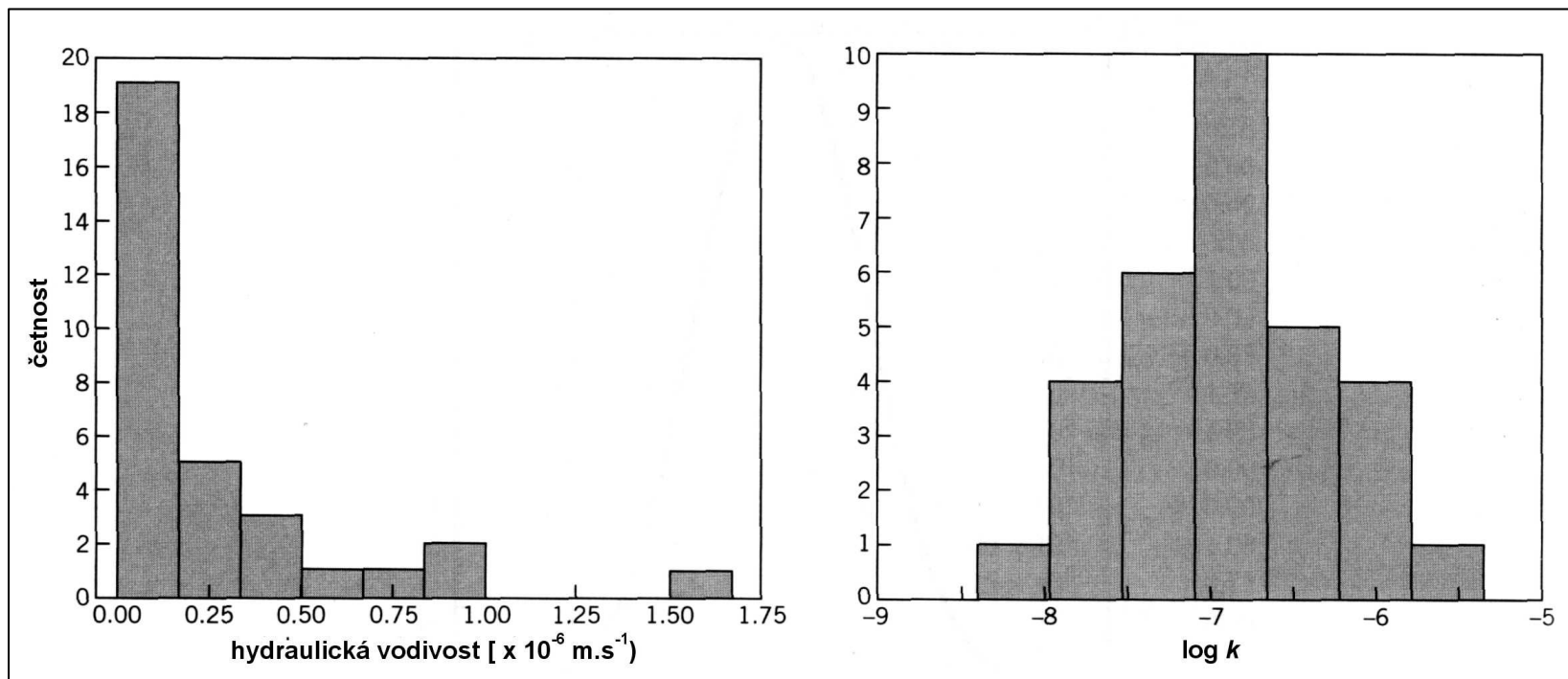
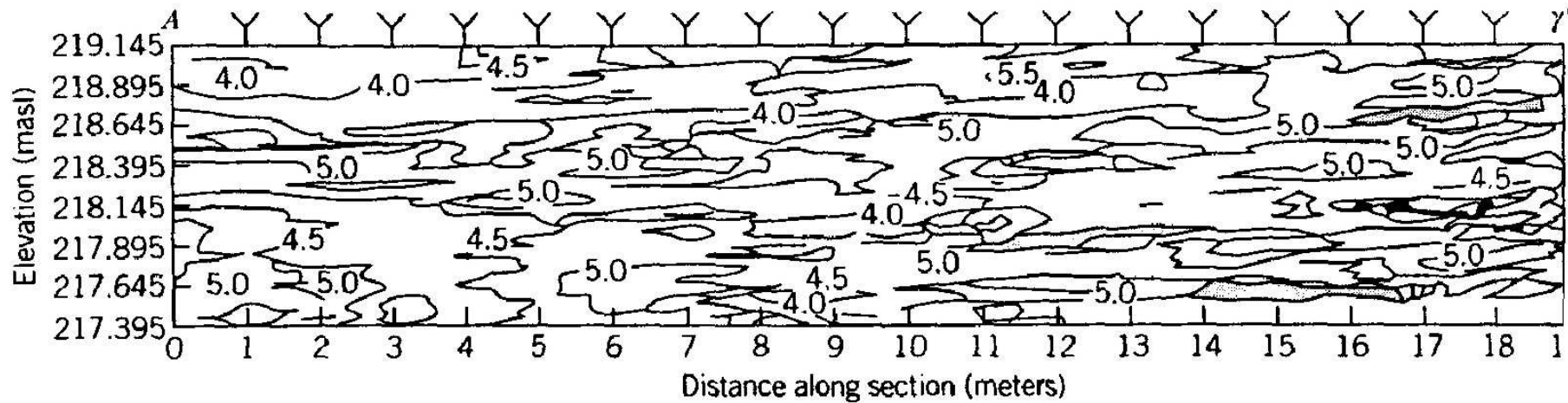


ZÁKLADY HYDROGEOLOGIE

III. PŘEDNÁŠKA

DISTRIBUCE HODNOT HYDRAULICKÉ VODIVOSTI



HOMOGENITA A IZOTROPIE

homogenní formace

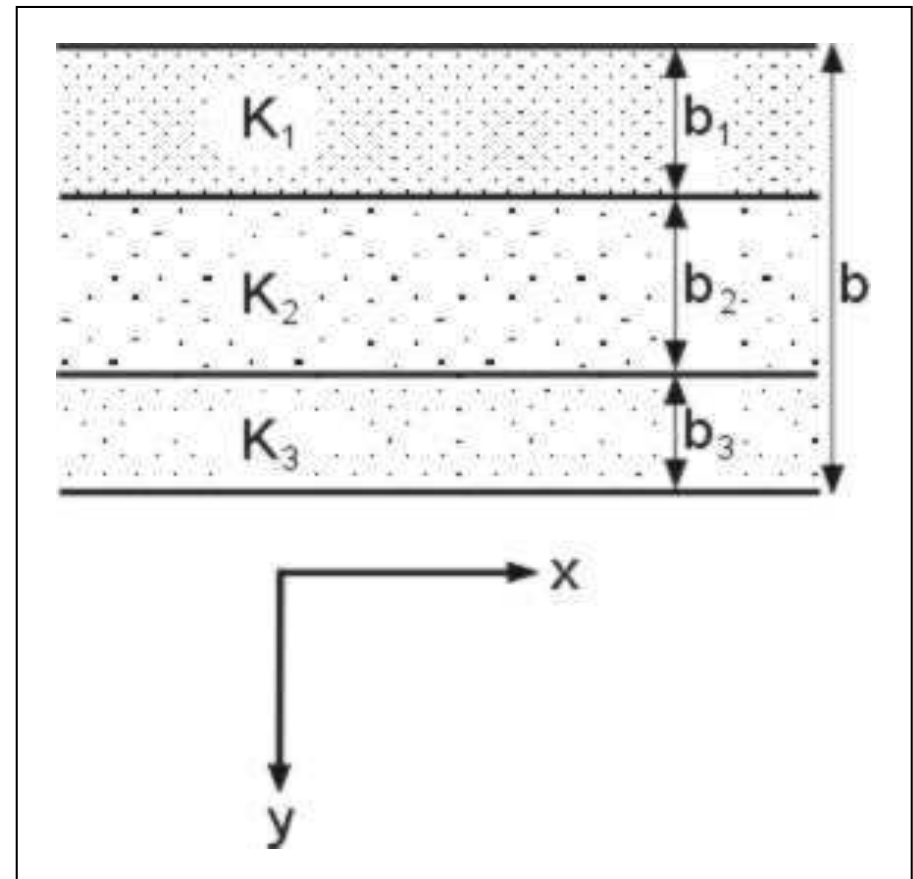
- v každém bodě má stejné vlastnosti – stejné hodnoty hydraulické vodivosti

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

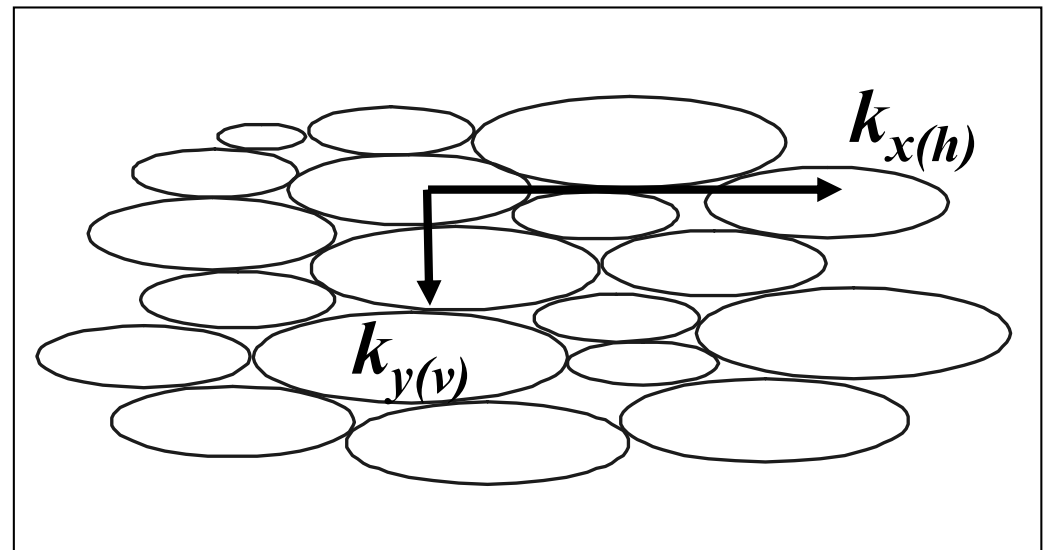
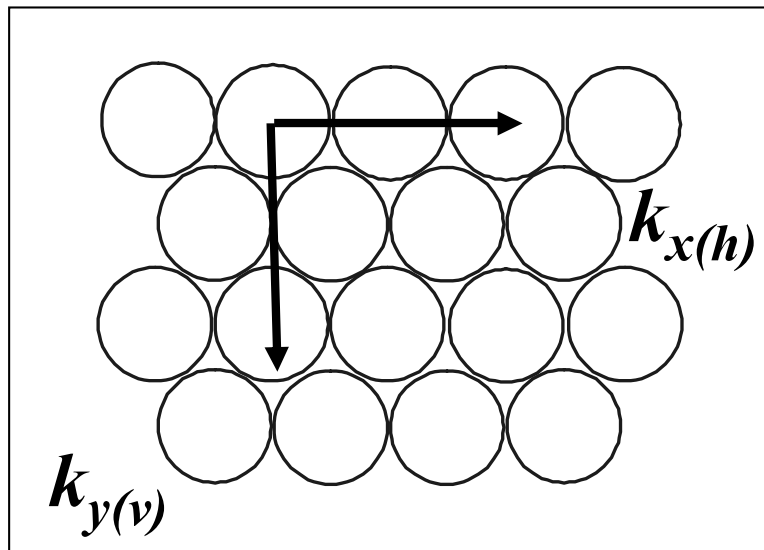


izotropní prostředí

- 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

$$k_{xx} \quad k_{xy} \quad k_{xz}$$

$$k_{yx} \quad k_{yy} \quad k_{yz}$$

$$k_{zx} \quad k_{zy} \quad k_{zz}$$



$$k_{xx} \quad 0 \quad 0$$

$$0 \quad k_{yy} \quad 0$$

$$0 \quad 0 \quad k_{zz}$$

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

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

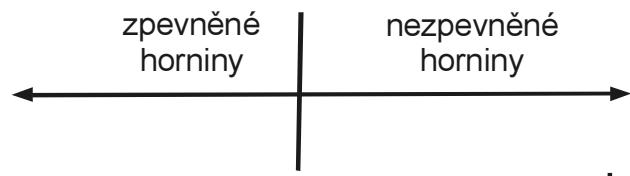
m_i mocnost i-tého horizontu

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

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 —

— rozpučené vyvěřelé a metamorfované horniny —

— vápence a dolomity —
— pískovce —

— kompaktní vyvěřelé a metamorfované horniny —

— břidlice —

— nezvětralé mořské jíly —
— glaciální till —

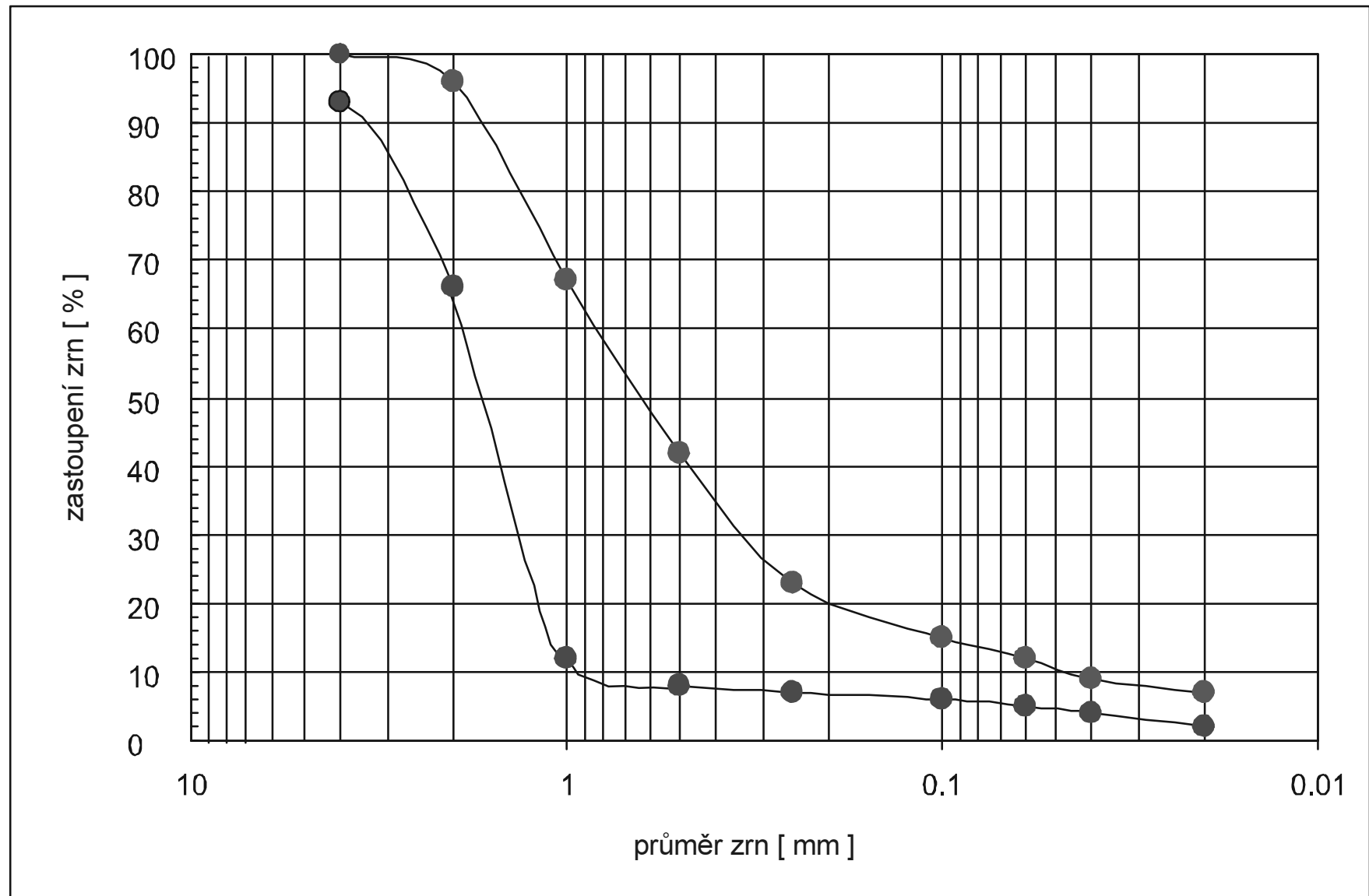
— hlíny, spraše —
— hlinitý písek —

— čistý písek —
— štěrk —

K (darcy)	K (cm^2)	k (cm/s)	k (m/s)
10^5	10^{-3}	10^2	1
10^4	10^{-4}	10	10^{-1}
10^3	10^{-5}	1	10^{-2}
10^2	10^{-6}	10^{-1}	10^{-3}
10	10^{-7}	10^{-2}	10^{-4}
1	10^{-8}	10^{-3}	10^{-5}
10^{-1}	10^{-9}	10^{-4}	10^{-6}
10^{-2}	10^{-10}	10^{-5}	10^{-7}
10^{-3}	10^{-11}	10^{-6}	10^{-8}
10^{-4}	10^{-12}	10^{-7}	10^{-9}
10^{-5}	10^{-13}	10^{-8}	10^{-10}
10^{-6}	10^{-14}	10^{-9}	10^{-11}
10^{-7}	10^{-15}	10^{-10}	10^{-12}
10^{-8}	10^{-16}	10^{-11}	10^{-13}

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

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

2. zkoušky s proměnlivým spádem

- použití zejména pro relativně nepropustné vzorky

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

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 zrny horniny

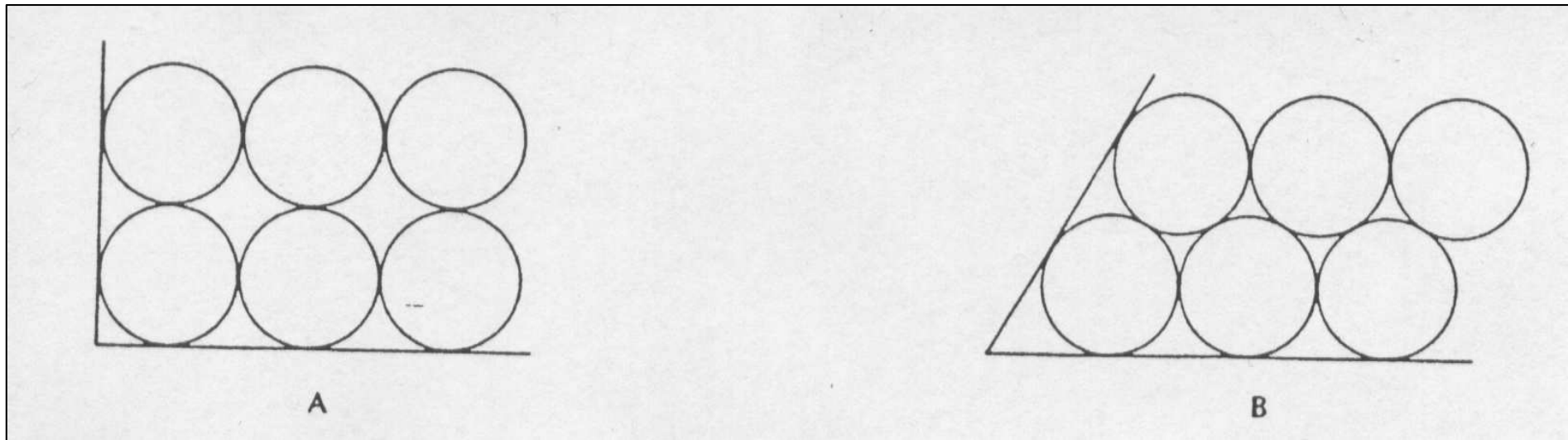
p - neutrální napětí – tlak kapaliny (pórový tlak)

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

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

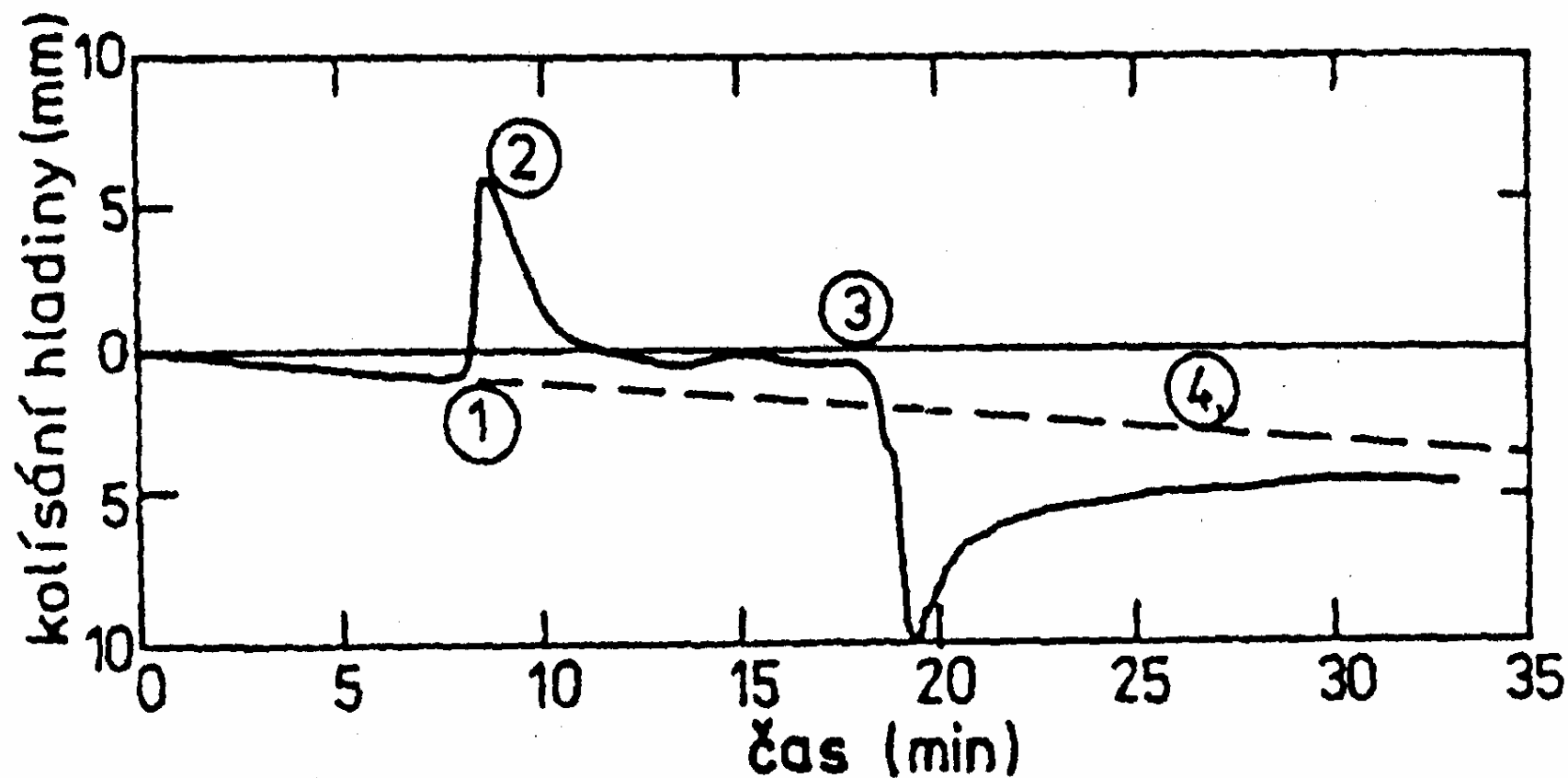
\Rightarrow závislost na stlačitelnosti horniny

\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	$10^{-7} - 10^{-9}$
šterk	$10^{-8} - 10^{-10}$
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

- stejnozrnné písky – 1:1
- jíly – 10:1

zvodněné systémy
s písčnými kolektory
a jílovitými izolátory

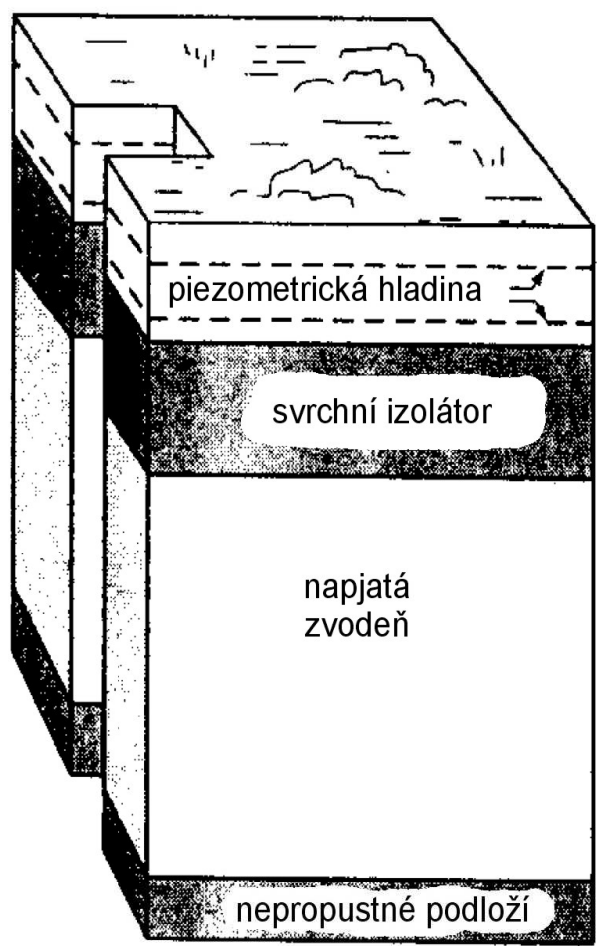
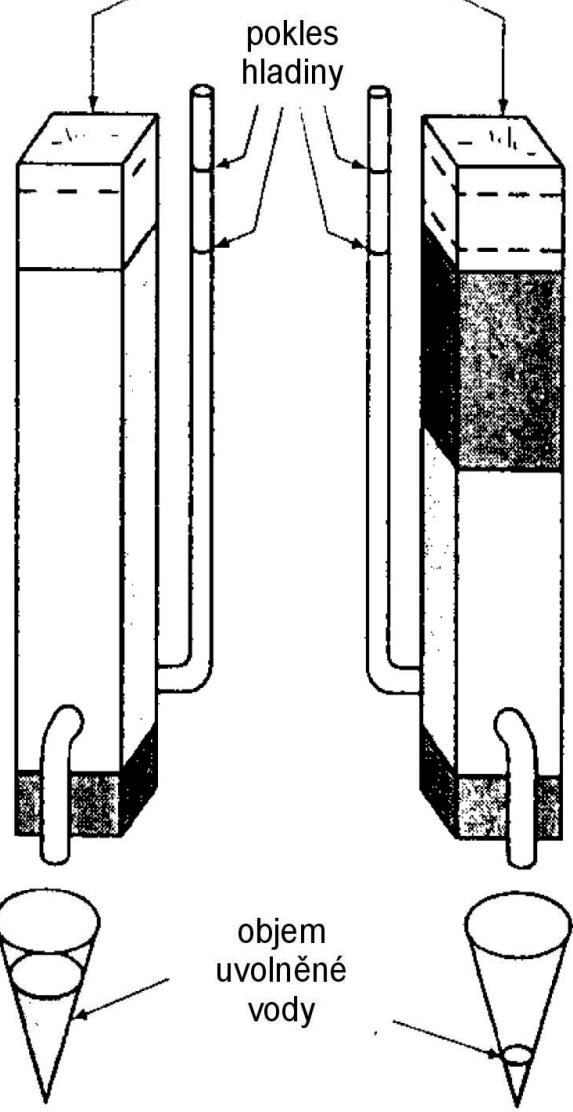
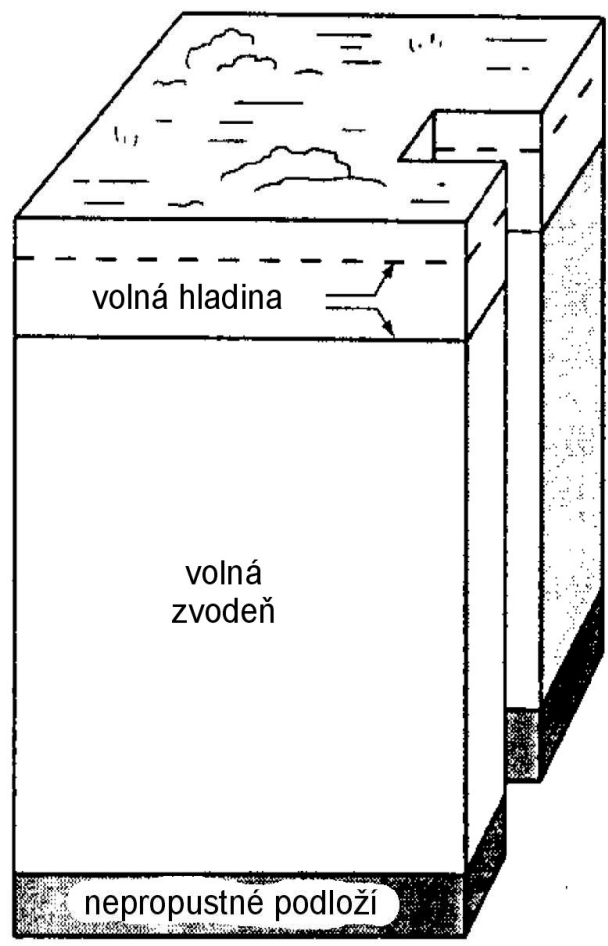
Hydraulické charakteristiky zvodněných formací

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

Stenovitá

jednotková plocha

pokles hladiny



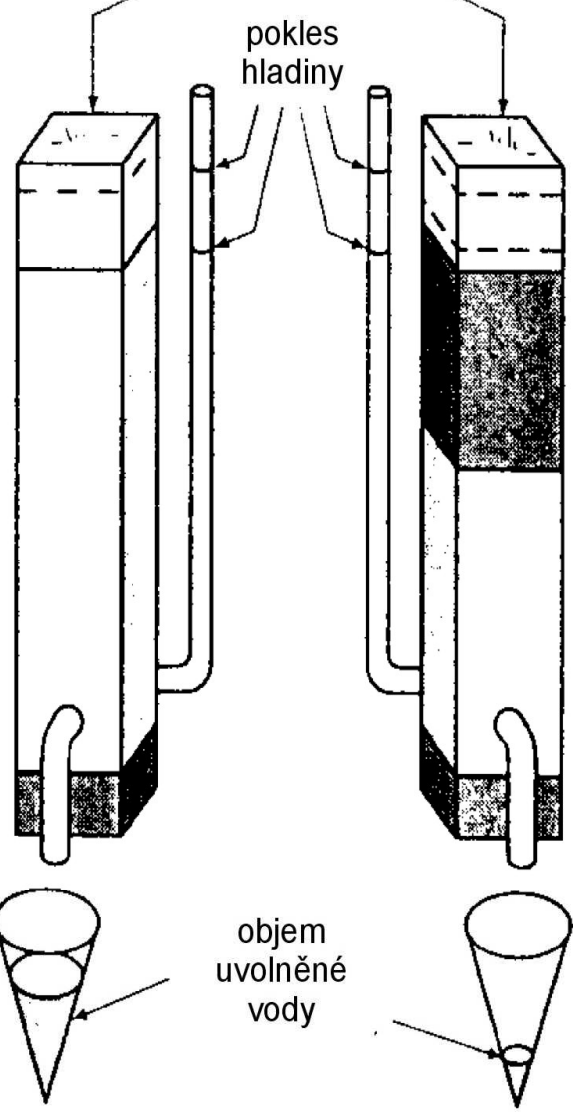
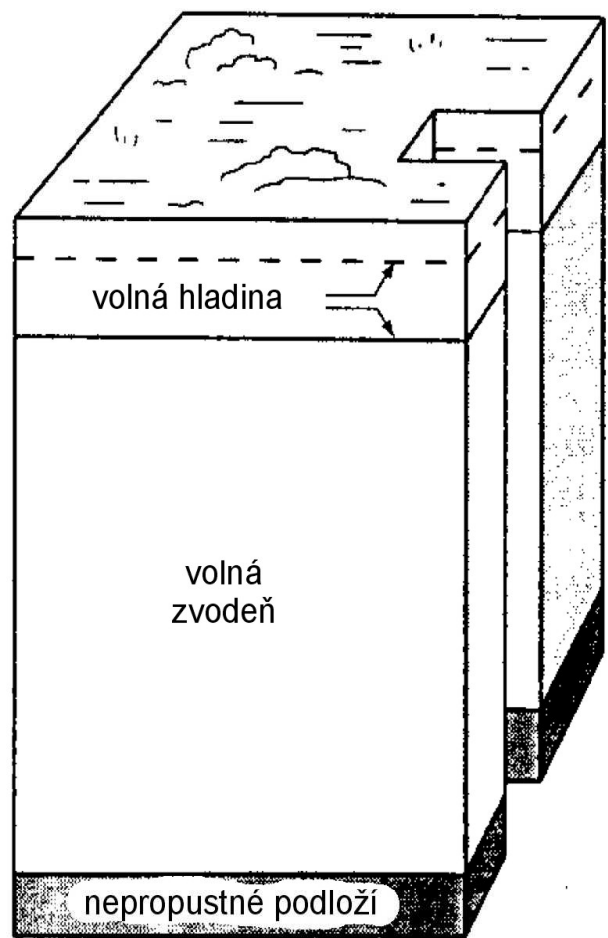
(a)

(b)

Stenovitá

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, písčitý	16