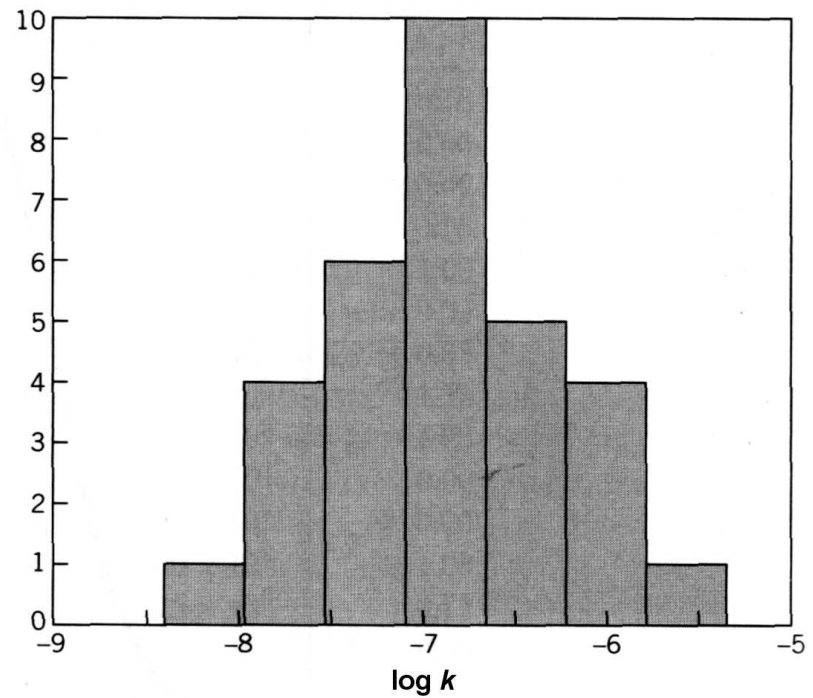
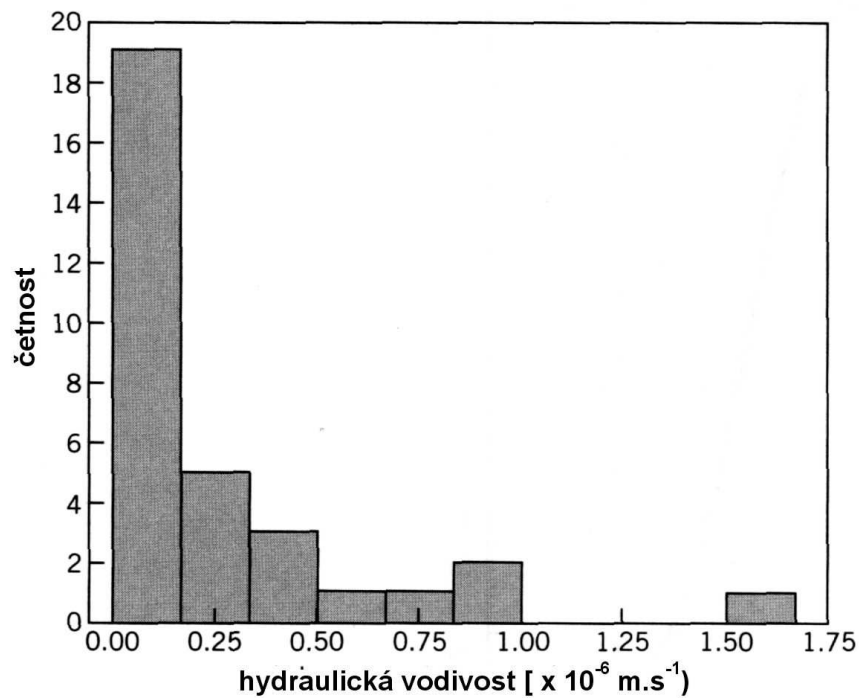
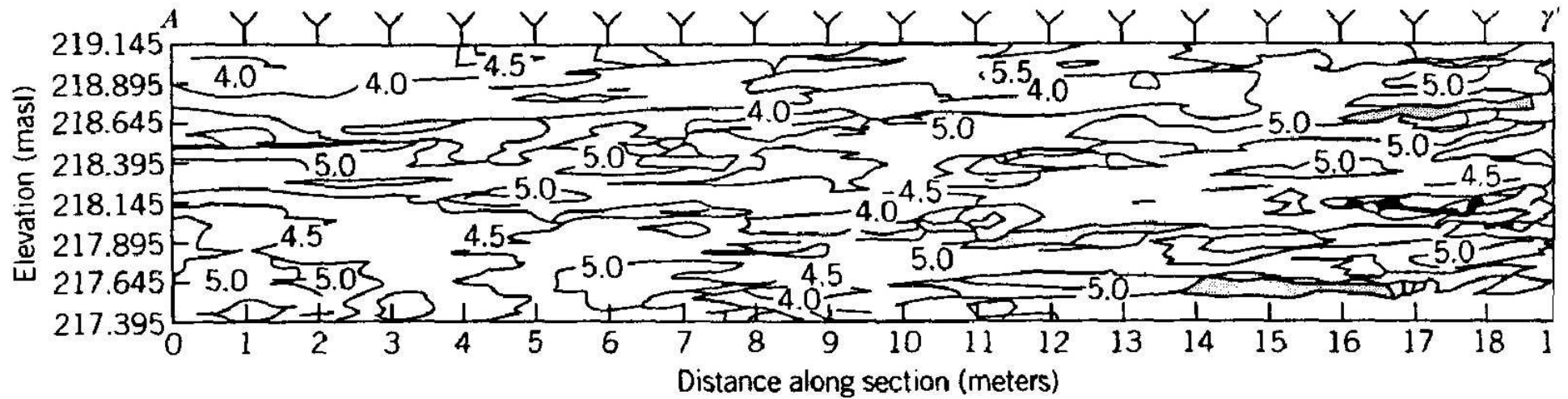


ZÁKLADY HYDROGEOLOGIE

III. PŘEDNÁŠKA

DISTRIBUCE HODNOT HYDRAULICKÉ VODIVOSTI



HOMOGENITA A IZOTROPIE

homogenní formace

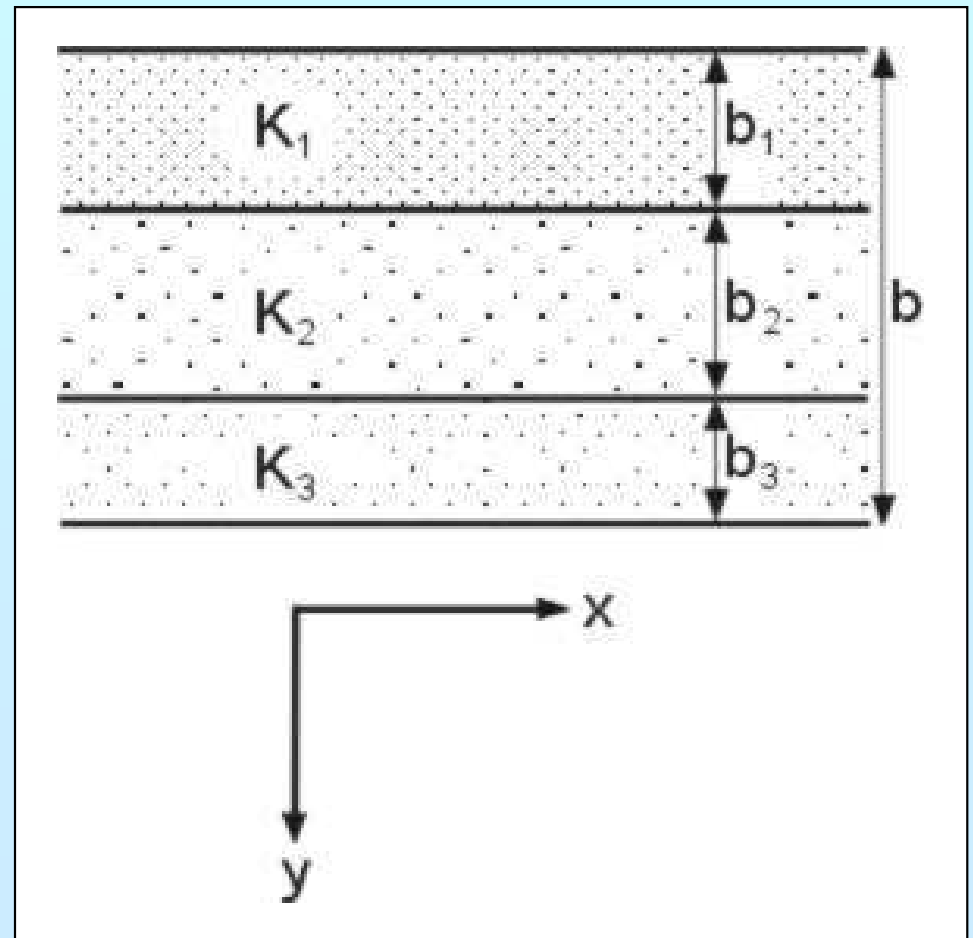
- v každém bodě má stejné vlastnosti – stejné hodnoty hydraulické vodivosti

heterogenní (nehomogenní) formace

- odlišné vlastnost v různých bodech

příčiny heterogenity

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

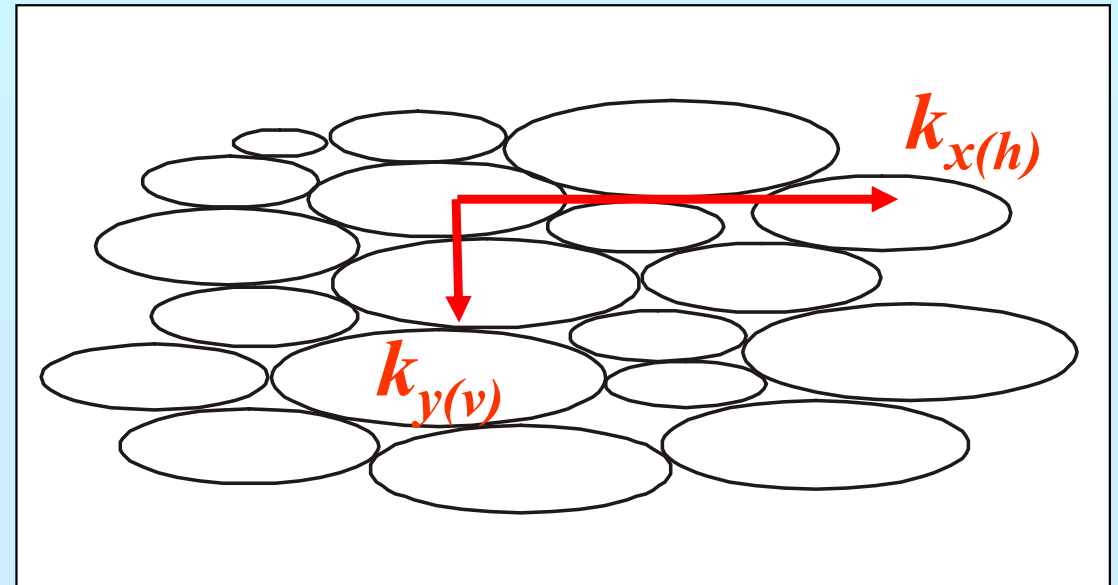
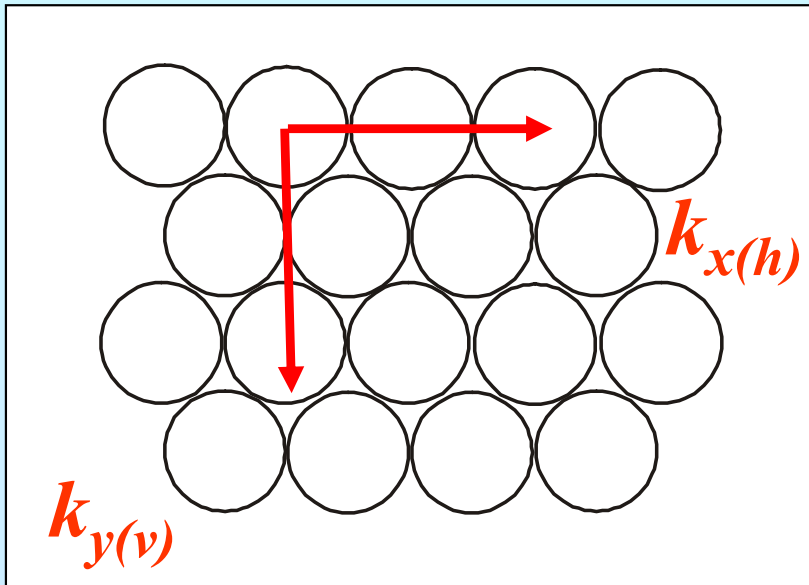


izotropní prostředí

- 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

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

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



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

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

$$K_x = \frac{\sum (m_i \cdot k_i)}{\sum m_i}$$

m_i mocnost i-tého horizontu

$$K_z = \frac{\sum m_i}{\sum (m_i/k_i)}$$

k_i 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

— zkrasovělý vápenec —

— propustný bazalt —

— rozpukané vyvěřelé a metamorfované horniny —

— vápence a dolomity —

— pískovce —

— kompaktní vyvěřelé a metamorfované horniny —

— břidlice —

— nezvětralé mořské jíly —

— glaciální till —

— hlíny, spraše —

— hlinitý písek —

— čistý písek —

— štěrk —

zpevněné horniny

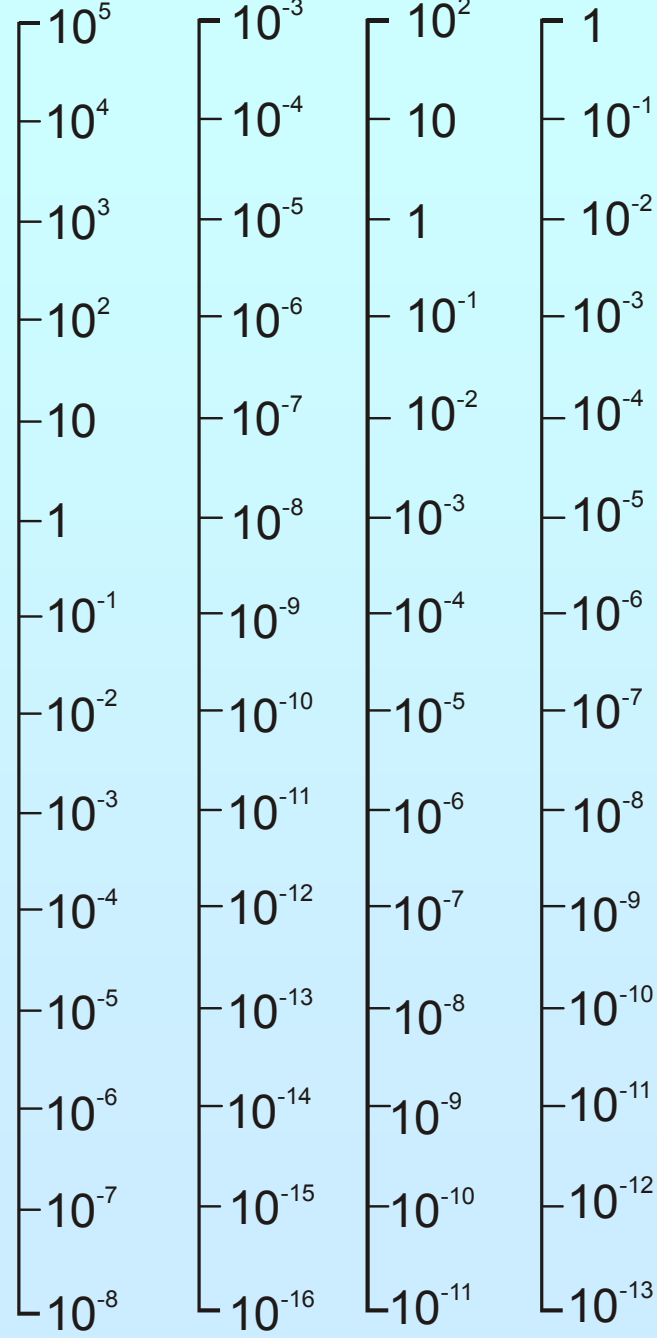
nezpevněné horniny

K
(darcy)

K
(cm^2)

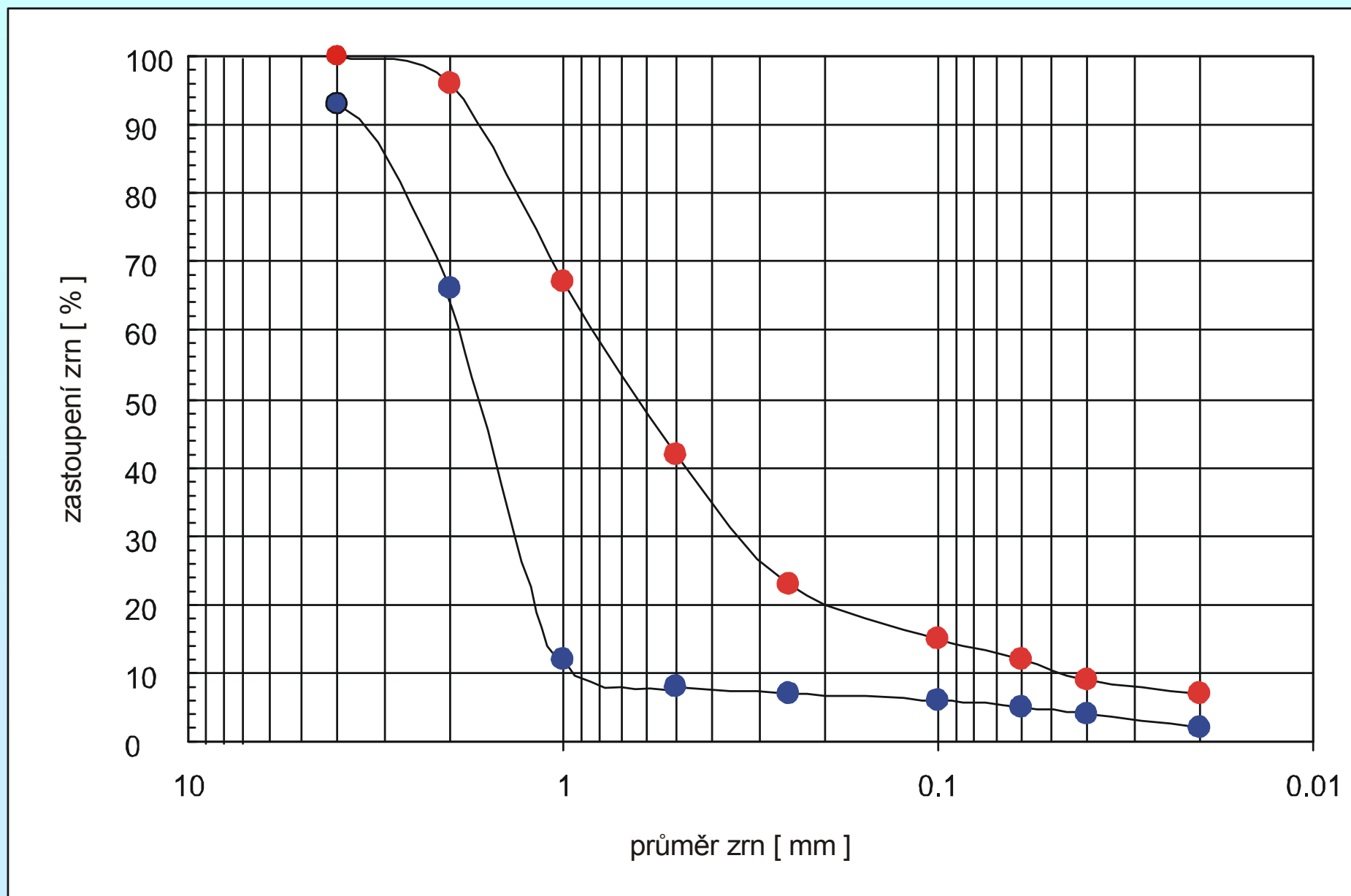
k
(cm/s)

k
(m/s)



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_f v m.s^{-1}) | Název sypkých hornin |
|--|--|
| 0,00464 | Štěrký a písky silně zahliněné |
| 0,00695 | Štěrký písčité, zahliněné |
| 0,00925 | Štěrký písčité , slabě zahliněné |
| 0,0104 | Štěrký písčité, velmi slabě zahliněné |
| 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

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

d_m reprezentativní průměr zrna

3. laboratorní stanovení – *propustoměry*

- maloobjemové vzorky nerepresentují 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

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

2. zkoušky s proměnlivým spádem

- použití zejména pro relativně nepropustné vzorky

$$k = \frac{d_t^2.l}{d_{vz}^2.t} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

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 zrny horniny

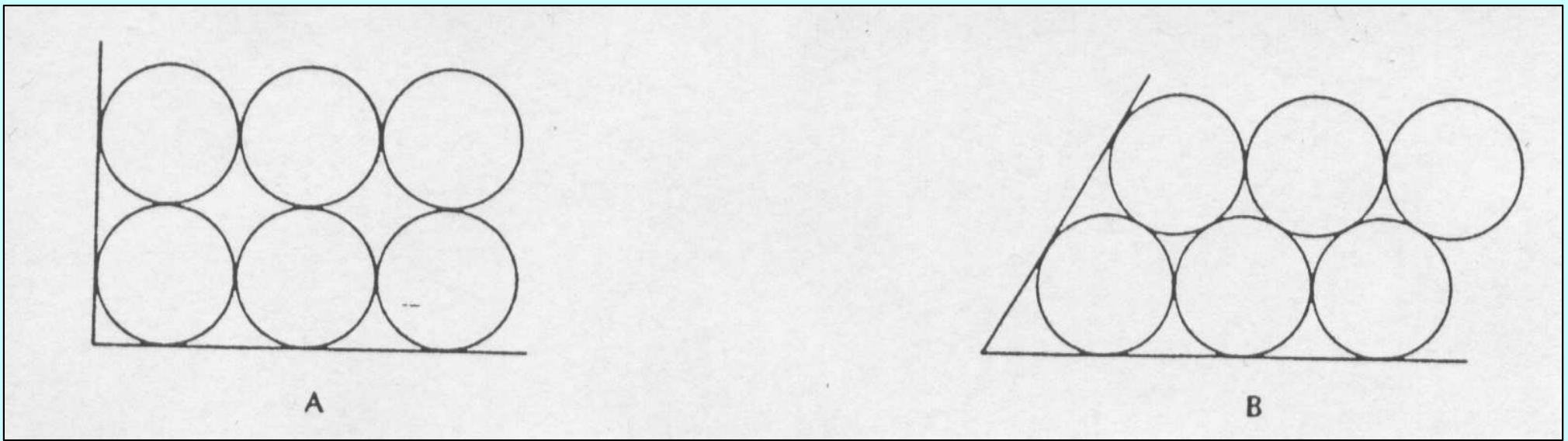
p - neutrální napětí – tlak kapaliny (pórový tlak)

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

snížení pórového tlaku ve zvodněné hornině (čerpání vody, odvodnění, apod.) \Rightarrow

růst efektivního napětí \Rightarrow zrna začnou 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 zrn horniny \Rightarrow uvolnění dalšího objemu vody z pórů = základ mechanismu neustáleného 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 zrn – zanedbatelná – dochází k přeskupení zrn (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

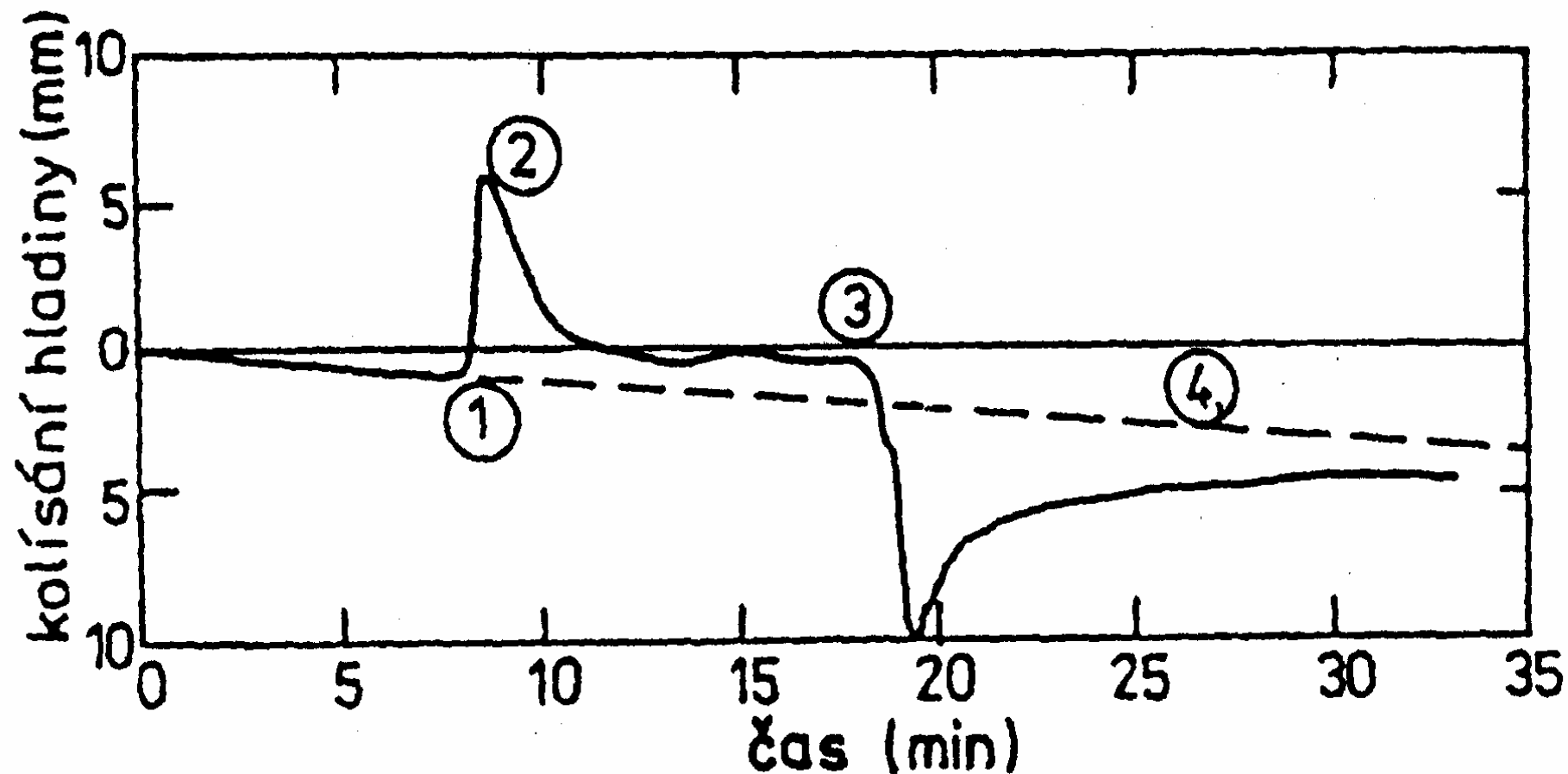
\Rightarrow závislost na stlačitelnosti horniny

\Rightarrow závislost na mocnosti horniny

\Rightarrow závislost na pórovitosti

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

| hornina | koeficient stlačitelnosti α_h [Pa ⁻¹] |
|--------------------------|---|
| jíl | $10^{-6} - 10^{-8}$ |
| písek | $10^{-7} - 10^{-9}$ |
| štěrk | $10^{-8} - 10^{-10}$ |
| rozpukaná skalní hornina | $10^{-8} - 10^{-10}$ |
| pevná skalní hornina | $10^{-9} - 10^{-11}$ |
| voda (β_v) | $4,4 \cdot 10^{-10}$ |



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

- stejnozrné písky – 1:1
- jíly – 10:1

zvodněné systémy
s písčítými kolektory
a jílovitými izolátory

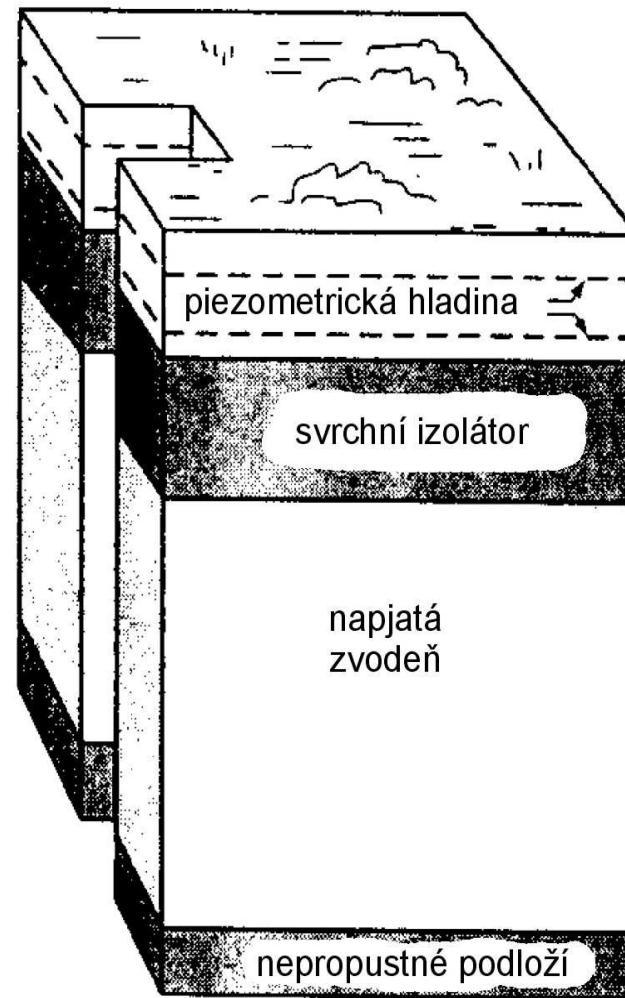
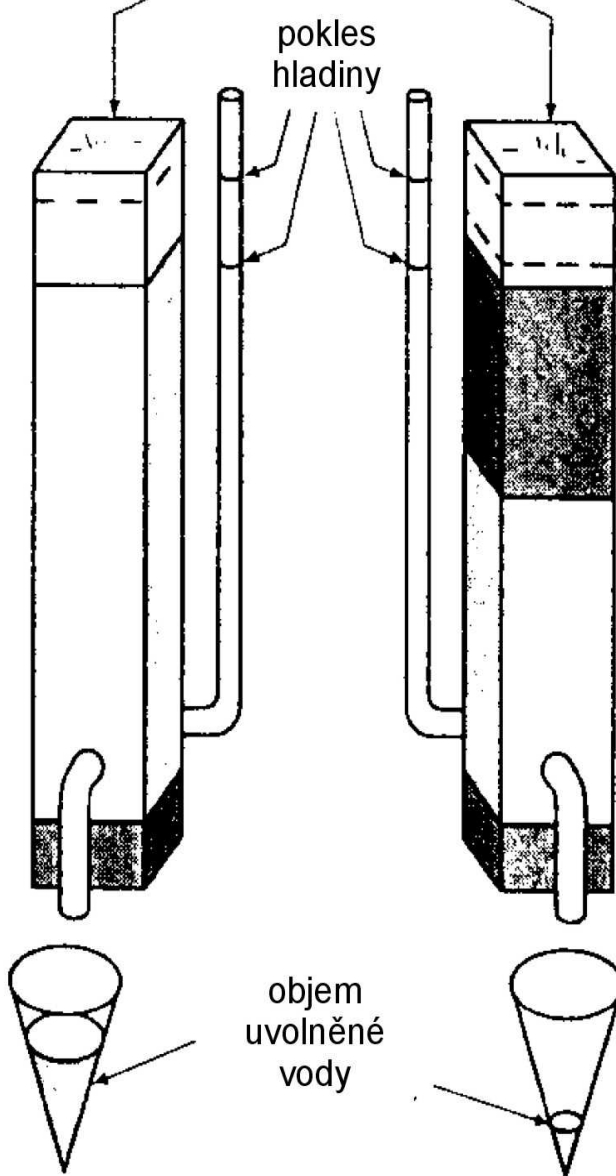
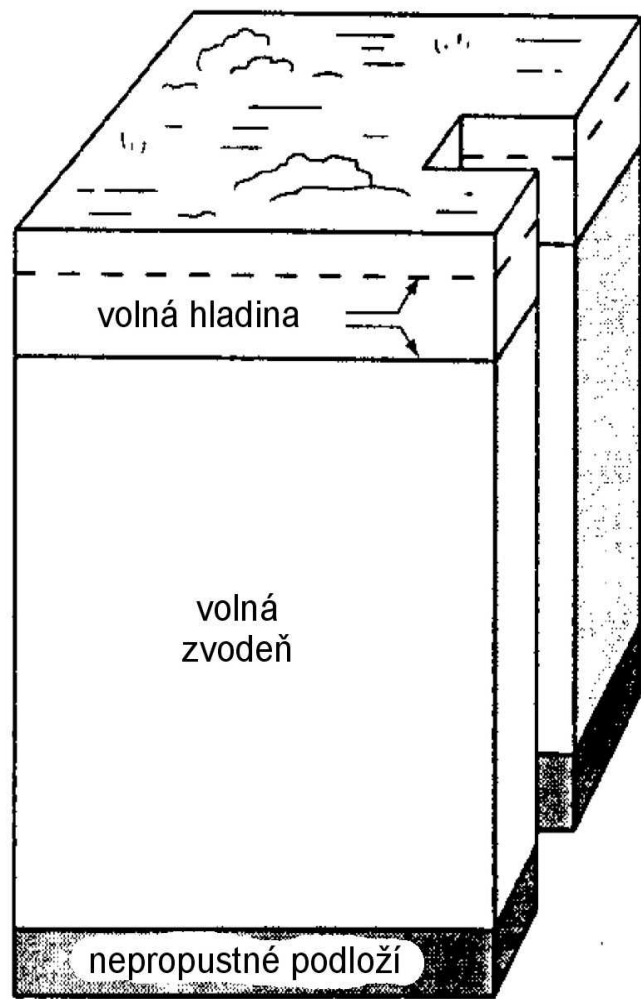
Hydraulické charakteristiky zvodněných formací

1. odporové charakteristiky – transmisivita T [m²/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 [m²/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

Stavitelství

jednotková plocha

pokles hladiny



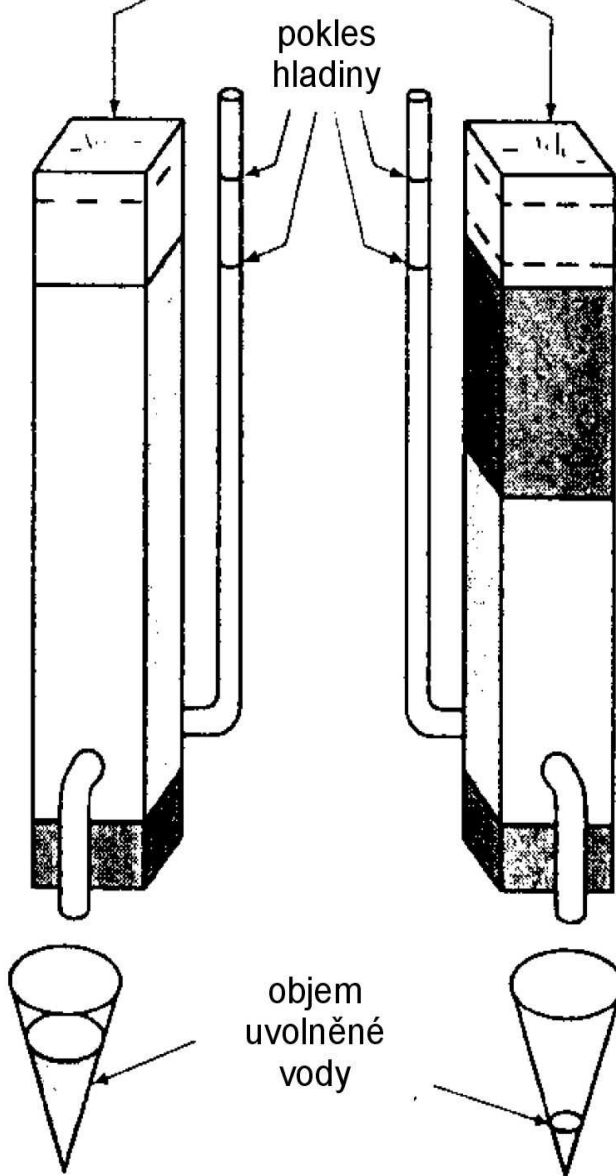
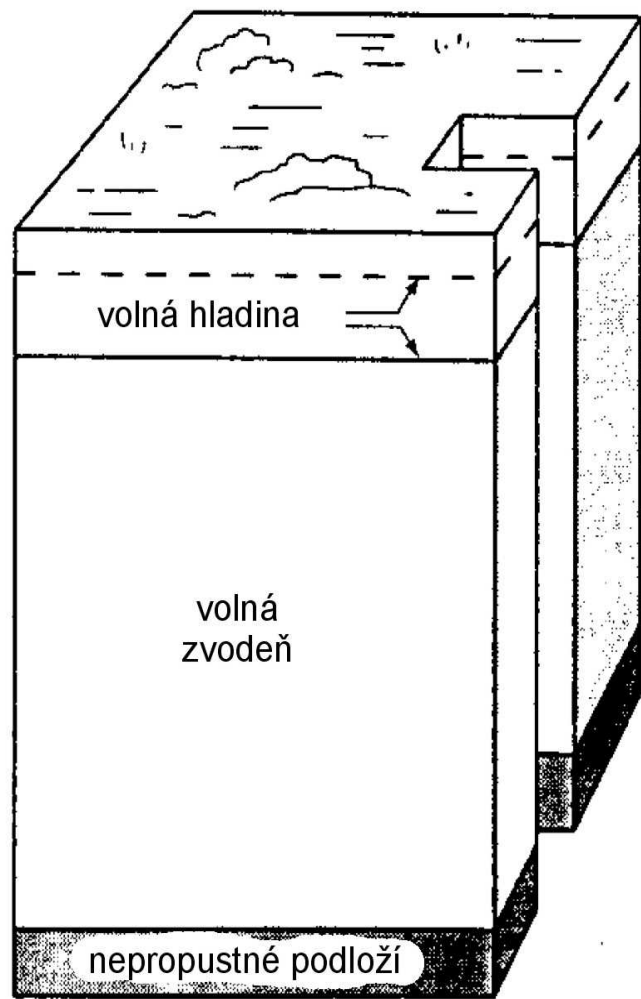
(a)

(b)

Stavitelství

jednotková plocha

pokles hladiny



(a)

(b)

volná hladina

| materiál | storativita [%] |
|-------------------|--------------------------|
| štěrk, hrubozrnný | 23 |
| písek, hrubozrnný | 27 |
| písek, jemnozrnný | 23 |
| silt | 8 |
| jíl | 3 |
| pískovec | 25 |
| vápenec | 14 |
| spraš | 18 |
| till, písčítý | 16 |