

ODBĚR VZORKŮ LESNÍCH PŮD PODLE FIXNÍCH HLOUBEK - ODCHYLKY HODNOT CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ PŘI PŘEPOČTU Z RŮZNÝCH PŮDNÍCH VRSTEV

SOIL SAMPLING ACCORDING TO FIXED DEPTH INTERVALS - DIFFERENCES OF VALUES OF CHEMICAL PROPERTIES WHEN THEY ARE CALCULATED USING DIFFERENT SOIL LAYERS

VÍT ŠRÁMEK ✉ - VĚRA FADRHOŇOVÁ

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

✉ e-mail: sramek@vulhm.cz

ABSTRACT

Forest soils can be sampled according to the genetic soil horizons, but in many soil surveys and inventories sampling according to the fixed depth intervals is used, which simplifies sampling harmonization as well as statistical evaluation of soil properties. Within the ICP Forests programme the mandatory layers for mineral soil sampling are 0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm, and 40–80 cm. On the other hand, in some cases – e.g. soil C reporting, the layer of 0–30 cm and 30–100 cm depths are suggested. On the base of more than 100 soil pits sampled by 10 cm depth we try to compare calculated (from 10 cm layer sampling) and estimated (from mandatory ICP Forests layer sampling) soil parameters for the soil depths of 0–30 cm (M03), 30–80 cm (M38) and 30–100 cm (M310). According to the result of Wilcoxon pair test, estimated and calculated values differ for all studied layers except for few individual elements. For practical use, however, calculated and estimated pH values are commutable for M03 and M38 layer as both the relative and absolute differences are negligible. For most soil parameters in these layers the estimated values can be used for evaluation of larger soil survey because the differences in median value are rather small. Caution, however, should be taken when using the estimated values for individual soil pit, where the difference can be substantial. For M310 layers we do not recommend use of estimated soil parameter values because the original data (20–40 cm and 40–80 cm) do not cover the whole soil depth evaluated. This procedure can be tricky especially in cases when the information about the presence of mineral soil below 80 cm depth and its properties (as stoniness) is missing.

[For more information see Summary at the end of the article.](#)

Klíčová slova: lesní půda; půdní průzkum; horizont; půdní vrstva; výpočet

Key words: forest soil; soil survey; horizon; soil layer; calculation

ÚVOD

Odběr půdních vzorků pro jejich chemické analýzy je základní součástí půdních průzkumů. Vzorky z různých hloubek půdního profilu mohou být odebírány podle genetických horizontů, což umožňuje charakterizovat procesy, které v půdách probíhají a přesně zařadit půdu do klasifikačního systému (VOKOUN et al. 2002; WRB 2015). Při rozsáhlých a opakovaných půdních průzkumech, jež mají za cíl hodnocení půdního chemismu na rozsáhlejších území či jeho vývoj v čase, jsou však většinou používány odběry z půdního profilu podle konstantních hloubek, které umožňují snazší statistické hodnocení a matematické modelování (ŠRÁMEK et al. 2015; JONARD et al. 2017; VAN LEEUWEN et al. 2017; NOVOTNÝ et al. 2020). U lesních půd by měly být vždy zvlášť odebírány nadložní organické horizonty, kde převládají prvky v organických vazbách. Interval hloubky odběru se tak odečítá od hranice nadložních organických horizontů (humusové vrstvy)

a minerální půdy. Odlišný postup může být stanoven u organických půd, např. rašelin, kde může mít organická vrstva mocnost i několika metrů. Vzhledem k relativně vysokým nákladům na chemické analýzy se mocnost odběrových vrstev obvykle zvyšuje s hloubkou půdy, neboť v hlubších vrstvách se předpokládají homogennější poměry. Odběry se obvykle snaží podchytit svrchní vrstvu minerální půdy, která je ovlivněna příměsí organických látek (např. FIALA et al. 2013 ji uvádějí jako „organominerální horizont“), dále zónu maximálního prokořenění půdy do hloubky 30–40 cm a spodní vrstvy půdy, které jsou výrazně ovlivněny matečnou horninou a často také specifickým vodním režimem půd. V dosud nejrozsáhleším celoevropském průzkumu vlastností lesních půd BioSoil, který probíhal v letech 2005–2008 pod hlavičkou ICP Forests (DE VOS, COOLS 2011; ŠRÁMEK et al. 2013), tak byly mandatorně odebírány vzorky minerální půdy z hloubek 0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm a 40–80 cm, což odpovídá i současnému manuálu programu (COOLS, DE VOS 2020).

Pokyny Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) doporučují pro hodnocení a hlášení zásob půdního uhlíku hloubku 0–30 cm (IPCC 2006). Vzhledem k tomu, že podstatné zásoby uhlíku jsou uloženy i v hlubších vrstvách půdy, jsou pro půdní průzkumy doporučeny odběry i z hlubších vrstev půdy (FAO 2019; SMITH et al. 2019), které mohou být ještě efektivně ovlivňovány působením člověka, např. 30–100 cm. V některých půdních průzkumech jsou hranice půdních vrstev 30 cm a 100 cm zohledněny přímo při odběrech vzorků. Je tomu tak například v Národním průzkumu lesních půd v Německu (WELLBROCK et al. 2019), ale i v řadě jiných průzkumů na zemědělských i lesních půdách (CIENCIALA et al. 2006; VAN LEEUVEN et al. 2017). V jiných případech jsou odběry podle odlišných konstantních hloubek přepočítávány právě na vrstvy 0–30 cm a 30–100 cm. DE Vos et al. (2015) takto pomocí „hustoty uhlíku“ (carbon density), což ve výsledku odpovídá uplatnění váženého průměru, hodnotili půdní uhlík ve vrstvách 0–30 cm a 30–100 cm na základě dat půdního průzkumu BioSoil. Podobným způsobem byla rovněž přepočítávána data půdního chemismu pro Agregovanou databázi lesních půd ČR (ŠRÁMEK et al. 2020). Při přepočtu obsahu jednotlivých prvků z odběrových vrstev 0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm a 40–80 cm na dvě „požadované“ vrstvy 0–30 cm a 30–100 cm musí nutně docházet k odchylkám, neboť svrchní z těchto vrstev je ovlivněna i vlastnostmi z minerální půdy v hloubce 30–40 cm a spodní tím, že chemismus půdy ze 40–80 cm je „extrapolován“ i na hloubku 80–100 cm. Jak velké jsou relativní i absolutní odchylky a zda jsou rozdíly významně odlišné, jsme testovali na datech z půdních sond odebíraných v rámci projektu BioSoil v České republice. Testování se týkalo pouze průměrných koncentrací jednotlivých prvků. K dalším odlišnostem může docházet při stanovování zásob prvků vzhledem k tomu, že s hloubkou se mění objemová hmotnost půdy. Tento parametr však není v prezentované práci hodnocen.

MATERIÁL A METODIKA

Odběry půd a chemické analýzy

Pro studii byla využita data získaná z půdních sond, které byly vzorkovány v letech 2005–2008 v rámci projektu BioSoil. Na rozdíl od směsných vzorků byly vzorky z půdních sond odebírány po 10 cm, tam, kde to bylo možné, až do hloubky 1 m. Půdní sondy byly vykopány celkem na 146 plochách systematického monitoringu programu ICP Forests a poměrně dobře reprezentují podmínky lesních půd v České republice z hlediska zastoupení půdních typů, lesních vegetačních stupňů, druhového složení lesních porostů i jejich plošného rozložení (ŠRÁMEK et al. 2011, 2013). Vzhledem k tomu, že ne u všech sond byla dosažena potřebná hloubka půdy, bylo pro hodnocení jednotlivých půdních vrstev možné využít data ze 127 až 141 lokalit.

Analýzy všech vzorků provedly podle manuálu programu ICP Forests (aktuálně COOLS, DE Vos 2020) Zkušební laboratoře Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti. Bylo stanoveno aktivní pH(H₂O) ve vodním výluhu a výměnné pH(CaCl₂) ve výluhu 1M chloridem vápenatým. Celkové obsahy uhlíku, dusíku a síry byly stanoveny na elementárním CNS analyzátoru (Variomax). Výměnné (přístupné) obsahy kationtů (K, Ca, Mg, Mn, Na, Al, Fe), dále označované indexem $_{\text{exch}}$, byly stanovovány ve výluhu chloridem barnatým, extrahovatelné (pseudototální) obsahy prvků (K, Ca, Mg, Mn, Na, Al, Fe, P, Zn, Cd, Cu, Pb), dále označované indexem $_{\text{extr}}$, ve výluhu lučavkou královskou, obojí spektrofotometricky metodou AAS, těžké kovy (Cu, Cd, Pb, Zn) metodou ICP OES. Saturace sorpčního komplexu bázemi byla vypočtena podle následujících vztahů:

$$BS = SBC / CEC$$

$$CEC = SBC + SAC + H^+$$

kde: BS je saturace sorpčního komplexu bázemi [%]

SBC je suma bazických kationtů Ca, K, Mg, Na [cmol⁺.kg⁻¹]

CEC je kationtová výměnná kapacita [cmol⁺.kg⁻¹]

SAC je suma kyselých kationtů Al, Fe, Mn [cmol⁺.kg⁻¹]

H⁺ je množství výměnných iontů H⁺ [cmol⁺.kg⁻¹]

Výpočty obsahů prvků v půdních vrstvách a statistické hodnocení

Pro účely práce byla využita pouze data z půdních sond, kde jsou k dispozici odběry v hloubkách po 10 cm. Porovnání proběhlo pro tři vrstvy minerální půdy:

- pro svrchní minerální vrstvu stanovenou IPCC pro hlášení zásob uhlíku, tj. 0–30 cm (dále M03)
- pro spodní minerální vrstvu, pro kterou jsou shromážděna data v Agregované databázi lesních půd ČR, tj. 30–80 cm (dále M38)
- pro spodní minerální vrstvu stanovenou pro hlášení zásob uhlíku, tj. 30–100 cm (dále M310)

Pro každou vrstvu byly pH, obsahy prvků a BS vypočítány jako průměry z odběrů 10 cm hloubkových intervalů (tyto obsahy dále označujeme jako „vypočtené“):

$$X_{M03} = (X_{0-10\text{cm}} + X_{10-20\text{cm}} + X_{20-30\text{cm}}) / 3$$

$$X_{M38} = (X_{30-40\text{cm}} + X_{40-50\text{cm}} + X_{50-60\text{cm}} + X_{60-70\text{cm}} + X_{70-80\text{cm}}) / 5$$

$$X_{M310} = (X_{30-40\text{cm}} + X_{40-50\text{cm}} + X_{50-60\text{cm}} + X_{60-70\text{cm}} + X_{70-80\text{cm}} + X_{80-90\text{cm}} + X_{90-100\text{cm}}) / 7,$$

kde: X_{M03} je obsah prvku ve vrstvě 0–30 cm

X_{M38} je obsah prvku ve vrstvě 30–80 cm

X_{M310} je obsah prvku ve vrstvě 30–100 cm

$X_{0-10\text{cm}}$ je obsah prvků ve vrstvě 0–10 cm ... atd.

Dále byly pH, obsahy prvků a BS ze stejných dat stanoveny tak, jak by k tomu došlo při dodržení odběrů podle metodiky programu BioSoil – tedy z vrstev 0–10 cm (M01), 10–20 cm (M12), 20–40 cm (M24) a 40–80 cm (M48). Vzhledem k tomu, že tento postup vnáší do výpočtu i jistou míru neurčitosti, označujeme tyto obsahy dále jako „odhadnuté“:

$$XO_{M03} = (X_{0-10\text{cm}} + X_{10-20\text{cm}} + (0,5X_{20-30\text{cm}} + 0,5X_{30-40\text{cm}})) / 3$$

$$XO_{M38} = ((0,5X_{20-30\text{cm}} + 0,5X_{30-40\text{cm}}) + X_{40-50\text{cm}} + X_{50-60\text{cm}} + X_{60-70\text{cm}} + X_{70-80\text{cm}}) / 5$$

$$XO_{M310} = ((0,5X_{20-30\text{cm}} + 0,5X_{30-40\text{cm}}) + 6(0,25X_{40-50\text{cm}} + 0,25X_{50-60\text{cm}} + 0,25X_{60-70\text{cm}} + 0,25X_{70-80\text{cm}})) / 7,$$

kde: XO_{M03} je odhad koncentrace prvku ve vrstvě 0–30 cm dle odběrů BioSoil

XO_{M38} je odhad koncentrace prvku ve vrstvě 30–80 cm dle odběrů BioSoil

XO_{M310} je odhad koncentrace prvku ve vrstvě 30–100 cm dle odběrů BioSoil

$X_{0-10\text{cm}}$ je obsah prvků ve vrstvě 0–10 cm ... atd.

Pro takto vzniklé soubory dat byl proveden test normality. Ve všech případech byla normalita zamítnuta. Soubory dat pro jednotlivé prvky byly tedy dále charakterizovány střední hodnotou – mediánem – a jejich rozsah pomocí kvantilů. Pro vyhodnocení homogenity skupin

získaných odlišným způsobem výpočtu byl použit Wilcoxonův párový test. Statistické zpracování probíhalo v programu Statistica.

VÝSLEDKY

Minerální půda 0–30 cm

Wilcoxonův test zamítl hypotézu o homogenitě souborů (vypočtená versus odhadnutá hodnota) všech parametrů s výjimkou extrahovatelného fosforu, extrahovatelného kadmia a extrahovatelného manganu. Pokud hodnotíme relativní odchylky mediánů vypočtených a odhadnutých hodnot (tab. 1), pohybují se u 12 parametrů do 2 %, u 10 parametrů do 5 %, vyšší jsou pouze u extrahovatelného draslíku (6 %) a zejména u výměnného hořčíku (24 %). U Mg_{exch} je rozdíl hodnot mediánů téměř 24 % (vypočtený obsah $15,5 \text{ mg.kg}^{-1}$; odhadnutý obsah $19,2 \text{ mg.kg}^{-1}$), maximální rozdíl mezi hodnotami u konkrétní sondy je pak celých 211 % (vypočtený obsah $4,6 \text{ mg.kg}^{-1}$, odhadnutý obsah $14,44 \text{ mg.kg}^{-1}$), maximální absolutní rozdíl je 146 mg.kg^{-1} (vypočtený obsah 475 mg.kg^{-1} , odhadnutý obsah 621 mg.kg^{-1}). Z obr. 1 je pak patrné, že pro výměnný hořčík jsou odhadnuté hodnoty zhruba v polovině případů vyšší než hodnoty vypočtené (ve čtvrtině případů jsou prakticky stejné, ve čtvrtině případů nižší), kladné odchylky jsou však podstatně výraznější než odchylky záporné. Podobný posun střední hodnoty i celkového rozsahu souboru je z hlavních půdních parametrů patrný také u obsahu přístupného draslíku, u saturace bázemi a překvapivě i u pH. U pH jsou ovšem rozdíly velmi malé, v naprosté většině případů (80 %) se pohybují do 1 %, v absolutních hodnotách vykazuje 97 % párových hodnot rozdíl do 0,1 pH. Pokud hodnotíme rozdíly jednotlivých párů hodnot, je z tab. 1 zřejmé, že s výjimkou aktivního a výměnného pH se maximální rozdíly pohybují nad 20 %, u sedmi parametrů jsou dokonce vyšší než 100 %. Z obr. 1 vyplývá, že pro obsahy výměnného vápníku, draslíku i saturaci bázemi existuje nezanedbatelný počet sond, u kterých jsou odhadované obsahy výrazně vyšší než obsahy vypočtené.

Minerální půda 30–80 cm

Pro tuto půdní vrstvu Wilcoxonův test zamítl hypotézu o homogenitě souborů (vypočtená versus odhadnutá hodnota) u všech parametrů s výjimkou extrahovatelného kadmia, extrahovatelného fosforu a extrahovatelného manganu. Jde tedy o stejné prvky jako v minerální

vrstvě 0–30 cm. Srovnání mediánů vypočtených a odhadovaných hodnot vychází ze všech vrstev nejpříznivěji. U 14 půdních parametrů je odchylka mediánů do 2 %, u 7 do 5 % a vysoká je pouze u výměnného železa (43 %). U Fe_{exch} je ovšem hodnota mediánu velmi nízká, takže absolutní odchylka představuje pouze $0,24 \text{ mg.kg}^{-1}$, není tedy z pohledu vyhodnocení analýz podstatná. Také průměrné rozdíly mezi individuálními párovými hodnotami (tab. 2) byly poměrně nízké: u 19 parametrů se pohybovaly do 2 %, u 2 parametrů do 5 %. Vyšší byly u celkového uhlíku (7 %), výměnného hliníku (10 %) a výměnného železa (40 %), vždy ovšem s relativně malou absolutní hodnotou rozdílu mezi vypočtenou a odhadnutou hodnotou. Pokud hodnotíme maximální odchylky mezi páry, je zanedbatelný rozdíl u pH, kde se maximální rozdíl mezi vypočtenými a odhadnutými hodnotami pohybuje do 2 % (v naprosté většině případů je do 1 % – viz obr. 2) a nízký je i v absolutních hodnotách – u $pH(H_2O)$ 0,12, u $pH(CaCl_2)$ 0,07. U čtrnácti parametrů však přesahují 20 %, z toho u extrahovatelného olova, výměnného hořčíku, celkového uhlíku, výměnného hliníku a extrahovatelného železa převyšují dokonce 100 %. V případě těchto pěti parametrů se zároveň hodnota maximální odchylky mezi páry blíží nebo dokonce převyšuje hodnotu mediánu celého souboru hodnot. Jde tedy o podstatné rozdíly z hlediska absolutních hodnot. Z obr. 2. pro hlavní půdní parametry zároveň vyplývá, že odhadnuté hodnoty systematicky nadhodnocují obsahy uhlíku a dusíku. Posun středních hodnot je pak patrný i u hořčíku, vápníku a saturace bázemi, kde je to ovšem způsobeno především vysokými kladnými odchylkami u některých srovnávaných párů.

Minerální půda 30–100 cm

Pro tuto půdní vrstvu Wilcoxonův test zamítl hypotézu o homogenitě souborů (vypočtená versus odhadnutá hodnota) všech parametrů s výjimkou extrahovatelného zinku, extrahovatelného hořčíku, extrahovatelného olova a extrahovatelného hliníku. Pouze u 8 půdních parametrů je odchylka mediánů do 2 %, u 8 je do 5 %, u 7 do 20 % (tab. 3). Maximální odchylky mezi párovými hodnotami jsou pouze u pH do 20 %, u všech ostatních parametrů jsou vyšší. U obsahu extrahovatelného olova, hliníku, celkového uhlíku a výměnného železa jsou vyšší než 100 %. Velmi vysoké jsou rovněž absolutní odchylky u pseudototálních prvků, které se pohybují i v tisících mg.kg^{-1} (Ca_{extr} , Al_{extr} , Fe_{extr} , Mg_{extr} , K_{extr}). Rovněž grafické zobrazení ukazuje převládající nízké odchylky pouze u pH (obvykle do 5 %). Celkové obsahy uhlíku a dusíku jsou v odhadech obvykle spíše vyšší než hodnoty vypočtené, u výměnných bazických kationtů i saturace bázemi je tomu naopak.

Komentář k tabulkám 1, 2 a 3:

Jednotlivé prvky jsou v tabulkách řazeny vzestupně podle rozdílu mediánů odhadovaných a vypočtených obsahů (od největší záporné odchylky po největší kladnou odchylku). V horní části tabulky tak jsou prvky, u nichž jsou odhadované obsahy nižší oproti vypočteným, ve spodní části tabulky prvky, kde jsou odhadované hodnoty vyšší oproti skutečnosti. Barevné označení zvýrazňuje velikost odchylky – světle zelená do 2 %, žlutá 2–5 %, oranžová 5–20 %, růžová 20–100 %. U maximální odchylky konkrétních párů hodnot se vyskytují i odchylky vyšší než 100 %, které jsou označeny temně červenou barvou.

Comments on tables 1, 2, and 3:

Individual elements are listed from the lowest to the highest relative difference between medians of estimated vs calculated contents (from the highest negative to the highest positive difference). Elements in the upper part of the table are thus underestimated and in lower part of table overestimated when comparing estimated and calculated values. Colouring highlights the value of the difference: light green 0–2%; yellow 2–5%; orange 5–20%; pink 20–100%. When comparing maximal difference in individual pairs, even the difference above 100% was found, and it is given in dark red.

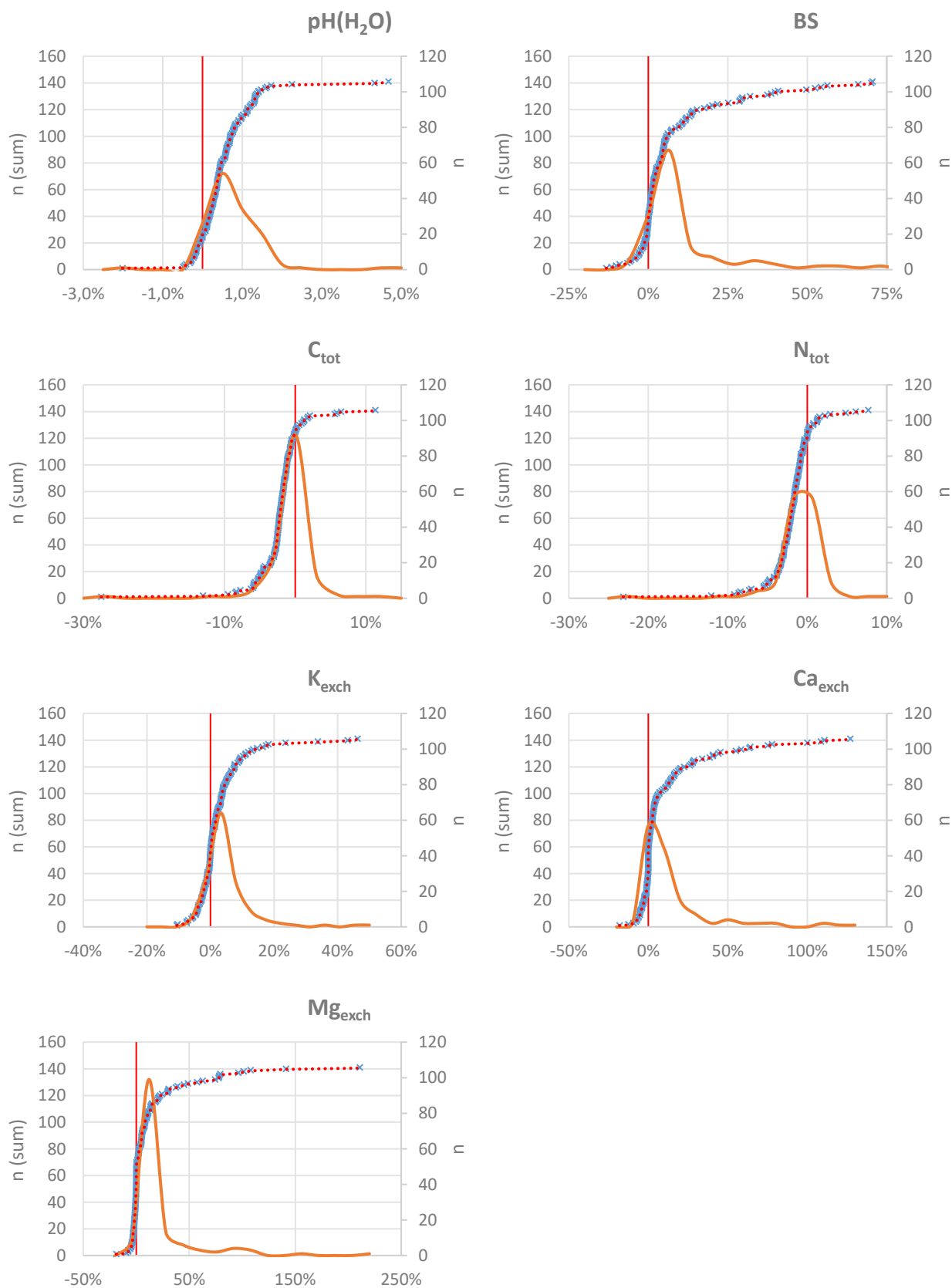
Tab. 1.

Charakteristiky rozdělení půdních parametrů, absolutních a relativních rozdílů mezi vypočtenými (*calc.*) a odhadnutými (*est.*) hodnotami v minerální půdě 0–30 cm

Distribution parameters of calculated (*calc.*) and estimated (*est.*) soil properties; absolute and relative differences in the mineral soil layer 0–30 cm

0–30 cm		minimum	percentil 0,25	median	percentil 0,75	maximum	rozdíl absolutní/relativní ¹			p	
							mediánů ²	párů průměrných ³	párů maximálních ⁴		
Mn _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	1,76	215,0	500,2	824,7	5809	-19,3	-8,7	-189,1	0,028
		est.	2,42	209,2	480,8	818,5	5619	-3,9%	2,5%	121,3%	
Mn _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,15	5,33	25,0	53,0	261	-0,60	-0,75	-8,37	< 0,001
		est.	0,15	5,98	24,4	50,2	253	-2,4%	0,0%	37,6%	
Pb _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	1,00	15,1	20,3	27,4	63,3	-0,22	-0,23	4,83	< 0,001
		est.	1,63	15,0	20,1	27,1	59,9	-1,1%	-0,5%	63,3%	
N _{tot}	[%]	calc.	0,01	0,07	0,11	0,17	0,43	-0,00	-0,00	-0,03	< 0,001
		est.	0,01	0,07	0,11	0,16	0,42	-1,0%	-2,0%	-23,2%	
P _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	15,1	227	342	527	2 219	-2,38	0,62	194,33	0,635
		est.	23,1	225	339	524	2 296	-0,7%	1,2%	163,2%	
pH(CaCl ₂)		calc.	3,19	3,67	3,83	4,03	6,82	0,00	0,02	0,14	< 0,001
		est.	3,22	3,70	3,83	4,05	6,85	0,0%	0,5%	3,7%	
Fe _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,25	2,63	11,5	30,1	124	0,00	-0,55	16,99	< 0,001
		est.	0,25	2,80	11,5	30,7	124	0,0%	1,8%	242,5%	
Cd _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,10	0,1	0,1	0,14	1,24	0,00	-0,00	-0,06	0,492
		est.	0,10	0,1	0,1	0,14	1,18	0,0%	0,2%	49,4%	
Al _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	1,12	223	328	472	802	0,02	-6,71	-100,58	< 0,001
		est.	1,12	218	328	465	805	0,0%	-0,8%	83,5%	
C _{tot}	[%]	calc.	0,19	1,23	1,79	2,57	7,77	0,00	-0,06	-0,58	< 0,001
		est.	0,20	1,20	1,79	2,50	7,64	0,3%	-2,2%	-27,5%	
pH(H ₂ O)		calc.	3,87	4,30	4,47	4,69	7,42	0,02	0,02	0,20	< 0,001
		est.	3,90	4,31	4,49	4,73	7,45	0,3%	0,5%	4,7%	
Na _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,35	2,40	4,08	6,84	45,9	0,03	0,20	4,94	< 0,001
		est.	0,35	2,38	4,11	6,84	45,6	0,6%	3,3%	41,4%	
Fe _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	348	13 723	21 926	32 417	111 638	351	228	3941	< 0,001
		est.	594	13 924	22 277	32 366	109 928	1,6%	2,4%	70,8%	
Cu _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,25	3,93	8,60	14,9	107	0,16	0,31	4,39	< 0,001
		est.	0,25	3,95	8,76	15,3	110	1,8%	4,0%	79,0%	
Na _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	3,31	34,86	48,88	71,7	407	1,10	1,29	30,3	< 0,001
		est.	3,32	35,12	49,99	73,9	437	2,3%	3,0%	55,4%	
Mg _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	6,3	1 410	3 321	5 511	24 509	75,0	99,0	1188	< 0,001
		est.	17,4	1 574	3 396	5 677	24 176	2,3%	5,5%	177,3%	
Al _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	124	11 710	17 916	25 755	55 101	460	318	3298	< 0,001
		est.	299	12 727	18 376	26 090	56 922	2,6%	4,3%	263,9%	
Zn _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,97	31,2	49,7	70,9	175	1,55	0,60	8,93	< 0,001
		est.	1,43	31,2	51,2	71,9	169	3,1%	2,6%	53,8%	
Ca _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	3,65	24,7	68,2	320	6 402	2,69	13,4	-548	< 0,001
		est.	3,65	28,7	70,9	395	6 327	3,9%	10,4%	127,0%	
K _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	2,55	22,5	31,1	50,1	211	1,53	0,74	13,0	< 0,001
		est.	2,55	23,6	32,6	50,7	207	4,9%	2,7%	46,3%	
BS	[%]	calc.	1,79	6,37	12,38	31,9	99,9	0,61	1,04	9,10	< 0,001
		est.	2,00	7,07	12,99	33,2	99,9	4,9%	7,7%	70,5%	
C _{aextr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	13,4	223	361	891	13 795	18,2	22,1	-620	< 0,001
		est.	13,4	223	379	994	14 236	5,0%	3,8%	45,1%	
K _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	19,0	890	1 709	2 848	9 387	107	93,5	1705	< 0,001
		est.	21,4	1 002	1 815	2 977	9 609	6,2%	5,9%	92,8%	
Mg _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,35	8,22	15,5	47,9	890	3,68	5,65	146	< 0,001
		est.	0,35	8,28	19,2	66,2	919	23,8%	12,5%	211%	

¹absolute/relative difference; ²of medians; ³average difference between individual pairs; ⁴maximum difference between individual pairs



Obr. 1.

Rozložení relativních rozdílů párového srovnání vypočtených a odhadnutých hlavních půdních parametrů v minerální vrstvě 0–30 cm (n = 141)

Fig. 1.

Distribution of relative differences between pairs of calculated and estimated values for main soil parameters in the mineral layer of 0–30 cm (n = 141)

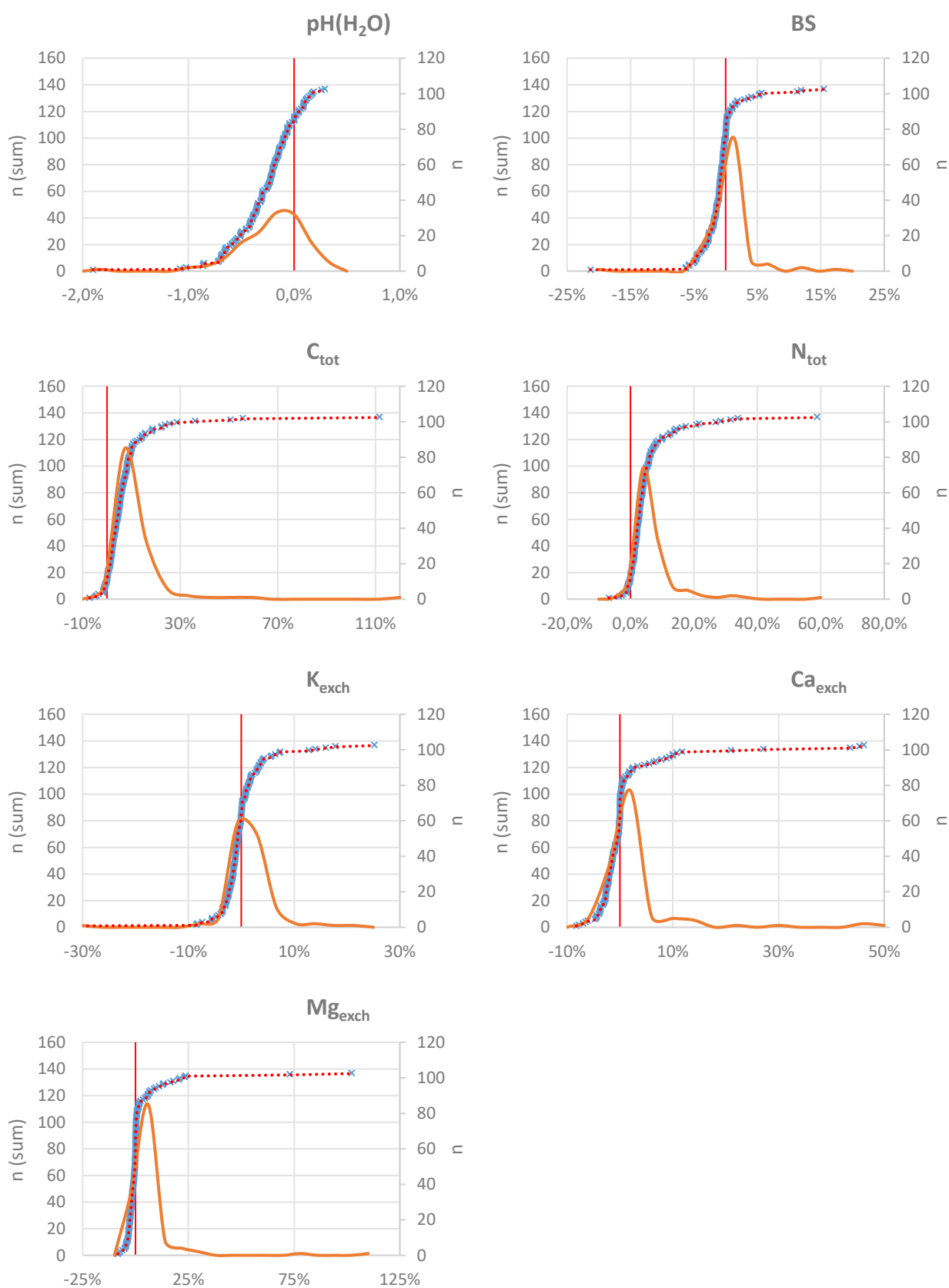
Tab. 2.

Charakteristiky rozdělení půdních parametrů, absolutních a relativních rozdílů mezi vypočtenými (*calc.*) a odhadnutými (*est.*) hodnotami v minerální půdě 30–80 cm

Distribution parameters of calculated (*calc.*) and estimated (*est.*) soil properties; absolute and relative differences in the mineral soil layer 30–80 cm

30–80 cm			minimum	percentil 0,25	median	percentil 0,75	maximum	rozdíl absolutní/relativní ¹			p
								mediánů ²	páru průměrný ³	páru maximální ⁴	
K _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	2,55	19,4	39,4	71,2	192	-1,12	-0,52	-7,80	< 0,001
		est.	2,55	19,2	38,2	70,2	190	-2,8%	-0,1%	-31,5%	
Mg _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	104	2582	5297	7933	27216	-147	-59,5	-713	< 0,001
		est.	97,52	2555,59	5149,7	7907,6	26952	-2,8%	-1,0%	-6,9%	
Al _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	1545	18731	25709	33095	74786	-664	-190	-1979	< 0,001
		est.	1349	18537	25045	32751	73533	-2,6%	-0,6%	-12,7%	
K _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	114	1841	3043	5063	19528	-74,6	-58,0	-1023	< 0,001
		est.	108	1833	2968	5014	18505	-2,5%	-1,1%	-6,3%	
C _{aextr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	4,51	255	668	2146	66 700	-5,55	-15,10	372,3	< 0,001
		est.	4,51	264	662	2072	66 561	-0,8%	-0,3%	22,0%	
BS	[%]	calc.	1,71	8,78	38,93	82,88	99,91	-0,30	-0,69	-5,46	< 0,001
		est.	1,91	8,81	38,63	81,00	99,91	-0,8%	-0,9%	-21,3%	
Fe _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	1704	20434	30224	41535	94608	-167	-160	-2364	< 0,001
		est.	1556	20376	30057	41447	93700	-0,6%	-0,5%	-8,7%	
Na _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,35	2,11	5,18	9,62	69,7	-0,02	-0,11	-2,11	< 0,001
		est.	0,35	2,18	5,16	9,62	67,6	-0,4%	-0,1%	16,3%	
pH(CaCl ₂)		calc.	3,54	3,98	4,21	4,51	7,18	-0,01	-0,01	-0,07	< 0,001
		est.	3,53	3,98	4,20	4,51	7,17	-0,3%	-0,2%	-1,5%	
Cu _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,52	6,86	13,9	24,4	148	-0,02	-0,18	-2,64	< 0,001
		est.	0,48	6,93	13,9	24,1	146	-0,1%	-1,0%	-9,0%	
pH(H ₂ O)		calc.	4,25	4,63	4,92	5,37	7,89	-0,00	-0,02	-0,12	< 0,001
		est.	4,24	4,63	4,92	5,35	7,87	-0,1%	-0,3%	-1,9%	
Ca _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	3,65	19,6	207	1132	6347	0,00	-11,5	-176	< 0,001
		est.	3,65	19,0	207	1103	6360	0,0%	0,9%	46,2%	
Cd _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,10	0,10	0,10	0,10	0,58	0,00	0,00	0,04	0,446
		est.	0,10	0,10	0,10	0,10	0,57	0,0%	0,4%	23,1%	
Zn _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	3,85	43,1	60,4	80,5	204	0,02	-0,35	-5,36	< 0,001
		est.	3,54	42,0	60,4	80,5	201	0,0%	-0,6%	-8,1%	
Mg _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,35	4,69	60,9	205,3	2358	0,03	-3,37	-87,4	< 0,001
		est.	0,35	4,78	60,9	200,8	2270	0,0%	1,8%	102,2%	
P _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	40,6	226	322	508	4 017	4,0	-0,2	-117	0,426
		est.	40,0	228	326	518	3 933	1,2%	0,4%	17,7%	
Pb _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	1,00	8,38	11,9	15,2	49,2	0,16	0,06	-12,3	< 0,001
		est.	0,00	8,20	12,0	15,4	49,0	1,4%	1,3%	-100,0%	
Na _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	3,62	46,0	66,2	93,2	667	0,94	-0,70	-18,16	< 0,001
		est.	3,62	46,3	67,1	91,4	648	1,4%	-0,2%	54,7%	
Mn _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	5,32	215,7	392,7	671	5 137	9,75	5,6	113	0,013
		est.	5,02	224,4	402,4	683	5 198	2,5%	1,5%	23,4%	
Al _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	1,12	72,5	157,6	253,3	561	6,63	4,30	60,3	< 0,001
		est.	1,12	76,6	164,2	265,2	558	4,2%	10,3%	214,5%	
C _{tot}	[%]	calc.	0,09	0,26	0,43	0,8	2,8	0,02	0,03	0,35	< 0,001
		est.	0,10	0,27	0,45	0,9	2,8	4,8%	7,4%	111,7%	
N _{tot}	[%]	calc.	0,01	0,03	0,04	0,06	0,20	0,00	0,00	0,02	< 0,001
		est.	0,01	0,03	0,04	0,06	0,21	5,3%	4,9%	58,8%	
Mn _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,15	4,58	10,63	20,95	86,05	0,6	0,5	5,0	< 0,001
		est.	0,15	4,64	11,24	22,89	90,53	5,8%	4,1%	37,9%	
Fe _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,23	0,25	0,55	1,65	64,11	0,24	0,34	9,5	< 0,001
		est.	0,24	0,25	0,78	2,32	64,29	43,3%	39,1%	1901%	

¹absolute/relative difference; ²of medians; ³average difference between individual pairs; ⁴maximum difference between individual pairs



Obr. 2.

Rozložení relativních rozdílů párového srovnání vypočtených a odhadnutých hlavních půdních parametrů v minerální vrstvě 30–80 cm (n=137)

Fig. 1.

Distribution of relative differences between pairs of calculated and estimated values for main soil parameters in the mineral layer of 30–80 cm (n = 137)

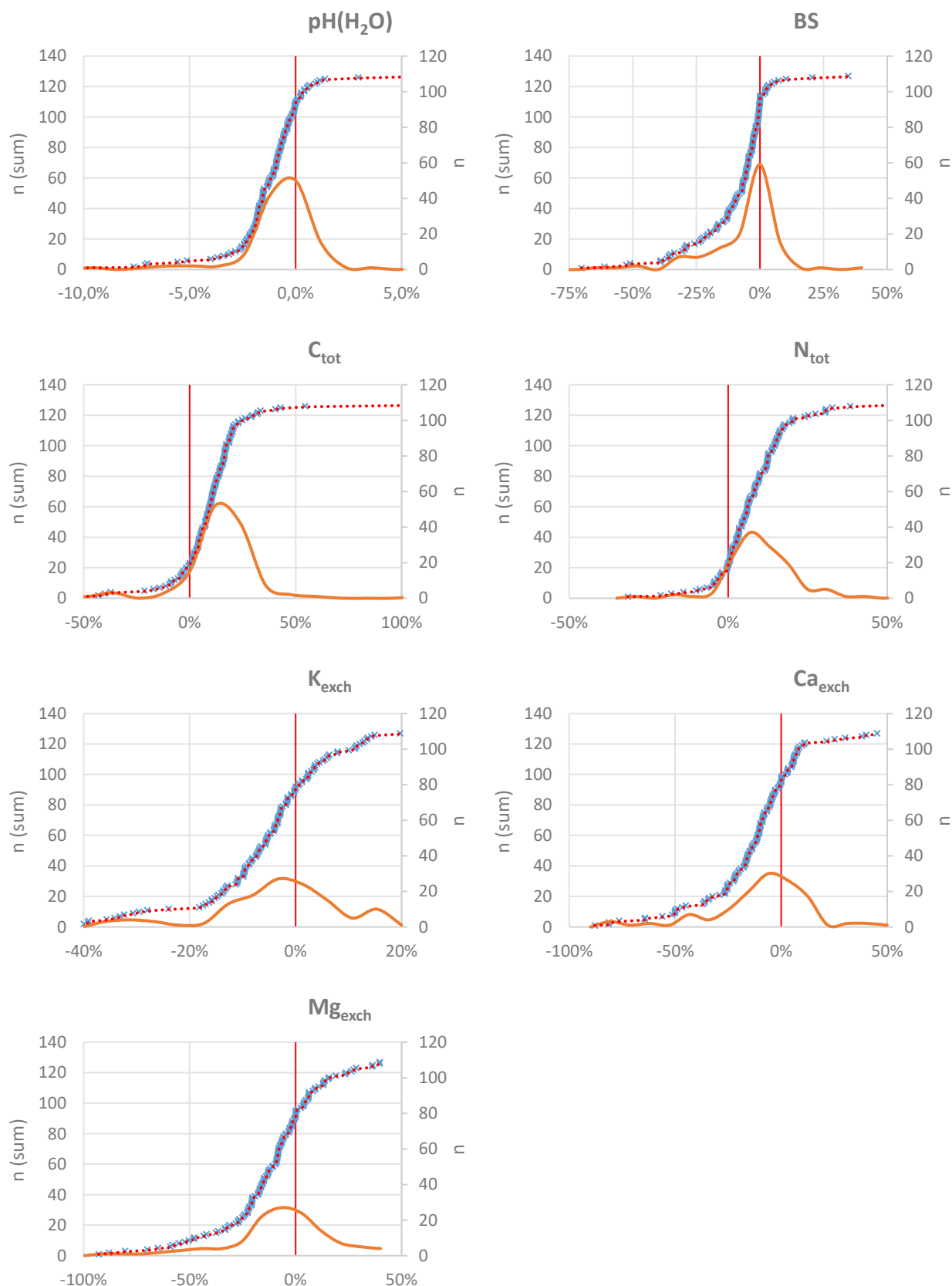
Tab. 3.

Charakteristiky rozdělení půdních parametrů, absolutních a relativních rozdílů mezi vypočtenými (*calc.*) a odhadnutými (*est.*) hodnotami v minerální půdě 30–80 cm

Distribution parameters of calculated (*calc.*) and estimated (*est.*) soil properties; absolute and relative differences in the mineral soil layer 30–80 cm

30–100 cm			minimum	percentil 0,25	median	percentil 0,75	maximum	rozdíl absolutní/relativní ¹			p
								mediánů ²	párů průměrných ³	párů maximálních ⁴	
Ca _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	3,65	36,1	286	1142	5410	-63,4	-79	-632	< 0,001
		est.	3,65	21,8	223	1122	5319	-22,2%	-13,3%	-87,9%	
BS	[%]	calc.	2,78	14,7	50,1	86,0	100	-9	-2,9	20	< 0,001
		est.	1,84	10,1	41,1	83,0	100	-18,0%	-9,8%	-70,1%	
Mg _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,35	8,35	85,5	233	2164	-12,4	-16,9	-223	< 0,001
		est.	0,35	6,51	73,1	212	2340	-14,5%	-11,7%	-92,9%	
K _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	2,55	21,7	45,3	69,8	210	-5	-2	-38	< 0,001
		est.	2,55	19,6	40,0	72,0	196	-11,7%	-5,9%	-47,6%	
Na _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,35	2,68	5,78	10,9	72,7	-0,43	-1,05	-12,3	< 0,001
		est.	0,35	2,26	5,35	9,90	69,1	-7,5%	-8,3%	-71,1%	
P _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	41,20	225	335	533	4143	-17,89	-17,71	-246,90	< 0,001
		est.	40,44	223	317	512	4047	-5,3%	-3,2%	-41,1%	
Cu _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,44	7,28	14,9	24,8	158	-0,7	-0,8	-10	< 0,001
		est.	0,48	7,03	14,2	24,1	148	-5,0%	-5,1%	-51,7%	
Na _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	3,69	47,9	71,9	102	670	-3,5	-3,7	167,02	< 0,001
		est.	3,59	48,3	68,3	93	654	-4,9%	-4,0%	41,7%	
K _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	99	1966	3208	5552	18113	-136	-141	-2155	< 0,001
		est.	111	1883	3072	5166	18811	-4,2%	-3,9%	-29,4%	
Fe _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,25	0,25	0,66	1,54	47,6	-0	0	-33	< 0,001
		est.	0,25	0,25	0,64	1,81	68,8	-3,8%	20,0%	754,4%	
Pb _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	1,00	8,44	12,4	15,9	50,0	-0	-1	-29	0,084
		est.	0,00	7,97	12,0	15,2	52,6	-2,9%	-4,5%	-100,0%	
Zn _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	3,08	43,5	61,6	78,0	212	-1	-0	-16	0,329
		est.	3,59	41,7	60,4	79,3	227	-2,0%	-0,8%	-35,2%	
Ca _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	3,87	300	739	2401	86899	-14	-746	-25694	< 0,001
		est.	4,66	284	726	2182	71042	-1,8%	-8,8%	-86,1%	
Mg _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	83,6	2789	5334	8401	28479	-93,67	-180,70	3483,64	0,320
		est.	101	2614	5241	8036	27325	-1,8%	-2,7%	-38,2%	
pH(H ₂ O)		calc.	4,32	4,69	5,00	5,43	7,89	-0,06	-0,07	-0,6	< 0,001
		est.	4,30	4,64	4,94	5,37	7,89	-1,2%	-1,3%	-10,4%	
Al _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	1,12	56,1	153	246	589	-1,64	8,17	-150,07	< 0,001
		est.	1,12	72,7	152	257	562	-1,1%	12,7%	143,2%	
Al _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	1202	19637	25407	33174	76453	-267,6	-621,9	-12762,6	0,006
		est.	1361	18723	25140	31781	74251	-1,1%	-1,8%	-42,3%	
Fe _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	1510	19402	31056	42460	102840	-286,77	-849,59	-10779,60	< 0,001
		est.	1571	20637	30769	40789	92312	-0,9%	-1,9%	-29,2%	
pH(CaCl ₂)		calc.	3,73	3,99	4,21	4,53	7,21	-0	-0	-1	< 0,001
		est.	3,72	3,98	4,21	4,52	7,18	-0,1%	-1,0%	-11,6%	
Cd _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,10	0,10	0,10	0,11	0,59	0	-0	0	< 0,001
		est.	0,10	0,10	0,10	0,10	0,57	0,0%	-1,1%	-42,0%	
N _{tot}	[%]	calc.	0,01	0,02	0,04	0,06	0,18	0,00	0,00	0,03	< 0,001
		est.	0,01	0,03	0,04	0,06	0,20	2,4%	7,7%	50,5%	
Mn _{exch}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	0,15	5,83	10,5	19,7	71,1	0,50	1,03	16,35	< 0,001
		est.	0,15	5,15	11,0	21,4	84,0	4,8%	4,4%	-47,9%	
Mn _{extr}	[mg.kg ⁻¹]	calc.	5,18	213	396	681	4847	27,2	10,2	524,9	< 0,001
		est.	5,11	227	423	671	5220	6,9%	1,5%	29,7%	
C _{tot}	[%]	calc.	0,08	0,23	0,38	0,68	3,39	0,04	0,04	-0,7	< 0,001
		est.	0,09	0,25	0,42	0,72	2,90	11,0%	9,5%	105%	

¹absolute/relative difference; ²of medians; ³average difference between individual pairs; ⁴maximum difference between individual pairs



Obr. 3.

Rozložení relativních rozdílů párového srovnání vypočtených a odhadnutých hlavních půdních parametrů v minerální vrstvě 30–100 cm (n = 127)

Fig. 3.

Distribution of relative differences between pairs of calculated and estimated values for main soil parameters in the mineral layer of 30–100 cm (n = 127)

DISKUSE

Zdrojem živin a dalších prvků v sorpčním komplexu lesních půd je jednak zvětrávání substrátu matečné horniny, jednak uvolňování z nadložní organické vrstvy (humusu) (FISHER, BINKLEY 2000), ale i rozklad odumřelých kořenů a dalších forem podzemní biomasy. Zatímco rozklad organických látek v humusové vrstvě ovlivňuje zejména svrchní půdní horizonty, zvětrávání probíhá v celém půdním profilu. Především v případě bazických kationtů jsou vyšší obsahy často detekovány ve spodních půdních vrstvách, neboť povrchové vrstvy půd i střední části půdního sola jsou ovlivněny odběrem živin vegetací (BERGER et al. 2006; VAN DO, BUI 2020) a v našich podmínkách – často i velmi výrazně – také antropogenní acidifikací (HŮNOVÁ 2020) či prostou translokací v rámci pedogeneze. Toto rozdělení je pochopitelně pouze rámcové a v reálných podmínkách je ovlivněno specifickými vlastnostmi některých genetických půdních horizontů (WRB 2015), v rámci rozsáhlejších půdních průzkumů však obecně platí. Při odhadu chemických vlastností pro půdní vrstvu 0–30 cm z výsledků analýz horizontů M01, M12 a M24 je tedy možné očekávat podhodnocení obsahu látek, které jsou distribuovány zejména z nadložního humusu, tedy především uhlíku a dusíku. Naopak lze předpokládat vyšší odhadované hodnoty pH a obsahy bazických kationtů, jejichž hodnoty jsou ve svrchních minerálních vrstvách půdy často nižší než v hlubších horizontech. Skutečnost je taková, že pro pH(CaCl₂), pH(H₂O), C a N jsou mediány odhadovaných i vypočítaných hodnot prakticky totožné (odchylka do 1 %), byť soubory hodnot nejsou homogenní. U obou pH jsou nízké i zjištěné maximální odchylky mezi jednotlivými páry hodnot, které se v relativním vyjádření pohybují do 5 % a v absolutním do hodnoty 0,2. U uhlíku a dusíku již dosahují rozdíly v extrémních případech více než 20 % a nezanedbatelné jsou i z hlediska absolutních hodnot. Odhadované mediány přístupného vápníku jsou o 3,9 % vyšší než obsahy vypočítané, u draslíku a saturace bázemi je to o 4,9 %. Maximální rozdíly mezi jednotlivými páry hodnot činí u přístupného draslíku 46 %, u saturace bázemi 70,5 % a přístupného vápníku dokonce 127 %.

Pro praktické hodnocení obsahu živin v lesních půdách jsou využívány kategorie obsahu přístupných forem prvků pro lesní dřeviny (tab. 4; ŠRÁMEK et al. 2021). Z tohoto pohledu spadá v minerální vrstvě 0–30 cm do stejné kategorie 95 % hodnot odhadnutého a vypočítaného Ca_{exch}, 93 % hodnot saturace bázemi, 92 % hodnot K_{exch} a 91 % hodnot Mg_{exch}.

Odhady chemických vlastností pro půdní vrstvu 30–80 cm z analýz horizontů M24 a M48 naopak oproti skutečnosti dávají mírně větší váhu svrchním půdním horizontům, proto lze očekávat nižší odhadnuté hodnoty pH, vyšší obsahy celkového uhlíku a dusíku a nižší obsahy bazických kationtů. Zatímco u pH(H₂O) i pH(CaCl₂) jsou rozdíly opět velmi malé pro celé soubory i jednotlivé páry hodnot, a to v relativních i absolutních hodnotách, u C a N se odchylky mediánů odhadovaných souborů pohybují okolo 5 %. To – vzhledem k nízkým koncentracím těchto prvků v hlubších minerálních horizontech – není v absolutních hodnotách mnoho, nicméně maximální a v případě C i střední odchylky mezi jednotlivými páry jsou již poměrně výrazné. Z bazické části sorpčního komplexu jsou relativně malé střední odchylky u přístupného hořčíku, vápníku a saturace bázemi. Maximální odchylky mezi páry jsou pro tyto prvky již v řádech desítek mg.kg⁻¹. U přístupného draslíku jsou střední obsahy odhadnutých hodnot o 3 % nižší oproti hodnotám vypočítaným, maximální odchylka mezi páry přesahuje 30 %. Při srovnání odhadovaných a vypočítaných hodnot bazických prvků a BS podle kategorií uvedených v tab. 4, byly odlišné kategorie přístupného vápníku a draslíku zjištěny v méně než 1 % případů, u přístupného hořčíku a saturace bázemi byly odhadované i vypočítané hodnoty vždy ve stejné kategorii. Lze konstatovat, že pro půdní vrstvu 30–80 cm jsou odhadované a vypočítané parametry chemických vlastností podobné.

U odhadu chemických vlastností půd pro minerální vrstvy v hloubce 30–100 cm z výsledků analýz odběrových vrstev M24 a M48 je možné očekávat největší rozdíly, protože data z hloubky do 80 cm jsou extrapoloována i pro vrstvu 80–100 cm, kterou v tomto případě žádné analýzy nepokrývají. I zde je možné předpokládat vyšší odhadnutý obsah C a N oproti vypočítaným hodnotám, a naopak nižší pH a obsah přístupných bází. Nelze opominout ani fakt, že v některých typech půdních průzkumů může chybět i informace o tom, zda lesní půda skutečně hloubky jednoho metru dosahuje (DE VOS et al. 2015; WELLBROCK et al. 2019), případně jaký je v ní obsah skeletu, což může následně ovlivnit např. výpočet zásob prvků v půdě (COOLS, DE VOS 2020). V našem případě ovšem srovnáváme pouze půdní sondy, kde jsou analýzy do hloubky 1 m k dispozici. Stejně jako v ostatních půdních vrstvách, ani zde nejsou výrazné rozdíly v odhadovaných a vypočítaných středních hodnotách pro aktivní a výměnné pH, a to jak v relativních (do 1,2 %), tak v absolutních (do 0,06) hodnotách. Maximální rozdíly mezi jednotlivými párovými hodnotami již přesahují 10 % a jsou nezanedbatelné i v absolutních hodnotách, které činí -0,6 u pH(H₂O) a -1 u pH(CaCl₂). Střední hodnoty u dusíku jsou v případě odhadovaných hodnot vyšší o 2,4 %, v případě uhlíku již o 11 %. U přístupného draslíku, hořčíku a saturace bázemi jsou odhadované obsahy oproti vypočítaným nižší o více než 10 %, u přístupného vápníku dokonce o 22 %. I pokud hodnotíme zásoby bazických prvků a saturace bázemi podle kategorií uvedených v tab. 4, dostaneme ve více než 10 % odlišné zařazení do kategorií výživy u všech parametrů.

ZÁVĚR

Z výsledků vyplývá, že nejlepší soulad odhadovaných a vypočítaných hodnot je pro hloubku 30–80 cm, nejhorší naopak pro určení vlastností v hloubce 80–100 cm. U naprosté většiny parametrů jsou rozdíly mezi odhadovanými a vypočítanými hodnotami signifikantní. Přesto lze konstatovat, že pro praktické hodnocení vlastností lesních půd jsou relativní i absolutní rozdíly zanedbatelné u aktivního i výměnného pH v hloubkách 0–30 cm a 30–80 cm. Ve vrstvě 30–100 cm zhruba odpovídají střední hodnoty pH, jednotlivé párové hodnoty se však mohou i výrazně lišit. Tato situace platí i pro obsahy celkového uhlíku a dusíku, přístupného sodíku a extrahovatelného kadmia, mědi, železa, fosforu a olova ve vrstvách půdy 0–30 cm a 30–80 cm. Lze tak říci, že např. hodnocení celkového obsahu uhlíku v minerální vrstvě do 30 cm v regionálních studiích není vzorkováním metodami ICP Forests výrazněji ovlivněno, přestože u jednoho konkrétního profilu může být odchylka zjištěných hodnot zřetelná. U dalších prvků s výjimkou přístupného hořčíku ve vrstvě 0–30 cm a přístupného železa ve vrstvě 30–80 cm se odchylky středních hodnot pohybují do 7 %.

Tab. 4.

Kategorie pro hodnocení obsahu přístupných bazických kationtů a saturace bázemi z hlediska výživy dřevin v minerální půdě
Categories for evaluation of exchangeable base cations and base saturation and their availability to tree nutrition in mineral soil

Obsah/Content	K [mg.kg ⁻¹]	Ca [mg.kg ⁻¹]	Mg [mg.kg ⁻¹]	BS [%]
velmi nízký/very low	< 30	< 140	< 20	< 10
nízký /low	30–50	140–350	20–40	10–20
střední/middle	50–100	350–700	40–90	20–30
dobrý/good	100–200	700–1400	90–180	30–50
velmi dobrý/very good	> 200	> 1400	> 180	> 50

V těchto vrstvách je tedy možné pro hodnocení rozsáhlejších plošných průzkumů použít odhadované hodnoty, při posuzování konkrétních lokalit však již mohou vzniknout výrazné rozdíly. U bazických kationtů jsou pro vrstvu 0–30 cm odhadované obsahy obvykle vyšší oproti obsahům vypočítaným, ve vrstvách 30–80 cm a 30–100 cm je tomu naopak. Při hodnocení bazických živin podle kategorií pro výživu dřevin dojde k přesunu mezi kategoriemi u méně než 10 % odběrů. Pro vrstvu 30–100 cm nelze odhad z analýz vrstev M24 a M48 doporučit. Závislost je nejmenší ze všech tří sledovaných vrstev a především není analýzou pokryta celá zájmová oblast půdního sola, což může představovat závažný zdroj chyb.

Poděkování:

Publikace byla vypracována v rámci řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum QK1920163 a s využitím institucionální podpory Ministerstva zemědělství MZE-RO0118.

LITERATURA

- BERGER T.W., SWOBODA S., PROHASKA T., GLATZEL G. 2006. The role of calcium uptake from deep soils for spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*). *Forest Ecology and Management*, 229: 234–246. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.04.004
- CIENCIALA E., EXNEROVÁ Z., MACKŮ J., HENŽLÍK V. 2006. Forest topsoil organic carbon content in Southwest Bohemia region. *Journal of Forest Science*, 52: 387–398.
- COOLS N., DE VOS B. 2020. Part X: Sampling and Analysis of Soil. 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: 29 s. + Annex.
- DE VOS B., COOLS N. 2011. Second European Forest Soil Condition Report. Volume I: Results of the BioSoil Soil Survey. INBO.R. 2011.35. Brussel, Research Institute for Nature and Forest: 359 s.
- DE VOS B., COOLS N., ILVESNIEMI H., VESTERDAL L., VANGUELOVA E., CARNICELLI S. 2015. Benchmark values for forest soil carbon stock in Europe: Results from a large scale forest soil survey. *Geoderma*, 251–252: 33–46. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.03.008
- FAO. 2019. Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1). *Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership*. Rome, FAO: 170 s.
- FIALA P., REININGER D., SAMEK T., NĚMEC P., SUŠIL A. 2013. Průzkum výživy lesa na území České republiky 1996–2011. Brno, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: 148 s.
- FISHER R.F., BINKLEY D. 2000. *Ecology and management of forest soils*. New York, John Wiley & Sons: 489 s.
- HŮNOVÁ I. 2020. Ambient air quality in the Czech Republic: Past and present. *Atmosphere*, 11 (2): 214. DOI:10.3390/atmos11020214
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, forestry and other land use. Chapter 2: Generic methodologies applicable to multiple land-used categories [on-line]. Intergovernmental Panel on Climate Change: 59 s. [cit. 2021-21-04]. Dostupné na/Available on: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf
- JONARD M., NICOLAS M., COOMES D.A., CAIGNET I., SAENGER A., PONETTE Q. 2017. Forest soils in France are sequestering substantial amounts of carbon. *Science of the Total Environment*, 574: 616–628. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.028, 2017
- NOVOTNÝ R., FADRHOŇSOVÁ V., ŠRÁMEK V. 2020. Stav lesních půd, úroveň minerální výživy a vývoj zdravotního stavu smrkových mlazín v Orlických horách v období 2002–2018. *Zprávy lesnického výzkumu*, 65: 175–189.
- SMITH P., SOUSSANA J.-F., ANGRES D., SCHIPPER L., CHENU C., RASSE D. P., BATJES N.H., VAN EGMOND F., MCNEILL S., KUHNERT M., ARIAS-NAVARRO C., OLESEN J.E., CHIRINDA N., FORNARA D., WOLLENBERG E., ÁLVARO-FUENTES J., SANZ-COBENA A., KLUMPP K. 2019. How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*, 26: 219–241. DOI: 10.1111/gcb.14815
- ŠRÁMEK V., VORTELOVÁ L., FADRHOŇSOVÁ V., NEUDERTOVÁ HELLEBRANDOVÁ K. 2011. Výsledky výzkumu lesních půd v rámci programu BioSoil v České republice – zajištění výživy dřevin základními živinami. In: Sobocká J. (ed.): *Diagnostika, klasifikácia a mapovanie pôd*. Bratislava, Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy: 182–190.
- ŠRÁMEK V., JURKOVSKÁ L., V. FADRHOŇSOVÁ V., HELLEBRANDOVÁ-NEUDERTOVÁ K. 2013. Chemismus lesních půd ČR podle typologických kategorií – výsledky monitoringu lesních půd v rámci projektu EU «BioSoil». *Zprávy lesnického výzkumu*, 58: 314–323.
- 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., FADRHOŇSOVÁ V., NEUDERTOVÁ HELLEBRANDOVÁ K., ČECHMÁNKOVÁ J., BORŮVKA L., SÁŇKA M., NOVOTNÝ R. 2020. Kontrola kvality dat v rozsáhlých databázích chemických vlastností lesních půd. Strnady, VÚLHM: 43 s. *Lesnický průvodce 10/2020*.
- ŠRÁMEK V., FADRHOŇSOVÁ V., NEUDERTOVÁ HELLEBRANDOVÁ K., NOVOTNÝ R. 2021. Doporučené metody nakládání s těžebními zbytky v lesních porostech s významnou produkční funkcí z hlediska udržitelnosti bilance hlavních živin. Strnady, VÚLHM: 57 s. *Lesnický průvodce 3/2021*.
- VAN DO T., BUI T.D. 2020. Vertical distribution and production of fine roots in an old-growth forest, Japan. *Journal of Forest Science*, 66: 89–96. DOI: 10.17221/121/2019-JFS
- VAN LEEUVEN J.P., SÁBY N.P., JONES A., LOUWAGIE G., MICHELI E., RUTGERS M., SCHULTE R.P.O., SPIEGEL H., TOTH G., CREAMER R.E. 2017. Gap assessment in current soil monitoring networks across Europe for measuring soil functions. *Environmental Research Letters*, 12: 124007.
- VOKOUN J. et al. 2002. Příručka pro průzkum lesních půd. Taxonomický klasifikační systém půd ČR (Jan Němeček a kol.) v lesnické paxi. Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů: 44 s.
- WELLBROCK N., AHRENDTS B., BÖGELEIN R., BOLTE A., EICKENSCHIEDT N., GRÜNEBERG E., KÖNIG N., SCHMITZ A., FLECK S., ZICHE D. 2019. Concept and methodology of the National Forest Soil Inventory. In: Wellbrock N., Bolte A. (eds.): *Status and dynamics of forests in Germany*. Cham, Springer: 1–28. *Ecological Studies* 237.
- WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome, FAO: 192 s. *World Soil Resources Reports No. 106*.

SOIL SAMPLING ACCORDING TO FIXED DEPTH INTERVALS - DIFFERENCES OF VALUES OF CHEMICAL PROPERTIES WHEN THEY ARE CALCULATED USING DIFFERENT SOIL LAYERS

SUMMARY

Forest soils can be sampled according to the genetic soil horizons (WRB 2015), but in many soil surveys the sampling according to the fixed depth intervals is used, which simplifies sampling harmonization as well as statistical evaluation of soil properties (ŠRÁMEK et al. 2015; JONARD et al. 2017; VAN LEEUVEN et al. 2017; NOVOTNÝ et al. 2020). Sampling intervals are usually denser in upper mineral soil, which exhibits higher variability than deeper soil layers. Within the most extensive harmonized pan-European forest soil BioSoil survey under the ICP Forests programme mandatory layers for mineral soil sampling were 0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm and 40–80 cm (COOLS, DE VOS 2020). On the other hand, Intergovernmental Panel on Climate Change suggests the layer of 0–30 cm for carbon stock reporting (IPCC 2006) and layer 30–100 cm can be suggested for reporting of carbon stock in deeper soil (FAO 2019; SMITH et al. 2019). In such case the properties for required layer can be recalculated, which was done e.g. by DE VOS et al (2015) using “carbon density” or by ŠRÁMEK et al. (2020) for Aggregated National Forest Soil Database using in similar process weighted averages. In the article we try to define deviations that result from such a procedure.

As a base we used the results of BioSoil survey in the Czech Republic (ŠRÁMEK et al. 2011, 2013) where we sampled individual soil pits in 10 cm intervals up to the depth of 1 m. We studied three target layers: 0–30 cm (M03), 30–80 cm (M38), and 30–100 cm (M310). For each of them we calculated value of individual parameter from 10 cm sampled layers (see equation for X_{M03} , X_{M38} , and X_{M310} = calculated values) and estimated value in the same way as it would be done if only results for 20–40 cm and 40–80 cm are disposable (see equation for XO_{M03} , XO_{M38} , and XO_{M310} = estimated values). Distribution of soil parameters is not normal so they are described by median and percentiles.

Wilcoxon pair test was used for statistical analysis – and with few exceptions it found the calculated and estimated values as significantly different. Results for M03 layer are presented in Tab. 1 and Fig. 1. Differences between medians of estimated and calculated values are below 2% for 12 parameters, below 5% for other 10 parameters, higher they are only for extractable potassium and exchangeable magnesium – both parameters are overestimated when comparing estimated and calculated values. Differences between individual pairs of estimated and calculated values are obviously higher. In the layer M38 (Tab. 2; Fig. 2) the situation is even more favourable with 14 parameters exhibiting difference of estimated and calculated medians below 2%. On the contrary, in M310 layer (Tab. 3; Fig. 3) differences – both between median and between individual pairs – are more pronounced. Our data confirm that estimated values in M03 layer tend to underestimation of elements released from upper organic (humus) layer (C_{tot} , N_{tot}) and overestimation of elements released mainly by weathering of mother rock (base cations). In deeper layers M38 and M310 it is vice versa. By evaluating exchangeable base cations and base saturation according to forest nutrition categories (Tab. 4) we would get different results for estimated and calculated values in 5–9% cases in M03, less than 1% in M38 and slightly more than 10% in M310.

To sum up, according to the result of Wilcoxon pair test, estimated and calculated values differ for all studied layers. For practical use, however, estimated and calculated pH values are commutable for M03 and M38 layer as both relative and absolute differences are negligible. For most soil parameters in these layers the estimated values can be used for evaluation of larger soil survey because the differences in median values are rather small. Caution, however, should be taken when using the estimation for individual soil pit, where the difference can be substantial. For M310 layers we do not recommend use of estimated soil parameter values because the original data (20–40 cm and 40–80 cm) do not cover the whole soil depth evaluated. This procedure can be tricky especially when the information about the presence of mineral soil below 80 cm depth and its properties (as stoniness) is missing.

Zasláno/Received: 05. 11. 2021

Přijato do tisku/Accepted: 20. 12. 2021