MOŽNOSTI URČENIA VLHKOSTNÝCH RETENČNÝCH KRIVIEK PÔDY
POSSIBILITIES OF WATER RETENTION CURVES DETERMINATION

Jana Skalová

Stavebná fakulta STU v Bratislave

Abstract: By application of pedotrasfer functions (PTFs) it is possible significantly to simplify and to speed up the assessment of water retention curve (WRCs), which are one from the basic input to mathematical models of soil water regime. There are presented and evaluated two alternatives of PTFs created for Záhorska nížina soils in the paper. Different approaches to particle size distribution were background for their creating. In the frame of Slovakia is very often used the particle size distribution according to Kopecký and at abroad according to USDA. Multiple regression analysis was used to estimate PTF for prediction of the drying branch of WRCs. These relationships are based on percentage of particle size distribution and on dry bulk density. PTFs of both alternatives were verified on measured set of water retention curves. Calculated correlation coefficient R=0.87-0.92 testify to a high degree of agreement. On the background this valuation it can claim that for calculation of drying brunches of water retention curves it can be used both alternatives of PTFs. The choice of PTFs alternative will depend on the available base about particle size distribution.

Key words: water retention curves, pedotrasfer functions, , particle size distribution, dry bulk density,

Úvod

V súčasnej dobe v rôznych oblastiach aplikácie modelov - ako je hydrológia, environmentálne analýzy alebo hodnotenie globálnych klimatických zmien - je za prekážku rozvoja považovaný nedostatok vstupných údajov. Zatiaľ čo sa naša schopnosť numericky simulovať komplikovaný tok a transportné procesy prebiehajúce v pôde zvyšuje, spoľahlivosť modelovanej prognózy môže závisieť práve od stupňa spoľahlivosti, s akou môžeme stanoviť vstupné údaje, ako klímu, koreňové modely, fluktuáciu vodnej hladiny, chemické a predovšetkým hydrofyzikálne charakteristiky pôdy. Hydrofyzikálne charakteristiky pôdy – vlhkostná retenčná krivka a hydraulická vodivosť - sú kľúčovými charakteristikami z tohto pohľadu.

Vstupné údaje požadované pre simulovanie procesov v nenasýtenej zóne pôdy môžu byť získané z priamych meraní použitím rôznych laboratórnych a poľných metód. Avšak problémom je, že väčšina týchto metód je pomerne zdĺhavá a finančne náročná (Šútor, Štekauerová, 1999). Súčasne, spoľahlivá prognóza namiesto priamych meraní vstupných údajov môže byť dostatočne presná pre mnohé aplikácie. Z toho dôvodu potreba nových meraní musí byť kritický zhodnotená vzhľadom na obidva aspekty: požadovanú presnosť vstupných údajov a prístupné finančné zdroje na ich meranie.

Preto je užitočné analyzovať existujúcu databázu spôsobom, ktorý dovolí, aby vstupné údaje

boli predpovedané z existujúcich nameraných pôdnych charakteristík, ak ich priame meranie je náročné. Prípadne je možné použiť charakteristiky, ktoré možno získať jednoduchým, nenákladným a rýchlym meraním. Príkladom je predpoveď vlhkostných retenčných kriviek pôdy z informácií o textúre pôdy, či už zaznamenaných v pedologickom prieskume alebo nameraním niektorou z menej náročných metód zrnitostných rozborov. Tento postup je vlastne nepriamou metódou a vyúsťuje do stanovenia pedotrasferových funkcií.

Textúra pôdy je veľmi dôležitá z hľadiska praktického i vedeckého posudzovania pôdy, pretože do značnej miery ovplyvňuje celý rad pôdnych vlastností. Pre potreby klasifikácie sa pôdne častice podľa ich rozmeru zadeľujú do zrnitostných intervalov nazývaných zrnitostné kategórie. Vo svete i u nás existuje viacero klasifikačných systémov, založených na rozlične definovaných hraničných hodnotách zrnitostných intervalov (Tall, 2002). Základné delenie pôdnych častíc na jemnozem a skelet s hraničným priemerom 2 mm je vo väčšine systémov rovnaké. Čo sa týka jemnozeme, u nás sa najčastejšie používa delenie na zrnitostné kategórie podľa Kopeckého a v zahraničí zase klasifikácia USDA, ktorá je odporúčaná a používaná v prácach FAO.

Preto je práca zameraná na zistenie miery vplyvu uvedených dvoch triedení jemnozeme na stanovenie priebehu vlhkostných retenčných kriviek pomocou pedotransferových funkcií. Zámer bol aplikovaný na pôdach Záhorskej nížiny.

Materiál a metódy

Metóda určovania bodov vlhkostnej retenčnej krivky (ďalej VRK), resp. jej odvodňovacej vetvy v laboratórnych podmienkach je náročná ako na experimentálne zariadenie, tak aj na čas potrebný pre jej realizáciu. V odbornej literatúre možno nájsť relatívne veľký počet prác venovaných určovaniu bodov VRK pôdy z charakteristík, ako je napr. textúra pôdy - zrnitostné zloženie, objemová hmotnosť, obsah humusu a obsah organického C, ktoré možno zistiť rýchlejším a menej náročným spôsobom (Brooks, Corey, 1964; Renger 1971; Gupta, Larson, 1979; Rawls et al., 1982, Wösten et al., 1998, 1999). Tento metodický postup je založený na predpokladanej závislosti obsahu vody v pôde od vyššie uvedených charakteristík. Pre postupy, ktoré využívajú regresnú analýzu, zaviedli Bouma a Van Lanen (1987) termín pedotransferove funkcie (PTF).

Aby sme získali obraz o zrnitostnom zložení pôdy, rozdeľujeme pôdne častice do viacerých zrnitostne ohraničených intervalov, nazývaných zrnitostné frakcie alebo kategórie. U nás sa v súčasnosti často používa podrobné delenie jemnozeme na jednotlivé kategórie podľa Kopeckého a v zahraničí klasifikácia USDA uvedené v tab.1. Po zistení percentuálneho zastúpenia jednotlivých zrnitostných kategórií sa priradí pôde názov pôdneho druhu podľa zvoleného klasifikačného systému. U nás sa pomerne často používa Kopeckého a Novákova klasifikácia a v zahraničí trojuholníkový diagram USDA.

Za účelom vytvorenia pedotransferových funkcií bolo v rámci Záhorskej nížiny odobratých 125 pôdnych vzoriek. Na pôdnych vzorkách bol urobený zrnitostný rozbor pre stanovenie percentuálneho

zastúpenia Kopeckého zrnitostných kategórií a kategórií USDA (tab. 1). Na pôdnych vzorkách bola zistená tiež redukovaná objemová hmotnosť, merná hmotnosť, pórovitosť a nasýtená hydraulická vodivosť. Na pretlakovom prístroji (fy Soil Moisture Equipment, Santa Barbara, Kalifornia, USA) boli na neporušených pôdnych vzorkách stanovené body odvodňovacej vetvy VRK pre vlhkostné potenciály -2.5, -56, -209, -558, -976, -3060 a -15300 cm (Skalová, 2001).

Tab. 1 Podrobná klasifikácia zrnitostných frakcií

Priemer zŕn [mm]	Názov frakcie		Kopeckého označenie kategórií jemnozeme		klasifikácia USDA	
< 0.0001	JEMNOZEM	koloidný íl	ílovité častice < 0.01 mm	I.	íl (clay) < 0.002 mm	I.
< 0.002		fyzikálny íl				
0.002 – 0.01		veľmi jemný prach			prach (silt) 0.002-0.05 mm	II.
0.01 – 0.05		Prach	prach	II.		
0.05 – 0.1		práškový piesok	práškový piesok	III.	piesok (sand) 0.05-2.0 mm	III.
0.1 – 0.2		veľmi jemný piesok	piesok	IV.		
0.2 – 0.5		jemný piesok				
0.5 – 2.0		stredný piesok				
2 – 16	SKELET	drobný štrk				
16 – 63		stredný štrk				
63 – 125		hrubý štrk				
> 125		kameň				

Na tvorbu PTF bola použitá lineárna regresia v tvare:

a) pri použití zrnitostných kategórií podľa Kopeckého

$$\theta_{hw} = A \times I.kat. + B \times II.kat. + C \times III.kat. + D \times IV.kat. + E \times \rho_d + F \qquad [cm^3.cm^{-3}] \qquad [1]$$

b) pri použití zrnitostných kategórií podľa USDA

$$\theta_{hw} = a \times íl + b \times prach + c \times piesok + d \times \rho_d + e \qquad [cm^3.cm^{-3}] \qquad [2]$$

kde θ_{hw} je objemová vlhkosť [$cm^3.cm^{-3}$] pri konkrétnej hodnote vlhkostného potenciálu h_w [cm], *I.kat.* [%] – ílovité častice (d<0.01 mm), *II.kat.* [%] - prach (0,01–0.05 mm), *III.kat.* [%] – práškový piesok (0.05–0.10 mm), *IV.kat.* [%] – piesok (0.1–2.0 mm), ρ_d – objemová hmotnosť redukovaná [$g.cm^{-3}$] *íl* [%] – d<0.002 mm, *prach.* [%] – 0,002-0.05 mm, *piesok.* [%] – 0.05-2 mm, A, B, C, D, E, F, a, b, c, d, e – regionálne parametre zistené regresnou analýzou.

Pomocou PTF možno vypočítať objemové vlhkosti $\theta(h_w)$ zodpovedajúce hodnotám vlhkostného potenciálu hw = -2.5, -56, -209, -558, -976, -3060, -15300 cm v závislosti od objemovej hmotnosti redukovanej ρ_d, od percentuálneho obsahu zrnitostných kategórií podľa Kopeckého alebo podľa USDA.

Výsledky a diskusia

Pedotransferové funkcie na výpočet bodov VRK pôd Záhorskej nížiny boli vytvorené pre dve varianty rozdelenia jemnozeme na zrnitostné kategórie, a to podľa Kopeckého(tab. 2a) (Skalová 2001) a podľa USDA (tab. 2b). V tab. 2 sú uvedené aj hodnoty koeficientov regresie R vytvorených PTF. Rozdiely v hodnotách korelačných koeficientov sú minimálne, pri 1.variant sa pohybuje R v rozpätí 0.86–0.89, pri 2.variante 0.85-0.91, čo svedčí o vysokom stupni tesnosti vzťahu medzi korelovanými prvkami ($0.70 \leq R < 0.90$).

Tab. 2 Regionálne parametre pedotransferových funkcií (A,B,C,D,E,F,a,b,c,d,e) na výpočet vlhkostí pri definovaných hodnotách vlhkostného potenciálu h_w na vyjadrenie bodov bodov odvodňovacej vetvy VRK pre pôdy Záhorskej nížiny (R - koeficient regresie)

a) pri použití zrnitostných kategórií podľa Kopeckého - 1.variant

h_w [cm]	**A** (I.kat)	**B** (II.kat)	**C** (III.kat)	**D** (IV.kat)	**E** (ρ_d)	**F**	**R**
- 2.5	0.02870	0.02553	0.02797	0.02605	-0.36354	-1.70427	**0.888**
- 56	0.02864	0.02392	0.02663	0.02338	-0.21372	-1.83153	**0.862**
- 209	0.01059	0.00568	0.00659	0.00465	-0.13986	-0.13546	**0.883**
- 558	0.01695	0.01197	0.01269	0.01115	-0.18158	-0.73169	**0.886**
- 976	0.00609	0.00115	0.00130	0.00031	-0.16978	0.32317	**0.886**
- 3060	0.01322	0.00798	0.00807	0.00756	-0.16606	-0.42391	**0.882**
- 15300	0.00387	-0.00119	-0.00110	-0.00171	-0.13480	0.42341	**0.890**

a) pri použití zrnitostných kategórií podľa USDA – 2.variant

h_w [cm]	**a** (íl)	**b** (prach)	**c** (piesok)	**d** (ρ_d)	**e**	**R**
- 2.5	-0.34707	-0.35014	-0.35015	-0.38660	35.98715	**0.881**
- 56	-0.48442	-0.48817	-0.48962	-0.26373	49.61160	**0.847**
- 209	-0.15504	-0.16041	-0.16212	-0.17461	16.63800	**0.872**
- 558	0.17510	0.16865	0.16737	-0.21201	-16.27093	**0.888**
- 976	-0.16688	-0.17419	-0.17529	-0.19197	17.94414	**0.894**
- 3060	-0.36232	-0.37106	-0.37157	-0.17934	37.52704	**0.901**
- 15300	0.14062	0.13206	0.13146	-0.14420	-12.86244	**0.909**

Na porovnanie priebehu VRK nameraných a VRK vypočítaných pomocou PTF pre obidve varianty bola použitá korelačná analýza, pri ktorej vystupovali ako jedna premenná namerané body VRK, tzn. namerané vlhkosti pri konkrétnych vlhkostných potenciáloch (h_w = -2.5, -56, -209, -558, -976, -3060, -15300 cm) a druhou premennou boli vlhkosti vypočítané pomocou PTF pre obidve triedenia jemnozeme (Kopecký - tab. 2a, USDA – tab. 2b) pre tie isté hodnoty vlhkostných potenciálov. Vypočítaná hodnota koeficientu korelácie R=0.87-0.92 (tab. 3) svedčí o veľmi dobrej zhode nameraných a vypočítaných hodnôt, pričom medzi hodnotenými variantmi si minimálne rozdiely. Na základe uvedeného hodnotenia možno konštatovať, že na výpočet bodov odvodňovacej

vetvy VRK možno použiť obidva varianty PTF. Použitie príslušného variantu bude závisieť od získaných resp. nameraných podkladov o textúre pôdy.

Tab. 3 Výsledné hodnoty korelačného koeficientu pri zisťovaní závislosti medzi bodmi VRK nameranými a vypočítanými pomocou PTF určených na základe zrnitostných kategórií podľa Kopeckého (R-Kop) a podľa USDA (R-USDA)

hw [cm]	R-Kop (1)	R-USDA (2)	rozdiel (1) – (2)
-2,5	0,896	0,847	0,049
-56	0,865	0,872	-0,008
-209	0,882	0,872	0,010
-558	0,894	0,888	0,006
-976	0,889	0,894	-0,005
-3030	0,887	0,901	-0,014
-15300	0,894	0,909	-0,016
celkové	0,921	0,920	0,001

Súhrn

Použitím pedotransferových funkcií (PTF) možno výrazne zjednodušiť a urýchliť stanovenie priebehu odvodňovacej vetvy VRK, ktorá je jedným zo základných vstupov do matematických modelov vodného režimu pôdy. V príspevku sú hodnotené 2 varianty pedotransferových funkcií (PTF) vytvorené pre pôdy Záhorskej nížiny. Podkladom na ich vytvorenie boli najčastejšie používané delenia jemnozeme na zrnitostné kategórie v rámci Slovenska podľa Kopeckého a v zahraničí podľa USDA. Na vytvorenie PTF na výpočet odvodňovacích vetiev vlhkostných retenčných kriviek (VRK) bola použitá lineárna regresia. Predpokladom je závislosť obsahu vody v pôde od zastúpenia zrnitostných kategórií a od objemovej hmotnosti. PTF oboch variantov boli verifikované na súbore nameraných VRK. Vypočítaná hodnota koeficientu korelácie R=0.87-0.92 svedčí o veľmi dobrej zhode nameraných a vypočítaných hodnôt, pričom medzi hodnotenými variantmi sú minimálne rozdiely. Na základe uvedeného hodnotenia možno konštatovať, že na výpočet bodov odvodňovacej vetvy VRK možno použiť obidva varianty PTF. Použitie príslušného variantu bude závisieť od dostupných podkladov o textúre pôdy.

Kľúčové slová: vlhkostná retenčná krivka, pedotransferové funkcie, zrnitostné kategórie, redukovaná objemová hmotnosť

Poďakovanie: *Autor ďakuje za finančnú podporu z projektov VEGA č. 1/9363/02 a č. 1/9364/02.*

Literatúra

Bouma, J., Van Lanen, J. A. J. (1987): Transfer function anf treshhold values: from soil characteristics to land qualities. Pages 106-110 in K.J. Beek et al, eds. Quantified land evaluation. Proc Worksh. ISSS and SSSA, Washington, D.C.

Brooks, R. H., Corey, A., T. (1964): Hydraulic properties of porous media. Hydrol.Pap.3. Colorado State Univ., Fort Collins.

Gupta, S. C., Larson, W. E. (1979):Estimating soil water characteristic from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. Water Resour. Res., 15, 1633-1635.

Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., Saxton, K. E. (1982): Estimation of soil water properties. Trans.ASAE, 108, 1316 –1320.

Renger, M. (1971): The estimation of pore size distribution from texture, organic matter content and bulk density. Z. Kluturtech, Flurbereinig, 130, 53 - 67.

Skalová, J. (2001): Pedotransferové funkcie pôd Záhorskej nížiny a ich aplikácia pri modelovaní vodného režimu pôdy. SvF STU Bratislava, 112 s.

Šútor, J., Štekauerová, V. (1999): Určovanie bodov vlhkostnej retenčnej čiary zo základných fyzikálnych charakteristík pôdy. In : Zb. z III. konferencie „Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia“. ÚH SAV, Michalovce – Zemplínska Šírava, str.151-157.

Tall, A (2001): Porovnanie klasifikačných systémov pre určovanie textúty pôd so zameraním na ťažké pôdy. Acta Hydrologica Slovaca, 2, č.1, s.87-93.

Wösten, J. H., Lilly, A., Nemes, A., Bas, C. (1998): Using existing soil date to derive hydraulic parameters for simulation models environmental studies and in land use planning. DLO-starimg centre. Wageningen, 103 p.

Wösten, J. H., Lilly, A., Nemes, A., Bas, C: (1999): Development and use of a databas of hydraulic properties of Europen soils. Geoderma, 70, 169-185.

Doc. Ing. Jana Skalová, PhD., Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Telefón: 02 59274626, e-mail: skalova@svf.stuba.sk