

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 θ_s . Na retenční čáře vyznačte polní vodní kapacitu a bod vadnutí.
- zjistěte objemovou hmotnost půdy ρ_d v Kopeckého válečku, vypočítejte pórovitost p
- na neporušeném vzorku stanovte koeficient nasycené hydraulické vodivosti použitím permeamtru s konstantním a proměnným spádem
- postupy měření, výsledky vašich měření a výsledky měření na jedné další půdě zpracujte do „Zprávy o půdních charakteristikách“

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 θ 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_{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_{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_{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_{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_{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_{sat} , m_{sintr} , m_{pt} a $m_{\text{suš}}$) na čisté hodnoty vyjadřující pouze hmotnost půdy.**

Vyhodnocení experimentu:

vyhodnocení experimentu provedte do tabulky označené jako **Vyhodnocení měření retenční čáry**. Cílem je vypočítat rovnovážné objemové vlhkosti θ a jim odpovídající sací tlakové výšky h .

Vypočtete objemovou vlhkost nasyceného vzorku θ_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 (cm^3)

ρ_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 θ_i zapisujte do tabulky. První řádek tabulky ($i = 0$) obsahuje hodnotu nasycené vlhkosti θ_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 (emailem, 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 θ_{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 hydraulické vodivosti

princip metody: neporušeným, plně nasyceným vzorkem půdy voda protéká voda ustálenou rychlostí a při konstantním spádu hydraulických výšek. pomocí Darcyho zákona stanovit koeficient nasycené hydraulické vodivosti K_s . 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 9 cm v plexi válci, tempuská cela, byreta upravená na mariotteovu lahev, stojan

pracovní postup:

aparát s konstantním spádem

sestava aparátu s konstantním spádem je do značné míry připravena pro měření. Neporušený půdní vzorek je usazen v tempuské cele. Kohout na výstupu z tempuské cely je uzavřen a vnitřní prostor tempuské cely je zcela vyplněn vodou. Tempuská cela je umístěna na stojanu a propojena flexibilní hadicí na výpusť byrety. Pokud se v systému objeví bubliny je nutné vytlačit je pomačkáním flexibilní hadice do byrety. Hadička odvádějící vodu z tempuské cely směřuje do trychtýřku a z trychtýřku hadicí do barelu.

Nejprve nastavíte spád hydraulických výšek ∇H . Za předpokladu homogenního prostředí půdního vzorku je spád:

$$\nabla H = \frac{\Delta H}{L} \quad \text{kde:}$$

ΔH ... rozdíl hydraulických výšek na vstupu a výstupu z Tempuské cely = vyústění zavzdušňovací trubičky v byretě a výšky vyústění gumové hadičky odvádějící vodu z Tempuské cely

L ... délka válce se vzorkem

S výhodou můžete nastavit rozdíl výšek vyústění hadiček $\Delta H = L$, kdy z definice Darcyho zákona bude změřená rychlost proudění přímo odpovídat koeficientu nasycené hydraulické vodivosti K_s . Jiné nastavení ΔH je samozřejmě také možné, ale nemělo by být výrazně vyšší než L aby nedocházelo k porušení struktury vzorku v důsledku příliš rychlého proudění vody. Pro nastavení spádu povolte svorku držáku byrety, posuňte ji na novou výškovou úroveň a svorku opět dotáhněte. Nastavené převýšení ΔH si запиšte. Pro změnu ΔH můžete také změnit polohu vyústění gumové hadičky, ale vyústění nesmí nikdy být níže než je horní okraj vzorku.

Nyní začněte se samotným experimentem. Vyjměte gumovou zátku byrety a při zavřeném kohoutu byrety doplníme byretu vodou. Potom otevřete kohout byrety. V této fázi voda protéká s vyšším spádem a celý systém se velmi snadno odvzdušní. Počkejte dokud voda nezačne vytékat z gumové hadičky, zkontrolujte zda se v systému neobjevily bubliny a poté uzavřete byretu gumovou zátkou. V tomto okamžiku začněte odečítat stav vody v byretě v ml a zaznamenávejte čtení do připraveného formuláře. Na počátku zaznamenávejte čtení na byretě v intervalu 30 s, po 2-3 minutách můžete interval prodloužit podle rychlosti proudění. Experiment provádějte do ustálení rychlosti proudění, tj. do doby kdy budu

poklesy hladiny v byretě pro stejný časový krok konstantní. Po posledním odečtu uzavřete kohout byrety.

Aparát s proměnným spádem

Použijete stejný aparát, pouze vyjmete gumovou zátku s plastovou trubičkou z byrety. Byreta tedy nyní nebude fungovat jako Mariottova láhev. Při zavřeném kohoutu dolijte byretu až nad objem 500 ml. Potom otevřete kohout. Voda začne proudit vzorkem. V okamžiku, kdy hladina v byretě poklesne na úroveň 500 ml spusťte časomíru a nechte hladinu poklesnout např. na 300 ml, a zaznamenejte si dobu poklesu hladiny t_p a objem vody který protekl vzorkem V_{01} (v našem případě 200 ml). Poté změřte převýšení úrovně značky 500 ml (H_0), a úroveň, na kterou hladina poklesla např. značka 300 ml (H_1). Spočítejte celkový objem.

vyhodnocení:

nasycenou hydraulickou vodivost vyhodnotíte pomocí Darcyho zákona. Nejprve si vyneste průběh průtoku Q v čase. Ze záznamu stavu vody v byretě průtok vypočítáte ze vztahu:

$$Q_i = \frac{V_{i-1} - V_i}{(t_i - t_{i-1})} \quad (\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1})$$

kde: V_{i-1} je objem vody v byretě v čase t_{i-1} (ml)

V_i je objem vody v byretě v čase t_i (ml)

t_{i-1} , t_i jsou dva po sobě jdoucí časy čtení objemu vody v byretě (min)

vyneste graf $Q(t)$ a z grafu nebo tabulky odečtete hodnotu ustáleného průtoku Q_{ust} . Pak vypočtete z Darcyho zákona K_s :

$$K_s = \frac{Q_{ust}}{A} \frac{L}{\Delta H} \quad (\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (\text{pro případ } \Delta H = L \text{ pak zjednodušeně } K_s = \frac{Q_{ust}}{A})$$

kde: A ... je průřezová plocha půdního vzorku (cm^2)

Koeficient nasycené hydraulické vodivosti z experimentu s proměnným spádem vyhodnotíte následujícím způsobem:

$$K_s = \frac{V_{01} L}{(H_0 - H_1) A t_p} \ln \frac{H_0}{H_1}$$

kde V_{01} . objem vody proteklý vzorkem (např. 500ml–300ml=200ml=200cm³)

A ... je průřezová plocha půdního vzorku (cm^2)

t_p čas za který vzorkem protekl objem V