

143YTPR - Transportní procesy

Hydraulické vlastnosti půd

Jakub Jeřábek

21. února 2022

Transport v porézním prostředí lze řešit pomocí Richardsovy rovnice.

Richards equation

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \cos(\alpha) \right) \right) - S$$

Pro řešení rovnice je nutná znalost popisovaného prostředí půda-voda.

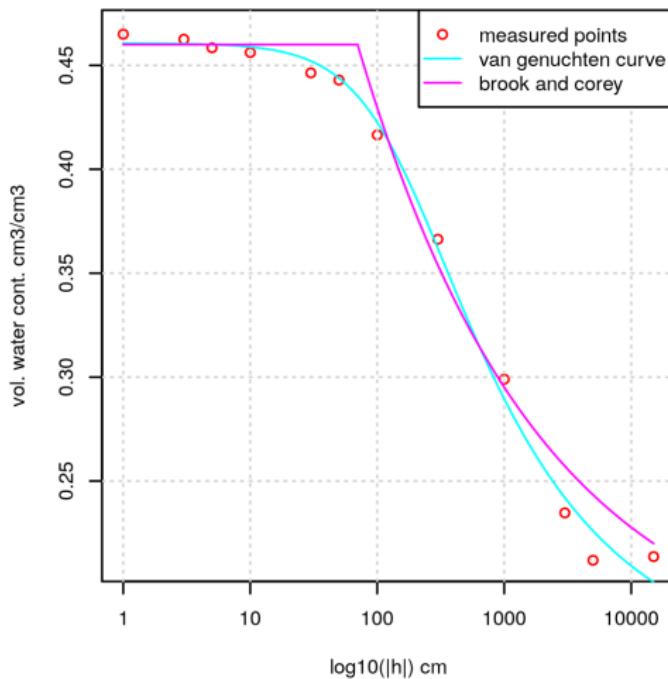
Popisujeme pomocí hydraulických charakteristik:

- ▶ **retenční čára**
- ▶ **hydraulická vodivost**

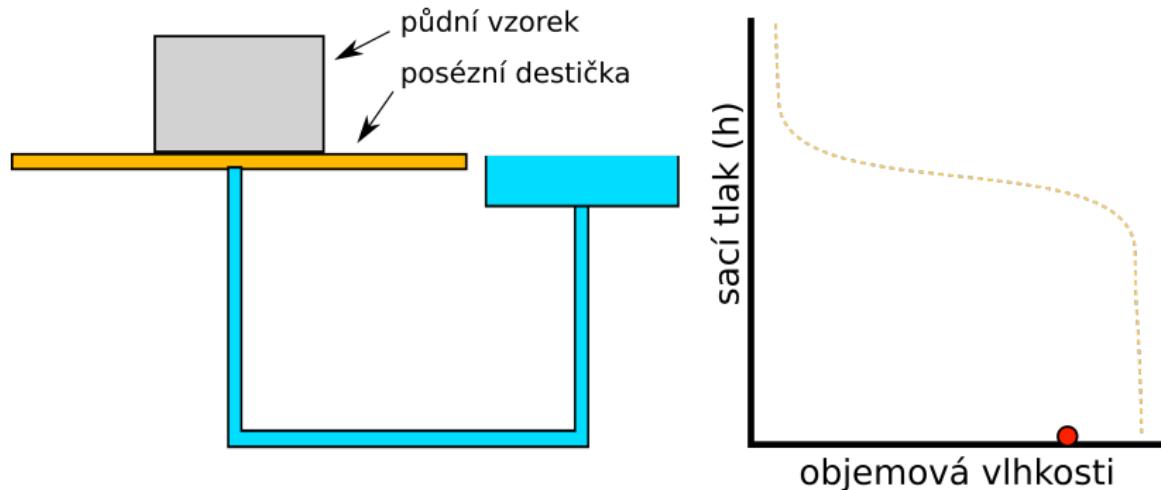
Hydraulické vlastní půd lze **měřit** nebo určit pomocí **pedotransferových funkcí**.

Retenční čára

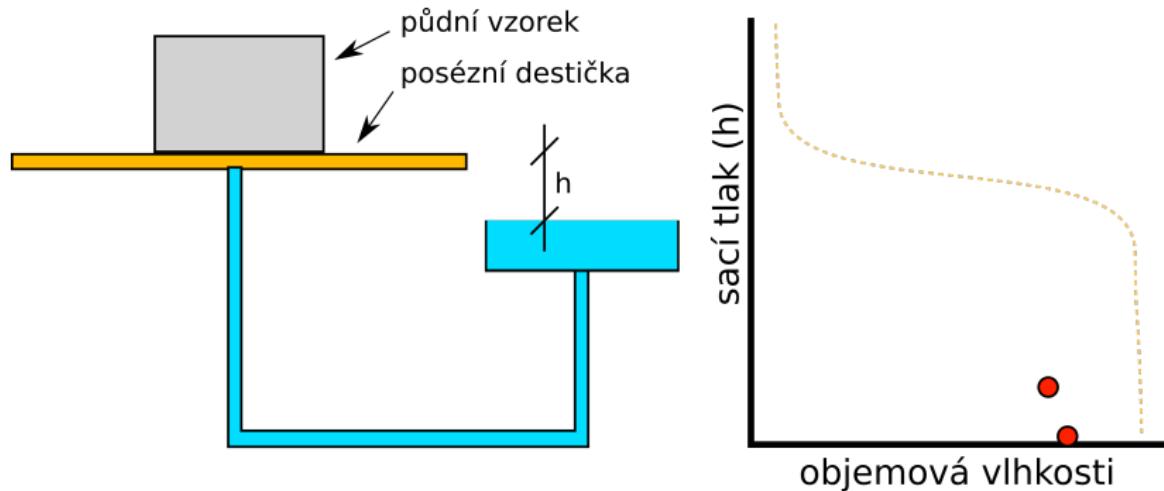
RČ popisuje vztah mezi **sacím tlakem** a **objemovou vlhkostí**.



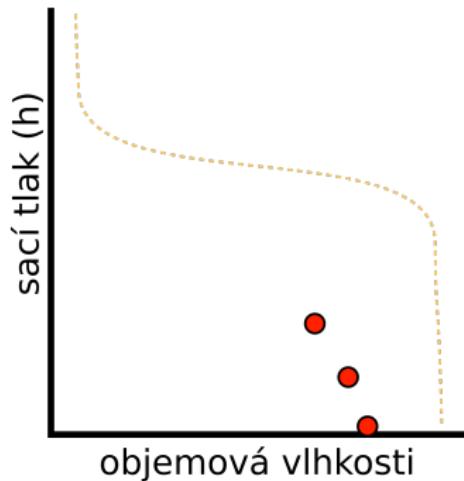
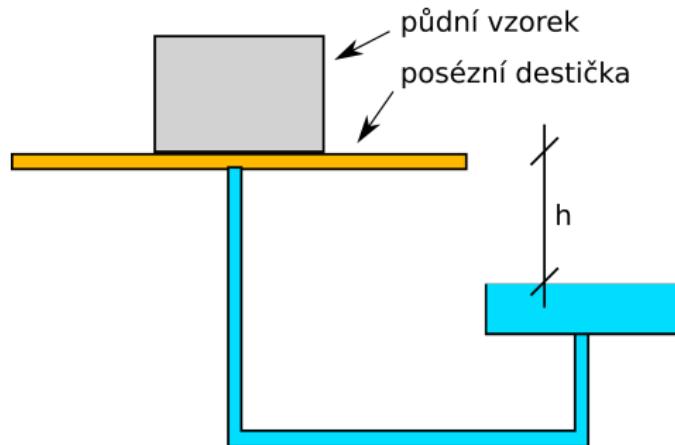
Measurement procedure



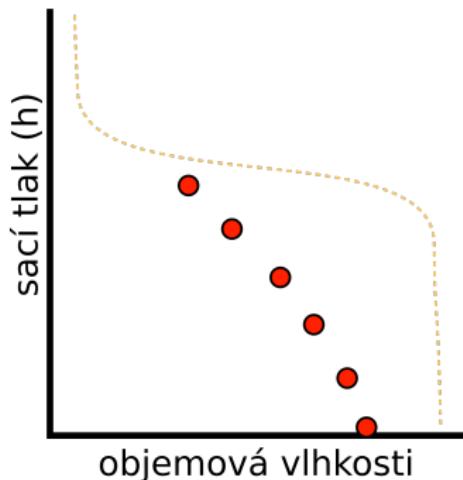
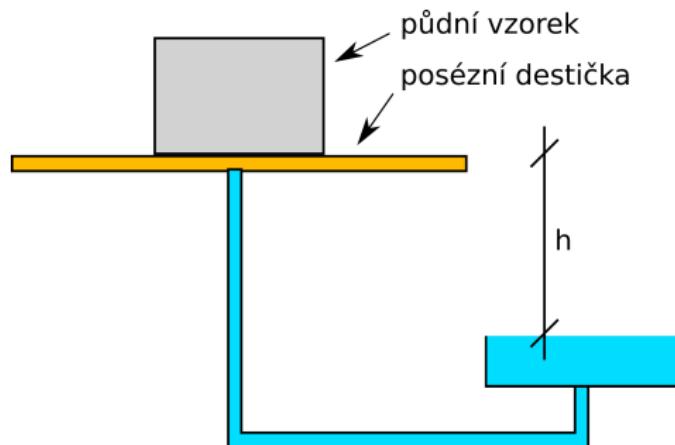
Measurement procedure



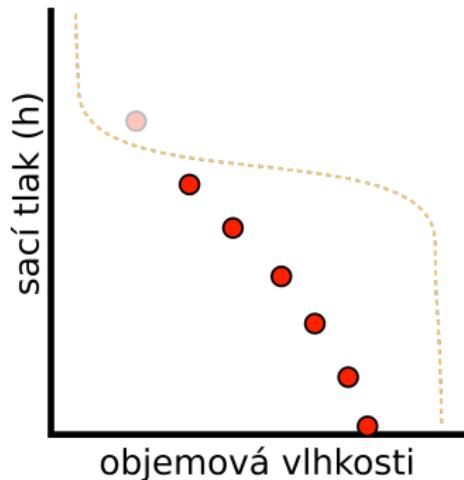
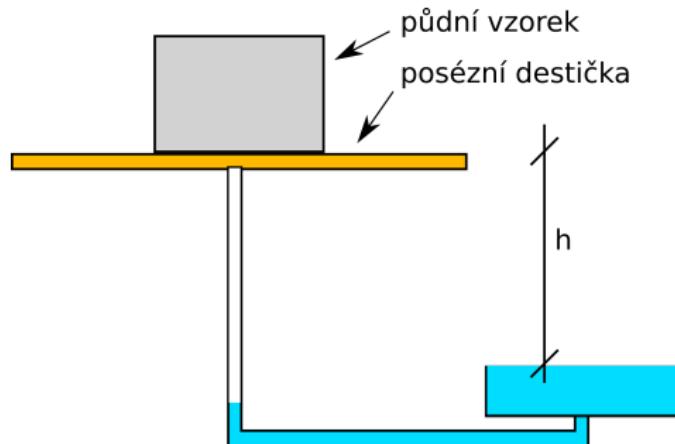
Measurement procedure



Measurement procedure



Measurement procedure



Retenční čára

RČ popisuje vztah mezi **sacím tlakem** a **objemovou vlhkostí**.

Přístroje na měření RČ

pískový tank - tlaky 0 - 1 m

jílový tank - tlaky 0 - 5 m

přetlakový aparát - tlaky až do 10 bars

výparoměrná metoda - tlaky až do 12000 hPa

100 cm (vodního sloupce) \sim 100 hPa \sim 0.1 bar

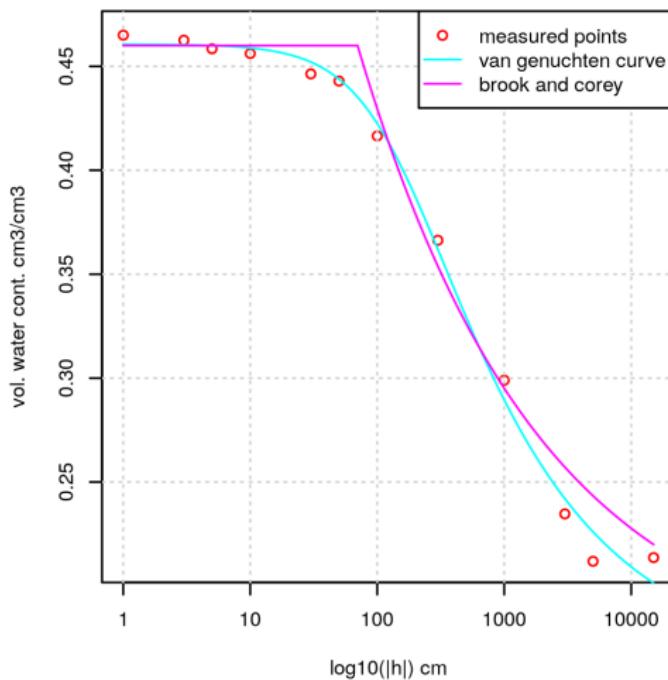
Retenční čára

Measurement procedure



Retenční čára

RČ popisuje vztah mezi **sacím tlakem** a **objemovou vlhkostí**.



Retenční čára - parametrizace

Brooks & Corey (1964)

$$\theta_e(h) = \begin{cases} \left(\frac{h_b}{h}\right)^\lambda, & \text{if } h < h_b \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

kde h_b je vstupní hodnota vzduchu [L] a λ popisuje distribuci velikosti pórů [–]

Efektivní objemová vlhkost θ_e je definovaná jako:

$$\theta_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r},$$

kde θ_s je saturovaná objemová vlhkost a θ_r reziduální objemová vlhkost.

Retenční čára - parametrizace

van Genuchten (1978)

$$\theta_e(h) = \begin{cases} \frac{1}{(1+(\alpha|h|)^n)^m} & \text{pro } h < 0 \\ 1 & \text{pro } h \geq 0 \end{cases}$$

kde α [L^{-1}], n [−], a m [−] jsou „fitované“ parametry.

$$\alpha = 1/h_b$$

$$\theta_e = (\theta - \theta_r)/(\theta_s - \theta_r), \text{ and}$$

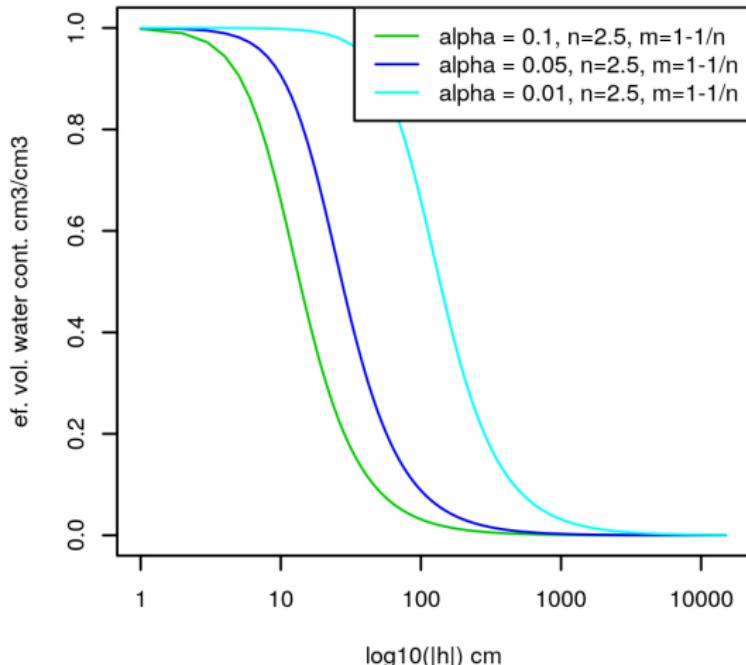
m is often

$$m = 1 - 1/n$$

vG retenční čára se často používá protože je to spojitá funkce.

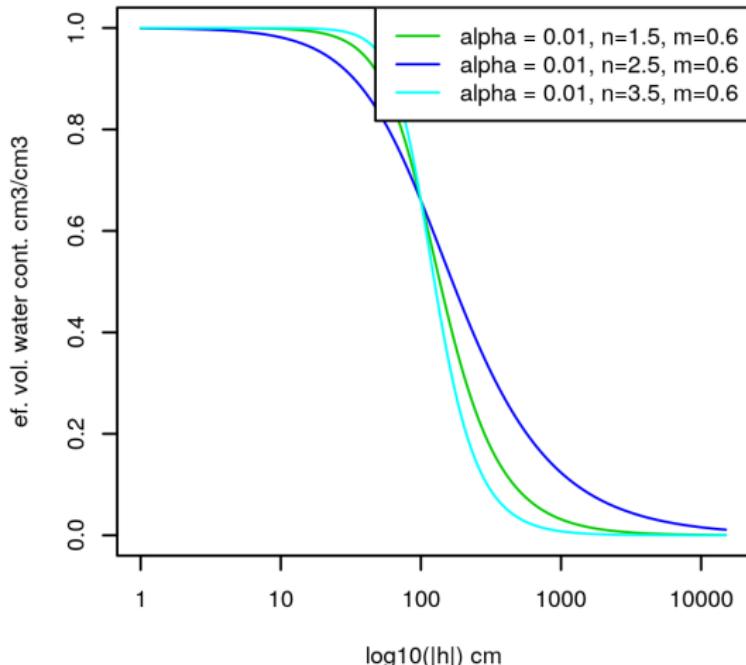
Retenční čára

van Genuchten RC

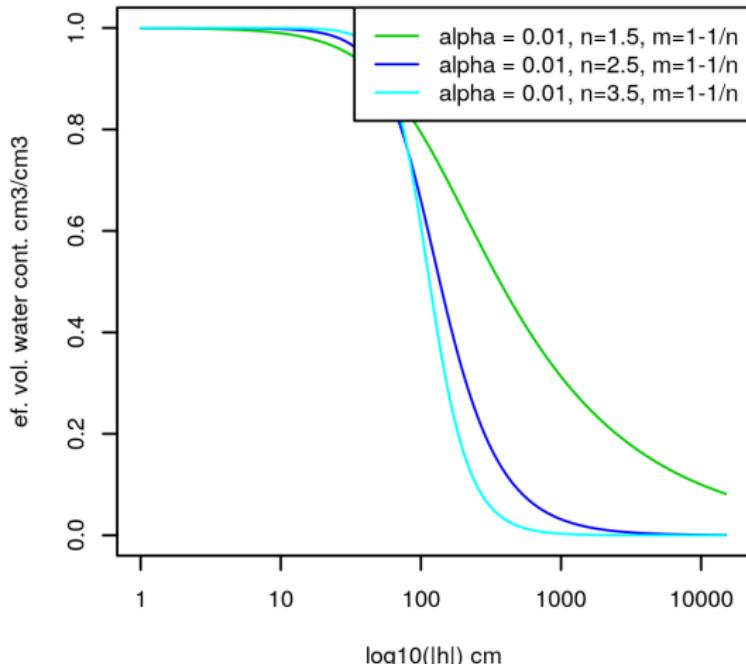


Retenční čára

van Genuchten RC



van Genuchten RC



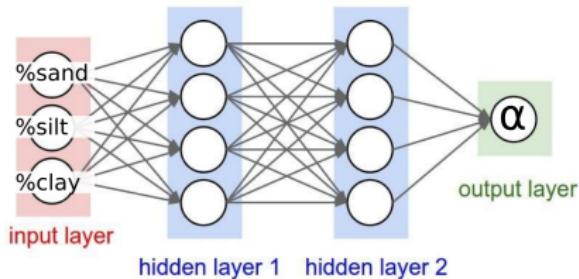
Pedotransferové funkce PTF

- ▶ Retenční čáru a hydraulickou vodivost je náročné změřit.
- ▶ PTF odhadují parametry RČ a hydraulické vodivosti pomocí lehce změřitelných veličin:
 - ▶ typ půdy, půdní textura, objemová hmotnost
- ▶ Pro odvození PTF je potřeba velké množství dat.
- ▶ PTF se jsou odvozeny pomocí regresní analýzy nebo umělé neuronové sítě.

Regression analyses

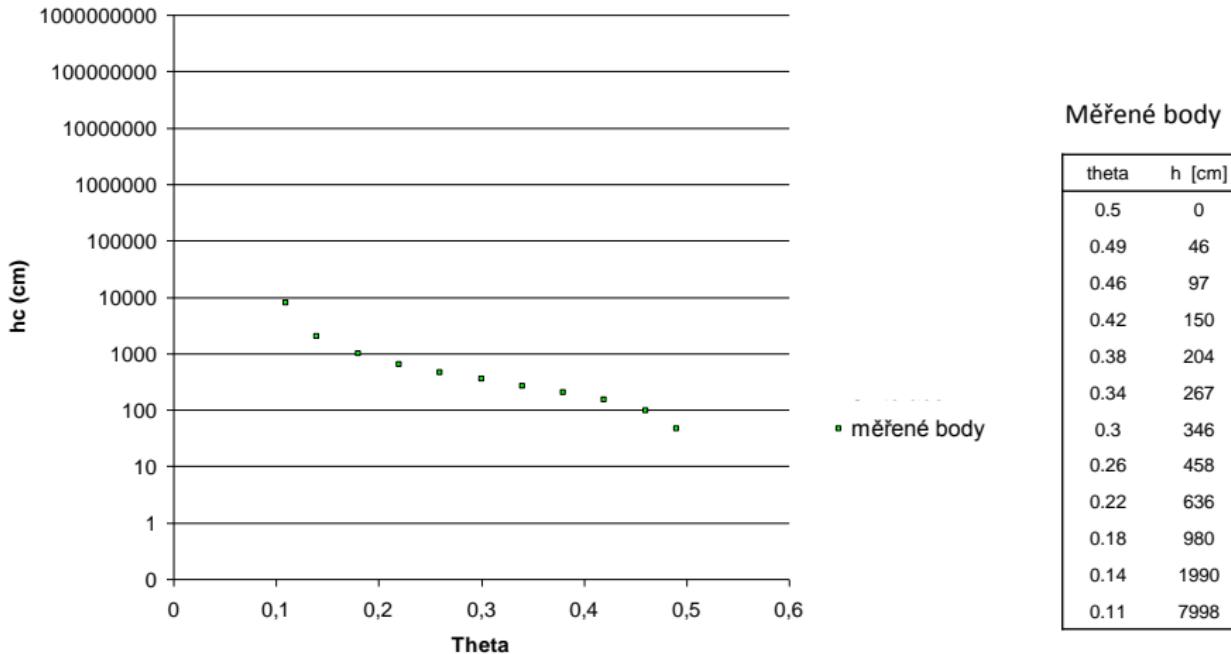
$$\alpha = a \%sand + b \%silt + c \%clay$$

Artificial neural network



- ▶ program pro analýzu hydraulických charakteristik proměnlivě nasycených půd
- ▶ prokládání retenčních čar měřenými body (parametrické modely Brookse-Coreyho a van Genuchtena)
- ▶ odhad průběhu nenasycené hydraulické vodivosti dle kapilárních modelů (Mualem, Burdin – teoretické rozložení póru)
- ▶ obsahuje neuronovou síť ROSETTA.

Optimalizace parametrů pomocí RETC

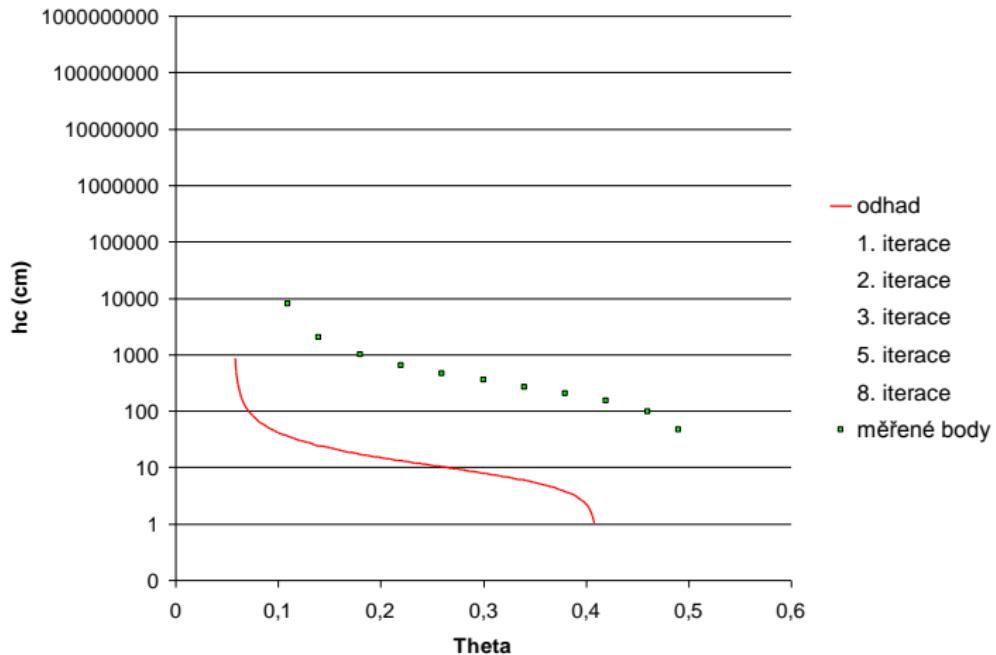


Iterační postup

NIT	SSQ	ThetaR	ThetaS	Alpha	n
0	0.76804	0.057	0.41	0.124	2.28
1	0.27738	0.078	0.4233	0.0368	1.6262
2	0.03992	0.107	0.4922	0.0082	1.3885
3	0.00237	0.0564	0.5155	0.0072	1.5746
4	0.00117	0.0666	0.5123	0.0062	1.6804
5	0.00047	0.0801	0.5081	0.0057	1.7832
6	0.00033	0.1023	0.5002	0.0049	1.9695
7	0	0.1001	0.5	0.005	1.9994
8	0	0.1	0.5	0.005	2
9	0	0.1	0.5	0.005	2

Průběh iterací

NIT	SSQ	ThetaR	ThetaS	Alpha	n
0	0.76804	0.057	0.41	0.124	2.28

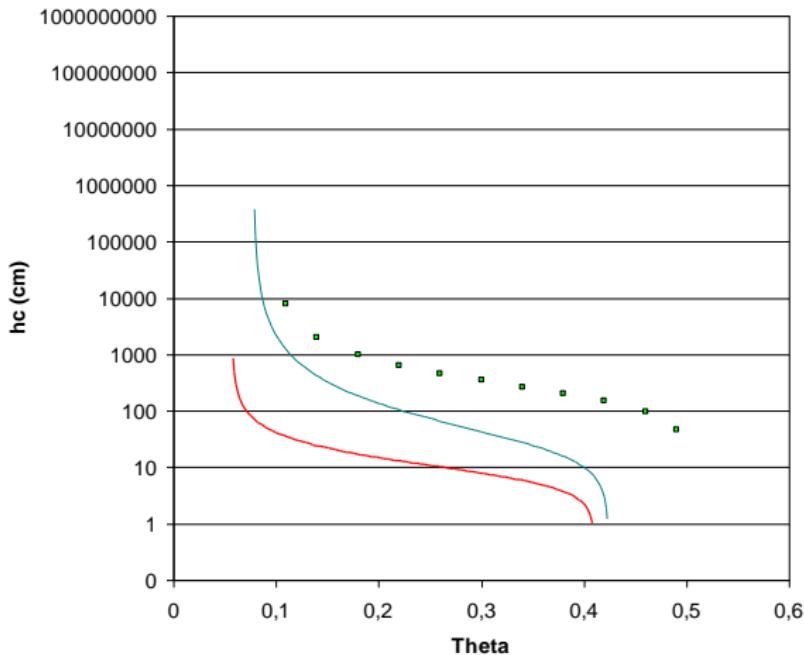


Měřené body

theta	h [cm]
0.5	0
0.49	46
0.46	97
0.42	150
0.38	204
0.34	267
0.3	346
0.26	458
0.22	636
0.18	980
0.14	1990
0.11	7998

Průběh iterací

NIT	SSQ	ThetaR	ThetaS	Alpha	n
0	0.76804	0.057	0.41	0.124	2.28
1	0.27738	0.078	0.4233	0.0368	1.6262

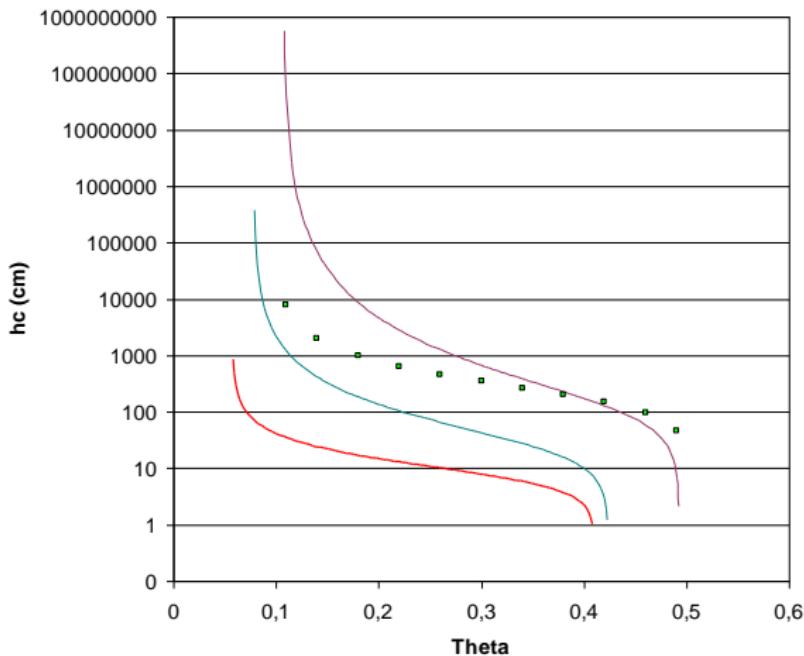


Měřené body

theta	h [cm]
0.5	0
0.49	46
0.46	97
0.42	150
0.38	204
0.34	267
0.3	346
0.26	458
0.22	636
0.18	980
0.14	1990
0.11	7998

Průběh iterací

NIT	SSQ	ThetaR	ThetaS	Alpha	n
0	0.76804	0.057	0.41	0.124	2.28
1	0.27738	0.078	0.4233	0.0368	1.6262
2	0.03992	0.107	0.4922	0.0082	1.3885
3	0.00237	0.0564	0.5155	0.0072	1.5746

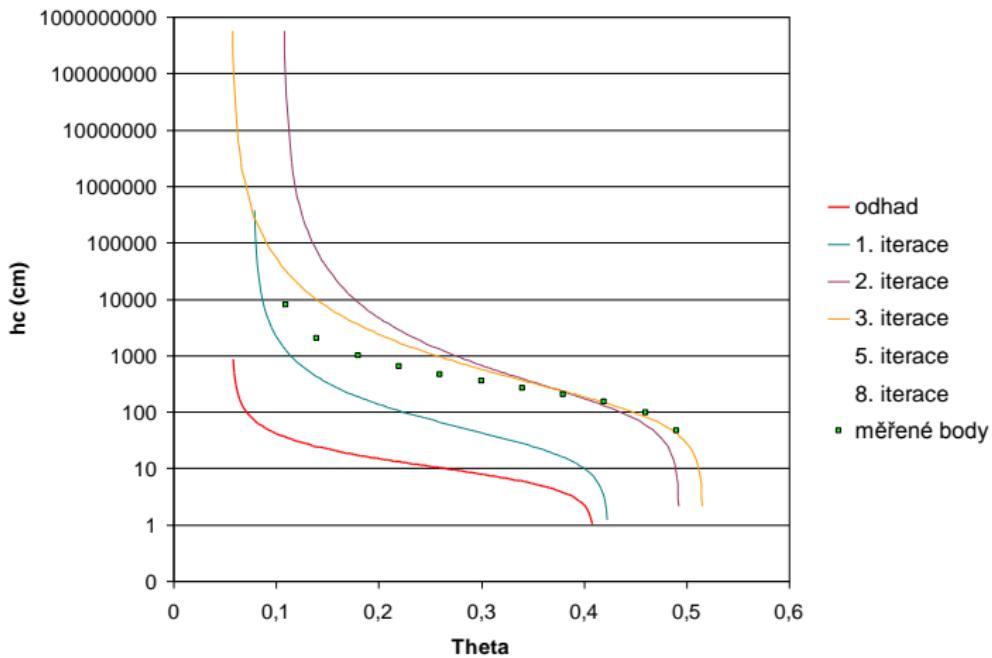


Měřené body

theta	h [cm]
0.5	0
0.49	46
0.46	97
0.42	150
0.38	204
0.34	267
0.3	346
0.26	458
0.22	636
0.18	980
0.14	1990
0.11	7998

Průběh iterací

NIT	SSQ	ThetaR	ThetaS	Alpha	n
0	0.76804	0.057	0.41	0.124	2.28
1	0.27738	0.078	0.4233	0.0368	1.6262
2	0.03992	0.107	0.4922	0.0082	1.3885
3	0.00237	0.0564	0.5155	0.0072	1.5746

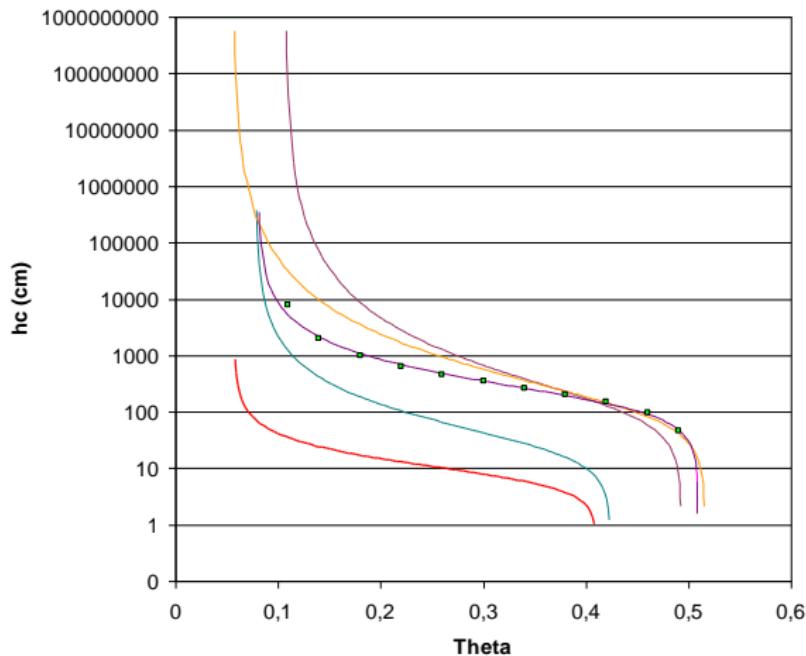


Měřené body

theta	h [cm]
0.5	0
0.49	46
0.46	97
0.42	150
0.38	204
0.34	267
0.3	346
0.26	458
0.22	636
0.18	980
0.14	1990
0.11	7998

Průběh iterací

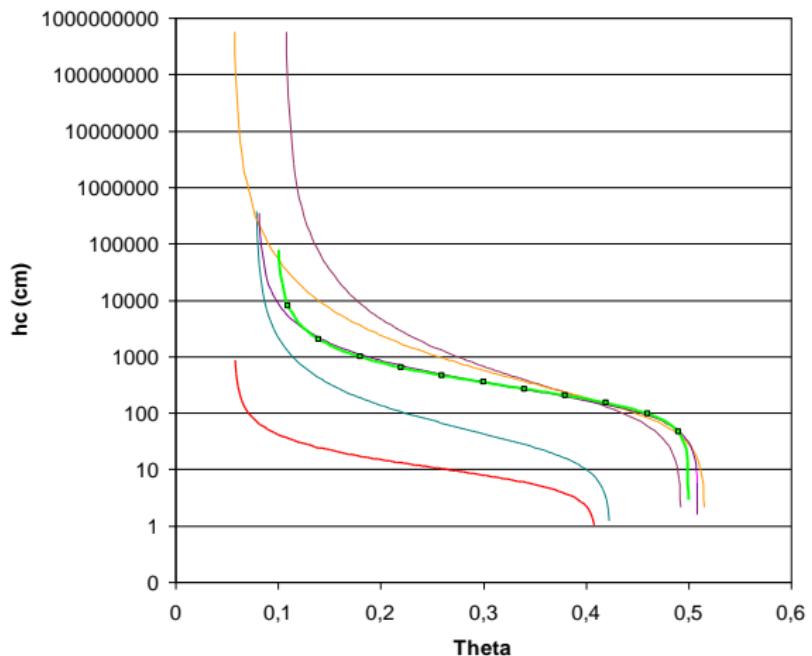
NIT	SSQ	ThetaR	ThetaS	Alpha	n
0	0.76804	0.057	0.41	0.124	2.28
1	0.27738	0.078	0.4233	0.0368	1.6262
2	0.03992	0.107	0.4922	0.0082	1.3885
3	0.00237	0.0564	0.5155	0.0072	1.5746
4	0.00117	0.0666	0.5123	0.0062	1.6804
5	0.00047	0.0801	0.5081	0.0057	1.7832



Měřené body

	theta	h [cm]
	0.5	0
	0.49	46
	0.46	97
	0.42	150
	0.38	204
	0.34	267
▪	0.3	346
	0.26	458
	0.22	636
	0.18	980
	0.14	1990
	0.11	7998

Průběh iterací



NIT	SSQ	ThetaR	ThetaS	Alpha	n
0	0.76804	0.057	0.41	0.124	2.28
1	0.27738	0.078	0.4233	0.0368	1.6262
2	0.03992	0.107	0.4922	0.0082	1.3885
3	0.00237	0.0564	0.5155	0.0072	1.5746
4	0.00117	0.0666	0.5123	0.0062	1.6804
5	0.00047	0.0801	0.5081	0.0057	1.7832
6	0.00033	0.1023	0.5002	0.0049	1.9695
7	0	0.1001	0.5	0.005	1.9994
8	0	0.1	0.5	0.005	2
9	0	0.1	0.5	0.005	2

Měřené body

theta	h [cm]
0.5	0
0.49	46
0.46	97
0.42	150
0.38	204
0.34	267
0.3	346
0.26	458
0.22	636
0.18	980
0.14	1990
0.11	7998

Úkol 1 - odvození z měřených dat

Data pro odvození retenční čáry jsou měřena ve dvou půdních horizontech pomocí pískového tanku a přetlakového aparátu.

Použijte program RETC pro odvození parametry RČ podle van Genuchtena a Brooks & Corey.

1. Odvod'te parametry: θ_r , θ_s a α , n (van Genuchten) a θ_r , θ_s h_b , a λ (B&C)
2. Vyneste měřené a parametrizované retenční čáry do společného grafu.

Data jsou v tabulce na konci prezentace.

Odevzdejte Excel s vynesenými měřenými a parametrizovanými retenčními čarami podle van Genuchtena i Brookse a Coreyho pro obě pudy. Mimo grafů ukažte i odvozené parametry.

Úkol 2 - odvození pomocí pedotransferových funkcí

Ze vzorků v terénu byla odvozena půdní textura a objemová hmotnost dvou půdních horizontů.

Použijte program ROSETTA k odvození parametrů RČ podle van Genuchtena.

1. Odvod'te parametry: α , n , θ_r a θ_s .
2. Vyneste měřené a parametrizované retenční čáry do společného grafu. (pozn.: Měřená data tlaků a objemové vlhkosti pro tento úkol k odvození nepotřebujete, slouží pouze k porovnání měření a odvození pomocí PTF.)

Potřebná data jsou na konci prezentace.

Odevzdejte Excel s vynesenými parametrizovanými retenčními čarami podle van Genuchtena s parametry odvozenými pedotransferovými funkcemi. Mimo grafů ukažte i odvozené parametry.

Úkol 3 - rozdělení velikosti pórů

Odvodte pomocí RČ rozdělení velikosti pórů.

Provedte numerickou derivaci retenční čáry podle van Genuchtena pro obě půdy (použijte efektivní objemovou vlhkost). Použijte rozumné rozpětí sacího tlaku, které odhadněte ze vstupní hodnoty vzduchu (např.: pokud je $h_b = 3$ cm užijte rozpětí tlaků 0 - 9 cm, s dostatečně jemným krokem).

$$\frac{\partial \theta_e}{\partial h} = \frac{\theta_{e,i+1} - \theta_{e,i}}{h_{i+1} - h_i}$$

Převeďte kapilární tlak na ekvivalentní poloměr póru podle Laplaceova vzorce pro kruhovou kapiláru.

$$h = \frac{2\sigma \cos \gamma}{rg\rho_w}$$

kde h je kapilární tlak, σ je povrchové napětí vody (vygooglujte ...), γ je kontaktní úhel na styku fází ($\gamma = 0$), g je gravitační zrychlení a ρ_w hustota vody a r poloměr kapiláry.

Odevzdejte Excel s vneseným rozdělením velikosti pórů obou půd.

Data k úkolu 1

SOIL 1

h (cm)	Water cont.
1	0.365
10	0.232
30	0.177
58	0.149
89	0.137
500	0.119
6000	0.107
Ks = 280 cm/day	

SOIL 2

h (cm)	Water cont.
1	0.310
10	0.268
30	0.241
58	0.199
89	0.177
500	0.152
6000	0.137
Ks = 65 cm/day	

Obrázek: Measure data of two soils.

Data k úkolu 2

Koefficienty:

A ... počet písmen ve Vašem křestním jméně

B ... počet písmen ve Vašem příjmení

$$\text{objemová hmotnost } \rho_b = 1.5 + 0.1 * (A/3) \text{ g/cm}^3$$

Textura:

Jíl: $(A + B)$ %

Prach: $(55 + B)$ %

Písek: $100 - (\text{clay} + \text{silt})$ %

References

RETC: Manuál + program: www.pc-progress.com/

ROSETTA: Manuál + program: cals.arizona.edu/

Schaap et al., 2001. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions, Journal of Hydrology: link