

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně
Sekce zemědělských vstupů



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

1995 - 2013

Zpracoval: Ing. Lenka Prášková, Ph.D.
Ing. Pavel Němec

Předkládá: Mgr. Šárka Poláková, Ph.D.

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

Brno, září 2016

OBSAH

1	ÚVOD	4
2	CÍLE	5
3	METODIKA PRACÍ.....	6
3.1	Obecná charakteristika	6
3.2	Odběr vzorků.....	6
3.3	Termín odběru a úprava vzorků	7
3.4	Analyzované parametry.....	8
3.5	Databáze výsledků	8
3.6	Odběry v roce 2013.....	8
3.7	Principy chemických metod.....	11
3.7.1	Stanovení obsahu Cu, Fe, Mn a Zn v extrakčním roztoku DTPA-TEA podle Lindsaya a Norvella..	11
3.7.2	Stanovení obsahu B extrakcí půdy vodou za varu podle Bergera a Truoga.....	11
3.7.3	Stanovení obsahu Mo extrakčním roztokem AO-OA	12
3.7.4	Stanovení obsahu B, Cu, Fe, Mn, Zn v extraktu podle Mehliche III	12
3.8	Hodnocení půdních dat.....	13
4	OBEČNÁ CHARAKTERISTIKA MIKROELEMENTŮ	15
4.1	Zdroje mikroelementů v půdě	15
4.1.1	Matečná hornina.....	15
4.1.2	Druhotné zdroje	16
4.2	Faktory působící na obsah mikroelementů v půdě	16
4.2.1	Půdní reakce.....	17
4.2.2	Oxidačně-redukční podmínky	17
4.2.3	Půdní organická hmota.....	17
4.2.4	Zrnitostní složení	17
4.3	Ztráty mikroelementů z půdy.....	17
5	HISTORICKÝ VÝVOJ SLEDOVÁNÍ OBSAHU MIKROELEMENTŮ V PŮDÁCH ČR.....	18
6	VÝSLEDKY OBSAHU PŘÍSTUPNÝCH MIKROELEMENTŮ	21
6.1	Bór	21
6.1.1	Obecná charakteristika bóru.....	21
6.1.2	Hodnocení obsahu přístupného bóru v půdě v roce 2013	21
6.1.3	Hodnocení obsahu přístupného bóru v půdě za 4 cykly odběrů.....	24

6.1.4	Závěry z hodnocení obsahu přístupného bóru v půdě na plochách BMP	26
6.2	Měď	27
6.2.1	Obecná charakteristika mědi	27
6.2.2	Hodnocení obsahu přístupné mědi v půdě v roce 2013	27
6.2.3	Hodnocení obsahu přístupné mědi v půdě za 4 cykly odběrů	30
6.2.4	Závěry z hodnocení obsahu přístupné mědi v půdě na plochách BMP	32
6.3	Železo	33
6.3.1	Obecná charakteristika železa	33
6.3.2	Hodnocení obsahu přístupného železa v půdě v roce 2013	33
6.3.3	Hodnocení obsahu přístupného železa v půdě za 4 cykly odběrů	36
6.3.4	Závěry z hodnocení obsahu přístupného železa v půdě na plochách BMP	38
6.4	Mangan	39
6.4.1	Obecná charakteristika manganu	39
6.4.2	Hodnocení obsahu přístupného manganu v půdě v roce 2013	39
6.4.3	Hodnocení přístupného manganu v půdě za 4 cykly odběrů	42
6.4.4	Závěry z hodnocení obsahu přístupného manganu v půdě na plochách BMP	44
6.5	Molybden	45
6.5.1	Obecná charakteristika molybdenu	45
6.5.2	Hodnocení obsahu přístupného molybdenu v půdě v roce 1995	46
6.5.3	Závěry z hodnocení obsahu přístupného molybdenu v půdě na plochách BMP	48
6.6	Zinek	49
6.6.1	Obecná charakteristika zinku	49
6.6.2	Hodnocení obsahu přístupného zinku v půdě v roce 2013	49
6.6.3	Hodnocení obsahu přístupného zinku v půdě za 4 cykly odběrů	52
6.6.4	Závěry z hodnocení obsahu přístupného zinku v půdě na plochách BMP	54
6.7	Změny a vývoj přístupných mikroelementů na plochách BMP	55
7	LITERÁRNÍ ZDROJE	57

1 ÚVOD

Intenzivní zemědělská výroba vede k vysokým hektarovým výnosům. Vysoké hektarové výnosy odčerpávají z půdy kromě většího množství makroelementů, také odpovídající množství mikroelementů (stopových prvků). Zatímco odběr makroprvků je řešen dodávkami minerálních hnojiv, doplnění odčerpaných mikroprvků je víceméně přehlíženo. Nicméně jsou to rovněž biogenní prvky nezbytné pro existenci rostlin. Zvýšené nebezpečí pasivní půdní bilance mikroelementů vzniká na půdách s chudší přirozenou zásobou určitého prvku, na půdách se zhoršenými podmínkami pro jeho přijetí a také u vytrvalých kultur, kde se stanoviště trvale jednostranně ochuzuje o určitý prvek, který je pro plodinu specifický.

V praktické rostlinné výrobě je mezi mikroelementy řazeno většinou šest prvků - bór, měď, železo, mangan, molybden, zinek.

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), který se skládá z orných půd, TTP (trvalých travních porostů), sadů, vinic a chmelnic.

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.

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 2013 a za uplynulé cykly (2007, 2001 a 1995) a volně navazuje na zprávu Bazální monitoring zemědělských půd – půdní reakce a obsah živin 1995 - 2013.

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 legislativním účelům.

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

3 METODIKA PRACÍ

3.1 Obecná charakteristika

Bazální monitoring půd byl založen v roce 1992. Skládá se ze stálého souboru pozorovacích ploch na orné půdě, TTP, sadech, vinicích a chmelnicích. BMP se dělí na základní subsystém a subsystém kontaminovaných ploch, který 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. 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, ...) vždy podle stejného schématu (obr. 1). Vzorkovány jsou všechny pozorovací plochy BMP. Úprava vzorků a analytické metody jsou rovněž ve všech cyklech stejné.

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 2013 zabezpečovány pracovníky Sekce úřední kontroly ÚKZÚZ v jednotlivých regionech (Brno, Opava, Havlíčkův Brod, Praha, Chrastava, Plzeň, Planá nad Lužnicí), analytické práce Národní referenční laboratoří v Brně. Vlastní laboratorní analýzy byly prováděny v regionálních laboratořích 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

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). V případě menší mocnosti ornice se vzorek odebere jen z této vrstvy.
2. 35 - 60 cm (podorníčí, označení vzorku - P).

Z odběru se vyloučila přechodová vrstva 25 - 35 cm mezi orníci a podorníčím.

TTP - odběr se provedl ze tří horizontů:

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

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:

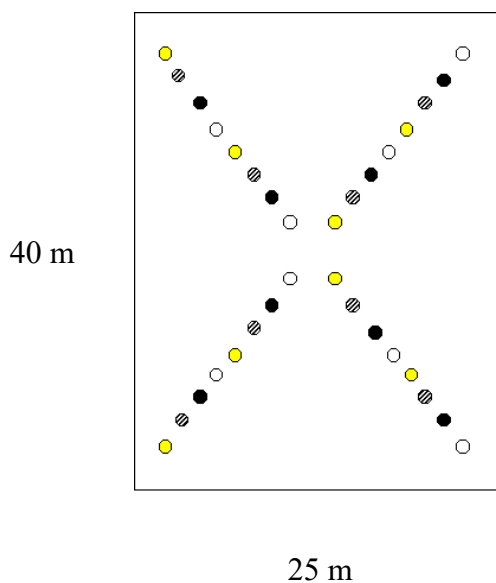
1. vrstva 0 - 30 cm (označení vzorku - O)
2. vrstva 30 - 60 cm (označení vzorku - P)

Chmelnice - odběr se provedl ze dvou horizontů:

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

Vrstva zeminy 0 - 10 cm se z odběru vyloučila.

Obrázek 1 Odběrové schéma na pozorovací ploše pro opakované odběry v šestileté periodě



Umístění individuálních odběrů k získání 4 směsných vzorků:



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 Edelmanův vrták (dle www.ekotechnika.cz).

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 jemnozemě 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, která má osvědčení o akreditaci podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005.

- Cu, Fe, Mn, Zn – podle Lindsaya a Norvella; od roku 2013 navíc také ve výluhu podle Mehlicha III (viz. kapitola 3.7.1 a 3.7.4)
- B – podle Bergera – Truoga (viz. kapitola 3.7.2)
- Mo – podle Grigga (pouze rok 1992 a 1995) (viz. kapitola 3.7.3)

3.5 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, organických hnojiv a pesticidů, pěstované plodiny, ...).

3.6 Odběry v roce 2013

V roce 2013 byly odběry provedeny na všech 214 monitorovacích plochách (187 v základním subsystému a 27 v subsystému kontaminovaných ploch). Optimalizovanou metodou vzorkování proběhl již čtvrtý cyklus (1995, 2001, 2007, 2013).

Tabulka 1 Zastoupení jednotlivých kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2013

Kultura	BMP celkem	Základní subsystém	Subsystém kontaminovaných ploch
Orná půda	154	135	19
TTP	44	38	6
Sady	6	6	0
Vínice	5	5	0
Chmelnice	5	3	2
Celkem	214	187	27

Počet ploch odebíraných v roce 2013 a počet zastoupených kultur v rámci subsystémů uvádí tabulka 1.

Tabulka 2 Počet odebíraných ploch BMP v jednotlivých krajích ČR v roce 2013

Kraj	Celkem ploch	Orná	TTP	Sady	Vinice	Chmelnice
Jihočeský	25	19	5	1	0	0
Jihomoravský	22	13	1	3	5	0
Karlovarský	8	3	5	0	0	0
Královéhradecký	13	11	2	0	0	0
Liberecký	7	1	5	1	0	0
Moravskoslezský	20	13	7	0	0	0
Olomoucký	11	10	1	0	0	0
Pardubický	10	8	2	0	0	0
Plzeňský	16	12	4	0	0	0
Středočeský	34	29	3	1	0	1
Ústecký	17	10	3	0	0	4
Vysočina	19	13	6	0	0	0
Zlínský	12	12	0	0	0	0

V tabulce 2 je zaznamenán počet ploch odebíraných v roce 2013 podle krajů ČR, v tabulce 3 je počet ploch BMP nacházejících se v jednotlivých výrobních oblastech.

Tabulka 3 Počet odebíraných ploch BMP v jednotlivých výrobních oblastech v roce 2013

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

V tabulce 4 je rozepsán počet vzorků odebraných pracovníky Sekce úřední kontroly za jednotlivé regiony ÚKZÚZ.

U orných půd, sadů, vinic a chmelnic byly odebírány vzorky ze dvou horizontů (O, P) a z každého horizontu 4 směsné vzorky. Tzn., že z každé plochy bylo odebráno 8 vzorků. U trvalých travních porostů byly odebrány tři horizonty (O, P, R) a z každého horizontu opět 4 směsné vzorky. Z každé plochy TTP se tedy odebere 12 vzorků (tabulka 5).

Tabulka 4 Počet odebraných vzorků z ploch BMP v roce 2013

Region	Počet ploch (z toho TTP)	Počet vzorků
Brno	41 (3)	340
Opava	31 (8)	280
Havlíčkův Brod	34 (8)	304
Praha	33 (3)	276
Chrastava	24 (8)	224
Plzeň	24 (9)	288
Planá nad Lužnicí	27 (5)	236
Celkem	214	1888

V roce 2013 bylo odebráno celkem 1888 vzorků. Ve všech těchto vzorcích byla provedena analýza na obsah mikroelementů metodou podle Mehlicha III. Z toho v 1032 vzorcích byly stanoveny mikroelementy ve specifických výluzích (Cu, Zn, Mn, Fe – podle Lindsaye - Norvella; B – podle Bergera - Truoga). V roce 2013 bylo přistoupeno k redukci počtu analyzovaných vzorků z ploch BMP. Analyzovány byly všechny O horizonty a u TTP i P horizonty. Počty a analyzované horizonty uvádí tabulka 6.

Tabulka 5 Počet odebraných vzorků z jednotlivých horizontů ploch BMP v roce 2013

Kultura	Počet ploch	Odebírané horizonty		
		O	P	R
Orná půda	154	616	616	-
TTP	44	176	176	176
Sady	6	24	24	-
Vinice	5	20	20	-
Chmelnice	5	20	20	-
Celkem	214	856	856	176
		1888		

Tabulka 6 Počet stanovení mikroelementů provedených ve specifických výluzích a počet stanovení provedených metodou podle Mehlicha III v horizontech kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2013

Metoda stanovení mikroelementů (B, Cu, Fe, Mn, Zn)	Odebírané horizonty			Celkem
	O	P	R	
Specifická vyluhovadla (Lindsay-Norvell, Berger-Truog)	856	176	-	1032
Extrakt podle Mehlicha III	856	856	176	1888
Celkem	1730	1032	176	

3.7 Principy chemických metod

V roce 2013 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 Mehliche III bylo v roce 2013 provedeno poprvé. Molybden byl analyzován pouze v roce 1995 a to extrakčním roztokem podle Grigga.

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

3.7.1 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; Zbírál 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; Zbírál et al., 2011).

3.7.2 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; Zbírál et al., 2011).

Extrakt se použije pro vlastní stanovení obsahu bóru, které se provádí spektrofotometricky azomethinem-H (Analýza půd II, postup 2.2.2; Zbírál 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 Fe^{3+} - EDTA a nadbytek manganistanu se odstraní přidavkem kyseliny askorbové.

3.7.3 Stanovení obsahu Mo extrakčním roztokem AO-OA

Extrakční roztok AO-OA je roztok oxalátu amonného a kyseliny oxalové. Tento extrakční postup byl původně vyvinut pro stanovení aktivních forem železa a hliníku, významných pro fixaci fosforu. Později ho Grigg doporučil i pro stanovení rostlinám přístupného molybdenu. Protože korelace mezi příjmem molybdenu rostlinami a jeho obsahem v AO-OA extraktu nebyla uspokojivá, bylo navrženo využití tzv. molybdenového čísla, které zahrnuje kromě stanoveného obsahu i hodnotu pH, která zásadním způsobem ovlivňuje příjem molybdenu rostlinami. Molybdenové číslo se rovná součtu výměnného pH/KCl a desetinásobku stanoveného obsahu molybdenu po extrakci AO-OA v mg.kg^{-1} . I když pozdější studie prokázaly, že ani zavedení molybdenového čísla neřeší problém velmi špatné korelace s příjmem molybdenu rostlinami, je zde tento extrakční roztok a postup uveden především proto, že komplexní průzkum půd ČR na obsah mikroelementů probíhal právě tímto způsobem s vyjádřením výsledků ve formě molybdenového čísla. Pro praktické využití ve výživě rostlin je podstatně vhodnější využití extrakce půdy vodou za horka (Analýza půd II, postup 2.3; Zbíral et al., 2011).

Vzorek půdy se extrahuje extrakčním roztokem 0,1 M kyseliny oxalové a 0,2 M oxalátu amonného při pH 3,3 (Analýza půd II, postup 2.3.1; Zbíral et al., 2011).

Vlastní stanovení molybdenu se provádí v tomto extraktu metodou plamenové atomové absorpční spektrofotometrie s elektrotermickou atomizací (AAS–ETA) (Analýza půd II, postup 2.3.3; Zbíral et al., 2011). Molybden tvoří s 8-hydroxychinolinem komplex $\text{MoO}_2(\text{C}_9\text{H}_6\text{ON})_2$ při pH 1,6 až 5,6. Tento komplex se extrahuje chloroformem. Pro urychlení tvorby komplexu se přidává nadbytek Fe^{III} a pro odstranění rušení se přidává EDTA. Při extrakci dojde současně k odstranění nejzávažnějších rušivých prvků a k zakoncentrování molybdenu.

3.7.4 Stanovení obsahu B, Cu, Fe, Mn, Zn v extraktu podle Mehlicha III

Extrakční roztok podle Mehlicha III byl původně navržen jako náhrada extrakčního roztoku podle Mehlicha II pro stanovení obsahu přístupných živin P, K, Mg, Ca. Extrakční roztok podle Mehlicha III má na přístrojovou techniku poněkud nižší korozivní účinky než Mehlich II. 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, Zbíral, 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; Zbíral, 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; Zbíral, 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 vyzaření 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).

3.8 Hodnocení půdních dat

Hodnoceny byly obsahy přístupných mikroprvků (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) ve specifických výluzích. Výsledky jsou udávány v mg.kg^{-1} suchého vzorku. U molybdenu je naměřený obsah vyjádřen jednak v mg.kg^{-1} a jednak tzv. molybdenovým číslem (viz. kapitola 3.7.3). Obsah Mo byl stanovován pouze při založení BMP v roce 1992 a v prvním cyklu vzorkování v roce 1995, proto je jeho hodnocení omezené. Hodnocení obsahu mikroelementů ve výluhu podle Mehlicha III není součástí této zprávy.

Obsahy mikroelementů ve specifických výluzích byly v roce 1995, 2001 a 2007 stanoveny ve všech odběrových vrstvách půdy (horizont O = vrchní vrstva kultur, horizont P = spodní vrstva kultur, horizont R = druhá spodní vrstva u TTP). V roce 2013 byly obsahy mikroelementů ve specifických výluzích stanoveny pouze v O horizontech orných půd, sadů, vinic a chmelnic a v O a P horizontech u TTP.

Zpráva hodnotí nejprve rok odběru 2013, tzn. všech 214 monitorovacích ploch ve specifických výluzích. Následuje hodnocení odběrů za uskutečněné čtyři periody odběrů (rok 1995, 2001, 2007 a 2013), kde se soubor zúžil na 177 ploch z důvodu porovnatelnosti. Tento soubor ploch byl ve všech periodách vzorkován, nezměnil kulturu a byl v průběhu sledovaných period prostorově identický jednotlivé plochy nebyly posunuty. V periodách je hodnocen obsah mikroelementů ve specifických výluzích.

Porovnání výsledků BMP bylo provedeno s výsledky třetího podrobného průzkumu orných půd v letech 1986 – 1991 a s dalšími literárními údaji.

Ve zprávě je hodnocení obsahu přístupných mikroelementů řazeno v následující posloupnosti:

1. Popisná statistika obsahu mikroelementů na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 pro všechny plochy bez rozlišení kultur, subsystémů a druhů půd.
2. Popisná statistika obsahu mikroelementů na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 pro jednotlivé kultury bez rozlišení subsystémů a druhů půd.
3. Popisná statistika obsahu mikroelementů na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 rozdělená podle subsystémů bez rozlišení kultur a druhů půd.
4. Popisná statistika obsahu mikroelementů na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 pro jednotlivé kultury, subsystémy a druhy půd.
5. Exploratorní analýza dat – sestavení krabicových diagramů obsahu jednotlivých mikroelementů z roku 2013 pro jednotlivé kultury a jednotlivé subsystémy bez rozlišení druhů půd.
6. Vyhodnocení obsahu jednotlivých mikroelementů z roku 2013 podle kritérií pro obsahy mikroelementů ve specifických výluhovadlech (tabulka 7). Bez rozlišení subsystémů.
7. Mapy obsahu jednotlivých mikroelementů na plochách BMP v roce 2013, specifické výluhy, Mehlich III, intervaly rozpětí.

8. Popisná statistika obsahu jednotlivých mikroelementů na monitorovacích plochách BMP v jednotlivých periodách bez rozlišení kultur, subsystémů a druhů půd.
9. Popisná statistika obsahu jednotlivých mikroelementů na monitorovacích plochách BMP v jednotlivých periodách pro jednotlivé kultury bez rozlišení subsystémů a druhů půd.
10. Popisná statistika obsahu jednotlivých mikroelementů na monitorovacích plochách BMP v jednotlivých periodách rozdělená podle subsystémů bez rozlišení kultur a druhů půd.
11. Vyhodnocení obsahu jednotlivých mikroelementů mezi periodami z hlediska kritérií pro specifické výluhy (tabulka 8). Bez rozlišení subsystémů.
12. Testování průkaznosti rozdílů obsahu jednotlivých mikroelementů mezi periodami.

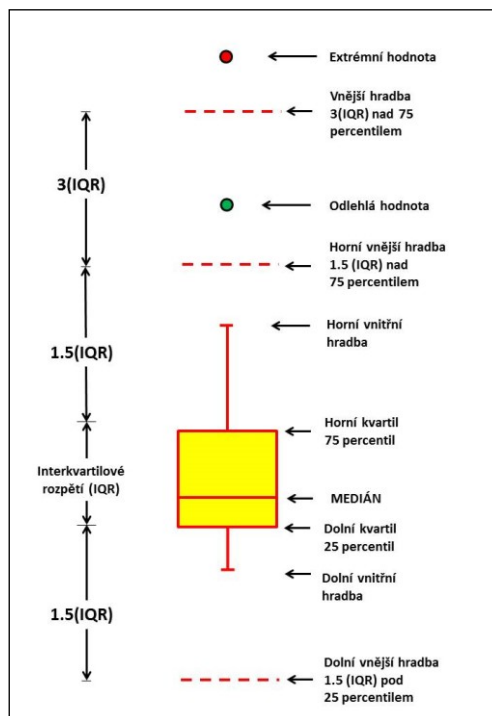
U popisné statistiky byly počítány tyto veličiny: aritmetický průměr; medián; 10., 25., 75. a 90. percentil; vyhledání minima a maxima.

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

Testování bylo provedeno pomocí Kruskal – Wallisovy Anovy a neparametrického testování průkaznosti rozdílů mezi skupinami.

Krabicové (box) diagramy byly sestaveny podle následujícího schématu:

Obrázek 2 *Struktura box diagramu*



4 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 (několik kilogramů na 1 ha) 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.)

4.1 Zdroje mikroelementů v půdě

4.1.1 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 šterky, šterkopísky, 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.

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. 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. Nejnížší 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).

4.1.2 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).

4.2 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).

4.2.1 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).

4.2.2 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).

4.2.3 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).

4.2.4 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 amorfni alumosilikáty (Beneš, 1994).

4.3 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).

5 HISTORICKÝ VÝVOJ SLEDOVÁNÍ OBSAHU MIKROELEMENTŮ V PŮDÁCH ČR

Od roku 1956 se na orných půdách a intenzívně využívaných trvalých travních porostech (TTP) 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-tých 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 vodorozpuštěných formách (Neuberg, 1978b).

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) 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 obhospodařované 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),

příčemž 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 orních 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 7.

Tabulka 7 Kritéria pro hodnocení obsahu stopových prvků v orné půdě (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. Mo_c = 10 x Mo (v mg.kg⁻¹ zeminy)

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

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).

Podle vyhlášky č. 275/1998 Sb. se v současné době provádí v rámci Agrochemického zkoušení zemědělských půd stanovení obsahu stopových živin (mědi, zinku, manganu, železa, bóru a molybdenu) v půdě výběrově podle pěstovaných kultur a to v půdních vzorcích z pozemků chmelnic, vinic, intenzivních sadů a zelinářských ploch. Analýzy jsou prováděny ve specifických vyluzích (podle Bergera – Truoga, podle Lindsaye – Norvella) a nově je zaváděna analýza v extraktu podle Mehlicha III.

6 VÝSLEDKY OBSAHU PŘÍSTUPNÝCH MIKROELEMENTŮ

6.1 Bór

6.1.1 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 ornicích 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. V našich půdách se průměrný obsah B stanoveného v 1N HCl pohybuje v rozmezí 0,4 – 3,0 mg.kg^{-1} . Nejčastěji se vyskytuje jeho deficience 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 horkou vodou) 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).

Náročné na bór jsou cukrovka, krmná řepa, mák řepka, vojtěška, len, salát, jablonoň, hrušeň, bobovité rostliny (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).

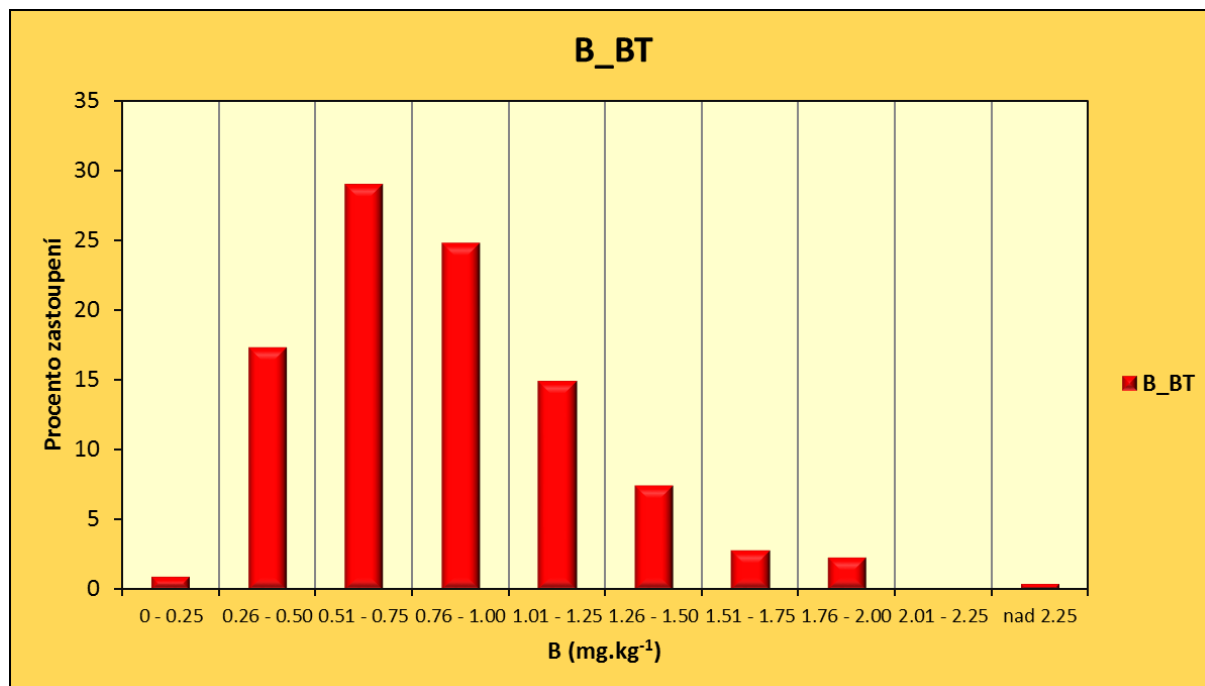
Bórem se hnojí pozemky, které mají nízký obsah bóru v půdě. Je nutné zohledňovat půdní druh. Proto se na lehkých půdách používá dávka okolo 1 kg B.ha^{-1} a u těžších půd až 3 kg B.ha^{-1} ve formě kyseliny borité nebo tetraboritanu sodného (Beneš, 1994).

6.1.2 Hodnocení obsahu přístupného bóru v půdě v roce 2013

Bór v půdách v roce 2013 měl největší zastoupení v rozmezí 0,51 – 0,75 mg.kg^{-1} stanoveného ve výluhu podle Bergera - Truoga. Výsledky za čtvrtý cyklus odběrů BMP v roce 2013 jsou vyjádřeny popisnou statistikou v příloze 1 pro zemědělské půdy celkem (všech 214 ploch dohromady bez rozlišení na subsystemy, kultury a druhy půd). Z výsledků vyplývá průměrná hodnota obsahu bóru 0,85 mg.kg^{-1} pro orniční horizont (O). Výsledky třetího průzkumu orných půd české republiky prováděných v letech 1986 – 1991 (Nerad 1994) ukázaly průměrný obsah bóru 1,14 mg B.kg^{-1} zjištěný metodou stanovení podle Bergera – Truoga

a maximální zjištěnou hodnotu $7,84 \text{ mg B.kg}^{-1}$. Horizont P vykazuje nižší průměrné hodnoty ($0,66 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Graf 1 Procentické zastoupení bóru v podrobnějším členění obsahů v zemědělských půdách na plochách BMP (214 ploch) v roce 2013 bez rozlišení kultur, subsystémů a půdních druhů v orničním horizontu (O). B_BT (podle Bergera - Truoga)



V příloze 2 jsou plochy BMP rozděleny na základní subsystém a subsystém kontaminovaných ploch. Nižší obsah bóru byl zjištěn v základním subsystému oproti kontaminovanému.

Tabulka 8 Popisná statistika obsahu bóru stanoveného metodou podle Bergera - Truoga na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 pro jednotlivé kultury, bez rozlišení subsystémů a půdních druhů

Berger a Truog (mg.kg ⁻¹)										
Kultura	Horizont	Počet	Průměr	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná p.	O	154	0,86	0,16	1,99	0,45	0,59	0,82	1,04	1,42
TTP	O	44	0,73	0,28	1,79	0,40	0,43	0,67	0,95	1,18
	P	44	0,66	0,28	1,67	0,34	0,38	0,52	0,94	1,08
Sady	O	6	0,89	0,68	1,13	0,68	0,74	0,92	0,96	1,13
Vinice	O	5	0,68	0,49	0,82	0,49	0,68	0,70	0,72	0,82
Chmel.	O	5	1,56	1,04	2,74	1,04	1,26	1,31	1,46	2,74

Jednotlivé kultury jsou hodnoceny v tabulce 8. Z tabulky je zřejmé, že nejnižší obsah bóru se v roce 2013 vyskytoval ve vinicích. Dosahoval zde průměrné hodnoty $0,68 \text{ mg.kg}^{-1}$ v horizontu O. Nedostatek B se často vyskytuje v půdách na vápencích nebo převápněných (Beneš, 1994). Nejvyšší průměrná hodnota $1,56 \text{ mg.kg}^{-1}$ byla zjištěna v chmelnicích. Vyšší

obsah než 5 mg.kg^{-1} působí již toxicky. V úvahu přichází v zasolených půdách suchých oblastí aridního klimatu (Beneš, 1994). Takto vysoká hodnota nebyla v roce 2013 zaznamenána na žádné pozorovací ploše.

Příloha 3 hodnotí obsah bóru podle kultury, subsystému a navíc také podle druhu půdy. Pro ornou půdu vyplývá, že obsah bóru byl nižší v lehkých půdách oproti středním a těžkým. Protože nedostatek B se podle Beneše (1994) vyskytuje na lehkých kyselých půdách, jsou i tabulková kritéria pro hodnocení bóru rozdělena podle druhu půdy.

Grafické znázornění statistických hodnot souboru 214 ploch odebíraných v roce 2013 podle subsystémů a jednotlivých kultur je v příloze 10.

Tabulka 9 Procentické zastoupení kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 v jednotlivých kategoriích obsahu bóru v půdě podle Kritérií pro hodnocení obsahu bóru v půdě (Neuberg, 1990). Bez rozlišení subsystémů.

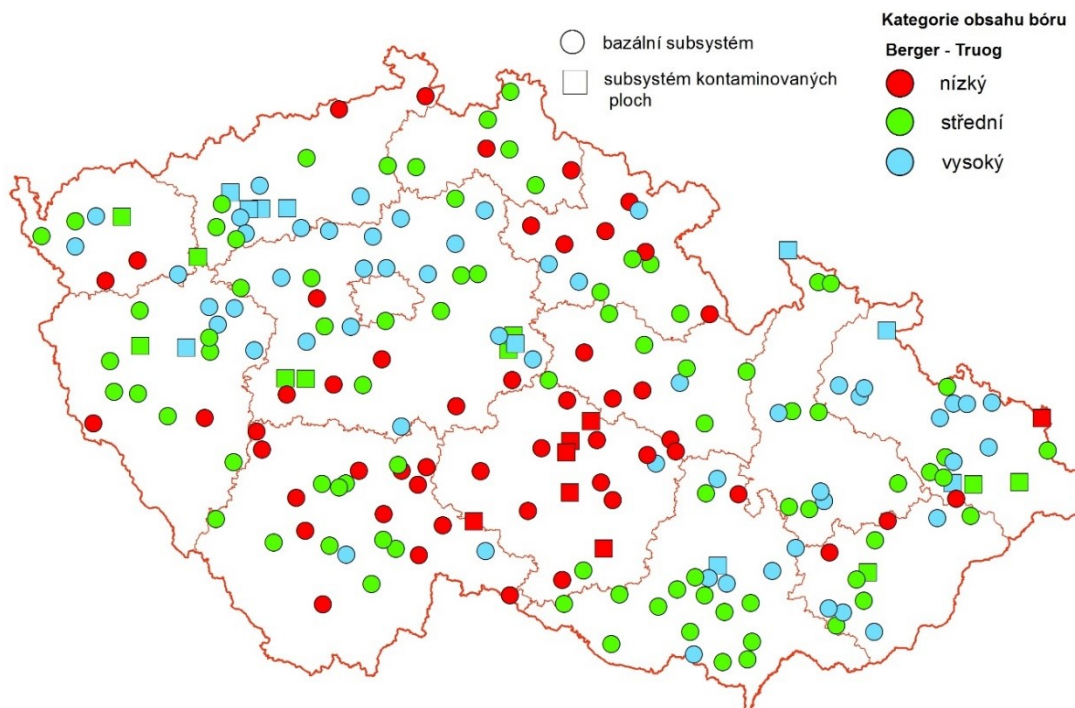
Kultura	Kategorie obsahů		
	Nízký	Střední	Vysoký
Orná půda	26,0	44,8	29,2
TTP	40,9	27,3	31,8
Sady	0,0	83,3	16,7
Vinice	0,0	80,0	20,0
Chmelnice	0,0	20,0	80,0

Pro hodnocení obsahu bóru se používají 3 kategorie (obsah nízký, střední a vysoký), které se odvíjejí od půdního druhu. Kategorie byly vytvořeny pro metodu stanovení podle Bergera - Truoga (tabulka 7). Podle této tabulky bylo vypočítáno procentické zastoupení kultur v jednotlivých kategoriích obsahu bóru z odběrů za rok 2013 (tabulka 9).

Největší procento vzorků se v roce 2013 nalézalo v kategorii „střední“, a to u orné půdy 44,8 % vzorků, u sadů 83,3 % a vinic 80,0 % vzorků. Ovocné plodiny mají vyšší nároky na obsah bóru, je proto pozitivní, že jejich výskyt není situován na půdách s nízkým obsahem bóru. U TTP bylo největší procento vzorků v kategorii obsahu „nízký“, a u chmelnic v kategorii „vysoký“. Nerad (1994) uvádí, že při třetím průzkumu půd byl podíl půd se středním a vysokým obsahem bóru prakticky totožný (střední 39,5 % a vysoký 41,5 %). Nízký obsah byl zjištěn u 19 % půd.

Na obrázku 3 je zobrazeno všech 214 pozorovacích ploch odebíraných v roce 2013 a hodnocených podle kritérií z tabulky 7 (Neuberg, 1990). Z obrázku jsou patrné nízké obsahy bóru v kraji Vysočina, kde i Nerad (1994) ve svém grafu uvádí, 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.

Obrázek 3 **Obsah bóru stanovený metodou Berger – Truog na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 podle kategorií Neuberg, 1990**



6.1.3 Hodnocení obsahu přístupného bóru v půdě za 4 cykly odběrů

Do hodnocení za uplynulé čtyři cykly (1995 – 1. cyklus; 2001 – 2. cyklus; 2007 – 3. cyklus a 2013 – 4. cyklus) bylo zařazeno 177 ploch BMP, které po tuto dobu nezměnily kulturu ani se nepřesunuly. Tento celek se skládá ze 142 orných půd, 21 TTP, 5 sadů, 4 vinic a 5 chmelnic. Obsah bóru byl analyzován ve všech 4 cyklech metodou podle Bergera – Truoga. V roce 1995, 2001 a 2007 byly analýzy provedeny ve všech horizontech (O, P, R). Od 4. cyklu nastala změna a analýzy jsou prováděny v horizontech O u všech kultur, v horizontech P pouze u trvalých travních porostů (21 ploch) a horizont R není analyzován.

Průměrná hodnota obsahu přístupného bóru se v zemědělských půdách v O horizontu v rámci BMP v posledních 18 letech snížila (tabulka 10). S výkyvem v roce 2007. Proto je také statisticky významný rozdíl všech cyklů s rokem 2007 (příloha 33). Pokles mezi 1. a 4. cyklem byl o 0,1 mg B. kg⁻¹ (10 %).

Nižší obsah bóru byl v jednotlivých odebíraných letech v základním subsystému oproti kontaminovanému (příloha 17).

Tabulka 10 *Popisná statistika obsahu bóru na monitorovacích plochách BMP (177 ploch) v letech 1995, 2001, 2007 a 2013 bez rozlišení kultur, subsystémů a půdních druhů, Berger – Truog, mg.kg⁻¹*

O horizont									
Cyklus	Počet	Průměr	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián	0.75 perc.	0.90 perc.
1995	177	0,97	0,09	3,35	0,34	0,52	0,82	1,30	1,81
2001	177	0,96	0,24	2,95	0,47	0,56	0,79	1,25	1,82
2007	177	1,18	0,29	7,37	0,56	0,76	0,94	1,38	1,88
2013	177	0,87	0,16	2,74	0,44	0,59	0,82	1,07	1,42
P horizont									
1995	177	0,77	0,03	2,77	0,21	0,34	0,62	1,00	1,54
2001	177	0,78	0,22	2,74	0,35	0,42	0,63	1,04	1,56
2007	177	1,02	0,12	8,13	0,37	0,63	0,84	1,23	1,72
2013	21	0,64	0,28	1,67	0,34	0,35	0,44	0,91	1,08
R horizont									
1995	21	0,47	0,05	1,58	0,12	0,19	0,36	0,64	1,04
2001	21	0,61	0,29	2,04	0,34	0,37	0,47	0,62	1,04
2007	21	0,77	0,11	1,59	0,27	0,45	0,77	1,07	1,27
2013	21	---	---	---	---	---	---	---	---

Popisná statistika pro jednotlivé kultury bez rozlišení subsystémů je přehledně v příloze 18. Z přílohy vyplývá, že obsah bóru se mezi 1. a 4. odběrovým cyklem snížil u sadů (o 0,20 mg.kg⁻¹) a u chmelnic (o 0,16 mg.kg⁻¹). U vinic se naopak ve 4. cyklu obsah oproti 1. cyklu zvýšil (o 0,31 mg.kg⁻¹). Snížení ani zvýšení však není statisticky významné (příloha 33). U trvalých travních porostů byl stav prakticky neměnný, s výkyvem v roce 2007, který není statisticky významný. Výkyv v roce 2007 byl významný v případě porovnávání všech 177 ploch jako celku a pak byl významný u orných půd. Možnou příčinou zjištěného vyššího průměru obsahu bóru v roce 2007 může být jeho vysoký obsah na pozorovací ploše 6007B, která je ornou půdou a v roce 2007 zde byl naměřen průměrný obsahy přístupného bóru 7,37 mg.kg⁻¹. Důvodem takto vysokého obsahu může být pravidelné pěstování cukrové řepy na této ploše, která je patrně přihnojována bórem v dávce větší než je optimální. Další dvě pozorovací plochy (6006B - orná a 6005B - TTP) měly rovněž obsahy nad 5 mg B.kg⁻¹. Obsah vyšší než 5 mg B.kg⁻¹ řadí Beneš (1994) mezi obsahy toxické pro rostliny.

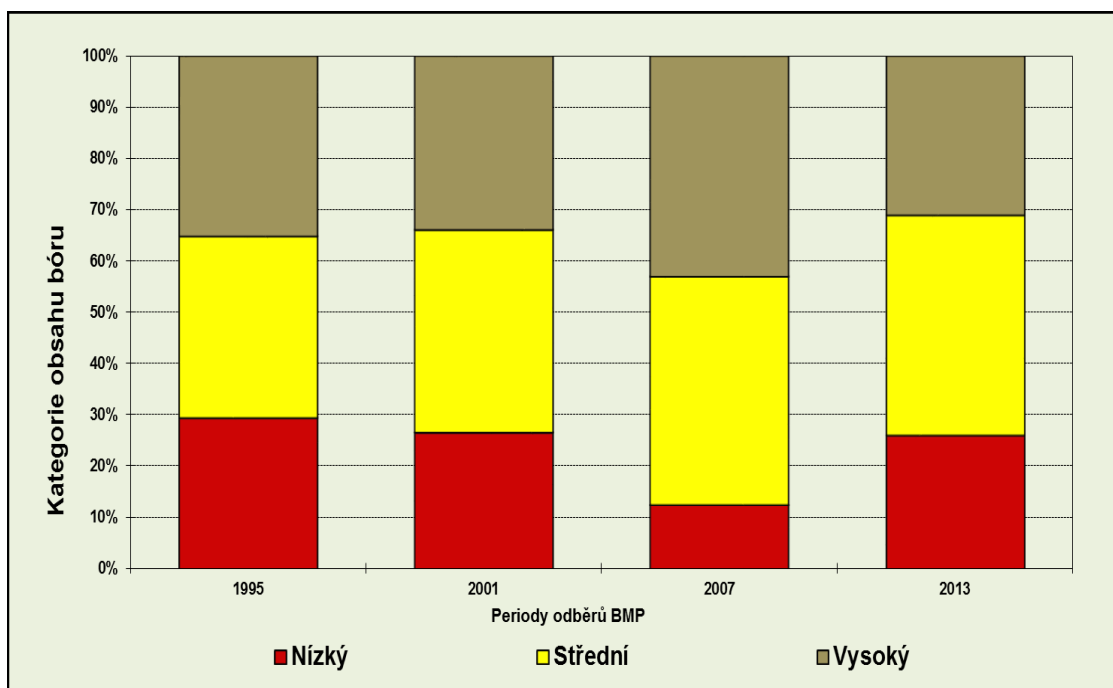
Příloha 23 hodnotí obsah bóru podle kultur i podle subsystémů.

V grafu 2 je zobrazen vývoj obsahu bóru na plochách BMP podle kritérií pro hodnocení obsahu bóru v půdě (Neuberg, 1990). Nejvíce zastoupenou kategorií ve všech sledovaných letech je kategorie „střední“. Tato kategorie zaujímá 36 % (rok 1995) až 43 % (rok 2013) ze všech kategorií. Kategorie „vysoký“ obsah je procenticky lehce nad kategorií „nízký“ obsah.

Příloha 28 hodnotí podle kritérií jednotlivé kultury v odběrových letech. Z hodnocení vyplývá, že nejvíce zastoupenou kategorií ve všech letech u všech kultur (kromě chmelnic) byla kategorie „střední“ obsah ($0,40 - 1,50 \text{ mg B.kg}^{-1}$).

Na mapě v příloze 38 je zobrazen vývoj obsahů bóru na 177 pozorovacích plochách hodnocených v jednotlivých periodách.

Graf 2 *Procentické zastoupení monitorovacích ploch BMP (177 ploch) v letech 1995, 2001, 2007 a 2013 v jednotlivých kategoriích obsahu bóru podle Kritérií pro hodnocení obsahu bóru v půdě (Neuberg, 1990). Bez rozlišení subsystemů.*



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

2013

- Bór v půdách měl největší zastoupení v rozmezí $0,51 - 0,75 \text{ mg.kg}^{-1}$ metodou podle Bergera - Truoga. Průměrná hodnota byla $0,85 \text{ mg.kg}^{-1}$.
- Nejnížší obsah bóru se vyskytoval ve vinicích. Dosahoval zde průměrné hodnoty $0,68 \text{ mg.kg}^{-1}$ v horizontu O. Nejvyšší průměrná hodnota $1,56 \text{ mg.kg}^{-1}$ byla zjištěna v chmelnicích.
- Největší procento vzorků se nalézalo v kategorii „střední“. U TTP bylo největší procento vzorků v kategorii obsahu „nízký“, u chmelnic v kategorii „vysoký“.

1995 – 2013

- Průměrná hodnota obsahu přístupného bóru se v zemědělských půdách v O horizontu v rámci BMP v posledních 18 letech snížila. Pokles mezi 1. a 4. cyklem činí $0,1 \text{ mg B. kg}^{-1}$ (10 %).
- Nejvíce zastoupenou kategorií ve všech sledovaných letech byla kategorie obsahu „střední“.

6.2 Měď

6.2.1 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 ornicích 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. V našich půdách se průměrný obsah mědi stanovené v 1N HCl pohybuje v rozmezí 2,0 – 10,0 mg.kg⁻¹ (Neuberg, 1978a).

Nedostatek Cu je nejčastější na lehkých podzolových půdách, v oblastech s vysokými srážkami, na půdách rendzin, na vápnitých sedimentech, ale také na půdách přehnojených dusíkem, fosforem, zinkem a při převápnění. Vysoké obsahy Cu v půdě jsou také 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.

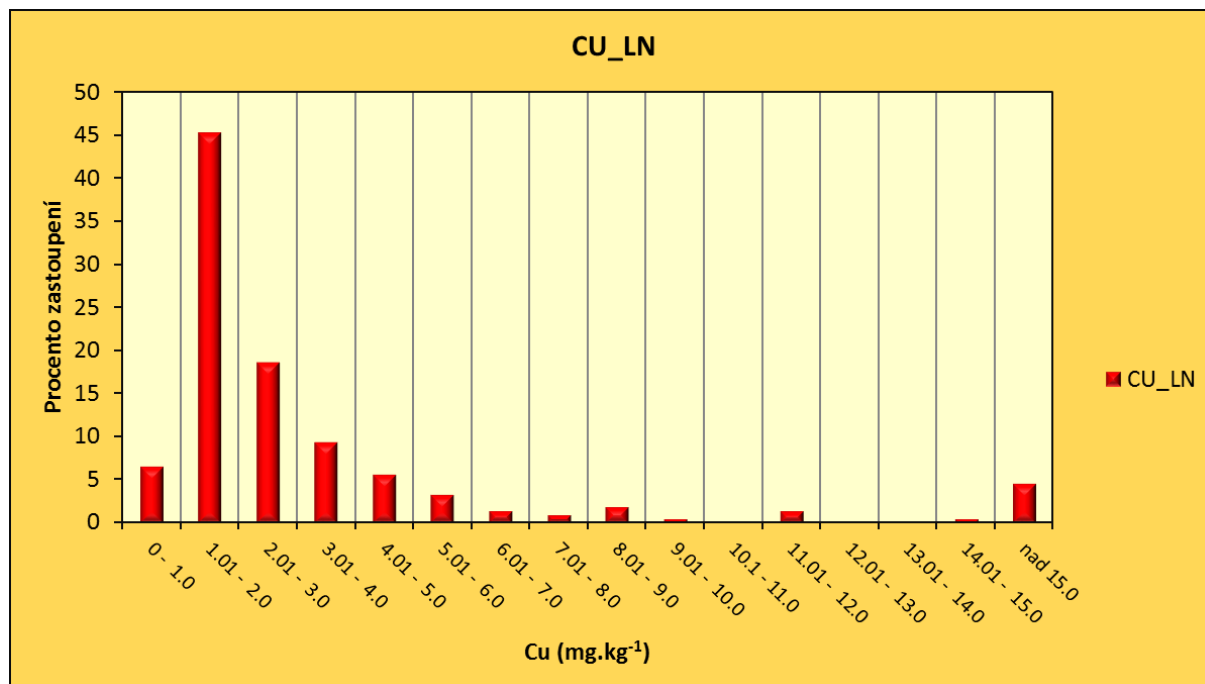
Vyšší nároky na Cu mají obiloviny, dále ovocné stromy a špenát. Mědi se hnojí půdy s nízkým obsahem, přičemž kladný účinek lze očekávat až do obsahu přístupné mědi 10 mg.kg⁻¹ půdy. Dávky se pohybují podle půdy do 20 kg Cu.ha⁻¹, nejčastěji ve formě síranu měďnatého (Beneš, 1994).

6.2.2 Hodnocení obsahu přístupné mědi v půdě v roce 2013

Měď v půdách v roce 2013 měla největší zastoupení v rozmezí 1,01 – 2,0 mg Cu.kg⁻¹ metodou stanovení ve výluhu podle Lindsaye - Norvella (graf 3).

Výsledky za čtvrtý cyklus odběrů BMP v roce 2013 jsou vyjádřeny popisnou statistikou v příloze 1 pro zemědělské půdy celkem (všech 214 ploch dohromady bez rozlišení na subsystémy, kultury a druhy půd). Z výsledků vyplývá průměrná hodnota obsahu mědi 3,94 mg.kg⁻¹ pro orniční horizont (O). Výsledky třetího průzkumu orných půd české republiky prováděných v letech 1986 – 1991 (Nerad 1994) ukázaly průměrný obsah mědi 2,06 mg Cu.kg⁻¹ a maximální zjištěnou hodnotu 66,6 mg Cu.kg⁻¹. Dále Nerad (1994) uvádí, že 50 % výsledků se pohybovalo v rozmezí obsahů 1,14 – 2,62 mg Cu.kg⁻¹ (podle Lindsaye – Norvella), což potvrzují i naše výsledky. Horizont P vykazuje nižší průměrné hodnoty (2,73 mg.kg⁻¹). V zemědělsky obhospodařovaných půdách slovenské republiky se obsah mědi pohyboval v rozpětí 0,58 – 4,5 mg.kg⁻¹ (Lindsay – Norvell) (Kobza et al., 2014). V půdách BMP se rozpětí obsahů mědi pro orniční horizont pohybovalo od 0,57 do 48,7 mg Cu.kg⁻¹. Nejvyšší hodnota byla naměřena na ploše 5902K, která je ze subsystému kontaminovaných ploch, chmelnice, v okrese Louny.

Graf 3 Procentické zastoupení mědi v podrobnějším členění obsahů v zemědělských půdách na plochách BMP (214 ploch) v roce 2013 bez rozlišení kultur, subsystémů a půdních druhů v orničním horizontu (O). CU_LN (podle Lindsaye - Norvella)



V příloze 2 jsou plochy BMP rozděleny na základní subsystém a subsystém kontaminovaných ploch. Nižší obsah mědi byl v základním subsystému oproti kontaminovanému

Jednotlivé kultury jsou hodnoceny v tabulce 11. Nejnížší obsah mědi se v O horizontu roce 2013 vyskytoval na TTP. Dosahoval zde průměrné hodnoty 2,96 mg.kg⁻¹ v horizontu O. Nejvyšší průměrná hodnota 27,1 mg.kg⁻¹ byla zjištěna ve vzorku z chmelnice.

Tabulka 11 Popisná statistika obsahu mědi stanovené metodou podle Lindsaye - Norvella na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 pro jednotlivé kultury, bez rozlišení subsystémů a půdních druhů

Lindsay - Norvell (mg.kg ⁻¹)										
Kultura	Horizont	Počet	Průměr	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná p.	O	154	3,34	0,60	43,2	1,09	1,45	1,89	2,77	4,94
TTP	O	44	2,96	0,57	14,7	1,03	1,33	2,15	3,63	5,41
	P	44	2,73	0,49	12,4	0,86	1,11	1,87	3,81	5,13
Sady	O	6	3,87	1,52	11,8	1,52	1,66	2,15	3,97	11,8
Vinice	O	5	8,13	6,78	9,92	6,78	7,07	8,12	8,75	9,92
Chmel.	O	5	27,1	17,1	48,7	17,1	19,1	20,5	29,9	48,7

Příloha 4 hodnotí obsah mědi podle kultury, subsystému a navíc také podle druhu půdy. Největší podíl ploch BMP je na orné půdě. Tyto půdy se tak vyskytují v obou subsystémech i na všech druzích půd. Pro ornou půdu vyplývá, že obsah mědi byl nižší v lehkých půdách oproti středním a těžkým (medián).

Grafické znázornění statistických hodnot souboru 214 ploch odebíraných v roce 2013 podle subsystémů a jednotlivých kultur je v příloze 11.

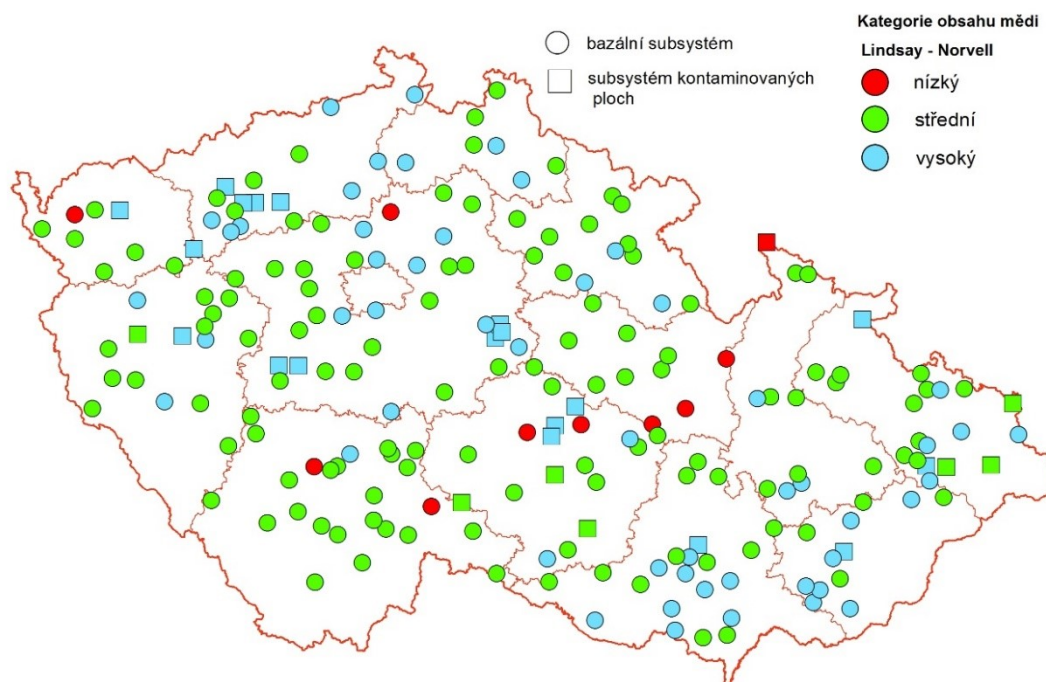
Pro hodnocení obsahu mědi se používají 3 kategorie (obsah nízký, střední a vysoký), které se na rozdíl od bóru a molybdenu neodvíjejí od půdního druhu. Kategorie byly vytvořeny pro metodu stanovení podle Lindsay - Norvella (tabulka 7). Podle této tabulky bylo vypočítáno procentické zastoupení kultur v jednotlivých kategoriích obsahu mědi z odběrů za rok 2013 (tabulka 12).

Tabulka 12 Procentické zastoupení kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 v jednotlivých kategoriích obsahu mědi podle Kritérií pro hodnocení obsahu mědi v půdě (Neuberg, 1990). Bez rozlišení subsystémů.

Kultura	Kategorie obsahů		
	Nízký	Střední	Vysoký
Orná půda	3,9	70,1	26,0
TTP	9,1	47,7	43,2
Sady	0,0	66,7	33,3
Vínice	0,0	0,0	100,0
Chmelnice	0,0	0,0	100,0

Největší procento vzorků se v roce 2013 nalézalo v kategorii „střední“, a to u orné půdy 70,1 %, u sadů 66,7 % a u TTP 47,7 % vzorků. Kategorie obsahu „vysoký“ byla 100 % vzorků obsazena vinicemi a chmelnicemi. Tato zjištění potvrzují, že vysoké obsahy Cu v půdě jsou u těchto kultur časté, protože zde bývá v ochraně rostlin dlouhodobě používáno měďnatých přípravků (Beneš, 1994). Nerad (1994) uvádí, že při třetím průzkumu půd měla převážná většina prozkoušené orné půdy střední obsah Cu (83,3 % půdy), což potvrzují i naše výsledky.

Obrázek 4 *Obsah mědi stanovený metodou Lindsay - Norvell na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 podle kategorií Neuberg, 1990*



Na obrázku 4 je zobrazeno všech 214 pozorovacích ploch odebíraných v roce 2013 a hodnocených podle kritérií z tabulky 7 (Neuberg, 1990).

6.2.3 Hodnocení obsahu přístupné mědi v půdě za 4 cykly odběrů

Do hodnocení za uplynulé čtyři cykly (1995 – 1. cyklus; 2001 – 2. cyklus; 2007 – 3. cyklus a 2013 – 4. cyklus) bylo zařazeno 177 ploch BMP, které po tuto dobu nezměnily kulturu ani se nepřesunuly. Tento celek se skládá ze 142 orných půd, 21 TTP, 5 sadů, 4 vinic a 5 chmelnic. Obsah mědi byl analyzován ve všech 4 cyklech metodou podle Lindsay - Norvella. V roce 1995, 2001 a 2007 byly analýzy provedeny ve všech horizontech (O, P, R). Od 4. cyklu nastala změna a analýzy jsou prováděny v horizontech O u všech kultur, v horizontech P pouze u trvalých travních porostů (21 ploch) a horizont R není analyzován.

Průměrná hodnota obsahu přístupné mědi se v zemědělských půdách v O horizontu v rámci BMP v posledních 18 letech mírně zvyšovala (tabulka 13). S výkyvem (zvýšením) v roce 2001 Navýšení mezi 1. a 4. cyklem bylo o $0,26 \text{ mg Cu. kg}^{-1}$ (7,3 %), které je však statisticky neprůkazné (příloha 34).

Nižší obsah mědi byl v jednotlivých odebíraných letech v základním subsystému oproti kontaminovanému (příloha 17).

Popisná statistika pro jednotlivé kultury bez rozlišení subsystémů je přehledně v příloze 19. Z přílohy vyplývá, že obsah mědi se mezi 1. a 4. odběrovým cyklem udržoval na stejné úrovni u orných půd, zvýšil se u TTP (o $0,54 \text{ mg.kg}^{-1}$) a snížil se u sadů (o $0,23 \text{ mg.kg}^{-1}$). Patrné navýšení nastalo u vinic (o $2,26 \text{ mg.kg}^{-1}$) a chmelnic (o $4,17 \text{ mg.kg}^{-1}$). Toto snížení

i zvýšení však není statisticky významné (příloha 34). U orných půd byl stav prakticky neměnný, s výkyvem v roce 2001, který není statisticky významný v porovnání s rokem 2013.

Tabulka 13 Popisná statistika obsahu mědi na monitorovacích plochách BMP (177 ploch) v roce 1995, 2001, 2007 a 2013 bez rozlišení kultur, subsystémů a půdních druhů; Lindsay - Norvell; mg.kg⁻¹)

O horizont									
Cyklus	Počet	Průměr	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián	0.75 perc.	0.90 perc.
1995	177	3,57	0,30	44,9	0,95	1,30	1,91	2,95	6,04
2001	177	4,12	0,71	53,8	1,36	1,61	2,18	3,09	6,78
2007	177	3,67	0,44	58,7	1,01	1,40	1,94	3,10	6,75
2013	177	3,83	0,72	48,7	1,11	1,48	1,96	3,24	7,03
P horizont									
1995	177	2,70	0,24	44,9	0,56	0,83	1,24	2,23	5,08
2001	177	2,89	0,41	47,6	0,93	1,15	1,53	2,50	5,30
2007	177	2,70	0,23	44,4	0,58	0,95	1,49	2,44	5,41
2013	21	3,50	0,49	12,4	0,97	1,48	2,68	3,94	8,38
R horizont									
1995	21	2,89	0,37	15,9	0,63	0,90	1,70	3,22	6,51
2001	21	3,53	0,81	17,1	1,02	1,59	2,55	3,54	6,16
2007	21	2,59	0,59	10,7	0,69	0,91	1,50	3,11	5,79
2013	21	---	---	---	---	---	---	---	---

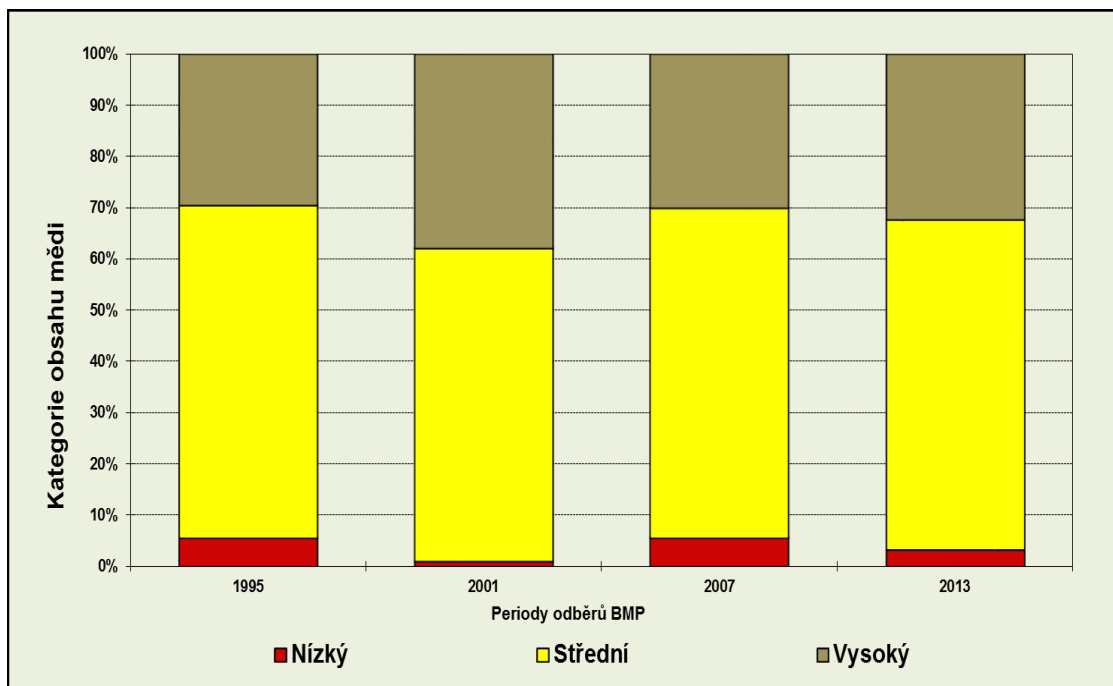
Příloha 24 hodnotí obsah mědi podle kultur i podle subsystémů.

V grafu 4 je zobrazen vývoj obsahu mědi na plochách BMP podle kritérií pro hodnocení obsahu mědi v půdě (Neuberg, 1990). Nejvíce zastoupenou kategorií ve všech sledovaných letech je stejně jako v případě bóru kategorie „střední“. Tato kategorie zaujímá 65 % (rok 1995) až 64 % (rok 2013) ze všech kategorií. Kategorie „vysoký“ obsah zaujímá 29 % (rok 1995) až 32 % (rok 2013).

Příloha 29 hodnotí podle kritérií jednotlivé kultury v odběrových letech. Z hodnocení vyplývá, že u kultur byla nejvíce zastoupena kategorie „střední“ a „vysoký“ obsah mědi (0,80 – 2,70 mg Cu.kg⁻¹).

Na mapě v příloze 39 je zobrazen vývoj obsahů mědi na 177 pozorovacích plochách hodnocených v jednotlivých periodách.

Graf 4 Procentické zastoupení monitorovacích ploch BMP (177 ploch) v letech 1995, 2001, 2007 a 2013 v jednotlivých kategoriích obsahu mědi podle Kritérií pro hodnocení obsahu mědi v půdě (Neuberg, 1990). Bez rozlišení subsystémů.



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

2013

- Měď měla největší zastoupení v rozmezí 1,01 – 2,0 mg Cu.kg⁻¹ metodou podle Lindsaye – Norvella. Průměrná hodnota byla 3,94 mg.kg⁻¹.
- Nejnižší průměrný obsah mědi se vyskytoval na TTP. Dosahoval zde hodnoty 2,96 mg.kg⁻¹. Nejvyšší průměrnou hodnotu měly chmelnice 27,1 mg.kg⁻¹.
- Největší procento vzorků se nalézalo v kategorii „střední“, a to u orné půdy 70,1 %, u sadů 66,7 % a u TTP 47,7 % vzorků. Kategorie obsahu „vysoký“ byla 100 % vzorků obsazena vinicemi a chmelnicemi.

1995 – 2013

- Průměrná hodnota obsahu přístupné mědi se v zemědělských půdách v O horizontu v rámci BMP v posledních 18 letech mírně zvyšovala. Navýšení mezi 1. a 4. cyklem bylo o 0,26 mg Cu. kg⁻¹ (7,3 %)
- Nejvíce zastoupenou kategorií ve všech letech u všech kultur byla kategorie „vysoký“ a „střední“ obsah mědi.

6.3 Železo

6.3.1 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. 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 vyskytuje u nás 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.

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 dáváme přednost kyselé působícím hnojivům, zesilujeme hnojení organickými hnojivy a Fe hnojíme mimokořenově. Vhodným hnojivem je fytovit (Beneš, 1994).

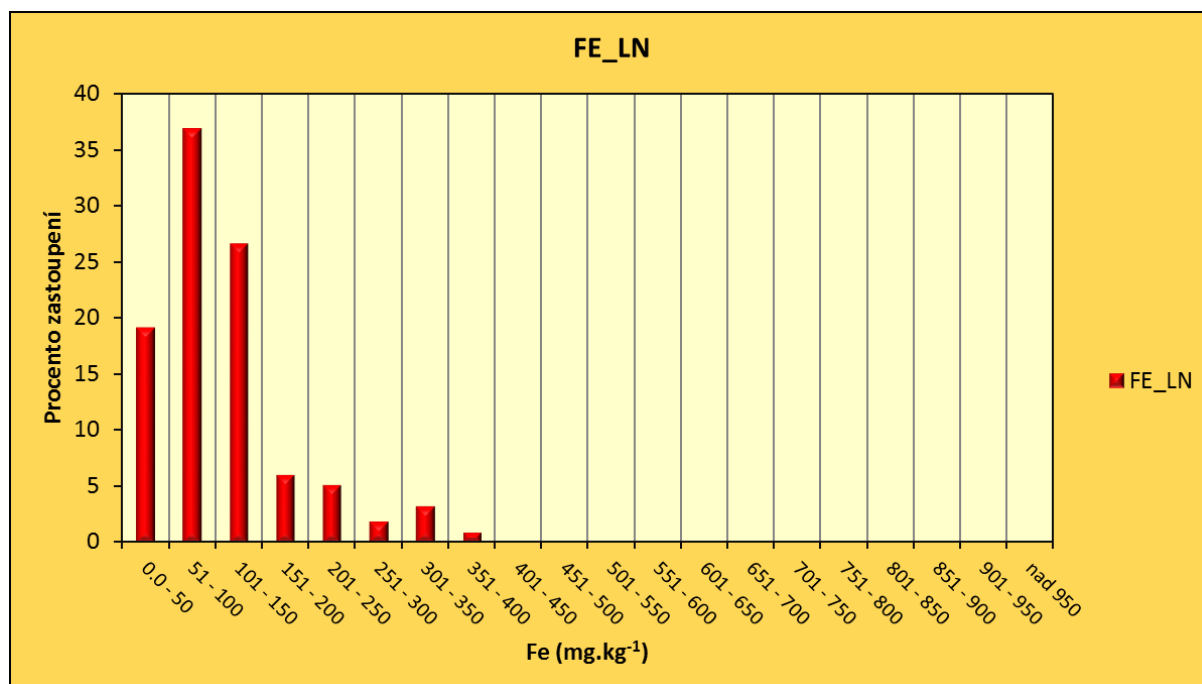
6.3.2 Hodnocení obsahu přístupného železa v půdě v roce 2013

Železo v půdách v roce 2013 mělo největší zastoupení v rozmezí 51 – 100 mg $\text{Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ metodou podle Lindsay - Norvella (graf 5). Výsledky za čtvrtý cyklus odběrů BMP v roce 2013 jsou vyjádřeny popisnou statistikou v příloze 1 pro zemědělské půdy celkem (všech 214 ploch dohromady bez rozlišení na subsystémy, kultury a druhy půd). Z výsledků vyplývá průměrná hodnota obsahu železa 109 mg kg^{-1} pro orniční horizont (O). Horizont P vykazuje vyšší průměrnou hodnotu než je v orničním horizontu.

V příloze 2 jsou plochy BMP rozděleny na základní subsystém a subsystém kontaminovaných ploch. Vyrovnané jsou obsahy železa v obou subsystémech.

Jednotlivé kultury jsou hodnoceny v tabulce 14. Nejnížší obsah železa se v roce 2013 vyskytoval na vinicích. Dosahoval zde průměrné hodnoty 41,2 mg kg^{-1} v horizontu O.

Graf 5 Procentické zastoupení železa v podrobnějším členění obsahů v zemědělských půdách na plochách BMP (214 ploch) v roce 2013 bez rozlišení kultur, subsystémů a půdních druhů v orničním horizontu (O). Fe_LN (podle Lindsaye - Norvella)



Pěstování vinné révy je situováno do oblastí, které jsou charakteristické alkalickými a karbonátovými půdami, kde se projevuje nedostatek přístupného Fe (Beneš, 1994). Rozpustnost sloučenin Fe je značně závislá na pH a s přibývajícím alkalitou se značně snižuje rozpustnost a tím i přijatelnost Fe, což platí pro vinice, kde je alkalická půdní reakce a velmi vysoký obsah vápníku (viz. závěrečná zpráva Bazální monitoring půd – půdní reakce a obsah živin, Prášková, 2016). Druhý nejnížší obsah železa byl zjištěn na chmelnicích; důvodem nižšího obsahu železa zde může být nadbytek Cu. Měď působí konkurenčně tím, že vytváří cheláty a omezuje tvorbu chelátů Fe (Beneš, 1994). Nejvyšší průměrná hodnota byla zjištěna na TTP (169 mg.kg⁻¹).

Tabulka 14 Popisná statistika obsahu železa stanovovaného metodou podle Lindsaye - Norvella na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 pro jednotlivé kultury, bez rozlišení subsystémů a půdních druhů

Lindsay - Norvell (mg.kg ⁻¹)										
Kultura	Horizont	Počet	Průměr	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná p.	O	154	96,1	15,0	358	38,0	56,0	84,9	111	171
TTP	O	44	169	25,4	365	95,8	115	141	219	327
	P	44	129	28,6	303	70,8	81,6	114	166	207
Sady	O	6	107	10,7	309	10,7	41,3	79,2	123	309
Vinice	O	5	41,2	16,9	117	16,9	17,6	23,6	30,9	117
Chmel.	O	5	51,6	36,5	63,83	36,5	48,6	51,8	57,3	63,8

Příloha 5 hodnotí obsah železa podle kultury, subsystému a navíc také podle druhu půdy. Největší podíl ploch BMP je na orné půdě. Tyto půdy se tak vyskytují v obou subsystémech i na všech druzích půd. Pro ornou půdu vyplývá, že obsah mědi byl vyšší ve středních a těžkých půdách. Nicméně mezi druhy půd nebyly v obsahu železa velké rozdíly.

Grafické znázornění statistických hodnot souboru 214 ploch odebíraných v roce 2013 podle subsystémů a jednotlivých kultur je v příloze 17.

Pro hodnocení obsahu železa se používají 3 kategorie (obsah nízký, střední a vysoký), které se na rozdíl od bóru a molybdenu neodvíjejí od půdního druhu. Kategorie byly vytvořeny pro metodu stanovení podle Lindsaye - Norvella (tabulka 7). Podle této tabulky bylo vypočítáno procentické zastoupení kultur v jednotlivých kategoriích obsahu železa z odběrů za rok 2013 (tabulka 15).

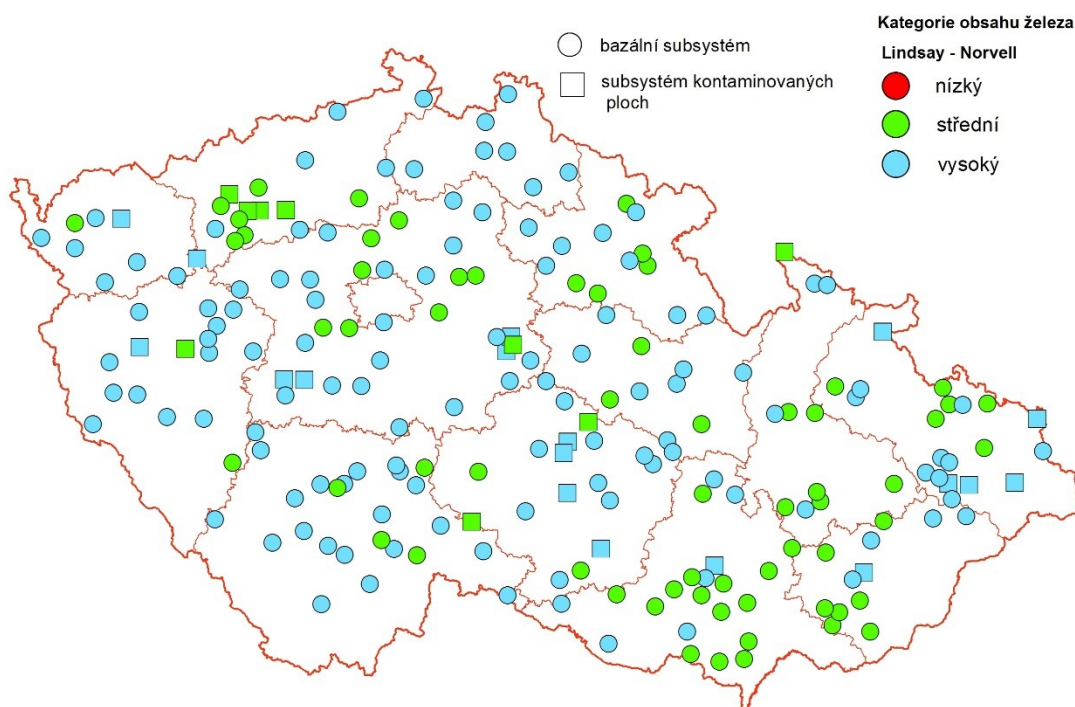
Tabulka 15 Procentické zastoupení kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 v jednotlivých kategoriích obsahu železa v půdě podle Kritérií pro hodnocení obsahu železa v půdě (Neuberg, 1990). Bez rozlišení subsystémů.

Kultura	Kategorie obsahů		
	Nízký	Střední	Vysoký
Orná půda	0,0	38,3	61,7
TTP	0,0	4,5	95,5
Sady	0,0	50,0	50,0
Vinice	0,0	80,0	20,0
Chmelnice	0,0	100,0	0,0

U orných půd a TTP se největší procento vzorků v roce 2013 nalézalo v kategorii „vysoký“, a to u orné půdy 61,7 % a u TTP dokonce 95,5 %. Pro TTP je charakteristické nižší pH, a platí tvrzení Beneše (1994), že v kyselých půdách je Fe více přístupné pro rostliny. Sady se nalézaly polovinou vzorků v kategorii „střední“ a polovinou v kategorii „vysoký“. Vinice a chmelnice byly v kategorii „střední“. Nerad (1994) obsah železa nekomentuje, protože se ve třetím průzkumu půd Fe nestanovovalo. Pravděpodobným důvodem bylo, že v půdách je jeho přirozený obsah v přístupné formě kromě extrémních stanovišť vysoký.

Na obrázku 5 je zobrazeno všech 214 pozorovacích ploch odebíraných v roce 2013 a hodnocených podle kritérií z tabulky 7 (Neuberg, 1990).

Obrázek 5 *Obsah železa stanovený metodou Lindsay – Norvell na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 podle kategorií Neuberg, 1990*



6.3.3 Hodnocení obsahu přístupného železa v půdě za 4 cykly odběrů

Do hodnocení za uplynulé čtyři cykly (1995 – 1. cyklus; 2001 – 2. cyklus; 2007 – 3. cyklus a 2013 – 4. cyklus) bylo zařazeno 177 ploch BMP, které po tuto dobu nezměnily kulturu ani se nepřesunuly. Tento celek se skládá ze 142 orných půd, 21 TTP, 5 sadů, 4 vinic a 5 chmelnic. Obsah mědi byl analyzován ve všech 4 cyklech metodou podle Lindsay - Norvella. V roce 1995, 2001 a 2007 byly analýzy provedeny ve všech horizontech (O, P, R). Od 4. cyklu nastala změna a analýzy jsou prováděny v horizontech O u všech kultur, v horizontech P pouze u trvalých travních porostů (21 ploch) a horizont R není analyzován.

Průměrná hodnota obsahu přístupného železa se v zemědělských půdách v O horizontu v rámci BMP v posledních 18 letech zvyšovala (tabulka 16). S výkyvem v roce 2001. Proto je také statisticky významný rozdíl cyklů s rokem 2001 (příloha 35) Navýšení mezi 1. a 4. cyklem bylo výrazné a statisticky velmi významné o 34 mg Fe. kg⁻¹ (47,6 %). Nárůst v podorníci byl ještě markantnější. Příčinou může být okyselování půd, kdy se v posledních 18 letech na půdách Bazálního monitoringu půd snížilo výměnné pH z průměrných 6,5 na 6,2 v O horizontu a z průměrných 6,3 na 6,2 v P horizontu (viz. závěrečná zpráva Bazální monitoring půd – půdní reakce a obsah živin, Prášková, 2016). Může tak docházet k větší mobilitě železa, protože jak uvádí Beneš (1994) rozpustnost sloučenin Fe je značně závislá na pH.

Tabulka 16 *Popisná statistika obsahu železa na monitorovacích plochách BMP (177 ploch) v roce 1995, 2001, 2007 a 2013 bez rozlišení kultur, subsystémů a půdních druhů; Lindsay - Norvell; mg.kg⁻¹*

O horizont									
Cyklus	Počet	Průměr	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián	0.75 perc.	0.90 perc.
1995	177	71,43	4,30	320	21,9	35,9	58,3	92,2	145
2001	177	112	15,7	473	30,5	51,8	89,3	145	230
2007	177	88,0	11,1	411	29,8	44,6	70,1	108	165
2013	177	105	10,7	365	35,9	53,9	87,5	123	207
P horizont									
1995	177	55,8	3,43	236	15,2	24,3	40,0	65,3	124
2001	177	85,1	14,6	404	22,6	36,1	58,3	113	172
2007	177	68,9	10,4	311	22,4	32,1	53,0	85,9	134
2013	21	145	58,1	303	79,9	89,8	134	177	251
R horizont									
1995	21	82,7	25,6	261	30,3	47,0	70,9	98,9	140
2001	21	149	45,6	372	67,1	92,9	130	187	252
2007	21	106	40,2	285	48,2	61,2	73,8	141	197
2013	21	---	---	---	---	---	---	---	---

Obsah železa byl v jednotlivých odebíraných letech v základním a kontaminovaném subsystému vyrovnaný (příloha 17).

Popisná statistika pro jednotlivé kultury bez rozlišení subsystémů je přehledně v příloze 20. Z přílohy vyplývá, že obsah železa se mezi 1. a 4. odběrovým cyklem zvyšoval u všech kultur. Statisticky velmi významné navýšení bylo shledáno u orné půdy a TTP v O horizontu (příloha 35). Největší průměrné navýšení obsahu železa bylo zaznamenáno u sadů (o 58,8 mg.kg⁻¹), ale zvýšení nebylo statisticky průkazné.

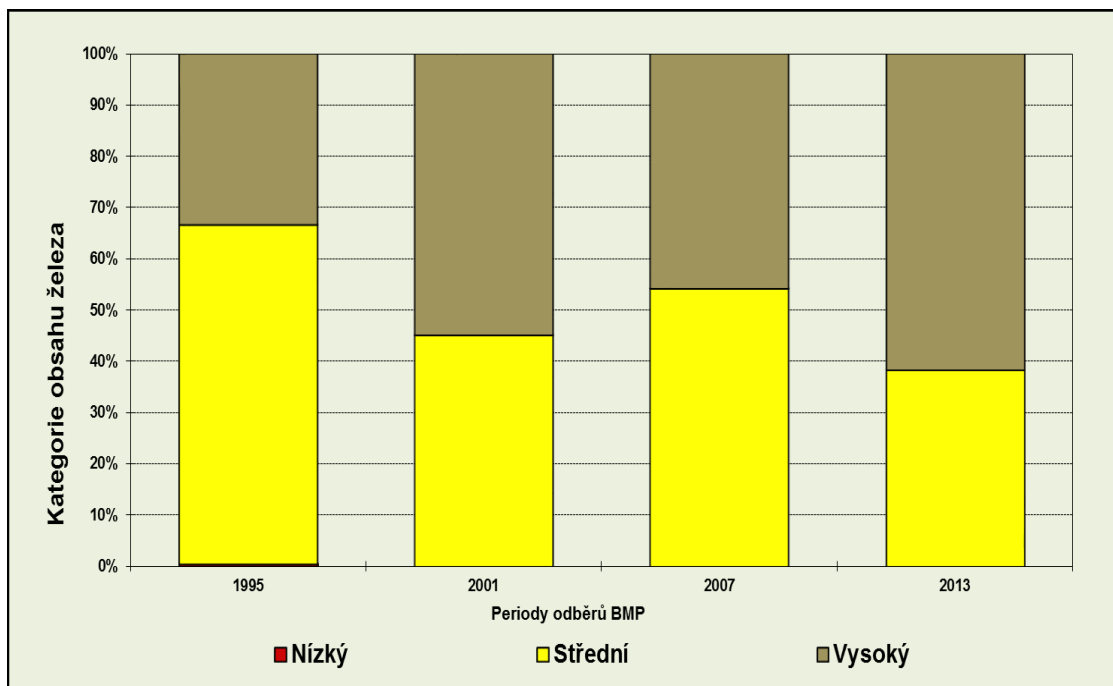
Příloha 25 hodnotí obsah železa podle kultur i podle subsystémů.

V grafu 6 je zobrazen vývoj obsahu železa na plochách BMP podle kritérií pro hodnocení obsahu železa v půdě (Neuberg, 1990). Ve všech sledovaných letech jsou zastoupenými kategoriemi „střední“ a „vysoká“. V kategorii „nízká“ se nevyskytoval za celé 4 periody (kromě roku 1995) žádný vzorek. Kategorie „střední“ zaujímala 66 % (rok 1995) až 38 % (rok 2013) a kategorie „vysoká“ obsah zaujímala 33 % (rok 1995) až 62 % (rok 2013).

Příloha 30 hodnotí podle kritérií jednotlivé kultury v odběrových letech. Z hodnocení vyplývá, že zastoupenými kategoriemi ve všech letech u všech kultur byly kategorie „střední“ obsah železa (8 – 75 mg Fe.kg⁻¹) a „vysoká“ (nad 75 mg Fe.kg⁻¹).

Na mapě v příloze 40 je zobrazen vývoj obsahů mědi na 177 pozorovacích plochách hodnocených v jednotlivých periodách.

Graf 6 Procentické zastoupení monitorovacích ploch BMP (177 ploch) v letech 1995, 2001, 2007 a 2013 v jednotlivých kategoriích obsahu železa podle Kritérií pro hodnocení obsahu železa v půdě (Neuberg, 1990). Bez rozlišení subsystémů.



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

2013

- Železo v půdách mělo největší zastoupení v rozmezí 51 – 100 mg Fe.kg⁻¹ metodou podle Lindsaye – Norvella. Průměrná hodnota byla 109 mg.kg⁻¹.
- Nejnižší obsah železa se vyskytoval na vinicích. Dosahoval zde průměrné hodnoty 41,2 mg.kg⁻¹. Nejvyšší průměrná hodnota byla zjištěna na TTP (169 mg.kg⁻¹).
- U orných půd a TTP se největší procento vzorků nalézalo v kategorii „vysoký“, a to u orné půdy 61,7 % a u TTP 95,5 %.

1995 – 2013

- Průměrná hodnota obsahu přístupného železa se v zemědělských půdách v O horizontu v rámci BMP v posledních 18 letech zvyšovala. Navýšení mezi 1. a 4. cyklem bylo výrazné a statisticky velmi významné - o 34 mg Fe. kg⁻¹ (47,6 %).
- Z hodnocení vyplývá, že nejvíce zastoupenými kategoriemi ve všech letech u všech kultur byly kategorie „střední“ a „vysoký“ obsah železa.

6.4 Mangan

6.4.1 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 ornicích činí asi 100 – 4000 $mg.kg^{-1}$, z čehož může výměnný mangan tvořit až 80 %. Průměrné množství manganu odčerpané každoročně sklizněmi činí 160 – 1000 $g.ha^{-1}$ (Finck, 1969). Podle bilance se navrácí do půdy v zemědělském koloběhu až 73 % manganu (Čumakov, Neuberg, 1969). V našich půdách se průměrný obsah manganu stanoveného ve výluhu 1N HCl pohybuje od 150 – 400 $mg.kg^{-1}$ (Neuberg, 1978a).

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 jablona.

Nadbytek Mn v půdním roztoku, podobně jako Fe působí na rostliny toxicky, zvláště na ty, které vyžadují vyšší hodnotu pH.

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 $mg.kg^{-1}$ v půdě. Při základním hnojení do půdy přichází v úvahu hlavně síran manganatý v dávkách 20 – 80 $kg.ha^{-1}$ (Beneš, 1994).

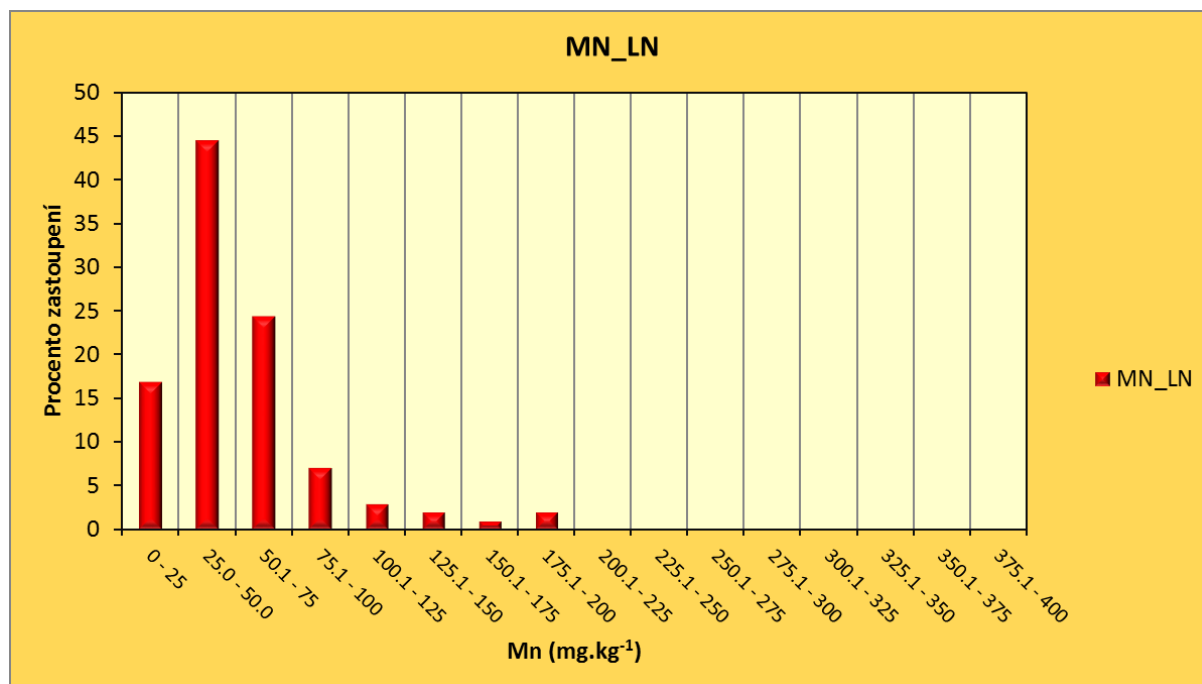
6.4.2 Hodnocení obsahu přístupného manganu v půdě v roce 2013

Mangan v půdách v roce 2013 měl největší zastoupení v rozmezí 25,1 – 50 $mg.kg^{-1}$ metodou stanovení podle Lindsaye - Norvella (graf 7).

Výsledky za čtvrtý cyklus odběrů BMP v roce 2013 jsou vyjádřeny popisnou statistikou v příloze 1 pro zemědělské půdy celkem (všech 214 ploch dohromady bez rozlišení na subsystémy, kultury a druhy půd). Z výsledků vyplývá průměrná hodnota obsahu manganu 51,3 $mg.kg^{-1}$ pro orniční horizont (O). V zemědělsky obhospodařovaných půdách slovenské republiky se obsah manganu pohyboval v rozpětí 1,52 – 93,3 $mg.kg^{-1}$ (Lindsay – Norvell), což ukazuje na výraznou prostorovou heterogenitu tohoto prvku (Kobza et al., 2014). V půdách BMP se rozpětí obsahů manganu pro orniční horizont pohybovalo od 7,97 do 192 $mg.kg^{-1}$. Výsledky třetího průzkumu orných půd prováděných v letech 1986 – 1991 (Nerad 1994) ukázaly průměrný obsah manganu 35,9 $mg.kg^{-1}$ zjištěný metodou stanovení podle Lindsaye - Norvella a široké rozmezí všech hodnot (1,08 - 235 $mg.kg^{-1}$). Dále

Nerad (1994) uvádí, že 75 % výsledků nepřekročilo hodnotu 44 mg Mn.kg^{-1} , přičemž polovina všech hodnot se nacházela v rozmezí od $18,2 - 44 \text{ mg Mn.kg}^{-1}$. Horizont P vykazuje nižší průměrné hodnoty ($43,7 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Graf 7 Procentické zastoupení manganu v podrobnějším členění obsahů v zemědělských půdách na plochách BMP (214 ploch) v roce 2013 bez rozlišení kultur, subsystémů a půdních druhů v orničním horizontu (O). MN_LN (podle Lindsay - Norvella)



V příloze 2 jsou plochy BMP rozděleny na základní subsystém a subsystém kontaminovaných ploch. Obsah manganu byl v obou subsystémech vyrovnán.

Jednotlivé kultury jsou hodnoceny v tabulce 17. Nejnižší obsah manganu se v roce 2013 vyskytoval na vinicích a chmelnicích. U ostatních kultur byly obsahy na velmi podobné úrovni. Nejvyšší průměrná hodnota i medián ($54,2 \text{ mg.kg}^{-1}$, $48,2 \text{ mg.kg}^{-1}$) byla zjištěna na TTP.

Tabulka 17 Popisná statistika obsahu manganu stanoveného metodou podle Lindsay - Norvella na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 pro jednotlivé kultury, bez rozlišení subsystémů a půdních druhů

Lindsay - Norvell (mg.kg ⁻¹)										
Kultura	Horizont	Počet	Průměr	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná p.	O	154	52,0	12,0	192	20,5	28,2	44,8	64,2	92,1
TTP	O	44	54,2	14,3	171	29,7	37,3	48,2	60,7	81,6
	P	44	43,6	15,2	184	19,2	28,7	39,0	47,1	68,6
Sady	O	6	51,2	7,97	133	7,97	25,2	44,0	53,0	133
Vinice	O	5	24,5	13,3	36,2	13,3	14,7	26,0	32,2	36,2
Chmel.	O	5	29,0	20,8	43,7	20,8	22,6	26,1	31,9	43,7

Příloha 6 hodnotí obsah manganu podle kultury, subsystému a navíc také podle druhu půdy. Největší podíl ploch BMP je na orné půdě. Tyto půdy se tak vyskytují v obou subsystémech i na všech druzích půd. Pro ornou půdu vyplývá, že obsah manganu byl nižší v lehkých půdách oproti středním a těžkým.

Grafické znázornění statistických hodnot souboru 214 ploch odebíraných v roce 2013 podle subsystémů a jednotlivých kultur je v příloze 13.

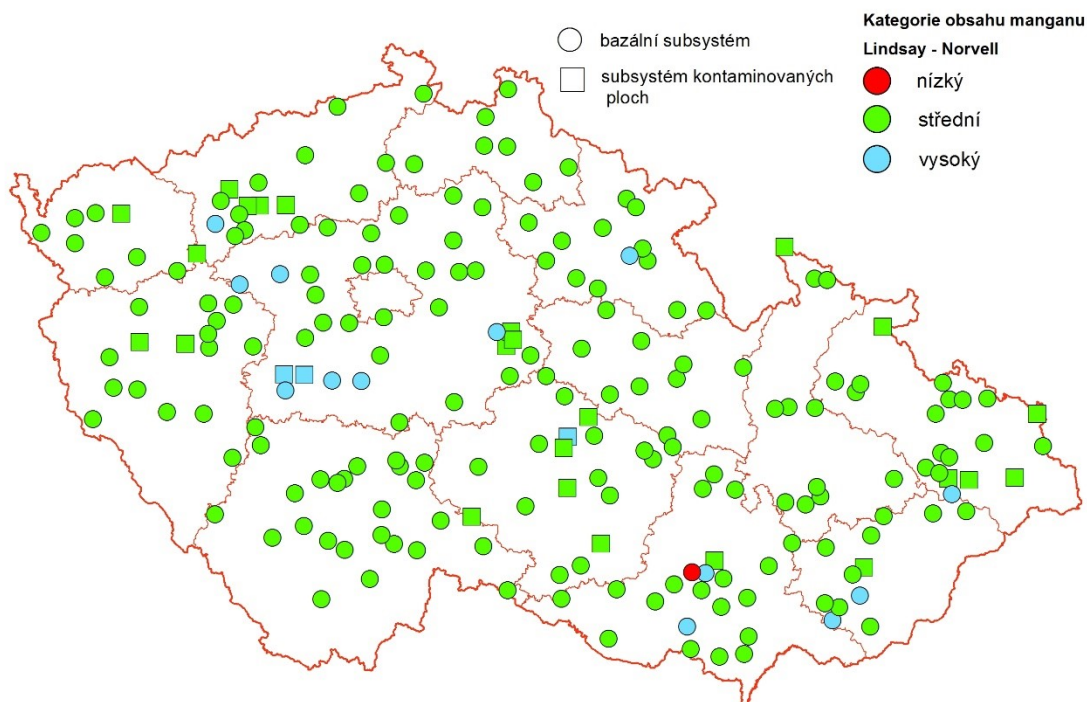
Pro hodnocení obsahu manganu se používají 3 kategorie (obsah nízký, střední a vysoký), které se na rozdíl od bóru a molybdenu neodvíjejí od půdního druhu. Kategorie byly vytvořeny pro metodu stanovení podle Lindsay - Norvella (tabulka 7). Podle této tabulky bylo vypočítáno procentické zastoupení kultur v jednotlivých kategoriích obsahu manganu z odběrů za rok 2013 (tabulka 18).

Tabulka 18 *Procentické zastoupení kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 v jednotlivých kategoriích obsahu manganu v půdě podle Kritérií pro hodnocení obsahu manganu v půdě (Neuberg, 1990). Bez rozlišení subsystémů.*

Kultura	Kategorie obsahů		
	Nízký	Střední	Vysoký
Orná půda	0,0	92,2	7,8
TTP	0,0	93,2	6,8
Sady	16,7	66,7	16,7
Vinice	0,0	100,0	0,0
Chmelnice	0,0	100,0	0,0

Největší procento vzorků se v roce 2013 nalézalo v kategorii „střední“, a to u orné půdy 92,2 %, a u vinic a chmelnic dokonce 100 % vzorků. V kategorii obsahu „nízký“ se kromě sadů nevyskytla žádná jiná kultura. Nerad (1994) uvádí, že při třetím průzkumu půd měla převážná většina prozkoušené orné půdy střední obsah Mn (90 % výměry půdy). Nízký obsah byl podle tohoto autora zjištěn na 4,4 % výměry a vysoký na 2,2 % výměry.

Obrázek 6 *Obsah manganu stanovený metodou Lindsay - Norvell na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 podle kategorií Neuberg, 1990*



Na obrázku 6 je zobrazeno všech 214 pozorovacích ploch odebíraných v roce 2013 a hodnocených podle kritérií z tabulky 7 (Neuberg, 1990). Z obrázku 6 je patrné, že většina ploch má střední obsah manganu; část ploch má vysoký obsah. Pouze jedna plocha (7007BP) v okrese Brno-venkov má obsah nízký. Tato plocha je ovocný sad.

6.4.3 Hodnocení přístupného manganu v půdě za 4 cykly odběrů

Do hodnocení za uplynulé čtyři cykly (1995 – 1. cyklus; 2001 – 2. cyklus; 2007 – 3. cyklus a 2013 – 4. cyklus) bylo zařazeno 177 ploch BMP, které po tuto dobu nezměnily kulturu ani se nepřesunuly. Tento celek se skládá ze 142 orných půd, 21 TTP, 5 sadů, 4 vinic a 5 chmelnic. Obsah manganu byl analyzován ve všech 4 cyklech metodou podle Lindsay - Norvella. V roce 1995, 2001 a 2007 byly analýzy provedeny ve všech horizontech (O, P, R). Od 4. cyklu nastala změna a analýzy jsou prováděny v horizontech O u všech kultur, v horizontech P pouze u trvalých travních porostů (21 ploch) a horizont R není analyzován.

Průměrná hodnota obsahu přístupného manganu se v zemědělských půdách v O horizontu v rámci BMP v posledních 18 letech zvyšovala (tabulka 19). Se snížením v roce 2001, které však při vzájemném porovnání mediánů nebylo výrazné. Navýšení mezi 1. a 4. cyklem bylo o 6,1 mg Mn. kg⁻¹ (13,3 %), statisticky velmi významné (příloha 36).

Nižší obsah manganu byl v jednotlivých odebíraných letech v základním subsystému oproti kontaminovanému (příloha 17).

Tabulka 19 *Popisná statistika obsahu manganu na monitorovacích plochách BMP (177 ploch) v roce 1995, 2001, 2007 a 2013 bez rozlišení kultur, subsystémů a půdních druhů; Lindsay - Norvell; mg.kg⁻¹)*

O horizont									
Cyklus	Počet	Průměr	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián	0.75 perc.	0.90 perc.
1995	177	45,9	5,11	214	16,6	23,2	38,7	54,1	74,2
2001	177	47,4	7,25	205	15,8	23,4	38,2	59,0	95,5
2007	177	39,8	6,58	143	17,8	24,8	38,2	50,9	66,2
2013	177	52,0	7,97	192	21,7	28,8	44,7	62,3	90,7
P horizont									
1995	177	29,4	2,69	170	9,62	13,6	21,1	34,6	52,3
2001	177	32,2	2,93	183	9,05	15,1	23,8	37,6	67,2
2007	177	27,1	5,14	72,9	8,30	15,1	24,8	36,7	50,4
2013	21	45,8	18,8	184	20,3	28,1	39,2	47,3	68,6
R horizont									
1995	21	31,6	4,32	146	8,77	15,5	25,9	35,5	50,4
2001	21	47,9	10,2	123	20,1	23,6	34,9	62,2	106
2007	21	30,7	5,91	65,8	11,5	18,6	29,2	42,5	55,1
2013	21	---	---	---	---	---	---	---	---

Popisná statistika pro jednotlivé kultury bez rozlišení subsystémů je přehledně v příloze 21. Z přílohy vyplývá, že obsah manganu v O horizontu se při porovnání 1. a 4. odběrového cyklu zvyšoval u všech kultur kromě vinic. Jeho průměrná hodnota i medián se nejvíce zvýšily u TTP (o 15,6 mg Mn.kg⁻¹ a o 12,8 mg Mn.kg⁻¹), ale zvýšení nebylo statisticky významné. Statisticky vysoce významné bylo při porovnání orných půd.

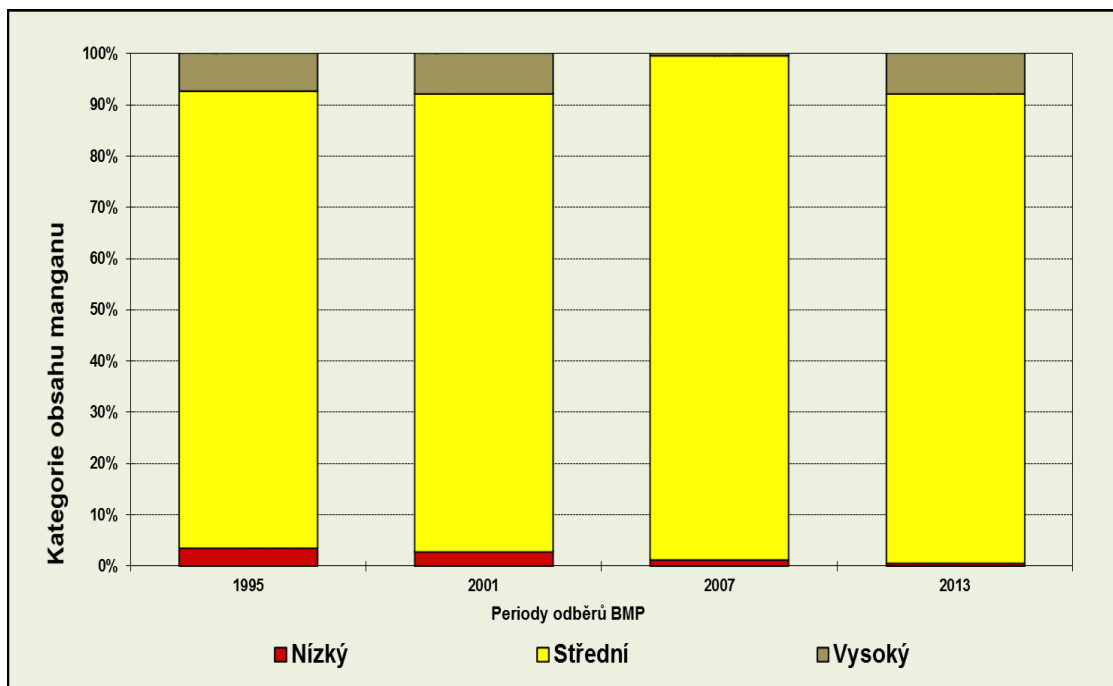
Příloha 26 hodnotí obsah manganu podle kultur i podle subsystémů.

V grafu 8 je zobrazen vývoj obsahu manganu na plochách BMP podle kritérií pro hodnocení obsahu manganu v půdě (Neuberg, 1990). Nejvíce zastoupenou kategorií ve všech sledovaných letech byla stejně jako v případě bóru a mědi kategorie „střední“. Tato kategorie byla dominantní a zaujímala 89 % (rok 1995) až 98 % (rok 2007) ze všech kategorií. V roce 2013 to bylo 92 %. Kategorie „nízký“ obsah se v průběhu period snižovala a zaujímala 3 % (rok 1995) až 0,6 % (rok 2013). Kategorie „vysoký“ obsah je prakticky neměnný a výjimkou v roce 2007.

Příloha 31 hodnotí podle kritérií jednotlivé kultury v odběrových letech. Z hodnocení vyplývá, že nejvíce zastoupenou kategorií ve všech letech u všech kultur byla kategorie „střední“ obsah manganu (10 – 100 mg Mn.kg⁻¹). Vinice a chmelnice byly v této kategorii zastoupeny 100 % ve všech periodách.

Na mapě v příloze 41 je zobrazen vývoj obsahů manganu na 177 pozorovacích plochách hodnocených v jednotlivých periodách.

Graf 8 Procentické zastoupení monitorovacích ploch BMP (177 ploch) v letech 1995, 2001, 2007 a 2013 v jednotlivých kategoriích obsahu manganu podle Kritérií pro hodnocení obsahu manganu v půdě (Neuberg, 1990). Bez rozlišení subsystémů.



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

2013

- Mangan v půdách měl největší zastoupení v rozmezí 25,1 – 50 mg Mn.kg⁻¹ metodou podle Lindsaye – Norvella. Průměrná hodnota byla 51,3 mg.kg⁻¹.
- Nejnižší obsah manganu se podle výsledků vyskytoval na vinicích a chmelnicích. U ostatních kultur byly obsahy na velmi podobné úrovni. Nejvyšší průměrná hodnota byla zjištěna na TTP.
- Největší procento vzorků se nalézalo v kategorii „střední“, a to u orné půdy 92,2 %, a u vinic a chmelnic dokonce 100 % vzorků.

1995 – 2013

- Průměrná hodnota obsahu přístupného manganu se v zemědělských půdách v O horizontu v rámci BMP v posledních 18 letech zvyšovala. Navýšení mezi 1. a 4. cyklem bylo o 6,1 mg Mn. kg⁻¹ (o 13,3 %)
- Nejvíce zastoupenou kategorií ve všech sledovaných letech byla stejně jako v případě bóru a mědi kategorie „střední“.

6.5 Molybden

6.5.1 Obecná charakteristika molybdenu

V půdách a rostlinách je molybden (Mo) přítomen především jako šestimocný (molybdenany, polymolybdenany), méně již jako čtyřmocný a pětímocný (Neuberg, 1978a). K aktivním formám Mo v půdách patří MoO_4^{2-} a HMoO_4^- . V molybdenanovém komplexním anionu MoO_4^{2-} tvoří šestimocný Mo nejpevnější vazby s Fe a Al. Naopak s ionty alkalických kovů a alkalických zemin tvoří sloučeniny rozpustné. Předpokládá se, že značná část Mo v půdách je mimo nerostné vazby vázána i organickou hmotou a hydratovanými oxidy Fe. I u Mo patří pH k nejdůležitějším faktorům podstatně ovlivňujícím jeho rozpustnost a přijatelnost. Nejméně rozpustný a pro rostliny nejméně přijatelný je v půdách kyselých a naopak dobře rozpustný a pohyblivý je v půdách alkalických. V půdách je jeho chování podobné fosforu a značně ovlivňováno vápněním a dusíkatým hnojením. Nedostatek Mo se objevuje na půdách kyselých, lehkých s vysokým obsahem volných oxidů Fe a dále na rašelinných půdách v důsledku silné vazby huminovou kyselinou. Přebytek Mo v půdě blokuje příjem Cu a škodí hlavně z hlediska hygienického v důsledku silné akumulace rostlinami. Přichází v úvahu v oblastech silně vápněných a alkalických půd. Vysokou mobilnost Mo v půdě je možné snížit použitím kysele působících hnojiv (Beneš, 1994). Celkový přirozený obsah v ornicích má rozsah $0,5 - 5 \text{ mg.kg}^{-1}$. Mobilní frakce molybdenu je v naprosté většině půd velmi malá, což způsobuje především vazba na železo, a činí pouze asi $1 - 10 \%$ z celkového množství. Průměrné množství molybdenu odebírané každoročně sklizněmi činí $10 - 50 \text{ g.ha}^{-1}$ (Finck, 1969). Podle bilance (Čumakov, Neuberg, 1969) se navrácí do zemědělského koloběhu živin zpět do půdy asi 45% molybdenu. Střední obsah molybdenu v našich půdách získaný výluhem 1N HCl se pohybuje v rozmezí $0,005 - 0,06 \text{ mg.kg}^{-1}$. Molybden vyžadují rostliny ke zdravému růstu v porovnání s jinými mikroelementy (zejména bórem) velmi malé množství (Neuberg, 1978a). Mo se může hromadit v pletivech rostlin. Fytotoxicky tato zvýšené obsahy nepůsobí a tím se může Mo v nadměrném množství dostávat do potravního řetězce a nepříznivě působit na vyšší živočichy. Píce s obsahem nad 5 mg Mo.kg^{-1} je pro skot toxická, způsobuje nedostatek Cu v metabolismu zvířat.

Vysoké nároky na Mo mají brukvovité rostliny a rostliny bobovité. U kvěťáku způsobuje nedostatek Mo jeho vyslepnutí a u bobovitých rostlin sníženou fixaci N_2 .

Hnojením je možné očekávat odstranění nedostatku Mo jen v oblastech neutrálních a slabě kyselých půd. V řadě případů lze nedostatek Mo odstranit vápněním půdy. Molybdenem hnojíme jednak pozemky, které jsou podle molybdenového čísla zařazeny do kategorie nízkého obsahu a dále všechny pozemky, u kterých byl zjištěn obsah Mo do $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ bez ohledu na molybdenové číslo. Jako hnojivo se používá molybdenan sodný nebo amonný. Protože se jedná o malá množství, je třeba zajistit rovnoměrné rozložení po ploše. Takové dávky je nejlépe aplikovat postřikem (Beneš, 1994).

Množství molybdenu v půdním roztoku je poměrně nízké a je především závislé na hodnotě půdní reakce. V alkalických půdách se jeho obsah zvyšuje. Ztráty molybdenu z půdního roztoku jsou však ovlivňovány také půdním druhem. S většími ztrátami je třeba počítat na lehkých půdách (Nerad, 1994).

6.5.2 Hodnocení obsahu přístupného molybdenu v půdě v roce 1995

Obsah přístupného molybdenu byl stanovován na pozorovacích plochách BMP pouze v roce 1995. Pro orientaci a povědomí o jeho obsazích je jako důležitý mikroelement zařazen do hodnocení.

V roce 1995 byl v půdních vzorcích ze všech pozorovacích ploch BMP stanoven obsah přístupného molybdenu metodou podle Grigga (extrakčním roztokem AO-OA). Výsledky jsou vyjádřeny popisnou statistikou v příloze 1 pro zemědělské půdy celkem (všechny plochy jsou hodnoceny dohromady bez rozlišení na subsystémy, kultury a druhy půd). Z výsledků vyplývá pro orniční horizont (O) průměrná hodnota obsahu molybdenu $0,15 \text{ mg.kg}^{-1}$ podle Grigga a 7,87 jako vyjádření hodnoty molybdenovým číslem (Mo_c) (viz. kapitola 3.7.3).

Tabulka 20 Popisná statistika obsahu molybdenu stanoveného metodou podle Grigga a vyjádřeném molybdenovým číslem na monitorovacích plochách BMP v roce 1995 pro jednotlivé kultury, bez rozlišení subsystémů a půdních druhů

Grigg (mg.kg^{-1})										
Kultura	Horizont	Počet	Průměr	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda	O	174	0,16	0,03	0,90	0,08	0,11	0,14	0,18	0,25
	P	174	0,12	0,01	0,87	0,05	0,08	0,11	0,14	0,20
TTP	O	34	0,12	0,05	0,28	0,06	0,08	0,12	0,15	0,20
	P	34	0,13	0,03	0,31	0,06	0,07	0,12	0,16	0,23
	R	34	0,12	0,03	0,30	0,04	0,07	0,11	0,17	0,22
Sady	O	7	0,14	0,08	0,22	0,08	0,09	0,14	0,18	0,22
	P	7	0,12	0,07	0,20	0,07	0,08	0,09	0,18	0,20
Vinice	O	5	0,07	0,03	0,09	0,03	0,06	0,07	0,09	0,09
	P	5	0,06	0,01	0,10	0,01	0,05	0,07	0,07	0,10
Chmel.	O	7	0,20	0,04	0,34	0,04	0,11	0,20	0,31	0,34
	P	7	0,16	0,04	0,29	0,04	0,10	0,17	0,21	0,29
molybdenové číslo (Mo_c)										
Orná půda	O	174	7,99	5,80	15,1	6,95	7,39	7,94	8,43	8,98
	P	174	7,45	1,30	14,7	6,13	6,73	7,45	8,08	8,63
TTP	O	32	7,25	4,95	8,85	5,93	6,42	7,29	8,02	8,40
	P	32	7,11	5,40	9,83	5,75	6,28	7,08	7,87	8,45
	R	32	6,73	4,95	8,80	5,15	5,48	6,79	7,55	8,43
Sady	O	7	8,02	7,05	8,55	7,05	7,83	8,15	8,43	8,55
	P	7	7,95	7,20	8,93	7,20	7,40	7,90	8,43	8,93
Vinice	O	5	8,00	6,85	8,48	6,85	7,98	8,28	8,40	8,48
	P	5	8,26	7,80	8,63	7,80	8,03	8,30	8,53	8,63
Chmel.	O	5	9,28	7,73	10,6	7,73	8,63	9,15	10,4	10,6
	P	5	8,86	7,75	9,78	7,75	8,50	8,65	9,75	9,78

Výsledky třetího průzkumu orných půd prováděných v letech 1986 – 1991 (Nerad 1994) ukázaly průměrný obsah molybdenu $0,18 \text{ mg Mo.kg}^{-1}$ zjištěný metodou stanovení podle Grigga. Dále Nerad (1994) uvádí, že se obsah molybdenu pohyboval v rozmezí od $0,02 - 1,85 \text{ mg Mo.kg}^{-1}$ a hodnota Mo_c byla $4,2 - 24,3$. Horizont P vykazoval nepatrně nižší průměrné hodnoty ($0,12 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $7,43$ jako Mo_c).

V příloze 2 jsou plochy BMP rozděleny na základní subsystém a subsystém kontaminovaných ploch. Nižší obsah molybdenu byl v základním subsystému oproti kontaminovanému

Jednotlivé kultury jsou hodnoceny v tabulce 20. Nejnižší obsah molybdenu se v roce 1995 vyskytoval na vinicích. Dosahoval zde průměrné hodnoty $0,07 \text{ mg.kg}^{-1}$. Nejvyšší průměrná hodnota $0,20 \text{ mg.kg}^{-1}$ byla zjištěna na chmelnicích.

Příloha 7 a 8 hodnotí obsah molybdenu v roce 1995 podle kultury, subsystému a navíc také podle druhu půdy. Největší podíl ploch BMP je na orné půdě. Tyto půdy se tak vyskytují v obou subsystémech i na všech druzích půd. Pro ornou půdu vyplývá, že průměrný obsah molybdenu stanovený metodou podle Grigga i vyjádřený molybdenovým číslem byl nižší v lehkých půdách oproti středním a těžkým.

Grafické znázornění statistických hodnot souboru ploch BMP odebíraných v roce 1995 podle subsystémů a jednotlivých kultur je v příloze 14 a 15.

Pro hodnocení obsahu molybdenu se používají 3 kategorie (obsah nízký, střední a vysoký), které jsou stejně jako v případě bóru vztaženy i k půdnímu druhu. Kategorie byly vytvořeny pro metodu stanovení podle Grigga s přepočítáním na molybdenové číslo (tabulka 7). Podle této tabulky bylo vypočítáno procentické zastoupení kultur v jednotlivých kategoriích obsahu molybdenu z odběrů za rok 1995 (tabulka 21).

Tabulka 21 Procentické zastoupení kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 1995 v jednotlivých kategoriích obsahu molybdenu v půdě podle Kritérií pro hodnocení obsahu molybdenu v půdě (Neuberg, 1990). Bez rozlišení subsystémů.

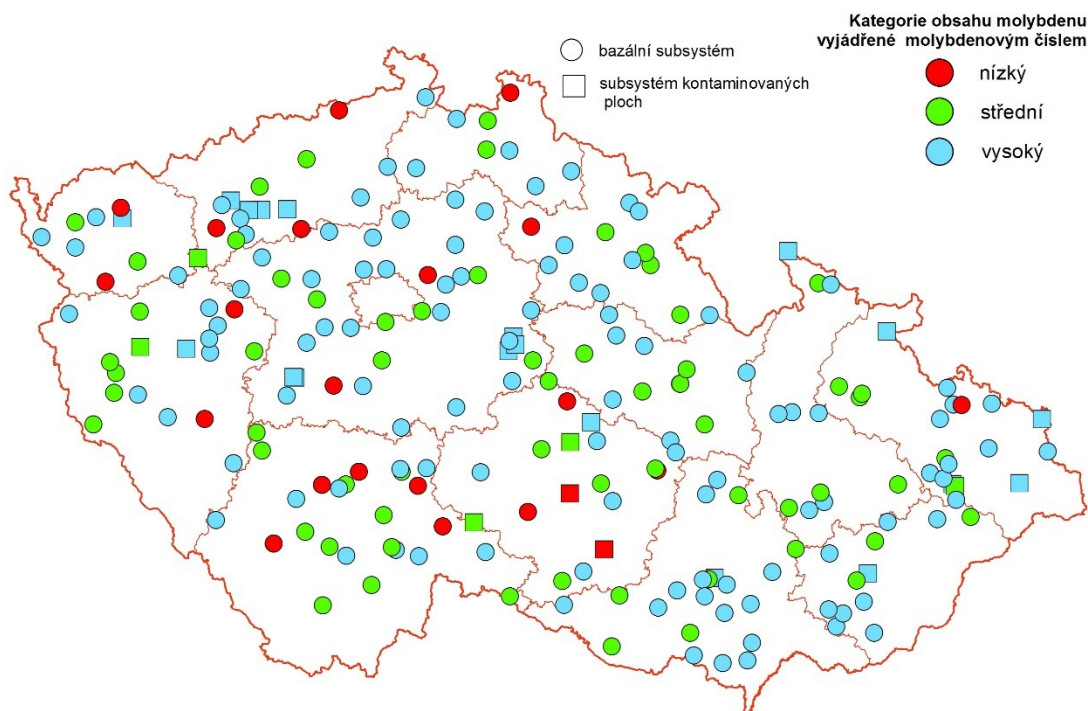
Kultura	Kategorie obsahů		
	Nízký	Střední	Vysoký
Orná půda	7,6	33,1	59,3
TTP	28,1	25,0	46,9
Sady	0,0	14,3	85,7
Vinice	0,0	20,0	80,0
Chmelnice	0,0	14,3	85,7

Všechny kultury se největším procentem vzorků nacházely v kategorii obsahu „vysoký“, a to orné půdy 59,3 %, což odpovídá i zjištění Nerada (1994), který uvádí, že při třetím průzkumu půd byl na 60 % výměry orných půd ČR stanoven vysoký obsah molybdenu (Mo_c); střední obsah vykazovalo 32,7 % půd a na zbylé výměře (6,4 %) byl zjištěn nízký obsah molybdenu.

Na obrázku 7 jsou zobrazeny všechny pozorovací plochy, které byly odebírány v roce 1995 a hodnoceny podle kritérií z tabulky 7 (Neuberg, 1990). Z obrázku jsou patrné nižší obsahy molybdenu v kraji Vysočina a v kraji Jihočeském (podobný model vykazuje i mapa obsahu bóru, viz. obrázek 3). Nerad (1994) uvádí, že ve východních a především v jižních Čechách byl podíl půd s vysokým obsahem molybdenu nižší, a dodává, že v jižních Čechách dokonce

převládly půdy se středním obsahem molybdenu a byl zde poměrně vysoký podíl půd s nízkým obsahem.

Obrázek 7 *Obsah molybdenu stanovený metodou podle Grigga a vyjádřený molybdenovým číslem na monitorovacích plochách BMP v roce 1995 podle kategorií Neuberg, 1990*



6.5.3 Závěry z hodnocení obsahu přístupného molybdenu v půdě na plochách BMP

1995

- Z výsledků vyplývá pro orniční horizont (O) průměrná hodnota obsahu molybdenu $0,15 \text{ mg.kg}^{-1}$ podle Grigga a 7,87 jako vyjádření hodnoty molybdenovým číslem.
- Nejnižší obsah molybdenu se v roce 1995 vyskytoval na vinicích. Dosahoval zde průměrné hodnoty $0,07 \text{ mg.kg}^{-1}$. Nejvyšší průměrná hodnota $0,20 \text{ mg.kg}^{-1}$ byla zjištěna na chmelnicích.
- Všechny kultury se největším procentem vzorků nacházely v kategorii obsahu „vysoký“.

6.6 Zinek

6.6.1 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 uhličitany nebo v silně redukčním prostředí. Adsorpce zinku probíhá jinak v kyselém než 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.

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.

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

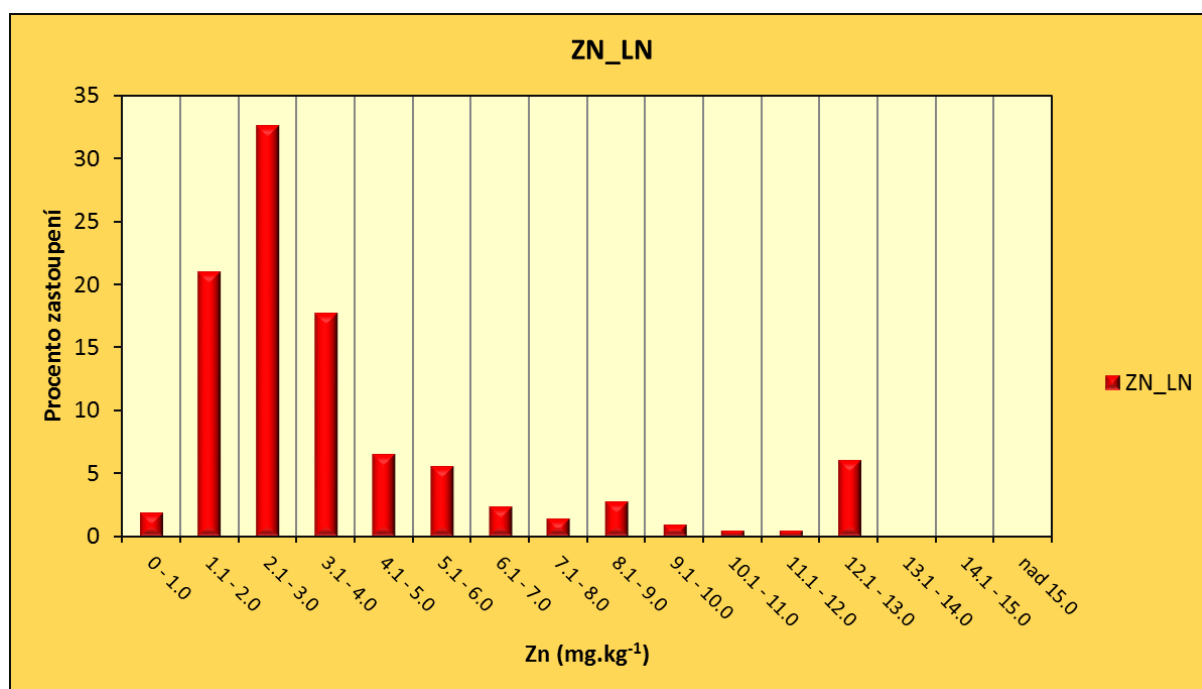
Hnojení zinkem provádíme v půdách s nízkým obsahem, při středním obsahu zinku v půdě lze očekávat efekt hnojení touto mikroživinou na půdách s vysokým obsahem fosforu a v půdách čerstvě vyhnojených vysokými dávkami fosforečných hnojiv. Při základním hnojení do půdy se nejčastěji používá síran zinečnatý v dávce 5 – 25 kg $\text{Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Beneš, 1994). Podobně jako měď má sklon k tvorbě komplexních sloučenin. Celkový přirozený obsah v ornicích činí 10 – 300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ z převážné části v anorganické vazbě. Průměrný obsah výměnného zinku činí přibližně 0,2 – 2,0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, z čehož vodorozpustný podíl činí pouze 1 – 10 %. Průměrné množství zinku odebírané každoročně sklizněmi činí 100 – 300 $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Finck, 1969). Podle bilance (Čumakov, Neuberg, 1969) se v zemědělském koloběhu živin navrácí zpět do půdy asi 60,7 % zinku. V našich půdách činil průměrný obsah zinku stanoveného v 1N HCl 5 – 15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

6.6.2 Hodnocení obsahu přístupného zinku v půdě v roce 2013

Zinek v půdách v roce 2013 měl největší zastoupení v rozmezí 2,1 – 3,0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ metodou stanovení podle Lindsaye - Norvella (graf 9). Výsledky za čtvrtý cyklus odběrů BMP v roce 2013 jsou vyjádřeny popisnou statistikou v příloze 1 pro zemědělské půdy celkem (všech 214 ploch dohromady bez rozlišení na subsystémy, kultury a druhy půd). Z výsledků vyplývá průměrná hodnota obsahu zinku 6,89 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ pro orniční horizont (O). V zemědělsky obhospodařovaných půdách slovenské republiky se obsah zinku pohyboval v rozpětí

1 4 mg.kg⁻¹ (Lindsay – Norvell) (Kobza et al., 2014). V půdách BMP se rozpětí obsahů zinku pro orniční horizont pohybovalo od 0,65 do 344 mg Zn.kg⁻¹. Hodnota 344 mg.kg⁻¹ přístupného zinku se vyskytla pouze na jedné ploše 8906KO, kde však je pravidelně v každém odběrovém cyklu dosahováno hodnot v řádu stovek (pozn. na ostatních plochách jsou maximální hodnoty přístupného zinku dosahovány v řádu desítek). Tato plocha je ornou půdou ze subsystému kontaminovaných ploch, půdním typem je fluvizem. Plocha leží v okrese Karviná a je ovlivněna průmyslovou činností. Vykazuje rovněž nejvyšší hodnoty celkového zinku v rámci BMP – 1102 mg Zn.kg⁻¹ v roce 2013 (Poláková et al., 2016). Výsledky třetího průzkumu orných půd české republiky prováděných v letech 1986 – 1991 (Nerad 1994) ukázaly průměrný obsah zinku 2,10 mg Zn.kg⁻¹ zjištěný metodou stanovení podle Lindsay - Norvella a maximální zjištěnou hodnotu 38,1 mg Zn.kg⁻¹. Dále Nerad (1994) uvádí, že 75 % výsledků nepřesáhlo hodnotu 2,48 mg Zn.kg⁻¹. Horizont P vykazuje nižší průměrné hodnoty (2,65 mg.kg⁻¹).

Graf 9 Procentické zastoupení obsahu zinku v podrobnějším členění obsahů v zemědělských půdách na plochách BMP (214 ploch) v roce 2013 bez rozlišení kultur, subsystémů a půdních druhů v orničním horizontu (O). ZN_LN (podle Lindsay - Norvella)



V příloze 2 jsou plochy BMP rozděleny na základní subsystém a subsystém kontaminovaných ploch. Několikanásobně vyšší průměrný obsah zinku byl v orničním horizontu v kontaminovaném subsystému oproti základnímu (stejně jako v případě mědi).

Jednotlivé kultury jsou hodnoceny v tabulce 22. Nejnižší obsah zinku se v roce 2013 vyskytoval ve vinicích. Dosahoval zde průměrné hodnoty 3,32 mg.kg⁻¹ v horizontu O. Nejvyšší průměrná hodnota 18,7 mg.kg⁻¹ byla zjištěna v sadech. Sady a chmelnice jsou kultury, kde se ve zvýšené míře používají fungicidy na bázi zinku.

Příloha 9 hodnotí obsah zinku podle kultury, subsystému a navíc také podle druhu půdy. Největší podíl ploch BMP je na orné půdě. Tyto půdy se tak vyskytují v obou subsystémech

i na všech druzích půd. Pro ornou půdu vyplývá, že průměrný obsah zinku i medián byl v základním subsystému vyšší v lehkých půdách než ve středních a těžkých. U subsystému kontaminovaných ploch byl vyšší obsah u těžších půd.

Grafické znázornění statistických hodnot souboru 214 ploch odebíraných v roce 2013 podle subsystémů a jednotlivých kultur je v příloze 16.

Tabulka 22 *Popisná statistika obsahu zinku stanoveného metodou podle Lindsaye - Norvella na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 pro jednotlivé kultury, bez rozlišení subsystémů a půdních druhů*

Lindsay - Norvell (mg.kg ⁻¹)										
Kultura	Horizont	Počet	Průměr	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná p.	O	154	7,25	0,65	344	1,54	2,05	2,77	3,73	7,98
TTP	O	44	3,75	0,96	8,80	1,60	2,25	3,00	4,34	7,92
	P	44	2,65	0,51	8,86	1,11	1,45	2,13	3,06	5,25
Sady	O	6	18,7	1,08	96,3	1,08	1,64	2,44	8,08	96,3
Vinice	O	5	3,32	1,66	5,47	1,66	1,84	2,28	5,34	5,47
Chmel.	O	5	13,0	2,22	24,4	2,22	4,20	9,96	24,2	24,4

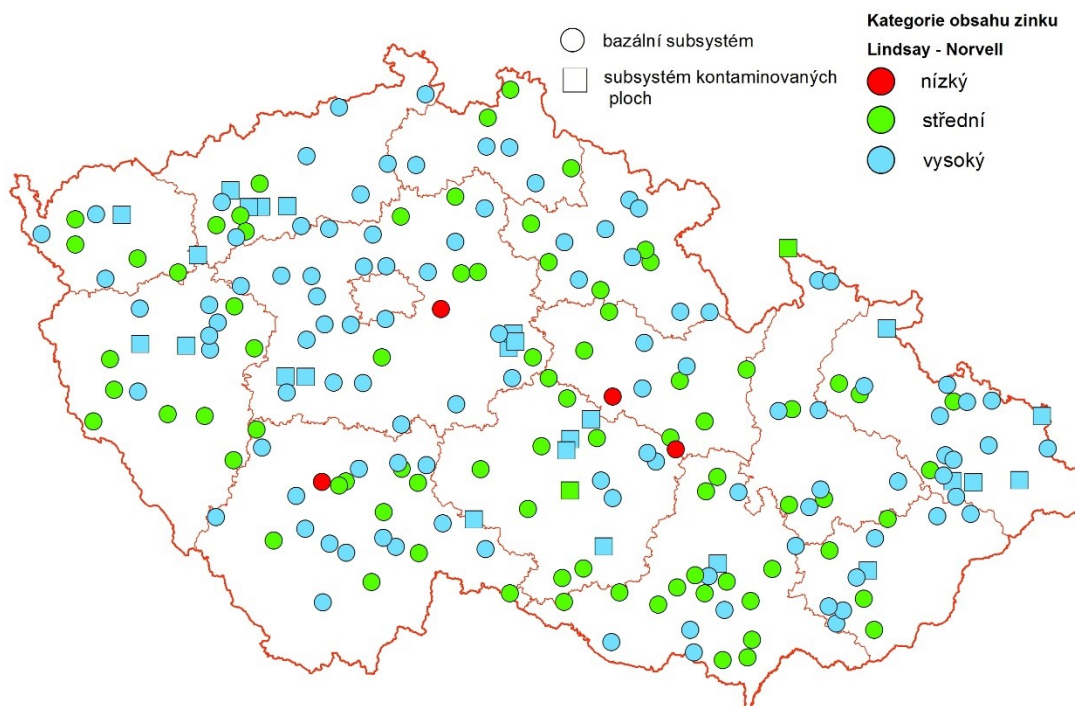
Pro hodnocení obsahu zinku se používají 3 kategorie (obsah nízký, střední a vysoký), které se na rozdíl od bóru a molybdenu neodvíjejí od půdního druhu. Kategorie byly vytvořeny pro metodu stanovení podle Lindsaye - Norvella (tabulka 7). Podle této tabulky bylo vypočítáno procentické zastoupení kultur v jednotlivých kategoriích obsahu zinku z odběrů za rok 2013 (tabulka 28). Největší procento vzorků se v roce 2013 nalézalo v kategorii „vysoký“, a to u orné půdy 60,4 %, u TTP 61,4 % a u chmelnic 80 % vzorků.

Tabulka 23 *Procentické zastoupení kultur na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 v jednotlivých kategoriích obsahu zinku v půdě podle Kritérií pro hodnocení obsahu zinku v půdě (Neuberg, 1990). Bez rozlišení subsystémů.*

Kultura	Kategorie obsahů		
	Nízký	Střední	Vysoký
Orná půda	1,9	37,7	60,4
TTP	2,3	36,4	61,4
Sady	0,0	50,0	50,0
Vinice	0,0	60,0	40,0
Chmelnice	0,0	20,0	80,0

Na obrázku 8 je zobrazeno všech 214 pozorovacích ploch odebíraných v roce 2013 a hodnocených podle kritérií z tabulky 7 (Neuberg, 1990).

Obrázek 8 **Obsah zinku stanovený metodou Lindsay - Norvell na monitorovacích plochách BMP v roce 2013 podle kategorií Neuberg, 1990**



Mapa na obrázku 8 je svým barevným rozložením podobná mapě s obsahem mědi (viz. obrázek 4). Rozdíl je ve vyšším podílu „vysokého“ obsahu (modré značky) na mapě zinku. Převládající podíl půd s vysokým obsahem zinku se nachází v okresech Ústí nad Labem, Teplice, Most, Frýdek – Místek, Karviná a souhlasí s tvrzením Nerada (1994), který v těchto oblastech uvádí přes 80 % výměry půdy s vysokým obsahem Zn. Z obrázku 8 je také patrná oblast jižní Moravy, kterou pokrývá střední obsah zinku, který uvádí také Nerad (1994). Čtyři pozorovací plochy ze všech 214 ploch vykázaly nízký obsah zinku. Patří sem i plocha 3016B – orná půda v okrese Písek, byl zde zároveň zjištěn nízký obsah bóru a mědi. Půda je zde lehká hlinitopísčité s obsahem částic o velikosti do 0,01 mm 15,5 %, pH 6,2, půdní typ je kambizem oglejená. Plocha leží v nadmořské výšce 475 m n.m.

6.6.3 Hodnocení obsahu přístupného zinku v půdě za 4 cykly odběrů

Do hodnocení za uplynulé čtyři cykly (1995 – 1. cyklus; 2001 – 2. cyklus; 2007 – 3. cyklus a 2013 – 4. cyklus) bylo zařazeno 177 ploch BMP, které po tuto dobu nezměnily kulturu ani se nepřesunuly. Tento celek se skládá ze 142 orných půd, 21 TTP, 5 sadů, 4 vinic a 5 chmelnic. Obsah zinku byl analyzován ve všech 4 cyklech metodou podle Lindsay - Norvella. V roce 1995, 2001 a 2007 byly analýzy provedeny ve všech horizontech (O, P, R). Od 4. cyklu nastala změna a analýzy jsou prováděny v horizontech O u všech kultur, v horizontech P pouze u trvalých travních porostů (21 ploch) a horizont R není analyzován.

Průměrná hodnota obsahu přístupného zinku se v zemědělských půdách v O horizontu v rámci BMP v posledních 18 letech mírně zvyšovala (tabulka 24), s výkyvem v roce 2001. Navýšení mezi 1. a 4. cyklem bylo o 0,50 mg Zn. kg⁻¹ (10,2 %) a bylo statisticky velmi významné (příloha 52).

Tabulka 24 *Popisná statistika obsahu zinku na monitorovacích plochách BMP (177 ploch) v roce 1995, 2001, 2007 a 2013 bez rozlišení kultur, subsystémů a půdních druhů; Lindsay - Norvell; mg.kg⁻¹)*

O horizont									
Cyklus	Počet	Průměr	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián	0.75 perc.	0.90 perc.
1995	177	4,89	0,40	118	1,19	1,62	2,24	3,21	6,18
2001	177	5,44	0,81	83,1	1,70	2,25	2,86	3,96	7,59
2007	177	4,95	0,32	95,9	1,30	1,66	2,33	3,58	6,72
2013	177	5,41	0,65	96,3	1,54	2,02	2,77	3,81	8,00
P horizont									
1995	177	3,15	0,26	114	0,56	0,86	1,21	2,06	3,97
2001	177	3,35	0,61	40,6	1,02	1,42	1,94	2,72	5,24
2007	177	3,43	0,26	66,0	0,62	1,03	1,71	2,60	4,35
2013	21	2,92	0,51	8,86	1,09	1,39	2,37	3,96	4,92
R horizont									
1995	21	2,56	0,41	16,5	0,74	0,98	1,40	2,97	4,21
2001	21	3,24	0,52	23,3	0,96	1,29	2,15	3,36	4,36
2007	21	2,19	0,29	13,3	0,54	0,85	1,33	2,47	3,86
2013	21	---	---	---	---	---	---	---	---

Nižší obsah zinku byl v jednotlivých odebíraných letech v základním subsystému oproti kontaminovanému (příloha 17).

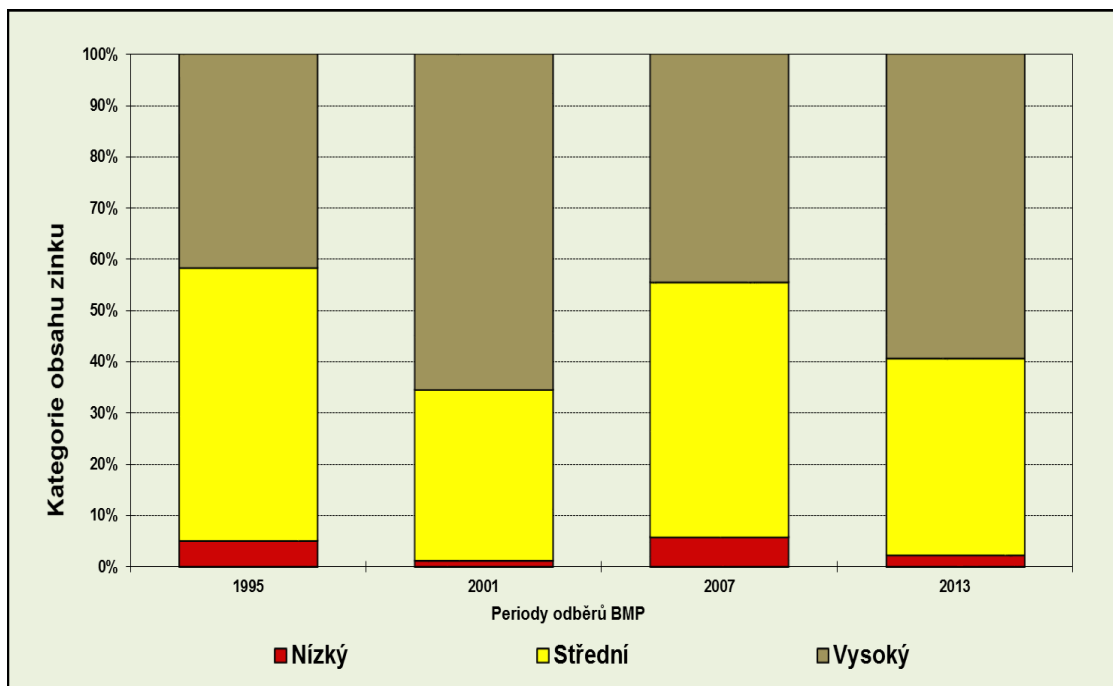
Popisná statistika pro jednotlivé kultury bez rozlišení subsystémů je přehledně v příloze 22. Z přílohy vyplývá, že medián obsahu zinku se mezi 1. a 4. odběrovým cyklem zvýšil u všech kultur – u orných půd o 0,52 mg.kg⁻¹, u TTP o 0,78 mg.kg⁻¹, u sadů a vinic o 0,25 mg.kg⁻¹ a u chmelnic o 0,95 mg.kg⁻¹. Toto zvýšení bylo statisticky velmi významné u orných půd (příloha 37).

Příloha 27 hodnotí obsah zinku podle kultur i podle subsystémů.

V grafu 10 je zobrazen vývoj obsahu zinku na plochách BMP podle kritérií pro hodnocení obsahu zinku v půdě (Neuberg, 1990). Nejvíce zastoupenou kategorií ve všech sledovaných letech je kategorie „střední“ a „vysoký“ obsah.

Příloha 32 hodnotí podle kritérií jednotlivé kultury v odběrových letech. Z hodnocení vyplývá, že nejvíce zastoupenou kategorií byla rovněž kategorie „střední“ a „vysoký“ obsah ve všech letech u všech kultur kromě TTP a chmelnic. Tyto kultury byly ve všech letech zařazeny do kategorie „vysoký“ obsah (nad 2,50 mg Zn.kg⁻¹).

Graf 10 *Procentické zastoupení monitorovacích ploch BMP (177 ploch) v letech 1995, 2001, 2007 a 2013 v jednotlivých kategoriích obsahu zinku podle Kritérií pro hodnocení obsahu zinku v půdě (Neuberg, 1990). Bez rozlišení subsystémů.*



Na mapě v příloze 42 je zobrazen vývoj obsahů zinku na všech 177 pozorovacích plochách hodnocených v jednotlivých periodách.

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

2013

- Zinek v půdách měl největší zastoupení v rozmezí 2,1 – 3,0 mg Zn.kg⁻¹ metodou stanovení podle Lindsaye – Norvella. Průměrná hodnota byla 6,89 mg.kg⁻¹.
- Nejnižší obsah zinku se vyskytoval ve vinicích. Dosahoval zde průměrné hodnoty 3,32 mg.kg⁻¹. Nejvyšší průměrná hodnota 18,7 mg.kg⁻¹ byla zjištěna v sadech.
- Největší procento vzorků se v roce 2013 nalézalo v kategorii „vysoký“, a to u orné půdy 60,4 %, u TTP 61,4 % a u chmelnic 80 % vzorků.

1995 – 2013

- Průměrná hodnota obsahu přístupného zinku se v zemědělských půdách v O horizontu v rámci BMP v posledních 18 letech mírně zvyšovala. Navýšení mezi 1. a 4. cyklem bylo o 0,50 mg Zn. kg⁻¹ (10,2 %).
- Nejvíce zastoupenou kategorií byla kategorie „střední“ a „vysoký“ obsah ve všech letech.

6.7 Změny a vývoj přístupných mikroelementů na plochách BMP

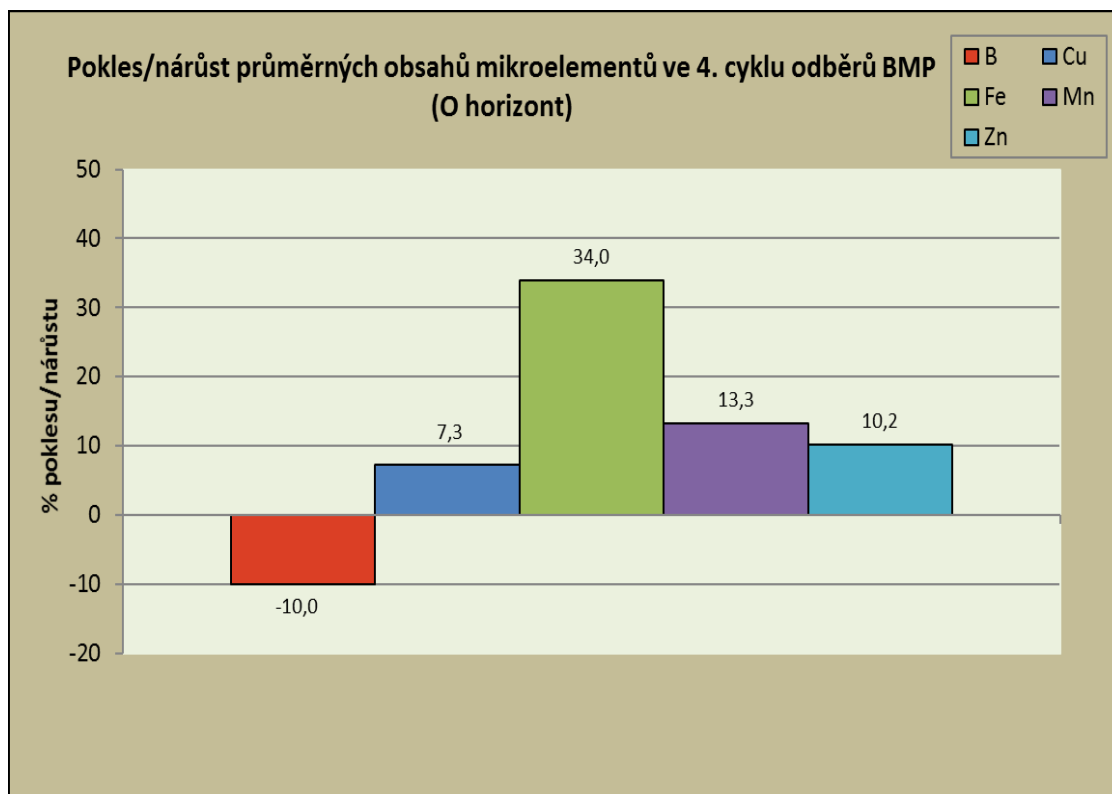
Čtvrtá perioda odběrů půdních vzorků z ploch Bazálního monitoringu půd byla provedena v roce 2013 na všech 214 pozorovacích plochách. Analýzy mikroelementů v roce 2013 byly provedeny ve vzorcích podle stejných metod probíhajících pravidelně od založení monitoringu (od roku 1992). Nově bylo také použito stanovení mikroelementů metodou podle Mehlicha III, kterou Národní referenční laboratoř ÚKZÚZ zkouší ve vývojovém úkolu s názvem Optimalizace a širší využití metody Mehlich III v systému Agrochemického zkoušení půd, část 2. Stanovení Cu, Zn, Mn, Fe a B (Zbíral, 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 a naopak jejich nejvyšší průměrné obsahy byly zjištěny na TTP. Nejnižší průměrné obsahy bóru a zinku se rovněž jako v případě železa a manganu vyskytovaly na vinicích a jejich nejvyšší průměrné obsahy byly zjištěny na chmelnicích (bór) a v sadech (zinek). Průměrný obsah mědi byl nejnižší na TTP a nejvyšší na chmelnicích.

Hodnocení za uskutečněné 4 periody odběrů (rok 1995, 2001, 2007 a 2013) bylo z důvodu porovnatelnosti provedeno na souboru 177 ploch, které jsou za dobu sledování prostorově identické a nezměnily způsob obdělávání. Od roku 1995 lze u mikroelementů mědi, železa, manganu a zinku pozorovat postupný nárůst obsahů. K největšímu zvýšení došlo u železa (o 34 %). U bóru jako jediného byl naopak zaznamenán pokles a to o 10 % (graf 11).

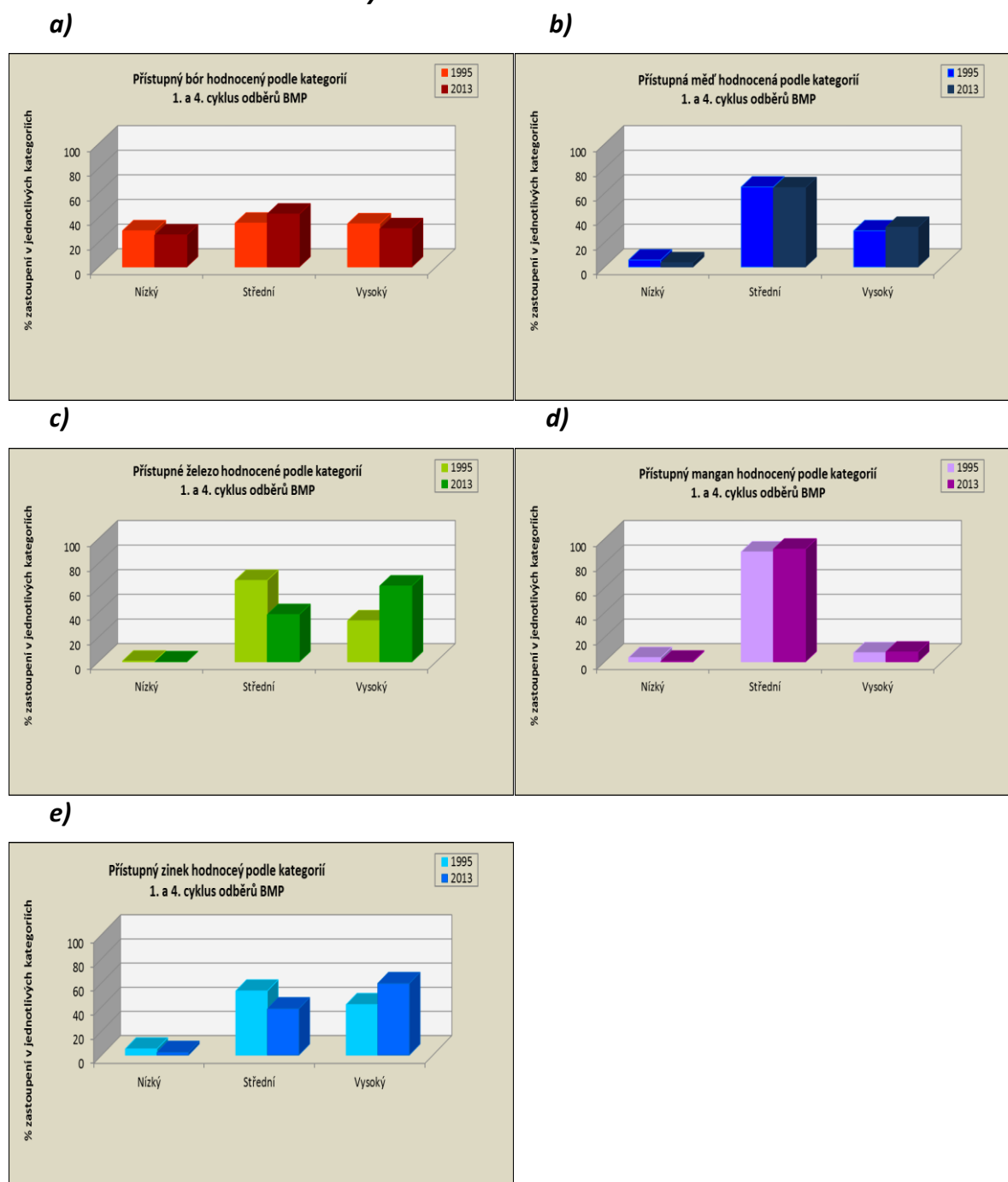
Graf 11 *Stav průměrných obsahů sledovaných mikroelementů v půdě ve 4. odběrovém cyklu (rok 2013) na monitorovacích plochách BMP. Bez rozlišení kultur, subsystémů a půdních druhů*



Graf 12 zobrazuje vývoj zastoupení vzorků v jednotlivých kategoriích obsahů mikroelementů z odběrů 1. periody (rok 1995) a ze 4. periody (rok 2013). Z grafu je patrné zvyšování obsahů prvků. Např. u železa (graf 12c) došlo k výraznému zvýšení procentického zastoupení obsahů v kategorii „vysoký“ obsah v roce 2013 oproti roku 1995. Prakticky došlo k výměně postavení „středního“ obsahu za „vysoký“ a naopak.

K podobné situaci jako u železa došlo i v případě zinku (graf 12e). Zde se rovněž zvýšilo jeho procentické zastoupení v kategorii „vysoký“.

Graf 12 Vývoj obsahů mikroelementů v půdě v jednotlivých kategoriích mezi 1. a 4. odběrovým cyklem (1995 a 2013) na monitorovacích plochách BMP. Bez rozlišení subsystémů



7 Literární zdroje

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

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).

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 podoznalactva a ochrany pody NPPC v Bratislavě. ISBN 978-80-8163-004-0. 251 p.

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 ornicích*. 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, Půdní reakce a obsah živin 1995 – 2013*. ÚKZÚZ Brno. 66 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.