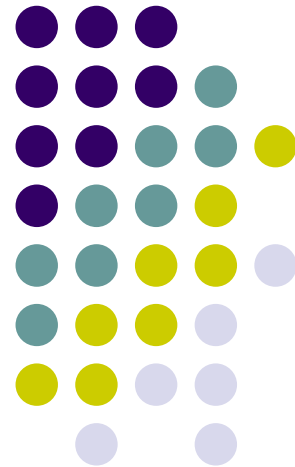
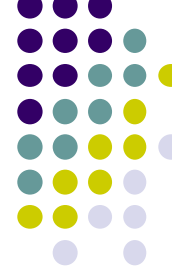


# Hydromechanika a hydrológia

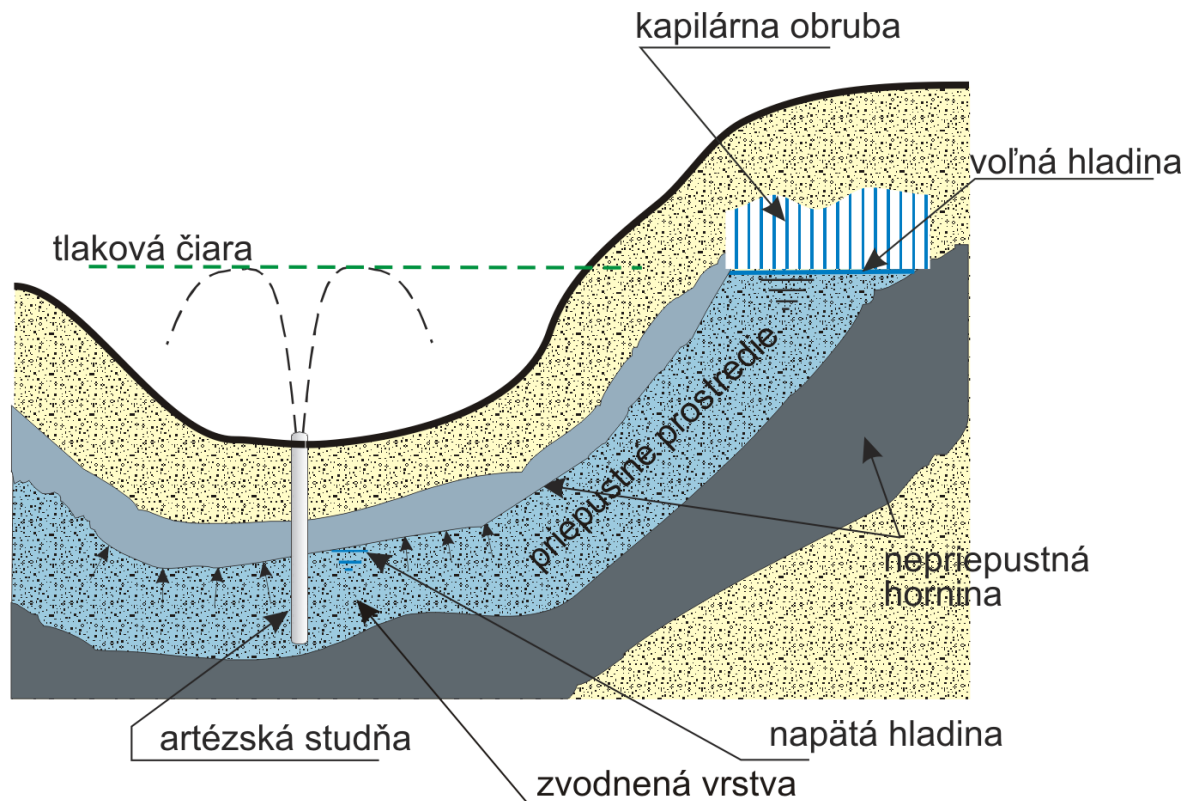
8. prednáška



# Hydraulika podzemnej vody



- Základné označenie



# Vlastnosti pórového prostredia



- Pórovitosť

- Celková  $n = \frac{V_p}{V}$
- Efektívna  $n_e = \frac{V_G}{V}$

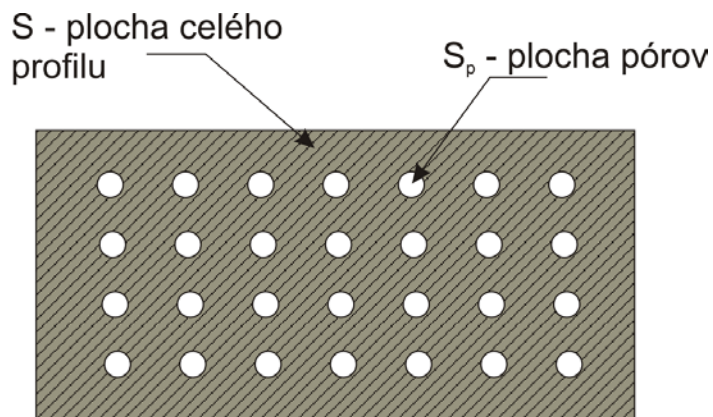
- Priepustnosť – schopnosť prepúšťať vodu

- Koeficient priepustnosti  $k_p = \frac{n_e \cdot d^2}{32}$  [m<sup>2</sup>]

- Koeficient filtrácie  $k = k_p \frac{g}{v}$  [m.s<sup>-1</sup>]

# Darcyho zákon

- Výpočet množstva vody, ktoré preteká zeminou
- Laminárne prúdenie



Filtračná rýchlosť

$$v_f = k.i$$

Priemerná rýchlosť v potrubí

$$v = \frac{\rho g i}{32\mu} d^2 = \frac{g}{\nu} \frac{d^2}{32} i$$

Prietok profilom

$$Q = S_p \cdot v = n_e \cdot S \cdot v$$

Dosadíme za rýchlosť

$$Q = S \cdot \frac{g n_e d^2}{\nu} i = S \cdot k \cdot i$$

Koef. filtrácie

# Darcyho zákon

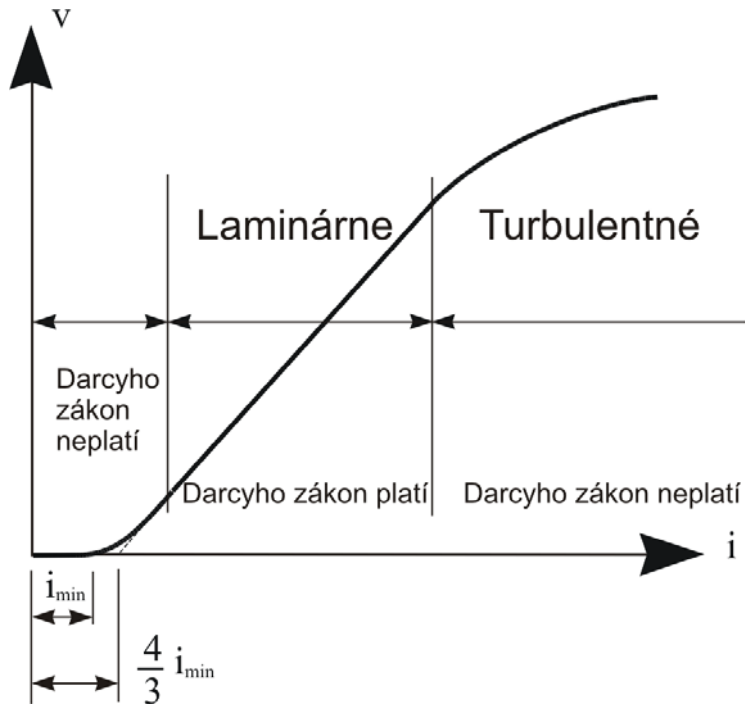
- Rýchlosť vody v zemine
  - Filtračná – ide o fiktívnu rýchlosť
  - Pórová – skutočná rýchlosť vody v póroch
- Použitie
  - Filtračná rýchlosť sa používa pre výpočty množstva pretekajúcej vody (prítok vody do stavebnej jamy)
  - Pórová rýchlosť sa používa pre výpočty pohybu znečistenia v podzemnej vode

$$v_p = \frac{v_f}{n_e}$$



# Darcyho zákon

- Platnosť Darcyho zákona



Platí pre laminárne prúdenie pre  $i > i_0$

$$i_0 = \frac{4}{3} i_{\min}$$

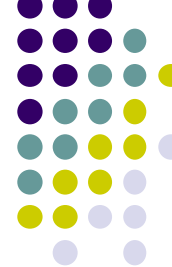
Pre málo priepustné zeminy

$$v_f = k(i - i_0)$$

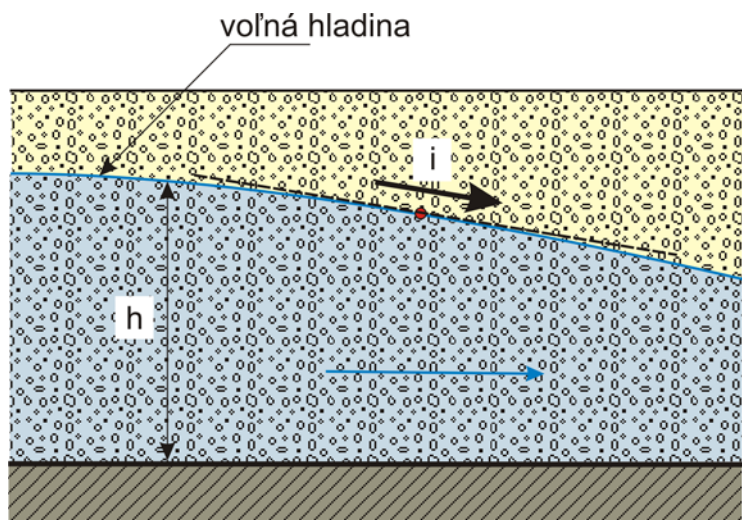
Pre turbulentné prúdenie platí

$$i = A.v + B.v^2 = \frac{v}{k}(1 + a.v)$$

# Sklon $i$



- Sklon  $i$  pre voľnú hladinu je sklon hladiny



Sklon môžeme vyjadriť aj ako

$$i = -\frac{dh}{dx}$$

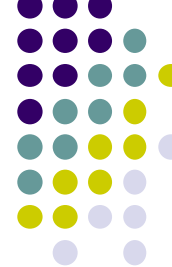
Potom Darcyho zákon má tvar

$$v_f = k \cdot i = -k \cdot \frac{dh}{dx}$$

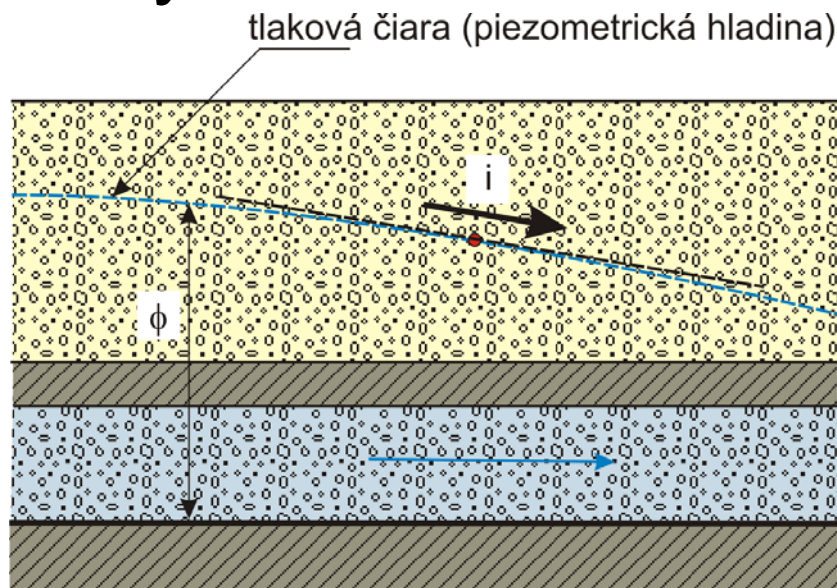
Obecne v priestore môžeme mať rôzny koeficient filtrácie v smere  $x$ ,  $y$  a  $z$

$$v_{fx} = -k_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad v_{fy} = -k_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad v_{fz} = -k_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

# Sklon $i$



- Pre napätú hladinu je sklon  $i$  sklon tlakovej čiary



Sklon  $i$  je teraz

$$i = -\frac{d\phi}{dx}$$

$$v_f = k \cdot i = -k \cdot \frac{d\phi}{dx}$$

$$v_{fx} = -k_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad v_{fy} = -k_y \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad v_{fz} = -k_z \frac{\partial \phi}{\partial z}$$



# Základná rovnica prúdenia

- Ustálené prúdenie
  - Základom je rovnica kontinuity v tvare

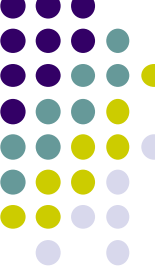
$$\frac{\partial v_{fx}}{\partial x} + \frac{\partial v_{fy}}{\partial y} + \frac{\partial v_{fz}}{\partial z} = 0$$

Dosadíme za filtračnú rýchlosť a môžeme písať

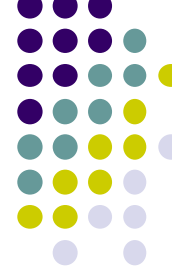
$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) = 0$$

Ak predpokladáme, že  $k_x = \text{konšt}$ ,  $k_y = \text{konšt}$  a  $k_z = \text{konšt}$ ., potom platí

$$k_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$



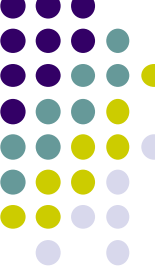
# Stanovenie koef. filtrácie



- Orientačné hodnoty

Druh zeminy	Pórovitosť n [%]	Koeficient filtrácie $k_f$ [m.s <sup>-1</sup> ]
štrk	20 ÷ 25	$1 \cdot 10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-3}$
štrk hlinitý	23 ÷ 45	$2 \div 10 \cdot 10^{-4}$
hrubý piesok	30 ÷ 40	$1 \div 5 \cdot 10^{-4}$
piesok	25 ÷ 45	$1 \div 5 \cdot 10^{-5}$
hlina piesčitá	35 ÷ 50	$< 1 \cdot 10^{-6}$
íl	30 ÷ 75	$< 1 \cdot 10^{-8}$
vulkanické tufy	10 ÷ 20	-
skalné horniny	< 3	-
pieskovce	2 ÷ 12	-

# Stanovenie koef. filtrácie



- V laboratóriu
  - Nepriamo – z krivky zrnitosti
  - Priamo – v priepustomeri
- V teréne
  - Čerpací pokus
    - Ustálený
    - Neustálený

# Stanovenie koef. filtrácie

- Z krivky zrnitosti



## KRIVKY ZRNITOSTI ZEMINY ISO 14688

1.strana

Názov akcie:  
Lokalita: Bánovce nad Bebravou

Rôzne empirické vzorce

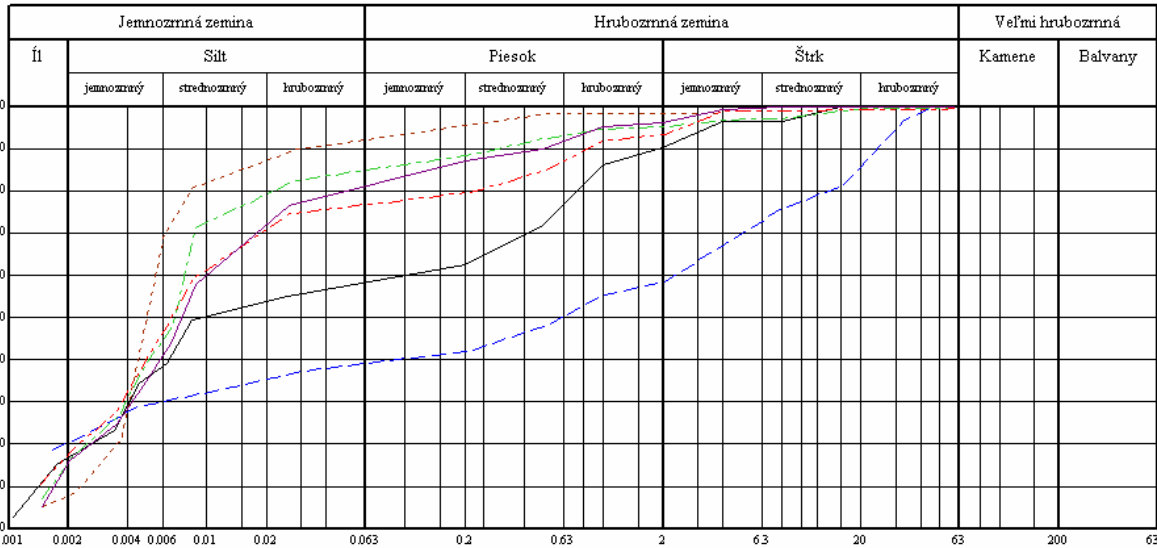
Hazenov pre piesky:

$$k = 0,01 \cdot \frac{d_{10}^2}{C_U}$$

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Jákyho vzorec pre súdržné zeminy

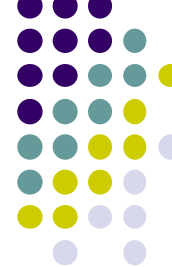
$$k = 0,001 \cdot d_{50}^2$$



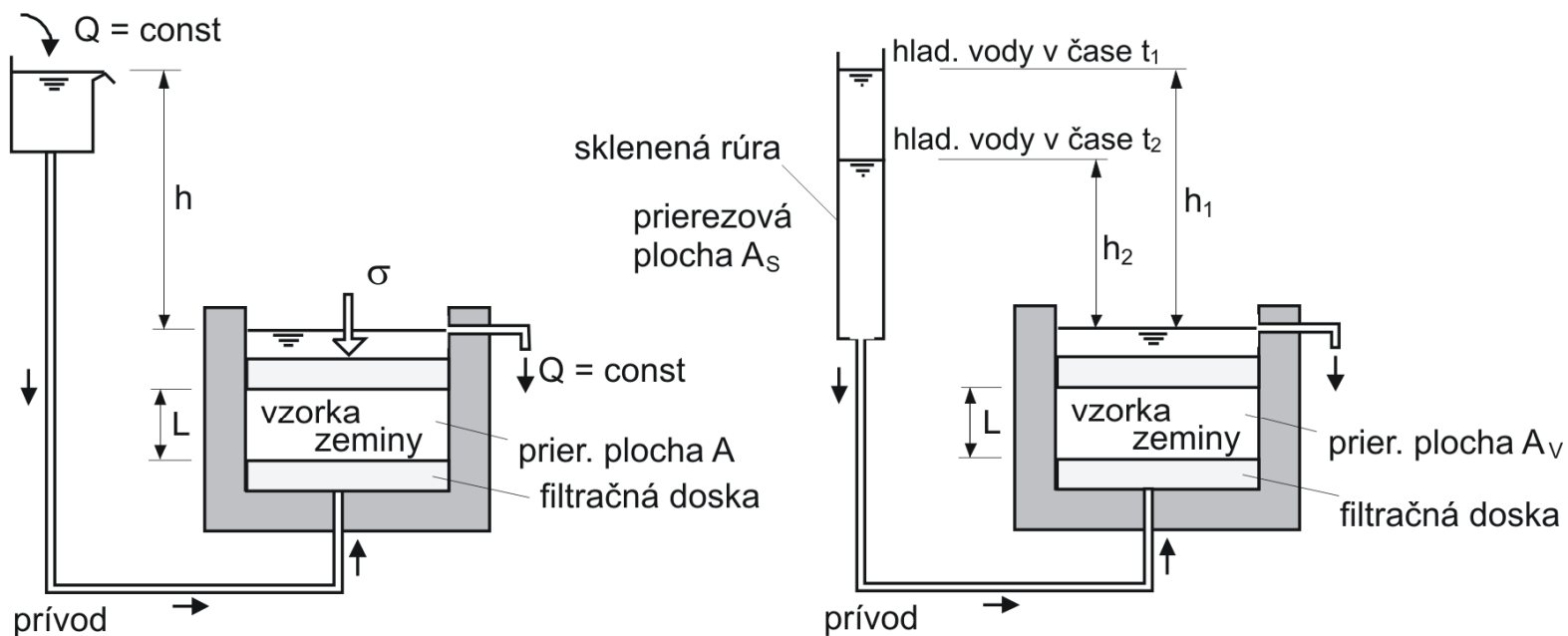
Sonda	Hĺbka	Vzorka	Krivka	Symbol	Názov zeminy	Cc	Cu	Wl	Ip	Vlhkosť	Ic
I-1	7,0-7,3 A	2413	---	grCl	štrkovitý íl	0,01	1291,30	44,00	24,00	---	---
I-1	2,0 - 2,1	2412	---	sasiCl	piesčiny siltovitý íl	0,12	70,03	59,00	35,00	---	---
I-1	7,0 - 7,3 B	2414	---	clSi	ílovitý silt	1,15	4,74	50,50	29,50	---	---
I-1	9,4 - 9,6	2415	---	FSi	jemnozrná silt	1,27	2,48	49,50	28,50	---	---
I-3	2,4 - 2,6	2416	---	siCl	siltovitý íl	1,07	5,93	60,00	37,00	---	---
I-4	2,4 - 2,5	2417	---	clSi	ílovitý silt	1,02	5,94	52,00	31,00	---	---

Priemery  $d_{10}$ ,  $d_{50}$  sa dosadzujú v mm

# Stanovenie koef. filtrácie



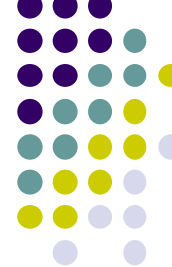
- V priepustomeri



a) Princíp skúšky so stálym gradientom

b) Princíp skúšky s premenlivým gradientom

# Stanovenie koef. filtrácie



- Vyhodnotenie skúšky v priepustomeri
  - So stálym gradientom

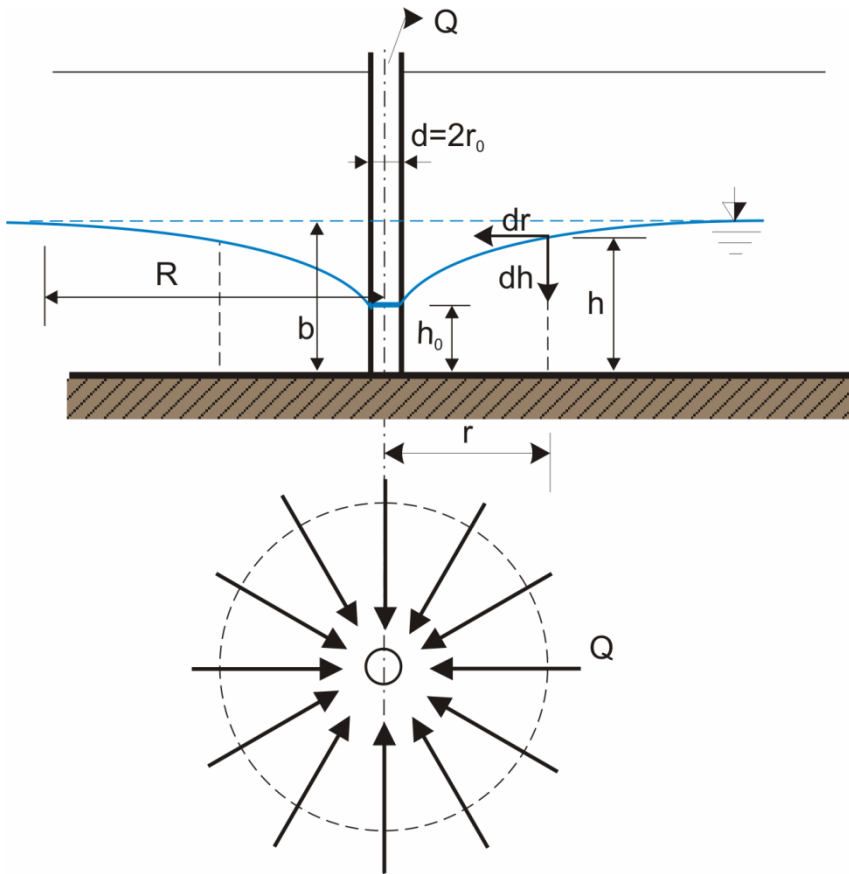
$$k = \frac{v_f}{i} = \frac{Q}{A \cdot i} = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h}$$

- S premenlivým gradientom

$$k = \frac{A_s}{A_v} \frac{L}{t_2 - t_1} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

# Stanovenie koef. filtrácie

- Čerpací pokus s ustáleným prúdením



Voľná hladina

$$Q = S.v_f = 2.\pi.r.h.v_f = 2.\pi.r.h.k.\frac{dh}{dr}$$

$$\frac{dr}{r} = \frac{2.\pi.r.k}{Q}.h.dh$$

Integráciou dostaneme Dupuitovu rovnicu

$$\ln \frac{r}{R} = \frac{\pi.k}{Q}.(h^2 - b^2)$$

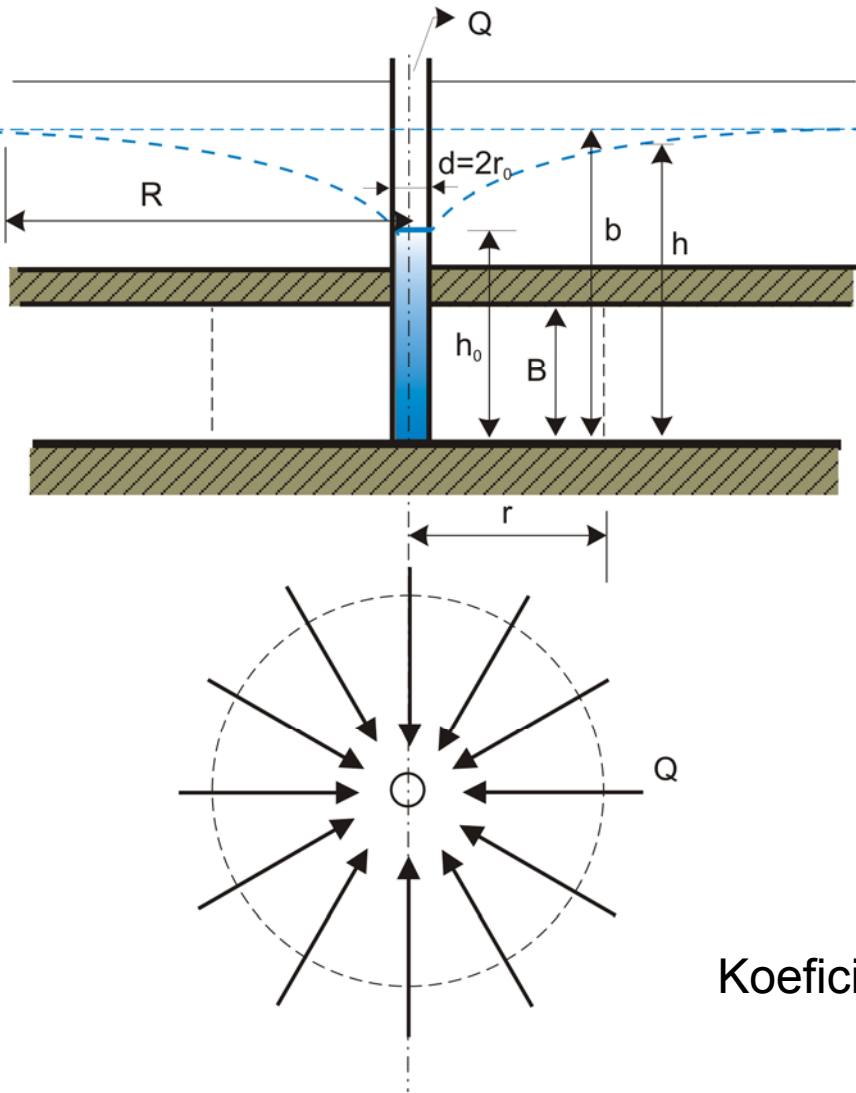
Potom koef. filtrácie vypočítame ako

$$k = \frac{Q.\left(\ln \frac{r_0}{R}\right)}{\pi.(h_0^2 - b^2)}$$

# Stanovenie koef. filtrácie



- Čerpací pokus s ustáleným prúdením



Napätá hladina

$$Q = S \cdot v_f = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot B \cdot v_f = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot B \cdot k \cdot \frac{dh}{dr}$$

$$\frac{dr}{r} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot k}{Q} \cdot B \cdot dh$$

Dupuitova rovnica pre napätú hladinu

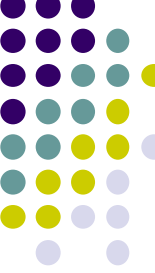
$$\ln \frac{r}{R} = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot B}{Q} \cdot (h - b)$$

Koeficient filtrácie

$$k = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_0}{R}}{2 \cdot \pi \cdot B \cdot s}$$

$$s = h - h_0$$





# Stanovenie koef. filtrácie

- Čerpací pokus s neustáleným prúdením

Základná rovnica neustáleného prúdenia k vrtu

$$\frac{S_s}{k} \cdot \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial s}{\partial r} \right) \quad \begin{array}{l} S_s - \text{špecifická zásobnosť zeminý} \\ s - \text{zníženie hladiny} \end{array}$$

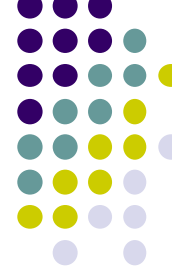
Riešenie v tvare (Theisova rovnica)

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot k \cdot B} \cdot W(u) \quad \text{kde} \quad W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} \cdot dx \quad u = \frac{r \cdot S_s}{4 \cdot k \cdot B \cdot t}$$

Riešenie rozvojom do radu

$$W(u) = \ln\left(\frac{1}{u}\right) - 0,577216 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \frac{u^i}{i \cdot i!}$$

# Stanovenie koef. filtrácie



- Jacobova metóda

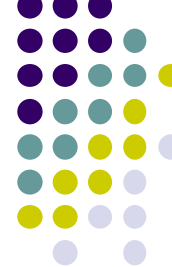
$$W(u) \approx \ln\left(\frac{1}{u}\right) - 0,577216 \quad \text{Po dosadení do Theisovej rovnice dostaneme}$$

$$s = \frac{2,303}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{Q}{k \cdot B} \cdot \log\left(\frac{2,246 \cdot k \cdot B \cdot t}{S \cdot r^2}\right) = C + D \cdot \log t$$

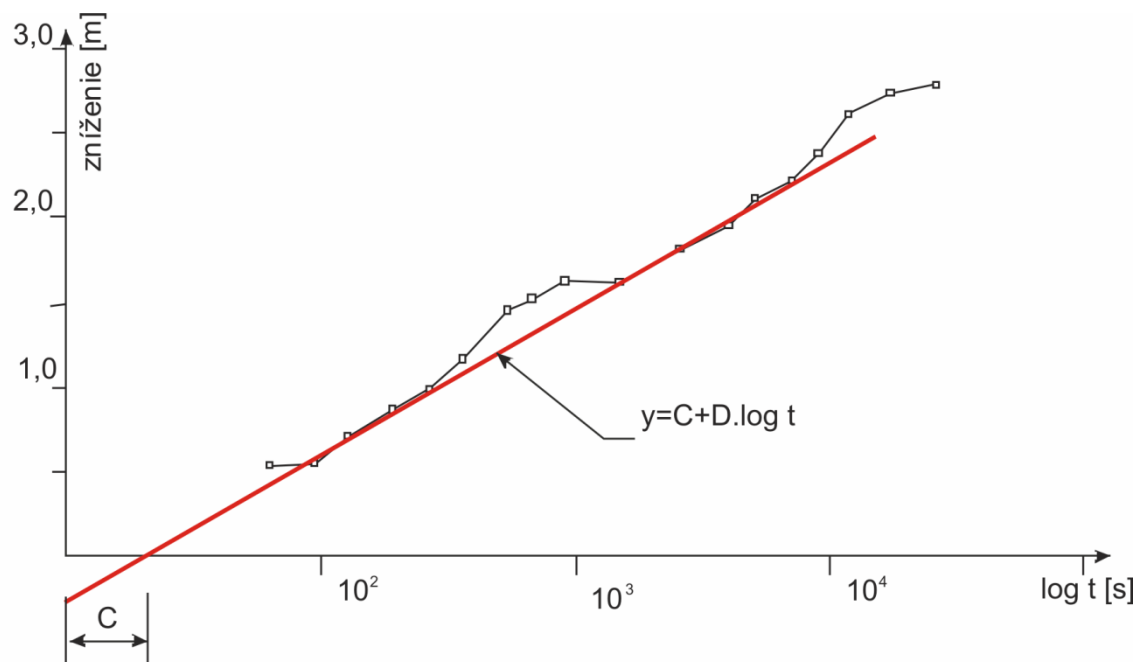


$$C = \frac{2,303}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{Q}{k \cdot B} \cdot \log\left(\frac{2,246 \cdot k}{S_s \cdot r^2}\right) \quad D = \frac{2,303}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{Q}{k \cdot B}$$

# Stanovenie koef. filtrácie



- Jacobova metóda

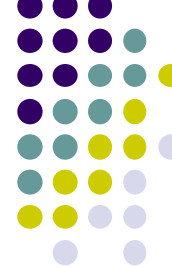


Výpočet koeficienta  
filtrácie zo sklonu  
priamky

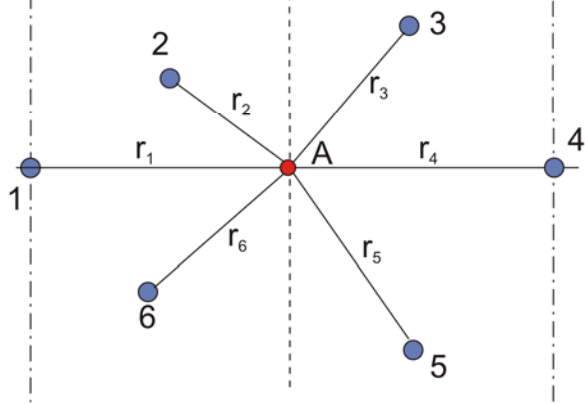
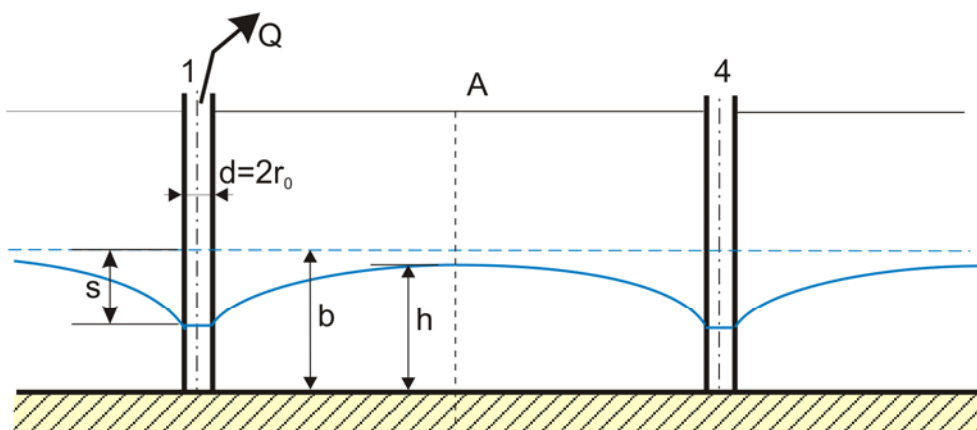
$$k = \frac{2,303}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{Q}{D \cdot B}$$

D – sklon priamky v grafe

# Čerpanie zo sústavy studní



- Odvodnenie stavebnej jamy



Celkové potrebné čerpané množstvo

$$Q_s = \sum_{i=1}^N Q_i = N \cdot Q_0$$

$$Q_s = \pi \cdot k \cdot \frac{b^2 - h^2}{\ln R - \frac{1}{N} \cdot \ln(r_1 \cdot r_2 \cdots r_N)}$$

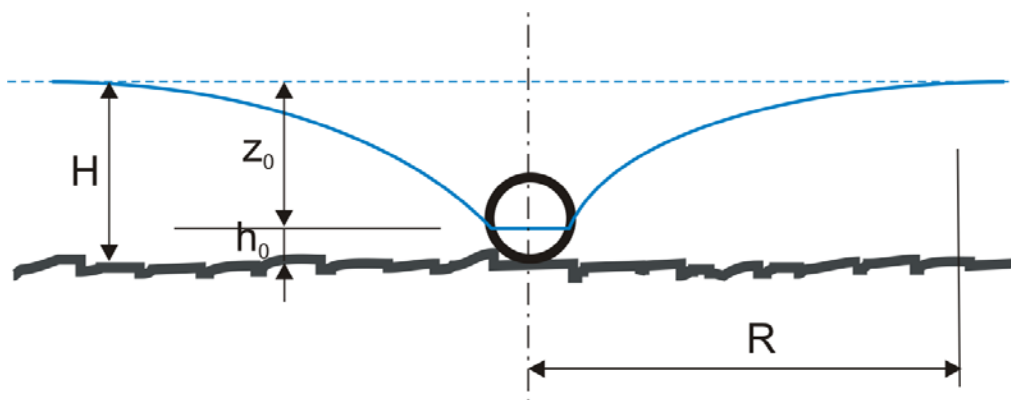
Dosah studne R

Sichardtov vzorec  $R = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{k}$

Kusakinov vzorec  $R = 575 \cdot s \cdot \sqrt{k \cdot b}$

# Drenáž

- Prítok vody do drénu



Z jednej strany priteká na 1m dĺžky drénu

Dosah drénu R je

$$R = 3000 \cdot z_0 \cdot \sqrt{k}$$

$$q_1 = k \cdot \frac{H^2 - h_0^2}{2R}$$

Celkom do drénu tečie  $q_c = 2 \cdot q_1 = k \cdot \frac{H^2 - h_0^2}{R}$

