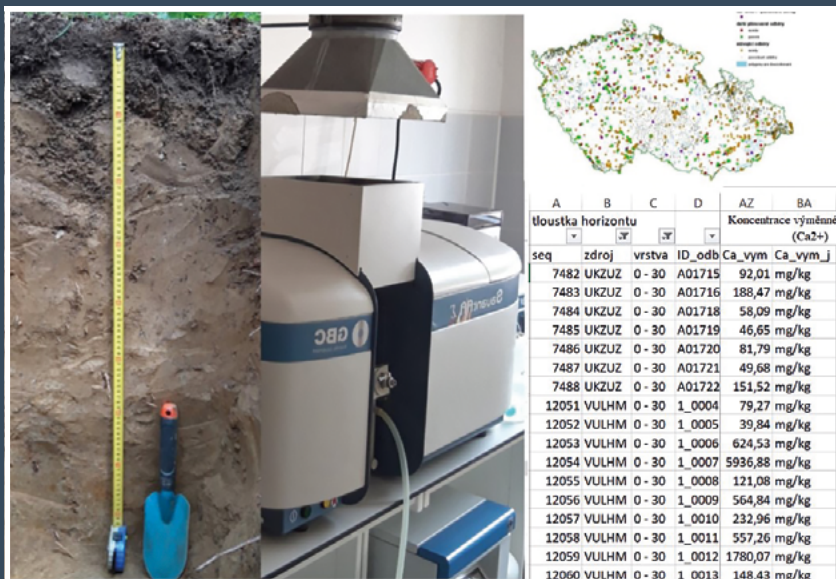


KONTROLA KVALITY DAT V ROZSÁHLÝCH DATABÁZÍCH CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ LESNÍCH PŮD

LESNICKÝ PRŮVODCE



doc. Ing. VÍT ŠRÁMEK, Ph.D.
a kol.

Certifikované
METODIKY
PRO PRAXI

10/2020

Kontrola kvality dat v rozsáhlých databázích chemických vlastností lesních půd

Certifikovaná metodika

doc. Ing. Vít Šrámek, Ph.D.

Ing. Věra Fadrhonsová

Mgr. Kateřina Neudertová Hellebrandová, Ph.D.

Ing. Jarmila Čechmánková, Ph.D.

Prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka

Ing. Milan Sánka, Ph.D.

Ing. Radek Novotný, Ph.D.

Lesnický průvodce 10/2020

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

Strnady 136, 252 02 Jíloviště

www.vulhm.cz

Publikace vydané v řadě Lesnický průvodce jsou dostupné v elektronické verzi na:

http://www.vulhm.cz/lesnicky_pruvodce

Vedoucí redaktor: Ing. Jan Řezáč; e-mail: rezac@vulhm.cz

Výkonná redaktorka: Miroslava Valentová; e-mail: valentova@vulhmop.cz

Grafická úprava a zlom: Klára Šimerová; e-mail: simerova@vulhm.cz

ISBN 978-80-7417-211-3

ISSN 0862-7657

QUALITY CONTROL PROCEDURE FOR EXTENSIVE FOREST SOIL CHEMISTRY DATABASE

Abstract

Set of control parameters to check the Aggregated Database of Forest Soil is proposed in the certified methodology. Different procedures applied for sampling, handling and analysing in individual surveys as well as different quality of participating laboratories created a strong need for procedure to check the quality of huge amount of data with limited possibility for tracing history for individual samples. Thresholds for “warning” and “error” are proposed for three different soil layers – upper organic soil horizon (FH), upper mineral layer in depth of 0–30 cm (M03) and deeper mineral soil layer 30–80 cm (M38). Except for tolerable maximum and minimum values for individual properties we used following relations for threshold determination: active pH to exchangeable pH; base cations, phosphorus and base saturation to active pH; total carbon to total nitrogen; exchangeable elements to extractable elements. More details can be found in the summary.

Key words: forest soil; soil survey; soil chemistry; database; quality control; quality assurance; ICP Forests; National Forest Inventory

Oponenti: Ing. Pavel Pavlenda, Ph.D., Národné lesnícké centrum, Zvolen
Ing. Jan Pecháček, Ph.D., Ústav pro hospodářskou úpravu lesů,
pobočka Brno

Adresy autorů:

doc. Ing. Vít Šrámek, Ph.D.

Ing. Věra Fadrhonsová

Mgr. Kateřina Neudertová Hellebrandová, Ph.D.

Ing. Radek Novotný, Ph.D.

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
Strnady 136
252 02 Jíloviště

Ing. Jarmila Čechmánková, Ph.D.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka

Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie a přírodních zdrojů

Ing. Milan Sánka, Ph.D.

Masarykova univerzita Brno, RECETOX

Obsah:

1	CÍL METODIKY	7
2	VLASTNÍ POPIS METODIKY	8
2.1	Zdroje chyb v půdních databázích	8
2.2	Metody sestavení kontrolních parametrů a jejich použití	9
2.3	Limitní hodnoty	11
2.4	Přehled limitů pro nadložní organický horizont (FH)	28
2.5	Přehled limitů pro svrchní vrstvy minerální půdy 0–30 cm (M03)	30
2.6	Přehled limitů pro spodní vrstvy minerální půdy 30–80 cm (M38)	33
3	SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	35
4	POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	36
5	EKONOMICKÉ ASPEKTY	36
6	SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY	37
7	SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE	39
8	DEDIKACE	41
	SUMMARY	42

1 CÍL METODIKY

Současné průzkumy lesních půd v České republice jsou prováděny především třemi resortními institucemi v rámci různých programů a projektů: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti – mezinárodní monitoring zdravotního stavu lesů ICP Forests (Vejpustková 2019); Ústav pro hospodářskou úpravu lesů – typologický průzkum a národní inventarizace lesů (Kučera, Adolt 2019); Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský – průzkum výživy lesů v imisních oblastech (Fiala et al. 2013). Jednotlivé průzkumy se do určité míry odlišují odběrovými i analytickými metodami. V rámci projektu NAZV „Vývoj a verifikace prostorových modelů vlastností lesních půd v České republice“ bylo připraveno sloučení databází těchto organizací s daty od roku 2000. Vznikla tak agregovaná databáze, která obsahuje základní informace o odběrových lokalitách, výsledky provedených chemických analýz a informace o metodách stanovení jednotlivých chemických parametrů. Celkově se jednalo o 19 478 odběrů půdních vzorků z 9 167 lokalit. Data jsou pro vzájemnou srovnatelnost sloučena pro tři základní půdní vrstvy:

- Nadložní organický horizont (FH)
- Svrchní minerální vrstvy půdy v hloubce 0–30 cm (M03)
- Hlubší minerální vrstvy půdy v hloubce 30–80 cm (M38)

Vzhledem k tomu, že databáze zahrnovala analýzy vzorků za posledních 20 let, kdy se do jisté míry měnily analytické metody, přístrojové vybavení, odběrové týmy a v neposlední řadě i způsoby a možnosti uchovávání dat, ukázalo se jako naprosto nezbytné podrobit vstupní data přiměřené kontrole kvality. Vzhledem k rozsahu dat i šíři environmentálních podmínek, které vzorky pokrývají, se posouzení dat pouze podle očekávaných či pravděpodobnostních limitů pro minimální a maximální hodnoty jevílo jako nedostatečné. Cílem pro zpracování metodiky tedy bylo poskytnout kontrolní postupy pro rámcové ověření správnosti dat pomocí vztahů mezi hlavními charakteristikami půdního chemismu. Zpracování těchto kontrol bylo zaměřeno na hlavní charakteristiky ovlivňující výživu dřevin, tedy na pH, hlavní živiny a saturaci sorpčního komplexu bazickými prvky.

2 VLASTNÍ POPIS METODIKY

2.1 Zdroje chyb v půdních databázích

Do Komplexní agregované databáze lesních půd vstupovala data ze čtyř dílčích databází s různým stupněm homogenity. Z hlediska struktury a jednotnosti parametrů byla nejhomogennější databáze Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského, který realizuje odběry půd v rámci průzkumu výživy lesů v imisních oblastech a v genových základnách (Fiala et al. 2013). Vzorky jsou odebírány podle v zásadě jednotné metodiky (organický horizont; organo-minerální horizont; svrchní minerální horizonty), hlubší vrstvy minerální půdy nejsou odebírány. Ve vzorcích je analyzováno konstantní spektrum chemických parametrů, analýzy probíhají v akreditovaných laboratořích ÚKZÚZ. Poměrně standardizovaná je rovněž databáze Národní inventarizace lesů (NIL 2) spravovaná Ústavem pro hospodářskou úpravu lesů. Odběry probíhají podle standardizované metodiky. Určitou variabilitu do odběrové části vnáší větší množství odběrových týmů a odběr podle genetických horizontů (nikoliv konstantních hloubek). Ve vzorcích je analyzováno konstantní spektrum chemických parametrů, analýzy probíhají v laboratořích ÚHÚL, v některých případech s nižší přesností stanovení (celkové obsahy prvků s rozlišením 100 mg.kg^{-1}). Naopak nejméně konzistentní ze zpracovávaného souboru byla typologická databáze ÚHÚL, jejíž vzorky pokrývají celé dvacetileté období, byly odebírány velkým množstvím týmů, jsou v průběhu doby analyzovány několika metodami a představují variabilní množství parametrů, které byly v jednotlivých vzorcích stanovovány. Někde uprostřed pomyslné stupnice variability je databáze Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, která obsahuje jednak velmi homogenní spektrum odběrů prováděných v rámci programu ICP Forests (projekt BioSoil, odběry na plochách intenzivního monitoringu), jednak systematický odběr vzorků pro přípravu a kontrolu projektů vápnění a hnojení lesních porostů a dále širší spektrum různých typů půdních průzkumů prováděných v rámci různých typů výzkumných projektů. Určitou výhodou je, že odběry jsou prováděné velmi úzkým okruhem zaměstnanců útvaru Ekologie lesa, obvykle jsou analyzována kompletní spektra parametrů půdního chemismu a Zkušební laboratoře VÚLHM mají vypracovaný vysoký standard udržení a kontroly kvality včetně pravidelných národních i mezinárodních kruhových testů. Při analýze dat byly identifikovány následující pravděpodobné zdroje chyb v jednotlivých databázích:

- Chyby při vlastním odběru vzorků: nejčastějším pochybením je špatné určení hranice mezi nadložním organickým horizontem a organominerální/minerální vrstvou půdy, což vede k příliš vysokým hodnotám uhlíku, dusíku, ale i dalších

prvků v minerálních horizontech. Dalším chybou, která se vyskytuje prakticky výhradně u odběru podle genetických horizontů, je výpadek či překrytí některých odebíraných hloubek. V některých případech jde o chybu zápisu, jindy o situaci, kdy je diagnostikovaný horizont natolik úzký, že z něj vzorek v dostatečném množství nelze odebrat, případně o situaci, kdy typolog odebírá pouze vzorek diagnostického horizontu, který je nutný k přesnému popisu např. půdního typu. Ve všech případech to ovšem vylučuje možnost hodnocení chemismu půd s ohledem na výživu dřevin. Potenciálním zdrojem chyb může být i záměna vzorků při odběru či transportu. To je ovšem obvykle odhaleno a napraveno před začátkem analýzy.

- Chyby při laboratorním zpracování: zdrojem chyb může být nedostatečná homogenizace vzorku před analýzou, kdy se pro různé typy stanovení odebere z původního vzorku navážka s odlišnými vlastnostmi. Samotné problémy s kvalitou analýz jsou obvykle poměrně vzácné. Pokud nastanou, objeví se u celé série vzorků. V laboratořích s kvalitními standardními operačními postupy, zavedenými systémy zajištění a kontroly kvality včetně systému referenčních vzorků by se prakticky neměly vyskytovat. Je však nutno uvést, že žádné laboratorní měření není úplně přesné a při interpretaci výsledků je nutno přihlížet k použitým laboratorním metodám a jejich možnostem. K relativně velkým chybám může docházet, např. pokud se analyzované veličiny pohybují v blízkosti mezí citlivosti použité metody. K pochybením v laboratořích může docházet také při sestavování dat z jednotlivých analýz do výstupních protokolů (např. záměna sloupců). U analýz staršího data, kdy bylo v některých případech nutné přepisovat výsledky měření ručně, se mohou vyskytovat chyby v umístění desetinné čárky.
- Chyby při sestavování databází: zahrnují různé kombinace formálních chyb, zejména kopírování dat do špatných polí, v případě databází obsahujících různé zdroje dat špatně zadané jednotky apod.

2.2 Metody sestavení kontrolních parametrů a jejich použití

Při hledání vhodných postupů kontroly bylo nutno přihlídnout k tomu, že je potřeba prověřit obrovské množství dat s velmi omezenou možností dohledávání zdrojů a příčin konkrétních chybných hodnot. Jak již bylo zmíněno v kapitole 1, prostá kontrola limitů pro minimální a maximální hodnoty rozsahu jednotlivých para-

metrů se nejevila jako dostatečná, proto byly rovněž hledány vhodné limity vztahů mezi jednotlivými parametry. Vzhledem k odlišnosti půdních vlastností v půdním profilu byly hledány limitní hodnoty zvláště pro každou půdní vrstvu, do které jsou hodnoty v agregované databázi transformovány, tedy svrchní organický horizont (FH), ke kterému byly přidány i výsledky analýz pro organické horizonty organozemí, svrchní minerální vrstvy půdy do 30 cm (M03) a hlubší vrstvy minerální půdy v hloubce 30–80 cm (M38).

Jako výchozí databáze pro hledání vhodných limitů byly vybrány výsledky chemických analýz lesních půd prováděných v rámci projektu BioSoil, který byl zaměřený na průzkum půdních vlastností na plochách ICP Forests. V rámci tohoto projektu byla věnována mimořádná pozornost zajištění a kontrole kvality odběrů i analýz, a to včetně společné tvorby metodik, proškolení odběrových i analytických týmů, kontroly kvality zúčastněných laboratoří kruhovými testy i paralelní analýzou částí vzorků nezávislou laboratoří. Z hlediska kvality tak jde o nejprověřenější data, která jsou k dispozici. V rámci dat BioSoil jsou k dispozici výsledky analýz organické nadložní vrstvy (humusu) FH a vzorky minerální půdy odebírané v konstantních hloubkách 0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm, a 40–80 cm. V případě půdních sond pak byly odebírány vzorky minerální půdy ve vrstvách po deseti centimetrech, v některých případech byly zvláště odebírány vzorky z vrstev 0–5 cm a 5–10 cm. Pro stanovení kritérií kontroly byly vytvořeny tři datové soubory pro charakteristiku organické půdní vrstvy, svrchních vrstev minerální půdy a hlubších vrstev minerální půdy následujícím způsobem:

FH (399 vzorků): vzorky organické nadložní vrstvy (FH)

M03 (1139 vzorků): vzorky svrchních vrstev minerální půdy z hloubek 0–5 cm, 5–10 cm, 0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm; 20–40 cm

M38 (1140 vzorků): vzorky hlubších vrstev minerální půdy z hloubek 30–40 cm, 40–50 cm, 50–60 cm, 60–70 cm, 40–80 cm, 80+ cm

Pro tyto soubory vzorků byly následně prověřovány vztahy, které byly využity pro posouzení hodnot v agregované databázi. V první fázi byla získána kritéria (limity), která bylo možno využít pro kontrolu dat agregovaných do výše uvedených půdních vrstev. V další fázi se však ukázalo, že je nutno provést kontrolu primárních dat, neboť když do agregované vrstvy vstupuje několik vzorků (obvykle formou váženého průměru podle mocnosti odebíraných horizontů), mohou se extrémní hodnoty (chyby) průměrováním skrýt. Na druhou stranu se ukázalo, že pro posuzování vstupních, neagregovaných vzorků je nutné limity poněkud rozšířit, protože se významně zvýšila variabilita vlastností vzorků vstupujících do kontroly.

Většina limitních hodnot byla stanovena ve dvou úrovních:

warning: podezřelá hodnota, správci konkrétní databáze byla doporučena kontrola. Pokud nebyly shledány důvody pro úpravu hodnoty (identifikace chyby, kterou lze opravit) či pro odstranění hodnoty (identifikace chyby, kterou nelze opravit) byla tato v databázi ponechána.

error: podezřelá hodnota, správci databáze byla doporučena kontrola. Pokud nebyla hodnota opravena, byla z databáze vypuštěna.

Je zřejmé, že ne ve všech případech musí **error** představovat skutečně nesprávnou hodnotu, může jít o extrémní, nicméně reálnou hodnotu z hlediska distribuce půdních vlastností. Je tomu tak např. na v případě bazických prvků v půdách na specifických podložích (Ca–vápence, K–hadce, Mg–dolomity) či u těžkých kovů na kontaminovaných lokalitách, kde mohou být reálné hodnoty i řádově vyšší oproti limitu pro **error**. Při kontrole nových dat doporučujeme v případě takového výskytu důkladnou kontrolu postupů při odběru vzorku i laboratorním zpracování a následnou reanalýzu. Pokud nejsou shledána pochybení v odběru, transportu a přípravě vzorku a reanalyzovaná hodnota odpovídá původnímu extrému je možné údaj do databáze zařadit. U kontroly rozsáhlých historických dat takový postup obvykle nelze použít.

2.3 Limitní hodnoty

Hodnota pH:

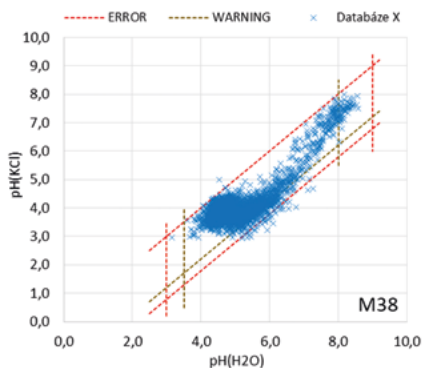
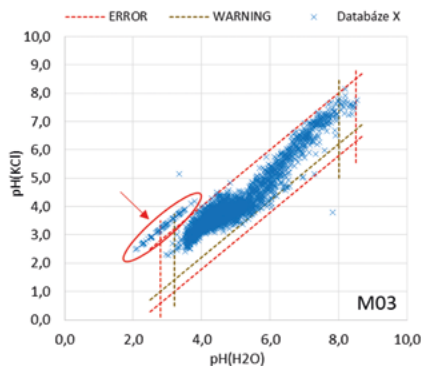
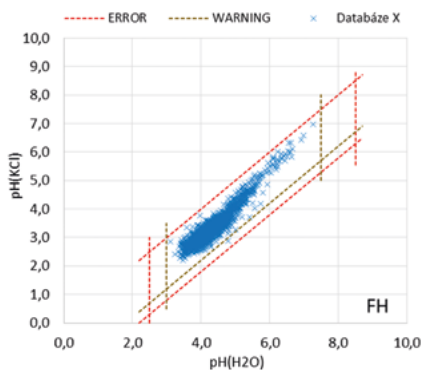
Jako základní parametr je kontrolována hodnota aktivního $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$, pro kterou jsou stanovené spodní a horní limity následovně:

	spodní limit		horní limit	
	error	warning	warning	error
FH	$\leq 2,5$	$\leq 3,0$	$\geq 7,5$	$\geq 8,5$
M03	$\leq 2,8$	$\leq 3,2$	$\geq 8,0$	$\geq 8,5$
M38	$\leq 3,0$	$\leq 3,5$	$\geq 8,0$	$\geq 9,0$

Dále jsou porovnávány hodnoty aktivního $\text{pH}(\text{pH}(\text{H}_2\text{O}))$ a výměnného $\text{pH}(\text{pH}(\text{KCl}); \text{pH}(\text{CaCl}_2))$. Ve vodním výluhu se uvolní menší množství vodíkových

iontů než ve výluhu chloridem draselným či vápenatým, proto platí, že $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) > \text{pH}(\text{vým})$. Zároveň je mezi hodnotami aktivního a výměnného pH úzká korelace. Limitní hodnoty pro $\text{pH}(\text{vým})$ byly tedy stanoveny stejně pro všechny půdní vrstvy:

	spodní limit		horní limit	
	errorr	warning	warning	errorr
FH, M03, M38	$\leq (\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 2,2)$	$\leq (\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 1,8)$	-	$> \text{pH}(\text{H}_2\text{O})$



Obr. 1: Grafické znázornění kontrol pH

V horizontu **FH** vyhovují všechny výsledky analýz kontrolám; ve vrstvě **M03** jsou identifikovány chyby. Zvýrazněná oblast obsahuje data, která vznikla pravděpodobně chybným výpočtem hodnoty $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ odvozené z $\text{pH}(\text{KCl})$; ve vrstvě **M38** jsou především chyby z velkého rozdílu mezi aktivním a výměnným pH (1,4 % chybných hodnot). Jednotlivé databáze jsou anonymizované

Celkové obsahy uhlíku a dusíku

Většina hodnot uhlíku a dusíku v hodnocených databázích byla stanovena elementární analýzou těchto prvků na CNS analyzátoru. Data z let 2000–2005 ovšem z části obsahovala i údaje stanovené jako oxidovatelný uhlík a dusík stanovený podle Kjehldala. Zejména v případě uhlíku mohou vést tyto metody k odlišným výsledkům. Zatímco starší metody (Cox) stanovují organický uhlík, při moderních metodách stanovení celkového uhlíku (Ctot) elementární CNS analýzou dochází při vysoké teplotě i k rozkladu karbonátů a stanovení uhlíku v těchto anorganických vazbách. Pro vzorky z vápenitých půd a obecně půd s výměnným pH > 5,5 platí, že Ctot je součtem organického a anorganického uhlíku, v případě kyselých půd lze předpokládat, že $Cox \approx Ctot$.

Při stanovení limitů se jako problematické ukázalo zejména stanovení limitů pro obsah uhlíku. V první fázi byl stanoven minimální obsah Ctot v souboru FH na 20 %, což byl rovněž maximální přípustný obsah Ctot v souboru M03. Tato hranice je stanovena z toho důvodu, že obsah Ctot 20 % je diagnostickým znakem pro odlišení organických a minerálních horizontů (IUSS 2015). V nadložním organickém horizontu se výjimečně vyskytují hodnoty Ctot < 20 % v případě mělkých horizontů typu mull či moder, v minerální půdě je pak Ctot > 20 % především v případě odběrů 0–5 cm či 5–10 cm, nebo v případě, že je organický materiál mechanicky promísený s minerální částí půdy. Vždy se však v zásadě jedná o nepřesnosti spojené s odběrem vzorku – v některých případech není možné hranici mezi horizonty přesně stanovit. Při použití kritéria Ctot > 20 % jsme se však dostali do problému – celkově zhruba 20 % vzorků nadložní organické vrstvy vykazovalo obsah uhlíku nižší než tento limit, naopak vzorky minerálních horizontů (zejména ve svrchních vrstvách půdy 0–5 cm a 0–10 cm) vykazovaly příliš často vyšší obsah C než 20 %. To zohledňují ve stanovení hraničních hodnot i König et al. (2016), kteří snížili spodní limitní obsah C v organických horizontech na 12 %. My jsme dokonce posunuli limit hodnoty **error** až na 5 %. Je sice zřejmé, že se u takto nízkých obsahů C jedná o špatný odběr, nicméně při současném správném stanovení hloubky a objemové hmotnosti organického horizontu lze stále výsledné analýzy využít např. ke stanovení celkové zásoby uhlíku a dalších prvků v lesních půdách. Naopak jejich vyřazením bychom se připravili o příliš podstatnou část dat. Do budoucna však považujeme za nutné věnovat tomuto problému při přípravě půdních průzkumů patřičnou pozornost. U minerálních vrstev jsme maximální hodnoty obsahu uhlíku stanovili pro tři různá hloubková rozpětí: 0–10 cm; 10–30 cm a 30–80 cm:

	spodní limit C		horní limit C	
	error	warning	warning	error
FH	≤ 5 %	≤ 15 %	≥ 50 %	≥ 55 %
M03	0 - 10 cm	-	-	> 20 %
	10 - 30 cm	-	-	> 20 %
M38	-	-	> 6 %	> 20 %

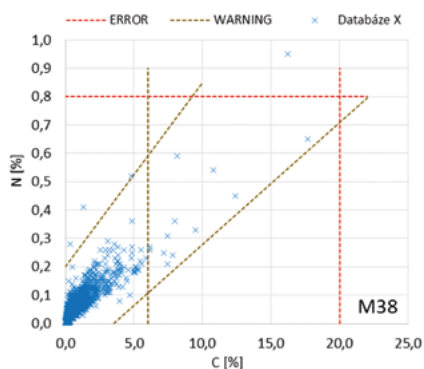
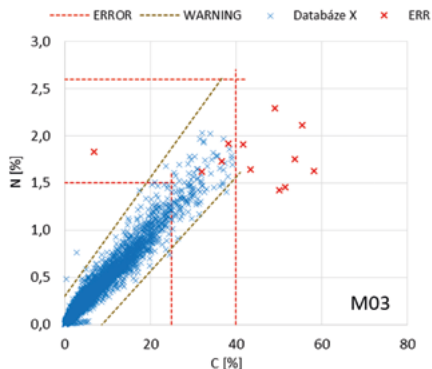
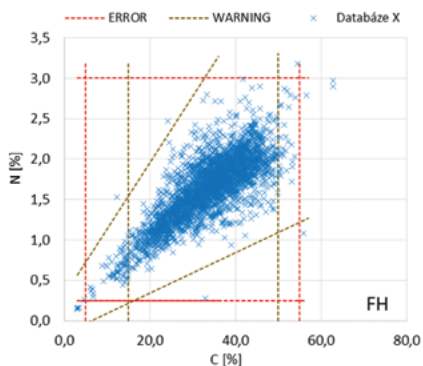
Pro hodnoty dusíku byly stanoveny jednak limity pro minimální a maximální obsah, jednak hodnoty warningů pro vztah s obsahy uhlíku. Ty jsou dány tím, že kromě půd obsahujících karbonáty, jsou obvykle obsahy obou prvků vázány na obsah organické hmoty v půdních vrstvách:

	spodní limit N		horní limit N	
	error	warning	warning	error
FH	≤ 0,25 %	< 0,025*Ctot - 0,16	> 0,082*Ctot + 0,32	≥ 3 %
M03	0 - 10 cm	-	< 0,05*Ctot - 0,44	> 0,063*Ctot + 0,3
	10 - 30 cm	-	< 0,05*Ctot - 0,44	> 0,063*Ctot + 0,3
M38	-	< 0,043*Ctot - 0,15	> 0,065*Ctot + 0,2	≥ 0,8 %

Grafické srovnání limitních hodnot m. j. ukázalo značně rozvolněnější vztah C a N v případě, že jsou tyto prvky analyzovány metodou spektrofotometrie v blízkém infračerveném spektru (NIRS), která umožňuje rychlejší a levnější stanovení oproti CNS analyzátoru, ovšem s menší přesností.

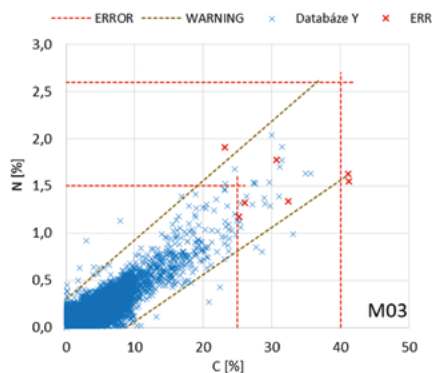
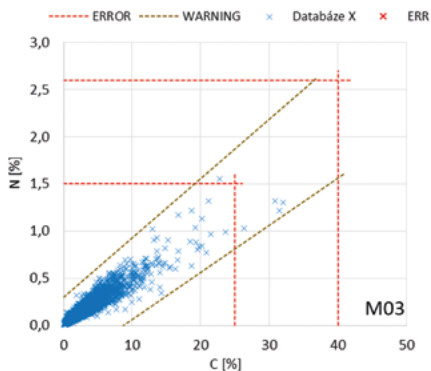
Dále byly stanoveny hodnoty pro poměr C/N v humusové vrstvě, nikoliv však ve formě „tvrdých“ limitů:

	spodní limit C/N		horní limit C/N	
	error	warning	warning	error
FH	-	≤ 10	≥ 40	-



Obr. 2: Grafické znázornění kontrol C a N

V horizontu **FH** nevyhovuje ca 0,4 % výsledků analýz kontrolám – nejlepší výsledek ze všech databází; ve vrstvě **M03** jsou červeně identifikovány chyby – je zde odlišný limit C pro vrstvu 0–10 cm a 20–40 cm; ve vrstvě **M38** je pouze jedna chybná hodnota. Jednotlivé databáze jsou anonymizované



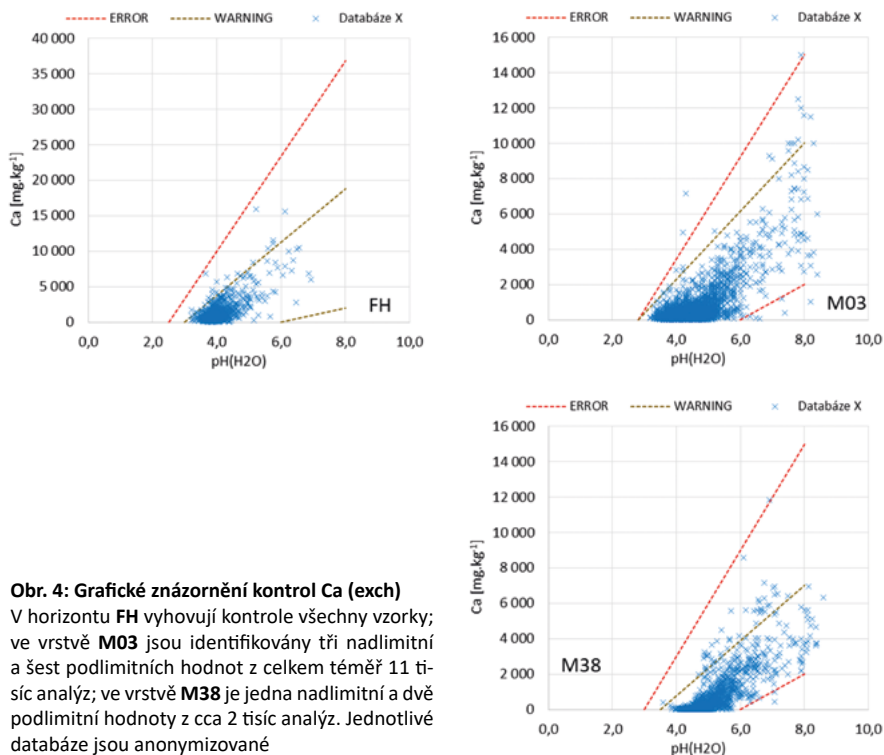
Obr. 3: Srovnání obsahů C a N na pozadí limitních hodnot ve svrchních minerálních vrstvách půdy.

vlevo: databáze se stanovením Ctot a Ntot na analyzátoru CNS; **vpravo:** databáze se stanovením metodou NIRS

Obsahy vápníku

Pro výměnné obsahy vápníku byly stanoveny limity na základě závislosti s $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$. V humusové vrstvě byla hodnota „error“ stanovena pouze pro horní limit, ve vrstvách minerální půdy i pro spodní. Tento typ kontroly nicméně nelze využít na plochách, které byly v nedávné době vápněny (zhruba do dvou let po zásahu). Na nich – dle našich zkušeností – ještě nemusí být poměr přístupného vápníku a pH ustálený.

	spodní limit Ca		horní limit Ca	
	error	warning	warning	error
FH	-	$\leq 1000 \cdot \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 6000$	$\geq 3750 \cdot \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 11250$	$\geq 6700 \cdot \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 16740$
M03	$\leq 1000 \cdot \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 6000$	-	$\geq 1925 \cdot \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 5380$	$\geq 2885 \cdot \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 8070$
M38	$\leq 1000 \cdot \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 6000$	-	$\geq 1555 \cdot \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 5444$	$\geq 3000 \cdot \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 9000$



Obr. 4: Grafické znázornění kontrol Ca (exch)

V horizontu **FH** vyhovují kontrole všechny vzorky; ve vrstvě **M03** jsou identifikovány tři nadlimitní a šest podlimitních hodnot z celkem téměř 11 tisíc analýz; ve vrstvě **M38** je jedna nadlimitní a dvě podlimitní hodnoty z cca 2 tisíc analýz. Jednotlivé databáze jsou anonymizované

Dalším typem srovnání je poměr obsahu výměnného vápníku (analýza ve výluhu Mehlich III, případně BaCl_2) a pseudototálního vápníku (výluh HNO_3 , případně lučavkou královskou). Samozřejmým předpokladem je, že hodnoty z pseudototálního výluhu jsou vyšší. Zejména u velmi nízkých koncentrací není ovšem toto pravidlo dodrženo. Předpokládáme, že to souvisí především s problematikou dodržení homogenity vzorků. Při nízkých koncentracích to nepokládáme za úplně zásadní nedostatek, proto byla hodnota tohoto „přirozeného limitu“ ještě o 15 % zvýšena:

	spodní limit Ca		horní limit Ca	
	erorr	warning	warning	erorr
FH	< 0,14*Catot-700	-	> Catot	> 1,15*Catot
M03	-	< 0,13*Catot-333	> Catot	> 1,15*Catot
M38	-	< 0,13*Catot-333	> Catot	> 1,15*Catot

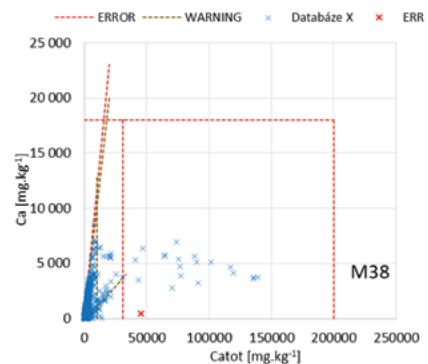
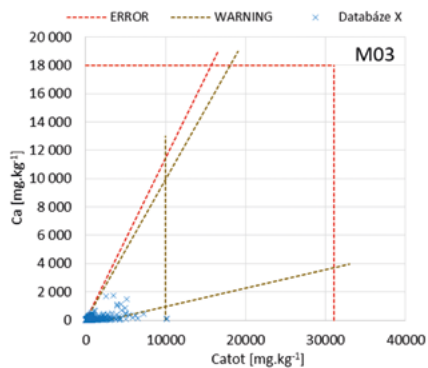
Dále byly stanoveny maximální limity pro obsah Ca. Zejména v hlubších minerálních horizontech jsou však hodnoty zjištěné pseudototálním výluhem velmi variabilní v závislosti na podloží. Byly tedy stanoveny odlišné hranice pro vzorky s $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ do 6,5 a nad 6,5:

	horní limit Ca tot	
	warning	erorr
FH	> 10,000 mg.kg ⁻¹	> 31,000 mg.kg ⁻¹
M03	> 10,000 mg.kg ⁻¹	> 31,000 mg.kg ⁻¹
M38	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) \leq 6,5$	> 10,000 mg.kg ⁻¹
	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) > 6,5$	> 31,000 mg.kg ⁻¹



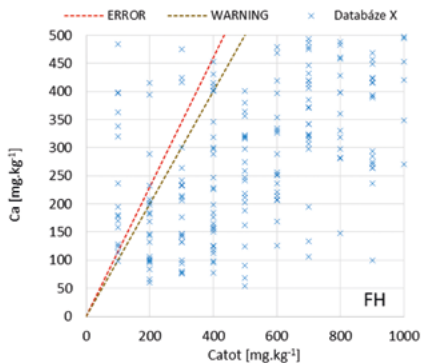
Obr. 5: Grafické znázornění kontrol Ca (tot)

V horizontu **FH** téměř 10% chyb, vysvětlení na obr. 6; ve vrstvě **M03** vyhovují všechny vzorky kontrolním parametrům; ve vrstvě **M38** je 1,2 % chyb, z toho pouze jedna červeně zvýrazněná hodnota přesahuje maximální limit Ca tot pro $pH(H_2O) < 6,5$. Jednotlivé databáze jsou anonymizované.



Obr. 6: Grafické znázornění kontrol Ca (tot)

Detail obr. 5 pro nadložní organickou vrstvu **FH**: Při detailním pohledu je zřejmé, že pseudototální analýzy byly stanovovány s rozlišením na 100 $mg.kg^{-1}$. Tím vzniklo velké množství chyb při porovnání s detailnějšími analýzami Ca exch.



Obsahy draslíku

I pro další bazické prvky byly stanoveny obdobné parametry kontrol. U výměnného draslíku byly kromě horních limitů v závislosti na aktivním $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ v minerálních horizontech stanoveny také maximální obsahy tohoto prvku. Spodní limity nebyly stanoveny:

horní limit K			
	warning	error 1	error 2
FH	$\geq 445 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 1111$	$\geq 445 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 611$	-
M03	$\geq 350 \text{ mg.kg}^{-1}$	$\geq 280 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 700$	$> 500 \text{ mg.kg}^{-1}$
M38	$\geq 250 \text{ mg.kg}^{-1}$	$\geq 280 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 840$	$> 300 \text{ mg.kg}^{-1}$

Dále byly, stejně jako u vápníku, stanoveny limity obsahů výměnného K ve vztahu k hodnotám z pseudototálních výluhů. Rovněž zde šlo pouze o horní limity:

horní limit K		
	warning	error
FH	$> K_{\text{tot}}$	$> 1,15 * K_{\text{tot}}$
M03	$> K_{\text{tot}}$	$> 1,15 * K_{\text{tot}}$
M38	$> K_{\text{tot}}$	$> 1,15 * K_{\text{tot}}$

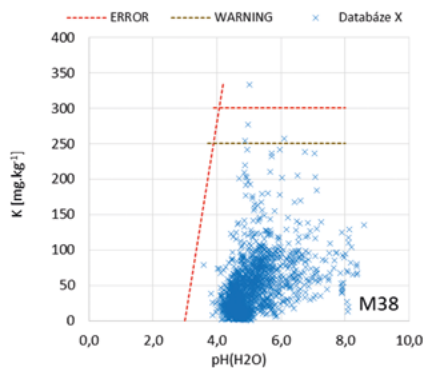
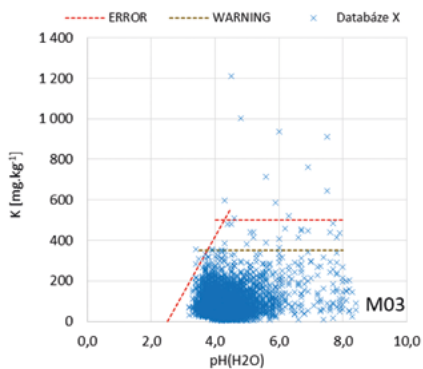
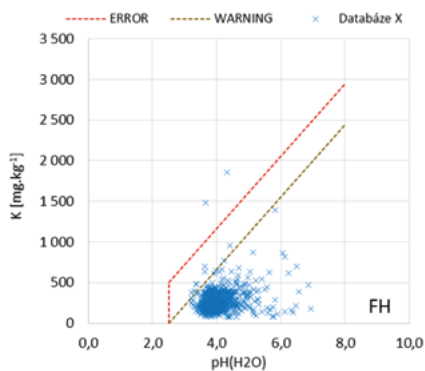
Limitní hodnoty byly určeny rovněž pro maximální obsahy pseudototálních obsahů K:

horní limit K tot		
	warning	error
FH	$> 15,000 \text{ mg.kg}^{-1}$	$> 25,000 \text{ mg.kg}^{-1}$
M03	$> 15,000 \text{ mg.kg}^{-1}$	$> 25,000 \text{ mg.kg}^{-1}$
M38	$> 15,000 \text{ mg.kg}^{-1}$	$> 25,000 \text{ mg.kg}^{-1}$

Obsahy hořčíku

U obsahů výměnného hořčíku byly stanoveny horní limity následovně:

	horní limit Mg		
	warning	error 1	error 2
FH	> 3000 mg.kg ⁻¹	≥ 1667*pH(H ₂ O)-4160	> 4500 mg.kg ⁻¹
M03	> 1500 mg.kg ⁻¹	≥ 570*pH(H ₂ O)-1425	> 2000 mg.kg ⁻¹
M38	> 1500 mg.kg ⁻¹	≥ 666*pH(H ₂ O)-1990	> 2000 mg.kg ⁻¹

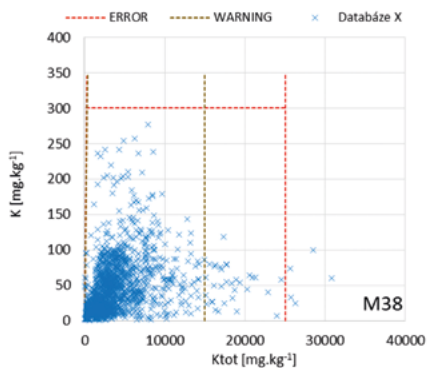
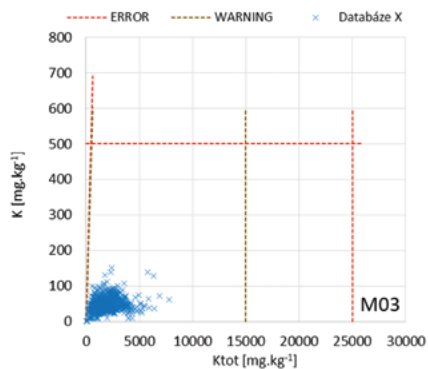
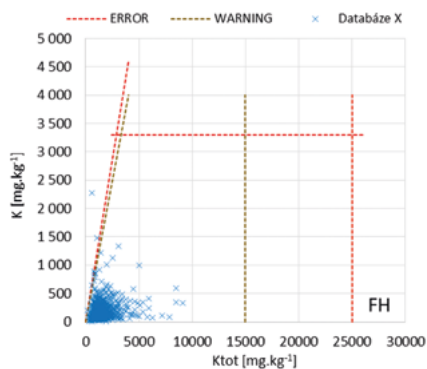


Obr. 7: Grafické znázornění kontrol K (exch)

V horizontu **FH** jsou dvě chybné nadlimitní hodnoty; ve vrstvě **M03** je identifikováno čtrnáct chybných hodnot – tři nevyhovují vztahu s pH, osm je nad maximální očekávanou hodnotou K, tři kombinují překročení obou limitů; ve vrstvě **M38** je jedna nadlimitní hodnota. Jednotlivé databáze jsou anonymizované.

Pobdobně jako u ostatních prvků byl stanoven limit pro výměnný hořčík na základě poměru k pseudototální formě Mg:

	horní limit Mg	
	warning	erorr
FH	> Mgtot	> 1,15*Mgtot
M03	> Mgtot	> 1,15*Mgtot
M38	> Mgtot	> 1,15*Mgtot

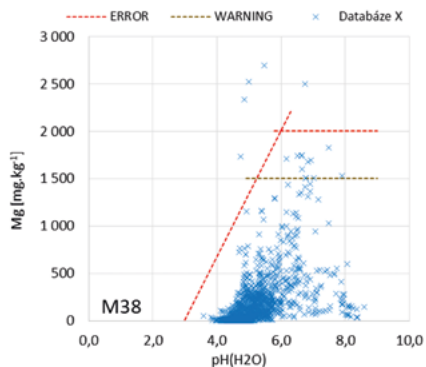
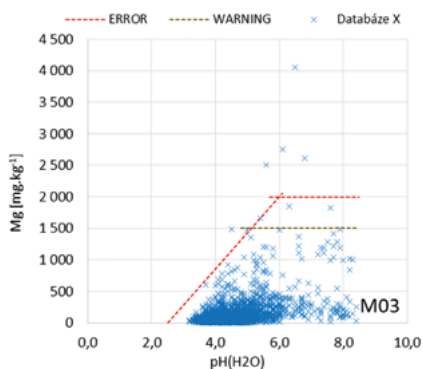
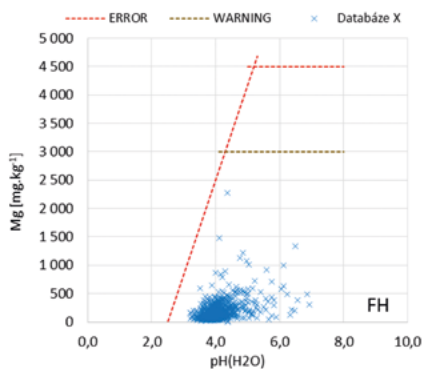


Obr. 8: Grafické znázornění kontrol K (tot)

V horizontu **FH** jsou dvě chybné nadlimitní hodnoty; ve vrstvě **M03** vyhovují všechny hodnoty kontrolním parametrům; ve vrstvě **M38** je pět nadlimitních hodnot. Jednotlivé databáze jsou anonymizované

Byly také stanoveny limity pro pseudototální obsah hořčíku:

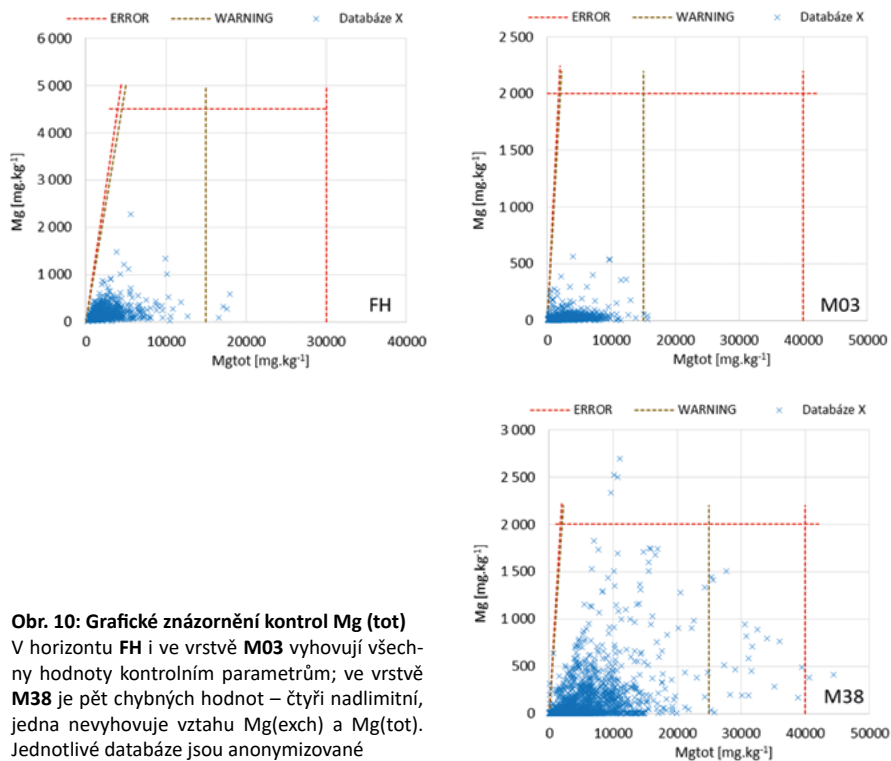
horní limit Mg tot		
	warning	error
FH	> 15.000 mg.kg ⁻¹	> 30.000 mg.kg ⁻¹
M03	> 15.000 mg.kg ⁻¹	> 40.000 mg.kg ⁻¹
M38	> 25.000 mg.kg ⁻¹	> 40.000 mg.kg ⁻¹



Obr. 9: Grafické znázornění kontrol Mg (exch)

V horizontu **FH** se nevyskytují hodnoty, které by překračovaly kontrolní limity; ve vrstvě **M03** je identifikováno sedm chybných hodnot – tři nevyhovují vztahu s pH, další čtyři jsou zároveň nad horním absolutním limitem; ve vrstvě **M38** je identifikováno pět chybných hodnot. Jednotlivé databáze jsou anonymizované

Stejně jako u jiných prvků je zřejmé, že hodnoty „error“ pro pseudototální obsahy nejsou absolutním limitem. Zejména na slabě vyvinutých půdách na dolomitech a dolomitických vápencích mohou být až řádově vyšší, nicméně jde o specifické případy. Pro srovnání v celoevropském průzkumu půd BioSoil byla v minerálních horizontech hodnota percentilu 97,5 % do hodnoty 30 477 mg.kg⁻¹, maximální dosažená hodnota pak 204 530 mg.kg⁻¹ (de Vos a Cools 2011).

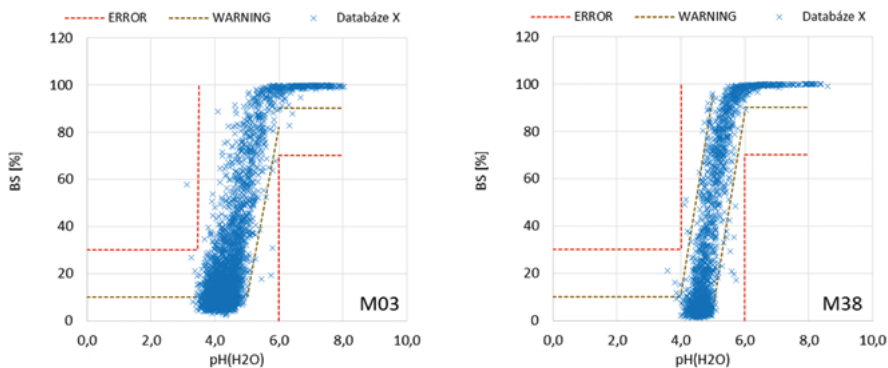


Obr. 10: Grafické znázornění kontrol Mg (tot)
 V horizontu FH i ve vrstvě M03 vyhovují všechny hodnoty kontrolním parametrům; ve vrstvě M38 je pět chybných hodnot – čtyři nadlimitní, jedna nevyhovuje vztahu Mg(exch) a Mg(tot). Jednotlivé databáze jsou anonymizované

Saturace sorpčního komplexu bázemi (BS)

Nasycení sorpčního komplexu bázemi (BS) je komplexní charakteristikou, která do značné míry charakterizuje dostupnost bazických prvků pro výživu dřevin a je jedním z podstatných parametrů pro posouzení kvality půd i plánování nápravných opatření (např. Šrámek et al. 2014). Je ovšem relevantní především pro minerální horizonty. V humusové vrstvě se větší část živin nachází ve formě komplexních organických sloučenin, nikoliv ve formě iontové. Pro kontrolu saturace bázemi byly tedy vytvořeny limity závislosti na $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ pouze pro minerální vrstvy půdy. Parametry kontroly se pro různé rozsahy pH odlišují. U vrstvy M03 není stanoven warning pro rozsah pH 3,5–4 kvůli velké variabilitě, která zřejmě vyplývá z různé míry ovlivnění nadložní organickou vrstvou při odběru (viz obsahy C a N):

		spodní limit BS		horní limit BS	
		error	warning	warning	error
M03	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) < 3,5$			≥ 10	≥ 30
	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) 5 - 6$		$\leq 72 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 350$		
	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) > 6$	≤ 70	≤ 90		
M38	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) < 4,0$			$\geq 10,0$	$\geq 30,0$
	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) 4 - 5$		$\leq 83 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 320$		
	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) > 6$	≤ 70	≤ 90		



Obr. 11: Grafické znázornění kontrol nasycení sorpčního komplexu bázemi ve vrstvě M03 je identifikována jedna chybná hodnota, vrstva M38 je bez chybných hodnot. Jednotlivé databáze jsou anonymizovány.

Obsahy fosforu

Stanovení přístupného fosforu v lesních půdách je problematické. Převážná část minerálních sloučenin fosforu v půdě je ve formách ve vodě nerozpustných. Tento prvek není součástí sorpčního komplexu a jeho dostupnost pro dřeviny je výrazně ovlivňována např. výskytem mykorhiz (Hagerberg et al. 2003). Obsahy přístupného fosforu jsou stanovovány pomocí různých vyluhů, žádný z nich však není univerzálně akceptovatelný. V minerální půdě je přístupnost fosforu snížena jak při nízkém pH (alumo-silikátové vazby), tak při vysokém pH (vazby s vápníkem). Tomu odpovídá i stanovení limitů přístupného fosforu v minerálních horizontech:

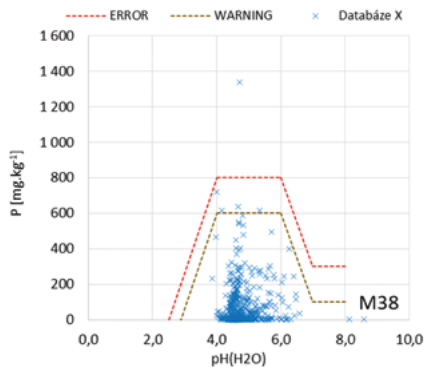
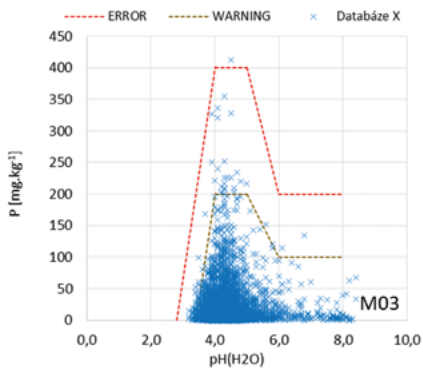
		horní limit P	
		warning	error
M03	pH(H ₂ O) < 4,0	$\geq 334 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 1135$	$\geq 334 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 935$
	pH(H ₂ O) 4 – 5	> 200 mg.kg ⁻¹	> 400 mg.kg ⁻¹
	pH(H ₂ O) 5 – 6	$\geq -100 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) + 700$	$\geq -200 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) + 1400$
	pH(H ₂ O) > 6	> 100 mg.kg ⁻¹	> 200 mg.kg ⁻¹
M38	pH(H ₂ O) < 4,0	$\geq 533 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 1532$	$\geq 533 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - 1332$
	pH(H ₂ O) 4 – 6	> 600 mg.kg ⁻¹	> 800 mg.kg ⁻¹
	pH(H ₂ O) 6 – 7	$\geq 500 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) + 3600$	$\geq 500 * \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) + 3800$
	pH(H ₂ O) > 7	> 100 mg.kg ⁻¹	> 300 mg.kg ⁻¹

Dále byly stanoveny limity pro vztah přístupného fosforu a pseudototálního obsahu tohoto prvku. V případě fosforu, který se v půdě vyskytuje ze 30 až 50 % v organických formách, jsou limity nižší než pro bazické živiny.

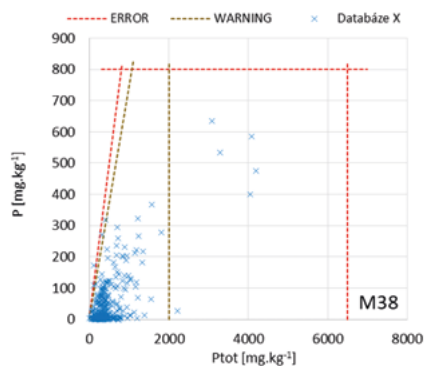
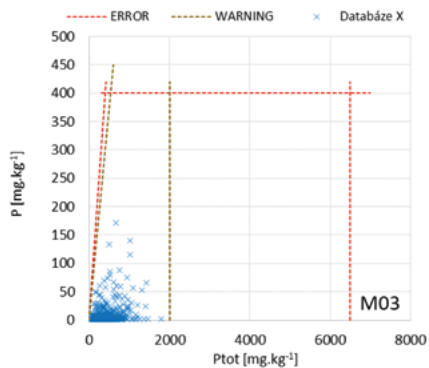
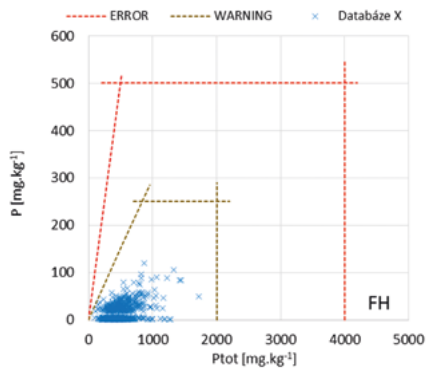
		horní limit P	
		warning	error
FH	> 0,3*P _{tot}	> P _{tot}	> P _{tot}
M03	> 0,75*P _{tot}	> P _{tot}	> P _{tot}
M38	> 0,75*P _{tot}	> P _{tot}	> P _{tot}

Horní limity byly stanoveny rovněž pro pseudototální obsahy fosforu:

horní limit P _{tot}		
	warning	error
FH	> 2,000 mg.kg ⁻¹	> 4,000 mg.kg ⁻¹
M03	> 2,000 mg.kg ⁻¹	> 6,500 mg.kg ⁻¹
M38	> 2,000 mg.kg ⁻¹	> 6,500 mg.kg ⁻¹



Obr. 12: Grafické znázornění kontrol přístupného fosforu ve vrstvě **M03** je identifikována jedna chybná hodnota; ve vrstvě **M38** je rovněž jedna chyba. Jednotlivé databáze jsou anonymizovány.



Obr. 13: Grafické znázornění kontrol P(tot)

V horizontu **FH** není žádná chybná hodnota z hlediska limitů. Je však patrné přerušení bodového pole v rozsahu 7–14 mg.kg⁻¹, které je způsobeno problematickým „přepočtem“ hodnot; ve vrstvě **M03** vyhovují všechny hodnoty kontrolním parametrům; ve vrstvě **M38** je jedna chybná hodnota. Jednotlivé databáze jsou anonymizované

2.4 Přehled limitů pro nadložní organický horizont (FH)

Parametr	Podmínka (rozsah)	spodní limit		horní limit	
		error	warning	warning	error
pH(H ₂ O)	-	≤ 2,5	≤ 3,0	≥ 7,5	≥ 8,5
pH(vým)	-	≤ (pH(H ₂ O) - 2,2)	≤ (pH(H ₂ O) - 1,8)	-	> pH(H ₂ O)
C (Ctot i Corg)	-	≤ 5 %	≤ 15 %	≥ 50 %	≥ 55 %
N (Ntot i Nkjhnl)	-	≤ 0,25 %	< 0,025* Ctot - 0,16	> 0,082* Ctot + 0,32	≥ 3 %
C/N	-	-	≤ 10	≥ 40	-
Ca exch	s výjimkou čerstvě vápněných ploch	-	≤ 1000 * pH(H ₂ O) - 6000	≥ 3750 * pH(H ₂ O) - 11250	≥ 6700 * pH(H ₂ O) - 16740
Ca exch	< 0,14* Ctot-700	-	> Catot	> 1,15* Catot	-
Ca tot	-	> 10.000 mg.kg ⁻¹	-	> 31.000 mg.kg ⁻¹	-
K exch	-	≥ 445 * pH(H ₂ O) - 1111	-	≥ 445 * pH(H ₂ O) - 611	-
K exch	-	> Ktot	-	> 1,15* Ktot	-
K tot	-	> 15.000 mg.kg ⁻¹	-	> 25.000 mg.kg ⁻¹	-
Mg exch	-	> 3.000 mg.kg ⁻¹	-	≥ 1667 * pH(H ₂ O) - 4160	-
Mg exch	-	> Mgtot	-	> 4.500 mg.kg ⁻¹	-
Mg tot	-	> 15.000 mg.kg ⁻¹	-	> 30.000 mg.kg ⁻¹	-
P	-	> 250 mg.kg ⁻¹	-	> 500 mg.kg ⁻¹	-
P	-	> 0,3* Ptot	-	> Ptot	-
P tot	-	> 2.000 mg.kg ⁻¹	-	> 4.000 mg.kg ⁻¹	-

exch – výměnné obsahy (výluh BaCl₂, Mehlich III), tot – pseudotorální obsahy (výluh HNO₃, lučavka královská)

Parametr	Podmínka (rozsah)	spodní limit		horní limit	
		error	warning	warning	error
Al exch				> 1 000 mg.kg ⁻¹	> 3 000 mg.kg ⁻¹
Fe exch				> 500 mg.kg ⁻¹	> 2 000 mg.kg ⁻¹
Mn exch				> 2 000 mg.kg ⁻¹	> 9 000 mg.kg ⁻¹
Na exch				> 500 mg.kg ⁻¹	> 1 200 mg.kg ⁻¹
Al tot				> 25 000 mg.kg ⁻¹	> 50 000 mg.kg ⁻¹
Cd tot				> 5 mg.kg ⁻¹	> 50 mg.kg ⁻¹
Cr tot				> 100 mg.kg ⁻¹	> 400 mg.kg ⁻¹
Cu tot				> 150 mg.kg ⁻¹	> 700 mg.kg ⁻¹
Fe tot				> 25 000 mg.kg ⁻¹	> 50 000 mg.kg ⁻¹
Mn tot				> 5 000 mg.kg ⁻¹	> 15 000 mg.kg ⁻¹
Na tot				> 150 mg.kg ⁻¹	> 500 mg.kg ⁻¹
Pb tot				> 250 mg.kg ⁻¹	> 1 200 mg.kg ⁻¹
Zn tot				> 500 mg.kg ⁻¹	> 5 000 mg.kg ⁻¹

exch – výměnné obsahy (výluh BaCl₂, Mehlich III), *tot* – pseudototální obsahy (výluh HNO₃, lučavka královská)

2.5 Přehled limitů pro svrchní vrstvy minerální půdy 0–30 cm (M03)

Parametr	Podmínka (rozsah)	spodní limit		horní limit	
		error	warning	warning	error
pH(H ₂ O)	-	≤ 2,8	≤ 3,2	≥ 8,0	≥ 8,5
pH(vým)	-	≤ (pH(H ₂ O) – 2,2)	≤ (pH(H ₂ O) – 1,8)		> pH(H ₂ O)
C (Ctot i Corg)	s výjimkou organozemí, povrchové horizonty A, případně do hloubky 10 cm (0-5cm, 0-10 cm)			> 20 %	> 40 %
C (Ctot i Corg)	s výjimkou organozemí, povrchové horizonty zahrnující minerální vrstvy pod 10 cm - např. 0-20 cm, 20-30 cm, 10-30 cm apod			> 20 %	> 25 %
N (Ntot i Nkgeh)	s výjimkou organozemí, povrchové horizonty A, případně do hloubky 10 cm (0-5cm, 0-10 cm)		< 0,05 *Ctot - 0,44	> 0,063 *Ctot + 0,3	≥ 2,5
N (Ntot i Nkgeh)	s výjimkou organozemí, povrchové horizonty zahrnující minerální vrstvy pod 10 cm - např. 0-20 cm, 20-30 cm, 10-30 cm apod		< 0,05 *Ctot - 0,44	> 0,063 *Ctot + 0,3	≥ 1,5
Ca exch	s výjimkou čerstvé vápněných ploch	≤ 1000 * pH(H ₂ O)-6000		≥ 1925 * pH(H ₂ O)-5380	≥ 2885 * pH(H ₂ O)-8070
Ca exch			< 0,13 *Catot-333	> Catot	> 1,15 *Catot
Ca tot				> 10.000 mg.kg ⁻¹	> 31.000 mg.kg ⁻¹
K exch				> 350 mg.kg ⁻¹	≥ 280 * pH(H ₂ O)-700
K exch				> 500 mg.kg ⁻¹	
K tot				> Ktot	> 1,15 * Ktot
K tot				> 15.000 mg.kg ⁻¹	> 25.000 mg.kg ⁻¹

exch – výměnné obsady (výluh BaCl₂, Mehlich III), *tot* – pseudototální obsady (výluh HNO₃ lučavka krdlovská)

Parametr	Podmínka (rozsah)	spodní limit		horní limit	
		errorr	warning	warning	errorr
Mg exch	s výjimkou čerstvě vápněných ploch			> 1 500 mg.kg ⁻¹	> 2 000 mg.kg ⁻¹
Mg exch	s výjimkou čerstvě vápněných ploch			> 1 500 mg.kg ⁻¹	≥ 570*pH(H ₂ O)-1425
Mg exch				>Mgtot	> 1,15*Mgtot
Mg tot				> 15 000 mg.kg ⁻¹	> 40 000 mg.kg ⁻¹
BS	pH(H ₂ O) < 3,5			≥ 10,0 %	≥ 30,0 %
BS	pH(H ₂ O) v rozmezí 5 – 6		≤ 72*pH(H ₂ O)-350		
BS	pH(H ₂ O) > 6	≤ 70 %	≤ 90 %		
P	pH(H ₂ O) < 4			≥ 334*pH(H ₂ O)-1135	≥ 334*pH(H ₂ O)-935
P	pH(H ₂ O) v rozmezí 4 – 5			> 200 mg.kg ⁻¹	> 400 mg.kg ⁻¹
P	pH(H ₂ O) v rozmezí 5 – 6			≥ -100*pH(H ₂ O)+700	≥ -200*pH(H ₂ O)+1400
P	pH(H ₂ O) > 6			> 100 mg.kg ⁻¹	> 200 mg.kg ⁻¹
P				> 0,75*Ptot	> Ptot
P tot				> 2 000 mg.kg ⁻¹	> 6 500 mg.kg ⁻¹

exch – výměnné obsahy (výluh BaCl₂, Mehlich III), *tot* – pseudototální obsahy (výluh HNO₃, lučavka královská)

Parametr	Podmínka (rozsah)	spodní limit		horní limit	
		error	warning	warning	error
Al exch				> 1 000 mg.kg ⁻¹	> 3 000 mg.kg ⁻¹
Fe exch				> 500 mg.kg ⁻¹	> 1 200 mg.kg ⁻¹
Mn exch				> 300 mg.kg ⁻¹	> 1 000 mg.kg ⁻¹
Na exch				> 300 mg.kg ⁻¹	> 700 mg.kg ⁻¹
Al tot				> 50 000 mg.kg ⁻¹	> 80 000 mg.kg ⁻¹
Cd tot				> 4 mg.kg ⁻¹	> 30 mg.kg ⁻¹
Cr tot				> 200 mg.kg ⁻¹	> 1 000 mg.kg ⁻¹
Cu tot				> 100 mg.kg ⁻¹	> 500 mg.kg ⁻¹
Fe tot				> 60 000 mg.kg ⁻¹	> 110 000 mg.kg ⁻¹
Mn tot				> 4 000 mg.kg ⁻¹	> 10 000 mg.kg ⁻¹
Na tot				> 800 mg.kg ⁻¹	> 2 000 mg.kg ⁻¹
Pb tot				> 100 mg.kg ⁻¹	> 500 mg.kg ⁻¹
Zn tot				> 400 mg.kg ⁻¹	> 2 000 mg.kg ⁻¹

exch - výměnné obsahy (výluh BaCl₂, Mehlich III), *tot* - pseudototální obsahy (výluh HNO₃, lučavka královská)

2.6 Přehled limitů pro spodní vrstvy minerální půdy 30–80 cm (M38)

Parametr	Podmínka (rozsah)	spodní limit		horní limit	
		error	warning	warning	error
pH(H ₂ O)	-	≤ 3,0	≤ 3,5	≥ 8,0	≥ 9,0
pH(vým)	-	≤ (pH(H ₂ O) - 2,2)	≤ (pH(H ₂ O) - 1,8)		> pH(H ₂ O)
C (Ctot i Corg)	s výjimkou organozemí			> 6 %	> 20 %
N (Ntot i Nkjh)	s výjimkou organozemí		< 0,043 * Ctot - 0,15	> 0,065 * Ctot + 0,2	≥ 0,8 %
Ca exch	s výjimkou čerstvě vápněných ploch	≤ 1000 * pH(H ₂ O) - 6000		≥ 1555 * pH(H ₂ O) - 5444	≥ 3000 * pH(H ₂ O) - 9000
Ca exch			< 0,13 * Ctot - 333	> Ctot	> 1,15 * Ctot
Ca tot		pH(H ₂ O) ≤ 6,5		> 10 000 mg.kg ⁻¹	> 31 000 mg.kg ⁻¹
Ca tot		pH(H ₂ O) > 6,5		> 31 000 mg.kg ⁻¹	> 200 000 mg.kg ⁻¹
K exch				> 250 mg.kg ⁻¹	≥ 280 * pH(H ₂ O) - 840
K exch					> 300 mg.kg ⁻¹
K exch				> Ktot	> 1,15 * Ktot
K tot				> 15 000 mg.kg ⁻¹	> 25 000 mg.kg ⁻¹
Mg exch		s výjimkou čerstvě vápněných ploch		> 1 500 mg.kg ⁻¹	> 2 000 mg.kg ⁻¹
Mg exch		s výjimkou čerstvě vápněných ploch			≥ 666 * pH(H ₂ O) - 1990
Mg exch				> Mgtot	> 1,15 * Mgtot
Mg tot				> 25 000 mg.kg ⁻¹	> 40 000 mg.kg ⁻¹

exch – výměnné obsady (výluh BaCl₂ Mehlisch III), tot – pseudototální obsady (výluh HNO₃ lučivka královská)

Parametr	Podmínka (rozsah)	spodní limit		horní limit	
		errorr	warning	warning	errorr
BS	pH(H ₂ O) < 4			≥ 10,0 %	≥ 30,0 %
BS	pH(H ₂ O) v rozmezí 4 – 5			≥ 83*pH(H ₂ O)-320	
BS	pH(H ₂ O) v rozmezí 5 – 6		≤ 83*pH(H ₂ O)-410		
BS	pH(H ₂ O) > 6	≤ 70 %	≤ 90 %		
P	pH(H ₂ O) < 4			≥ 533*pH(H ₂ O)-1532	≥ 533*pH(H ₂ O)-1332
P	pH(H ₂ O) v rozmezí 4 – 6			> 600 mg.kg ⁻¹	> 800 mg.kg ⁻¹
P	pH(H ₂ O) v rozmezí 6 – 7			≥ -500*pH(H ₂ O)+3600	≥ -500*pH(H ₂ O)+3800
P	pH(H ₂ O) > 6			> 100 mg.kg ⁻¹	> 300 mg.kg ⁻¹
P				> 0,75*P _{tot}	> P _{tot}
P tot				> 2 000 mg.kg ⁻¹	> 6 500 mg.kg ⁻¹

exch – výměnné obsahy (výluh BaCl₂, Mehlich III), *tot* – pseudototální obsahy (výluh HNO₃, lučavka královská)

Parametr	Podmínka (rozsah)	spodní limit		horní limit	
		errorr	warning	warning	errorr
Al exch				> 1 000 mg.kg ⁻¹	> 3 000 mg.kg ⁻¹
Fe exch				> 500 mg.kg ⁻¹	> 2 000 mg.kg ⁻¹
Mn exch				> 200 mg.kg ⁻¹	> 500 mg.kg ⁻¹
Na exch				> 100 mg.kg ⁻¹	> 500 mg.kg ⁻¹
Al tot				> 50 000 mg.kg ⁻¹	> 80 000 mg.kg ⁻¹
Cd tot				> 3 mg.kg ⁻¹	> 10 mg.kg ⁻¹
Cr tot				> 100 mg.kg ⁻¹	> 300 mg.kg ⁻¹
Cu tot				> 100 mg.kg ⁻¹	> 300 mg.kg ⁻¹
Fe tot				> 50 000 mg.kg ⁻¹	> 80 000 mg.kg ⁻¹
Mn tot				> 3 000 mg.kg ⁻¹	> 10 000 mg.kg ⁻¹
Na tot				> 200 mg.kg ⁻¹	> 1 000 mg.kg ⁻¹
Pb tot				> 60 mg.kg ⁻¹	> 220 mg.kg ⁻¹
Zn tot				> 150 mg.kg ⁻¹	> 500 mg.kg ⁻¹

exch – výměnné obsahy (výluh BaCl₂, Mehlich III), *tot* – pseudototální obsahy (výluh HNO₃, lučavka královská)

3 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Používání limitních hodnot pro kontrolu výsledků laboratorních analýz je široce aplikovaným postupem (např. König et al. 2016). Limitní hodnoty pro kontrolu vzorků jsou jedním ze způsobů kontroly kvality v laboratořích, kde ovšem spíše doplňují ostatní standardy zajištění kvality, jako jsou standardní operační postupy či používání referenčních a slepých vzorků (Jones 2001). Uplatňují se rovněž při společném hodnocení dat z různých laboratoří a částečně je lze vyhodnotit i pro porovnání rozdílů v kvalitě analýz, i když zde pochopitelně nemohou nahradit sofistikovanější metody, jako jsou např. kruhové testy (Cools et al. 2004). Limitní hodnoty jsou obvykle stanovovány jako minima a maxima na různých úrovních:

- i) matematické – např. hodnota v mg.kg^{-1} se může pohybovat v rozsahu od 0 do 10^6 (i na chyby tohoto typu jsme v prověřovaných databázích narazili)
- ii) fyzikálně chemické – např. maximální možné obsahy jednotlivých prvků v horninách
- iii) obvyklé – vyplývající z charakteru vzorků, které daná laboratoř obvykle stanovuje

Je zřejmé, že první dvě úrovně nemohou odfiltrovat většinu chybných dat. Možnosti třetí úrovně se pak snižují s narůstající variabilitou posuzovaných vzorků, přičemž mohou vést k odfiltrování některých extrémních, ale správných hodnot. Při dílčí kontrole vzorků vystupujících z laboratoře tomu lze zamezit reanalýzou a zpětným prověřením postupů při odběru, transportu a přípravě vzorku. Při kontrole rozsáhlých datových souborů to obvykle již není možné.

Novost postupů představených touto metodikou spatřujeme v prvé řadě v tom, že uváděná kritéria byla přizpůsobena rozsahu kontrolovaných parametrů tak, jak se vyskytují v databázích standardních průzkumů lesních půd České republiky – tedy v programech ICP Forests, Národní inventarizaci lesů, Typologickém průzkumu a Průzkumu výživy lesů. Dalším inovativním parametrem kontrolních postupů je pak to, že se v případě pH, uhlíku, hlavních živin a saturace bázemi neomezují na stanovení minimálních a maximálních hodnot, ale že vyhodnocují i vztahy mezi jednotlivými stanovenými parametry, což vede k lepší identifikaci problematických i zjevně chybných výsledků analýz.

4 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

V průběhu vývoje byla metodika využita pro kontrolu dat vstupujících do Agregované komplexní databáze lesních půd, která bude využita pro tvorbu prostorových modelů vlastností lesních půd v České republice. Dále předpokládáme využití kontrolních parametrů při pravidelném doplňování dat v této databázi. Metodu grafického zobrazení vztahů mezi prvky (obr. 1–13) lze využívat i pro kontrolu konkrétních protokolů vystupujících z individuálních laboratoří, které analýzy půd provádějí. Grafické výstupy umožňují identifikaci odlehlých hodnot, i pokud vyhovují stanoveným limitům. Předpokládáme, že právě používání nových limitů v laboratořích může vést v krátké budoucnosti k jejich zpřesnění pro jednotlivé analytické metody i k možnosti odlišení skutečných chyb od reálných extrémů. Využití těchto postupů je jedním z příspěvků pro harmonizaci laboratorních analýz lesních půd a možnost jejich společného využití.

5 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomické aspekty využití metodiky jsou nepřímé. Spočívají zejména v efektivním využití finančních prostředků, které jsou každoročně vynakládány na různé druhy půdních průzkumů v České republice. Využití metodiky může výrazně rozšířit potenciál získávaných dat při jejich společném zpracování a vyhodnocení.

6 SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

- COOLS N., DELANOTE V., SCHELDAMAN X., QUATAERT P., DE VOS B., ROSKAMS P., 2004: Quality assurance and quality control in forest soil analyses: a comparison between European soil laboratories. *Accreditation and Quality Assurance* 9, 688–694.
- COOLS N., DE VOS B., 2016: PART X: Sampling and Analysis of Soil. In: UNECE ICP Forests Programme Coordinating Centre (ed.): *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 29 s.
- DE VOS B., COOLS, N., 2011: Second European Forest Soil Condition Report. Volume I: Results of the BioSoil Soil Survey. INBO.R. 2011.35. Research Institute for Nature and Forest, Brussel. 359 pp.
- FAO, 2006: Guidelines for Soil Profile Description and Classification (4th edition) by R. Jahn, H.-P. Blume, V.B. Asio, O. Spaargaren and P. Schad (Eds) and by R. Langohr, R. Brinkman, F.O. Nachtergaele and P. Krasilnikov (Contributors), FAO, Rome.
- HAGERBERG D., THELING., WALLANDER H., 2003: The production of ectomycorrhizal mycelium in forests: Relation between forest nutrient status and local mineral sources. *Plant and Soil*, 252: 279-290.
- HIEDERER, R., DURRANT, R., 2010: Evaluation of BioSoil Demonstration Project - Preliminary Data Analysis. EUR 24258 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 126 pp.
- HIEDERER, R., MICHÉLI, E., DURRANT, T., 2011: Evaluation of BioSoil Demonstration Project - Soil Data Analysis. EUR 24729 EN. Publications Office of the European Union. 155 pp.
- IUSS, 2015: World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- JONES J. B., 2001: Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Boca Raton, CRC Press. 363 pp.

- KÖNIG N, KOWALSKA A, BRUNIALTI G, FERRETTI M, CLARKE N, COOLS N, DEROME J, DEROME K, DE VOS B, FUERST A, JAKOVljevič T, MARCHETTO A, MOSELLO R, O'DEA P, TARTARI GA, ULRICH E, 2016: Part XVI: Quality Assurance and Control in Laboratories, In: UNECE, ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 46 s.
- FIALA P, REININGER D., SAMEK T., NĚMEC P., SUŠIL P., 2013: Průzkum výživy lesa na území České republiky 1996–2011. Brno, ÚKZÚZ: 148 s.
- KUČERA M., ADOLT R., (eds.) 2019: Národní inventarizace lesů v České republice. Výsledky druhého cyklu 2011-2015. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem: 439 s.
- ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., FIALA P., NEUDERTOVÁ HELLEBRANDOVÁ K., REININGER D., SAMEK T., ČIHÁK T., FADRHOŇSOVÁ, V., 2014: Vápnění lesů v České republice. Ministerstvo zemědělství: 91 s.
- ŠRÁMEK V., VORTELOVÁ L., FADRHOŇSOVÁ V., HELLEBRANDOVÁ, K., 2011: Výsledky výzkumu lesních půd v rámci programu Biosoil v České republice–zajištění výživy dřevin základními živinami. In: Sobocká J.: Diagnostika, klasifikácia a mapovanie pôd. Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy, Societas pedologica slovac, Bratislava, s. 182-190
- VEJPUSTKOVÁ M., (ed.) 2019: Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice v rámci programu ICP Forests a navazujících projektů. Data do roku 2018. Výskumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i. 92s.

7 SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

- BORŮVKA, L., SÁŇKA, M., ŠRÁMEK, V., ČECHMÁNKOVÁ, J., ČUPR, P., DRÁBEK, O., FADRHOŇSOVÁ, V., FRAŇKOVÁ A., HOFMAN, J., HORVÁTHOVÁ V., HOUŠKA, J., ROTTER, P., SÁŇKA, O., SKÁLA J., SLAVÍKOVÁ AMEMORI A., NOVOTNÝ, R., ŠINDELÁŘOVÁ, L., ŠUDOMA M., TEJNECKÝ, V., VÁCHA R. VAŠÍČKOVÁ, J., JURKOVSKÁ L., 2015: Srovnávací hodnoty pro hodnocení kontaminace lesních půd. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 5/2015, 58 s.
- BORŮVKA, L., SÁŇKA, M., ŠRÁMEK, V., VÁCHA, R., ČECHMÁNKOVÁ, J., ČUPR, P., DRÁBEK, O., FADRHOŇSOVÁ, V., FRAŇKOVÁ, A., HOFMAN, J., HOUŠKA, J., HORVÁTHOVÁ, V., ROTTER, P., SÁŇKA, O., SKÁLA J., ŠINDELÁŘOVÁ L., TEJNECKÝ, V., VAŠÍČKOVÁ, J., VORTELOVÁ, L., 2015: Metodika hodnocení kontaminace lesních půd. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 6/2015, 63 s.
- ČECHMÁNKOVÁ, J., ŠRÁMEK, V., SÁŇKA, M., DRÁBEK, O., FADRHOŇSOVÁ, V., SKÁLA J., 2021: Porovnání metod pro stanovení přístupných a pseudototálních forem živin a prvků v lesních půdách. Zprávy lesnického výzkumu – v tisku.
- NOVOTNÝ, R., BURIÁNEK, V., ŠRÁMEK, V., HŮNOVA, I., SKOŘEPOVÁ, I., ZAPLETAL, M., LOMSKÝ, B., 2017: Nitrogen deposition and its impact on forest ecosystems in the Czech Republic - change in soil chemistry and ground vegetation. *iForest–Biogeosciences and Forestry* 10, 48-54.
- NOVOTNÝ, R., LOMSKÝ, B., ŠRÁMEK, V., 2017: Changes in the nutrition and health status of young Norway spruce stands in the Krkonoše Mts. in a 17-year period. *Journal of Forest Science* 63, 344-354.
- NOVOTNÝ, R., LOMSKÝ, B., ŠRÁMEK, V., 2018: Changes in the phosphorus and nitrogen status and supply in the young spruce stands in the Lužické, the Jizerské and the Orlické Mts. in the Czech Republic during the 2004–2014 period. *European Journal of Forest Research* 137: 879-894.
- ŠRÁMEK, V., FADRHOŇSOVÁ, V., 2018: Srovnání obsahů a zásob prvků v humusové vrstvě porostů buku lesního, smrku ztepilého a ve smíšených porostech těchto dřevin v České republice. Zprávy lesnického výzkumu 63, 61-72.
- ŠRÁMEK V., FADRHOŇSOVÁ V., JURKOVSKÁ L., 2014: Ca/Al ratio in Norway spruce fine roots on monitoring plots in the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 60, 121-131.

- ŠRÁMEK, V., FADRHOŇSOVÁ, V., JURKOVSKÁ, L., 2014: Metodika výběru ploch pro vápnění lesních půd. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 7/2014, 32s.
- ŠRÁMEK, V., FADRHOŇSOVÁ, V., NEUDERTOVÁ HELLEBRANDOVÁ, K., 2019: Nutrition of Douglas-fir in four different regions of the Czech Republic. Journal of Forest Science 65, 1-8
- ŠRÁMEK V., JURKOVSKÁ L., V. FADRHOŇSOVÁ V., HELLEBRANDOVÁ-NEUDERTOVÁ K., 2013: Chemismus lesních půd ČR podle typologických kategorií - výsledky monitoringu lesních půd v rámci projektů EU „BioSoil“. Zprávy lesnického výzkumu 58, 314–323
- ŠRÁMEK V., LOMSKÝ B., NOVOTNÝ R., 2009: Hodnocení obsahu a zásoby živin v lesních porostech – literární přehled. Zprávy lesnického výzkumu, 54: 307–315.
- ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., FADRHOŇSOVÁ V., 2015: Chřadnutí smrkových porostů a stav lesních půd v oblasti severní Moravy a Slezska (PLO 29 a 39). Zprávy lesnického výzkumu 60, 147-153
- ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., FIALA P., NEUDERTOVÁ HELLEBRANDOVÁ K., REININGER D., SAMEK T., ČIHÁK T., FADRHOŇSOVÁ, V., 2014: Vápnění lesů v České republice. Ministerstvo zemědělství: 91 s.
- ŠRÁMEK, V., NOVOTNÝ, R., LUBOJACKÝ, J., 2015: Průzkum výživy žlutnoucích smrkových porostů na Opavsku a Šternbersku. Lesnická práce 94: 816-817.

8 DEDIKACE

Metodika byla zpracována v rámci řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum QK1920163 "Vývoj a verifikace prostorových modelů vlastností lesních půd v České republice" a za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO0118.

QUALITY CONTROL PROCEDURE FOR EXTENSIVE FOREST SOIL CHEMISTRY DATABASE

Summary

Within a project QK1920163 of the National Agency for Agriculture Research, the Aggregated Database of Forest Soil Chemical Properties was created. The database encompasses data from forest soil surveys provided by Forestry and Game Management Research Institute (ICP Forests, BioSoil, forest liming control, various research projects), Forest Management Institute (National Forest Inventory, forest site mapping) and Central Institute for Supervising and Control in Agriculture (soil survey in polluted areas, forest liming control). Data in the database are aggregated in three basic soil layers: upper organic soil horizon (FH), upper mineral layer in depth of 0–30 cm (M03) and deeper mineral soil layer 30–80 cm (M38). In total the database contains information from 9,167 soil pits and soil profiles sampled in the period 2000–2019. Different procedures applied for sampling, handling and analysing in individual surveys as well as different quality of participating laboratories create a strong need for procedure to check the quality of such a huge amount of data with limited possibility of tracing history for individual samples. The usual use of “maximum” and “minimum” thresholds was not sufficient because of naturally high variability of the data set. For this reason we tried to find suitable relations at least for the main soil characteristics – pH, main nutrient contents and base saturation.

As a base for control criteria we used the relations found in the data from BioSoil project, which applied high standards of quality assurance and quality control by both sampling and analysis of forest soils including detailed methodology, training courses, ring tests and even the partial analysis by an independent laboratory. Founded relation, however, had to be further adjusted to cover the total variability of individual samples entering the Aggregated Database. Two kinds of threshold are proposed:

- (1) **warning**: suspicious value, the verification was recommended to the operator of the original database. If no reason for changing the value (mistake that can be corrected – e.g. wrong position of decimal point) or rejecting the value (mistake that cannot be corrected) were not found the data were left in the database
- (2) **error**: strongly suspicious value, the verification was recommended to the operator of the original database. If no explanation for the extremity of the value was found the data were excluded from the database.

It is clear, however, that not every value marked as error is really incorrect – our thresholds cannot cover all specific condition, i. e. very high base cations concentrations on specific bedrocks or heavy metals in strongly polluted areas. For ongoing control we propose thorough check of sampling and analysis procedures. After re-analysis even such values can be proved as correct. In the close future we expect to develop more precise control methods for ongoing surveys.

Except for tolerable maximum and minimum values for individual properties we used following relations for threshold determination: active pH to exchangeable pH; base cations, phosphorus and base saturation to active pH; total carbon to total nitrogen; exchangeable elements to extractable elements. Illustrative results of control of “primary” databases can be found at figures 1–13, the overview of thresholds is summarized in chapters 2.4.–2.6. Total content of carbon and nitrogen is indicated as C_{tot} and N_{tot} respectively. In other cases elements name without appendix is related to exchangeable concentration (e.g. in barium chloride), "tot" appendix is related to extractable concentration (e.g. in aqua regia).



Výzkumný ústav
lesního hospodářství
a myslivosti, v. v. i.

www.vulhm.cz

LESNICKÝ PRŮVODCE 10/2020