

143YTPR - Transportní procesy

Hydraulická vodivost

Jakub Jeřábek

February 28, 2022

(Ne)nasyčená hydraulická vodivost (K)

Vyjadřuje tok daného kapaliny daným prostředím.

- ▶ Nasyčená hydraulická vodivost K_s
 - ▶ Skalární nebo tenzorová veličina.
- ▶ Nenasycená hydraulická vodivost K
 - ▶ Funkce sacího tlaku nebo objemové vlhkosti.

nasycená hydraulická vodivost K_s

- ▶ propustnost k je vlastnost pouze porézního materiálu.
- ▶ $K = k \frac{\rho g}{\sigma}$
- ▶ $k \sim K/5$

Jak získat hydraulickou vodivost?

(Ne)nasyčená hydraulická vodivost lze získat

1. laboratorním měřením,
2. měřením v terénu, nebo
3. pomocí parametrů retenční čáry.

Jak získat hydraulickou vodivost?

v laboratoři

V laboratoři

- ▶ K_s lze spočítat pomocí Darcyho zákona.
- ▶ K lze spočítat pomocí Darcy-Buckinghamova zákona.
- ▶ měření průtoku vody +
 - ▶ změny hydraulického gradientu po procích
 - ▶ změny hydraulického gradientu postupná (falling head experiment)
- ▶ Výparoměrná metoda.

Darcy-Buckinghamův zákon

$$q = -K(h)\nabla H$$

- ▶ $H = h + z$
- ▶ $q = -K(h)\frac{dH}{dx}$

Jak získat hydraulickou vodivost?

v laboratoři



Darcyho zákon

$$Q = \frac{K_s A \Delta H}{L}$$

$H_1 = h_1 + z_1$

$H_2 = h_2 + z_2$

srovnávací rovina

$Q =$ průtok vody za jednotkový čas [$L^3 \cdot T^{-1}$]
 $A =$ průtočný průřez [L^2]
 $K_s =$ nasycená hydraulická vodivost [$L \cdot T^{-1}$]
 $\Delta H = H_1 - H_2$ (rozdíl hydraulických výšek) [L]
 $L =$ délka vzorku [L]

platí v plně nasyceném prostředí

Constant and falling head experiment to determine K_s

Jak získat hydraulickou vodivost?

v laboratoři



Evaporation experiment to determine K

Jak získat hydraulickou vodivost?

v terénu

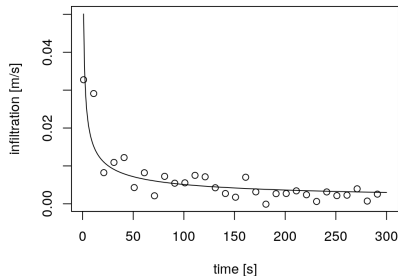
v terénu

- ▶ Výtopová infiltrace
- ▶ Experiment s Mini Disk infiltremeterem

Philipova infiltrační rovnice

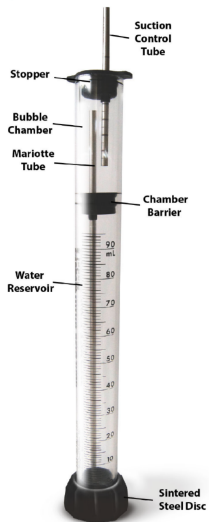
- ▶ odvozena v Richardsovi rovnice.

$$i = 1/2St^{-1/2}K_{fs}$$

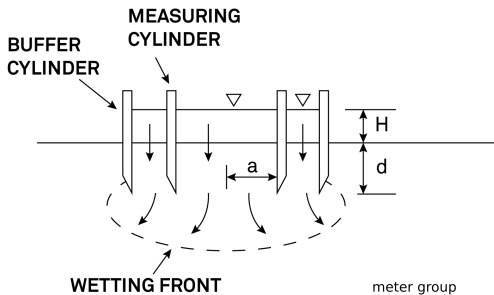


Jak získat hydraulickou vodivost?

v terénu



Decagon



Jak získat hydraulickou vodivost?

pomocí retenční čáry

Matematický model

- ▶ Kapilární model porézního prostředí
- ▶ Vyjádřeno pomocí K_r podle modelu Mualem nebo Burdine
- ▶ K_r lze odvodit z parametrů retenční čáry

Mualemův model

Relativní nenasycená hydraulická vodivost (K_r)

$$K_r(h) = \begin{cases} \frac{(1 - (-\alpha h)^{mn} (1 + (-\alpha h)^n)^{-m})^2}{(1 + (-\alpha h)^n)^{m/2}} & \text{if } h < 0 \\ 1 & \text{if } h \geq 0 \end{cases}$$

K_r vyjádřena pomocí θ_e .

$$K_r(\theta_e) = \theta_e^{1/2} (1 - (1 - \theta_e^{1/m})^m)^2$$

Nenasycená hydraulická vodivost

$$K(h) = K_s K_r(h)$$

Úkol 1

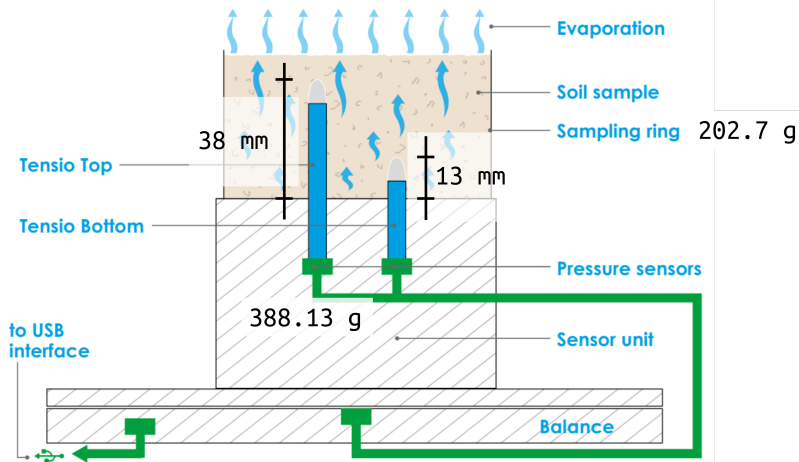
Odhadněte hydraulické vlastnosti půd z dat retenční čáry a pomocí výparoměrné metody.

1. Prohlédněte si výsledky výparoměrné metody.
2. Vypočítejte průměrný sací tlak a objemovou hmotnost.
3. Vypočítejte z dat Darcyovskou rychlost a hydraulický gradient.
4. Vypočítejte $K(h)$ pomocí Darcy-Buckinghamova zákona.
5. Určete parametry retenční čáry van Genuchtena a Mualemovi hydraulické vodivosti pomocí programu RETC. Užijte možnost: Both retention data and conductivity/diffusivity data.
6. Vypočítejte křivku nenasycené hydraulické vodivosti podle Mualemova modelu a retenční čáru dle van Genuchtena (parametry jste určili pomocí programu RETC).
7. Škálujte Mualemovu křivku K_r pomocí K_s .

Pro srovnání K_s stejného vzorku vypočtená experimentem s proměnlivým sklonem: $2.05e-5$ m/s.

Odevzdejte Excel s grafy: změřené retenční čáry, měřené křivky nenasycené hydraulické vodivosti, retenční čárou podle van Genuchtena a nenasycenou hydraulickou vodivostí podle Mualema.

Assignment



Effective water content

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

van Genuchten retention curve ($m = 1 - 1/n$) (VG)

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha|h|)^n)^m}$$

Relative unsaturated hydraulic conductivity (K_r)

$$K_r(h) = \begin{cases} \frac{(1 - (\alpha|h|)^{mn}(1 + (\alpha|h|)^n)^{-m})^2}{(1 + (\alpha|h|)^n)^{m/2}} & \text{if } h < 0 \\ 1 & \text{if } h \geq 0 \end{cases}$$

Inverse K_r

$$K_r(\theta_e) = \theta_e^{1/2} (1 - (1 - \theta_e^{1/m})^m)^2$$

Unsaturated hydraulic conductivity

$$K(h) = K_s K_r(h)$$

h capillary pressure [L, Pa], θ - volumetric water content [$L^3 \cdot L^{-3}$], θ_r - residual water content [$L^3 \cdot L^{-3}$], θ_s - saturated water content [$L^3 \cdot L^{-3}$], α - VG parameter [L^{-1}], n - VG parameter [-], m - VG parameter [-], K unsaturated hydraulic conductivity [$L \cdot t^{-1}$], K_r relative unsaturated hydraulic conductivity [-], K_s saturated hydraulic conductivity [$L \cdot t^{-1}$]