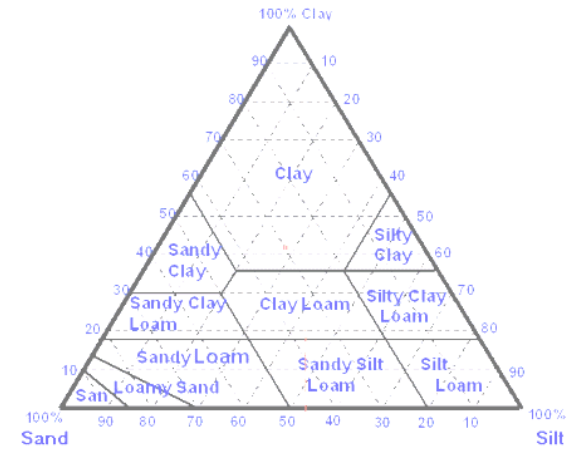
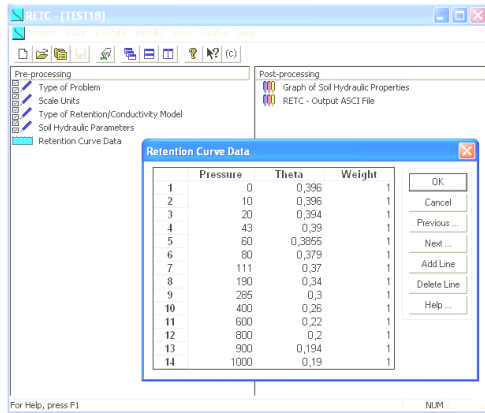


RETIC

UNSODA

ROSETTA



Určování hydraulických charakteristik

2. cvičení

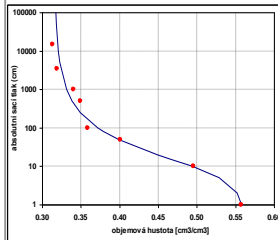
Úvod

Simulační modely popisující proudění vody porézním prostředím řeší **Richardsovu rovnici**.

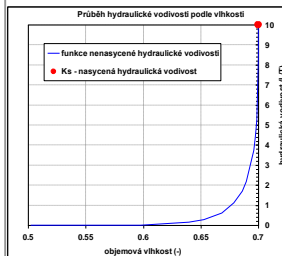
$$C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(h) \frac{\partial h}{\partial x} + K(h) \right)$$

Pro řešení rovnice je nutná znalost popisovaného prostředí půdovoda. Popisujeme pomocí **hydraulických charakteristik**:

- **retenční křivka**: fce závislosti sacího tlaku na vlhkosti (parametricky – van Genuchten, Brooks a Corey)



- **křivka hydraulické vodivosti**: fce závislosti hydraulické vodivosti na sacím tlaku (resp. vlhkosti) (teorie kapilárních modelů – Mualem, Burdin)



Hydraulické charakteristiky lze určit **měřením**, nebo pomocí **pedotransferových funkcí**.

RETC

UNSODA

ROSETTA

Příklad

Retenční čára půdní vlhkosti – měření

Měříme jednotlivé body retenční křivky (drenážní větev):

- 1/ drénování vzorku při nastaveném podtlaku
- 2/ ustálený stav (objem vody v půdě je konstantní)
- 3/ gravimetrické určení vlhkosti

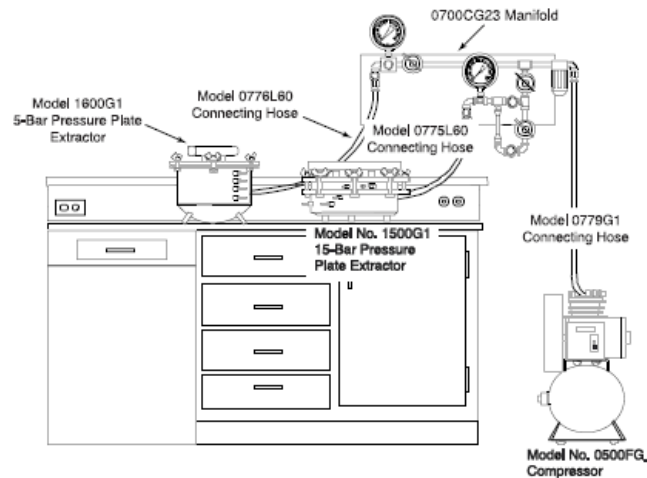
RETC - měření

UNSODA

Pro tlaky 0 – 1 m (teoreticky max. 10 m) lze použít **pískový (jílový) tank**.

ROSETTA

Pro větší tlaky (cca do 15 bar) **přetlakový aparát**.



zdroj: www.silmoisture.com



1500, 15 Bar Ceramic Plate Extractor
(shown with PM Hinge attached)



1500, with soil in sample retaining
rings

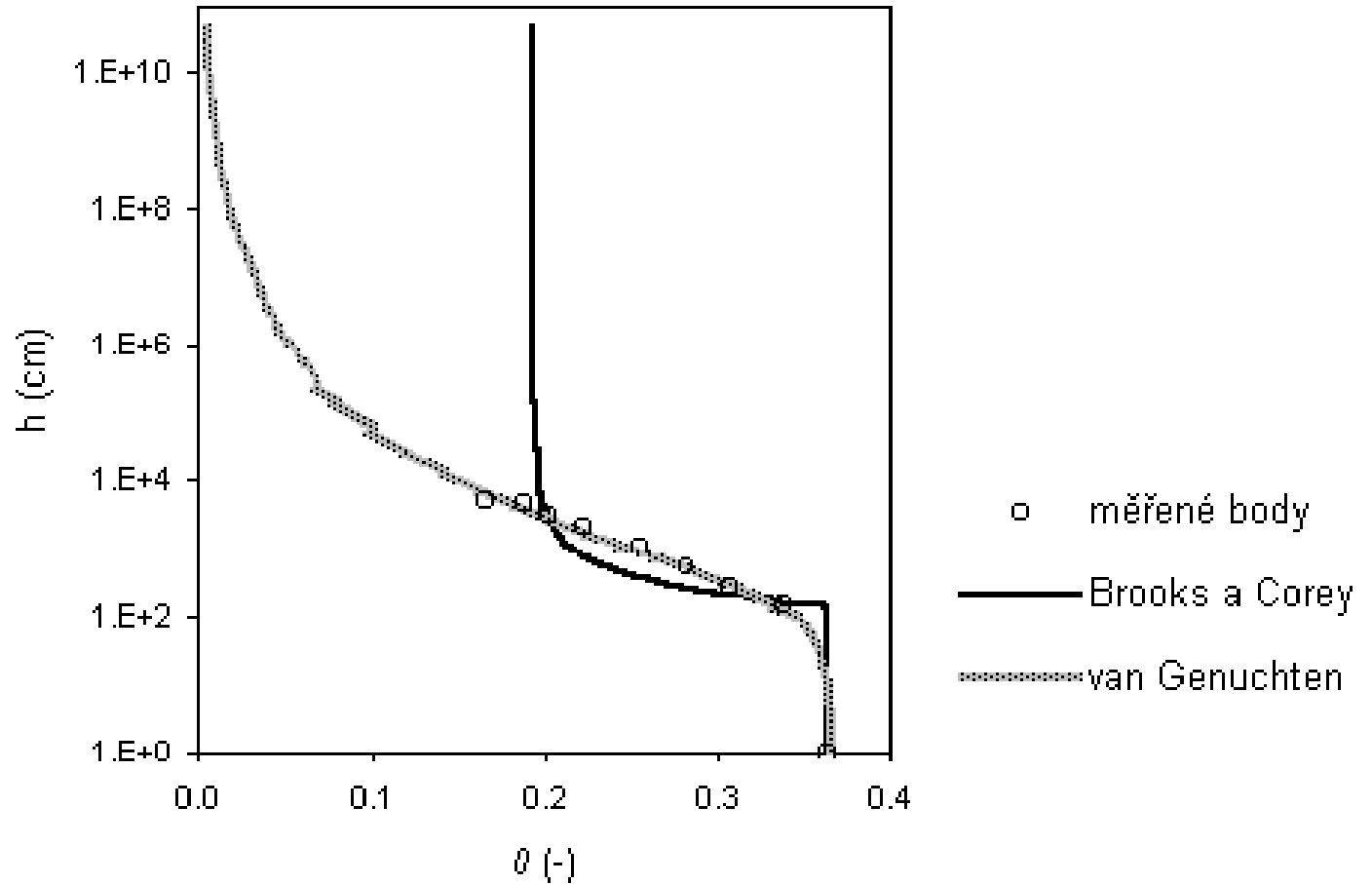


Retenční čára půdní vlhkosti – proložení

RETC-proložení

UNSODA

ROSETTA



ANALYTICKÉ VYJÁDŘENÍ RETENČNÍ ČÁRY

Prokládání měřených bodů analytickým výrazem

Nejužívanější výrazy pro retenční čáru:

Brooks a Corey (1964)

$$\theta_e(h) = \begin{cases} \left(\frac{H_b}{h}\right)^\lambda & h < H_b \\ 1 & h \geq H_b \end{cases}$$

$$\lambda = m n \quad H_b = 1 / \alpha$$

λ a H_b parametry (λ – *pore size distribution index*, H_b – *bubling pressure*)

θ_e *efektivní vlhkost*

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

θ_s *nasycená vlhkost*

θ_r *residuální vlhkost*

RETC-vyjádření

UNSODA

ROSETTA

van Genuchten (1978)

RETC-vyjádření

$$\theta_e(h) = \begin{cases} \frac{1}{\left(1 + (-\alpha h)^n\right)^m} & h < 0 \\ 1 & h \geq 0 \end{cases}$$

UNSODA

ROSETTA

α , n a m jsou fitovací parametry

Obvykle m je dané jako $m = 1 - 1/n$, parametr n **musí být** > 1

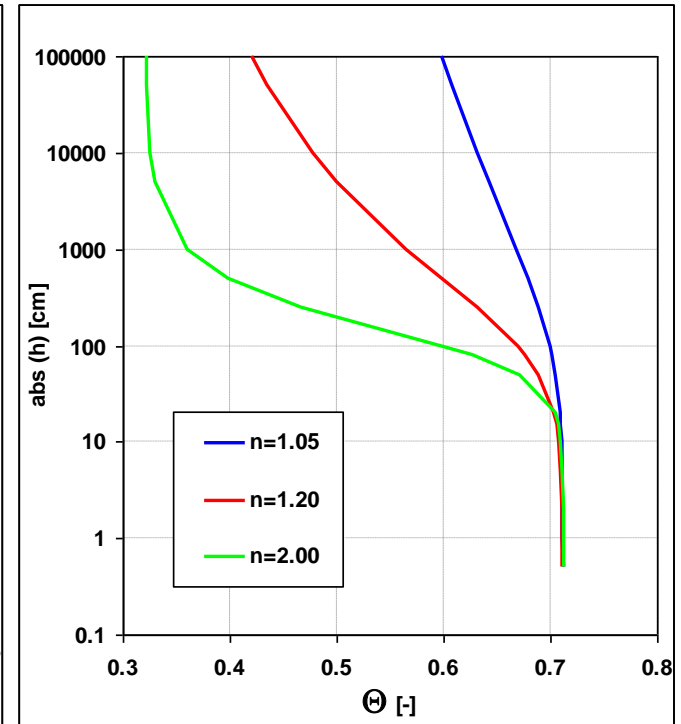
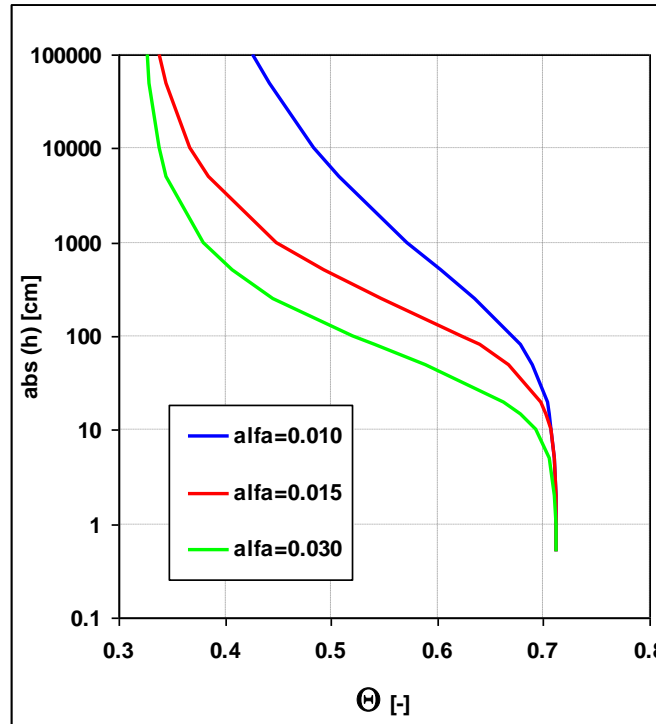
často se užívá výraz **efektivní nasycenost**, vyjádřená symboly S nebo S_e

RETC

UNSODA

ROSETTA

$$\theta_E = \frac{1}{(1 + (\alpha|h|)^n)^m}$$



van Genuchtenův vztah je vhodný pro matematické modelování, retenční křivka je hladká funkce – derivovatelná ve všech bodech (na rozdíl od Brooks-Corey)
fyzikální význam vstupní hodnoty vzduchu je mírně znevýrazněn

program pro analýzu hydraulických charakteristik proměnlivě nasycených půd

RETC-program

prokládání retenčních čar měřenými body (parametrické modely Brookse-Coreyho a van Genuchtena)

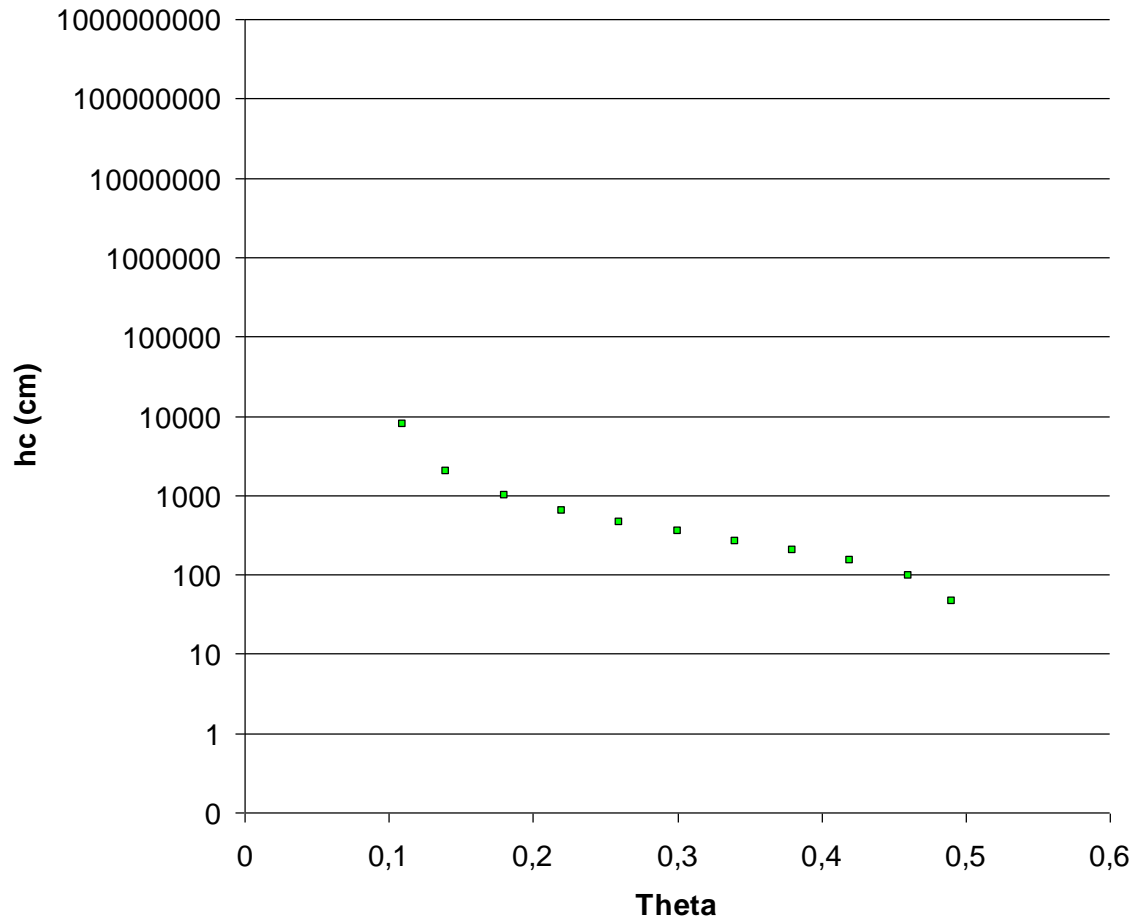
odhad průběhu nenasyčené hydraulické vodivosti dle kapilárních modelů (Mualem, Burdin – teoretické rozložení pórů)

Van Genuchten, Leij, Yates – USDA, ARS, USSL, Riverside CA
(volně stažitelný program + manuál)

UNSODA

ROSETTA

Optimalizace parametrů pomocí RETC



Měřené body

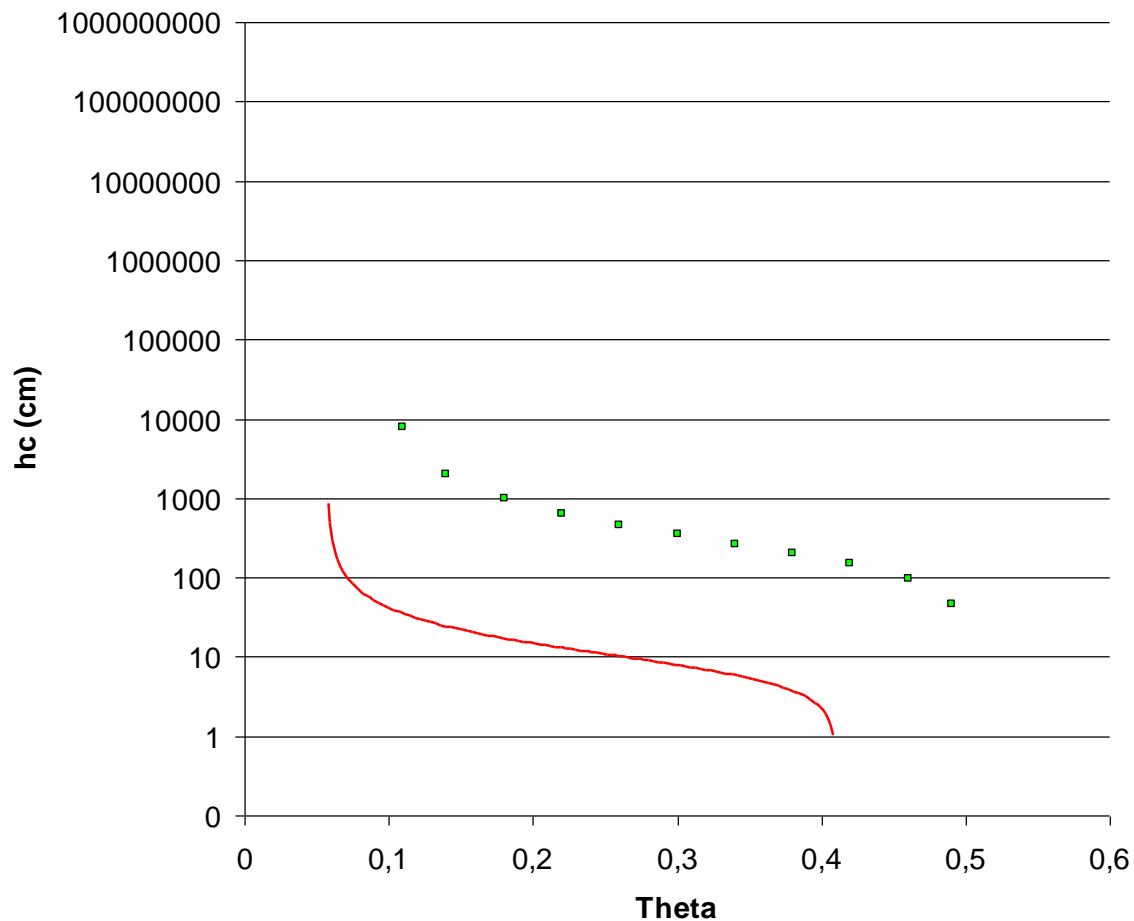
theta	h [cm]
0.5	0
0.49	46
0.46	97
0.42	150
0.38	204
0.34	267
0.3	346
0.26	458
0.22	636
0.18	980
0.14	1990
0.11	7998

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

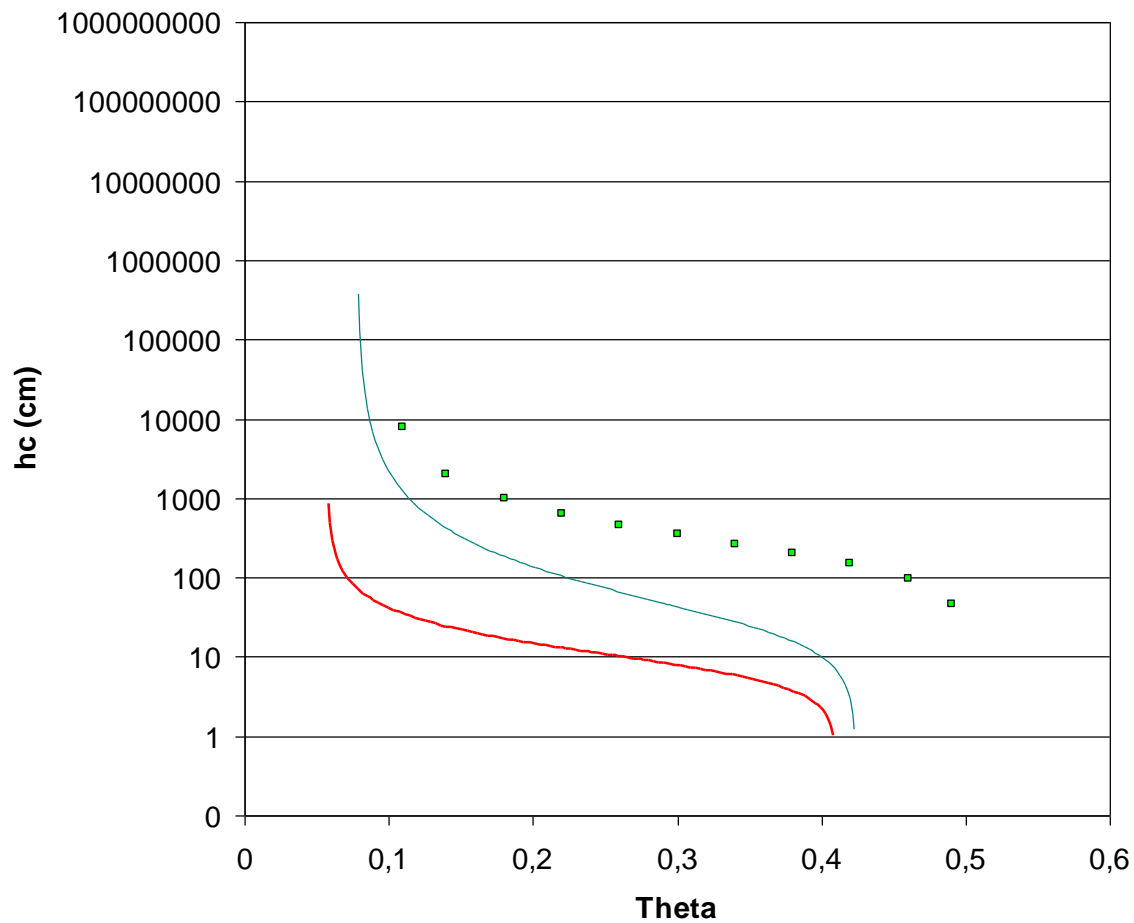


Měřené body

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



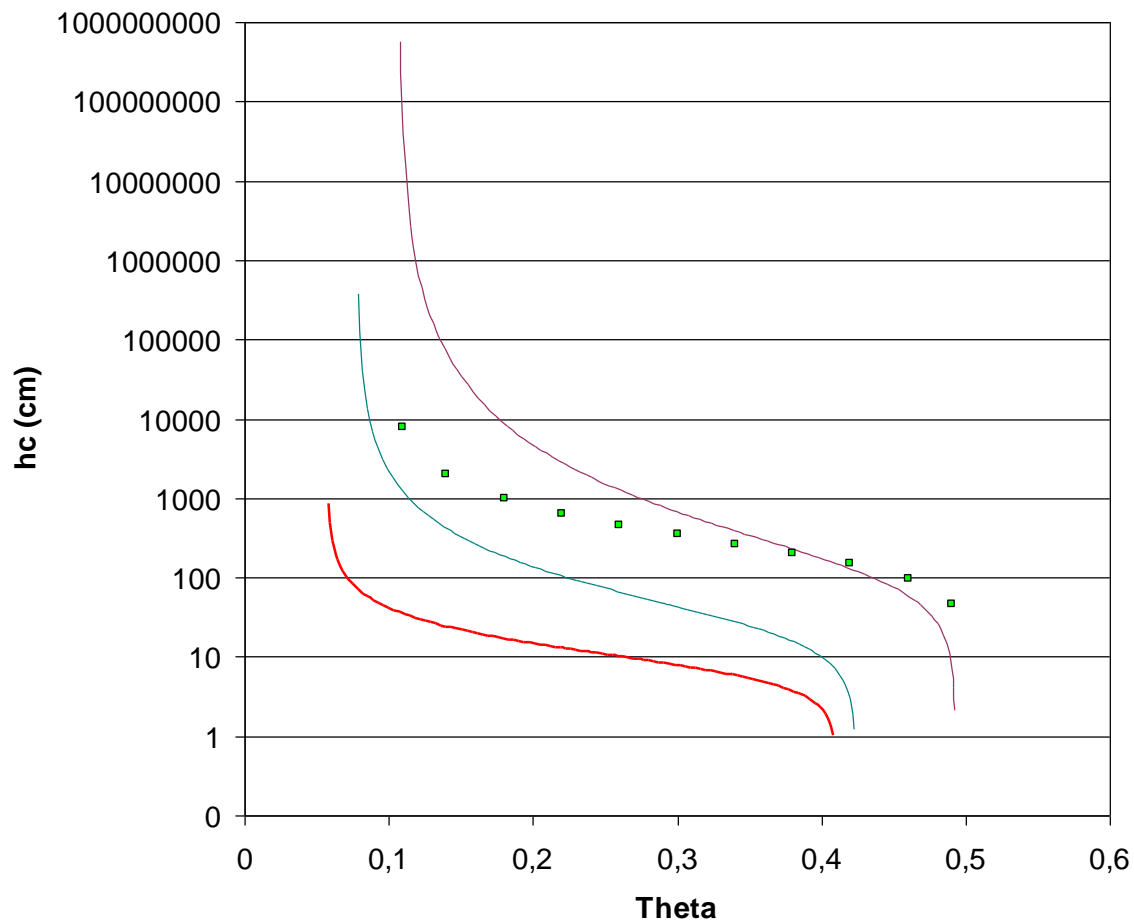
Měřené body

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

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

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



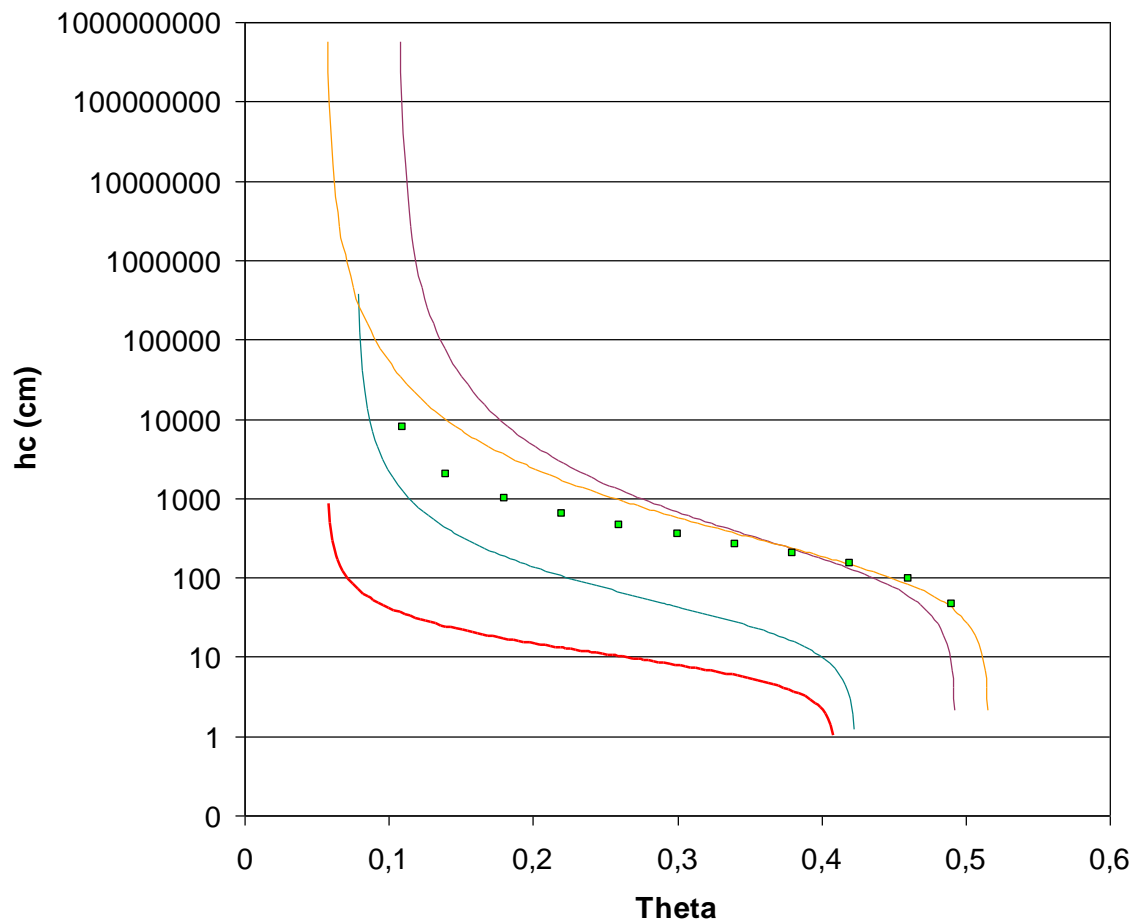
Měřené body

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

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

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



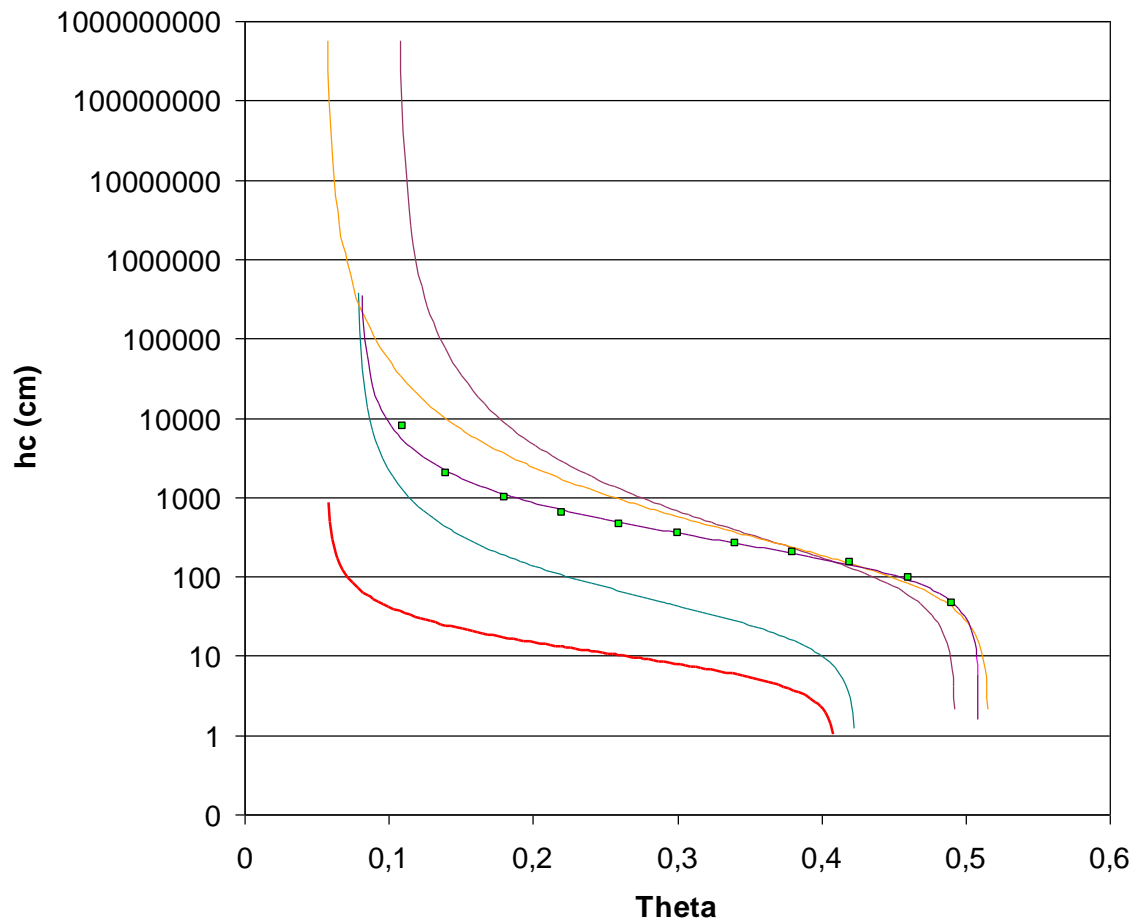
Měřené body

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

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

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



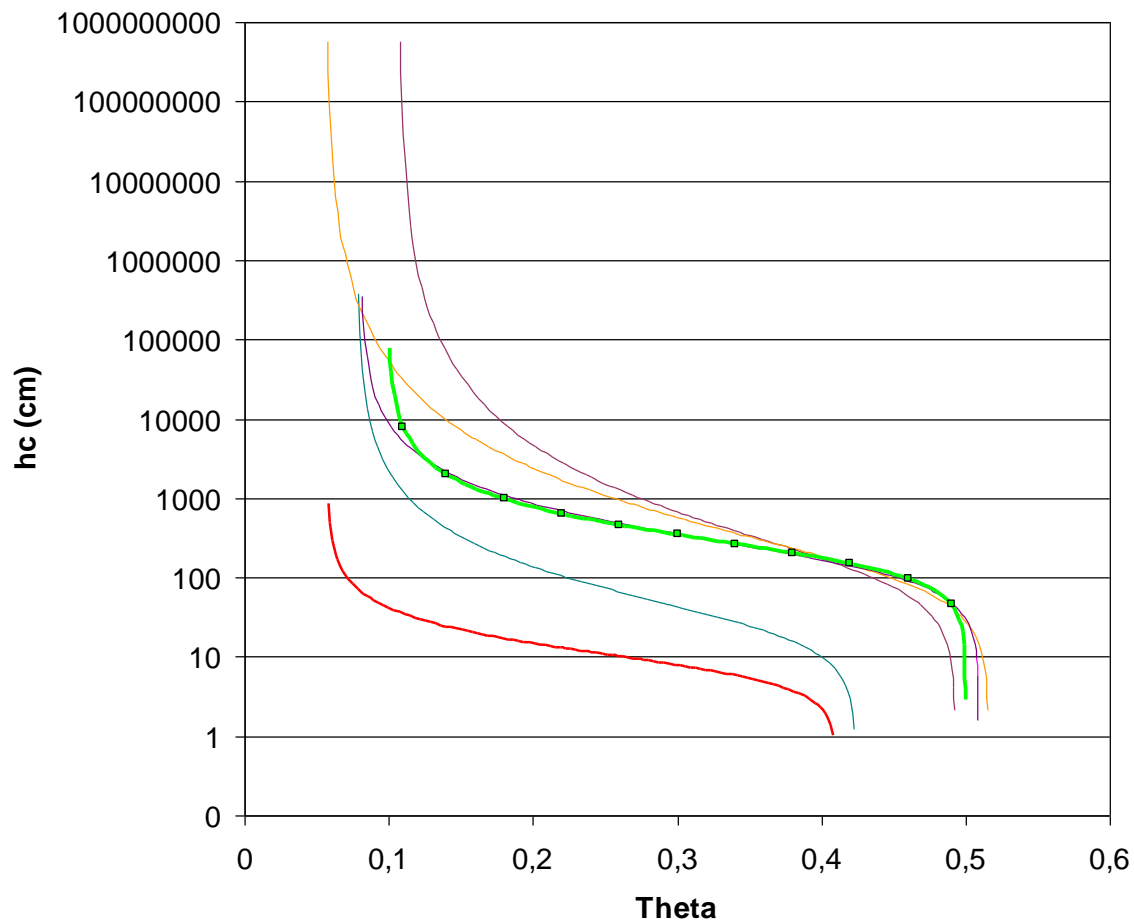
Měřené body

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

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

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

Retenční křivka

- charakterizuje pórovité prostředí z hlediska jeho prázdnění a plnění
- závislost mezi tlakovou výškou h a objemovou hmotností θ
- závisí zejména na struktuře pevné látky, ale i na vlastnostech ostatních fází

• získává se měřením – body se prokládají funkčním vztahem (**van Genuchten** 1976, Brooks a Corey 1964)

• hystereze

<http://euclid.ucc.ie/appliedmath/soilhyst/node17.htm>

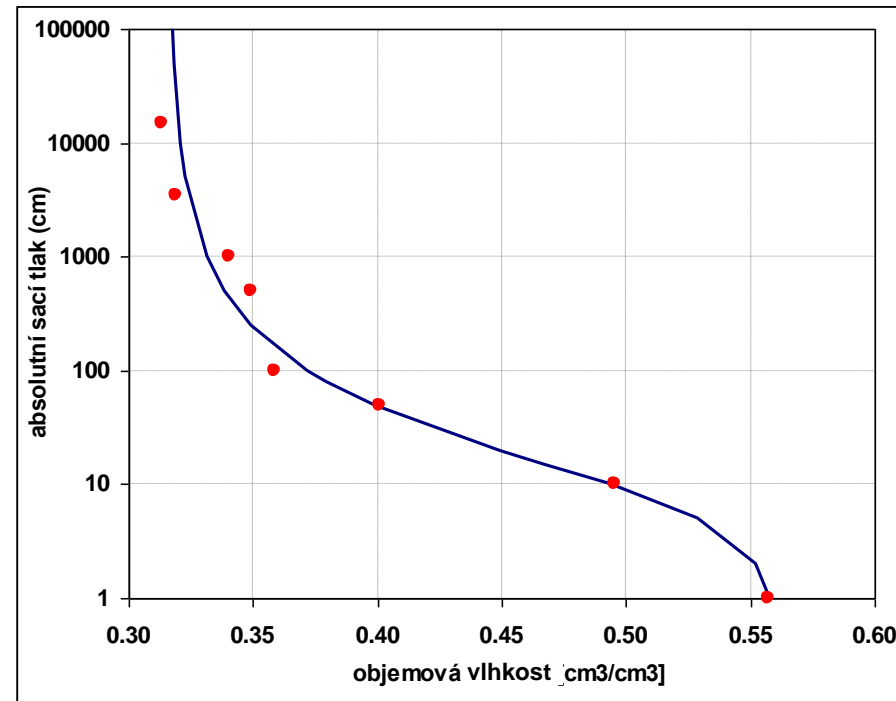
$$\theta_E = \frac{1}{(1 + (\alpha|h|)^n)^m}$$

h [L] je kapilární tlak,
 α [L⁻¹], n a m jsou optimalizační parametry

$$\theta_E = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

θ_E ... efektivní vlhkost
 θ ... vlhkost
 θ_s ... nasycená vlhkost
 θ_r ... reziduální vlhkost

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad n > 1$$



Pedotransferové funkce

Často nejsou z časových a finančních důvodů k dispozici měření retenční čáry, přesto tyto charakteristiky retence potřebujeme, nezřídka pro velmi rozsáhlá území.

Nepřímé metody pro zjištění hydraulických charakteristik se často klasifikují jako pedotransferové fce. Na základě dostupných nebo lehce měřitelných vlastností prostředí (zrnitostní složení, objemová hmotnost, obsah humusu,...) odhadují hydraulické charakteristiky.

RETC

UNSODA

ROSETTA



Program Rosetta

funguje na bázi neuronových sítí, slouží pro odhad :

- parametrů retenční křivky dle van Genuchtena
- nasycené hydraulické vodivosti
- průběhu nenasycené hydraulické vodivosti (Mualem - van Genuchten)

RETC

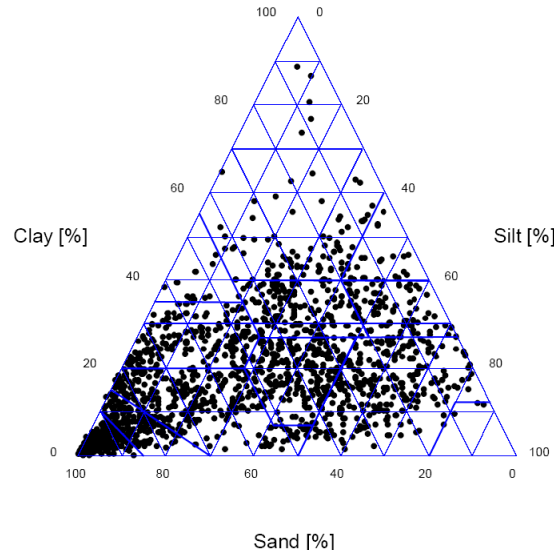
UNSODA

ROSETTA

Pro stanovení pole parametrů retenční křivky bylo použito 2134 půdních vzorků a 20574 měřených bodů retenční křivky z [databáze UNSODA](#), na které byl model ROSETTA natrénován.

Většina půd pocházela z mírných až subtropických pásem severní Ameriky a Evropy.

model je optimalizován metodou nejmenších čtverců kde je minimalizována suma čtvercu odchylek $\theta(h)$, $\log K_s$ a $\log K(h)$ mezi měřeními a předpovídanými hodnotami.



pole měření použitých pro odhad retenčních křivek (Schaap et al., 1998)

Popis:

Na pískovém tanku a v přetlakovém aparátu byly na neporušených půdních vzorcích změřeny body retenční čáry. Výsledkem po změření vzorků je sada 9 dvojic hodnot (kapilární sací tlak a objemová vlhkost).

Úkol:

Použitím programu RETC proveďte proložení měřených bodů matematickou funkcí pro retenční křivku podle van Genuchtena.

Výstupy:

1. parametry retenční křivky podle van Genuchtenovy fce (α , n , θ_r , θ_s)
2. RETENČNÍ KŘIVKA: měřené body s proloženými funkčními závislostmi vyneste
3. HYDRAULICKÁ VODIVOST: vyneste funkční závislost hydraulické vodivosti a sacího tlaku nebo objemové vlhkosti (dle modelu van Genuchten - Mualem)

RETC

UNSODA

ROSETTA

Příklad - A

Popis:

Metodou prosévání na sadě sít v kombinaci s Casagrandeho sedimentační metodou byly na porušených půdních vzorcích stanoveny čáry zrnitosti a z nich následně zrnitostní kategorie pro každý půdní vzorek.

Úkol:

Stanovte parametry retenčních čar podle van Genuchtena. Použijte program ROSETTA.

Výstupy:

1. parametry retenční křivky podle van Genuchtenovy fce (α , n , θ_r , θ_s), stanovené podle zrnitostních tříd.
2. vykreslená retenční křivka společně s retenční čarou z příkladu A

RETC

UNSODA

ROSETTA

Příklad - B

Vstupní data:

h_c [cm]	0 ($=\theta_s$)	10	30	60	120	500	2000	4300	11300	K_s [cm/d]
	0.4346	0.4111	0.4062	0.3727	0.3570	0.3356	0.3050	0.2917	0.2775	$A + B$

koeficienty: *A* ... počet písmen v křestním jméně
 B ... počet písmen v příjmení

Objemová hmotnost půdy ... $1,5 + 0.1*(A/3) \text{ g/cm}^3$

Zrnitostní složení...

- Jílovitý podíl $(A+B) \%$
- Prachový podíl $(55+B) \%$
- Podíl písku $100 - (\text{jíl} + \text{prach}) \%$

RETC:

Manuál + program: <http://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?retc>

ROSETTA:

Manuál + program: <http://cals.arizona.edu/research/rosetta/rosetta.html>

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

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169401004668>)

RETC

UNSODA

ROSETTA

ZDROJE