

143YTPR - Transportní procesy

Hydraulická vodivost

Jakub Jeřábek

March 10, 2023

(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)nasycená hydraulická vodivost lze získat

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

Jak získat hydraulickou vodivost?

v terénu

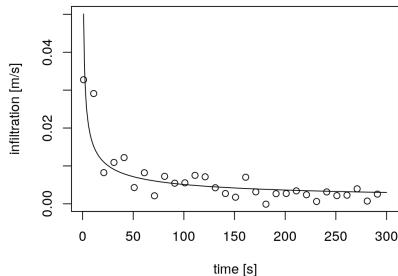
v terénu

- ▶ Výtopová infiltrace
- ▶ Experiment s Mini Disk infiltremeterem

Philipova infiltrační rovnice

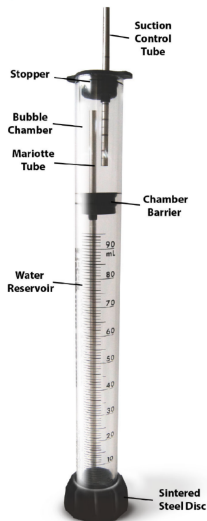
- ▶ odvozena v Richardsovi rovnice.

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

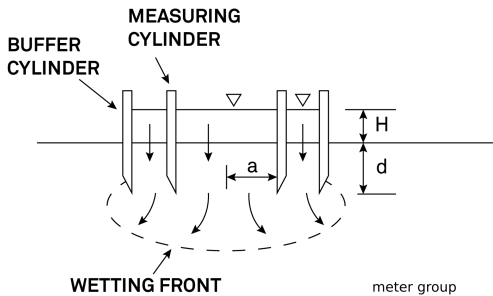


Jak získat hydraulickou vodivost?

v terénu



Decagon



Jak získat hydraulickou vodivost?

v laboratoři

V laboratoři

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

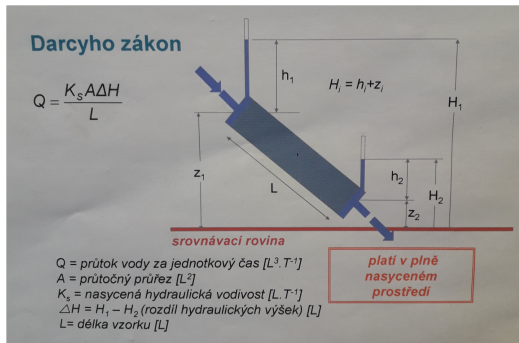
Darcy-Buckinghamův zákon

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

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

Jak získat hydraulickou vodivost?

v laboratoři



Constant and falling head experiment to determine K_s

Jak získat hydraulickou vodivost?

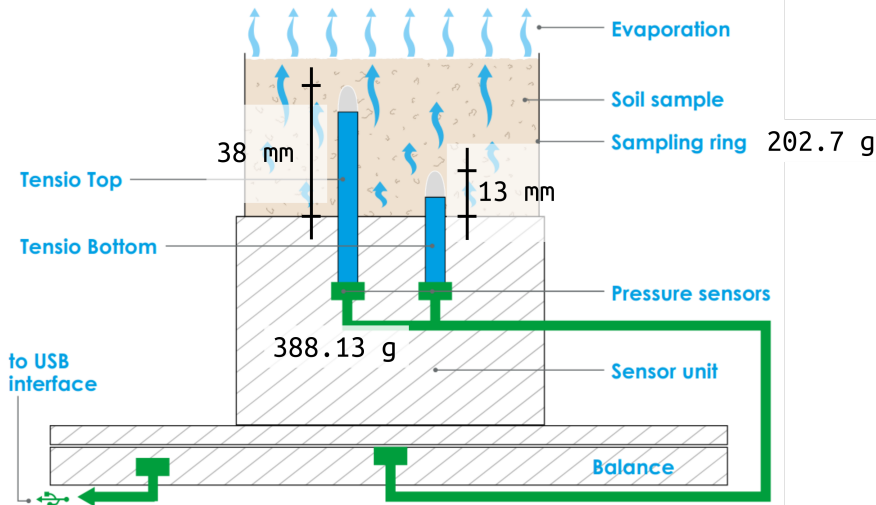
v laboratoři



Evaporation experiment to determine K

Jak získat hydraulickou vodivost?

v laboratoři



Evaporation experiment to determine K

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

1. Vyneste křivku relativní hydraulické vodivosti dle Mualem pro 3 půdy. Užijte parametry van Genuchtenovi retenční čáry z předchozího cvičení.
2. Škálujte Mualemovu křivky K_r pomocí K_s .

Po čas byl v terénu změřena další data z tenzometrového hnízda a hladina podzemní vody.

Analyzujte s využitím van Genuchtenovi RČ z předchozích cvičení a Mualemova modelu Kr vodní režim v půdě v obou časech.

1. Vyneste tlakovou výšku, celkový potenciál a objemovou vlhkost jako funkci hloubky pro nové měření.
2. Vyneste hydraulickou vodivost, darcyovskou rychlost a střední pórovou rychlost jako funkci hloubky pro oba časy.
 - ▶ Některé veličiny budete průměrovat mezi přilehlými hloubkami

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

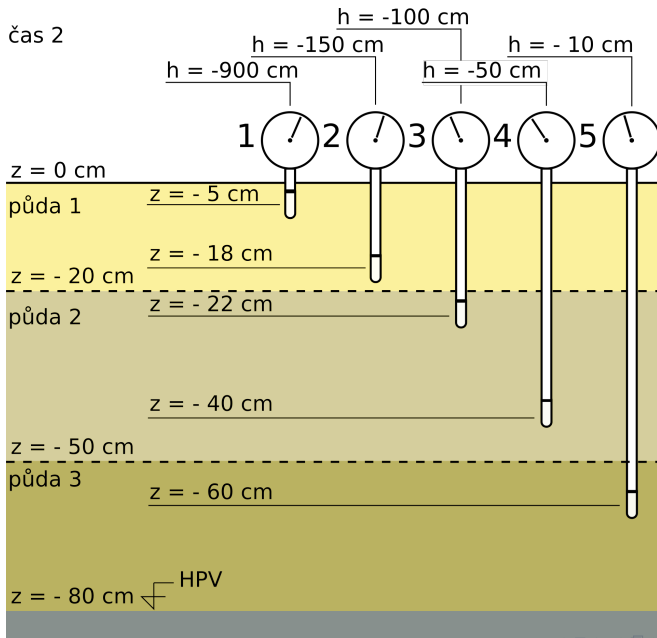
Otázky k zodpovězení

1. Jak jsou po sobě hodnoty K jednotlivých půd pro tlakovou výšku -20 cm?
2. Jaké děje způsobily rozložení tlaků v obou časech.
3. V jaké hloubce je darcyovská rychlost největší v obou časech?
4. Jakým směrem proudí voda v novém měření?
5. Kolik vody přibýlo / ubylo v půdním profilu při srovnání dvou obou měření?

Odevzdejte Excel s vypracovanými úkoly 1 až 2 a zodpovězenými otázkami. Osobně nebo na email jakub.jerabek@fsv.cvut.cz.

Data k úkolu 2

čas 2



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
vodynost (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 vodynost

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

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