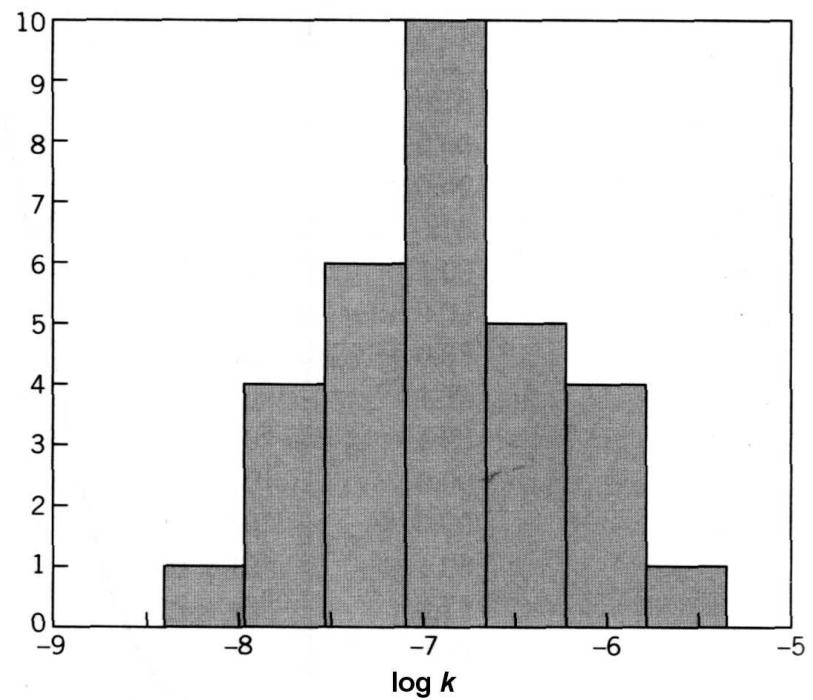
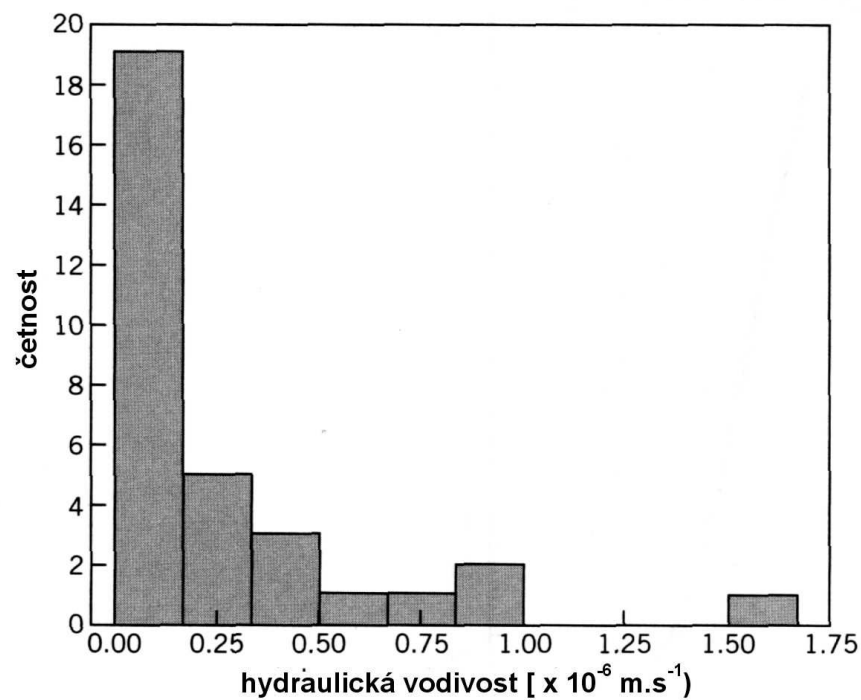
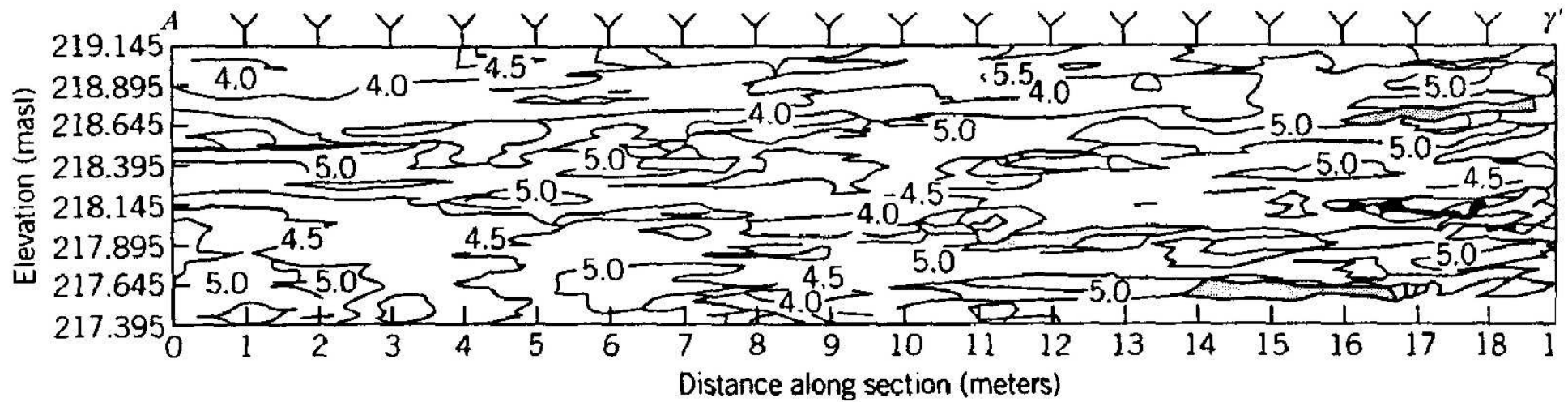


ZÁKLADY HYDROGEOLOGIE

III. PŘEDNÁŠKA

DISTRIBUCE HODNOT HYDRAULICKÉ VODIVOSTI



HOMOGENITA A IZOTROPIE

homogenní formace

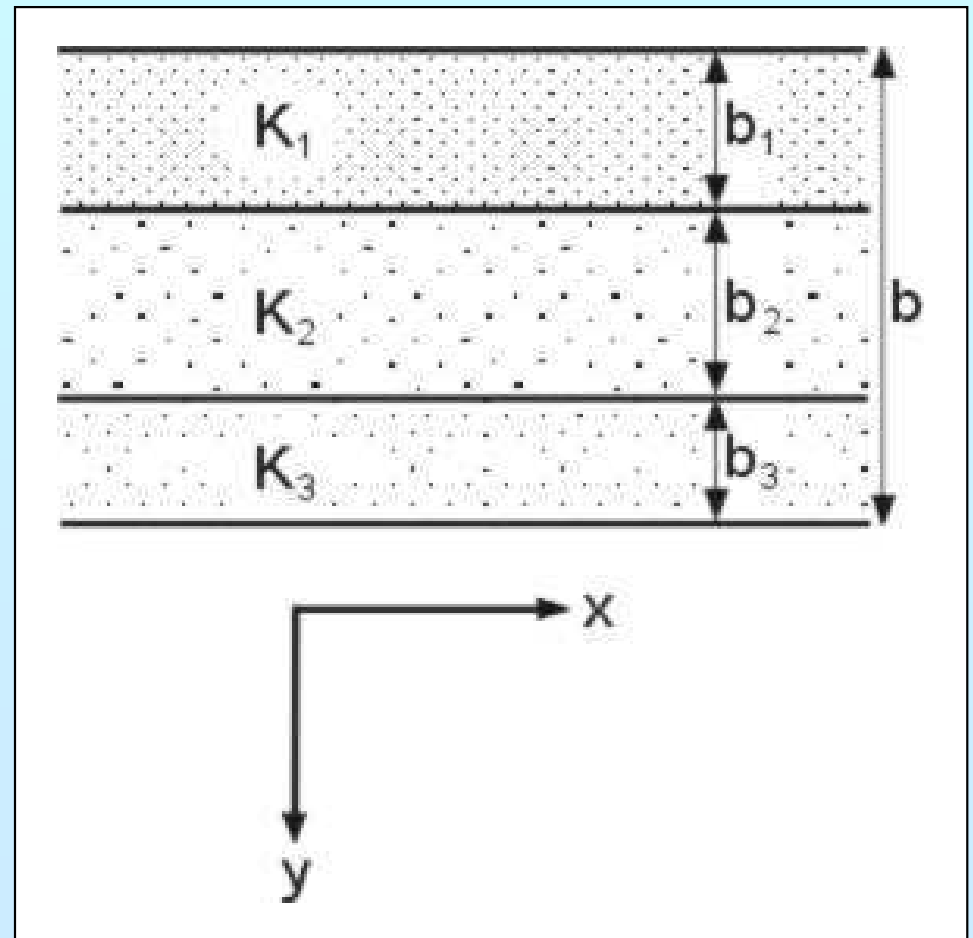
- v každém bodě má stejné vlastnosti – stejné hodnoty hydraulické vodivosti

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

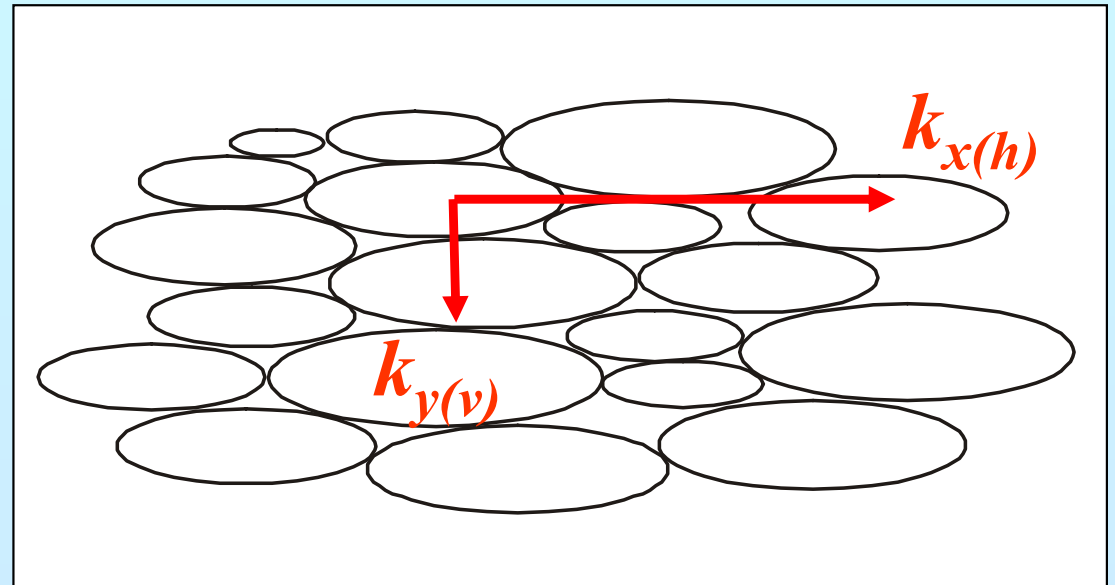
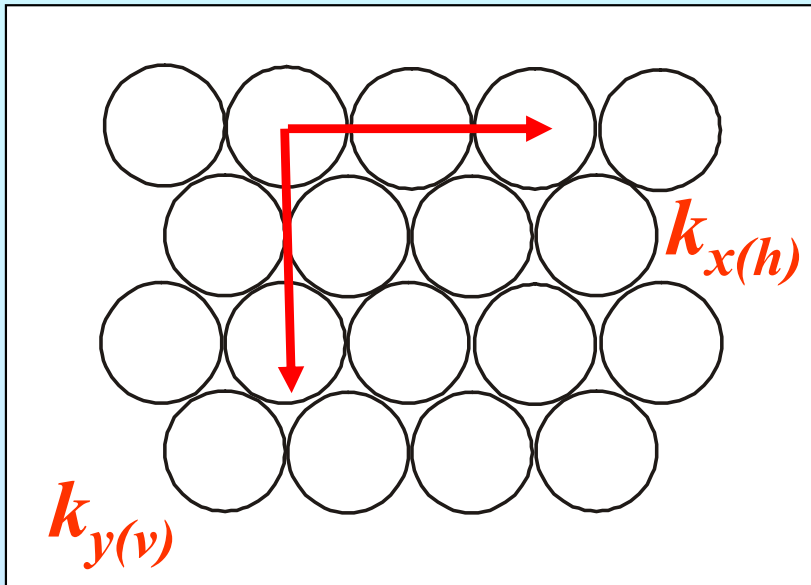


izotropní prostředí

- 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

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

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



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

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 —

— štěrky —

zpevněné horniny

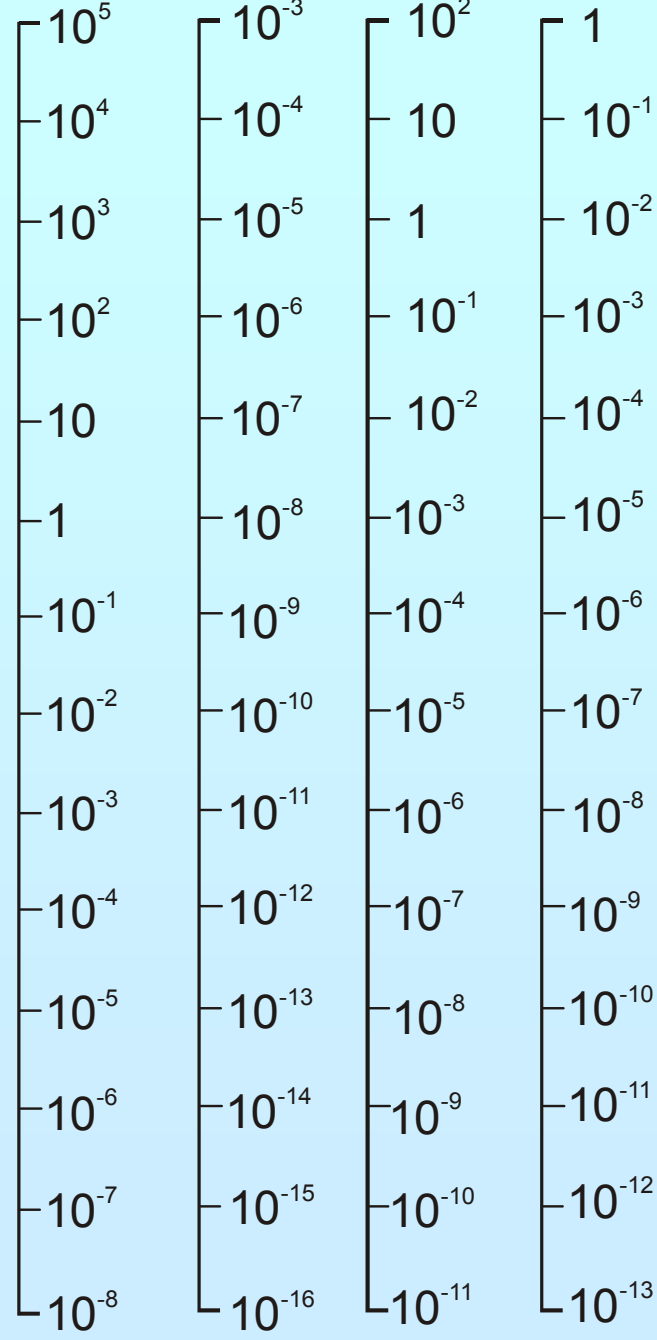
nezpevněné horniny

K
(darcy)

K
(cm^2)

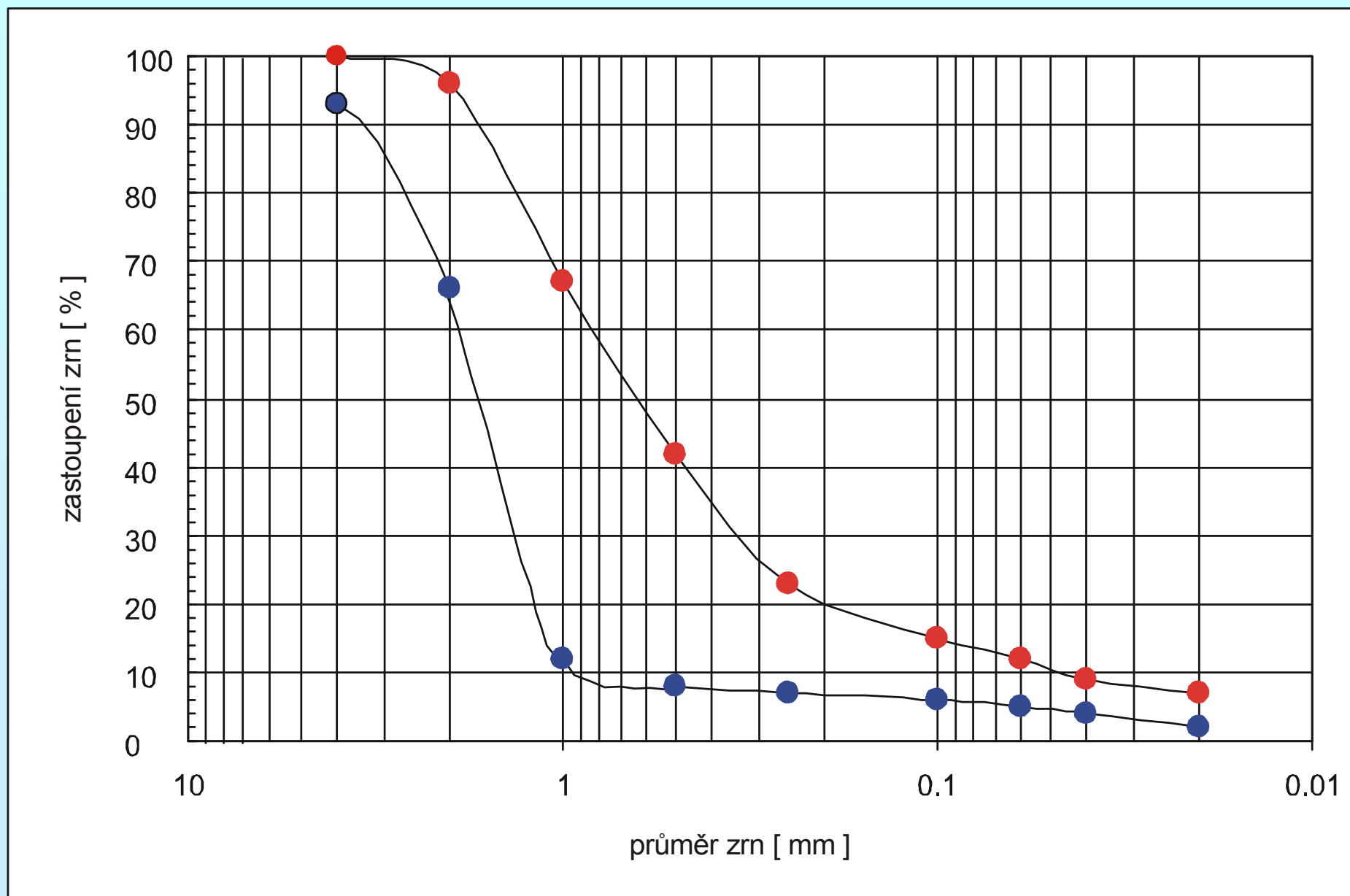
k
(cm/s)

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

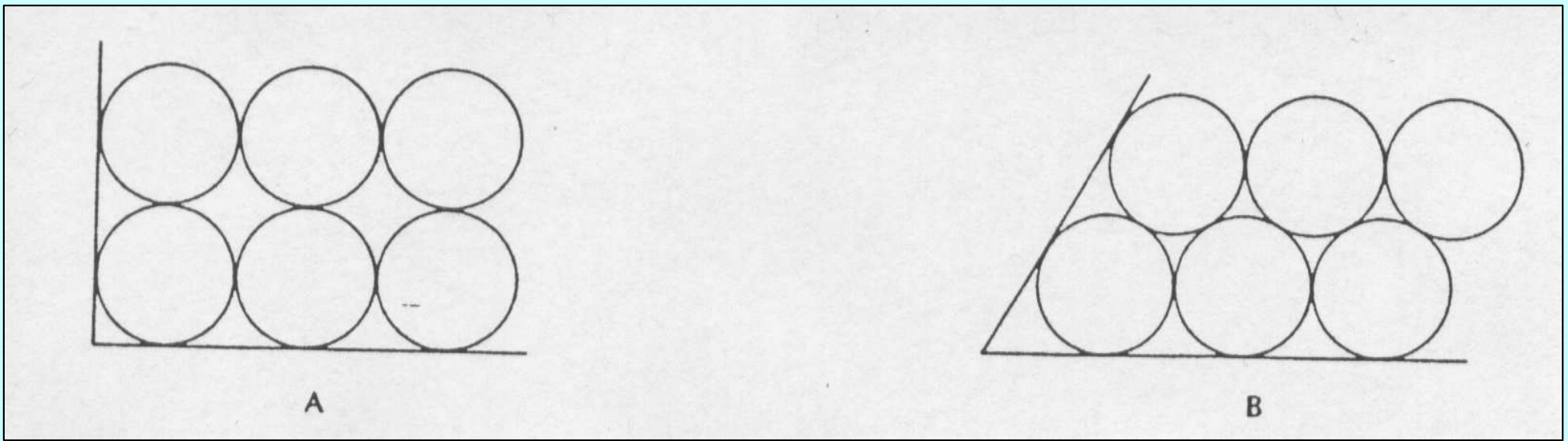
p - neutrální napětí – tlak kapaliny (pórový tlak)

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

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

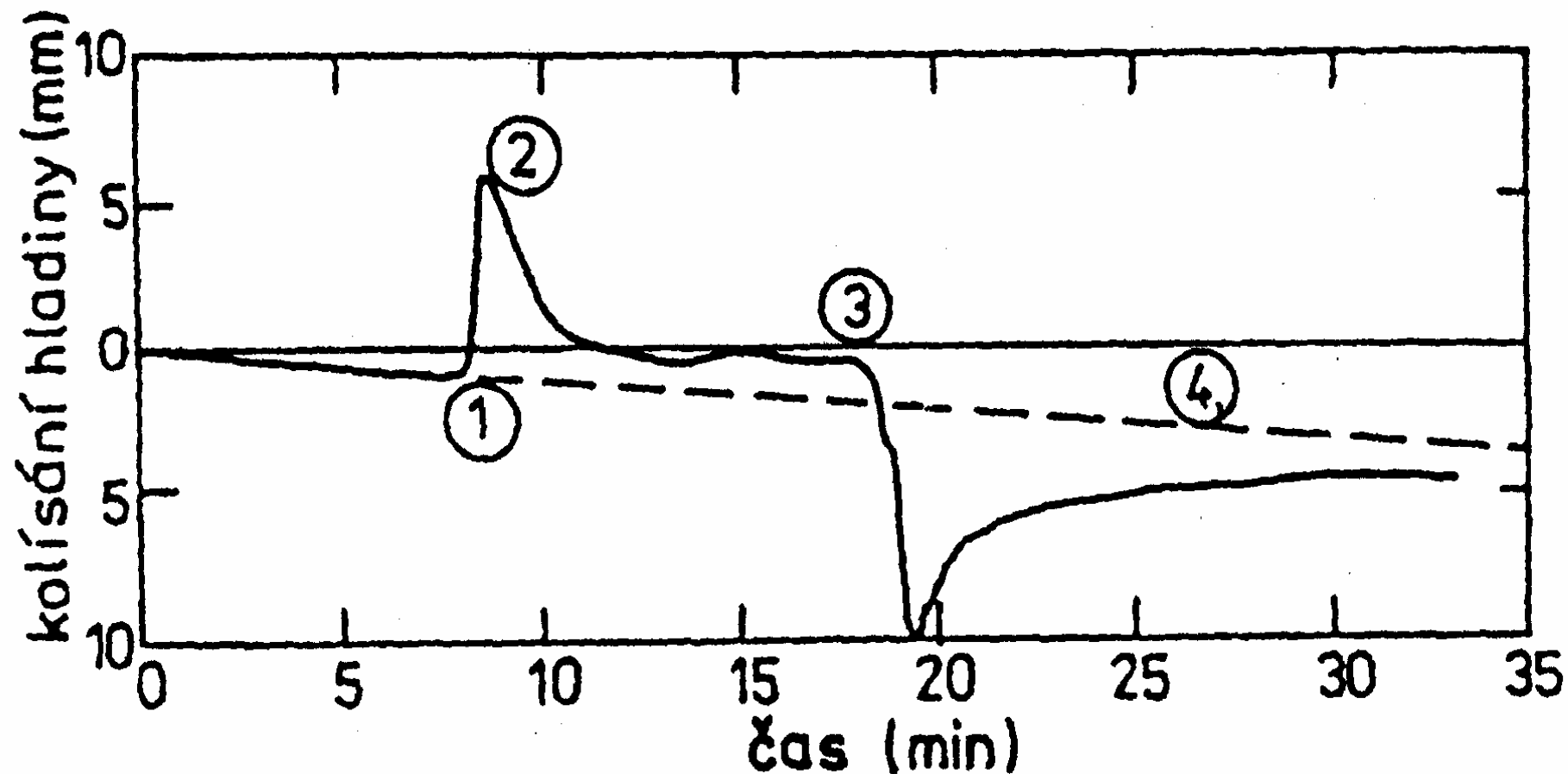
\Rightarrow závislost na stlačitelnosti horniny

\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

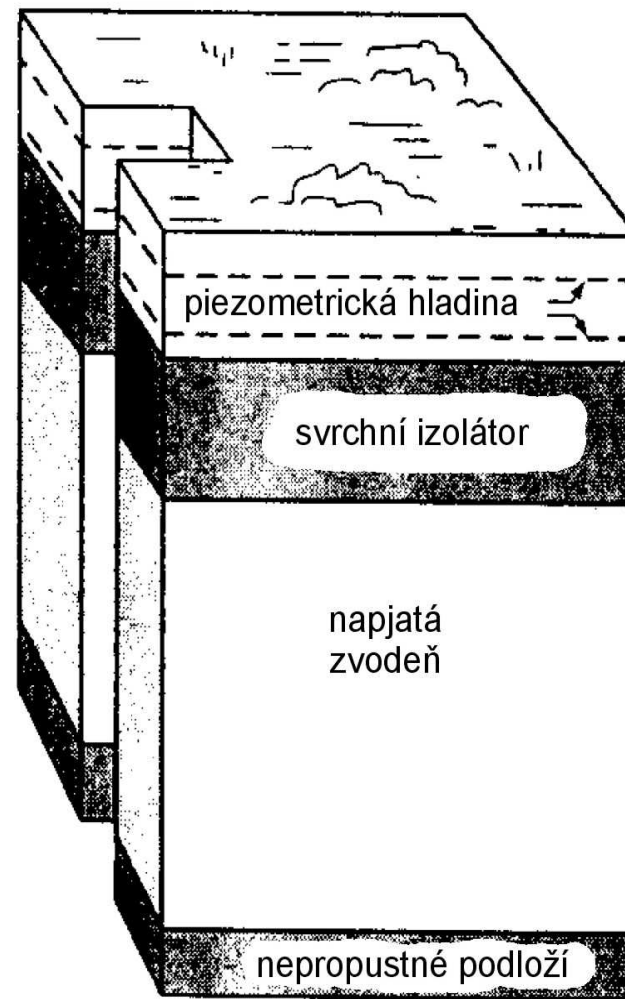
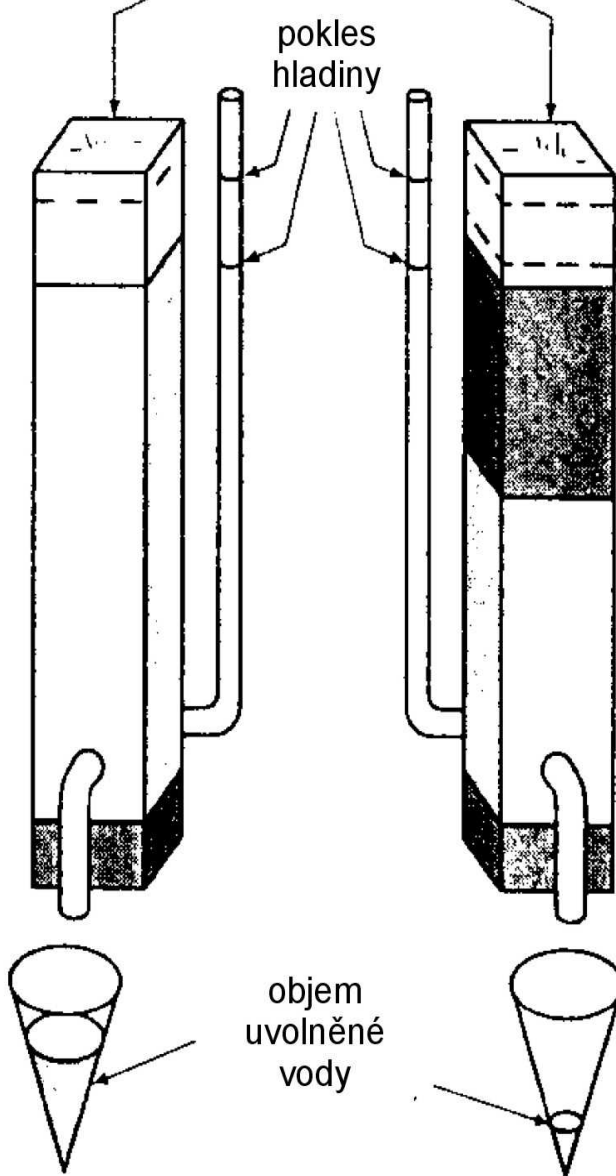
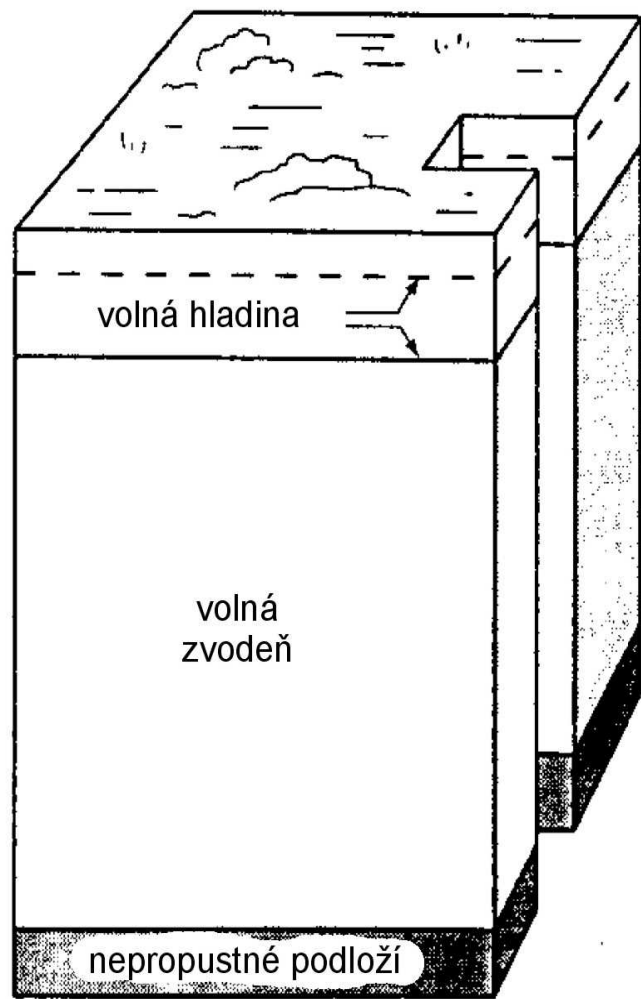
Hydraulické charakteristiky zvodněných formací

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



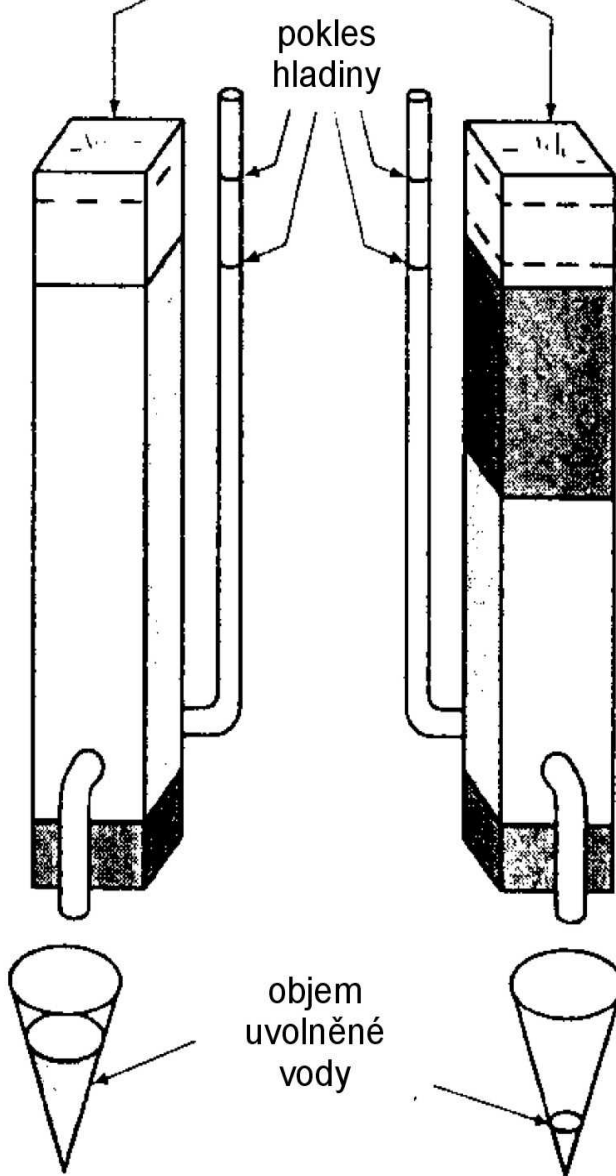
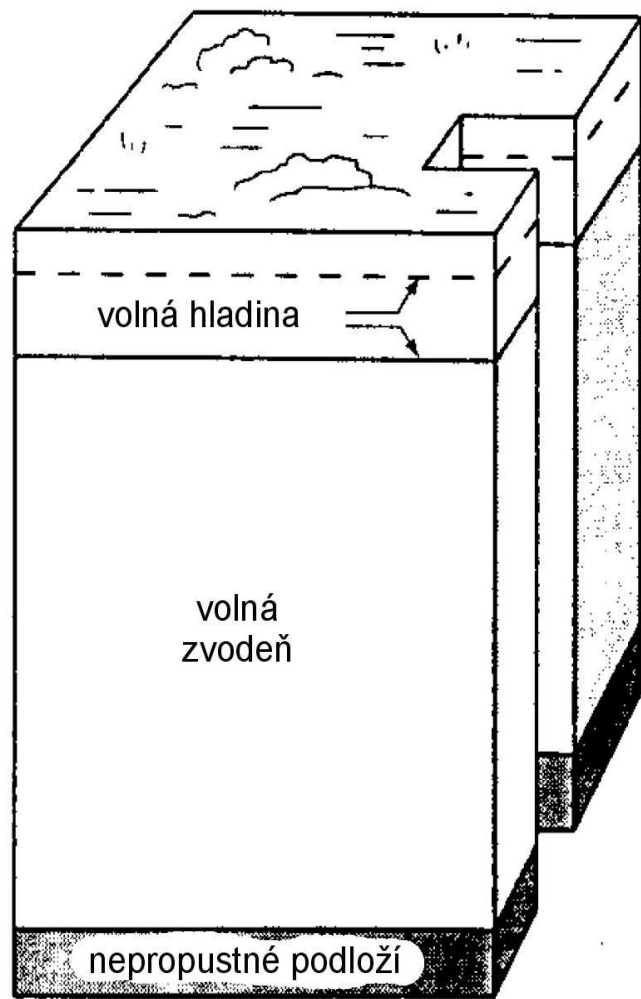
(a)

(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