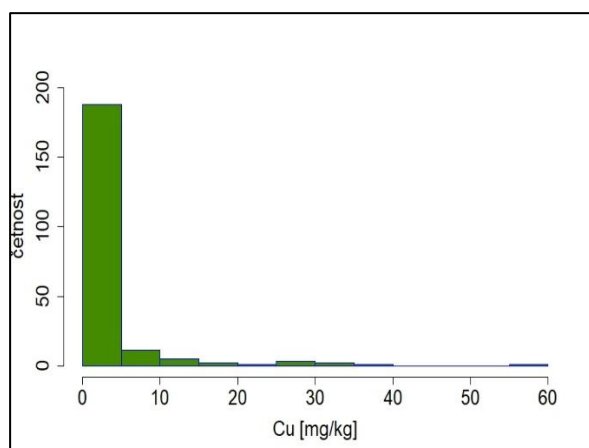
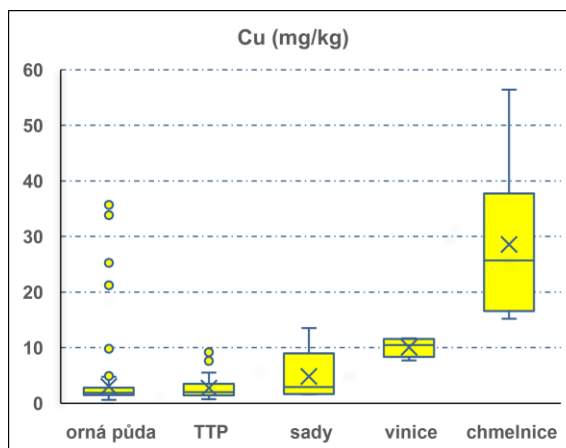
8.2.2 Hodnocení obsahu přístupné mědi v půdě v roce 2019

Obsah mědi v extraktu podle Lindsaye-Norvella se v půdách celého souboru ploch pohybuje v rozsahu 0,61–56,4 mg.kg⁻¹, přičemž největší četnost obsahů je v rozmezí 0–5 mg.kg⁻¹. Hodnoty do 5 mg.kg⁻¹ se vyskytují na 188 PP a tvoří 88 % z celkových 214 PP (obrázek 11). Průměrná hodnota je 3,87 mg.kg⁻¹, mediánová hodnota je 1,93 mg.kg⁻¹. Nejvyšší obsah byl zaznamenán na chmelnici na PP 5902K Lišany u Žatce v okrese Louny na půdním typu fluvizem (56,4 mg.kg⁻¹) a na orných půdách byl nalezen nejvyšší obsah na PP 5012B Ostré v okrese Litoměřice na půdním typu kambizem (35,7 mg.kg⁻¹) (obrázek 16). Nejvyšší dosažený obsah na trvalých travních porostech byl 9,75 mg.kg⁻¹ na PP 6902K Žižkovo Pole v okrese Havlíčkův Brod, na půdním typu fluvizem. Naopak nejnižší obsah se vyskytoval na PP 3016B Kluky u Písku v okrese Písek, na půdním typu kambizem (0,61 mg.kg⁻¹) na orné půdě.

Tabulka 13 Základní statistika obsahu mědi v jednotlivých kulturách a v celém souboru monitorovacích ploch BMP (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg^{-1} suchého vzorku)

Cu	Horizont	Počet	Min	25. perc.	Medián	Průměr	75 perc.	Max
orná půda	O	148	0,61	1,47	1,85	3,00	2,79	35,7
TTP	O	50	0,72	1,43	2,01	2,74	3,37	9,75
	P	50	0,66	1,16	1,97	2,58	3,37	10,7
sady	O	5	1,56	1,75	2,90	4,83	4,42	13,5
vinice	O	5	7,67	8,95	10,5	10,0	11,5	11,7
chmelnice	O	6	15,2	19,2	25,7	28,6	30,1	56,4
Celý soubor 214 PP	O	214	0,61	1,50	1,93	3,87	3,30	56,4

O – ornice, P – podorničí

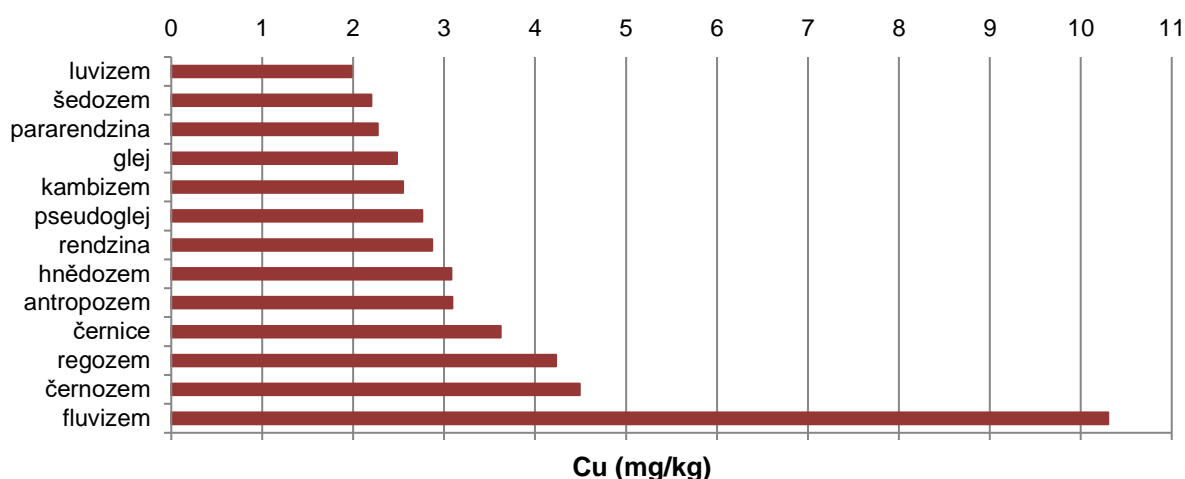
Obrázek 11 Rozložení obsahu mědi v celém souboru 214 ploch BMP (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg^{-1} suchého vzorku)

Obrázek 12 Grafické znázornění statistických parametrů obsahu mědi v jednotlivých kulturách (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg^{-1} suchého vzorku)


Nejvyšší průměrné i mediánové obsahy se vyskytovaly na chmelnicích ($28,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $25,7 \text{ mg.kg}^{-1}$) a vinicích ($10,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $10,5 \text{ mg.kg}^{-1}$). Z deseti ploch BMP s nejvyššími obsahy přístupné mědi bylo šest ploch chmelnic¹ (tedy veškeré chmelnice v BMP) a čtyři plochy na orné půdě. Tři orné půdy patří do subsystému kontaminovaných ploch (2905KO, 7902KO a 8902KO) a čtvrtá plocha PP 5012B je charakteristická tím, že leží na pozemku, který byl do roku 1996 chmelnicí a v současné době hraničí s pozemkem, na kterém aktivní chmelnice je doposud (viz obrázek 16 – foto monitorovací plochy 5012B Ostré). Vzdálenost PP 5012B od chmelnice je necelých 100 m a je tedy rovněž možné, že měďnaté postřiky používané na sousedním pozemku s chmelnicí, mohou monitorovací plochu ovlivnit, zvláště pokud jsou převládající větry směřovány od chmelnice k monitorovací ploše.

Půdní typy, které dosáhly nejvyšších průměrných obsahů mědi v orníční vrstvě, byly: fluvizem ($10,3 \text{ mg.kg}^{-1}$), černozem ($4,49 \text{ mg.kg}^{-1}$), regozem ($4,23 \text{ mg.kg}^{-1}$).

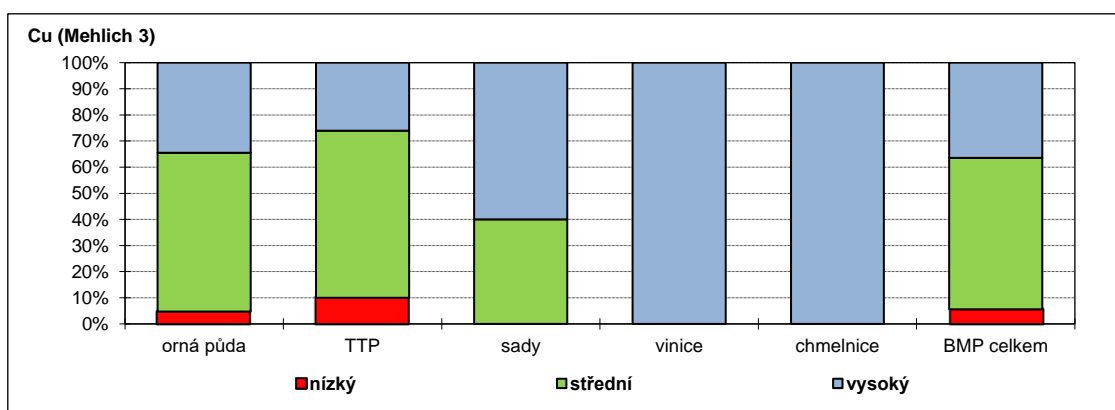
¹ Všechny plochy chmelnic se rovněž zařadily mezi deset ploch s nejvyššími obsahy celkové mědi (extrakt lučavkou královskou) (Poláková et al., 2022)

Obrázek 13 Porovnání průměrných hodnot obsahu mědi u jednotlivých půdních typů na PP BMP (2019, ornice, Lindsay-Norvell, mg.kg⁻¹ suchého vzorku)



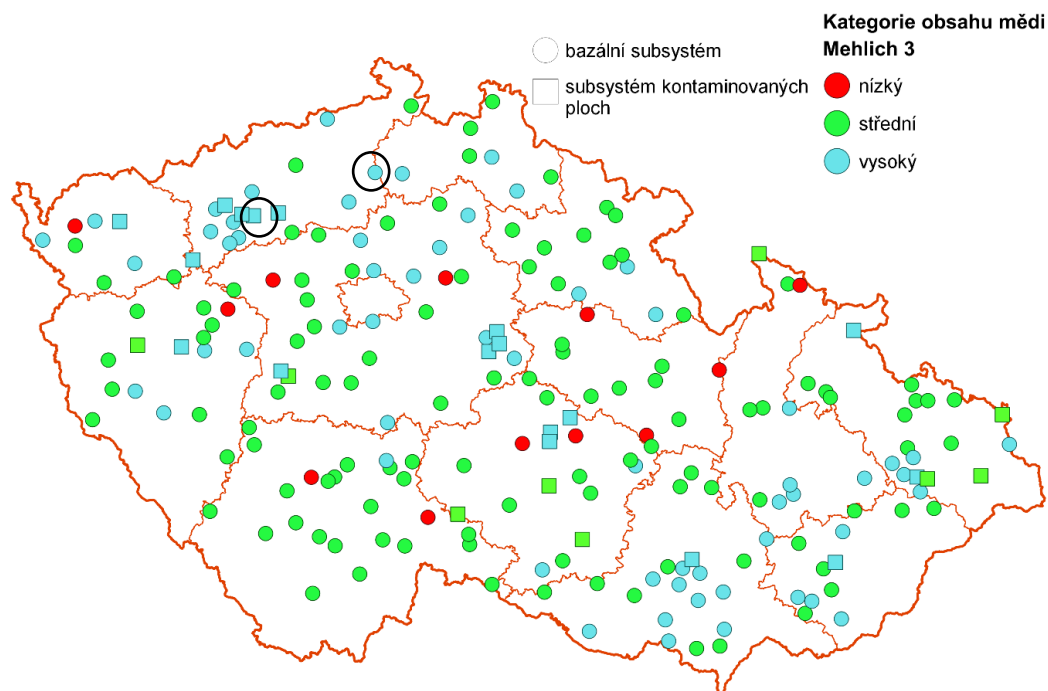
Pro hodnocení obsahu mědi se používají 3 kategorie (obsah nízký, střední a vysoký) (tabulka 9 – specifická vyluhovadla, tabulka 10 – Mehlich 3). Podle tabulky 10 byly kategorizovány jednotlivé pozorovací plochy (obrázek 15) a vypočítáno procentické zastoupení kultur v kategoriích z odběrů za rok 2019 (obrázek 14).

Obrázek 14 Procentické zastoupení jednotlivých kategorií obsahu mědi u kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 podle Kritérií pro hodnocení obsahu mědi v půdě ve vyluhu dle Mehlicha 3



Největší procento všech vzorků se v roce 2019 nalézalo v kategorii „střední“ (57,9 % PP). Orné půdy měly v této kategorii zastoupeno 60,8 % vzorků a TTP 64,0 % vzorků. Kategorie obsahu „vysoký“ byla zastoupena 36,4 % vzorků. Vinice a chmelnice se do kategorie „vysoký“ zařadily všemi vzorky. Sady byly zastoupeny 60 % vzorků. Důvodem častých vysokých obsahů mědi u těchto kultur je používání měďnatých přípravků k ochraně rostlin (Beneš, 1994). V celorepublikovém programu Agrochemického zkoušení zemědělských půd z let 2017–2022 (Smatanová, 2023) rovněž bylo zjištěno nejvyšší zastoupení výměry v kategorii „střední“, a to u 72,6 % zemědělské půdy (obrázek 17). Speciální kultury – sady, vinice a chmelnice se svými obsahy zařadily do kategorie obsahu „vysoký“ – sady 65,7 % vzorků, vinice 88,5 % a chmelnice 99,2 %.

Obrázek 15 *Obsah mědi stanovený v extraktu dle Mehlich 3 na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 podle kategorií AZZP*



Obrázek 16 *Plocha s nejvyšším obsahem mědi na orné půdě a plocha s nejvyšším obsahem z celého souboru 214 PP (v extraktu dle Lindsay-Norvella). Plochy jsou označeny kroužkem na obrázku 15*
 5012B (Ostré, okres Litoměřice, orná půda, kambizem, 35,7 mg.kg⁻¹)
 5902K (Lišany u Žatce, okres Louny, chmelnice, fluvizem, 56,4 mg.kg⁻¹)

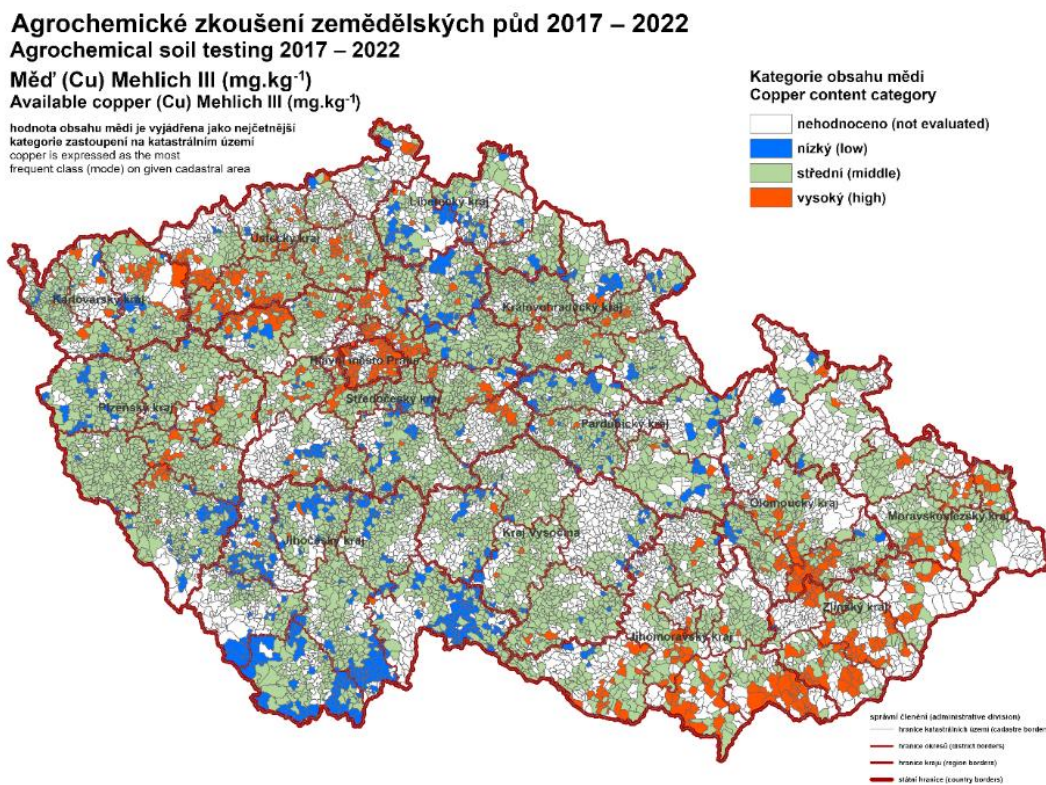


5012B, orná půda, Ostré (foto 2019)



5902K, chmelnice, Lišany u Žatce (foto 2019)

Obrázek 17 Obsah mědi v zemědělských půdách z provedených odběrů AZPP z let 2017–2022 (výluh dle Mehlicha 3) (Smatanová, 2023)



8.2.3 Závěry z hodnocení obsahu přístupné mědi v půdě na plochách BMP

- Obsahy mědi v ornici v souboru 214 PP nabývaly hodnot v rozmezí 0,61–56,4 mg.kg⁻¹ (extrakt podle Lindsaye-Norvella), přičemž nejvíce četný byl obsah do 5 mg.kg⁻¹ a to u 88 % pozorovacích ploch. Průměrná hodnota byla 3,87 mg.kg⁻¹, mediánová hodnota 1,93 mg.kg⁻¹.
- Průměrný obsah mědi v ornici (extrakt podle Lindsaye-Norvella) rostl v pořadí: TTP (2,74 mg.kg⁻¹) < orná půda (3,00 mg.kg⁻¹) < sady (4,83 mg.kg⁻¹) < vinice (10,0 mg.kg⁻¹) < chmelnice (28,6 mg.kg⁻¹).
- Zjištěná průměrná hodnota v ornici (extrakt podle Lindsaye-Norvella) v rámci půdních typů stoupala v pořadí: luvizem (1,98 mg.kg⁻¹) < šedozem (2,20 mg.kg⁻¹) < pararendzina (2,27 mg.kg⁻¹) < glej (2,48 mg.kg⁻¹) < kambizem (2,55 mg.kg⁻¹) < pseudoglej (2,76 mg.kg⁻¹) < rendzina (2,87 mg.kg⁻¹) < hnědozem (3,08 mg.kg⁻¹) < antropozem (3,09 mg.kg⁻¹) < černice (3,62 mg.kg⁻¹) < regozem (4,23 mg.kg⁻¹) < černozem (4,49 mg.kg⁻¹) < fluvizem (10,3 mg.kg⁻¹).
- Podle třídění do kategorií dle AZPP (extrakt dle Mehlicha 3) se největší procento ploch nalézalo v kategorii obsahu „střední“ (57,9 % PP), a to u orné půdy 60,0 % vzorků a u trvalých travních porostů 64,8 % PP. Speciální kultury (sady, vinice, chmelnice) vykazaly nejvyšší procento ploch v kategorii „vysoký“ – sady 60 % PP, vinice 100 % PP, chmelnice 100 % PP.

8.3 Železo

8.3.1 Obecná charakteristika železa

V chemismu půdy sehrává železo důležitou úlohu. Jeho oxidační stupně, hlavně Fe^{2+} a Fe^{3+} se účastní různých půdních reakcí, významně ovlivňují fyzikální a chemické vlastnosti půdy a tím i rozpustnost a přijatelnost živin rostlinami. Převážná část Fe je v půdě ve formě málo rozpustného oxidu a hydroxidu železitého. Obsah přístupného železa pro rostliny je ve srovnání s celkovým obsahem velmi nízký a vyskytuje se hlavně jako $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ a $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$. Rozpustnost sloučenin Fe je značně závislá na pH (Beneš, 1994). V rozmezí pH 5,0–6,8 je většinou rozpustnost a tím i příjem Fe přiměřený (Vaněk et al., 1999). V kyselých a periodicky zavlažovaných půdách je Fe značně mobilní, může působit i toxicky na rostliny. Mimoto při nadbytku Fe je snížen příjem Ca, Mn a B, ale také P a K. S přibývajícím alkalitou se značně snižuje rozpustnost a tím i přijatelnost Fe. Vyšší koncentrace HCO_3^- omezuje rozpustnost Fe v půdě, ale také omezuje jeho transport v nadzemních orgánech. Ke snížení přijatelnosti Fe v půdách dochází i v provzdušených půdách v důsledku oxidace.

Nedostatek Fe se u nás vyskytuje zřídka. Je to v oblastech alkalických, rašelinných a karbonátových půd a na půdách přehnojených P, kde zvláště na lehkých půdách vznikají málo pohyblivé Fe-fosfáty. Nedostatek Fe může být způsoben i nadbytkem Mn, Cu, Ni, Cr, které působí konkurenčně tím, že vytvářejí cheláty a omezují tvorbu chelátů Fe (Vaněk et al., 1999).

Nejvíce Fe vyžaduje oves, ječmen, špenát a ovocné stromy.

Hnojení půdy anorganickými rozpustnými solemi je málo účinné, zvláště na alkalických půdách. Důležité je odstranění nebo alespoň omezení faktorů, které blokují příjem Fe (alkalita půdy, přehnojení P apod.). V takových podmínkách je třeba dávat přednost kysele působícím hnojivům, zintenzivňovat hnojení organickými hnojivy a železem hnojit mimokořenově (Beneš, 1994).

Nadbytek železa může přicházet v úvahu jen na stanovištích silně kyselých, kde se vysokou rozpustností sloučenin Fe v půdě může projevit až jeho toxicita (většinou současně s Mn a Al). Celkově se zhorší podmínky pro rostliny, které pak špatně prosperují. Značně trpí rostliny vyžadující neutrální až alkalickou půdní reakci jako jsou vojtěška, hořčice, cukrovka, ječmen. Větší toleranci vykazují rostliny snášející kyselé pH, jako jsou některé okrasné rostliny, jehličnany, bobulové ovoce, len, lupina, oves a žito. Je zřejmé, že mnohdy uváděné rozdělení rostlin podle požadavků na pH je spíše vztah rostlin ke schopnosti si osvojit železo z těžce rozpustných sloučenin za alkalické reakce a naopak toleranci k vyššímu obsahu Fe, případně Al a Mn za kyselé reakce (Vaněk et al., 1999).

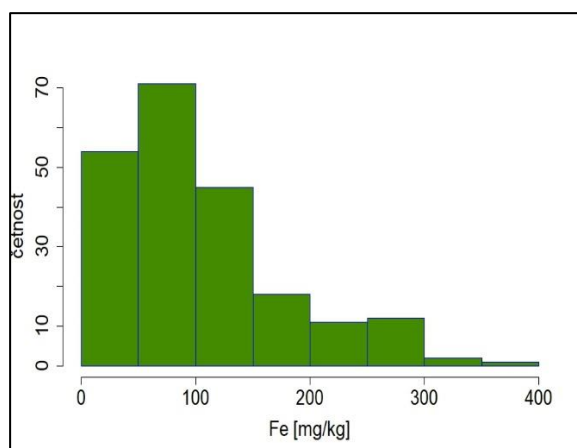
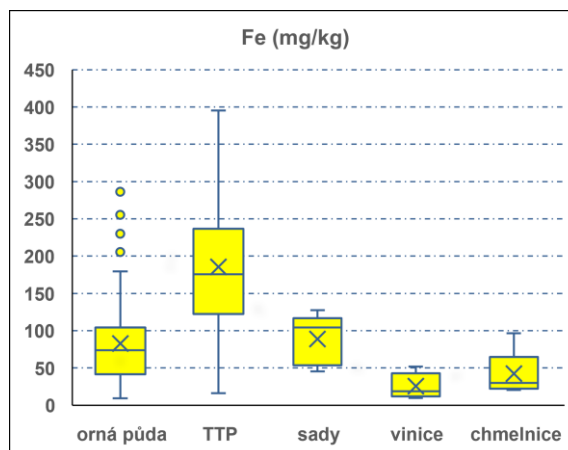
8.3.2 Hodnocení obsahu přístupného železa v půdě v roce 2019

Obsah železa v extraktu podle Lindsaye-Norvella se v půdách celého souboru ploch pohybuje v rozsahu $9,54\text{--}395 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, přičemž největší četnost obsahů je v rozmezí $50\text{--}100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, která se vyskytuje na 71 plochách (33,2 %) z celkových 214 (obrázek 18). Průměrná hodnota je $105 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, mediánová hodnota je $85,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nejvyšší obsah byl zaznamenán na trvalém travním porostu na PP 8024BP Lhota u Opavy v okrese Opava na půdním typu glej (naměřená hodnota činila $395 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Tabulka 14 Základní statistika obsahu železa v jednotlivých kulturách a v celém souboru monitorovacích ploch BMP (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg^{-1} suchého vzorku)

Fe	Horizont	Počet	Min	25. perc.	Medián	Průměr	75 perc.	Max
orná půda	O	148	9,54	42,1	73,8	83,0	103	287
TTP	O	50	16,2	123	175	186	233	395
	P	50	13,4	93,9	129	142	185	348
sady	O	5	45,5	61,5	104	89,1	107	128
vinice	O	5	9,66	14,5	18,7	25,7	34,0	51,7
chmelnice	O	6	20,6	23,2	29,9	42,3	49,5	96,5
Celý soubor 214 PP	O	214	9,54	49,6	85,7	105	133	395

O – ornice, P – podorničí

Obrázek 18 Rozložení obsahu železa v celém souboru 214 ploch BMP (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg^{-1} suchého vzorku)

Obrázek 19 Grafické znázornění statistických parametrů obsahu železa v jednotlivých kulturách (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg^{-1} suchého vzorku)


Na orných půdách byl nalezen nejvyšší obsah na PP 3024B Borkovice v okrese Tábor na půdním typu pseudoglej (287 mg.kg^{-1}) (obrázek 23). Na plochách 8024BP a 3024B je velmi nízké výměnné pH (4,38 a 4,53), které se podle kritérií řadí do nejkyselější kategorie (extrémně kyselé pH)². Toto zjištění nám potvrdilo, že rozpustnost sloučenin Fe je významně závislá na pH a s narůstající kyselostí se zvyšuje (rovněž také se zvyšuje rozpustnost Mn); Beneš, (1994).

Naopak nejnižší obsah se vyskytoval na PP 7002B Lednice na Moravě v okrese Břeclav, na půdním typu černozem ($9,54 \text{ mg.kg}^{-1}$) na orné půdě s půdní reakcí 7,38.

Nejvyšší průměrné i mediánové obsahy se vyskytovaly na trvalých travních porostech (186 mg.kg^{-1} a 175 mg.kg^{-1}) a s velkým odstupem sady ($89,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ a 104 mg.kg^{-1}). Pro TTP je charakteristické nižší pH (viz závěrečná zpráva Bazální monitoring půd – půdní reakce a obsah živin; Prášková, et al., 2022).

Nejnižší obsah železa se v roce 2019 vyskytoval na vinicích. Dosahoval zde průměrné a mediánové hodnoty $25,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $18,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ (přestože jsou tyto hodnoty nejnižší, spadají

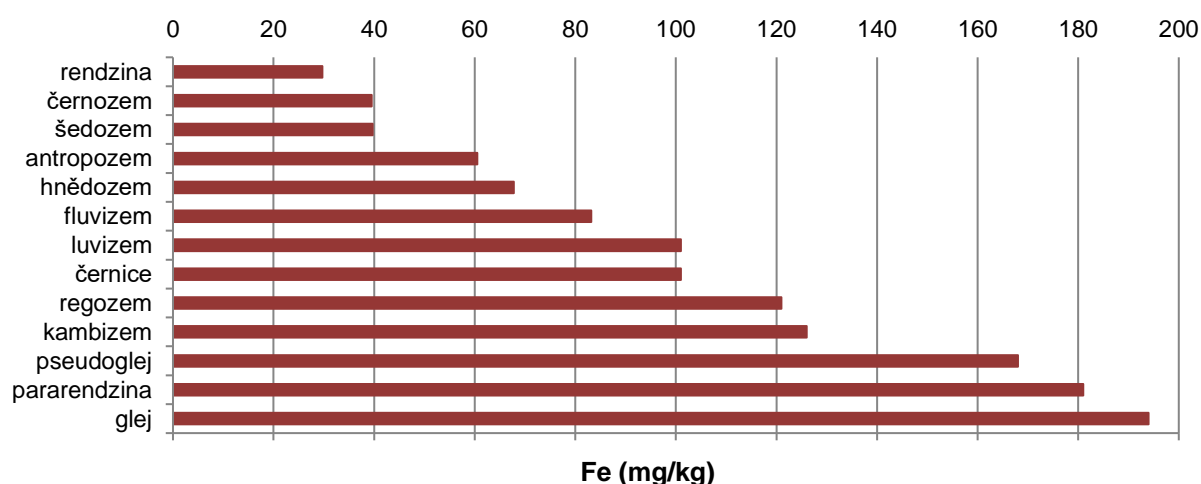
²Do kategorie extrémně kyselých patřilo v roce 2019 celkem 7 PP (5x TTP a 2x orná půda) ze souboru 214 PP BMP (Prášková et al., 2022). Obsahy Fe v těchto půdách byly 395, 290, 287, 214, 217, 188 a $153 \text{ mg Fe.kg}^{-1}$.

do kategorie středních obsahů – tabulka 9). Rozpustnost sloučenin Fe se s přibývajícím alkalitou značně snižuje, a tím se snižuje i přijatelnost Fe pro rostliny. To platí zvláště pro vinice, kde je alkalická půdní reakce a velmi vysoký obsah vápníku (Prášková, et al., 2022). Pěstování vinné révy je situováno právě do oblastí, které jsou charakteristické alkalickými a karbonátovými půdami, a kde se může objevit nedostatek přístupného Fe (Beneš, 1994). Nedostatek Fe se na rostlinách projevuje chlorózou na aktivně rostoucích listech, ve kterých dochází k prudkému snížení obsahu chlorofylu. Nedostatek Fe se u vinné révy obtížně odstraňuje. Okyselení půdy je prakticky neproveditelné a hnojení do půdy je bez efektu; proto zbývá jen opakovaná foliární výživa (Hlušek et al., 2002). U pěti pozorovacích ploch, které máme zahrnuty v našem monitoringu, zatím nebyly symptomy deficitu na révě zaznamenány. U dvou ploch (7014B a 7046B) bylo v minulosti alespoň jedenkrát aplikováno foliární hnojivo obsahující železo.

Druhý nejnižší obsah železa byl zjištěn na chmelnicích; důvodem nižšího obsahu železa zde může být nadbytek Cu v půdě. Měď působí konkurenčně tím, že vytváří cheláty Cu a omezuje tvorbu chelátů Fe (Beneš, 1994). Toto může být důvod, proč se na dvou plochách (5014B Soběchleby u Podbořan³ a 5902K Lišany u Žatce) vyskytl problém se žloutnutím listů a je chmelari v současné době intenzivně řešen. Tyto dvě plochy jsou hojně minerálně hnojeny základními živinami aplikovanými do půdy. V posledních 10 letech je na ploše 5902K kombinována aplikace základních živin formou půdních hnojiv a listových hnojiv. U obou ploch jsou každoročně aplikovány přípravky na ochranu proti houbovým chorobám, přičemž alespoň jedenkrát ročně je použit přípravek obsahující Cu (Cuproxtat, kterému v minulosti předcházela v současné době již nepovolený přípravek Kuprikol). Na tyto dvě plochy je rovněž aplikováno listové hnojivo obsahující Zn (Zinkosol).

Půdní typy, které dosáhly nejvyšších průměrných obsahů železa v orniční vrstvě, byly: glej (194 mg.kg⁻¹), pararendzina (181 mg.kg⁻¹), pseudoglej (168 mg.kg⁻¹).

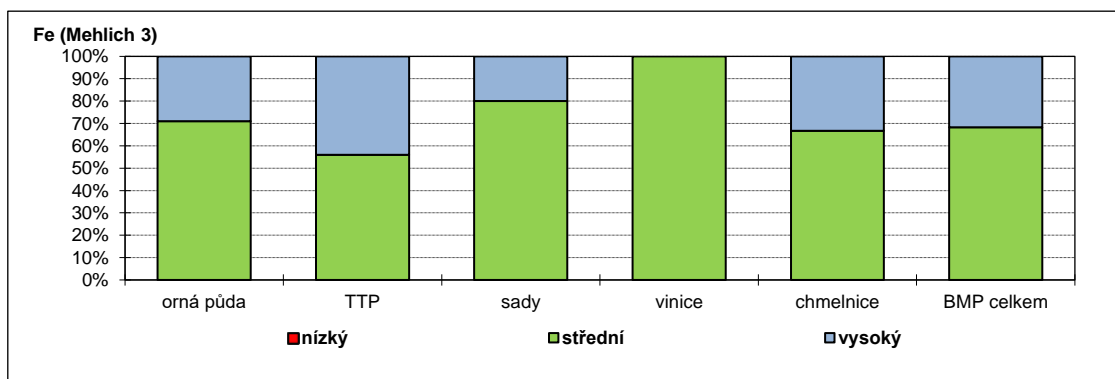
Obrázek 20 Porovnání průměrných hodnot obsahu železa u jednotlivých půdních typů na PP BMP (2019, ornice, Lindsay-Norvell, mg.kg⁻¹ suchého vzorku)



Podle tabulky 10 bylo vypočítáno procentické zastoupení kultur v jednotlivých kategoriích obsahu železa stanovené v extraktu dle Mehlich 3 z odběrů za rok 2019 (obrázek 21, obrázek 22).

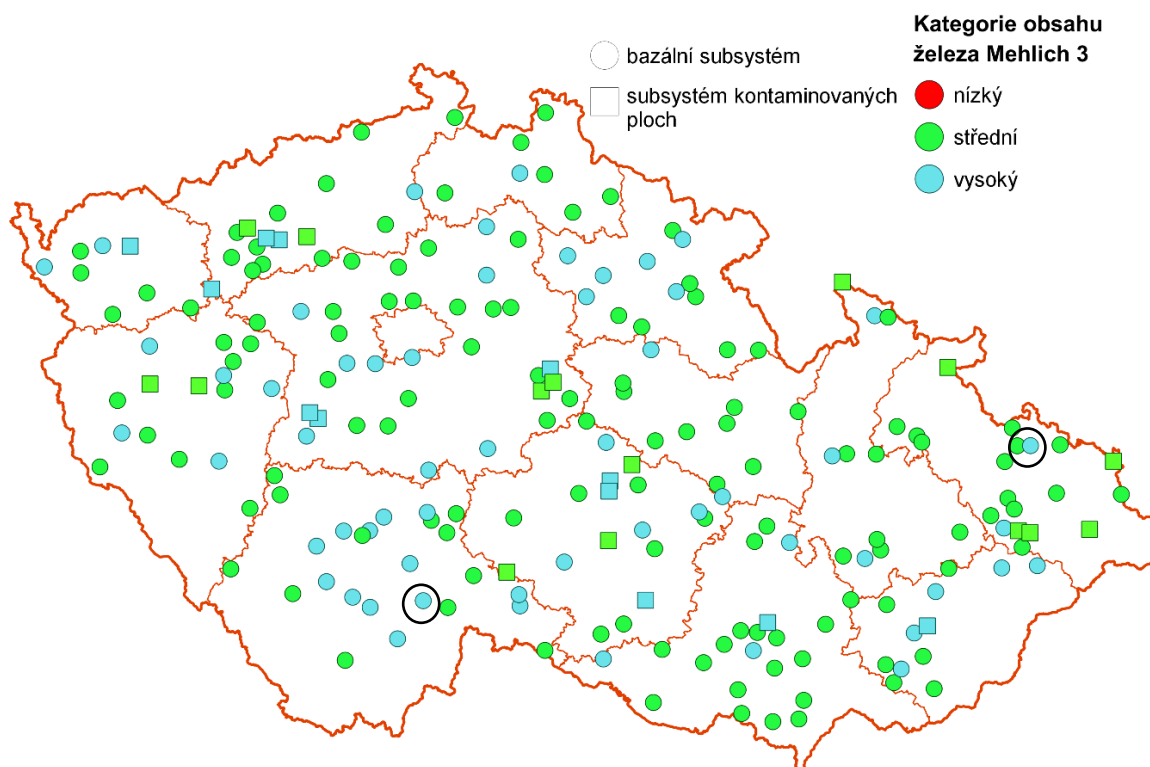
³ Na této ploše bylo v roce 2024 potvrzeno verticiliové vadnutí chmele.

Obrázek 21 Procentické zastoupení jednotlivých kategorií obsahu železa u kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 podle Kritérií pro hodnocení obsahu mědi v půdě ve výluhu dle Mehlich 3



Největší procento všech vzorků se v roce 2019 nalézalo v kategorii „střední“ (68,2 % PP). Orné půdy měly v této kategorii zastoupeno 70,9 % vzorků a TTP 56,0 % vzorků. Kategorie obsahu „vysoký“ byla zastoupena 31,8 % vzorků. Žádný vzorek se nenacházel v kategorii „nízký“. Přístupným železem jsou tedy dobře zásobeny i vinice a chmelnice, které se většinou vzorků zařadily do kategorie „střední“ (100 % PP, 66,7 % PP), a které vykázaly v souboru BMP ploch nejnižší obsahy. Sady jsou rovněž úrovní přístupného Fe v kategorii „střední“ (80 % PP). V celorepublikovém programu Agrochemického zkoušení zemědělských půd z let 2017–2022 (Smatanová, 2023), (obrázek 24) rovněž bylo zjištěno nejvyšší zastoupení výměry v kategorii „střední“ a to u 86,0 % zemědělské půdy. Procentické zastoupení jednotlivých kultur v kategoriích se pohybovalo v rozmezí 65,9 % (chmelnice) až 90,2 % (sady).

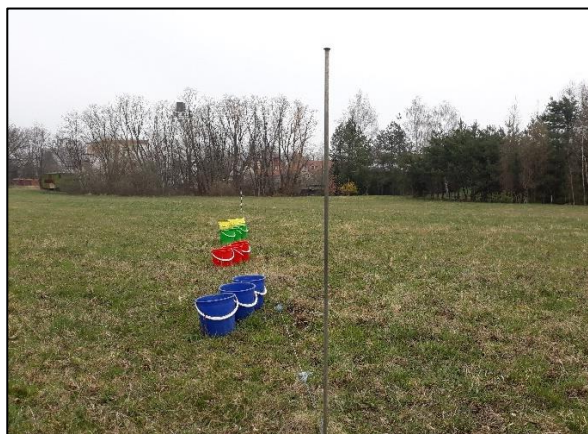
Obrázek 22 Obsah železa stanovený v extraktu dle Mehlich 3 na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 podle kategorií AZZP



Obrázek 23 *Plocha s nejvyšším obsahem železa na orné půdě a plocha s nejvyšším obsahem z celého souboru 214 PP (v extraktu dle Lindsay-Norvell). Plochy jsou označeny kroužkem na obrázku 22*
3024B (Borkovice, okres Tábor, orná půda, pseudoglej, 287 mg.kg⁻¹)
8024BP (Lhota u Opavy, okres Opava, TTP, glej, 395 mg.kg⁻¹)



3024B, orná půda, Borkovice (foto 2019)



8024BP, TTP, Lhota u Opavy (foto 2019)

Obrázek 24 *Obsah železa v zemědělských půdách z provedených odběrů AZPP z let 2017–2022 (výluh dle Mehlicha 3) (Smatanová, 2023)*

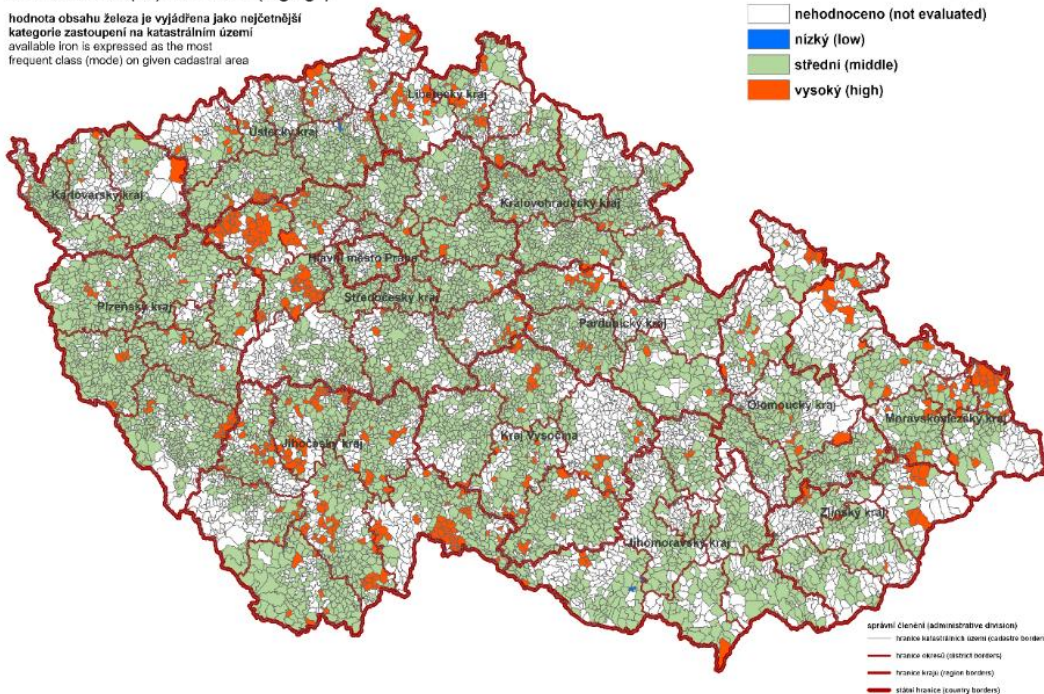
Agrochemické zkoušení zemědělských půd 2017 – 2022
Agrochemical soil testing 2017 – 2022

Železo (Fe) Mehlich III (mg.kg⁻¹)
Available iron (Fe) Mehlich III (mg.kg⁻¹)

hodnota obsahu železa je vyjádřena jako nejčastější kategorie zastoupení na katastrálním území
 available iron is expressed as the most frequent class (mode) on given cadastral area

Kategorie obsahu železa
Available iron content category

- nezhodnoceno (not evaluated)
- nízký (low)
- střední (middle)
- vysoký (high)



8.3.3 Závěry z hodnocení obsahu přístupného železa v půdě na plochách BMP

- Železo v ornici celého souboru 214 PP nabývalo hodnot v rozmezí 9,54 až 395 mg.kg⁻¹ (extrakt podle Lindsaye-Norvella), přičemž nejvíce četný obsah byl v rozmezí 50–100 mg.kg⁻¹ a to u 32,2 % pozorovacích ploch. Průměrná hodnota a medián byl 105 mg.kg⁻¹, mediánová hodnota byla 87,5 mg.kg⁻¹.
- Průměrný obsah železa v ornici (extrakt podle Lindsaye-Norvella) rostl v pořadí: vinice (25,7 mg.kg⁻¹) < chmelnice (42,3 mg.kg⁻¹) < orná půda (83,0 mg.kg⁻¹) < sady (89,1 mg.kg⁻¹) < TTP (186 mg.kg⁻¹).
- Zjištěná průměrná hodnota železa v ornici (extrakt podle Lindsaye-Norvella) v rámci půdních typů stoupala v pořadí: rendzina (29,7 mg.kg⁻¹) < černozem (39,5 mg.kg⁻¹) < šedozem (39,7 mg.kg⁻¹) < antropozem (60,5 mg.kg⁻¹) < hnědozem (67,8 mg.kg⁻¹) < fluvizem (83,2 mg.kg⁻¹) < luvizem (101 mg.kg⁻¹) shodně s černicí (101 mg.kg⁻¹) < regozem (121 mg.kg⁻¹) < kambizem (126 mg.kg⁻¹) < pseudoglej (168 mg.kg⁻¹) < pararendzina (181 mg.kg⁻¹) < glej (194 mg.kg⁻¹).
- Podle třídění do kategorií dle AZZP (extrakt dle Mehlicha 3) se největší procento ploch nalézalo v kategorii obsahu „střední“ (68,2 % PP) – ve všech kulturách převažují půdy středně zásobené železem, a to u orné půdy 70,9 % vzorků a u trvalých travních porostů 56,0 % PP. Speciální kultury (sady, vinice, chmelnice) rovněž vykazaly nejvyšší procento ploch v kategorii „střední“ – sady 80 % PP, vinice 100 % PP, chmelnice 66,7 % PP.

8.4 Mangan

8.4.1 Obecná charakteristika manganu

Mangan (Mn) je přítomen v půdách ve formě Mn^{2+} , Mn^{3+} a Mn^{4+} , z nichž pouze Mn^{2+} , který je buď vázaný v sorpčním komplexu, nebo se vyskytuje jako volný ion v půdním roztoku, je přijímán rostlinami. Celkový obsah manganu v ornících činí asi 100–4000 $mg \cdot kg^{-1}$, z čehož může výměnný mangan tvořit až 80 %. Průměrné množství manganu odčerpané každoročně sklizněmi činí 160–1000 $g \cdot ha^{-1}$ (Finck, 1969). Podle bilance se navrácí do půdy v zemědělském koloběhu až 73 % manganu (Čumakov, Neuberg, 1969).

Z faktorů, které nejvíce ovlivňují rozpustnost a pohyblivost Mn v půdách, má největší význam pH a oxidačně-redukční podmínky. V půdách kyselých s nízkým redoxpotenciálem převládá Mn^{2+} . Vzhledem k tomu, že je tato forma Mn nejlépe přístupná rostlinám, je jeho příjem na těchto půdách, zvláště na jaře podstatně vyšší než na půdách neutrálních a alkalických. Ve formě Mn^{2+} je vázán na sorpční komplex nebo se vyskytuje jako volný ion v půdním roztoku.

Nedostatek Mn se projevuje na suchých stanovištích, neutrálních až alkalických půdách s pH nad 7. Nadbytek Mn je patrný většinou na silně kyselých stanovištích, po hnojení kyselé působícími hnojivy a v půdách, kde je malá aktivita mikroorganismů oxidujících Mn^{2+} na méně přístupný Mn^{3+} a Mn^{4+} . Nadbytek Mn^{2+} v půdách omezuje příjem hořčíku a železa rostlinami.

Mezi rostliny citlivé na nedostatek Mn patří cukrovka, brambory, oves, hrách a jabloň (Beneš, 1994). Obecně rostliny vyžadující kyselejší stanoviště (Vaněk et al., 1999).

Manganem hnojíme na půdách s nízkým obsahem Mn. V suchých letech, zejména na neutrálních a alkalických půdách, lze očekávat příznivý účinek foliárního hnojení až do obsahu 150 $mg \cdot kg^{-1}$ v půdě. Při základním hnojení do půdy přichází v úvahu hlavně síran manganatý v dávkách 20–80 $kg \cdot ha^{-1}$ (Beneš, 1994).

Nadbytek Mn v půdním roztoku, podobně jako Fe působí na rostliny toxicky, zvláště na ty, které vyžadují vyšší hodnotu pH, např. ječmen. Naopak rostliny s požadavkem na kyselou půdní reakci jsou poškozovány nadbytkem Mn až při jeho vyšších koncentracích (Vaněk et al., 1999).

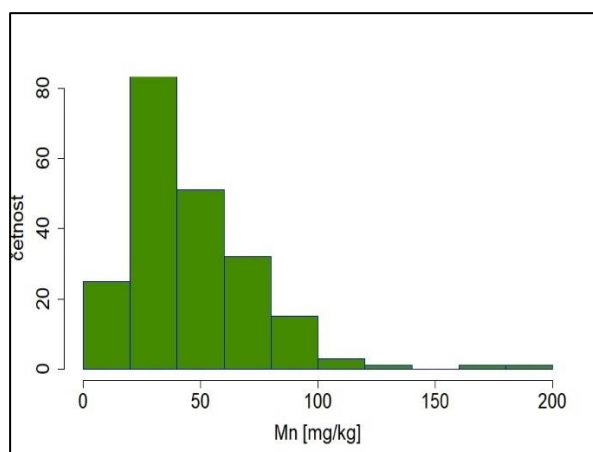
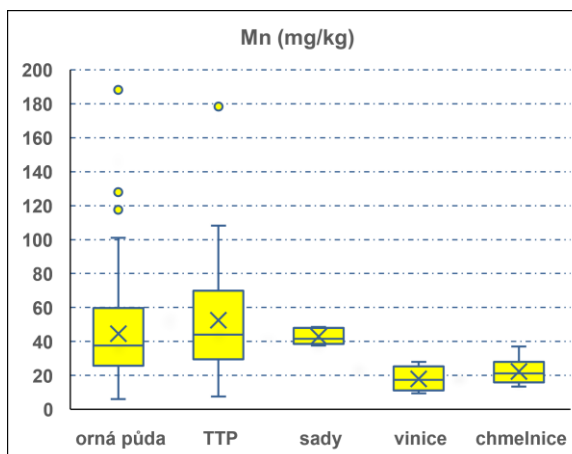
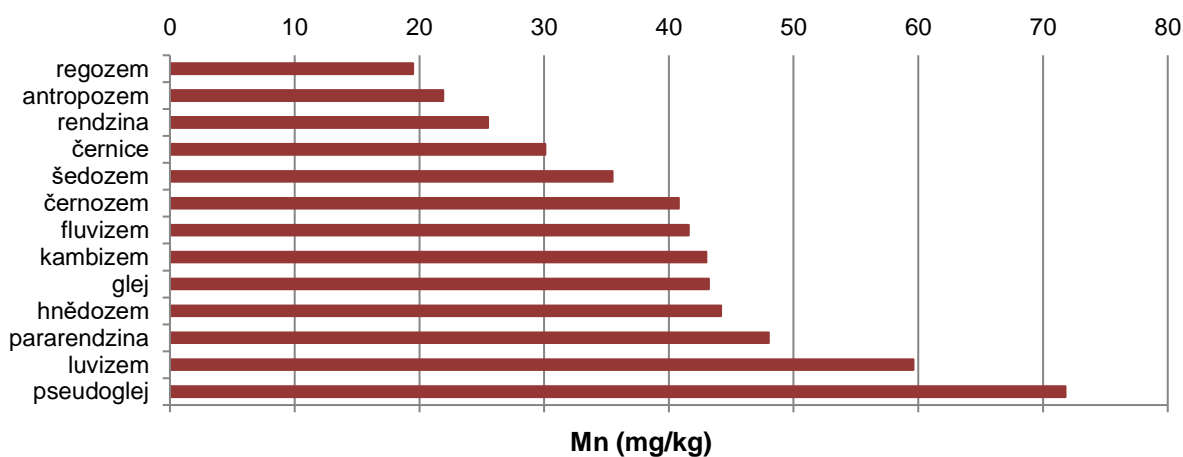
8.4.2 Hodnocení obsahu přístupného manganu v půdě v roce 2019

Obsah manganu v extraktu podle Lindsaye-Norvella se v půdách celého souboru ploch pohybuje v rozsahu 6,16–188 $mg \cdot kg^{-1}$, přičemž největší četnost obsahů je v rozmezí 20–40 $mg \cdot kg^{-1}$, která se vyskytuje na 85 plochách (39,7 %) z celkových 214 (obrázek 25). Průměrná hodnota je 45,2 $mg \cdot kg^{-1}$, mediánová hodnota 38,3 $mg \cdot kg^{-1}$. Nejvyšší obsah byl zaznamenán na orné půdě na PP 2901KO Příbram v okrese Příbram na půdním typu pseudoglej (188 $mg \cdot kg^{-1}$). (obrázek 30). Naopak nejnižší obsah se vyskytoval na PP 6004B Trutnov v okrese Trutnov, na půdním typu kambizem (6,16 $mg \cdot kg^{-1}$) na orné půdě. Nejvyšší dosažený obsah na trvalých travních porostech byl 178 $mg \cdot kg^{-1}$ na PP 8011B Mořkov (v podhůří Beskyd) v okrese Nový Jičín, na půdním typu pseudoglej (obrázek 30).

Tabulka 15 Základní statistika obsahu manganu v jednotlivých kulturách a v celém souboru monitorovacích ploch BMP (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg^{-1} suchého vzorku)

Mn	Horizont	Počet	Min	25. perc.	Medián	Průměr	75 perc.	Max
orná půda	O	148	6,16	25,8	37,7	44,6	59,4	188
TTP	O	50	7,54	29,7	44,0	52,5	69,5	178
	P	50	7,27	22,1	37,2	44,9	58,1	155
sady	O	5	37,5	39,4	41,6	42,9	47,5	48,6
vinice	O	5	9,57	12,7	17,3	18,1	22,6	28,1
chmelnice	O	6	13,5	17,6	21,1	22,4	24,2	37,1
Celý soubor 214 PP	O	214	6,16	25,9	38,3	45,2	59,7	188

O – ornice, P – podorničí

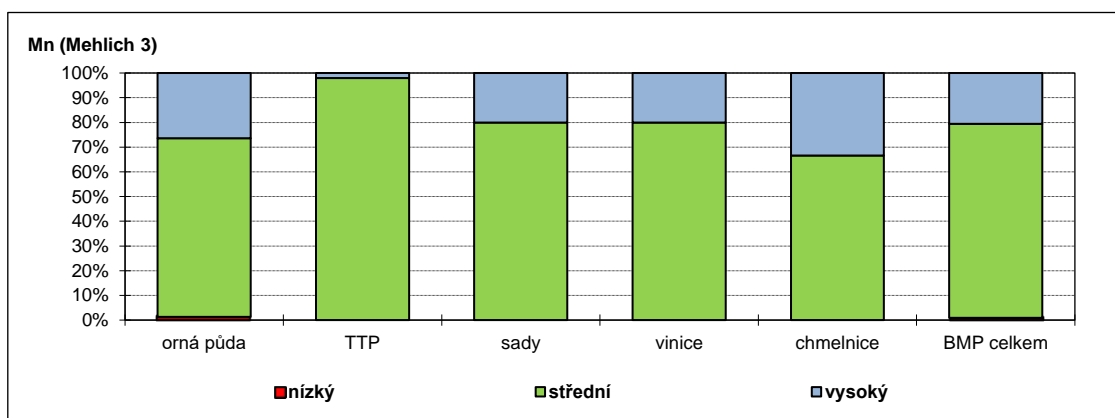
Obrázek 25 Rozložení obsahu manganu v celém souboru 214 ploch BMP (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg^{-1} suchého vzorku)

Obrázek 26 Grafické znázornění statistických parametrů obsahu manganu v jednotlivých kulturách (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg^{-1} suchého vzorku)

Obrázek 27 Porovnání průměrných hodnot obsahu manganu u jednotlivých půdních typů na PP BMP (2019, ornice, Lindsay-Norvell, mg.kg^{-1} suchého vzorku)


Půdní typy, které dosáhly nejvyšších průměrných obsahů manganu v orní vrstvě, byly: pseudoglej ($71,8 \text{ mg.kg}^{-1}$), luvizem ($59,6 \text{ mg.kg}^{-1}$), pararendzina ($48,0 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Nejvyšší průměrné i mediánové obsahy se vyskytovaly na trvalých travních porostech (52,5 mg.kg⁻¹ a 44,0 mg.kg⁻¹). Pro mangan stejně jako pro železo platí, že v kyselých půdách jsou oba tyto prvky pro rostliny více přístupné (Beneš, 1994). Trvalé travní porosty můžeme jejich nízkým pH do kyselých půd zařadit⁴. Hodnoty obsahu manganu u ostatních kultur byly na podobné úrovni. Nejnižší obsah manganu se vyskytoval na vinicích a chmelnicích. Dosahoval zde průměrné hodnoty 18,1 mg.kg⁻¹ (vinice) a 22,4 mg.kg⁻¹ (chmelnice).

Podle tabulky 10 bylo vypočítáno procentické zastoupení kultur v jednotlivých kategoriích obsahu manganu stanoveném v extraktu dle Mehlicha 3 (obrázek 28, obrázek 29).

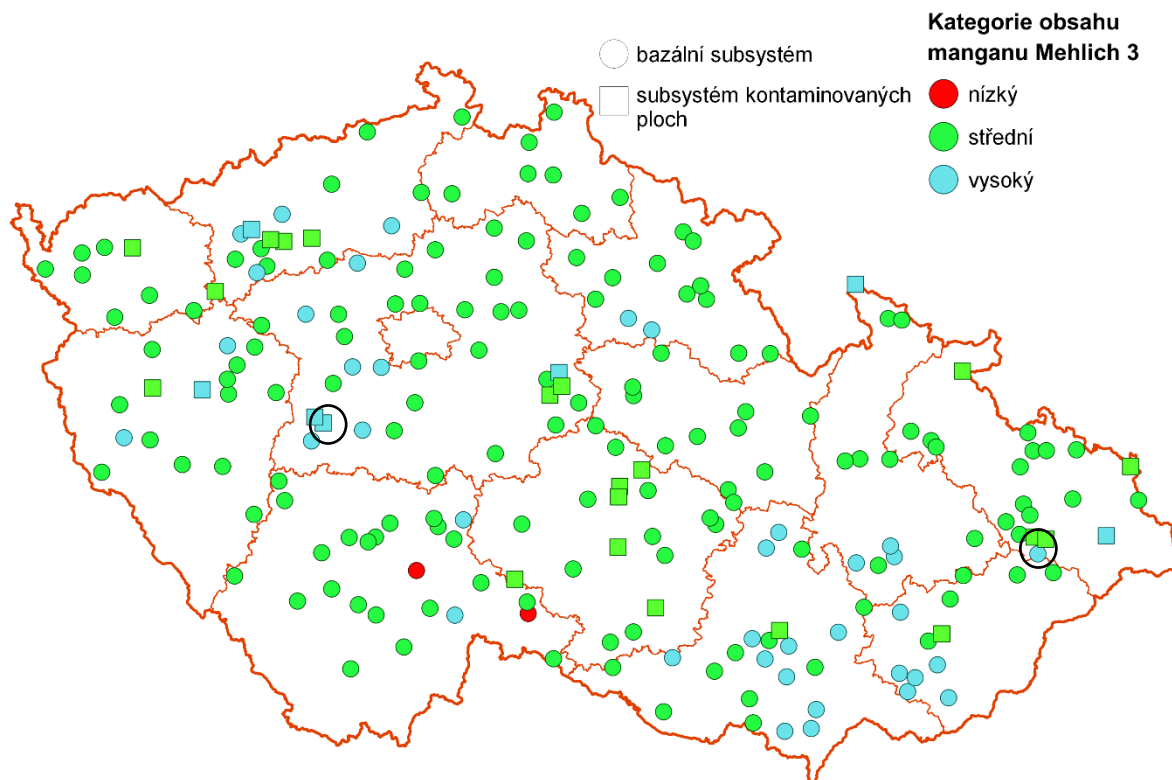
Obrázek 28 Procentické zastoupení jednotlivých kategorií obsahu manganu u kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 podle Kritérií pro hodnocení obsahu mědi v půdě ve výluhu dle Mehlicha 3



Většina vzorků se v roce 2019 nalézala v kategorii „střední“ (78,5 % PP). Orné půdy měly v této kategorii zastoupeno 72,3 % vzorků a TTP 98,0 % vzorků. Kategorie obsahu „vysoký“ byla zastoupena 20,6 % vzorků. Minimum vzorků (0,9 %) se nenacházelo v kategorii „nízký“. Speciální kultury – sady, vinice a chmelnice se většinou vzorků zařadily do kategorie „střední“ (80 % PP, 80 % PP, 66,7 %). V celorepublikovém programu Agrochemického zkoušení zemědělských půd z let 2017–2022 (Smatanová, 2023) (obrázek 31) bylo rovněž zjištěno nejvyšší zastoupení výměry v kategorii „střední“ a to u 89,8 % zemědělské půdy a procentické zastoupení jednotlivých kultur v kategorii se pohybovalo v rozmezí 77,9 % (vinice) až 93,1 % (chmelnice).

⁴ Zjištěná průměrná hodnota **výměnného pH** v roce 2019 v ornici v rámci kultur BMP klesala v pořadí: vinice (7,0) > chmelnice (6,8) > orná půda (6,1) > sady (6,0) > TTP (5,2). Půdní reakce travních porostů je statisticky významně nižší než je tomu u orných půd, vinic a chmelnic. Největší zastoupení trvalých travních porostů podle kritérií pro hodnocení výměnného pH se nalézalo v kategorii „extrémně kyselá“ „silně kyselá“ „kyselá“ a „slabě kyselá“ a to 10 %, 28 %, 42 % a 14 % (Prášková et al., 2022)

Obrázek 29 Obsah manganu stanovený v extraktu dle Mehliča 3 na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 podle kategorií AZZP



Obrázek 30 Plochy s nejvyšším obsahem manganu z celého souboru 214 PP (v extraktu dle Lindsaye-Norvella) jsou označeny kroužkem na obrázku 29
 2901KO (Příbram, okres Příbram, orná půda, pseudoglej, 188 mg.kg⁻¹)
 8011B (Mořkov, okres Nový Jičín, TTP, pseudoglej, 178 mg.kg⁻¹)



2901KO, orná půda, Příbram (foto 2019)



8011B, TTP, Mořkov (foto 2019)

Obrázek 31 Obsah manganu v zemědělských půdách z provedených odběrů AZPP z let 2017–2022 (výluh dle Mehlicha 3), (Smatanová, 2023). Z mapy jsou patrné lokality vysokého a nízkého obsahu Mn



8.4.3 Závěry z hodnocení obsahu přístupného manganu v půdě na plochách BMP

- Mangan v ornici celého souboru 214 PP nabýval hodnot v rozmezí 6,16 až 188 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (extrakt podle Lindsaye-Norvella), přičemž nejvíce četný obsah byl v rozmezí 20–40 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a to u 39,7 % pozorovacích ploch. Průměrná hodnota a medián byl 45,2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, mediánová hodnota byla 38,3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.
- Průměrný obsah manganu v ornici (extrakt podle Lindsaye-Norvella) rostl v pořadí: vinice (18,1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < chmelnice (22,4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < sady (42,9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < orná půda (44,6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < TTP (52,5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).
- Zjištěná průměrná hodnota Mn v ornici (extrakt Lindsay-Norvell) v rámci půdních typů stoupala v pořadí: regozem (19,5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < antropozem (21,9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < rendzina (25,5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < černice (30,1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < šedozem (35,5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < černozem (40,8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < fluvizem (41,6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < kambizem (43,0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < glej (43,2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < hnědozem (44,2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < pararendzina (48,0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < luvizem (59,6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) < pseudoglej (71,8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Podle třídění do kategorií dle AZPP (extrakt dle Mehlicha 3) se největší procento ploch nalézalo v kategorii obsahu „střední“ (78,5 % PP) – ve všech kulturách převažují půdy středně zásobené manganem, a to u orné půdy 72,3 % vzorků a u trvalých travních porostů 98,0 % PP. Speciální kultury (sady, vinice, chmelnice) vykázaly nejvyšší procento ploch v kategorii „střední“ – sady 80 % PP, vinice 80 % PP, chmelnice 66,7 % PP.

8.5 Zinek

8.5.1 Obecná charakteristika zinku

V půdách a rostlinách je zinek (Zn) přítomen převážně jako dvojmocný kation Zn^{2+} v sloučeninách. Sorbuje se hlavně na jílnaté částice, na druhotné oxidy Fe, Mn, Al a na organickou hmotu. Částečně může být vysrážen i na místech styku s uhlíčitany nebo v silně redukčním prostředí. Adsorpce zinku probíhá jinak v kyselém a jinak v alkalickém prostředí. V kyselém prostředí může být adsorpce Zn^{2+} snížena konkurujícími kationty, což vede ke snadné mobilizaci a vymývání. V alkalickém prostředí je rozpustnost silně ovlivňována i organickými ligandami, které mají za následek větší rozpustnost (Beneš, 1994).

Přístupnost zinku rostlinám je značně ovlivňována i hnojením dusíkatými a fosforečnými hnojivy. Například použitím dusičnanu amonného nebo síranu amonného dochází ke snížení pH a tím ke zvýšení obsahu přístupného zinku. Nedostatek zinku v minerálních půdách je většinou způsoben nízkým obsahem v matečné hornině, silnou fixací jílovými nerosty s vyšším obsahem vápníku a vysokým odnosem z půdy. Nejčastěji se nedostatek vyskytuje v kyselých písčitých půdách humidních oblastí, v půdách s vysokým obsahem jílu s fosforem, v půdách karbonátových a v půdách s vysokým podílem organické hmoty. Při vysokém obsahu vápníku v půdě může být vápník přímo odpovědný za nedostatek zinku v rostlinách, zvláště v půdách s pH přes 6, kde se může příjem zinku v důsledku tvorby nerozpustných sloučenin snížit až na polovinu. Vysoké obsahy zinku se vyskytují v půdách městských aglomerací, v blízkosti důlních hald a úpraven rud. Toxicitu může způsobit i používání čistírenských kalů a městských odpadů jako hnojiva. V normálních podmínkách přichází toxicita v úvahu tam, kde se značně zvýší kyselost půdy. K zvýšenému příjmu zinku dochází i při nadbytku Fe (Beneš, 1994).

Náročnými plodinami na obsah zinku jsou kukuřice, chmel, bob, obiloviny, mrkev, salát.

Hnojení zinkem se provádí v půdách s nízkým obsahem Zn; při středním obsahu zinku v půdě lze očekávat efekt hnojení touto mikroživinou na půdách s vysokým obsahem fosforu a v půdách čerstvě vyhnojených vysokými dávkami fosforečných hnojiv. Při základním hnojení do půdy se nejčastěji používá síran zinečnatý v dávce $5\text{--}25 \text{ kg Zn}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Beneš, 1994). Podobně jako měď má sklon k tvorbě komplexních sloučenin. Celkový přirozený obsah v ornících činí $10\text{--}300 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ z převážné části v anorganické vazbě. Průměrný obsah výměnného zinku činí přibližně $0,2\text{--}2,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, z čehož vodorozpustný podíl činí pouze 1–10 %. Průměrné množství zinku odebírané každoročně sklizněmi činí $100\text{--}300 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Finck, 1969). Podle bilance (Čumakov, Neuberger, 1969) se v zemědělském koloběhu živin navrací zpět do půdy asi 60,7 % zinku.

8.5.2 Hodnocení obsahu přístupného zinku v půdě v roce 2019

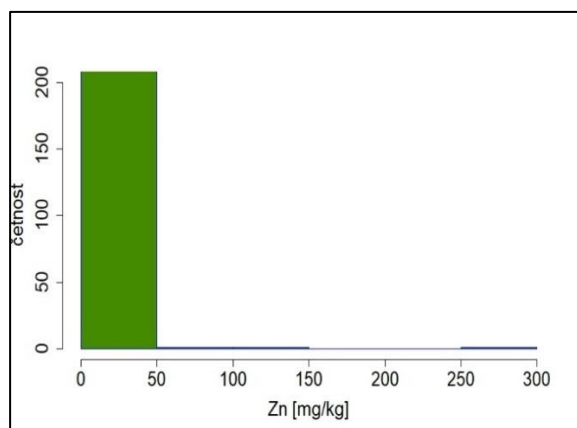
Obsah zinku v extraktu podle Lindsaye-Norvella se v půdách celého souboru ploch pohybuje v rozsahu 0,75–280 mg.kg⁻¹, přičemž největší četnost obsahů je v rozmezí 0–50 mg.kg⁻¹, která se vyskytuje na 211 plochách (98,6 %) z celkových 214 (obrázek 32). Průměrná hodnota je 6,29 mg.kg⁻¹, mediánová hodnota je 2,61 mg.kg⁻¹.

Tabulka 16 Základní statistika obsahu zinku v jednotlivých kulturách a v celém souboru monitorovacích ploch BMP (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg⁻¹ suchého vzorku)

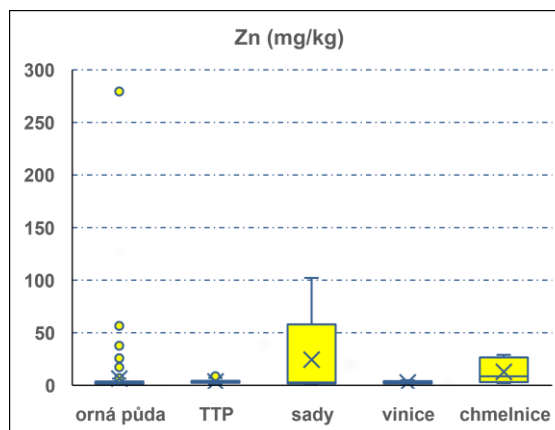
Zn	Horizont	Počet	Min	25. perc.	Medián	Průměr	75 perc.	Max
orná půda	O	148	0,75	1,75	2,36	6,38	3,80	280
TTP	O	50	0,75	2,40	3,05	3,75	4,26	12,4
	P	50	0,73	1,51	2,24	2,65	3,28	9,39
sady	O	5	1,31	2,62	2,68	24,5	13,7	102
vinice	O	5	1,51	2,40	2,57	2,96	3,44	4,91
chmelnice	O	6	2,10	4,48	8,71	12,9	21,8	28,9
Celý soubor 214 PP	O	214	0,75	1,87	2,61	6,29	4,02	280

O – ornice, P – podorničí

Obrázek 32 Rozložení obsahu zinku v celém souboru 214 ploch BMP (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg⁻¹ suchého vzorku)



Obrázek 33 Grafické znázornění statistických parametrů obsahu zinku v jednotlivých kulturách (2019, Lindsay-Norvell, mg.kg⁻¹ suchého vzorku)



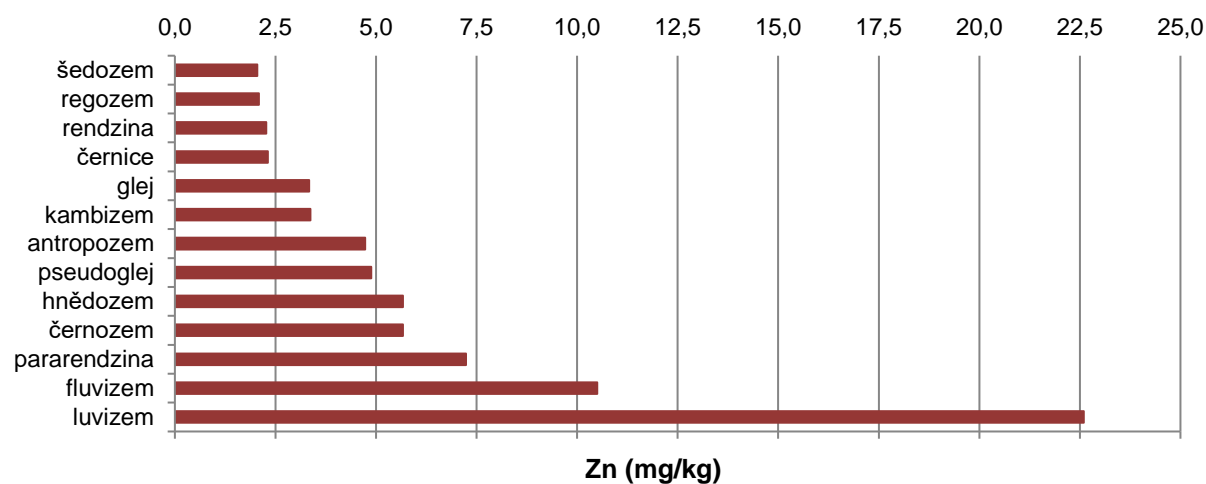
Nejvyšší obsah byl zaznamenán na orné půdě na PP 8906KO Dolní Marklovice v okrese Karviná na půdním typu luvizem ($280 \text{ mg Zn.kg}^{-1}$)⁵ a v sadu na PP 2014B Kutná Hora v okrese Kutná Hora na půdním typu hnědozem ($102 \text{ mg Zn.kg}^{-1}$) (obrázek 37). Plocha 2014B je v současné době extenzivním sadem a v posledních 10 letech zde neproběhla žádná aplikace hnojiv ani pesticidů. Ani v minulosti zde nebyly aplikovány žádné přípravky s obsahem Zn. Obsah, který byl zjištěn v lučavce královské byl na úrovni $630 \text{ mg Zn.kg}^{-1}$.

Nejvyšší dosažený obsah na trvalých travních porostech byl $12,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ na PP 8022B Třeština v okrese Šumperk, na půdním typu pararendzina. Naopak nejnižší obsah se vyskytoval shodně na dvou plochách a to na orné půdě na PP 2013B Tismice v okrese Kolín, na půdním typu hnědozem ($0,75 \text{ mg.kg}^{-1}$) a na trvalém travním porostu na PP 7040B Domanínec v okrese Žďár nad Sázavou, na půdním typu kambizem ($0,75 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Nejvyšší průměrný obsah Zn byl vypočten pro sady ($24,5 \text{ mg.kg}^{-1}$), tato hodnota je však silně ovlivněna jedním vysokým obsahem na již zmíněné ploše 2014B ($102 \text{ mg Zn.kg}^{-1}$); ostatní čtyři plochy sadů nabývaly následujících hodnot $1,31 \text{ mg.kg}^{-1}$, $2,62 \text{ mg.kg}^{-1}$, $2,69 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $13,7 \text{ mg.kg}^{-1}$; čemuž odpovídá nízká hodnota mediánu ($2,68 \text{ mg.kg}^{-1}$). Chmelnice vykázaly hned po sadech druhou nejvyšší průměrnou hodnotu obsahů ($12,9 \text{ mg.kg}^{-1}$), ale na rozdíl od sadů zároveň i vysoký medián ($8,71 \text{ mg.kg}^{-1}$); nejvyšší ze všech kultur. Obsahy Zn u jednotlivých ploch chmelnic byly následující: $2,10 \text{ mg.kg}^{-1}$ (PP 5013B), $3,47 \text{ mg.kg}^{-1}$ (PP 5014B), $7,53 \text{ mg.kg}^{-1}$ (PP 5904K), $9,88 \text{ mg.kg}^{-1}$ (PP 2016B), $25,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ (PP 5903KO) a $28,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ (PP 5902KO).

Půdní typy, které dosáhly nejvyšších průměrných obsahů zinku v orniční vrstvě, byly: luvizem ($22,6 \text{ mg.kg}^{-1}$), fluvizem ($10,5 \text{ mg.kg}^{-1}$), pararendzina ($7,24 \text{ mg.kg}^{-1}$).

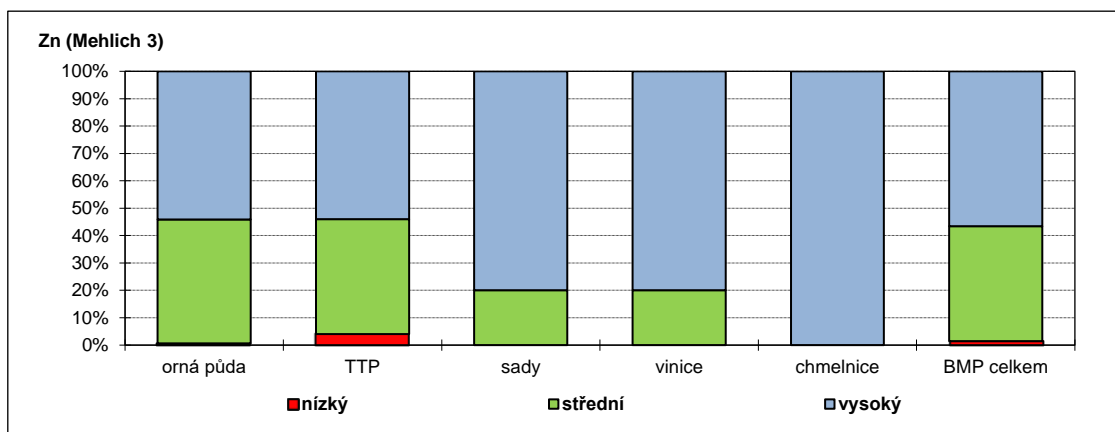
Obrázek 34 Porovnání průměrných hodnot obsahu zinku u jednotlivých půdních typů na PP BMP (2019, ornice, Lindsay-Norvell, mg.kg^{-1} suchého vzorku)



Pro hodnocení obsahu zinku se používají 3 kategorie (obsah nízký, střední a vysoký), (tabulka 10). Podle této tabulky bylo vypočítáno procentické zastoupení kultur v jednotlivých kategoriích obsahu zinku stanoveného v extraktu dle Mehliča 3 z odběrů za rok 2019 (obrázek 35, obrázek 36).

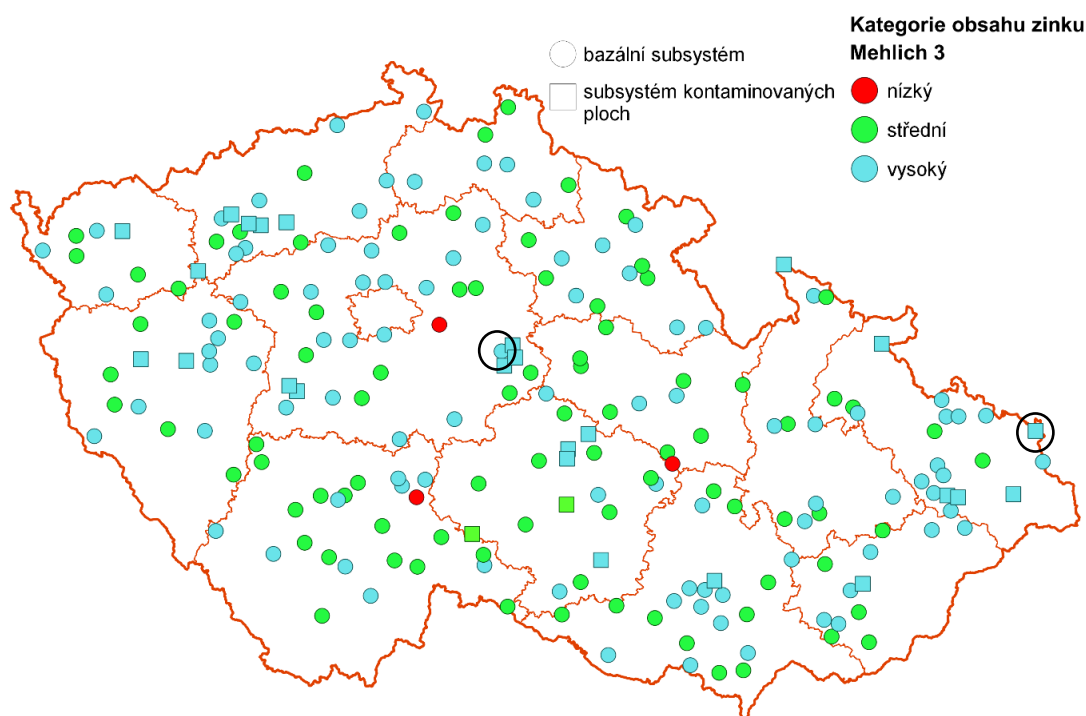
⁵ Na PP 8906KO je pravidelně v každém odběrovém cyklu dosahováno hodnot obsahu Zn v řádu stovek. Na ostatních plochách jsou maximální hodnoty v řádu desítek. Plocha 8906KO je ornou půdou ze subsystému kontaminovaných ploch, která je ovlivněna průmyslovou činností. Vykazuje rovněž v rámci ploch BMP nejvyšší hodnoty celkového zinku (extrakt v lučavce královské) – $1200 \text{ mg Zn.kg}^{-1}$ v roce 2019 (Poláková et al., 2022).

Obrázek 35 Procentické zastoupení jednotlivých kategorií obsahu zinku u kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 podle Kritérií pro hodnocení obsahu mědi v půdě ve výluhu dle Mehlicha 3



Největší procento všech vzorků se v roce 2019 nalézalo v kategorii „vysoký“ (56,5 % PP). Orné půdy měly v této kategorii zastoupeno 54,1 % vzorků a TTP 54,0 % vzorků. Chmelnice se do kategorie „vysoký“ zařadily všemi vzorky, sady a vinice 80 % a 80 %. Důvodem častých vysokých obsahů u těchto kultur je používání přípravků obsahujících zinek (Beneš, 1994). Kategorie obsahu „střední“ byla zastoupena 42,1 % vzorků. V celorepublikovém programu Agrochemického zkoušení zemědělských půd z let 2017–2022 (Smatanová, 2023), (obrázek 38) bylo na rozdíl od souboru půd BMP zjištěno nejvyšší zastoupení výměry v kategorii „střední“ a to u 58,7 % zemědělské půdy. Speciální kultury – sady, vinice a chmelnice se svými obsahy zařadily do kategorie obsahu „vysoký“ – sady 66,4 %, vinice 53,8 % a chmelnice 94,9 %.

Obrázek 36 Obsah zinku stanovený v extraktu dle Mehlicha 3 na monitorovacích plochách BMP v roce 2019 podle kategorií AZZP



Převládající podíl půd s vysokým obsahem zinku se nachází v okresech Ústí nad Labem, Teplice, Most, Frýdek-Místek, Karviná a již v 90. letech zde bylo shledáno přes 80 % výměry půdy s vysokým obsahem Zn (Nerad, 1994).

Obrázek 37 *Plochy s nejvyšším obsahem zinku z celého souboru 214 PP (v extraktu dle Lindsaye-Norvella). Plochy jsou označeny kroužkem na obrázku 36 8906KO (Dolní Marklovice, okres Karviná, orná půda, luvizem, 280 mg.kg⁻¹) 2014B (Kutná Hora, okres Kutná Hora, sad, hnědozem, 102 mg.kg⁻¹)*



8906KO, orná půda, Dolní Marklovice (foto 2019)



2014B, sad, Kutná Hora (foto 2019)

Obrázek 38 *Obsah zinku v zemědělských půdách z provedených odběrů AZZP z let 2017–2022 (výluh dle Mehlicha 3) (Smatanová, 2023). Z mapy jsou patrné roztroušené lokality vysokého obsahu Zn.*

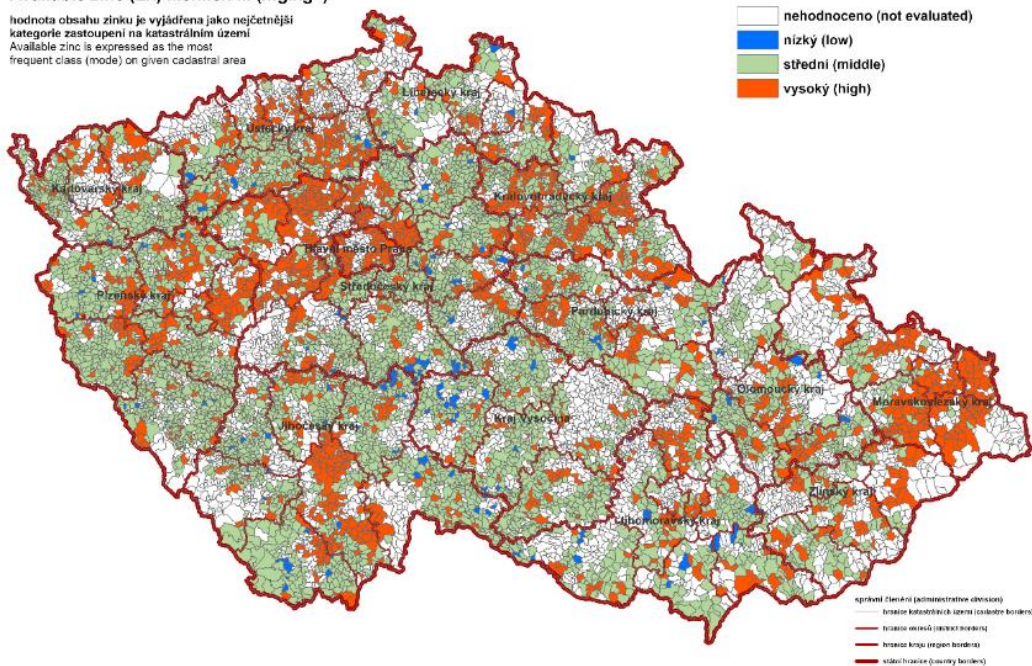
Agrochemické zkoušení zemědělských půd 2017 – 2022

Agrochemical soil testing 2017 – 2022

Zinek (Zn) Mehlich III (mg.kg⁻¹)

Available zinc (Zn) Mehlich III (mg.kg⁻¹)

hodnota obsahu zinku je vyjádřena jako nejčetnější kategorie zastoupení na katastrálním území
Available zinc is expressed as the most frequent class (mode) on given cadastral area



8.5.3 Závěry z hodnocení obsahu přístupného zinku v půdě na plochách BMP

- Zinek v ornici celého souboru 214 PP nabýval hodnot v rozmezí 0,75–280 mg.kg⁻¹ (extrakt podle Lindsaye-Norvella), přičemž nejvíce četný obsah byl v rozmezí 0–50 mg.kg⁻¹ a to u 98,6 % pozorovacích ploch. Průměrná hodnota a medián byl 6,29 mg.kg⁻¹ a 2,91 mg.kg⁻¹.
- Průměrný obsah zinku v ornici (extrakt podle Lindsaye-Norvella) rostl v pořadí: vinice (2,96 mg.kg⁻¹) < TTP (3,75 mg.kg⁻¹) < orná půda (6,38 mg.kg⁻¹) < chmelnice (12,9 mg.kg⁻¹) < sady (24,5 mg.kg⁻¹).
- Zjištěná průměrná hodnota zinku v ornici (extrakt podle Lindsaye-Norvella) v rámci půdních typů stoupala v pořadí: šedozem (2,05 mg.kg⁻¹) < regozem (2,09 mg.kg⁻¹) < rendzina (2,27 mg.kg⁻¹) < černice (2,31 mg.kg⁻¹) < glej (3,34 mg.kg⁻¹) < kambizem (3,37 mg.kg⁻¹) < antropozem (4,73 mg.kg⁻¹) < pseudoglej (4,88 mg.kg⁻¹) < hnědozem (5,67 mg.kg⁻¹) = černozem (5,67 mg.kg⁻¹) < pararendzina (7,24 mg.kg⁻¹) < fluvizem (10,5 mg.kg⁻¹) < luvizem (22,6 mg.kg⁻¹).
- Podle třídění do kategorií dle AZZP (extrakt dle Mehliča 3) se největší procento ploch nalézalo v kategorii obsahu „vysoký“ (56,5 % PP) – a to u orné půdy 54,1 % vzorků a u trvalých travních porostů 54,0 % PP. Speciální kultury – sady 80 % PP, vinice 80 % PP, chmelnice 100 % PP. Kategorie obsahu „střední“ byla zastoupena 42,1 % vzorků.

8.6 Shrnutí

Pátá perioda odběrů půdních vzorků z ploch Bazálního monitoringu půd byla provedena v roce 2019 na všech 214 pozorovacích plochách. Analýzy mikroelementů v roce 2019 byly provedeny ve vzorcích podle stejných metod probíhajících pravidelně od založení monitoringu (od roku 1992). Od cyklu 2013 je také používáno stanovení mikroelementů metodou podle Mehlicha 3, kterou Národní referenční laboratoř ÚKZÚZ použila pro vývojový úkol s názvem Optimalizace a širší využití metody Mehlich 3 v systému Agrochemického zkoušení půd, část 2. Stanovení Cu, Zn, Mn, Fe a B (Zbiral, 2012).

Průměrný obsah mikroelementů v ornici se pohyboval v řádu desetin v případě bóru, v řádu jednotek u mědi a zinku, v řádu desítek u manganu a v řádu desítek a stovek u železa.

Nejnižší průměrné obsahy železa a manganu se z hlediska kultur vyskytovaly na **vinicích**, nejvyšší průměrné obsahy byly zjištěny na **TTP**. Naopak **TTP** vykazaly nejnižší průměrné obsahy bóru a mědi a nejvyšší obsahy těchto dvou prvků vykazaly **chmelnice**. Průměrný obsah zinku byl nejnižší na **vinicích** a nejvyšší v **sadech**.

Největší zastoupení ploch se nalézalo z hlediska hodnocení dle výživového stavu v kategorii obsahu „**střední**“ (měď, železo, mangan). Obsah bóru byl v kategorii „**nízký**“ a obsah zinku v kategorii „**vysoký**“.

9 Literární zdroje

Balík J., Černý, J., Kulhánek, M., Sedlář, O. 2018. *Uplatnění bóru a molybdenu ve výživě rostlin*. Sborník z 24. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na význam a uplatnění mikroelementů ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze. 112 p. ISBN 978-80-213-2895-2

Beneš S. 1978. *Obsah stopových prvků v našich horninách*. (In Neuberg, J. et al. 1978. *Stopové prvky v rostlinné výrobě ČSR*. Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. 187 s).

Beneš, S. 1993. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. I. část*. Ministerstvo zemědělství České republiky. Agrospoj. Praha. 88 s. ISBN 80-7084-051-X

Beneš, S. 1994. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. II. část*. Ministerstvo zemědělství České republiky. Agrospoj. Praha. 159 s. ISBN 80-7084-090-0

Černý, J., Kulhánek, M., Balík, J., Sedlář, O. 2018. *Zásady hnojení mikroelementy*. Sborník z 24. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na význam a uplatnění mikroelementů ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze. 112 p. ISBN 978-80-213-2895-2

Čumakov, A – Neuberg, J. 1969. *Bilancia mikroelementov v rastlinnej výrobe ČSSR*. Studijní informace UVTI. Půdoznalství, Meliorace, Výživa rostlin, č. 6. (In Neuberg, J. et al. 1978. *Stopové prvky v rostlinné výrobě ČSR*. Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. 187 s).

Finck, A. 1969. *Pflanzenernahrung in Stickworten. Kiel*. (In Neuberg, J. et al. 1978. *Stopové prvky v rostlinné výrobě ČSR*. Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. 187 s).

Hlušek, J., Richter, R., Ryant, P., Kolář, L. 2002: *Výživa a hnojení zahradních plodin*. Redakce odborných časopisů. Praha. ISBN 80-902413-5-2. 80 p.

Klement, V. - Smatanová, M. - Trávník, K. 2012: *Padesát let agrochemického zkoušení zemědělských půd v České republice, Čtyřicet let dlouhodobých výživářských pokusů v ÚKZÚZ*. ÚKZÚZ Brno. ISBN 978-80-7401-062-0. 96 p.

Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Pálka, B., Pavlenda, P., Schlosserová, J., Styk, J., Širáň, M. 2014: *Monitoring pôd Slovenskej republiky*. Výskumný ústav pôdoznalstva a ochrany pôdy NPPC v Bratislave. ISBN 978-80-8163-004-0. 251 p.

Kulhánek, M., Černý, J., Balík, J., Sedlář, O. 2018. *Úloha železa, manganu, mědi a zinku ve výživě rostlin*. Sborník z 24. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na význam a uplatnění mikroelementů ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze. 112 p. ISBN 978-80-213-2895-2

Malý, S. – Zbiral, J. – Čižmarová, E. 2021. *Is Mehlich 3 soil extraction a suitable screening method for determination of some risk elements?*. Plant, Soil and Environment. <https://doi.org/10.17221/228/2021-PSE>

Mazanec, O. 1978. *Zásobenost půd ČSR stopovými prvky*. (In Neuberg, J. et al. 1978. *Stopové prvky v rostlinné výrobě ČSR*. Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. 187 s).

Mazanec, O. - Panýr, M. 1981. Jednotné pracovní postupy pro provádění agrochemického zkoušení půd v ČSR v období 1981 – 1990. ÚKZÚZ v Praze, nositel vyznamenání „Za zásluhy o výstavbu“.

Nerad, J. 1994. *Obsah stopových prvků v půdách*. ÚKZÚZ Brno.

Neuberg, J. 1978a. *Potřeba stopových prvků v rostlinné výrobě*. (In Neuberg, J. et al. 1978. *Stopové prvky v rostlinné výrobě ČSR*. Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. 187 s).

Neuberg, J. 1978b. *Úvod*. (In Neuberg, J. et al. 1978. *Stopové prvky v rostlinné výrobě ČSR*. Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. 187 s).

Neuberg, J., et al. 1990. *Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe. Komplexní metodika výživy rostlin*. ÚVTIZ Praha.

Panýr, M., Mazanec, O. 1986. *Průzkum obsahu stopových prvků v ornících*. Doplněk k Jednotným pracovním postupům pro provádění AZP v ČSR v období 1981 – 1990. ÚKZÚZ Praha.

Poláková, Š. – Němec, P. 2016. *Bazální monitoring zemědělských půd, Obsah rizikových prvků 1995 - 2013*. ÚKZÚZ Brno.

Prášková, L. – Němec, P. 2016. *Bazální monitoring zemědělských půd, Obsah přístupných mikroelementů B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn 1995 – 2013*. ÚKZÚZ Brno.

Prášková, L. – Reininger, D. – Svoboda, T. 2022. *Bazální monitoring zemědělských půd, Půdní reakce a obsah živin 1995 – 2013, I. část (hodnocení cyklu vzorkování 2019)*. ÚKZÚZ Brno.

Smatanová, M. (2023): *Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2017 - 2022*. ÚKZÚZ Brno.

Vaněk, V., Balík, J., Němeček, R., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (1999): *Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny*. Druhé doplněné vydání. Redakce časopisu Farmář – Zemědělské listy. Praha. ISBN 80-902413-1-X. 124 p.

Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2002): *Výživa a hnojení polních a zahradních plodin*. Třetí doplněné vydání. Redakce odborných časopisů. Praha. ISBN 80-902413-7-9. 132 p.

Vyhláška č. 47/1961 Sb., o komplexním průzkumu půd v Československé socialistické republice. Ministerstvo zemědělství, lesního a vodního hospodářství.

Vyhláška č. 119/1981 Sb., o agrochemickém zkoušení půd. Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR.

Vyhláška č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů. Ministerstvo zemědělství.

Zbíral, J. et al., 2011. *Jednotné pracovní postupy - Analýza půd II*. ÚKZÚZ Brno. ISBN 978-80-7401-040-8. 230 p.

Zbíral, J., 2012. *Závěrečná zpráva vývojového úkolu A2/2011 Optimalizace a širší využití metody Mehlich III v systému Agrochemického zkoušení půd, část 2. Stanovení Cu, Zn, Mn, Fe a B*. ÚKZÚZ Brno. 9 p.

Zbíral, J. et al., 2016. *Jednotné pracovní postupy - Analýza půd I*. ÚKZÚZ Brno. ISBN 978-80-7401-123-8.