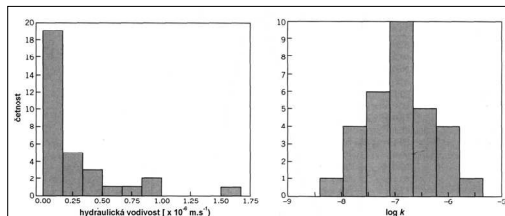
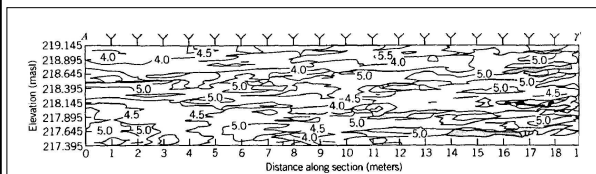


ZÁKLADY HYDROGEOLOGIE

III. PŘEDNÁŠKA

DISTRIBUCE HODNOT HYDRAULICKÉ VODIVOSTI



HOMOGENITA A IZOTROPIE

homogenní formace

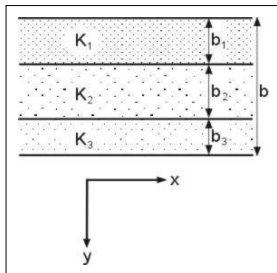
- v každém bodě má stejné vlastnosti – stejné hodnoty hydraulické vodivosti

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

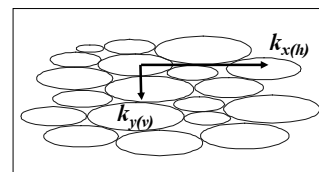
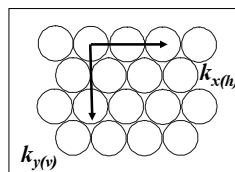


izotropní prostředí

- 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 pórovitěm 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

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

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

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

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

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

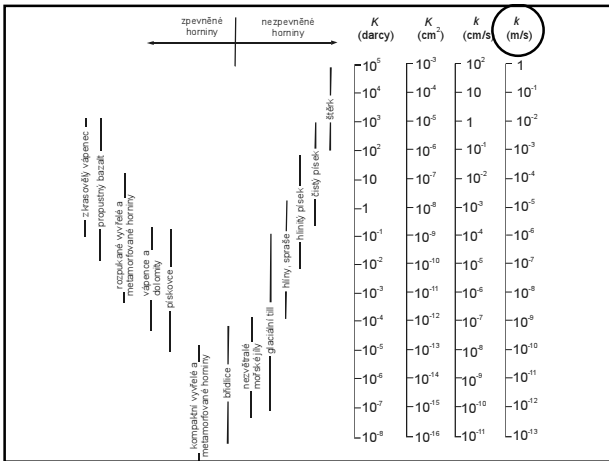
Určení průměrné hydraulické vodivosti

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

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

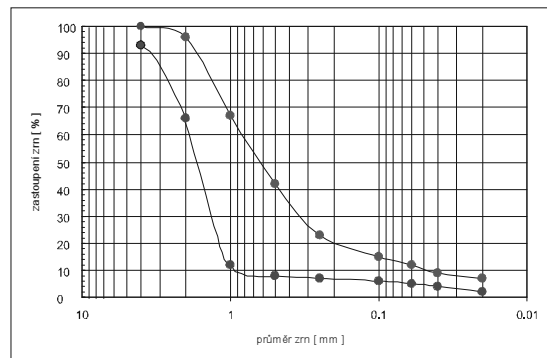
Metody stanovení propustnosti hornin

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	Štěrký a písky silně zahlíněné
0,00695	Štěrký písčité, zahlíněné
0,00925	Štěrký písčité, slabě zahlíněné
0,0104	Štěrký písčité, velmi slabě zahlíněné
0,0116	Štěrký písčité, střední zrnitosti, čisté
0,0139	Štěrký 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

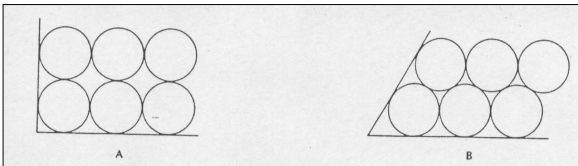
$$\sigma = \sigma_e + p$$

- σ - celkové napětí v hornině – geostatický tlak
- σ_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 pórů + nárůst efektivní napětí \Rightarrow zmenšení objemu horniny kompresí zm horniny \Rightarrow uvolnění dalšího objemu vody z pórů = základ mechanismu neustálého proudění podzemní vody (změny piezometrické úrovně)



stlačitelnost horniny – koeficient α

$$\alpha_h = \frac{-\frac{\Delta V}{V}}{\Delta \sigma_e}$$

přírůstek efektivního napětí $\Delta \sigma_e$ vyvolá zmenšení celkového objemu horniny V , tj. změnu ΔV , 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 pórů

$\Delta V = \Delta V_v$ - 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

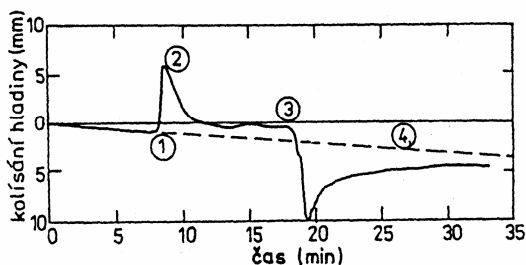
\Rightarrow závislost na stlačitelnosti horniny

\Rightarrow závislost na mocnosti horniny

\Rightarrow závislost na pórovitosti

$$\alpha_h = \frac{-\frac{\Delta \varepsilon}{(1 + \varepsilon)}}{\Delta \sigma_e} \quad \varepsilon = \frac{n}{1 - n} \quad \varepsilon = \frac{V_v}{V_s}$$

hornina	koeficient stlačitelnosti α_h [Pa ⁻¹]
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 (β_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

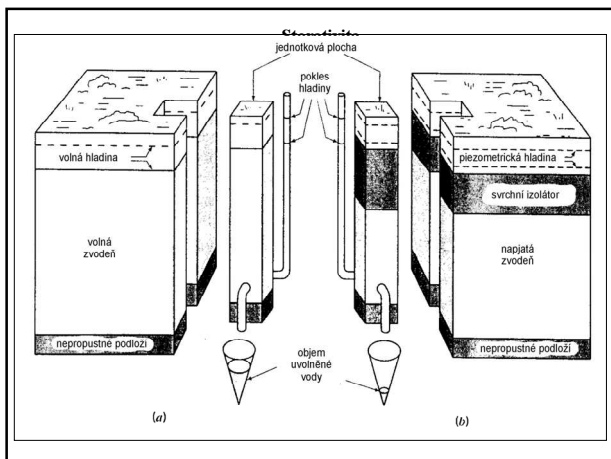
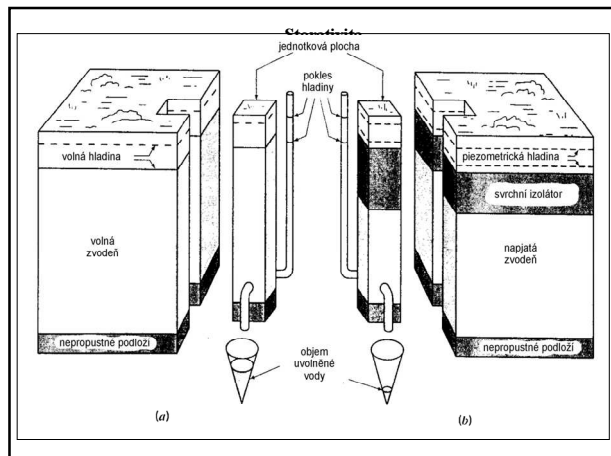
- stejnozměrné písky – 1:1

- 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 – koefficient 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
jíl	3
pisekovec	25
vápenec	14
spraš	18
till, písčité	16