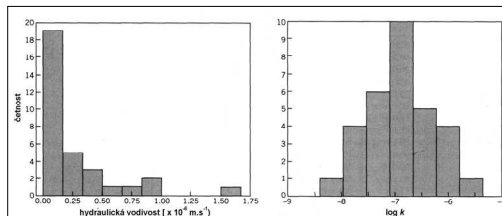
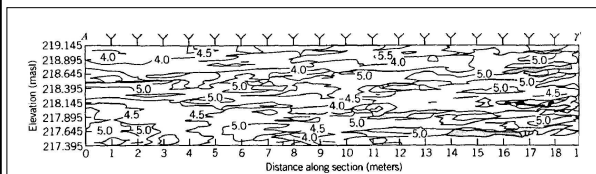


# ZÁKLADY HYDROGEOLOGIE

## III. PŘEDNÁŠKA

### DISTRIBUCE HODNOT HYDRAULICKÉ VODIVOSTI



### HOMOGENITA A IZOTROPIE

#### homogenní formace

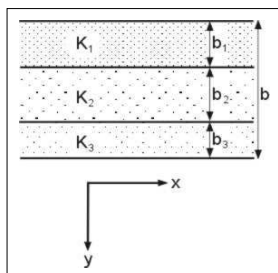
- v každém bodě má stejné vlastnosti – stejné hodnoty hydraulické vodivosti

#### heterogenní (nehomogenní) formace

- odlišné vlastnosti v různých bodech

#### příčiny heterogenity

- různé sedimentační podmínky a jejich změny
- v rámci jedné vrstvy
- mezi vrstvami
- prostředí s puklinovou pórovitostí

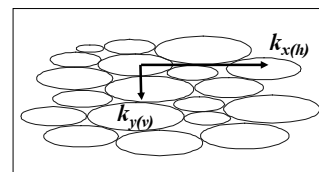
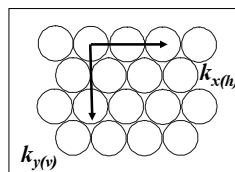


#### izotropní prostředí

- vlastnosti prostředí nezávisí na směru a jsou ve všech směrech stejné

#### anizotropní prostředí

- vlastnosti prostředí závisí na směru a nejsou ve všech směrech stejné
- extrémně vysoká v puklinově pórovitém prostředí



### DARCYHO ZÁKON V ANIZOTROPNÍM PROSTŘEDÍ

- v reálném 3-D prostředí může podzemní voda proudit všemi směry (osy x, y, z)
- podobně hydraulický gradient můžeme definovat ve všech směrech
- potom pokud jsou směry anizotropie paralelní se směry os x, y, z

$$\text{proudění ve směru osy } x \quad q_x = -k_x \frac{\Delta h}{\Delta x}$$

$$\text{proudění ve směru osy } y \quad q_y = -k_y \frac{\Delta h}{\Delta y}$$

$$\text{proudění ve směru osy } z \quad q_z = -k_z \frac{\Delta h}{\Delta z}$$

$$\text{specifický tok } q \text{ ve směru osy } x \quad q_x = -k_{xx} \frac{\Delta h}{\Delta x} - k_{xy} \frac{\Delta h}{\Delta y} - k_{xz} \frac{\Delta h}{\Delta z}$$

pokud nejsou směry anizotropie paralelní se směry os x, y, z

$$\begin{matrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{matrix}$$

$$\downarrow$$

$$\begin{matrix} k_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & k_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & k_{zz} \end{matrix}$$

### Popis anizotropie

elipsoid anizotropie

koeficient anizotropie

-  $KA = \frac{k_h}{k_v}$  - v sedimentárních horninách běžně kolem 10 a i řádově více

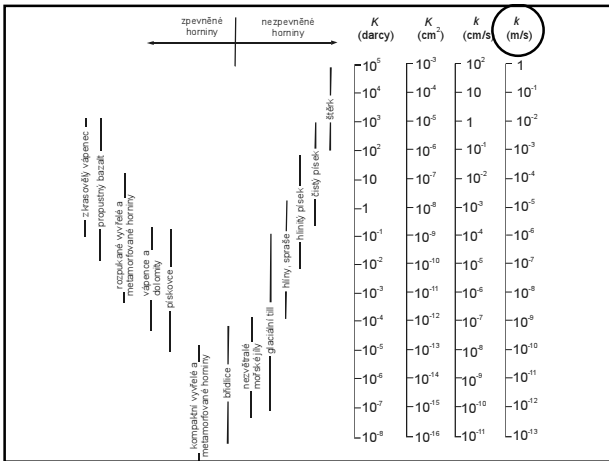
### Určení průměrné hydraulické vodivosti

$$K_x = \frac{\sum(m_i \cdot k_i)}{\sum m_i} \quad m_i \quad \text{mocnost i-tého horizontu}$$

$$K_z = \frac{\sum m_i}{\sum (m_i/k_i)} \quad k_i \quad \text{hydraulická vodivost i-tého horizontu}$$

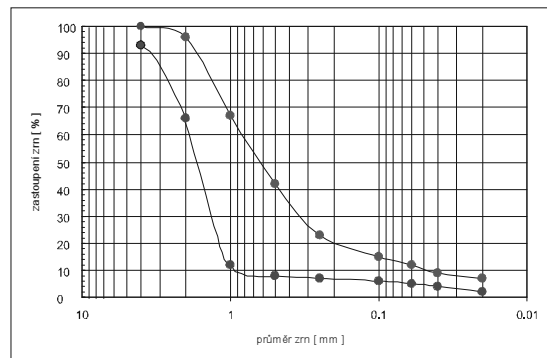
### Metody stanovení propustnosti hornin

1. podle popisu hornin
2. empirické vzorce  
Hazenův  
Kozenyho  
Harlemanův,  
- vzorce jsou platné jen v prostředí v nichž byly odvozeny
3. laboratorními zkouškami  
- propustoměry – platné pro zkoumané vzorky hornin
4. hydrodynamickými zkouškami  
- obrovská výhoda – stanovení v přírodních podmínkách



### 2. empirické vzorce

- nejčastěji pro nezpevněné sedimentární horniny
- použití hodnot zrnitosti  $d$  ze zrnitostních křivek



### Vzorec Hazenův

$$k = C \cdot d_{10}^2 \quad [\text{cm/s}]$$

Podmínky platnosti:  
 $0,1 < d_{10} < 3,0 \text{ mm}$   
 $d_{60}/d_{10} = < 5$

Tabulka hodnot C pro Hazenův vzorec

| Koeficient C (pro $k_v$ v $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | Název sypkých hornin                     |
|--|--|
| 0,00464  | Štěrky a písky silně zahlíněné           |
| 0,00695  | Štěrky písčité, zahlíněné                |
| 0,00925  | Štěrky písčité, slabě zahlíněné          |
| 0,0104   | Štěrky písčité, velmi slabě zahlíněné    |
| 0,0116   | Štěrky písčité, střední zrnitosti, čisté |
| 0,0139   | Štěrky písčité, hrubé, velmi čisté       |

### Vzorec Harlemanův

$$K = (6,54 \times 10^{-4}) \cdot d_{10}^2 \quad [\text{cm}^2]$$

### Vzorec Kozeny – Carmen Bear

$$k = \left( \frac{\rho_v \cdot g}{\mu} \right) \frac{n^3}{(1-n)^2} \left( \frac{d_m^2}{180} \right) \quad d_m \quad \text{reprezentativní průměr zrna}$$

3. laboratorní stanovení – propustoměry

- maloobjemové vzorky nereprezentují vlastnosti celé horniny
- jen orientační použití zjištěných hodnot  $k$  a  $K$

1. zkoušky s konstantním spádem

- hodnoty gradientu (a tím i rychlosti proudění) by se neměly lišit od přírodních

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

2. zkoušky s proměnlivým spádem

- použití zejména pro relativně nepropustné vzorky

$$k = \frac{d_1^2 \cdot l}{d_{12}^2 \cdot t} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Přenos tlaku v hornině

Terzaghi (1925) – analýza napětí v hornině

$$\sigma = \sigma_e + p$$

- $\sigma$  - celkové napětí v hornině – geostatický tlak
- $\sigma_e$  - efektivní napětí – tlak mezi zmy horniny
- $p$  - neutrální napětí – tlak kapaliny (pórový tlak)

$$\Delta \sigma = \Delta \sigma_e + \Delta p \longrightarrow \text{konstantní v čase} \longrightarrow \Delta \sigma_e = -\Delta p$$

snížení pórového tlaku ve zvodněné hornině (čerpání vody, odvodnění, apod.)  $\Rightarrow$  růst efektivního napětí  $\Rightarrow$  značně přenášet větší část celkového tlaku  $\Rightarrow$  stlačení horniny a zmenšení jejího objemu (Mexiko, Kalifornie, Benátky, apod.)

snížení hydraulického tlaku v pórech  $\Rightarrow$  uvolnění části objemu vody z porů + nárůst efektivní napětí  $\Rightarrow$  zmenšení objemu horniny kompresí zm horniny  $\Rightarrow$  uvolnění dalšího objemu vody z porů = základ mechanismu neustálého proudění podzemní vody (změny piezometrické úrovně)



stlačitelnost horniny – koeficient  $\alpha$   $\alpha_h = \frac{-\Delta V}{\Delta \sigma_e \cdot V}$

přírůstek efektivního napětí  $\Delta \sigma_e$  vyvolá zmenšení celkového objemu horniny  $V$ , tj. změnu  $\Delta V$ , stlačitelnost horninového prostředí se vyjadřuje koeficientem stlačitelnosti  $V = V_v + V_s$

velikost změn objemu zm – zanedbatelná – dochází k přeskupení zm (uspořádání) – doprovází jej vytlačení vody z porů

$\Delta V = \Delta V_v$  - předpoklad – voda má kam uniknout – př. stavby

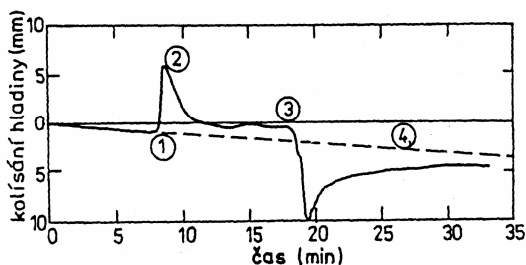
vzrůst celkového napětí  $\Rightarrow$  přenášen vodou  $\Rightarrow$  vytlačení vody  $\Rightarrow$  přenášen částicemi horniny  $\Rightarrow$  zvýšení efektivního napětí  $\Rightarrow$  stlačení zeminy (konsolidace)  $\Rightarrow$  dosažení nové rovnováhy ( $\Delta p = 0$  a  $\Delta \sigma_e = 0$ )

rovnováha – další stlačování např. při snížení hydraulického tlaku

horninové prostředí – stlačitelnost má význam jen ve vertikálním směru

$\Rightarrow$  závislost na stlačitelnosti horniny  $\epsilon = \frac{\Delta \sigma_e}{1 + \sigma_e}$   $\Rightarrow$  závislost na mocnosti horniny  $\alpha_h = \frac{\epsilon}{\Delta \sigma_e}$   $\Rightarrow$  závislost na pórovitosti  $\epsilon = \frac{n}{1 - n}$   $\epsilon = \frac{V_v}{V_s}$

| hornina                  | koeficient stlačitelnosti $\alpha_h$ [Pa <sup>-1</sup> ] |
|--------------------------|--|
| jíl                      | $10^{-6} - 10^{-8}$                                      |
| písek                    | $10^{-7} - 10^{-9}$                                      |
| šterk                    | $10^{-8} - 10^{-10}$                                     |
| rozpukaná skalní hornina | $10^{-8} - 10^{-10}$                                     |
| pevná skalní hornina     | $10^{-9} - 10^{-11}$                                     |
| voda ( $\beta_w$ )       | $4.4 \cdot 10^{-10}$                                     |



Kolísání piezometrické úrovně napjaté podzemní vody způsobené zastavením a rozjezdem vlaku vedle pozorovací studně.  
1 - lokomotiva je u pozorovací studně, 2 - vlak se zastavuje, 3 - vlak se rozjíždí, 4 - celkový trend poklesu piezometrické úrovně (podle J. E. Jacoba, 1939, fide D. K. Todd, 1959)

koeficient stlačitelnosti horniny X koeficient roztažnosti horniny

poměr koeficientů – zpravidla není 1:1

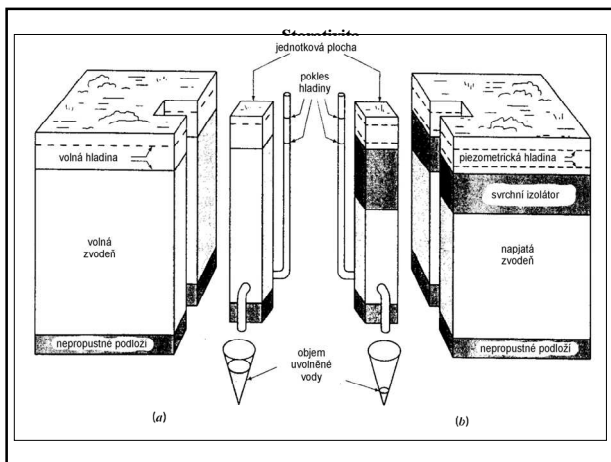
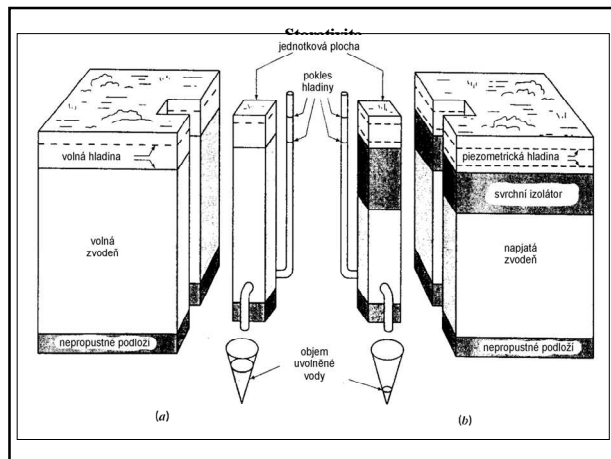
zeminy s koeficientem roztažnosti řádově nižším – nevratné změny objemu

- stejnoznámé pisky – 1:1
- jily – 10:1

zvodněné systémy  
s písčitymi kolektory  
a jílovitými izolátory

### Hydraulické charakteristiky zvodněných formací

1. odporové charakteristiky – transmisivita  $T$  [  $m^2/s$  ]
  - zohledňuje vliv mocnosti formace na průtok
  - při stejné hodnotě hydraulické vodivosti protéká větší objem kapaliny formací o vyšší mocnosti
2. kapacitní charakteristiky – storativita (zásobnost)  $S$ 
  - objem vody, který se uvolní z hranolu kolektoru o jednotkové základně při jednotkovém snížení hydraulické výšky
  - bezrozměrný parametr (objem/objem)
3. kapacitně – odporové charakteristiky – koeficient hydraulické difuzivity  $a$  [  $m^2/s$  ]
  - popisuje šíření tlakových změn v kolektorech
  - závisí především na hodnotě zásobnosti  $S$
  - $a = T/S$
  - výrazně větší hodnoty u napjatých zvodní – větší rychlost šíření tlakových změn



### volná hladina

| materiál         | storativita [ % ] |
|------------------|-------------------|
| šterk, hrubozrný | 23                |
| pisek, hrubozrný | 27                |
| pisek, jemnozrný | 23                |
| silt             | 8                 |
| jil              | 3                 |
| pískovec         | 25                |
| vápenec          | 14                |
| spraš            | 18                |
| till, písčité    | 16                |