

143YTPR - Transportní procesy

Hydraulické vlastnosti půd

Jakub Jeřábek

3. března 2023

Transport v porézním prostředí lze řešit pomocí Richardsovy rovnice.

Richards equation

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

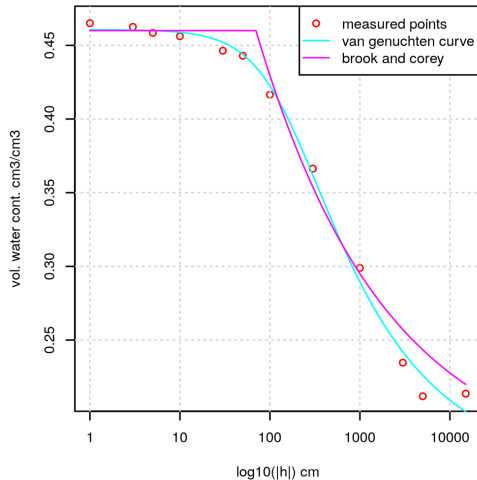
Pro řešení rovnice je nutná znalost popisovaného prostředí půda-voda. Popisujeme pomocí hydraulických charakteristik:

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

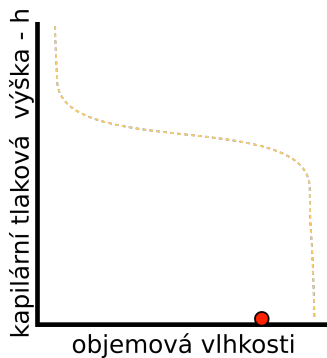
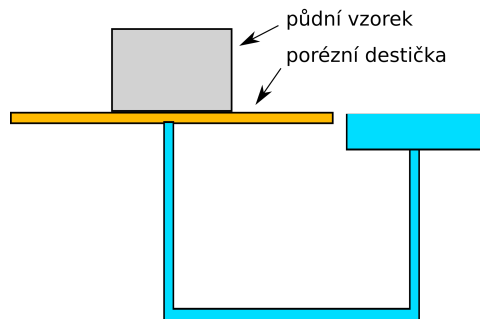
Hydraulické vlastnosti půd lze **měřit** nebo určit pomocí **pedotransferových funkcí**.

Retenční čára

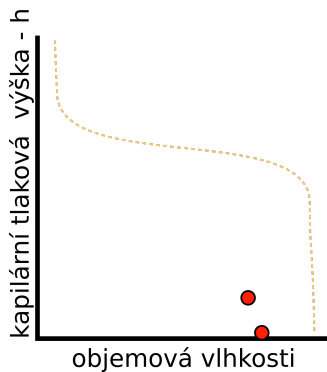
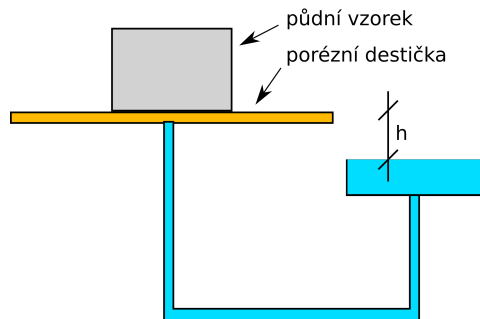
RČ popisuje vztah mezi **sacím tlakem** a **objemovou vlhkostí**.



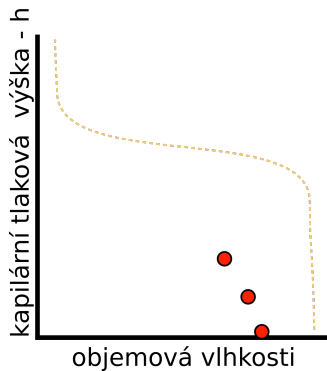
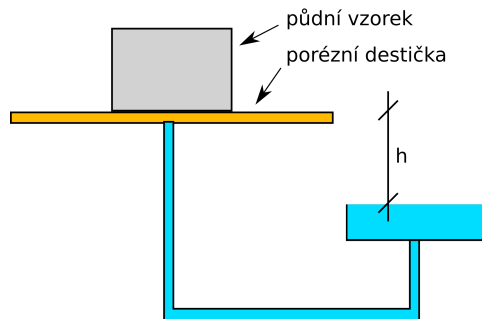
Measurement procedure



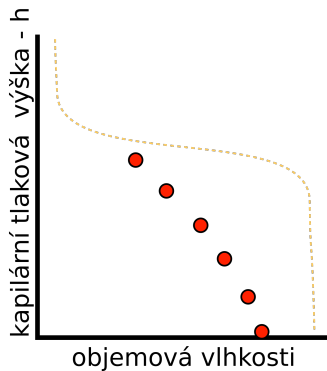
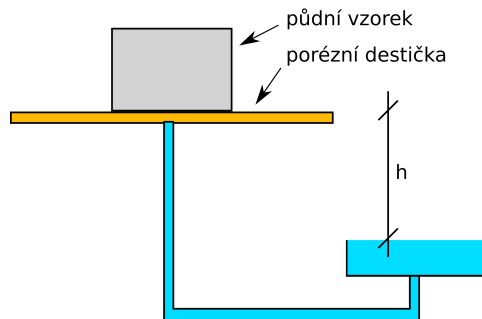
Measurement procedure



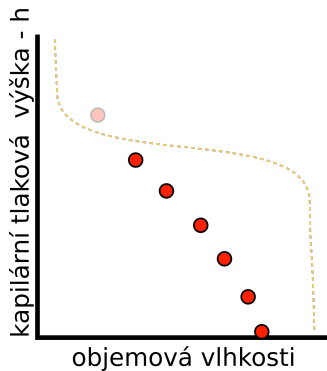
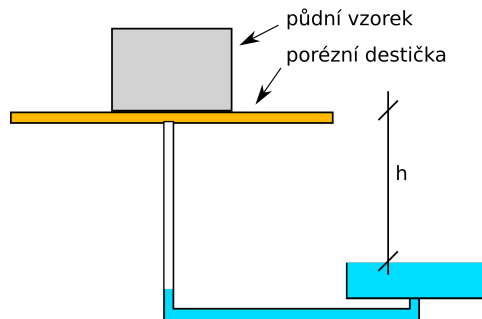
Measurement procedure



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 barů

výparoměrná metoda - tlaky až do 12000 hPa

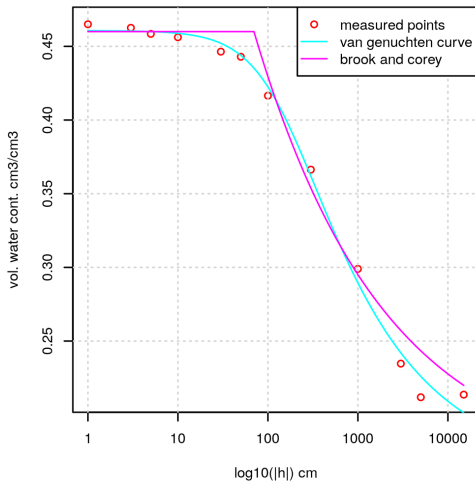
100 cm (vodního sloupce) $\sim$ 100 hPa $\sim$ 0.1 bar

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 $\alpha [L^{-1}]$, $n [-]$, a $m [-]$ jsou „fitované“ parametry.

$$\alpha = 1/h_b$$

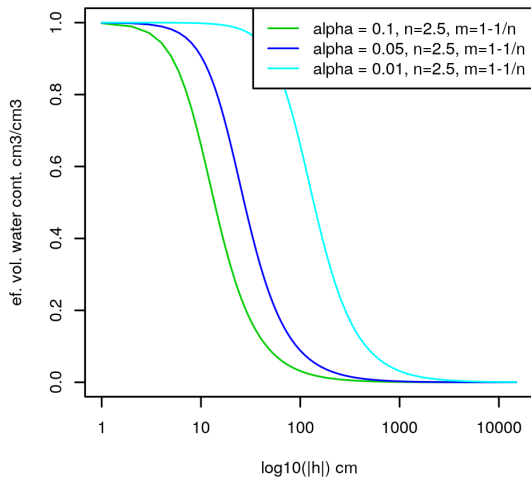
$$\theta_e = (\theta - \theta_r)/(\theta_s - \theta_r), \text{ and}$$

m is often

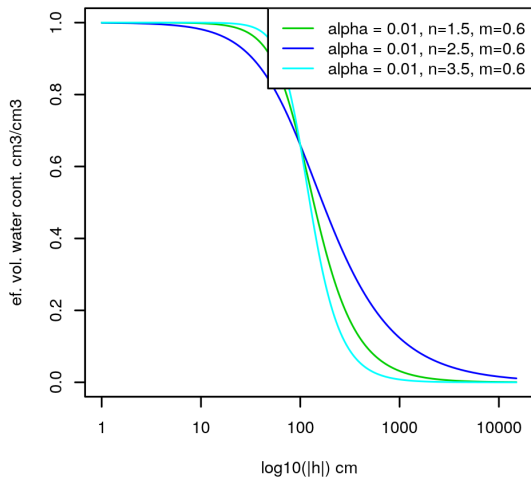
$$m = 1 - 1/n$$

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

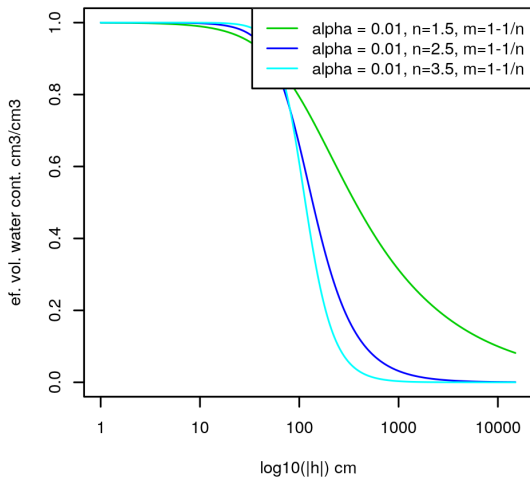
van Genuchten RČ



van Genuchten RC



van Genuchten RC



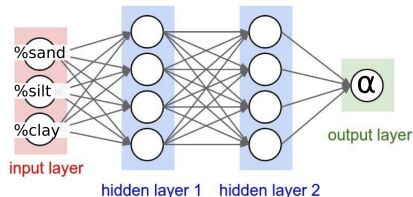
Pedotransferové funkce PTF

- ▶ 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.

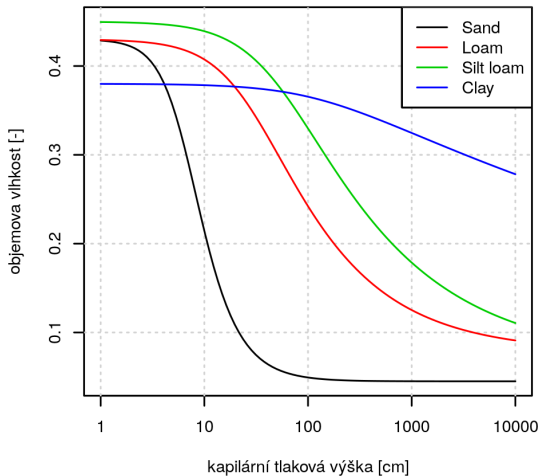
Regression analyses

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

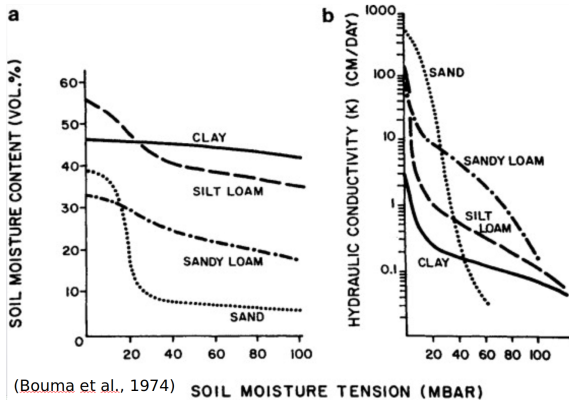
Artificial neural network



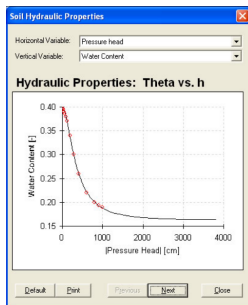
van Genuchten - Pedotransferové funkce



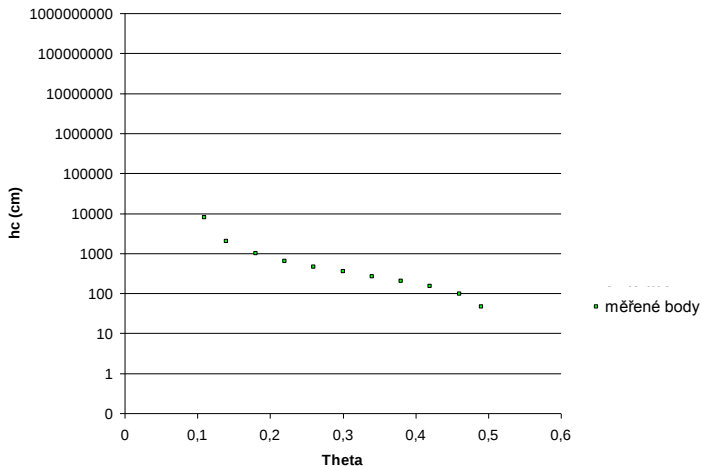
Retenční čára



- ▶ 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 pórů)
- ▶ obsahuje neuronovou síť ROSETTA.



Optimalizace parametrů pomocí RETC



Měřené body

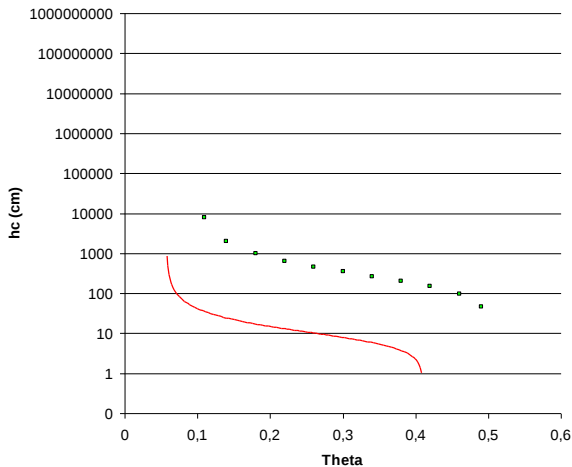
theta	h [cm]
0.5	0
0.49	46
0.46	97
0.42	150
0.38	204
0.34	267
0.3	346
0.26	458
0.22	636
0.18	980
0.14	1990
0.11	7998

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

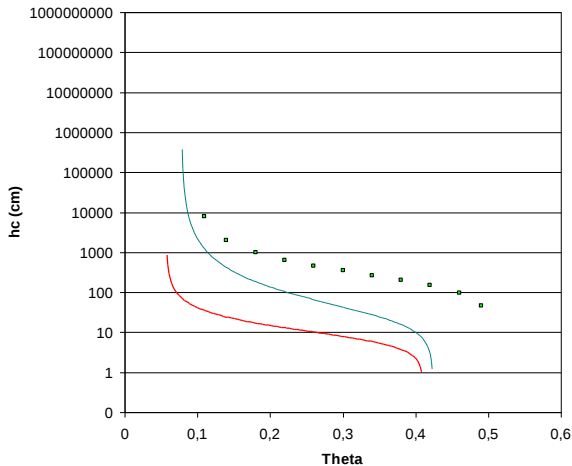


Měřené body

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

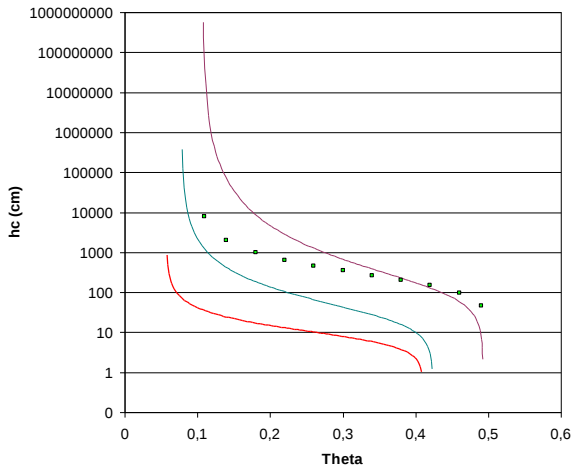


Měřené body

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

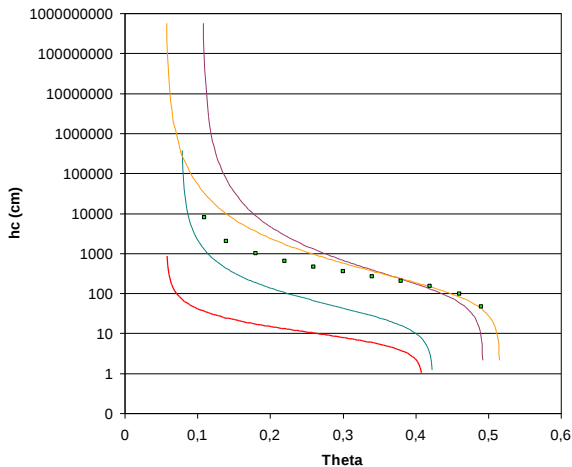


Měřené body

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

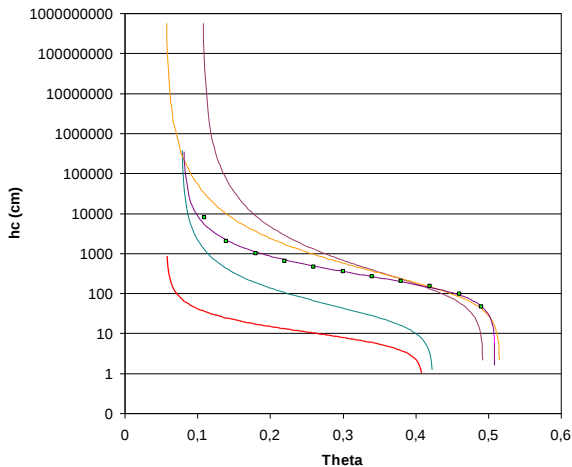


Měřené body

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

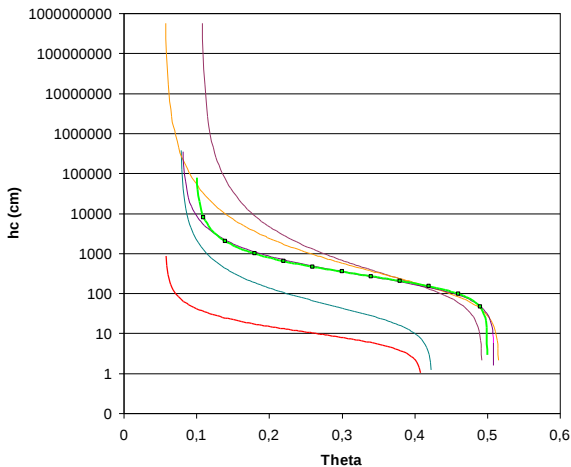
NIT	SSQ	ThetaR	ThetaS	Alpha	n
0	0.76804	0.057	0.41	0.124	2.28
1	0.27738	0.078	0.4233	0.0368	1.6262
2	0.03992	0.107	0.4922	0.0082	1.3885
3	0.00237	0.0564	0.5155	0.0072	1.5746
4	0.00117	0.0666	0.5123	0.0062	1.6804
5	0.00047	0.0801	0.5081	0.0057	1.7832



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

- odhad
- 1. iterace
- 2. iterace
- 3. iterace
- 5. iterace
- 8. iterace
- měřené body

Úkol 1 - odvození RČ 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. Odvoďte 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.

Úkol 2 - odvození pomocí pedotransferových funkcí

Z porušeného vzorku v terénu byla odvozena čára zrnitosti a objemová hmotnost dvou půdních horizontů.

Použijte program ROSETTA k odvození parametrů RČ podle van Genuchtena.

1. Odvoďte parametry: α , n , θ_r a θ_s .
2. Vyneste parametrizovanou retenční čáru do společného grafu s úkolem 1.

Potřebná data jsou na konci prezentace.

Úkol 3 - Voda v půdním profilu.

V půdním profilu bylo instalováno několik tenzometrů (tenzometrové hnízdo) v několika hloubkách. Půdní profil je složen ze tří půd a je známa pozice hladiny podzemní vody.

Analyzujte s využitím van Genuchtenovi RČ z předchozích úkolů vodní režim v půdě v daném čase. Využijte měření tenzometrů i znalost pozice hladiny podzemní vody.

1. Vyneste tlakovou výšku, celkový potenciál a objemovou vlhkost jako funkci hloubky.
2. Určete jaké je množství vody v půdním profilu nad hladinou pozemní vody.

Hodnoty tenzometrů a jejich hloubka instalace lze odečíst z obrázku níže.

1. Jaká data jsou potřeba k vyhodnocení retenční čáry pomocí programu RETC?
2. Jaká je vstupní hodnota vzduchu obou půd?
3. Při jakém tlakové výšce mají půdy 1 a 2 stejnou objemovou vlhkost?
4. Která půda je spíše písek, která je spíše písčito-hlinitá, a která je jílovitá?
5. Kolik je vody v půdním profilu?
6. Jakým směrem proudí voda v půdním profilu?

Odevzdejte Excel s vypracovanými úkoly 1 až 3 a zodpovězenými otázkami. Osobně nebo na email jakub.jerabek@fsv.cvut.cz.

Data k úkolu 1

Půda 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

$K_s = 280 \text{ cm/day}$

Půda 2

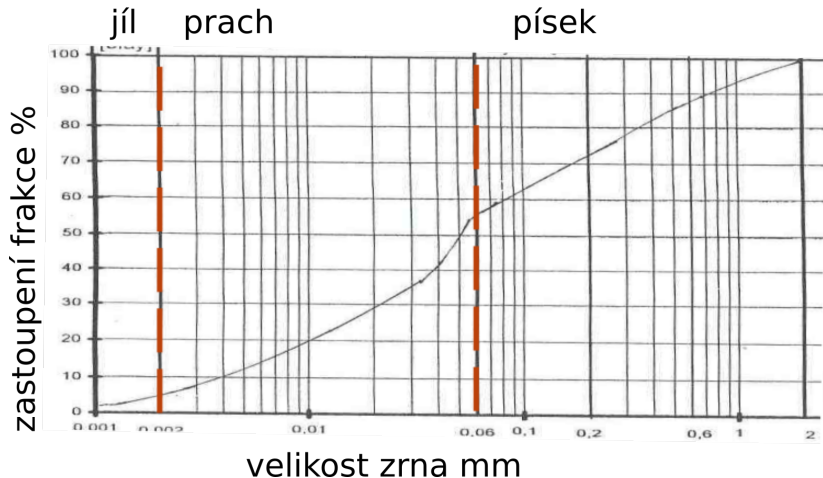
- h (cm)	Water cont.
1	0.310
10	0.268
30	0.241
58	0.199
89	0.177
500	0.152
6000	0.137

$K_s = 65 \text{ cm/day}$

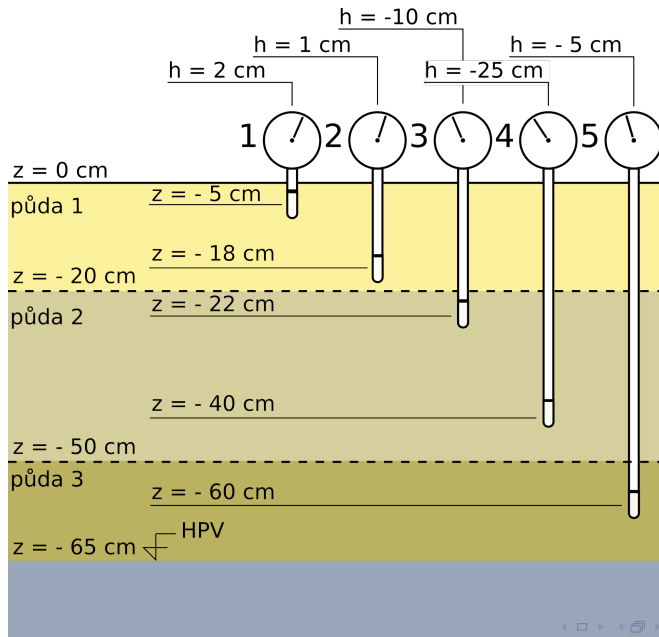
Obrázek: Measured data of two soils.

objemová hmotnost: $\rho_b = 1.95 \text{ g/cm}^3$

Půda 3



Data k úkolu 3



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