

## Laboratorní cvičení č.2

### Měření hydraulických charakteristik půd: Koeficient nasycené hydraulické vodivosti $K_s$ a retenční čára

#### Úkoly:

- na neporušeném vzorku půdy v Kopeckého válečku stanovte retenční čáru v blízkosti nasycení kombinací měření na podtlakovém aparátu s porézní deskou a na pískovém tanku. Vykreslete retenční čáru pro naměřené hodnoty a také pro hodnoty které vám budou dodány vyučujícím. Určete hodnotu nasycené vlhkosti  $\theta$ . Na retenční čáře vyznačte polní vodní kapacitu a bod vadnutí.
- zjistěte objemovou hmotnost půdy  $\rho_d$  v Kopeckého válečku, vypočítejte pórovitost  $p$
- na neporušeném vzorku stanovte pomocí přístroje KSAT, Meter koeficient nasycené hydraulické vodivosti metodami s konstantním a proměnným spádem
- postupy měření, výsledky vašich měření a výsledky měření na jedné další půdě zpracujte do „Zprávy o půdních charakteristikách“

#### Základní pojmy

**Retenční čára** vyjadřuje vztah mezi půdní vlhkostí a sací tlakovou výškou v rovnovážném stavu. Je základní hydraulickou charakteristikou, která vyjadřuje schopnost půdy udržet vodu

**Objemová hmotnost** je hustota půdy průměrovaná přes celý objem vzorku tj. přes minerální zrna i prostor mezi nimi (póry)

**Koeficient nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$**  je hydraulickou charakteristikou, která vyjadřuje schopnost vést vodu. Má rozměr rychlosti a odpovídá rychlosti proudění vody při jednotkovém spádu potenciálu.

podrobný výklad teorie a přehled použitých metod naleznete v přednáškách on-line: *Retenční čára a Hydraulická vodivost* (Hydropedologie nebo Pedologie) na webových stránkách K143

---

**Práce budou na cvičení prováděny v pořadí kroků 1 + 2, 3**

#### 1. Stanovení retenční čáry v blízkosti nasycení na porézní desce a pískovém tanku

**princip metody:** *Půdní vzorek plně nasycený vodou je usazen na porézní médium (dále uvažujme např. porézní skleněnou sintrovou desku), s malými póry a tudíž vysokou vstupní hodnotou vzduchu. Sintrová deska je plně nasycena vodou a je připojena na zdroj podtlaku, ten se vytváří buď vývěvou nebo nejčastěji gravitačně v systému spojených nádob. Tento zdroj podtlaku resp. negativní tlakové výšky musí být stabilní a regulovatelný. Po usazení půdního vzorku na sintrovou desku se půdní vzorek se začne odvodňovat. Po určité době se tlakové výšky v půdě v sintrové destičce vyrovnají a celý systém se dostane do rovnovážného stavu. Poté je vážením zjištěna objemová vlhkost vzorku  $\theta$  a je určena tlaková výška  $h$ . Tyto dva údaje představují jeden bod retenční čáry. Opakováním postupu pro sérii různých tlakových výšek získáme retenční čáru  $\theta(h)$ . Pro různé rozsahy tlakových výšek se používá různých porézních médií. V našem cvičení budeme retenční čáru měřit nejprve na podtlakovém aparátu s deskou ze sintrového skla pro tlakové výšky 0 až cca -20*

cm a poté určíme jeden bod r.č. pro tlakovou výšku -50 cm na pískovém tanku. Výsledek bude tvořit jednu retenční čáru.

**pomůcky:** předem nasycený půdní vzorek v Kopeckého válečku, trychtýř se sintrovým sklem, plastová hadička, třícestný kohout, 10 ml byreta, laboratorní stojan, stříčka, Petriho miska, elektronická váha, kádinka, formulář

### **pracovní postup:**

- Před zahájením měření naplňte podtlakový aparát vodou tak, aby pod deskou ze sintrovaného skla nebyly zachyceny velké bubliny a hladina vody v byretě byla ve výšce cca 2 cm pod úrovní povrchu sintrové destičky.
- Zapište čtení na stupnici byrety (A) v ml do řádky  $i = 1$  tabulky formuláře „Vyhodnocení retenční čáry“.
- Změřte výšku povrchu sintrové destičky v trychtýři nad srovnávací rovinou  $Z_{\text{sintr}}$  a zaznamenejte ji do formuláře.
- Z misky s vodou vyjměte neporušený půdní vzorek v Kopeckého válečku. Vzorek identifikujte podle čísla vyraženého nebo napsaného na válečku.
- Nasycený vzorek zvažte ( $m_{\text{sat}}$ ) a nasadte (sítkou dolů) na sintrované sklo. Vodu, která případně vytekla do petriho misky na povrch vzorku. Hladina vody v byretě začne stoupat a ustálí se na nové úrovni. Odečtěte na stupnici byrety hodnotu v ml a zapište ji do sloupce B do tabulky. Změřte výšku hladiny vody v byretě nad deskou stolu  $h_i$  a zaznamenejte do  $i$ -tého řádku tabulky.
- Kohoutem opatrně do kádinky vypusťte cca 2 ml vody z byrety a kohout nastavte do mezipolohy ve které jsou všechny výstupy uzavřeny. Pozor na polohu kohoutu! Poloha OFF musí při vypouštění směřovat do hadičky vedoucí k trychtýři. Poznamenejte do tabulky čtení na byretě (A) v ml. Kohoutem znovu propojte byretu a trychtýř. Po ustálení hladiny vody zaznamenejte stav vody v byretě (B) v ml. Tento bod postupu opakujte až do okamžiku kdy hladina v byretě bude zhruba 20 cm pod úrovní povrchu sintrové destičky, zaznamenávejte vždy hodnoty A, B a  $h$  pro každý krok  $i = 2$  až  $n$
- Po ukončení měření na sintrové destičce vzorek zvažte ( $m_{\text{sintr}}$ ). Tato hodnota je pouze kontrolní a nepoužívá se pro výpočet retenční čáry.
- Otevřete víko pískového tanku a nasadte vzorek (okrajem se sítkou dolů). Odečtěte na stupnici převýšení povrchu pískového tanku nad hladinou vody v byretě. Tato hodnota odpovídá hodnotě tlakové výšky v pískovém tanku ( $h_{\text{pt}}$ ). V našem případě bude většinou nastaveno  $h_{\text{pt}} = -50$  cm.
- **Nejdříve po 24h** přijďte v otevíracích hodinách do laboratoře, připravte si hliníkovou váženku, zvažte ji a zapište si její číslo a hmotnost ( $m_{\text{váženka}}$ ) do formuláře. Vyjměte vzorek z pískového tanku, vzorek shora přiklopte váženkou, překopte jej sítkou vzhůru a společně s váženkou zvažte ( $m_{\text{pt}}$ ). Nyní sejměte nylonovou sítku s gumovým kroužkem a zvažte je ( $m_{\text{sítka}}$ ). Vzorek vložte do sušárny nastavené na 105°C.
- **Nejdříve po dalších 24h** přijďte v otevíracích hodinách do laboratoře, vyjměte váženku se vzorkem ze sušárny (!pomocí chňapky!) a zvažte ( $m_{\text{suš}}$ ). Vysypte půdu z válečku a vyčistěte váleček drátěným kartáčkem. Zvažte prázdný váleček ( $m_{\text{váleček}}$ ).
- **Nyní je možné přepočítat hrubé hmotnosti označené čárkou ( $m_{\text{sat}}$ ,  $m_{\text{sintr}}$ ,  $m_{\text{pt}}$  a  $m_{\text{suš}}$ ) na čisté hodnoty vyjadřující pouze hmotnost půdy.**

### Vyhodnocení experimentu:

vyhodnocení experimentu proved'te do tabulky označené jako **Vyhodnocení měření retenční čáry**. Cílem je vypočítat rovnovážné objemové vlhkosti  $\theta$  a jim odpovídající sací tlakové výšky  $h$ .

Vypočtete objemovou vlhkost nasyceného vzorku  $\theta_s$  (v retenční čáře odpovídá tato vlhkost sací tlakové výšce  $h = 0$ , viz tabulka)

$$\theta_s = \frac{m_{wsat}}{\rho_w V_{valecek}} = \frac{m_{wsat}}{1 \cdot V_{valecek}} = \frac{m_{wsat}}{V_{valecek}} \quad (\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3})$$

kde:  $V$  je vnitřní objem válečku ( $\text{cm}^3$ )

$\rho_w$  je hustota vody ( $1 \text{ g}^{-1} \cdot \text{cm}^3$ )

$m_{wsat}$  je hmotnost **vody** v plně nasyceném vzorku

$$m_{wsat} = m_{sat} - m_{suš} \quad (\text{g})$$

Vypočtete objemovou vlhkost pro každou hodnotu sací tlakové výšky  $h_i$  pro každé  $i$ -té snížení hladiny vody v byretě. Hodnoty  $h_i$  a  $\theta_i$  zapisujte do tabulky. První řádek tabulky ( $i = 0$ ) obsahuje hodnotu nasycené vlhkosti  $\theta_s$ , která odpovídá sacímu tlaku  $h = 0$ . Další hodnoty vlhkostí vypočítáte pomocí vztahu:

$$\theta_i = \theta_{i-1} - \frac{V_{wi}}{V_{valecek}} \quad (\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3})$$

kde  $V_{wi}$  je objem vody, který vytekl ze vzorku v  $i$ -tém kroku.

Tlakové výšky  $h_i$  jsou vždy dány rozdílem geodetických výšek středu vzorku a hladiny vody v byretě. Protože se jedná o negativní (sací) tlakové výšky mají hodnoty záporné znaménko.

Zbývá vypočítat poslední bod retenční čáry měřený na pískovém tanku. Na pískovém tanku je nastavena hodnota sací tlakové výšky  $h_{pt} = -50 \text{ cm}$ . Vypočtete vlhkost vzorku po měření na pískovém tanku takto:

$$\theta_{pt} = \frac{m_{pt} - m_{suš}}{V_{valecek}} \quad (\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3})$$

Vykreslete graf retenční čáry  $\theta(h)$  pro měřený rozsah sacích tlakových výšek. Upozornění: tlaková výška se poněkud nestandardně vynáší na osu  $y$ .

Po naměření a vypočtení bodu retenční čáry pro tlakovou výšku nastavenou na pískovém tanku si vyžádejte od vyučujícího (emilem, nebo osobně) další body r.č. pro tlakové výšky 330 cm, 1 bar, 3 bar, 7 bar a 15 bar. **Při vyžádání dat nezapomeňte uvést hodnotu  $\theta_{pt}$ .**

### 6. Stanovení objemové hmotnost půdy v Kopeckého válečku

$$\rho_d = \frac{m_{suš}}{V_{valecek}} \quad (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$$

kde  $m_{suš}$  je hmotnost suché půdy vzorku (g)

### 7. Výpočet pórovitosti

Pórovitost zjistíme výpočtem z objemové hmotnosti a na základě měrné hmotnosti zjištěné při cvičení č. 1

$$p = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}$$

## 8. Měření koeficientu nasycené hydraulické vodivosti $K_s$

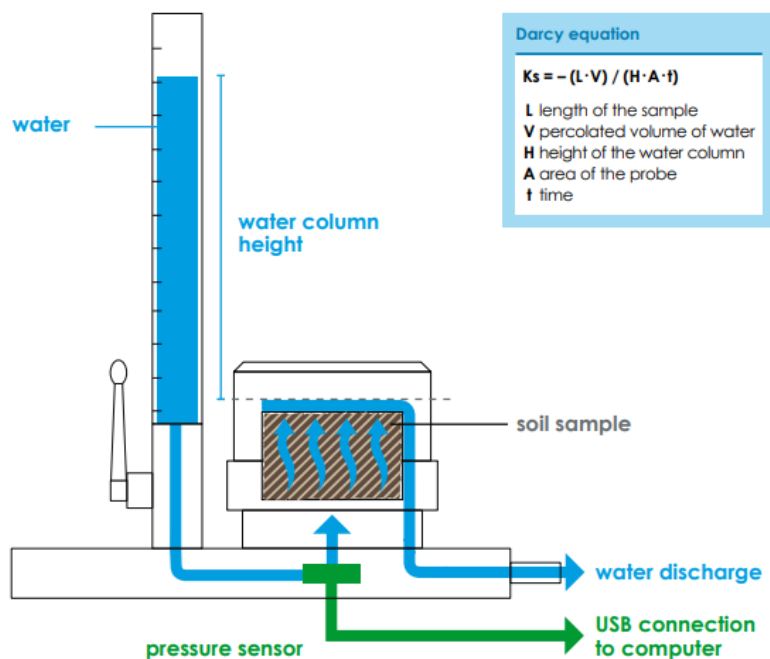
**princíp metody měření  $K_s$  metodou s konstantním spádem:** *Neporušeným, plně nasyceným vzorkem půdy voda protéká voda ustálenou rychlostí a při konstantním spádu hydraulických výšek. Úkolem je pomocí Darcyho zákona stanovit koeficient nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$ .*

**princíp metody měření  $K_s$  metodou s konstantním spádem:** *Měření při proměnném spádu je založeno na stejném principu, ale spád se v průběhu měření mění a výpočet  $K_s$  se provádí pomocí Darcyho zákona integrovaného přes hydraulické výšky.*

**pomůcky:** neporušený půdní vzorek o průměru 84 mm v nerezovém válečku; přístroj KSAT

**pracovní postup:** postupujte podle návodu k přístroji KSAT, Meter Group a podle pokynů vyučujícího

Nejprve proved'te měření metodou s proměnným spádem (Falling Head Technique). Na stejném vzorku potom proved'te měření metodou s konstantním spádem (Constant Head Technique). Vyhodnocení měření provádí automaticky ovládací program přístroje. Zaznamenejte si výsledek měření  $K_s$  metodou s proměnným spádem a  $K_s$  změřené metodou s konstantním spádem. Princíp výpočtu bude podrobně vysvětlen na přednáškách a modelový výpočet bude procvičen na 5. cvičení.



Obrázek 1. Funkční schéma přístroje KSAT.