

# TYP PEDOLOGICKÉHO VÁLEČKU A JEHO VLIV NA OBJEMOVOU HMOTNOST REDUKOVANOU

## DESIGN OF SOIL SAMPLE RING AND ITS EFFECT ON THE BULK DENSITY REDUCED

JAN PECHÁČEK<sup>1)</sup> ✉ - DUŠAN VAVŘÍČEK<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Národní lesnický institut, pobočka Brno, Vrázova 1, 616 00 Brno - Žabovřesky, Czech Republic

<sup>2)</sup>Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav geologie a pedologie, Zemědělská 3, 613 00 Brno - Černá pole, Czech Republic

✉ e-mail: Jan.Pechacek@nli.gov.cz

### ABSTRACT

Bulk density reduced (BDR) is an important parameter for evaluating the degree of soil compaction as well as for calculating the stock of chemical elements per unit area. Various designs of soil sample rings are used to collect intact samples, differing in height to diameter ratio, the volume of which is usually 100 cm<sup>3</sup>. With the start of the new cycle of the National Forest Inventory in 2021, there has been a change in the design of soil sample rings. The aim of our experiment was to verify whether an inconsistency of the measured values had not occurred because of this. During our experiment, 191 pairs of samples were taken to compare the Kopecky rings (diameter to height ratio 1.86) and so-called narrow tall rings (0.63). Furthermore, 40 pairs of samples were taken to compare the Kopecky rings and so-called narrow low rings (2.15). The statistical investigation showed that the BDR from the samples collected in the Kopecky rings does not differ significantly from the BDR obtained from narrow low or narrow high rings. The effect of ring design stayed consistent within individual groups of soil horizons. The effect did not manifest even in texturally differentiated groups of soils.

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

**Klíčová slova:** hmotnost vysušené půdy na jednotku objemu; půdní horizonty; půdní zrnitost; rozměry vzorkovnice

**Key words:** weight of dried soil per unit volume; soil horizons; soil texture; sample box dimensions

### ÚVOD

Objemová hmotnost redukována (OHR) je definována jako hmotnost vysušené půdy v neporušeném stavu na jednotku objemu. Jedná se tedy o půdu v přirozeném uložení, s původním obsahem pórů, strukturou i skeletem. Tato veličina se vztahuje k suché půdě, kapalná složka je odstraněna v průběhu vysoušení. Hodnoty OHR, uváděné pro jednotlivé skupiny horizontů, se napříč dostupnou pedologickou literaturou (PELÍŠEK 1964; ŠÁLY 1978; SMOLÍKOVÁ 1988; KLIMO 1990; ŠIMEK 2003; VAVŘÍČEK, KUČERA 2017; REJŠEK, VÁCHA 2018) shodují a nejčastěji jsou uváděny následující hodnoty: povrchový surový humus: 0,2–0,4 g/cm<sup>3</sup>; svrchní horizonty (epipedony): 0,9–1,2 g/cm<sup>3</sup>; minerální horizonty (podpovrchové): 1,2–1,5 g/cm<sup>3</sup>; minerální horizonty (podpovrchové spodní, více ulehlé): 1,5–1,9 g/cm<sup>3</sup>. Hodnoty pro jednotlivé genetické horizonty jsou udávány velmi sporadicky, například VAVŘÍČEK, KUČERA (2017) uvádějí hodnotu OHR pro Bs ho-

rizonty <1,0 g/cm<sup>3</sup>, ŠÁLY (1978) udává pro Aa a Ba horizonty hodnotu 0,3–0,85 g/cm<sup>3</sup>. Dále jsou v publikaci VAVŘÍČEK, KUČERA (2017) prezentovány i hodnoty OHR v závislosti na půdní textuře a pórovitosti, které mohou dané hodnoty zásadní měrou ovlivňovat (písky 1,7 g/cm<sup>3</sup>; hlíny 1,6 g/cm<sup>3</sup>; jíly 1,5 g/cm<sup>3</sup>).

OHR je důležitým parametrem pro hodnocení míry zhuštění půd, využitelná je například stupnice ARSHADA et al. (1992) či KUTÍLKA (1978). Lesnický může být významná například při stanovení hmotnosti půdy určité větší plochy jako jsou sadební plochy lesní školky (REJŠEK 1999). Přesné vyhodnocení OHR je zásadní pro výpočet a hodnocení změn v zásobách uhlíku i dalších živin. Vzorkovací metody ale mají své limity a zdroje variability (JURGENSEN et al. 2017). Například při válečkové metodě může být zdrojem zkreslení vyloučení skeletu, jehož průměr je větší než průměr válečku. Při využití nukleárního hustoměru je kvůli hmotnosti přístroje využití omezeno jen

na dobře přístupné lokality. Metoda výkopu půdní sondy o známém objemu je náročná z hlediska velkého objemu následných laboratorních prací, nevýhodou je i omezený počet opakování na jedné lokalitě.

Při zpracování dat Národní inventarizace lesa (dále jen NIL) jsou OHR statisticky vázeny zjišťované pedocharakteristiky a OHR je využita i k výpočtu zásob uhlíku a živin (bližší viz ADOLT, KUČERA 2021). Cílem je, aby nebyly finální hodnoty pedocharakteristik, agregované za jednotlivé územní celky (např. PLO, kraje, či ČR) zkráceny rozdílnou mocností horizontů, ale i dalšími vlastnostmi (měrná hmotnost, struktura, textura atd.), které je v přirozené „rostlých“ půdách výrazně modifikují. Charakter stávajících statistických výpočtů v rámci NIL tak klade poměrně vysoké nároky na přesnost zjištění OHR.

OHR se tradičně zjišťuje z tzv. neporušených vzorků, odebraných do pedologických válečků o objemu 100 cm<sup>3</sup>. Jde o ocelové válečky s optimálním poměrem průměru a výšky válečku cca 1 : 1,6 (ZBÍRAL et al. 2016). Poměr je však vhodný spíše pro vzorkování zemědělských půd s homogenizovanou ornici do hloubky větší než cca 12 cm. Ze zkušenosti s odběrem neporušených vzorků lesních půd lze konstatovat, že jako optimální se jeví pedologický váleček s menším poměrem (cca 1 : 2). Rozměry pedologického válečku mohou ovlivnit výslednou OHR. Např. SOANE, VAN OUWERKERK (1994) a KUČERA (2017) uvádí, že u pedologických válečků stoupá míra zhuštění vzorku s klesajícím průměrem válečku. Dle práce PIRES et al. (2005) je při odběru pedologických válečků tendence ke zhuštění vzorku poblíž stěn válečku a také na dně a vrchu válečku při kontaktu s víčky.

V rámci půdních průzkumů byly na Národním lesnickém institutu (dále jen NLI) do r. 2020 využívány velmi úzké válečky s poměrem průměru a výšky 1 : 0,6 (tzv. úzké vysoké). V některých případech (při nízké mocnosti vzorkovaného horizontu) se používaly válečky s poměrem 1 : 2,1 (tzv. úzké nízké). Kromě nestandardního rozměru těchto vzorkovnic bylo nevýhodou, že neumožňovaly následné provádění hydrofyzikálních analýz. S nástupem nového cyklu NIL od počátku r. 2021 došlo k přechodu na standardní, tzv. Kopeckého válečky (s poměrem průměru a výšky 1 : 1,86). Změna typu vzorkovnice v rámci

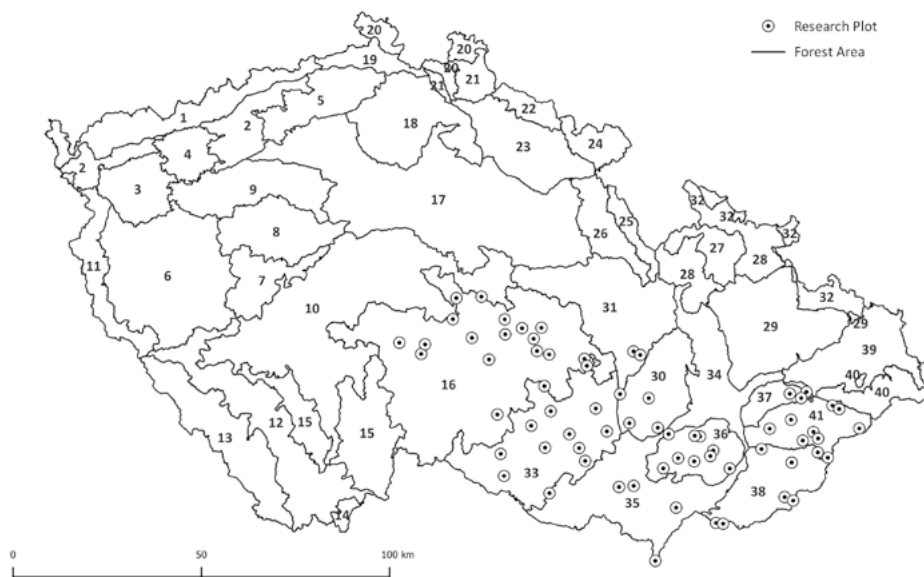
našeho půdního průzkumu by mohla narušit konzistenci měřených výsledků OHR a mohla by se projevit při vyhodnocování vývoje půdních vlastností v čase. Cílem tohoto článku je vyhodnotit efekt „starých“ a nově používaných vzorkovnic na OHR.

## MATERIÁL A METODIKA

### Terénní práce

Pedologické šetření bylo provedeno v rámci třetího cyklu NIL na plochách rozmístěných v síti 4 × 4 km po celém území ČR s lesním pokryvem. Bližší informace k prostorovému designu a metodice uvádí ADOLT, KUČERA (2021). V rámci naší studie byly vzorkovány pouze plochy, šetřené v působnosti poboček NLI se sídlem v Kroměříži a v Brně v letech 2019 a 2020 (Obr. 1). Na každé ploše byla ve vzdálenosti 16,62 m na jih od jejího středu vykopána půdní sonda s hloubkou po substrátový horizont. Neporušené půdní vzorky byly odebrány ze všech půdních horizontů (s výjimkou nadložního humusu), splňujících kritéria pro odběr. Kritéria byla následující: (1) mocnost horizontu ≥ 4 cm a (2) skeletnatost ≤ 25 %. V případě skeletnatosti ve formě hrubého písku (2–4 mm) byla posunuta hranice odběru na ≤ 50 %. Neporušené vzorky byly v půdní sondě odebrány postupně od shora směrem dolů. V reprezentativní části každého půdního horizontu byla vytvořena odkopáním a zarovnáním čela sondy horizontální plocha o přibližné velikosti 40 × 40 cm, ze které pak byly paralelně odebrány vždy 2 neporušené půdní vzorky: (a) 1 vzorek do Kopeckého válečku, (b) 1 vzorek do úzkého válečku. Oba vzorky byly odebrány co nejbližší vedle sebe a ve srovnatelných hloubkách. Celkem bylo takto odebráno 231 dvojic neporušených půdních vzorků na 68 plochách.

V průběhu našeho experimentu byly používány dva typy úzkého válečku v závislosti na mocnosti vzorkovaného horizontu. Při nižších mocnostech horizontů (zpravidla organominerální horizonty) byl



**Obr. 1.**

Rozmístění výzkumných ploch (Research Plot). Linie s číslicemi značí přírodní lesní oblasti (Forest Area)

**Fig. 1.**

Distribution of research plots. The numbered lines indicate forest areas

využit tzv. úzký nízký váleček (při 40 odběrech). Při běžných mocnostech horizontů byl využit úzký vysoký váleček (při 191 odběrech). Druhý vzorek v rámci dané dvojice vzorků byl vždy odebrán do Kopeckého válečku.

### Použité typy pedologických válečků

Všechny typy testovaných vzorkovnic (Obr. 2) byly vyrobeny na zákazku, jejich rozměry jsou uvedeny v Tab. 1.

### Laboratorní práce

Vzorky byly zpracovány v pedologické laboratoři NLI. OHR je hmotnost 1 cm<sup>3</sup> suché pórovité půdy v neporušeném stavu. Získá se zvážením obsahu pedologického válečku po jeho vysušení při 105 °C do konstantní hmotnosti. Pedologický váleček s půdou se na filtračním papíru vloží do sušárny vyhřáté na teplotu 105 °C. Po 24 hodinách se váleček se vzorkem zváží (c), poté se zemina ihned přesype do uzavíratelné vzorkovnice, váleček se očistí textilní tkaninou od zbytků zeminy

a prázdný váleček se zváží i s příslušným podložním filtračním papírem (a). OHR je pak vypočtena podle vztahu:

$$\text{OHR} = \frac{c - a}{V} \text{ [g/cm}^3\text{]},$$

kde V – objem válečku, c – hmotnost válečku s vysušenou půdou [g], a – hmotnost prázdného válečku [g].

Stanovení zrnitostních frakcí bylo zjištěno sedimentační pipetovací metodou dle ZBÍRALA et al. (2016). Na základě zastoupení jílu (<0,01 mm) pak byla u půdních vzorků klasifikována textura s členěním na půdy lehké, střední a těžké (Tab. 2).

### Zpracování dat

Ve všech odebraných dvojicích půdních vzorků byl zastoupen vždy Kopeckého váleček a jeden ze dvou používaných typů úzkých válečků. Proto byla data tříděna na dvě základní datové sady: (1) sada zahrnující hodnoty z Kopeckého válečků a úzkých vysokých válečků, (2) sada zahrnující hodnoty z Kopeckého válečků a úzkých nízkých válečků.



Obr. 2.

Testované vzorkovnice pro odběr neporušených půdních vzorků bez víček (1) a s víčky (2). Zleva: úzký vysoký váleček, úzký nízký váleček, Kopeckého váleček. (Foto: J. Pecháček)

Fig. 2.

Tested sample boxes for taking intact soil samples without lids (1) and with lids (2). From left: narrow high ring, narrow low ring, Kopecky ring (Photo: J. Pecháček)

Tab. 1.

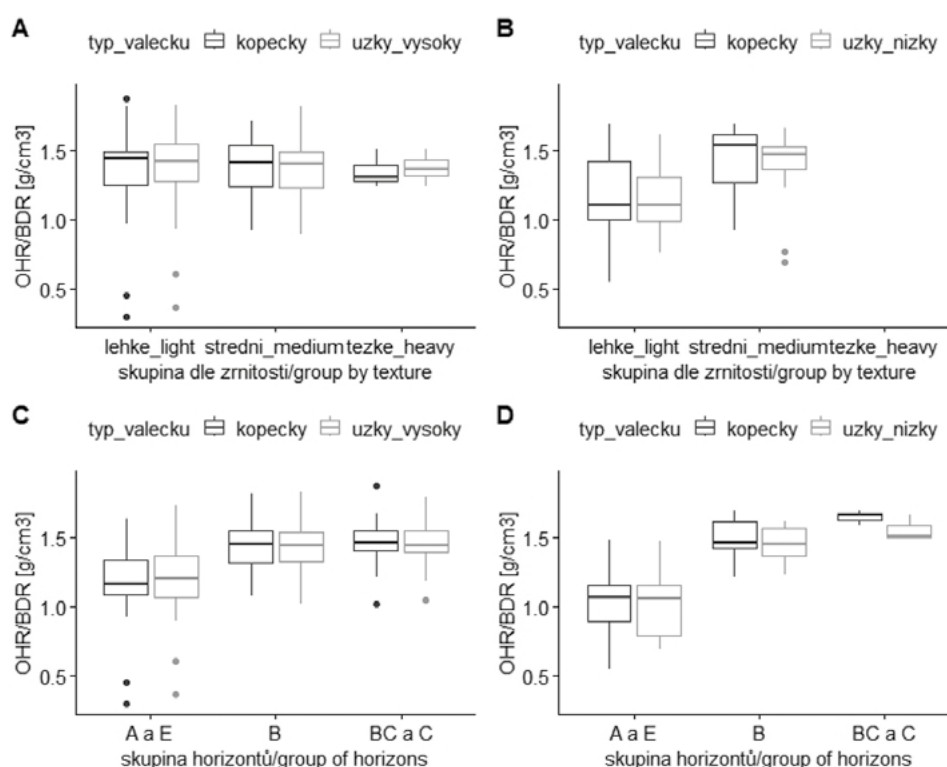
Rozměry pedologických válečků, testovaných v rámci našeho experimentu  
Dimensions of the soil sample rings tested in our experiment

Typ válečku/Ring design	Tloušťka/Thickness [mm]	Vnitřní průměr/Inner diameter [mm]	Výška/Height [mm]	Poměr průměru a výšky/Diameter/height ratio	Objem/Volume [cm <sup>3</sup> ]
Kopeckého/Kopecky	1,6	61,8	33,3	1,86	100
úzký vysoký/narrow tall	2,6	43,0	69,0	0,63	100
úzký nízký/narrow low	2,5	43,0	20,0	2,15	29

**Tab. 2.**

 Kritéria pro rozdělení vzorků do skupin dle zrnitosti  
 Criteria for dividing samples into groups according to texture

Klasifikace textury půdy/ Soil texture classification	Obsah částic jílu (<0, 01 mm)/ Content of clay particles (<0, 01 mm) [%]
lehká/light	< 20
střední/medium	20–45
těžká/heavy	> 45



Captions: *typ valecku* – ring design; *kopeccky* – kopecky; *uzky\_vysoky* – narrow high; *uzky\_nizky* – narrow low; BDR – bulk density reduced; A a E – A and E; BC a C – BC and C

**Obr. 3.**

(A,B) – Efekt typu pedologického válečku na OHR v závislosti na zrnitostní skupině půd; (C,D) – efekt typu pedologického válečku na OHR v závislosti na skupině půdních horizontů. Krabicové grafy znázorňují medián (uprostřed), horní a dolní kvartil (okraje krabice) a 1,5 × mezi-kvartilové rozpětí (rozpětí „vousů“). OHR – Objemová hmotnost redukována

**Fig. 3.**

(A,B) – Effect of the design of soil sample ring on BDR depending on the texture group; (C,D) – the effect of the design of the soil sample ring on BDR depending on the group of soil horizons. The box plots show the median (middle), upper and lower quartiles (box edges), and 1.5 × interquartile margins (“beard” margins).

Data v těchto sadách byla dále tříděna dle příslušnosti k typům půdních horizontů v souladu s Taxonomickým klasifikačním systémem půd ČR (NĚMEČEK et al. 2011). Byly vylišeny tyto skupiny půdních horizontů:

- (1) A a E – zahrnující různé druhy organominerálních a eluviálních horizontů;
- (2) B – zahrnující různé druhy horizontů podpovrchových – kambické, spodické, luvické, mramorované, glejové;
- (3) BC a C – zahrnující různé druhy substrátových horizontů včetně horizontů přechodových (např. BC, BtC, M);
- (4) bez rozlišení – zahrnující všechny změřené hodnoty bez ohledu na příslušnost k půdnímu horizontu; počet měření v této skupině je tedy součtem počtu hodnot, změřených ve výše uvedených skupinách horizontů.

Statistické zpracování dat a tvorba grafů byly provedeny v programu R (R version 4.1.2 (2021-11-01) – „Bird Hippie“), byly použity balíčky *equivalence* (version 0.7.2 Index) a *ggplot2* (version 3.3.5 Index). Pro posouzení vlivu typu pedologického válečku na OHR byly využity ekvivalenční testy. Princip jejich využití je blíže popsán v publikacích ROBINSON et al. (2005) a ROBINSON, FROESE (2004). Ekvivalenční testy se v porovnání s ostatními statistickými metodami vyznačují obrácenou nulovou hypotézou, tzn. že se v této tezi automaticky předpokládá, že soubory jsou rozdílné. Na jejich podobnost lze usuzovat až při zamítnutí nulové hypotézy. Dalším specifickým ekvivalenčních testů je, že pracují s jednotlivými (závislými) dvojicemi měření z obou porovnávaných datových sad a vyhodnocují jejich rozdíly. Rozdělení dat není normální, proto byla využita neparametrická funkce *r* test. Uváděné výsledky ekvivalenčních testů byly vypočteny při automaticky nastavené hodnotě *epsilon* 0,31.

## VÝSLEDKY

### Kopecského váleček versus úzký vysoký váleček

Mezi OHR vzorků, odebranými do Kopecského válečku a úzkých vysokých válečků nebyl nalezen statisticky významný rozdíl. Efekt tvaru pedologických válečků nebyl významný v datových skupinách tříděných dle půdní zrnitosti (Obr. 3A; Tab. 3), ani ve skupinách tříděných dle skupin horizontů (Obr. 3C; Tab. 4). O similaritě obou testovaných výběrů svědčí i rozdíly průměrů obou testovaných sad, v jednotlivých skupinách horizontů nepřekračují 1 % ze základu sady z Kopecského válečků.

### Kopecského váleček versus úzký nízký váleček

Hodnoty OHR vzorků zjištěných z Kopecského válečků a z úzkých nízkých válečků se statisticky nelišily. Efekt tvaru pedologického válečku nebyl významný v žádné ze skupin půdní zrnitosti (Obr. 3B; Tab. 3). Rozdíl průměrných hodnot obou testovaných sad v žádné ze zrnitostních skupin nepřekračoval 5 % ze základu sady z Kopecského válečku. Taktéž nebyl efekt tvaru pedologického válečku významný ve skupině půdních horizontů A a E a ve skupině B (Obr. 3D; Tab. 4). Rozdíly průměrů obou testovaných sad nepřekročily 3 % ze základu sady z Kopecského válečku. Výjimkou je datová skupina horizontů BC a C, kde se OHR z Kopecského válečků a úzkých válečků lišily. Rozdíl průměrných hodnot obou testovaných sad zde činil 6,6 %. Výsledek šetření u této skupiny je však třeba brát s rezervou, protože zde byly odebrány pouze tři dvojice vzorků a nulová hypotéza o disimilaritě skupin nebyla zamítnuta jen těsně (*p* hodnota = 0,01).

Efekt vzorkovnice ve skupinách horizontů dále tříděných dle půdní zrnitosti zachycuje Obr. 4. Statistické hodnocení zde již pro menší počet opakování v některých datových skupinách nebylo možno provést. Z obrázku je ale patrné, že i při tomto detailním členění byly u většiny porovnávaných dvojic zjištěny velmi malé rozdíly na úrovni několika setin g/cm<sup>3</sup>. Více patrné rozdíly byly zjištěny: (1) při porovnání Kopecského válečků a úzkých vysokých válečků ve skupině půdních horizontů BC a C na těžkých půdách, (2) při porovnání Kopecského válečků a úzkých nízkých válečků ve skupinách horizontů A a E na středně těžkých půdách a (3) ve skupinách půdních horizontů BC a C na středně těžkých půdách. Rozdíly mezi porovnávanými sadami zde činily cca 0,1 g/cm<sup>3</sup>.

## DISKUSE

Tuzemská i zahraniční literatura je chudá na studie, zabývající se porovnáváním jednotlivých typů pedologických válečků. Na druhé straně je dostatek publikací, ve kterých se srovnávají různé metody zjišťování OHR, zejména na skeletnatých půdách, kde je třeba využít alternativní řešení k tradiční válečkové metodě. Dle našeho šetření byly rozdíly OHR mezi testovanými typy válečků velmi malé a například u úzkých vysokých válečků a Kopecského válečků dosahovaly rozdíly mezi datovými sadami cca 0,01 g/cm<sup>3</sup>. Ve shodě s našimi výsledky popisuje SOLGI et al. (2018), že hodnoty OHR, stanovené z obdélníkových boxů 4 různých rozměrů se vzájemně nelišily a průměrné hodnoty se pohybovaly v rozmezí 1,22–1,28 g/cm<sup>3</sup>.

JURGENSEN et al. (2017) zjistil významné rozdíly (až cca 0,1 g/cm<sup>3</sup>) mezi testovanými metodami stanovení OHR. Tento autor prováděl šetření na skeletnatých půdách, kde porovnával OHR stanovené s využitím: (1) pedologického válečku, (2) půdního výkopu a (3) nukleárního hustoměru. Hodnoty OHR z pedologických válečků byly významně nižší, v porovnání s ostatními testovanými metodami. Metoda stanovení OHR se promítla i do výpočtu zásob uhlíku a dusíku. Zásoby obou prvků v hloubce do 30 cm, stanovené pomocí pedologických válečků, byly nižší v porovnání se zbývajícími zmíněnými metodami. HARRISON et al. (2003) také zjistil, že pedologické válečky s malým průměrem podhodnocují OHR na velmi skeletnatých (obsah skeletu 68 %) písčitých hlínách, ale byly srovnatelné s OHR zjištěnými z půdních sond na hlinitých písčích s nižším obsahem skeletu (36 %). V rámci naší studie se na různých zrnitostních skupinách výsledky šetření nelišily a rozdíly mezi typy válečků nebyly nalezeny na lehkých, středních ani těžkých půdách. Nutno dodat, že obsah skeletu na námi vzorkovaných půdách zpravidla nepřesahoval hranici 25 %. PAGE-DUMROESE et al. (1999) reportuje, že OHR v půdách v Montaně (skeletnatost 35 %) měřené pedologickými válečky s úzkým průměrem byly obecně vyšší než hodnoty zjištěné metodou půdního výkopu a srovnatelné s metodou nukleárního hustoměru.

VANREMORTEL, SHIELDS (1993) se zabývali porovnáním OHR, zjištěných válečkovou a hrudkovou metodou (zjištění OHR z objemu a hmotnosti agregátů). Párové vzorky byly odebrány na široké paletě lesních půd v jihovýchodní Virginii. Rozdíl mezi hrudkovou a válečkovou metodou byl vysoce signifikantní (při *P* < 0,001) a mezi oběma datovými sady byl zjištěn úzký korelační vztah (*r* = 0,98). Obě metody vykazovaly uvnitř jednotlivých vzorkovaných horizontů vysokou přesnost, průměrná hodnota variačního koeficientu byla nižší než 5 %.

Metodicky více srovnatelná s naším šetřením je studie NESMITH et al. (1986), která porovnává datovými OHR, změřených těmito metodami: (1) malý standardizovaný půdní vzorkovač typu Uhland s průměrem 5,4 cm a délkou 5,9 cm; (2) velký půdní vzorkovač vyrobený na záždku s průměrem 14,6 cm a délkou 10,1 cm a (3) neutronový měřič.

**Tab. 3.**

Porovnání OHR ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ze vzorků odebraných do Kopeckého válečků a vzorků odebraných do úzkých vysokých válečků (v horní části tabulky) a porovnání OHR z Kopeckého válečků a úzkých nízkých válečků (ve spodní části tabulky). Členěno podle skupin zrnitosti. Uváděny jsou průměry a směrodatné odchylky. P hodnota udává pravděpodobnost zamítnutí nulové hypotézy o rozdílnosti obou výběrů.

Comparison of OHR ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) from samples taken in the Kopecky rings and samples taken in narrow high rings (in the upper part of the table) and comparison of OHR from the Kopecky rings and narrow low rings (in the lower part of the table). Divided by grain size groups. Means and standard deviations are given. P value indicates the probability of rejecting the null hypothesis about the difference between the two samples.

Skupina dle zrnitosti/ Group by texture	Typ válečku/Ring design		Počet dvojic/ Count of pairs	p
	Kopecký/Kopecky	úzký vysoký/narrow high		
bez rozlišení/without distinction	1,37 ± 0,22	1,37 ± 0,21	183	<0,001
lehké/light	1,35 ± 0,28	1,39 ± 0,27	55	<0,001
střední/medium	1,37 ± 0,19	1,37 ± 0,19	122	<0,001
těžké/heavy	1,34 ± 0,10	1,37 ± 0,10	6	0,003
	Kopecký/Kopecky	úzký nízký/narrow low		
bez rozlišení/without distinction	1,25 ± 0,31	1,21 ± 0,29	36	0,001
lehké/light	1,16 ± 0,29	1,13 ± 0,25	24	0,002
střední /medium	1,43 ± 0,26	1,36 ± 0,31	12	0,007

**Tab. 4.**

Porovnání OHR ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ze vzorků odebraných do Kopeckého válečků a vzorků odebraných do úzkých vysokých válečků (v horní části tabulky) a porovnání OHR z Kopeckého válečků a z úzkých nízkých válečků (ve spodní části tabulky). Členěno podle skupin horizontů. Uváděny jsou průměry a směrodatné odchylky. P hodnota udává pravděpodobnost zamítnutí nulové hypotézy o rozdílnosti obou výběrů.

Comparison of OHR ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) from samples taken in the Kopecky rings and samples taken in narrow high rings (in the upper part of the table) and comparison of OHR from the Kopecky rings and narrow low rings (in the lower part of the table). Divided by groups of horizons. Means and standard deviations are given. P value indicates the probability of rejecting the null hypothesis about the difference between the two datasets.

Skupina horizontů/ Group of horizons	Typ válečku/Ring design		Počet dvojic/ Count of pairs	p
	Kopecký/Kopecky	úzký vysoký/narrow high		
bez rozlišení/without distinction	1,37 ± 0,13	1,38 ± 0,14	191	<0,001
A a E/A and E	1,20 ± 0,25	1,21 ± 0,24	55	<0,001
B	1,43 ± 0,16	1,44 ± 0,15	109	<0,001
BC a C/BC and C	1,48 ± 0,13	1,48 ± 0,14	27	<0,001
	Kopecký/Kopecky	úzký nízký/narrow low		
bez rozlišení/without distinction	1,27 ± 0,30	1,24 ± 0,29	40	<0,001
A a E/A and E	1,04 ± 0,21	1,02 ± 0,22	21	<0,001
B	1,51 ± 0,12	1,47 ± 0,12	16	<0,001
BC a C/BC and C	1,65 ± 0,05	1,56 ± 0,09	13	0,01

Každou metodou bylo změřeno 72 pozorování. Dle zjištění autorů je neutronový měřič nevhodný pro měření OHR ve svrchních 10 cm půdního profilu. Více účinnou metodou byl malý půdní vzorkovač, neboť změřené hodnoty více korelovaly s velkým půdním vzorkovačem a také zacházení s ním bylo pohodlnější.

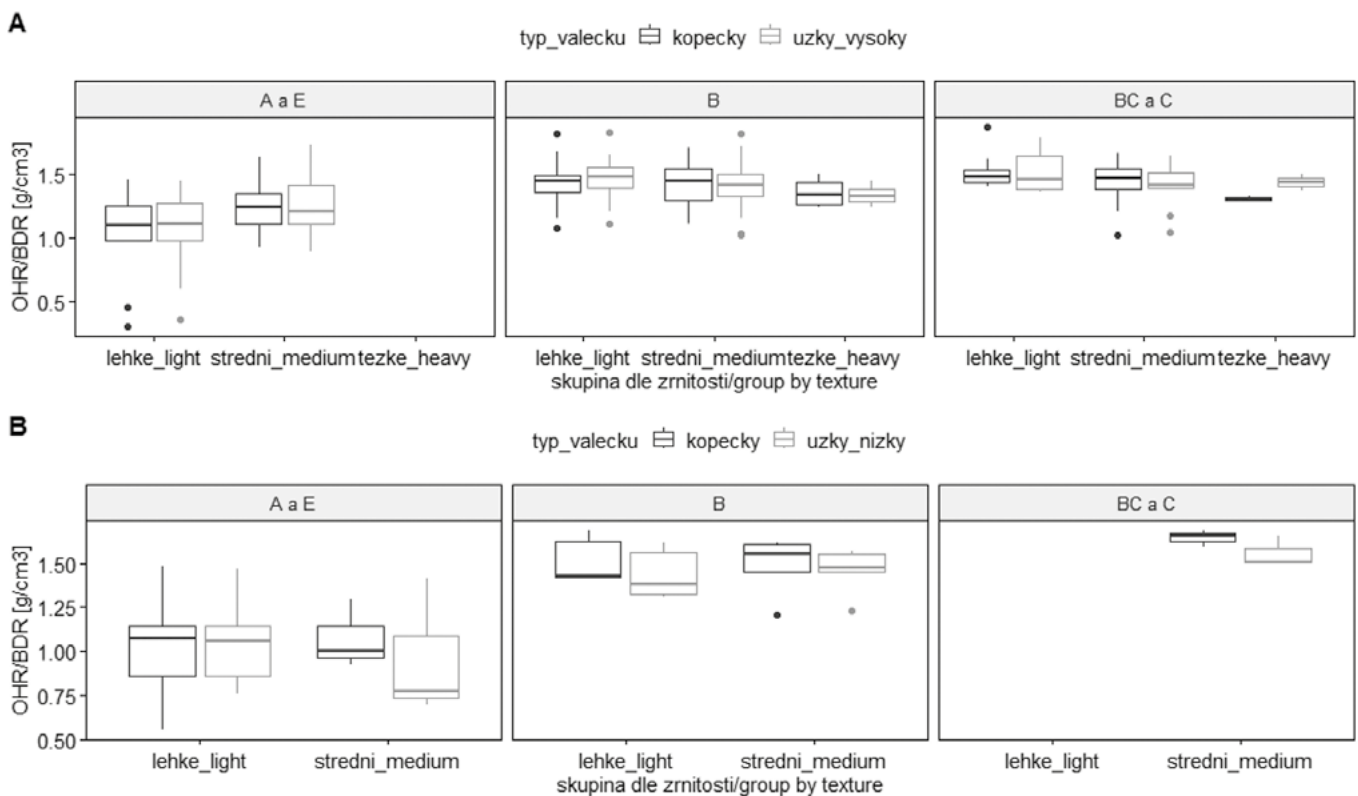
Z obrázku 3 je patrné, že hodnoty OHR ve skupinách horizontů stoupají v pořadí: A a E < B < BC a C. Lze předpokládat, že s narůstající půdní hloubkou klesá obsah organických látek a zvyšují se hodnoty OHR. Tento vztah byl prokázán v mnoha studiích (např. FEDERER et al. 1993; PÉRIÉ, OUMET 2008). JURGENSEN et al. (2017) reportoval negativní korelaci mezi OHR a koncentrací uhlíku.

V rámci naší studie se nepotvrdila hypotéza, že se data z úzkých válečků obecně budou statisticky lišit ve srovnání s daty z Kopeckého válečků. Rozdíl mezi oběma sadami jsme očekávali. Hypotetické příčiny popsal KUČERA (2017), v metodických komentářích k odběru neporušených vzorků odebíraných na našem pracovišti. Jak popsal, vysoké válečky znamenají „delší“ kontakt půdy se stěnou válečku (se zvětšující se výškou válečku se při zachování objemu 100 cm<sup>3</sup> zvětšuje plocha jeho stěny). Toto kontaktní místo je velmi citlivé na vznik chyby při odběru utlačení vzorku při stěnách válečku

při jeho nerovnoměrném vpravování do půdy. Tuto hypotézu (KUČERA 2017) dokládají i publikace PIRES et al. (2005) a SOANE, VAN OUWERKERK (1994).

Při našem šetření také nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi datovými sadami stanovenými z Kopeckého válečků a úzkých nízkých válečků, a to jak při testování v rámci jednotlivých zrnitostních skupin půd, tak při testování v rámci jednotlivých skupin horizontů. To pro nás bylo do jisté míry překvapivé, neboť u úzkých nízkých válečků (výška pouze 2 cm při průměru 4,3 cm) je dle našeho názoru značná náchylnost k chybě při odběru a zpracování (vysypání vzorku, jeho porušení při vyjímání z půdy, při čištění apod.). Výjimkou byl rozdíl mezi oběma sadami v horizontech BC a C. Tento výsledek je ale třeba brát s rezervou, neboť nulová hypotéza o disimilaritě nebyla zamítnuta jen těsně a byly porovnávány pouze tři dvojice vzorků.

Data z Kopeckého válečků jsou ve významné korelaci s daty z úzkých vysokých válečků ( $r = 0,88$ ). Stejná hodnota korelačního koeficientu byla nalezena i mezi daty z Kopeckého válečků a úzkých nízkých válečků. Rozdíl OHR mezi párovými vzorky nemusel být způsoben jen typem vzorkovnice, ale také půdní heterogenitou. Ta se mohla projevit i při velmi malé vzdálenosti mezi dvojicemi odebíraných vzorků.



Captions: *typ valemku* – ring design; *kopecky* – kopecky; *uzky\_vysoky* – narrow high; *uzky\_nizky* – narrow low

#### Obr. 4.

Efekt typu pedologického válečku na objemovou hmotnost redukovanou (OHR) v jednotlivých zrnitostních skupinách podle skupin horizontů; (A) – Kopecký váleček vs. úzký vysoký váleček, (B) – Kopecký váleček vs. úzký nízký váleček; pro bližší charakteristiku použitých grafů viz obr. 3.

#### Fig. 4.

Effect of the design of soil sample ring on bulk density reduced (BDR) in individual texture groups according to horizon groups; (A) – Kopecky ring vs. narrow high ring, (B) – Kopecky ring vs. narrow low ring. For a more detailed description see Fig. 3.

## ZÁVĚR

Nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi sadami OHR zjištěnými z Kopeckého válečků a z úzkých vysokých válečků. K našemu překvapení nebyl nalezen rozdíl ani mezi sadami OHR zjištěnými z Kopeckého válečků a úzkých nízkých válečků. Efekt vzorkovnice se v rámci jednotlivých skupin horizontů neprojevil. Z toho lze nepřímo usoudit, že narůstající půdní hloubka ani úbytek humusových látek nemodifikují vliv jednotlivých typů pedologických válečků. Dále se efekt vzorkovnice neprojevil ani v rámci jednotlivých zrnitostních skupin (půdy lehké, střední a těžké). Z našeho šetření vyplývá, že OHR je poměrně robustní vůči změnám tvaru válečku. Námí dříve používané válečky s nestandardními rozměry tedy hodnoty OHR nezkreslily. Praktický dopad pro hodnocení vývoje půdních charakteristik v rámci NIL spočívá v tom, že nebude třeba přepočítávat hodnoty OHR zjištěné z dříve používaných válečků na stejnou hladinu s novými hodnotami zjištěnými z klasických pedologických válečků. Konzistence výsledků mezi jednotlivými cykly NIL nebude narušena.

## Poděkování:

Tento článek vznikl za přispění projektu NAZV QL24020351. Za spolupráci s odběry půdních vzorků bych rád poděkoval kolegům z mého pracoviště – Štěpánu Březovjákovi, Pavlu Grygovi a Jiřímu Dohnalovi.

## LITERATURA

- ADOLT R., KUČERA M. 2021. Pracovní postupy terénního šetření Sledování stavu a vývoje lesních ekosystémů (2016–2020). Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem: 644 s.
- ARSHAD M.A., COEN G.M. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7: 5–12.
- FEDERER C.A., TURCOTTE D.E., SMITH C.T. 1993. The organic fraction–bulk density relationship and the expression of nutrient content in forest soils. *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 1026–1032. DOI: 10.1139/x93-131
- HARRISON R.B., ADAMS A.B., LICATA C., FLAMING B., WAGONER G.L., CARPENTER P., VANCE E.D. 2003. Quantifying deep-soil and coarse-soil fractions: Avoiding sampling bias. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 1602–1606. DOI: 10.2136/sssaj2003.1602
- JURGENSEN M.F., PAGE-DUMROESE D.S., BROWN R.E., TIROCKE J.M., MILLER C.A., PICKENS J.B., WANG M. 2017. Estimating carbon and nitrogen pools in a forest soil: influence of soil bulk density methods and rock content. *Soil Science Society of America Journal*, 81 (6): 1689–1696. DOI: 10.2136/sssaj2017.02.0069
- KLIMO E. 1990. *Lesnická pedologie*. Brno, MZLU v Brně: 197 s.
- KUČERA A. 2017. Analýza neporušeného půdního vzorku – odběr fyzikálního válečku: metodické komentáře. Interní materiál pro potřeby ÚHÚL Brandýs nad Labem: 12 s.
- KUTÍLEK M. 1978. *Vodohospodářská pedologie*. Praha, SNTL: 296 s.
- NĚMEČEK J. et al. 2011. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. 2. uprav. vyd. Praha, Česká zemědělská univerzita: 94 s.
- NE SMITH D.S., HARGROVE W.L., TOLLNER E.W., RADCLIFFE D.E. 1986. A comparison of three soil surface moisture and bulk density sampling techniques. *Transactions of the ASAE*, 29: 1297–1299. DOI: 10.13031/2013.30312
- PAGE-DUMROESE D.S., BROWN R.E., JURGENSEN M.F., MROZ G.D. 1999. Comparison of methods for determining bulk densities of rocky forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 379–383. DOI: 10.2136/sssaj1999.03615995006300020016x
- PELÍŠEK J. 1964. *Lesnické půdoznalství*. Praha, SZN: 568 s.
- PERIE C., OUMET R. 2008. Organic carbon, organic matter and bulk density relationships in boreal forest soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 88 (3): 315–325. DOI: 10.4141/CJSS06008
- PIRES L.F., PILOTTO J.E., TIMM L.C., BACCHI O.O.S., REICHHARDT K. 2005. Qualitative and quantitative analysis of soil samples by computerized tomography. *Publicatio UEPG – Ciências Exatas e da Terra Agrárias e Engenharias-atividades Encerradas*, 11: 7–15. DOI: 10.5212/publicatio.v11i02.848
- REJŠEK K. 1999. *Lesnická pedologie – cvičení*. Brno, MZLU v Brně: 154 s.
- REJŠEK K., VÁCHA R. 2018. *Nauka o půdě*. Olomouc, Agriprint: 526 s.
- ROBINSON A.P., FROESE R.E. 2004. Model validation using equivalence tests. *Ecological Modelling*, 176: 349–358. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2004.01.013
- ROBINSON A.P., DUURSMAR R.A., MARSHALL J.D. 2005. A regression-based equivalence test for model validation: shifting the burden of proof. *Tree Physiology*, 25: 903–913. DOI: 10.1093/treephys/25.7.903
- SMOLÍKOVÁ L. 1988. *Pedologie I*. Praha, Státní pedagogické nakladatelství: 129 s.
- SOANE B.D., VAN OUWERKERK C. (eds.) 1994. *Soil compaction in crop production. Developments in agricultural engineering series*. Amsterdam, Elsevier: 662 s.
- SOLGI A., NAGHDI R., LABELLE E.R., TSIORAS P.A., SALEHI A. 2018. Comparison of sampling methods used to evaluate forest soil bulk density. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39 (2): 247–254.
- ŠÁLY R. 1978. *Půda základ lesnej produkcie*. Bratislava, Príroda: 235 s.
- ŠIMEK M. 2003. *Základy nauky o půdě*. 1. Neživé složky půdy. České Budějovice, Jihočeská univerzita, Biologická fakulta: 131 s.
- VAN REMORTEL R.D., SHIELDS D.A. 1993. Comparison of clod and core methods for determination of soil bulk density. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24: 2517–2528. DOI: 10.1080/00103629309368972
- VAVŘÍČEK D., KUČERA A. 2017. *Základy lesnického půdoznalství a výživy lesních dřevin*. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 362 s.
- ZBÍRAL J., ČIŽMÁROVÁ E., OBDRŽÁLKOVÁ E., RYCHLÝ M., VILAMOVÁ V., SRNKOVÁ J., ŽALMANOVÁ A. 2016. *Analýza půd I. Jednotné pracovní postupy*. Brno, ÚKZÚZ. ISBN 978-80-7401-123-8



## DESIGN OF SOIL SAMPLE RING AND ITS EFFECT ON THE BULK DENSITY REDUCED

### SUMMARY

Bulk density reduced (BDR) is an important parameter for evaluating the degree of soil compaction, and it is also used in the calculation of stocks of chemical elements. In extensive soil surveys, it can also be used to weight point estimates of the detected characteristics. BDR is traditionally determined from so-called intact samples collected in 100 cm<sup>3</sup> soil sample rings. Steel rings with an optimal ratio of diameter to height of approx. 1 : 1.6 are used for sampling agricultural soils. However, rings with a smaller ratio (approx. 1 : 2), with a height of approx. 3 cm, appear to be optimal for forest soils. The design of sample box used can affect the resulting BDR value. Our institute is entrusted with the realization of the National Forest Inventory (NFI). With the start of the new NFI cycle in 2021, there was a change in the design of soil sample rings. The goal of our experiment was to verify whether the consistency of the measured values was not disturbed. Therefore, BDR from parallel sampling into the previously used so-called narrow rings and the newly used Kopecky rings were compared.

Intact samples were collected from all soil horizons meeting the sampling criteria, with the exception for overlying humus horizons. In a representative part of each soil horizon, a horizontal surface was created by digging and aligning the face of the probe, from which two undisturbed soil samples were taken in parallel: (a) 1 sample in the Kopecky ring with an internal diameter of 61.8 mm, a height of 33.3 mm and their mutual ratio: 1 : 1.86 and (b) 1 sample into a narrow ring. The character of the narrow ring was governed by the thickness of the sampled horizon: in thin horizons narrow low rings (inner diameter 43 mm, height 20 mm and mutual ratio 1 : 2.15) were used, in all other horizons so-called narrow high rings (43 mm and 69 mm and 1 : 0.63). In this way, 191 pairs of samples were taken to compare the Kopecky rings and narrow high rings, and 40 pairs of samples to compare the Kopecky rings and narrow low rings. The samples were processed in the pedological laboratory of Czech Forestry Institute in Brandýs nad Labem. The BDR was determined by weighing the content of the pedological ring after drying it at 105°C to a constant weight and subsequent calculation. Determination of grain size fractions was found out by the sedimentation pipetting method according to ZBÍRAL et al. (2016).

The measured BDR values were sorted into groups according to horizon groups (A and E, B, BC and C horizons) and according to soil texture (light, medium and heavy soils). During data processing, BDRs determined from the Kopecky rings and narrow rings were first compared without distinction according to horizons and texture. Furthermore, it was evaluated whether the effect of the used pedological ring will manifest itself differently in different soil horizons and on texturally different soils. Equivalence tests were used to compare sample sets within the thus created data groups. Statistical data processing and graph creation were performed in the R program (R version 4.1.2 (2021-11-01) – „Bird Hippie“).

From the results of the experiment, we can conclude that no statistically significant difference was found between the BDR sets found from the Kopecky rings and from the narrow high rings. To our surprise, no difference was found even between the BDR sets detected from the Kopecky rings and narrow low rings. The effect of rings was not manifested on soils divided according to texture (light, medium, heavy soils), see Fig. 3A, 3B and Tab. 3. The ring effect did not change even within individual groups of soil horizons (see Fig. 3C, 3D, and Tab. 4). The practical impact for the evaluation of the development of soil characteristics within the framework of the NFI is that it will not be necessary to recalculate the BDR values determined from the previously used rings to the same level with the new values determined from the classic soil sample rings. Consistency of results between individual NIL cycles will not be disturbed.

*Received/Zasláno: 15. 08. 2024*

*Přijato do tisku/Accepted: 31. 10. 2024*