



# Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Podzemní voda – cvičení

doc. Dr. Ing. Hynek Lahuta



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Inovace studijního oboru Geotechnika CZ.1.07/2.2.00/28.0009.  
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

## Druhy vod

Jako podzemní vodu (nikoliv spodní !!!) označujeme vodu pod povrchem terénu. Obsah vody v zemině můžeme určit pomocí vlhkosti ( $w$ ) či stupně nasycení ( $S_r$ ). Podle zdroje rozeznáváme podzemní vodu:

- Vadosní – voda vsakující do podloží z vodních toků, nádrží či ze srážkové vody
- Juvenilní – kondenzací vodních par z magmatu do povrchových částí zemské kůry

Základní typy podzemní vody jsou děleny podle typu vazby na:

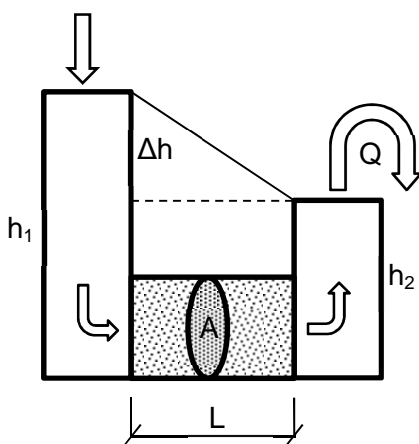
- 1) **Gravitační vodu** – podléhá síle zemské přitažlivosti. V zemině je obsažená ve formě:
  - Volné vody – souvisle vyplňuje póry zeminy pod hladinou podzemní vody (HPV)
  - Vody kapilární – vlivem povrchového napětí vody vzlíná v pórech zeminy nad HPV do tzv. kapilární výšky  $h_k$  (např. u jemného písku je  $h_k = 0,1 - 0,5$  m při průměru kapilár ( $r$ ) 300 – 600  $\mu\text{m}$  nebo u jílu  $h_k$  přes 50 m při  $r$  menší než 0,6  $\mu\text{m}$ .)
- 2) **Vázanou vodu** – tvoří jen velmi tenkou vrstvu (tzv. difuzní obal z orientovaných molekul vody) na povrchu minerálních částic. Propůjčuje jemnozrnným zeminám jejich specifické vlastnosti (soudržnost a plasticitu). Podle vzdálenosti molekul vody od povrchu částic rozeznáváme vodu:
  - Pevně vázanou (absorbovanou) – síly vazby se odhadují na stovky až tisíce MPa, voda je pevná součást minerálních zrna. Odstraní se ohřevem nad 150 – 300°C.
  - Slabě vázanou (obalovou, osmotickou) – slabší vazební síly, se vzdáleností vody od povrchu zrna vazba klesá. Lze odstranit mechanicky (stlačením, odstředěním).
- 3) **Strukturální vodu** – je součástí minerálů v krystalické mřížce jako:
  - Chemicky vázaná – v podobě iontů  $\text{H}^+$  a  $\text{OH}^-$ . Odstraňuje se teplotou nad 200°C, chemické složení se pak mění a minerál se rozpadá.
  - Krystalická – zachovává si molekulární formu  $\text{H}_2\text{O}$ . Při ohřátí nad 60°C mizí, minerály se mění na bezvodné formy (např. sádrovec  $\rightarrow$  anhydrit).
- 4) **Vodní páru** – vyskytují se v pórech nenasyčených zemin. Pohybuje se z míst s vyšší vlhkostí do míst s nižší vlhkostí, z míst teplejších do míst chladnějších. Významná při promrzání zemin. Kondenzací může přejít v jinou formu (např. Pevně vázanou).
- 5) **Led** - při zamrznání se zvětšuje objem, vzniká podtlak, sání. Promrzající vrstva se v průběhu zimy obohacuje kapilární vodou a tepelnou migrací. Při jarním tání led od povrchu terénu postupně taje, přebytečná voda se nemůže přes zmrzlé hlubší vrstvy vsakovat, zemina změkne a ztrácí únosnost  $\rightarrow$  základová spára pod zámraznou hloubkou.

# Proudění vody v zemině

K tomu, aby došlo k proudění podzemní vody horninami jsou nutné dvě základní podmínky :

- 1) existence otevřené efektivní pórovitosti horniny (v nadkapilární velikosti pórů),
- 2) existence tak velkého hydraulického spádu, který překoná odporové síly filtrace.

## Darcyho zákon



$$Q = A \cdot v_f = A \cdot k \cdot i$$

- Q - průtokové množství (vydatnost) [m<sup>3</sup>/s]
- A - průtoková plocha [m<sup>2</sup>]
- i - hydraulický spád (sklon) [% , ‰]
- k - koeficient hydraulické vodivosti (dřív koeficient filtrace či součinitel propustnosti) [m.s<sup>-1</sup>]
- v<sub>f</sub> - fiktivní rychlost proudění [m.s<sup>-1</sup>]

### Hydraulický spád i

- poměr rozdílu výšek vtokové (h<sub>1</sub>) a výtokové (h<sub>2</sub>) oblasti (rozdíl hladin Δh) ku vzdálenosti těchto oblastí (L)

$$i = \frac{(h_1 - h_2)}{L}$$

### Fiktivní rychlost proudění v<sub>f</sub>

- (též specifický průtok q) vyjadřuje rychlost proudění celou průtokovou plochou (A) bez ohledu na přítomnost zrn horniny

$$v_f = K \cdot i$$

Tzv. **střední rychlost proudění** již přítomnost horniny akceptuje a vztah mezi střední a fiktivní rychlostí proudění je dán vztahem:

$$v_{stř} = \frac{v_f}{n_{dr}}$$

**Skutečná rychlost proudění** podzemní vody horninovým prostředím vyjadřuje i křivolakost toku (τ) a je dána vztahem:

$$v_{sk} = v_f \cdot \tau$$

τ - tortuozita,  $\tau = \frac{L^2}{L_0^2}$  (L - skutečná dráha pohybu, L<sub>0</sub> - přímá dráha)

## Koeficientem propustnosti (permeability) $K$

- Vyjadřuje propustnost podmíněnou existencí pórů a jejich vzájemnou spojitostí

$$K = \frac{\mu}{\gamma} \cdot \frac{Q}{A} \cdot \frac{L}{h_1 - h_2} = \frac{\mu}{\gamma} \cdot \frac{Q}{A} \cdot \frac{1}{i}$$

měrná tíže ( $\gamma$ ) [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-3}$ ], dyn. viskozita ( $\mu$ ) [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ], objemový průtok ( $Q$ ) [ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ], průtočná plocha ( $A$ ) [ $\text{m}^2$ ], dráha filtrace ( $L$ ) [ $\text{m}$ ], piezometrická výška ( $h_i$ ) [ $\text{m}$ ], hydraulický spád ( $i$ ) [-]

## Koeficient hydraulické vodivosti (filtrace) $k$

Propustnost zemin se dá stanovit přímo v laboratoři či terénu nebo nepřímou např. z křivky zrnitosti, charakteristických průměrů zrn, pórovitosti a dalších.

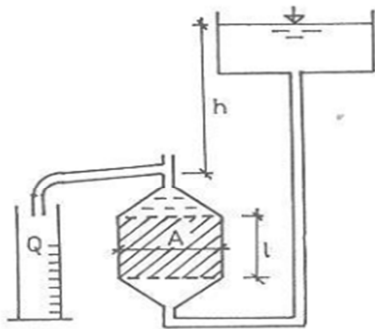
## Laboratorní stanovení propustnosti

Snadnější stanovení, ale méně přesnější (lokální, bodová zkouška). Zkoušky se provádí:

1. Propustoměrem s konstantním hydraulickým sklonem

$$Q = A \cdot v \cdot t = A \cdot k \cdot \frac{h}{l} \cdot t$$

$$k = \frac{Q \cdot l}{A \cdot h \cdot t}$$



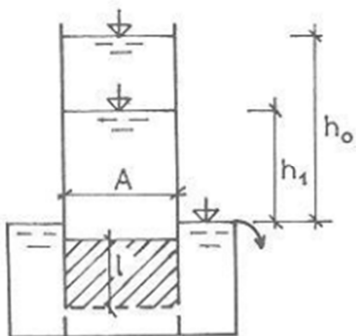
Kde:

$Q$  – množství proteklé vody [ $\text{m}^3$ ]  
 $A$  – průřezná plocha vzorku [ $\text{m}^2$ ]  
 $v$  – rychlost průtoku [ $\text{m/s}$ ]  
 $t$  – čas [ $\text{s}$ ]  
 $h$  – rozdíl hladin, kterým je dán tlak vody [ $\text{m}$ ]  
 $l$  – délka vzorku [ $\text{m}$ ]  
 $k$  – koef. hydraulické vodivosti [ $\text{m/s}$ ]

2. Propustoměrem s proměnným hydraulickým sklonem

$$dQ = -A \cdot dh = A \cdot v = A \cdot k \cdot \frac{h}{l} \cdot dt$$

$$k = \frac{l}{t} \cdot \ln \frac{h_0}{h_1}$$

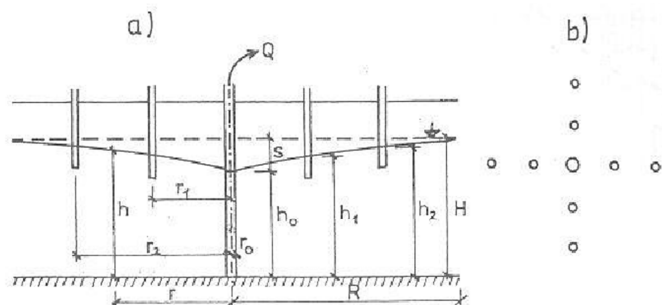


Kde:

$h_0$  – původní výška hladiny vody [ $\text{m}$ ]  
 $h_1$  – pokleslá výška hladiny vody za dobu  $t$  [ $\text{m}$ ]

## Stanovení propustnosti v terénu

Provádí se většinou čerpacími zkouškami. Případně vsakovacími zkoušky.



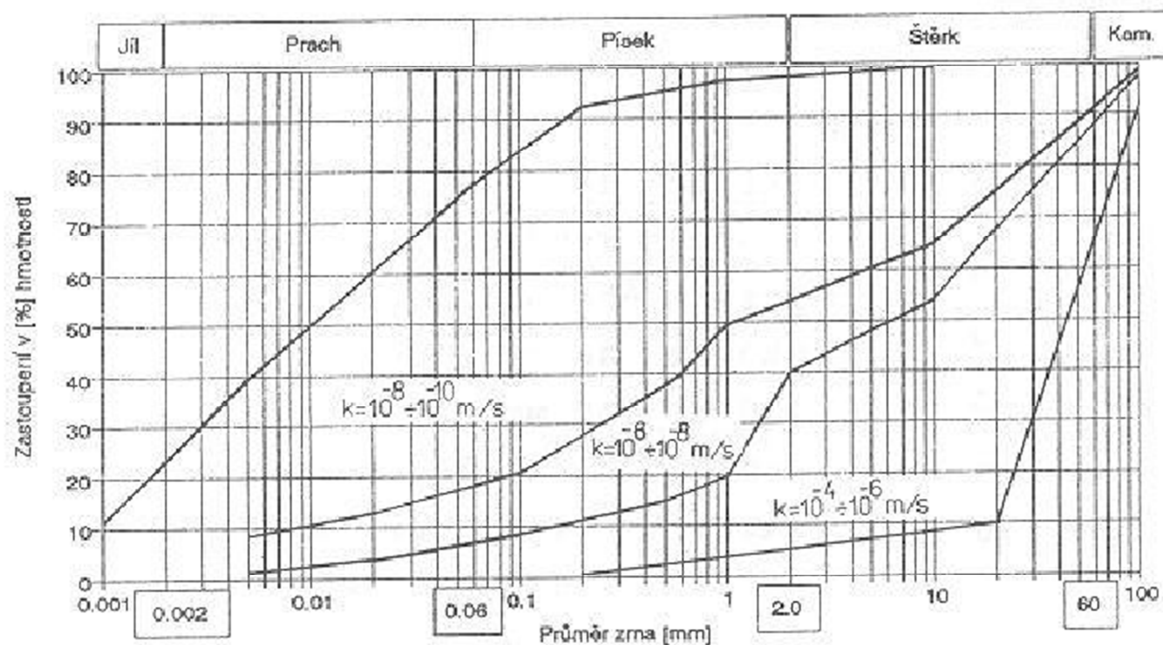
Určení střední hodnoty součinitele propustnosti na základě čerpacích zkoušek. Z čerpacího vrtu je čerpáno konstantní množství  $Q$ . Snížení původní hladiny  $H$  je sledováno v kontrolních vrtech (menšího průměru).

$$Q = A \cdot v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot k \cdot \frac{dh}{dr}$$

$$k = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{\pi \cdot (h_1^2 - h_2^2)}$$

## Nepřímé určení propustnosti

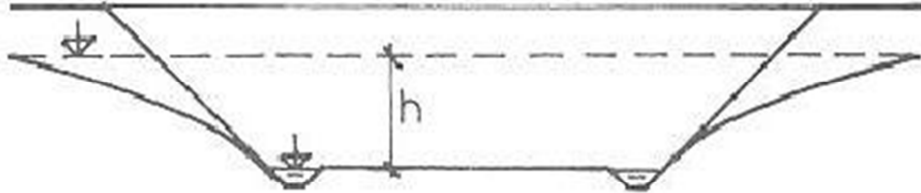
Např.:



# Odvodnění základové pudy

Způsoby odvodnění:

- a) Povrchové odvodnění – voda vyvěrá povrchem do drenážních rýh se spádem směrem ke studni, ze které je voda odčerpávána



- b) Hloubkové odvodnění – voda nevyvěrá na povrch, ale je přímo čerpaná z vrtů (studní) mimo stavební jámu.

