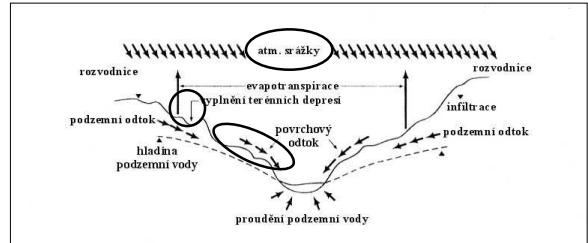


# ZÁKLADY HYDROGEOLOGIE

## II. PŘEDNÁŠKA

### INFILTRACE A ODTOK

popis procesů



určení infiltrace – přímé určení infiltrace je prakticky nemožné  
dopočítání ...  $I = P - ET - PO$

### URČENÍ POVRCHOVÉHO ODTOKU

malé oblasti (povodí)

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

$Q$  maximální odtok [ m<sup>3</sup>/s ]

$C$  odtokový koeficient

$i$  průměrná intenzita srážek [ mm/hod ]

$A$  příslušná plocha [ km<sup>2</sup> ]

#### odtokový koeficient

- hodnoty tabelovány

- udává typické rozmezí hodnot pro daný typ povrchu terénu

- např.: parky – 0,10 – 0,25

asfaltové lochy – 0,70 – 0,95

pastviny - písčité půdy – 0,05 – 0,25

zatravněná jílovitá půda se sklonem 2-7% - 0,18 – 0,22

### ZÁKLADNÍ PRINCIPY PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY

porozita (pórovitost) hornin

velikosti od rozměrů krystalů → obrovské kaverny

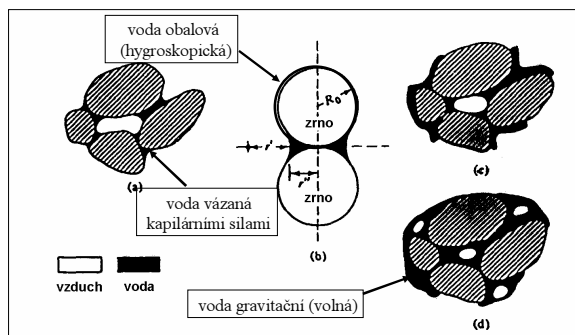
pórovitost (celková pórovitost)  $n = \frac{V_v}{V_{celk}}$  bezrozměrné číslo < 1, často vyjádření v %

číslo pórovitosti  $e = \frac{V_v}{V_{zm}}$  současně platí  $V_{celk} = V_v + V_{zm}$

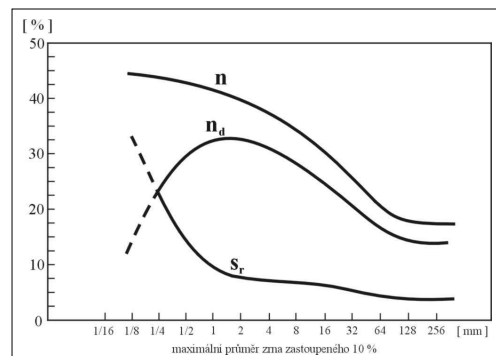
$$n = \frac{e}{e + 1}$$

efektivní pórovitost  $n_e = \frac{V_{cv}}{V_{celk}}$  uvažuje zastoupení porů, kterými může proudit voda gravitační silou

### FORMY VÝSKYTU VODY V KAPALNÉM SKUPENSTVÍ V HORNINOVÉM PROSTŘEDÍ



drenážní pórovitost a reziduální nasycení  $n = n_D + S_r$   $n_D \approx n_e$



zastoupení vody v nenasaturované zóně

vlhkost  $\theta = \frac{V_{\text{voda}}}{V_{\text{celk}}}$  bezrozměrná veličina, často vyjádření v %

saturace vodou  $S_{\text{voda}} = \frac{V_{\text{voda}}}{n}$  bezrozměrná veličina, často vyjádření v %

primární pórovitost

- porozita vzniklá při genezi horniny

příklady

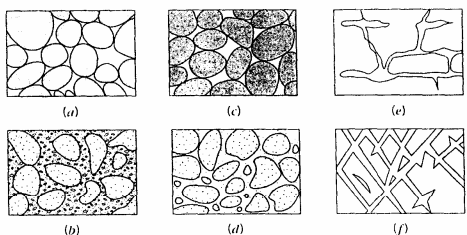
- sedimenty – struktury vzniklé v neztvrdlých sedimentech
- magmatity – matrix základní hmoty, pukliny vzniklé při chladnutí magmatu

sekundární pórovitost

- porozita vzniklá sekundárně
- exogenní procesy, rozpouštění minerálů proudící vodou

příklady

- sedimenty – po diagenézi vzniklé pukliny, rozpouštění tmelu, kaverny
- magmatity – tektonicky vzniklé pukliny
- metamorfity – pukliny vzniklé při metamorfóze, působení fluid - kaverny



Vztah mezi texturou a porozitou hornin (Meinzer 1923):

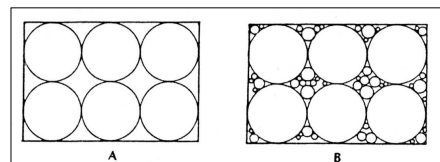
- a) dobře vytříděný sediment s vysokou porozitou
- b) špatně vytříděný sediment s nízkou porozitou
- c) dobře vytříděný sediment s valouny, které mají vlastní vysokou porozitu
- d) dobře vytříděný sediment, jehož porozita byla snížena depozicí materiálu v prostoru mezi valouny
- e) hornina, která se stala porózní důsledkem působení roztoků
- f) hornina, která se stala porózní důsledkem tektonického porušení

**neztvrdlé sedimentární horniny**

- pórovitost závisí i na uspořádání zrn



- pórovitost závisí i na granulometrickém složení



charakteristické hodnoty celkové pórovitosti neztvrdlých sedimentárních hornin

šterky hrubozrné	24 – 36 %
šterky jemnozrné	25 – 38 %
pisky hrubozrné	31 – 46 %
pisky jemnozrné	26 – 53 %
hlíny prachovité	34 – 61 %
jily	34 – 60 %

efektivní pórovitost

- odráží vliv velikosti pórů na pohyb vodu gravitační silou
- výrazně klesá s poklesem velikosti zrn

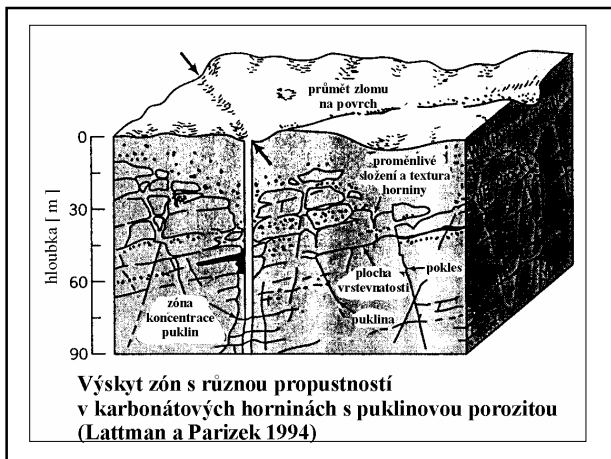
např.

- hrubozrné pisky 20 – 35 %
- jily 1 – 5 %

**ztvrdlé sedimentární horniny**

- diagenéze – změna struktury zrn sedimentů + vysrážení minerálů
- obecně nižší celková pórovitost než u neztvrdlých ekvivalentů

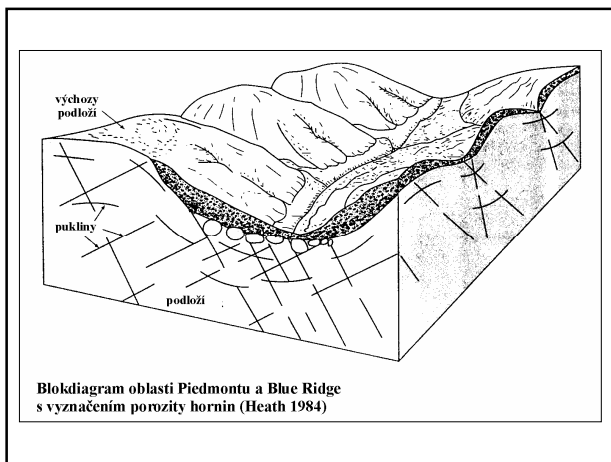
pískovce	5 – 30 %
prachovce	21 – 41 %
vápence, dolomity	0 – 40 %
zkrasovělé vápence	0 – 40 %
jilovce	0 – 10 %



**krystalinikum**

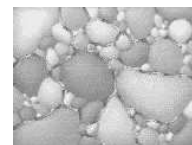
- extrémně proměnlivé hodnoty
- exogenní procesy – vznik tzv. zóny přípovrchového rozvolnění a rozpukání

tektonicky porušené krystalinické horniny	5 – 30 %
tektonicky téměř neporušené krystalinické horniny	0 – 5 %
bazalty	3 – 35 %
zvětralé granity	34 – 57 %
zvětralé gabro	42 – 45 %



*česká terminologie*

- průlinová porozita (pórovitost, propustnost)



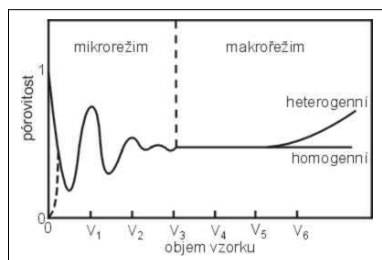
- puklinová porozita (pórovitost, propustnost)



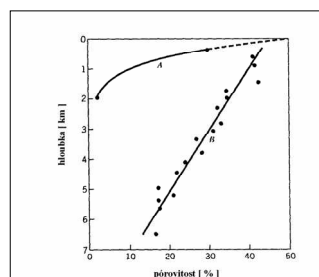
- krasová porozita (pórovitost, propustnost)

**REPREZENTATIVNÍ ELEMENTÁRNÍ OBJEM (REV)**

- objem pórového prostředí, pro který můžeme definovat průměrné hydraulické parametry
- současně je v něm i průměrná hodnota pórovitosti



**VÝVOJ PÓROVITOSTI S HLOUBKOU**



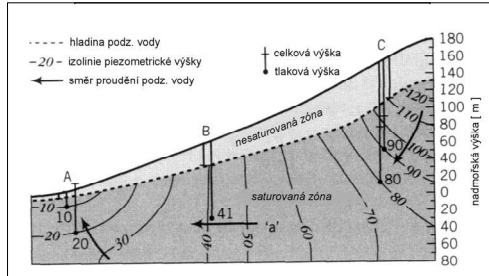
Vztah mezi pórovitostí a hloubkou uložení horniny pod povrchem Země (Domenico a Schwarz 2000)  
 A - břídlice (Athy 1930)  
 B - pískovce (Blatt 1979)



### URČENÍ HYDRAULICKÉHO GRADIENTU

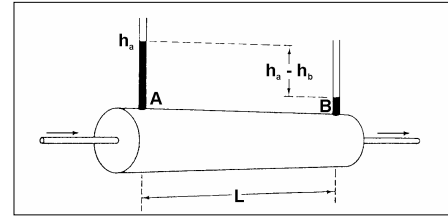
vertikální hydraulický gradient

- minimálně 2 piezometry situovanými těsně vedle sebe  
se změnami hydraulickými výškami (výšky hladin podz. vody)



### DARCYHO ZÁKON

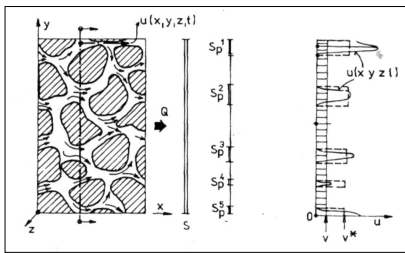
$$Q \propto (h_A - h_B) \quad Q \propto 1/L \quad Q \propto k$$



$$Q = k \cdot A \cdot \frac{h_A - h_B}{L} \quad \longrightarrow \quad Q = -k \cdot A \cdot \frac{dh}{dl}$$

$$q = \frac{Q}{A} = k \cdot I \quad \text{specifický průtok (průtok přes jednotkový průřez)} \\ = \text{event. filtrační rychlost proudění (v), fiktivní rychlost}$$

$$v = \frac{Q}{A n_e} = \frac{q}{n_e} \quad \text{střední lineární rychlost proudění} \\ = \text{event. skutečná (efektivní) rychlost proudění (v_e)}$$



konstanta  $k$  – hydraulická vodivost (koeficient filtrace -  $k_f$ ) – [ m/s ]

- charakterizuje vlastnost prostředí propouštět vodu
- je tedy vlastností prostředí i proudící kapaliny

$$k = - \frac{Q}{A \cdot (dh / dl)}$$

$K$  – koeficient propustnosti (někdy  $k_p$ ) – [ m<sup>2</sup> ]

- charakterizuje vlastnost prostředí propouštět jakoukoliv kapalinu a plyn
- je tedy vlastností prostředí
- v praxi používaná jednotka – Darcy – 1D = 9,87 x 10<sup>-9</sup> cm<sup>2</sup>

$$k = K \cdot \frac{\rho \cdot g}{\mu}$$

### PLATNOST DARCYHO ZÁKONA

pomalé rychlosti proudění – pohyb molekul kontrolován viskózními silami  
*laminární proudění*

částičky se pohybují po vzájemně paralelních drahách - *proudnicích*

větší rychlosti proudění – setrvačné síly převyšují viskózní síly

*turbulentní proudění*

částičky se pohybují po křivočarých drahách - *nedefinovatelné*

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$$

$Re$	Reynoldsovo číslo
$\rho$	hustota vody
$v$	rychlost proudění
$d$	průměr efektivního zrna
$\mu$	dynamická viskozita

přechod laminárního do turbulentního proudění při  $Re$  kolem 5

$$Re = \frac{\rho \cdot v_{kr} \cdot d}{\mu}$$

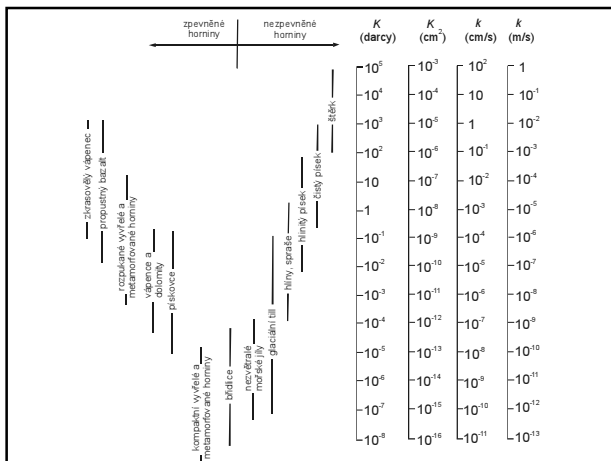
vyjádření pomocí *kritické rychlosti proudění*

vznik turbulentního proudění - při překročení kritické rychlosti proudění

- okolí čerpaných vrtů
- krasové dutiny
- kaverny či pukliny větších rozměrů

velmi jemnozrné hominy ( $k < 10^{-8}$  m/s)

- voda je vázána převážně jako voda obalová
- malá velikost pórů – pohyb vody až po překonání sil tření
- existuje tzv. *prahový hydraulický gradient*



**vzájemné srovnávání propustnosti hornin**

- relativní –  $k1 \gg k2$  (minimálně o 1 řád)
- absolutní - uvedení hodnot  $k$   
- index propustnosti (regionální HG průzkum)
- neexistuje absolutně nepropustná hornina
- v praxi považujeme za prakticky nepropustnou horninu s  $k < 10^{-10} - 10^{-12}$  m/s

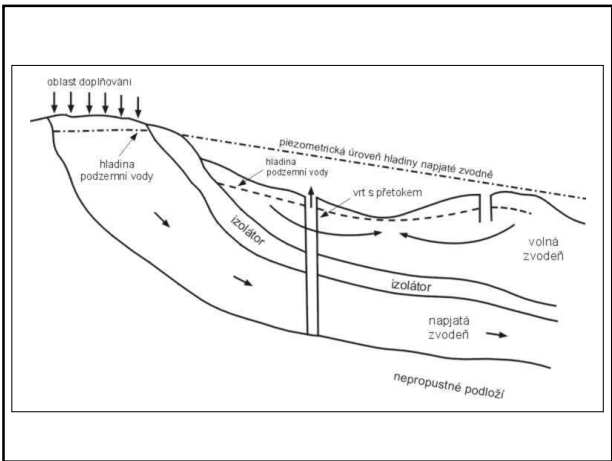
**kolektor**  
- hornina, která ve srovnání s okolními horninami má vyšší propustnost

**izolátor**  
-

**kolektor**  
- hornina, která má ve srovnání s okolními horninami vyšší propustnost

**izolátor**  
- hornina, která má ve srovnání s okolními horninami nižší propustnost  
- stropní izolátor X počevní izolátor

**poloizolátor**  
- hornina (izolátor), přes kterou může do kolektoru přetékat nezanedbatelné množství vody (= mezivrstevní přetékání)



**zvoděň**  
- těleso podzemní vody – hydraulicky spojená akumulace podzemní vody

**zvodněný systém**  
- jeden nebo více zvodněných kolektorů s přilehlými izolátory a poloizolátory

**zvoděň napjatá**  
- shora omezená izolátorem  
- má napjatou hladinu – tlak je vyšší než tlak atmosférický  
- piezometrická hladina – hladina, na kterou by napjatá hladina vystoupila (vytlačná hladina = event. kladná nebo záporná)  
- tzv. artéská podzemní voda, artéské systémy

**zvoděň volná**  
- shora není omezená  
- má volnou hladinu – tlak je roven tlaku atmosférickému

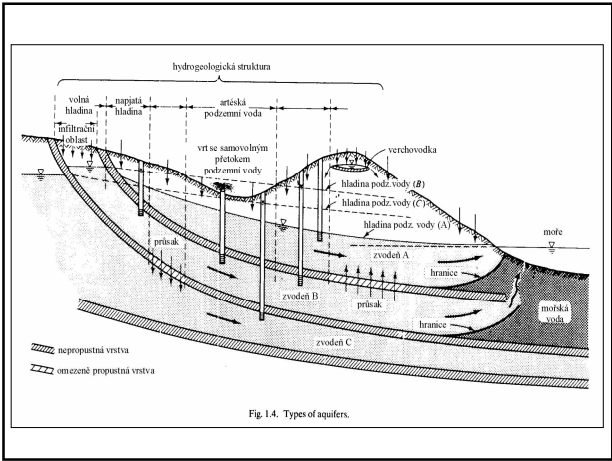
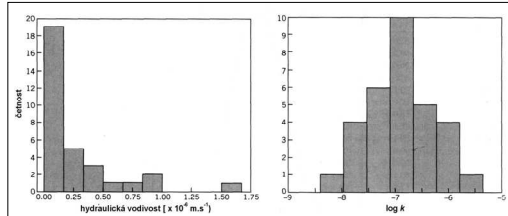
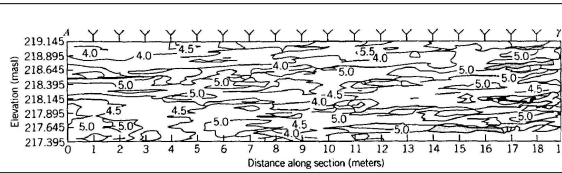


Fig. 1.4. Types of aquifers.

### 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

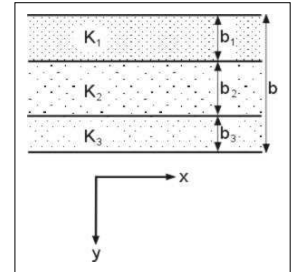
- různé sedimentační podmínky

a jejich změny

- v rámci jedné vrstvy

- mezi vrstvami

- prostředí s puklinovou pórovitostí



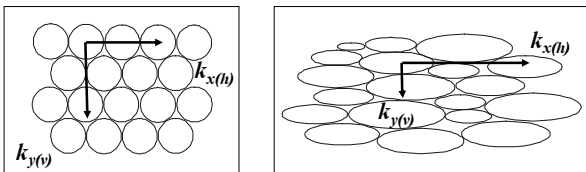
*izotropní* prostředí

- 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 puklinové pórovitě 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

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

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

#### **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