

# STANOVENÍ RETENČNÍCH KŘIVEK BOBTNAVÝCH A SKELETOVITÝCH LESNÍCH PŮD

## DETERMINATION OF RETENTION CURVES OF SWELLING AND SKELETON FOREST SOILS

MARTINA VLČKOVÁ<sup>1)</sup> - VÍT ŠRÁMEK<sup>2)</sup> - VERONIKA MATOUŠKOVÁ<sup>1)</sup> - KAREL B. BŘEZINA<sup>1)</sup> - VĚRA FADRHOŇSOVÁ<sup>2)</sup>  
- ZBYNĚK KULHAVÝ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Zbraslav*

<sup>2)</sup> *Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady*

### ABSTRACT

This article presents the results of the verification of methodology for determination of soil water retention curves (further SWRC) using ISO 11274:1998 Soil quality - Determination of the water retention characteristics – Laboratory methods within Soil Physical Ring Test (FSCC 1st Soil Physical Ring Test 2009) in order to supplement the monitoring of forest soils by hydrophysical characteristics in the project LIFE+FutMon. The retention curves of a representative database of selected forest soils were made for ten sites in the country. The investigated forest soils showed stoniness and high shrinkage, so the evaluation of retention curves extended to explore the influence of the mentioned properties in the results. If the sample volume increases the saturation, the volumetric moisture content for the original volume is much higher than the rate of saturation. As the true volume of common agricultural and forest pedon may be determined by the volume at full saturation of the sample, like that in organosols (Histosols). A newly established original equation was used for evaluation of data at high suction pressures in order to convert the volume of moved shrunken soil into smaller ring (cylindric) cores.

**Klíčová slova:** retenční křivka, hydrofyzikální charakteristiky, bobtnavé a skeletovité půdy

**Key words:** retention curve, hydrophysical characteristics, swelling and skeleton soil

### ÚVOD

Od roku 1985 probíhá celoevropský monitoring vlivu vzdušných polutantů na zdravotní stav lesních porostů v rámci programu ICP Forests (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests – [www.icp-forest.org](http://www.icp-forest.org)). Ten byl postupně rozšiřován o sledování řady dalších parametrů, zejména na tzv. plochách intenzivního monitoringu (BOHÁČOVÁ et al. 2010). V rámci projektu EC BIOSOIL (ŠRÁMEK et al. 2008) byl v letech 2005 – 2008 proveden průzkum půdních vlastností na monitorovaných plochách (FABIÁNEK 2004). Byly popsány a podle národní i mezinárodní klasifikace (WRB) zařazeny půdní profily a byly stanoveny některé jejich základní fyzikální charakteristiky (zrnitost a objemová hmotnost). V letech 2009 – 2011 je monitoring zdravotního stavu lesních porostů částečně financován z programu LIFE+ v rámci projektu FutMon (Further Development and Implementation of an EU-level Forest Monitoring System). Jedna z aktivit projektu je zaměřena na zdokonalení hodnocení vodní bilance lesních porostů (BOHÁČOVÁ et al. 2011). Jejím cílem je na vybraných plochách intenzivního monitoringu doplnit spektrum sledovaných parametrů tak, aby získaná data umožnila testování různých typů hydrologických a fyziologických modelů. Proto bylo doplněno stanovení objemové

vlhkosti půdy, měření půdního vodního potenciálu, teploty půdy a hodnocení dalších hydrofyzikálních charakteristik půdy v různých půdních horizontech.

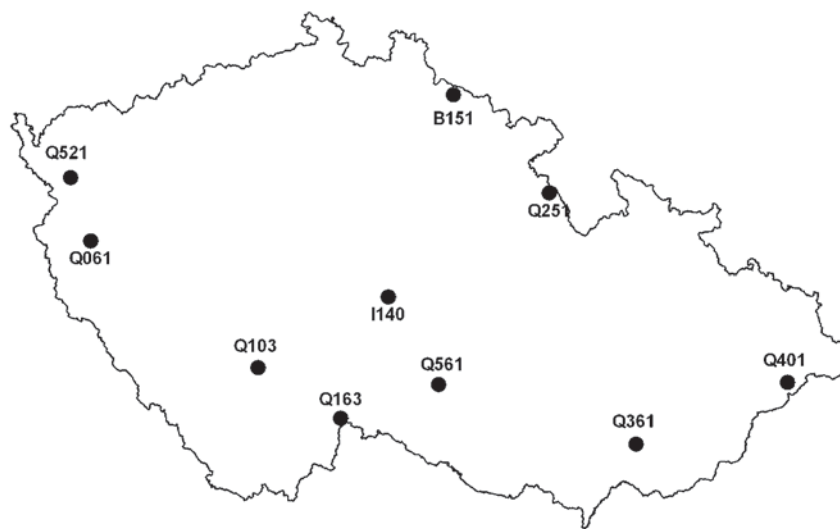
Tento příspěvek je zaměřen na stanovení vlhkostních retenčních křivek lesních půd, které vycházelo z užitých metod kruhového testu laboratoří (1st FSCC Soil Physical Ring Test 2009, FutMon Protokol o způsobu měření retenčních křivek) a hodnotilo tuto hydrofyzikální charakteristiku s cílem harmonizace způsobu měření všech zúčastněných zemí pro budoucí doplnění monitoringu lesních půd (COOLS, DE VOS 2010). Metodika měření byla dána normou ISO 11274:1998 Soil quality Determination of the water retention characteristics – Laboratory methods a také dosavadní praxí (VALLA et al. 2000; KUTÍLEK, NIELSEN 1994). Je předloženo návrh možného způsobu měření a vyhodnocování výsledků u skeletovitých a bobtnavých půd, který se částečně opírá o zmiňovanou normu. Téma hydrofyzikálních vlastností bobtnavých půd řeší norma jen povrchně, hlouběji se jimi zabývají např. VLČKOVÁ et al. (2011), JAMEI et al. (2007), TARIQ, DURNFORD (1997). Další otázky k tématu bobtnavých půd jsou v příspěvku otevřeny. Zároveň jsou vyhodnoceny získané retenční křivky lesních půd na našem území, pořízené v rámci projektu v laboratoři experimentální hydropedologie Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v. v. i.

## MATERIÁL A METODY

### Odběry neporušených vzorků půdy

Na podzim roku 2009 (od října do poloviny prosince) bylo odebráno 90 neporušených vzorků půdy do Kopeckého válečku o objemu cca 100 cm<sup>3</sup> z deseti ploch intenzivního monitoringu lesních porostů. Popis jednotlivých ploch je uveden v tab. 1; umístění ploch v rámci území je uvedeno na obr. 1. Na každé ploše bylo odebráno vždy devět

vzorků. Vzorky byly odebírány ze tří sond, které byly hloubeny pro instalaci reflektivních čidel objemové vlhkosti půdy. Sondy byly od sebe vzdáleny vždy cca 5 m. V každé ze sond bylo odebráno po jednom válečku z hloubek 0,1, 0,3 a 0,5 m. Ze stejných hloubek v každé sondě byl odebrán vždy i jeden vzorek pro stanovení objemové hmotnosti půdy. Hloubka odběrových míst se počítala od hranice minerální půdy – tedy od předchodu organického (FH) a organominerálního (Ah) horizontu. Odebrané vzorky byly uchovávány v chladu (4 – 10 °C) až do jejich předání laboratoři. Následně bylo provedeno měření retenčních křivek dle výše popsané metodiky.



Obr. 1.

Lokalizace ploch intenzivního monitoringu

Fig. 1.

Localization of intensive monitoring plots

Tab. 1.

Plochy intenzivního monitoringu s odběry půdních vzorků

Intensive monitoring plots with soil sampling

Plocha/Plot	Číslo/ Number	Kód/ Code	Lesní oblast/ Forest area	Hlavní dřevina/ Main tree species	Nadmořská výška/Altitude [m]	Půdní typ (NĚMEČEK 2001)/Soil type (WRB 2006)
Benešovice	Q061	BN	Západočeská pahorkatína	BO/Scots pine	385	Kambizem modální/Haplic Cambisol
Želivka	I140	ZE	Středočeská pahorkatína	SM/Norway spruce	440	Kambizem oglejená/Stagnic Cambisol
Klepačka	Q401	CE	Beskydy	SM/Norway spruce	650	Kambizem oglejená/Stagnic Cambisol
Všeteč	Q103	VS	Středočeská pahorkatína	BK/European beech	615	Kambizem dystrická/Haplic Cambisol Dystric
Nová Brtnice	Q561	NB	Českomoravská vrchovina	SM/Norway spruce	640	Kambizem dystrická/Haplic Cambisol Dystric
Medlovice	Q361	BU	Středomoravské Karpáty	BK/European beech	350	Kambizem pelická/Pelic Cambisol
Lazy	Q521	LZ	Karlovarská vrchovina	SM/Norway spruce	875	Kryptopodzol modální/Entic Podzol
Mísečky	B151	MI	Krkonoše	BK/European beech	940	Podzol modální/Haplic Podzol
Luisino údolí	Q251	LU	Orlické hory	SM/Norway spruce	940	Podzol modální/Haplic Podzol
Lásenice	Q163	VO	Českomoravská vrchovina	SM/Norway spruce	595	Podzol humusový/Histic Podzol

**Metodika měření a vyhodnocování retenčních křivek**

Metoda měření a vyhodnocování retenčních křivek půd probíhala dle normy ISO 11274:1998 Soil quality - Determination of the water retention characteristics – Laboratory methods. Tato norma nebyla doposud v širším rozsahu užívána, přestože její postupy jsou velmi podobné dosavadním užívaným metodám stanovení retenčních křivek (KUTÍLEK 1978; MATULA et al. 1989).

Měření retenčních křivek laboratorně experimentální hydroopedologie probíhalo v pískovém a kaolinovém boxu firmy Eikelkamp-Giesbeek a v přetlakovém extraktoru firmy Soil Moisture Equipment corp. Sací tlaky retenční křivky byly dány nastavením použitého přístroje, kde se hodnoty odečítaly ze stupnice na pískovém boxu a z manometru na přístrojích ostatních. Vlhkosti byly gravimetricky měřeny pro sací tlaky 0, 1, 5, 10, 33, 1500 a 10<sup>6</sup> kPa, vlhkost při nulovém sacím tlaku byla stanovena pyknometricky. Vzorky se ponechaly při nastavených tlakových krocích nejméně 7 dní, poté byly váženy a ustálení jejich vlhkosti bylo uznáno při maximální denní změně hmotnosti vzorku do 0,02 %. Pro zachování dostatečného hydraulického kontaktu vzorku s materiálem měřicího zařízení byly použity filtrační papíry ze sklených mikrovláken Whatman GF6. Pro sací tlak 1500 kPa nebyly již filtrační papíry použity. V pískovém a kaolinovém boxu byly měřeny vzorky 100 cm<sup>3</sup>, pro měření vlhkosti při -1500 kPa byly vzorky přemístěny do válečků o velikosti 25 cm<sup>3</sup>. Vedle hmotnosti vzorků se při jednotlivých tlakových krocích zjišťovala také teplota vzduchu, podle které se vlhkostní hodnoty přepočítávaly. Pro přepočet jednotek sacího tlaku u pískového boxu byl použit vztah 1kPa = 10,22 cm.

Vztahy pro výpočet vlhkosti jsou následující:

[a] – pro půdy obsahující méně než 20 % hrubého materiálu:

$$WC_{\psi_i} = \frac{(M_{\psi_i} - M_{dry})}{M_{dry}} \quad (1)$$

kde:  $WC_{\psi_i}$  je podíl vlhkosti při sacím tlaku

$M_{\psi_i}$  je hmotnost půdního vzorku při sacím tlaku  $\Psi_i$  v g

$M_{dry}$  je hmotnost vysušeného vzorku v g

$$\theta_{\psi_i} = \frac{M_{\psi_i} - M_{dry}}{V \cdot \rho_w} \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

kde:  $\theta_{\psi_i}$  je objemová vlhkost vzorku při sacím tlaku  $\Psi_i$  v m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>

$V$  je objem půdního vzorku v m<sup>3</sup>

$\rho_w$  je hustota vody v kg.m<sup>-3</sup>

nebo

$$\theta_{\psi_i} = WC_{\psi_i} \cdot \frac{\rho_b}{\rho_w} \quad (3)$$

kde:  $\rho_b$  je objemová hmotnost vysušeného vzorku při 105° C, v kg.m<sup>-3</sup>

Této rovnici odpovídá rovnice pro výpočet čísla vlhkosti (KUTÍLEK 1978).

[b] – pro půdy obsahující více než 20 % hrubého materiálu (viz ISO 11274:1998):

Pro kamenité půdy obsahující neporézní kameny existuje konverzní rovnice pro výpočet vlhkosti jemnozeme:

$$\theta_f = \frac{\theta_t}{1 - \theta_s} \quad (4)$$

kde:  $\theta_f$  je objemová vlhkost jemnozeme v m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>

$\theta_s$  je objem kamenů vyjádřen podílem objemu celého vzorku v m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>

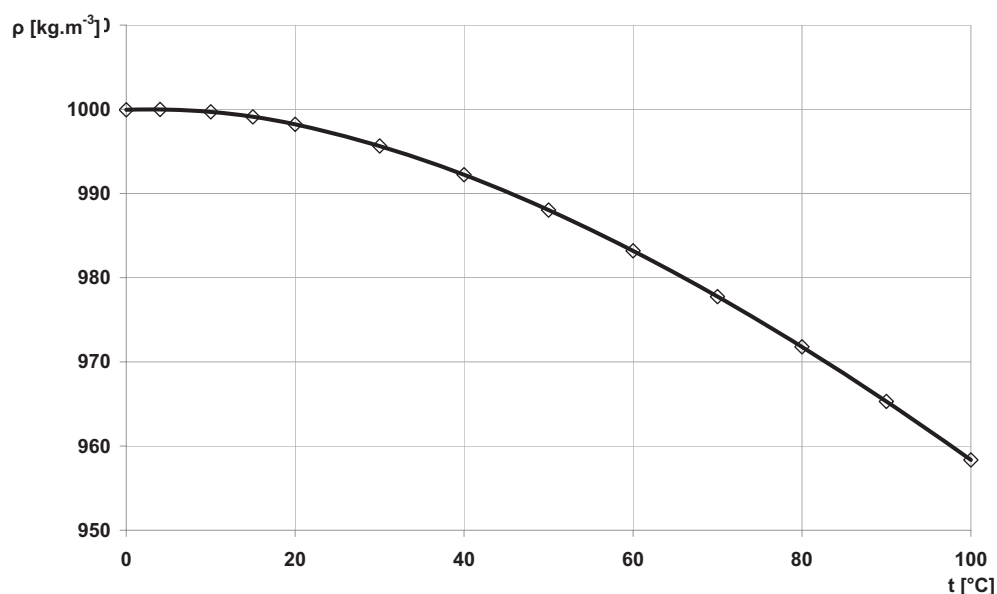
$\theta_t$  je vlhkost celého vzorku půdy vyjádřena jejím podílem na celkovém objemu válečku v m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>.

Pro kamenité půdy obsahující porézní kameny existuje též konverzní rovnice pro výpočet vlhkosti jemnozeme:

$$\theta_f = \theta_t - \frac{\theta_{s_{por}} \cdot \theta_s}{1 - \theta_s} \quad (5)$$

kde:  $\theta_{s_{por}}$  je objemová vlhkost kamene vyjádřena podílem z objemu kamene v m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>.

Pro přepočet hustoty destilované vody byly použity hodnoty uvedené v obr. 2 (ČMELÍK et al. 2001).



Obr. 2.

Hodnoty přepočtu hustoty destilované vody

Fig. 2.

Values of conversion of distilled water density

Po celou dobu měření bylo počítáno s původním objemem válečků 100 cm<sup>3</sup>, po přemístění zeminy do malých válečků 25 cm<sup>3</sup> bylo nutné počítat se smrštěním vzorku a dle něj přepočítat objem malých válečků. Smrštění vzorků 100 cm<sup>3</sup> před jejich umístěním do válečků 25 cm<sup>3</sup> je uvedeno na příkladu vzorku kruhového testu v tab. 2.

Vzorky půdy pro kruhový test připravoval tým pořadatele tohoto testu – Forest Soil Co-ordinating Centre (FSCC) v rámci Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) v Belgii. Fyzikálně chemické vlastnosti půdy spolu s přesným způsobem jejího odběru uvádí COOLS, DE Vos (2010). Půda byla každopádně před odběrem homogenizována kvartováním, přesáta přes síto s okem 1 cm. Odběrové válečky byly vloženy do homogenizované půdy v ocelovém kontejneru a překryty další vrstvou půdy (cca 20 cm). Následně byla půda zhutněna pomocí kompresoru při maximálním tlaku 120 barů. Přesto „homogenizovaná“ půda nevykazuje stejné vlastnosti, viz tab. 2, 3 a obr. 3.

Tab. 2

Radiální smrštění vzorků 100 cm<sup>3</sup> (na příkladu vzorků kruhového testu)  
Radial shrinkage of samples 100 cm<sup>3</sup> (an example from Soil Physical Ring Test)

Vzorek číslo/ Sample number	Radiální smrštění válečku/ Radial shrinkage roller [mm]
1	8,59
2	2,06
3	9,84
4	4,31
5	10,94

Tab. 3.

Výsledky laboratorního měření retenčních křivek v rámci kruhového testu laboratoří  
Results of laboratory measurements of SWRC in Soil Physical Ring Test

Pořadové číslo vzorku/Serial number of sample	1	2	3	4	5	Průměrná hodnota/Average value	Směrodatná odchylka/Standard deviation	
Objemová hmotnost sušiny/ Dry density [kg.m <sup>-3</sup> ]	1376	1506	1397	1488	1436	1441	50	
Objemová hmotnost sušiny smrštěné půdy/Dry density of shrunken soil [kg.m <sup>-3</sup> ]	1776	1586	1843	1665	1927	1759	122	
Sací tlak/ Suction pressure [kPa]	Sací tlak/ Suction pressure [pF]	Vlhkost/Moisture [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]						
0	0,01	0,4777	0,4297	0,4666	0,4370	0,4573	0,4537	0,0179
1	1,04	0,3472	0,3682	0,3415	0,3770	0,3576	0,3583	0,0131
5	1,70	0,3339	0,3558	0,3265	0,3663	0,3455	0,3456	0,0144
10	2,02	0,3272	0,3485	0,3194	0,3570	0,3374	0,3379	0,0137
33	2,53	0,2484	0,2614	0,2472	0,2602	0,2506	0,2536	0,0060
1500	4,19	0,0912	0,0991	0,0912	0,0999	0,0957	0,0954	0,0037

Pro přepočet objemu vzorků nejen kruhového testu byla použita rovnice:

$$V_{25\ sm} = \pi \cdot r^2 \cdot \frac{v_{100}}{v_{100\ sm}} \cdot v_{25} \quad (6)$$

kde:  $V_{25\ sm}$  je přepočtený objem malého vzorku smrštěné půdy v m<sup>3</sup>

$r$  je poloměr malého vzorku v m

$v_{100}$  je původní výška nesmrštěné půdy velkého válečku v m

$v_{100\ sm}$  je výška smrštěné půdy velkého válečku v m

$v_{25}$  je původní výška malého válečku 25 cm<sup>3</sup> v m.

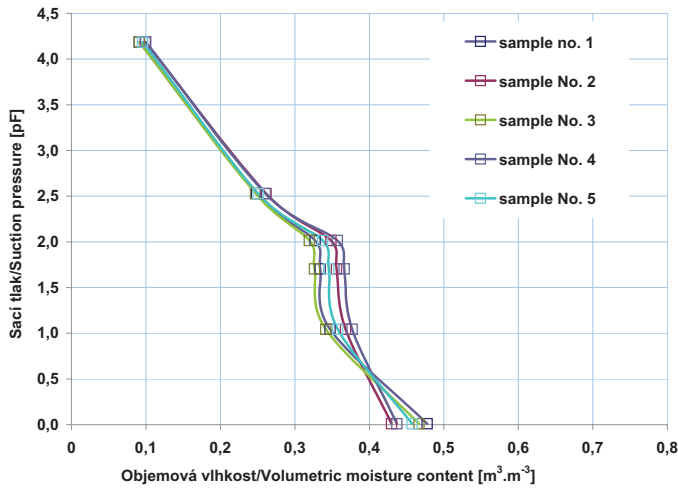
Objemová hmotnost vysušených vzorků byla počítána pro objem cca 100 cm<sup>3</sup>.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

V tab. 3 a obr. 3 jsou výsledky laboratorního měření retenčních křivek v rámci kruhového testu laboratoří.

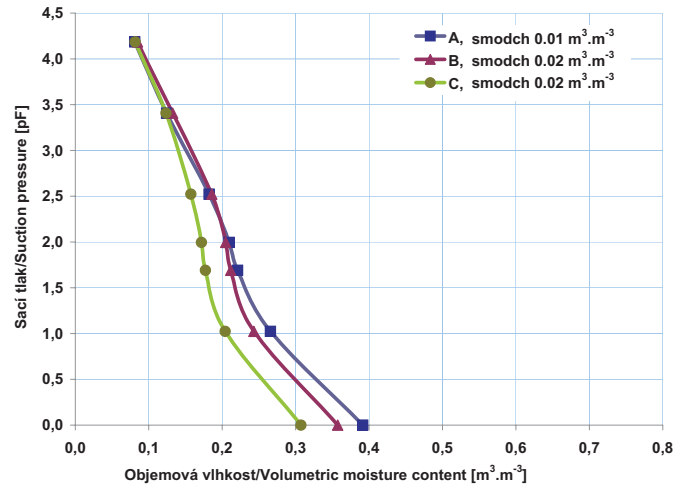
Výsledky měření retenčních křivek vybraných lesních půd v rámci projektu LIFE+ FutMon na našem území jsou uvedeny v obr. 4 – 13. Písmena A, B, C v legendě uvádí hloubku odběru vzorků (A = 0,1 m, B = 0,3, C = 0,5 m), zkratka smodch v legendě značí směrodatnou odchylku hodnot vlhkosti třech vzorků dané hloubky od jejich průměru.

V následující tab. 4 jsou vybrány hodnoty retenčních křivek sledovaných lokalit pro hloubku 0,1 m, dále jsou zde uvedeny poměrné objemy skeletu k celkovému objemu vzorku. Vzhledem k tomu, že byly hodnoty retenčních křivek i objemů skeletu stanoveny z průměru hodnot naměřených ze tří vzorků, jsou v tabulce uvedeny také směrodatné odchylky od průměru. V tab. 5 jsou uvedeny retenční křivky stejných vzorků počítané pouze pro jejich jmenovku dle rovnice č. 4.



**Obr. 3.**  
Retenční křivky vlhkosti vzorků půdy mezinárodního kruhového testu

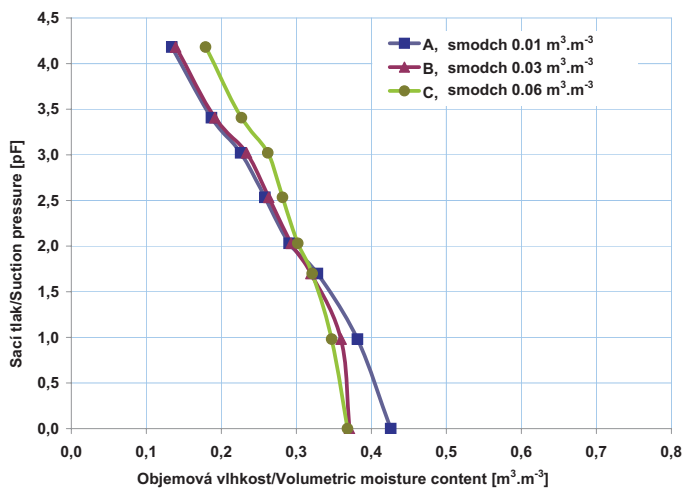
**Fig. 3.**  
SWRC of soil samples of the international Soil Physical Ring Test



**Obr. 4.**  
Retenční křivky – plocha Benešovice, lesní oblast Západočeská pahorkatina, půdní typ kambizem modální KAM

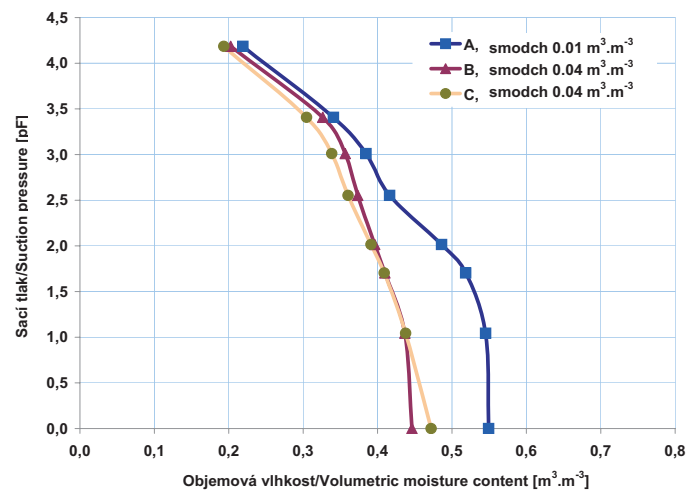
**Fig. 4.**  
SWRC – Benešovice plot, Západočeská pahorkatina forest area, soil type Haplic Cambisol (WRB 2006)

Explanatory note on Fig. 4 - 13: A, B, C represent depth of sampling (A = 0.1 m; B = 0.3 m; C = 0.5 m); smodch as a symbol of standard deviation (STDEV) indicates STDEV values of three samples of moisture from their average.



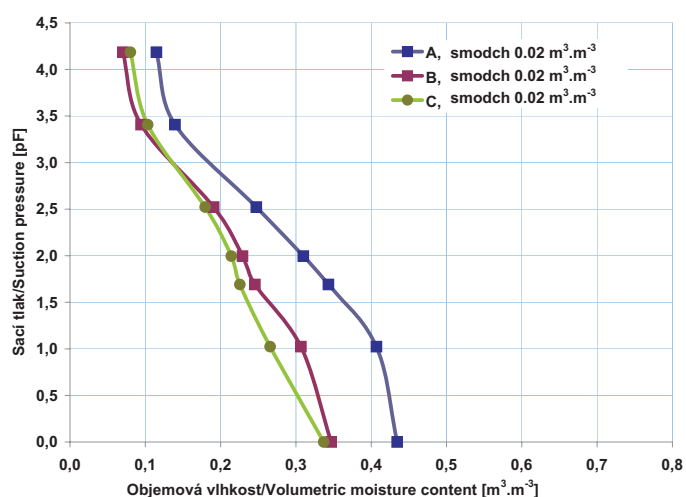
**Obr. 5.**  
Retenční křivky – plocha Želivka, lesní oblast Středočeská pahorkatina, půdní typ kambizem oglejená KAg

**Fig. 5.**  
SWRC – Želivka plot, Středočeská pahorkatina forest area, soil type Stagnic Cambisol (WRB 2006)



**Obr. 6.**  
Retenční křivky – plocha Klepačka, lesní oblast Beskydy, půdní typ kambizem oglejená KAg

**Fig. 6.**  
SWRC – Klepačka plot, Beskydy forest area, soil type Stagnic Cambisol (WRB 2006)

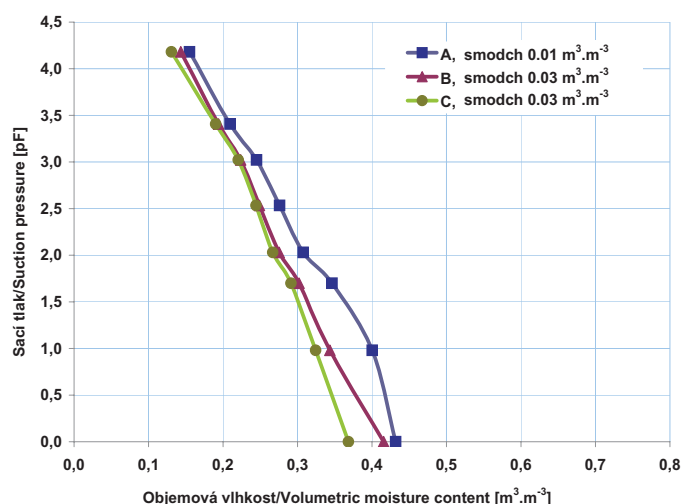


Obr. 7.

Retenční křivky - plocha Všetec, lesní oblast Středočeská pahorkatina, půdní typ kambizem dystrická KAd

Fig. 7.

SWRC - Všetec plot, Středočeská pahorkatina forest area, soil type Haplic Cambisol Dystric (WRB 2006)

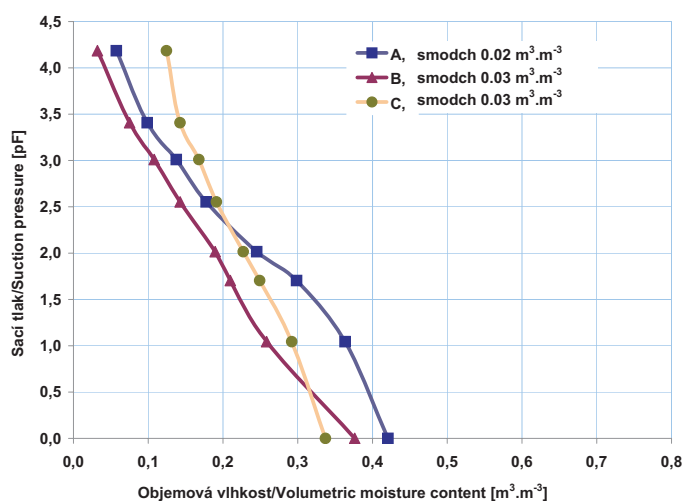


Obr. 8.

Retenční křivky - plocha Nová Brtnice, lesní oblast Českomoravská vrchovina, půdní typ kambizem dystrická KAd

Fig. 8.

SWRC - Nová Brtnice plot, Českomoravská vrchovina forest area, soil type Haplic Cambisol Dystric (WRB 2006)

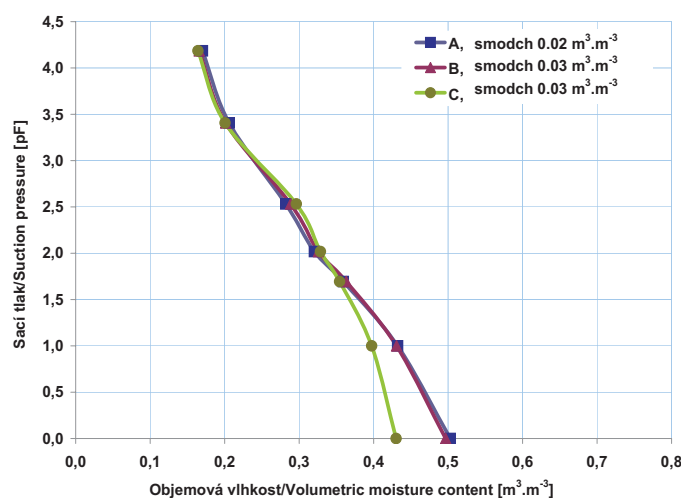


Obr. 9.

Retenční křivky - plocha Medlovce, lesní oblast Středomoravské Karpaty, půdní typ kambizem pelická KAp

Fig. 9.

SWRC- plot Medlovce, forest area Středomoravské Karpaty, soil type Pelic Cambisol (WRB 2006)

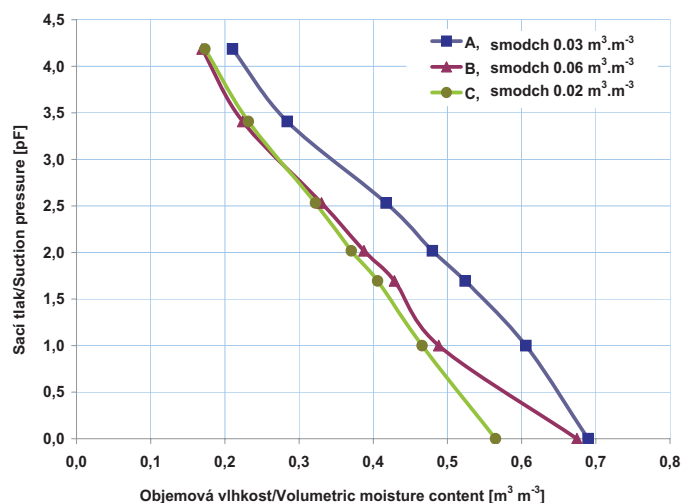


Obr. 10.

Retenční křivky - plocha Lazy, lesní oblast Karlovarská vrchovina, půdní typ kryptopodzol modální PZm

Fig. 10.

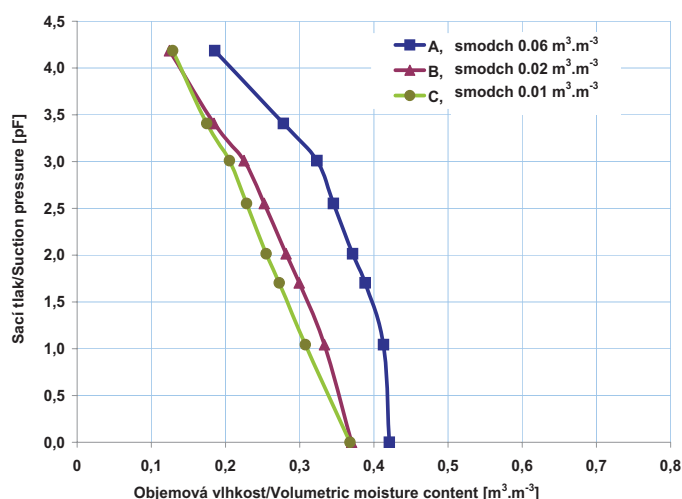
SWRC - Lazy plot, Karlovarská vrchovina forest area, soil type Entic Podzol (WRB 2006)


**Obr. 11.**

Retenční křivky – plocha Míšečky, lesní oblast Krkonoše, půdní typ podzol modální PZm

**Fig. 11.**

SWRC – Míšečky plot, Krkonoše forest area, soil type Haplic Podzol (WRB 2006)


**Obr. 12**

Retenční křivky – plocha Luisino údolí, lesní oblast Orlické hory, půdní typ podzol modální PZm

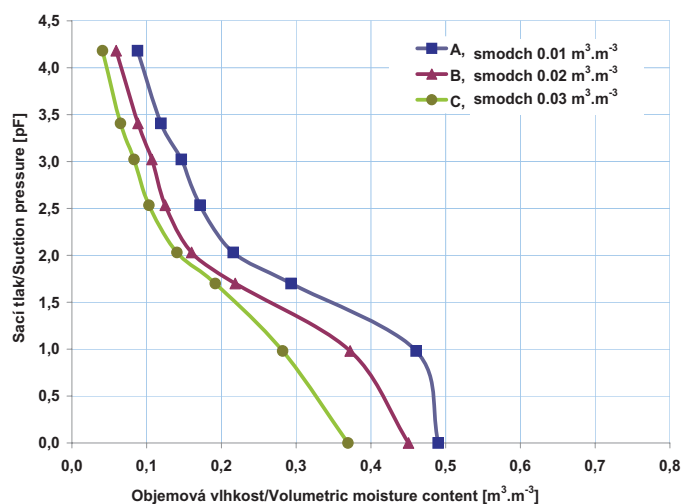
**Fig. 12**

SWRC – Luisino údolí plot, Orlické hory forest area, soil type Haplic Podzol (WRB 2006)

V tab. 6 a obr. 14 jsou uvedeny odchylky vlhkosti jemnozeme od vlhkosti celého vzorku a jejich statistické vyhodnocení (průměrná a směrodatná odchylka).

V uvedených grafech v obr. 4 – 13 retenčních křivek jsou popsány 3 měření pro tři hloubky odběru 0,1, 0,3 a 0,5 m, kdy cílem nebylo přesně popsat vlastnosti lesních půd, ale ověřit způsob stanovení zmínované hydrofyzikální charakteristiky v tak nepříznivých podmínkách, jaké se mohou naskytnout právě v lesní půdě (zejména vlivem vysokého podílu skeletu či bobtnavosti půd). Z tohoto důvodu jsou grafy retenčních křivek názornou ukázkou a nástinem celoevropského monitoringu lesních půd. Přesto je z grafů patrný odlišný trend pro každou lokalitu, resp. půdní typ; to správnost měření jen potvrzuje. Tab. 4, 5, 6 a obr. 14 popisují skeletovitost vybraných lesních půd a retenční křivky jejich vzorků s obsahem skeletu a bez (pouze jemnozeme). V tab. 6 jsou vidět odchylky vlhkostí jemnozeme od vlhkostí původních celých vzorků pro různé typy půd. Největší odchylka se projevila u kambizemě modální z lokality Benešovice, kde se též změnil největší obsah skeletu. Nejnižší odchylka se ukázala u podzolu humusového lokality Lásenice, kde byla skeletovitost nejnižší. Na obr. 14 je rovněž vidět sestupný trend odchylek vlhkosti se stoupajícím sacím tlakem.

Doposud byly popisovány výsledky měření s použitím běžné praxe na našem území a kombinované s mezinárodní ISO normou, kdy se objemová vlhkost vzorků standardně počítá pro jejich původní objem; takto získané výsledky byly také shledány platnými v rámci mezinárodního kruhového testu. Ze všech uvedených měření je však k diskusi vhodný způsob stanovení vlhkosti pro retenční křivku u bobtnavých půd. Norma ISO 11274:1998 a stejně tak KUTÍLEK (1978) uvádí pro správný výpočet vlhkostí bobtnavých půd rovnici pro číslo vlhkosti (rovnice č. 3). V této rovnici je ale místo objemu počítáno s objemovou hmotností vysušené zeminy, která je opět závislá na objemu odběrného válečku a na momentální vlhkosti vzorku v době odběru. Pro porovnání byly stanoveny různé vlhkosti u zvoleného vzorku č. 3


**Obr. 13.**

Retenční křivky – plocha Lásenice, lesní oblast Českomoravská vrchovina, půdní typ podzol humusový PZh

**Fig. 13.**

SWRC – Lásenice plot, Českomoravská vrchovina forest area, soil type Histic Podzols (WRB 2006)

Tab. 4

Retenční křivky půdní vlhkosti vybraných lokalit pro hloubku 0,1 m  
SWRC for selected locations for the depth of 0.1 m

Kód plochy/Area code	Sací tlak/ Suction pressure [pF]	0	1	2	3,41	4,18	Průměrná smě- rodatná odchylka pro všechny tlaky/Average standard deviation for all pressures [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]	Poměrný objem skeletu/ Average volume of the skeleton [%]	Směrodatná odchylka/ Standard deviation [%]
	Půdní typ/ Soil type (WRB 2006)	Vlhkost / Moisture [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]							
MI	Podzol modální/ Haplic Cambisol	0,6896	0,6058	0,4797	0,2840	0,2103	0,0288	17,4423	0,8630
ZE	Kambizem oglejená/Stag- nic Cambisol	0,4258	0,3815	0,2904	0,1868	0,1340	0,0113	21,7295	1,6061
BN	Kambizem modální/ Haplic Cambisol	0,3914	0,2657	0,2094	0,1244	0,0810	0,0104	39,5603	7,3180
VS	Kambizem dystriká/ Haplic Cambisol Dystric	0,4345	0,4070	0,3098	0,1395	0,1148	0,0188	22,3244	4,1173
VO	Podzol humusový/ Histic Podzol	0,4900	0,4605	0,2158	0,1191	0,0877	0,0096	11,7923	2,3011
LU	Podzol modální/ Haplic Podzol	0,4208	0,4129	0,3713	0,2780	0,1854	0,0631	24,9346	5,2551
BU	Kambizem pelická/Pelic Cambisol	0,4207	0,3634	0,2451	0,0986	0,0573	0,0158	18,4333	1,6626
CE	Kambizem oglejená/Stag- nic Cambisol	0,5493	0,5453	0,4860	0,3407	0,2190	0,0130	22,9603	0,8941
LZ	Kryptopodzol modální/ Entit Podzol	0,5029	0,4323	0,3205	0,2060	0,1703	0,0237	24,8179	3,4087
NB	Kambizem bystrická/ Haplic Cambisol Dystric	0,4318	0,4003	0,3076	0,2094	0,1550	0,0115	24,0013	3,8677

Tab. 5.

Retenční křivky jemnozeme vybraných lokalit pro hloubku 0,1 m  
SWRC of fine earth for selected locations for depth of 0.1 m

Kód plochy/Area code	Sací tlak/ Suction pressure [pF]	0	1	2	3,14	4,18	Průměrná smě- rodatná odchyl- ka pro všechny tlaky/Average standard devi- ation for all pressures [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]
	Půdní typ/ Soil type (WRB 2006)	Vlhkost/Moisture [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]					
MI	Podzol modální/ Haplic Cambisol	0,8350	0,7338	0,5815	0,3443	0,2548	0,0369
ZE	Kambizem oglejená/Stag- nic Cambisol	0,5435	0,4875	0,3711	0,2388	0,1711	0,0141
BN	Kambizem modální/Haplic Cambisol	0,6544	0,4444	0,3501	0,2093	0,1364	0,0384
VS	Kambizem dystriká/ Haplic Cambisol Dystric	0,5585	0,5233	0,3990	0,1798	0,1479	0,0127
VO	Podzol humusový/ Histic Podzol	0,5555	0,5219	0,2446	0,1350	0,0995	0,0054
LU	Podzol modální/ Haplic Podzol	0,5586	0,5485	0,4921	0,3685	0,2452	0,0649
BU	Kambizem pelická/ Pelic Cambisol	0,5156	0,4455	0,3008	0,1210	0,0705	0,0197
CE	Kambizem oglejená/Stag- nic Cambisol	0,7131	0,7079	0,6311	0,4425	0,2844	0,0207
LZ	Kryptopodzol modální/ Entit Podzol	0,6686	0,5743	0,4259	0,2741	0,2262	0,0172
NB	Kambizem bystrická/ Haplic Cambisol Dystric	0,5699	0,5282	0,4053	0,2756	0,2041	0,0210

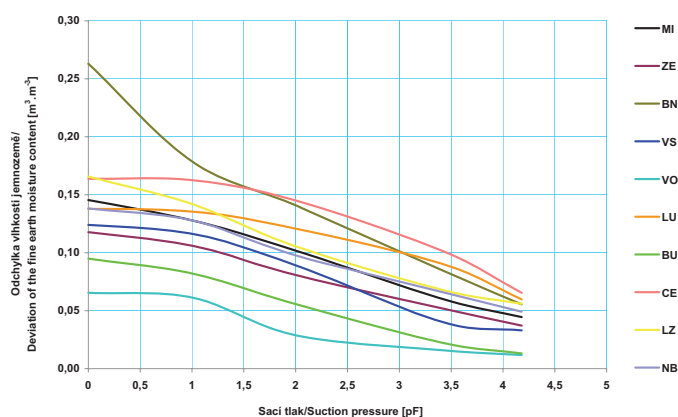


**Tab. 6.**

Odchylky vlhkosti jemnozeme od vlhkosti celého vzorku

Deviation of the fine earth moisture content from the moisture content of whole sample

Kód plochy/ Area code	Sací tlak/ Suction pressure [pF]	Odchylka vlhkosti jemnozeme od vlhkosti celého vzorku/ Deviation of the fine earth moisture content from the moisture content of whole sample [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]					Průměrná odchylka/ Average deviation [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]	Směrodatná odchylka/ Standard devi- ation [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]
		0	1	2	2,41	4,18		
	Půdní typ/ Soil type (WRB 2006)							
MI	Podzol modální/ Haplic Cambisol	0,1454	0,1280	0,1018	0,0603	0,0445	0,0960	0,0385
ZE	Kambizem oglejená/ Stagnic Cambisol	0,1177	0,1061	0,0807	0,0520	0,0371	0,0787	0,0307
BN	Kambizem modální/ Haplic Cambisol	0,2630	0,1787	0,1408	0,0849	0,0554	0,1446	0,0731
VS	Kambizem dystrická/ Haplic Cambisol Dystric	0,1240	0,1163	0,0892	0,0403	0,0330	0,0806	0,0377
VO	Podzol humusový/ Histic Podzol	0,0655	0,0614	0,0288	0,0159	0,0118	0,0367	0,0226
LU	Podzol modální/ Haplic Podzol	0,1378	0,1356	0,1208	0,0905	0,0597	0,1089	0,0298
BU	Kambizem pelická/ Pelic Cambisol	0,0949	0,0821	0,0556	0,0224	0,0131	0,0536	0,0320
CE	Kambizem oglejená/ Stagnic Cambisol	0,1638	0,1626	0,1451	0,1018	0,0654	0,1277	0,0384
LZ	Kryptopodzol modální/ Entic Podzol	0,1657	0,1420	0,1054	0,0681	0,0559	0,1074	0,0419
NB	Kambizem bystrická/ Haplic Cambisol Dystric	0,1382	0,1279	0,0977	0,0662	0,0491	0,0958	0,0343


**Obr. 14.**

 Odchylka vlhkosti jemnozeme od vlhkosti celého vzorku [m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>]

**Fig. 14**

 Deviation of the fine earth moisture content from the moisture content of the whole sample [m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>]

MI (kruhového testu) pro různé objemové hmotnosti, vypočtené z objemů nezměněného a změněného dle smrštění (viz tab. 7).

Pokud bychom počítali s původním objemem, byla by vlhkost vzorku při -1 kPa 0,4 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>, pokud bychom vzali objem smrštěný, byla by pak vlhkost při stejném sacím tlaku o 0,12 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup> větší, tj. 0,52 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>. Vyzvstává však otázka dalšího řešení, který z těchto výpočtů je správnější, zvláště vzhledem k variabilitě vlhkostí a objemu vzorku při odběru. Je třeba podotknout, že potřebná vážení se při zpracování vzorků provádí a měří se zpravidla i objemové změny. Zpracování tedy nerozlišuje nadměrně rámec běžné laboratorní praxe při stanovení retenčních křivek.

Ve výše uvedených retenčních křivkách lesních půd zájmových lokalit nebyla zohledněna jejich bobtnavost ani smrštění, pro výpočet jejich vlhkosti byla použita rovnice 2, popř. 3, tento postup odpovídá ISO 11274:1998 a dosavadním standardům měření. Naměřené smrštění vzorků, v tomto příspěvku neuváděné, bylo ovšem zohledněno pro výpočet objemu vzorků půdy přemístěných do malých válečků pro následné měření při vysokých přetlacích v přetlakových nádobách. Rovnice 6 pro výpočet objemu přemístěných vzorků smrštěné půdy je stanovena jako původní.

## ZÁVĚR

Hlavním záměrem tohoto příspěvku je podat informaci o existenci a užití mezinárodní normy ISO 11274:1998, která stanovuje postup měření retenčních křivek vlhkosti půd a není na našem území běžně užívána. Dle této normy lze stanovit také retenční křivky jemnozeme v rámci značně skeletovitého vzorku půdy.

Tab. 7.

Vlhkosti pro různé objemové hmotnosti (vzorek č. 3)  
Soil moisture for different bulk densities (sample No. 3)

Hmotnost vysušené zeminy/Dry soil weight [g]	139,54
Původní objem/Original volume [cm <sup>3</sup> ]	99,88
ρD1 objemová hmotnost vysušené zeminy/ Dry soil bulk density [g.cm <sup>-3</sup> ]	1,40
Smrštění/Shrinkage [mm]	9,84
Nový objem po smrštění/ New volume after shrinking [cm <sup>3</sup> ]	75,72
ρD2 objemová hmotnost vysušené zeminy po smrštění/ Dry soil bulk density after shrinkage [g.cm <sup>-3</sup> ]	1,84
Hmotnost vody při -1 kPa/Weight of water at -1 kPa [g]	39,65
Vlhkost při -1 kPa s užitím ρD1/ Moisture at -1 kPa using ρD1 [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]	0,40
Vlhkost při -1 kPa s užitím ρD2/ Moisture at -1 kPa using ρD2 [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]	0,52
Rozdíl jednotlivých vlhkostí/ Moisture Difference [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]	0,12

Během provedení vyhodnocování dat byl indikován další problém, který doposud běžná praxe ani norma samotná nezohledňuje. Vzhledem k tomu, že objem vzorků půdy je dán velikostí použitého odběrového válečku a způsobem jejich odběru, výsledky retenčních křivek bobtnavých půd mohou být velkou měrou ovlivněny momentální vlhkostí vzorku při jeho odběru. Pokud se objem vzorku po nasycení zvýší, objemová vlhkost je pro původní objem válečku o mnoho větší než pro objem po nasycení. Dle provedení měření se vlhkost může lišit, např. až o 12 % objemových. Toto zjištění je třeba zohlednit zejména při porovnávání stejných lokalit v průběhu let, kdy musí být splněna podmínka, že vlhkost půdy při odběrech by měla být velmi podobná. Tímto ovšem není řešen problém „pravdivosti“ naměřených hodnot např. pro užití v následném modelování pohybu vody v půdě. Jako „pravdivý“ objem běžné zemědělské i lesní půdy se může stanovit objem při plném nasycení vzorku, jako je tomu u organosolů.

V textu je dále uvedena, v rámci řešení nově stanovená, původní rovnice pro přepočet objemu přemístěné smrštěné zeminy do menších válečků pro měření vysokých přetlaků.

Dle výsledků mezinárodního kruhového testu laboratoří bylo potvrzeno vytvoření reprezentativní databáze retenčních křivek vybraných lesních půd na našem území v rámci projektu LIFE+ FutMon.

#### Poděkování:

Odběry vzorků byly provedeny v rámci projektu LIFE+ FutMon (Further Development and Implementation of an EU-level Forest Monitoring System) a výzkumného záměru MZE0002070203. Vyhodnocení postupu celého měření pak bylo realizováno v rámci výzkumného záměru MZE0002704902 a také doktorského studia oboru Environmentální modelování na Katedře vodního hospodářství a environmentálního modelování České zemědělské univerzity v Praze při zpracování disertační práce na téma možnosti měření retenčních křivek a nenasyčené hydraulické vodivosti u heterogenních půd.

## LITERATURA

BOHÁČOVÁ L., LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. (eds.) 2010. Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice. Ročenka programu ICP Forests/FutMon, data 2008 a 2009. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 157 s.

BOHÁČOVÁ L., LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. (eds.) 2011. Rozvoj monitoringu zdravotního stavu lesa v rámci projektu Life+ „FutMon“ v České republice. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 58 s.

COOLS N., DE VOS B. 2010. 1st FSCC soil physical ringtest 2009. [online]. Brusel, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO): 47 s. [cit. 12. 11. 2011]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.inbo.be/docupload/4330.pdf>

ČMELÍK M., MACHONSKÝ L., ŠÍMA Z. 2001. Fyzikální tabulky. Liberec, Technická univerzita: 58 s.

FABIÁNEK P. (ed.) 2004. Monitoring stavu lesa v České republice 1984 – 2003. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR; VÚLHM: 431 s.

FAO. 2006. World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations: 128 s.

FUTMON protocol. Determination of the soil water retention characteristics. [on-line]. 12 s. [cit. 12. 11. 2011]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.inbo.be/docupload/4000.pdf>

ISO 11274:1998 Soil quality – Determination of the water retention characteristics – Laboratory methods.

ISO 5725-2 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – part 2: Basic method for determination of repeatability and reproducibility of a standard measurements method.

JAMEI M., GUIRAS, H., MOKNI N. 2007. A retention curve prediction for unsaturated clay soils. In: Schanz T.: Experimental unsaturated soil mechanics. Springer: 377-386. Springer proceedings in physics, 112.

KUTÍLEK M. 1978. Vodohospodářská pedologie. Vysokoškolská učebnice. Praha, SNTL; Bratislava, ALFA: 171.

KUTÍLEK M., NIELSEN D. R. 1994. Soil hydrology. Catena, Cremlingen-Destedt: 370 s.

MATULA S., SEMOTÁN J., VESELÁ J. 1989. Hydropedologie. Praktikum. Praha, České vysoké učení technické v Praze: 144 s.

NĚMEČEK J. et al. 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha, ČZU: 79 s.

ŠRÁMEK V., VORTELOVÁ L., LOMSKÝ B. 2008. BIOSOIL – Evropský projekt monitoringu lesních půd – průběh v České republice. [online]. In: Sobocká J., Kulhavý J. (eds.): Půda v moderní informační společnosti. 1. konference České pedologické společnosti a Societas pedologica Slovaca. Sborník příspěvků. Bratislava Výzkumný ústav půdoznalectva a ochrany půdy: 287-297. [cit. 12. 11. 2011]. Dostupné na World Wide Web: [http://www.pedologie.cz/akce/dokumenty/Sbornik\\_Roznov\\_07.pdf](http://www.pedologie.cz/akce/dokumenty/Sbornik_Roznov_07.pdf)

TARIQ A. U. R., DURNFORD D. S. 1997. Moisture retention of a swelling soil under capillary and overburden pressures. Journal of Hydrology, 203: 119-126.

VALLA M. et al. 2000. Pedologické praktikum. Praha, ČZU, Agronomická fakulta: 148 s.

VLČKOVÁ M., ŠRÁMEK V., KULHAVÝ Z., BENEŠOVÁ V., FADRHOŇSOVÁ V. 2011. Hodnocení retenčních křivek lesních půd v rámci projektu LIFE+ FutMon v ČR. In: Hydrologie malého povodí 2011. 2. díl. Praha, Ústav pro hydrodynamiku AV ČR: 519-528.

## DETERMINATION OF RETENTION CURVES SWELLING AND SKELETON FOREST SOILS

## SUMMARY

This paper is focused on the determination of moisture retention curves of forest soils within the European LIFE+ FutMon project in the Czech Republic including the results of the ring test of laboratories (FSCC 1st Soil Physical Ring Test 2009, FutMon Protocol). The soil hydrology characteristics were evaluated by harmonized methods in all participating countries (COOLS, DE Vos 2010). The method of measurement is given by ISO 11274:1998 Soil quality – Determination of the water retention characteristics – Laboratory methods and also by current practice (VALLE et al. 2000; KUTÍLEK, NIELSEN 1994).

In the years 2009–2011, the monitoring of forest health was carried out; it was partially subsidized by LIFE project in the frame of the FutMon project (Further Development and Implementation of an EU-level Forest Monitoring System). One of the activities of the project was aimed at improving the evaluation of the water balance of forest stands (BOHÁČOVÁ et al. 2011). Its aim was to complete the range of monitored parameters on intensive monitoring plots to allow testing of different types of hydrological and physiological models. Therefore, measurement of volumetric soil moisture, soil water potential, soil temperature, and determination of further soil hydrologic characteristics in different soil horizons was established at these sites.

In autumn 2009 (October to mid-December) 90 undisturbed soil volume samples were collected by Kopecký's metal ring (cylinder) of volume equal to 100 cubic centimetres in 10 plots of intensive monitoring of forest ecosystems. Description of particular plots is given in Tab. 1, position of particular plot is shown in Fig. 1. Nine samples were collected at each plot. These samples were taken from three pits. The pits were spaced approximately 5 m apart from each other; in each of the pits one cylindrical sample was taken from the depth of 0.1, 0.3, and 0.5 m; in the same depth of each pit, a sample was taken for determining the soil bulk density. Depth for sampling points was taken away from transition of forest floor and mineral soil, i.e. from the interface of LFH and humic horizon Ah.

Measurement of retention curves by Experimental Soil Hydrology Laboratory took place in sand and kaolin box of Eikelkamp-Giesbeek comp. and in a pressurized extractor of Soil Moisture Equipment Corp. Moisture was measured gravimetrically for suction pressures 0, 1, 5, 10, 33, 1500 kPa, humidity at zero suction pressure was determined by a pycnometer. The samples were left at set pressure steps for 7 days at least and then they were weighed; stabilizing of their moisture has been accepted at a maximum weight change of a sample to 0.02% of its weight. To maintain a sufficient hydraulic contact of a sample with material of measuring device, the filter papers from Whatman GF6 glass microfibre were used; at suction pressure of 1500 kPa, the filter papers were not used any more. In the sand and kaolin box for measurement of humidity, samples of volume equal to 100 cubic centimetres were treated; for suction pressure of 1500 kPa, the samples were transferred into cylinders sized of 25 cubic centimetres. Throughout measurement, it was calculated with the original volume of 100 cubic centimetres of cylinders; after transfer of soil into small cylinders sized of 25 cubic centimetres it was necessary to take into consideration shrinkage of a sample and to convert it according to the volume of small cylinders. Shrinkage of 100 cubic centimetre samples, until they are placed in 25 cubic centimetre cylinders, is shown in Tab. 2 for a case of sample treated during the circular test.

In the graphs of retention curves (Fig. 4-13) three measurements are described for three sampling depths of 0.1, 0.3 and 0.5 m, where the aim was not to describe the properties of forest soils accurately, but to verify the method of determining the mentioned soil hydrology characteristic in such adverse conditions which may just come along in the forest soil (mainly due to high stoniness and soil swelling capacity). The graphs show a different trend for each site or soil type. It only confirms the accuracy of measurement. Tab. 4, 5, 6 and Fig. 14 describe the skeleton (stoniness) of selected forest soils and further the retention curves of samples containing the skeleton (stoniness) and samples without skeleton (stoniness), i.e. fine earth only. In Tab. 6, moisture deviations of fine earth from original whole samples are visible for different soil types. The highest deviation is shown at modal Cambisols of Benešovice plot, i.e. on the site where the largest content of the skeleton (stoniness) was also found. The lowest deviation is shown at humic podzols of Lásenice plot where the skeleton (stoniness) was smallest. In Fig. 14, a downward trend of moisture deviations in relation to increasing suction pressure is also visible.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Martina Vlčková, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.  
Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5 - Zbraslav, Česká republika  
tel.: 257 027 231; e-mail: vlckova.martina@vumop.cz