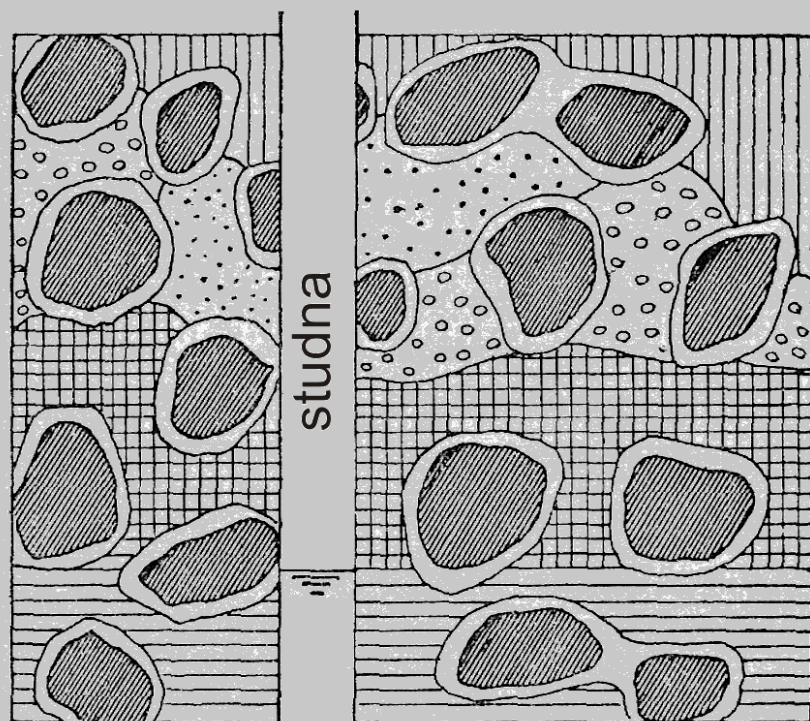


Proudění podzemní vody

Podpovrchová voda

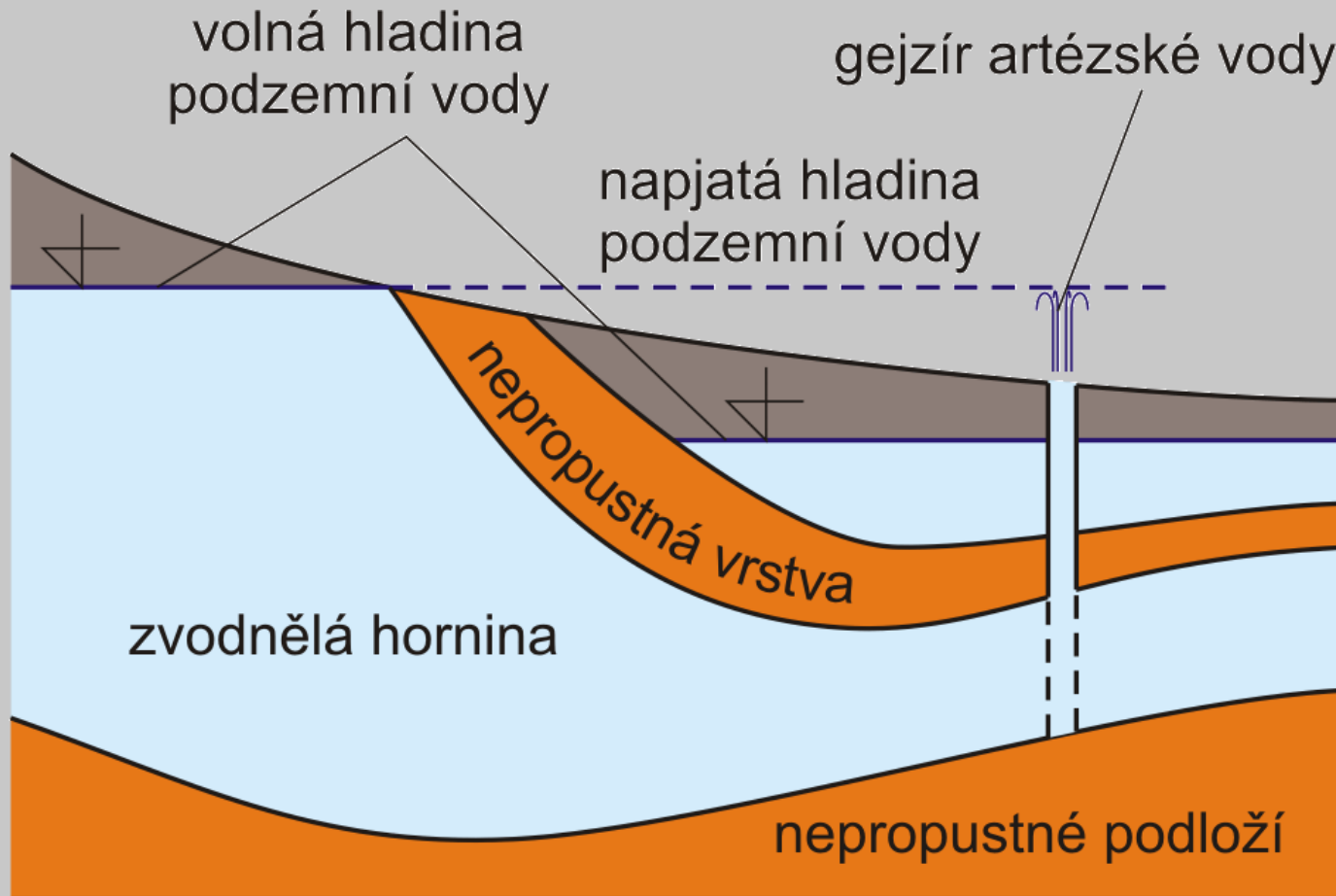
- krystalická a strukturní voda – vázaná fyzikálně-chemicky
- adsorpční – vázaná molekulárními silami na povrchu částic
 - hygroskopická (pevně vázaná)
 - obalová (volně vázaná)
- volná voda
 - **kapilární** – vyplňuje kapilární póry
 - **gravitační** (podzemní) – v nekapilárních pórech, pohyb vlivem tíže, vytváří hladinu nad nepropustným podložím - zvodnělé (vodonosné) horniny (zvodně) ⇒ mocnost zvodnělé vrstvy, hydroisohypsa = čára v mapách spojující místa na hladině podzemní vody o stejné nadmořské výšce
 - volná voda - s volnou hladinou (freatická voda)
 - s napjatou hladinou (artézská) voda
- vodní páry - v nevyplněných pórech

Formy podpovrchové vody – detail půdního profilu



- zrna zeminy
- obalová voda
- dešťová voda
- póry vyplněné vzduchem
- póry vyplněné vodními parami
- kapilární voda
- gravitační voda

Volná a napjatá hladina podzemní vody (nasyčená zóna)



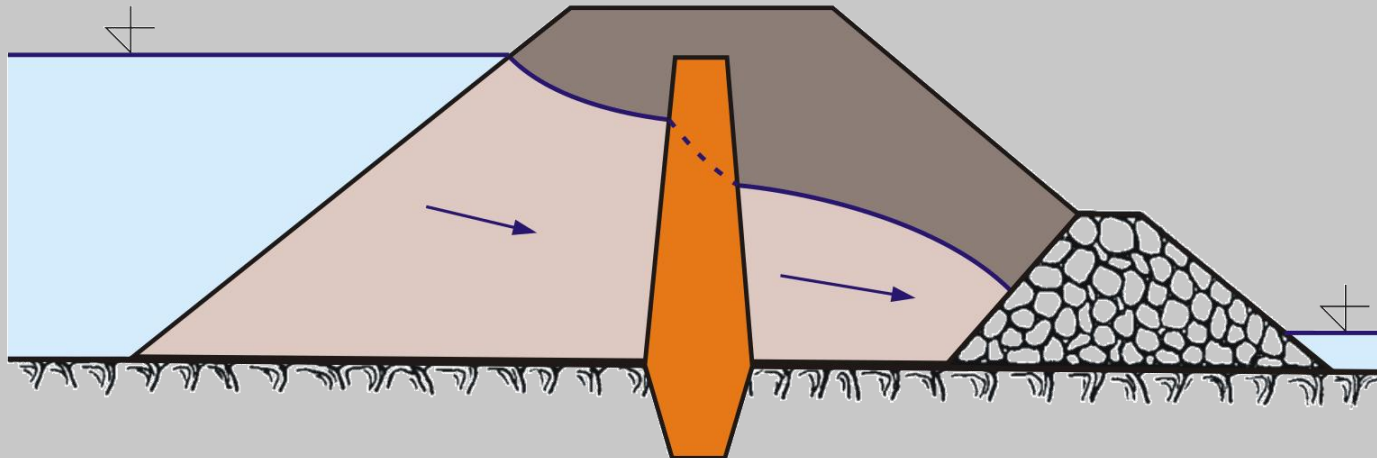
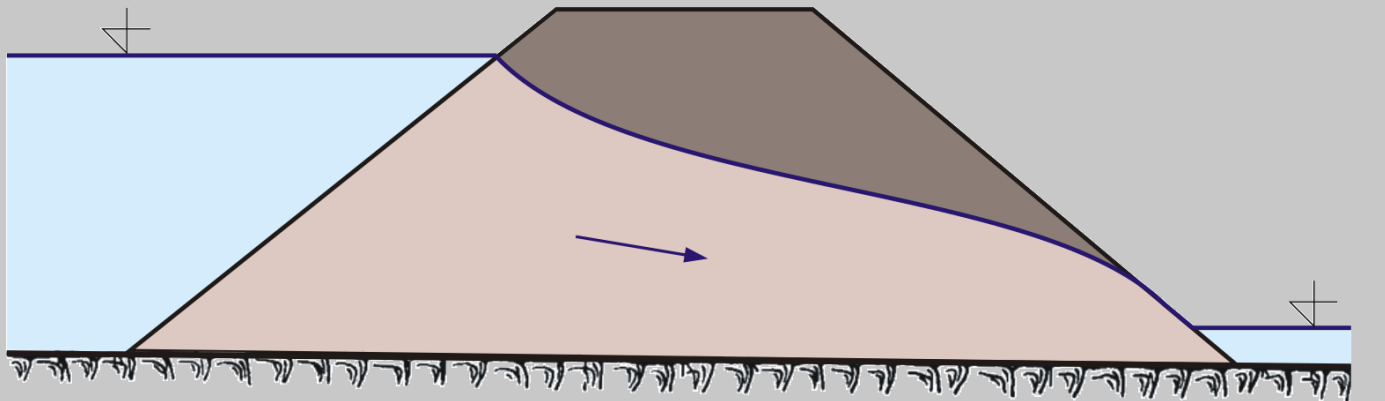
Praktické případy spojené s prouděním podzemní vody

Průsak zemním tělesem sypané hráze

⇒ nežádoucí úniky vody z nádrže,
problém vyplavování materiálu tělesa



různé druhy
těsnících prvků,
drenážní systémy



Proudění podzemní vody

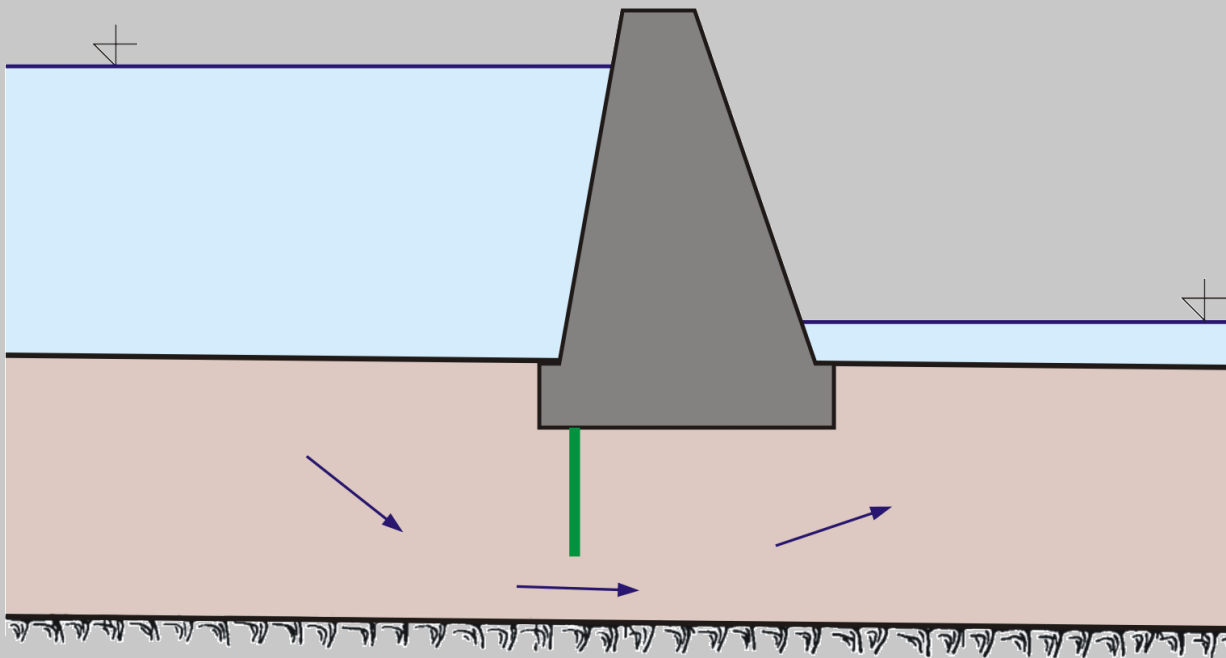
Praktické případy spojené s prouděním podzemní vody

Proudění pod základy tělesa hráze přehrady (jezu)

⇒ nežádoucí úniky vody z nádrže,

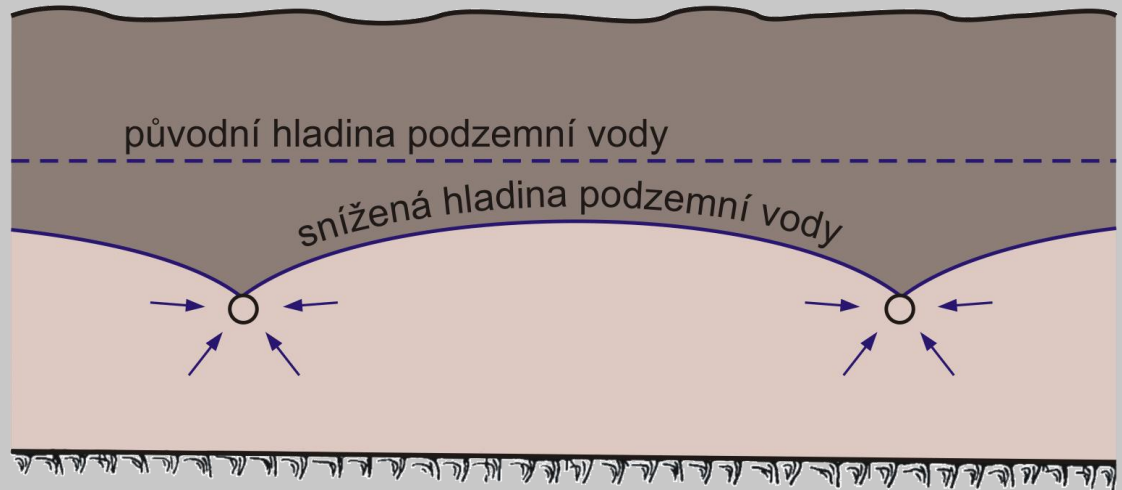
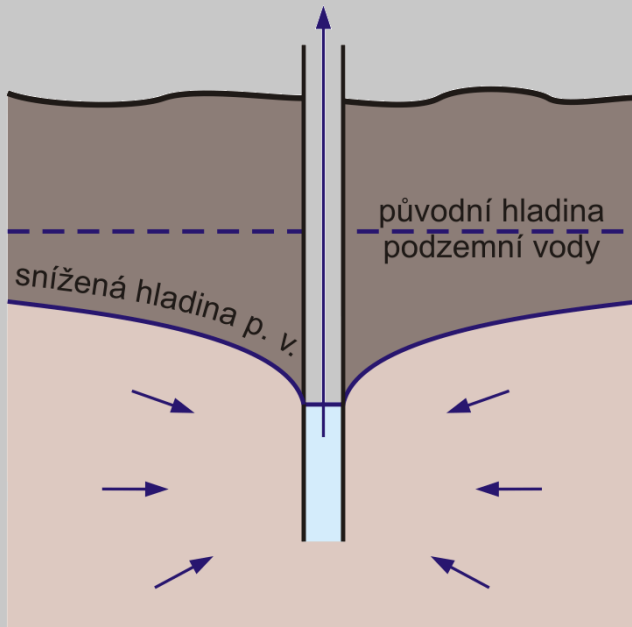
problém vyplavování materiálu podloží,

působení vztlakové síly → „nadlehčení“ tělesa hráze (jezu)



Praktické případy spojené s prouděním podzemní vody

Jímání podzemní vody ev. umělá infiltrace vody



Rychlost skutečná x filtrační

voda prosakuje póry zeminy, zpravidla laminární pohyb

filtrační rychlost (abstraktní) $v_f = \frac{Q}{S}$ S ... fiktivní průtočná plocha (včetně zrn zeminy)

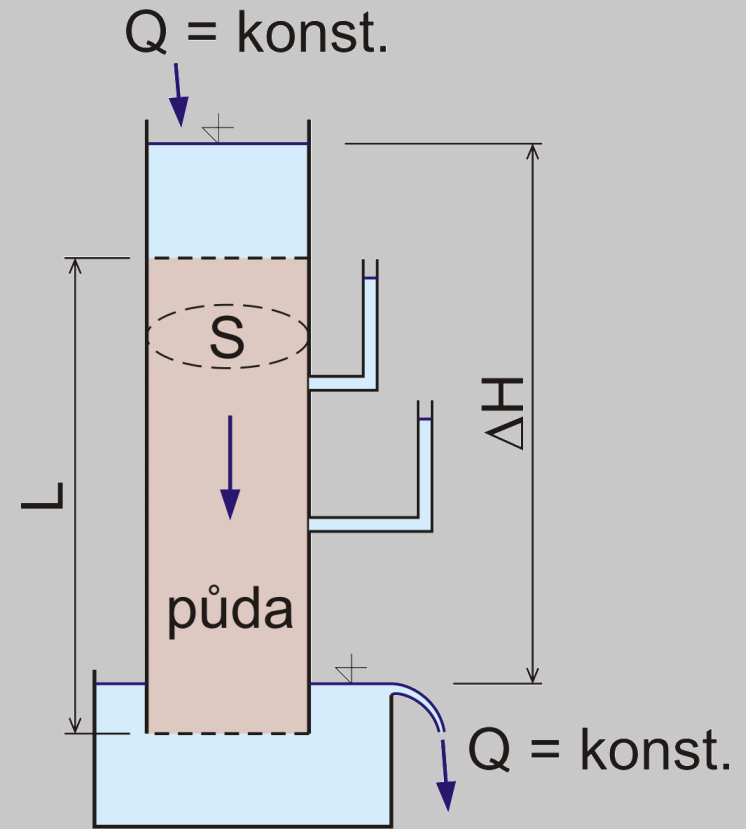
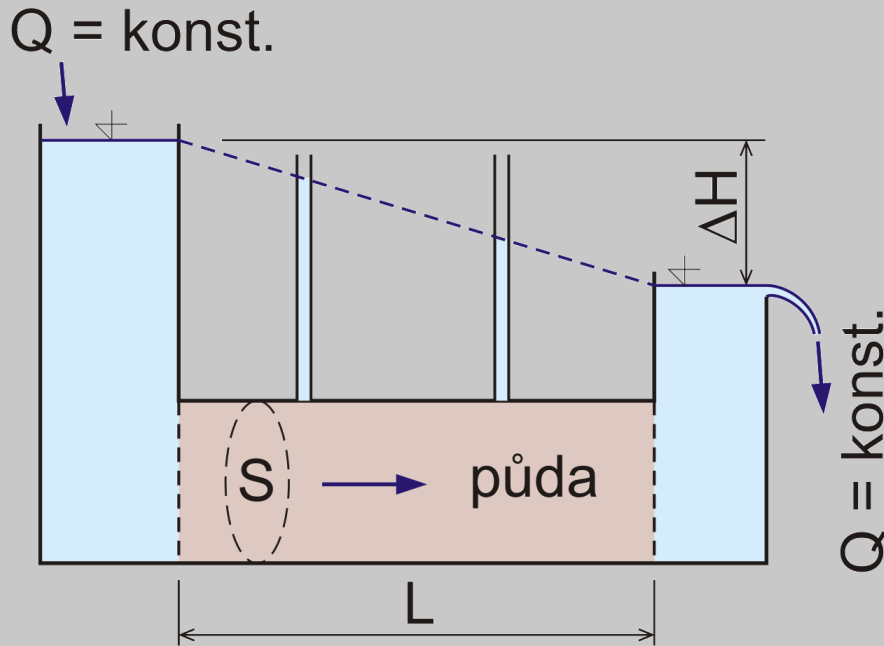
pórovitost zeminy (zpravidla se udává v %)

$$P = \frac{\text{objem pórů}}{\text{celkový objem půdy}} = \frac{\rho_z - \rho_d}{\rho_z} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_z}$$

ρ_d - objemová hmotnost vzorku, ρ_z - hustota (měrná hmotnost)

skutečná rychlost $v = \frac{Q}{PS} \Rightarrow v_f = Pv$

Darcyho filtrační pokus



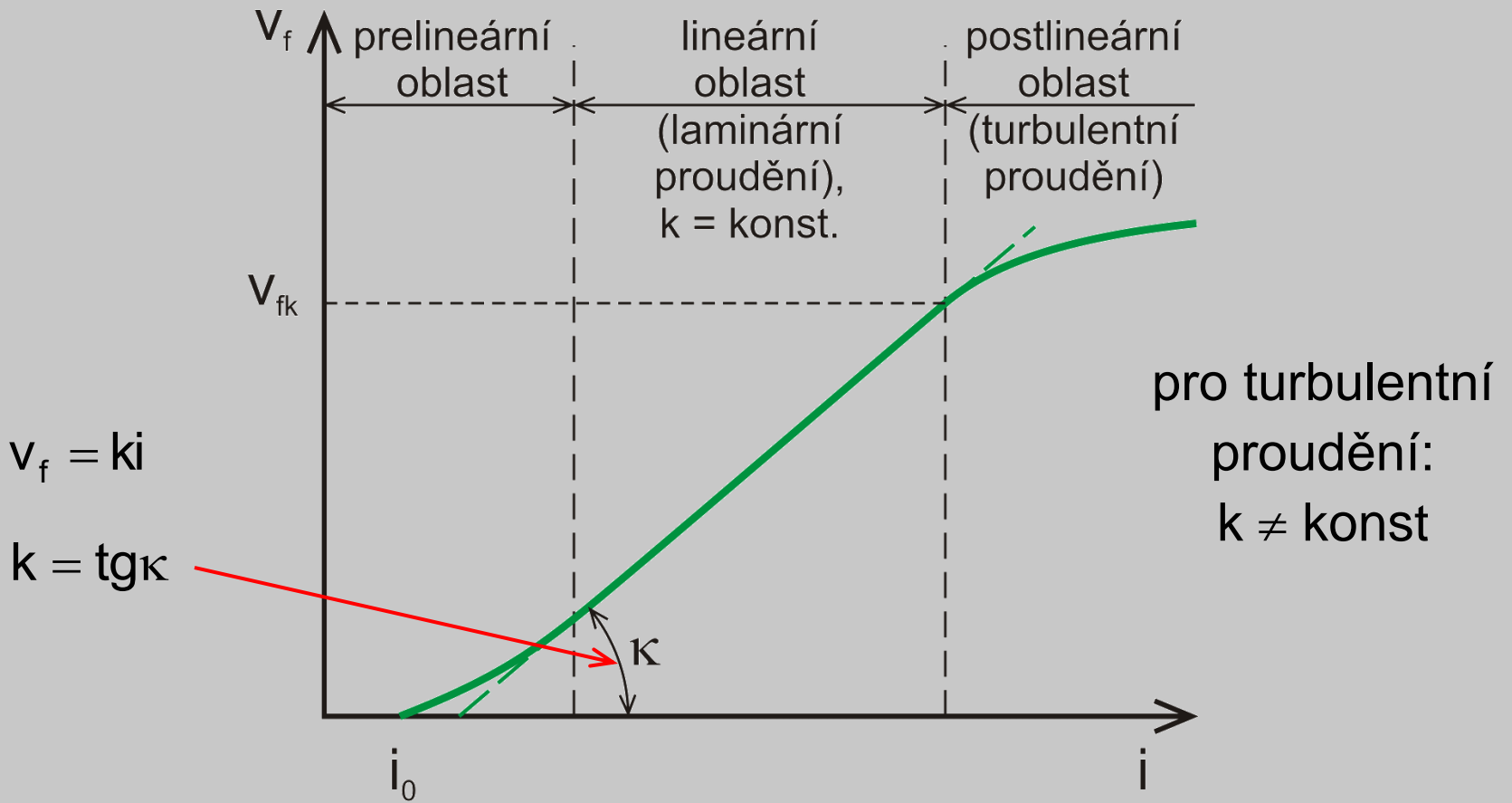
sklon tlakové čáry $i = \frac{\Delta H}{L}$

filtrační rychlost $v_f = \frac{Q}{S}$

zavedení nasycené hydraulické vodivosti

$$k = \frac{v_f}{i}$$

Darcyho filtrační zákon $v_f = ki$ pro laminární proudění $\rightarrow v_f < v_{fk}$



laminární proudění při $Re_f < Re_{fk}$,
$$Re_f = \frac{1}{0,75P + 0,23} \frac{v_f d_e}{\nu}$$

ν - kinematičká viskozita, d_e - střední zrno zvodně, $Re_{fk} = 7 \div 10$

Nasyčená hydraulická vodivost k

závisí na: zrnitosti,
tvaru zrn,
viskozitě (teplotě),
směru proudění (hydraulicky anizotropní prostředí)

stanovení: terénní čerpací zkouška,
laboratorní zkoušky (neporušený vzorek!),
empirické vzorce (u méně významných staveb)

Nasyčená hydraulická vodivost k

orientační hodnoty k [$\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$]:

hrubý písek	100 ÷ 200
střední písek	20 ÷ 100
jemný písek, kyprá písčité hlína	1 ÷ 10
písčité hlína ulehlá	0,1 ÷ 0,5
hlína	0,01 ÷ 0,10
jíl	$10^{-7} \div 10^{-3}$

pro $k < 2 \cdot 10^{-4}$ – prakticky vodotěsná zemina

Rovinné proudění podzemní vody

řešení pro - ustálené proudění,

- laminární proudění (lze aplikovat Darcyho filtrační zákon)

- měrný (specifický) průtok q [$\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$] $q = v_f y = k y i$

y ... tloušťka zvodně (ve směru kolmém na směr proudění)

rovnoměrné proudění:

proudnice rovnoběžné \Rightarrow hydraulický sklon pro všechna proudová vlákna totožný ($i = i_0$),

\Rightarrow rychlost v celém profilu stejná $v_f = ki$

nerovnoměrné proudění: v libovolném bodě na svislici

$$u_f = -k \frac{dH}{dL} = ki = v_f$$

Dupuitův zákon:

při rovnoměrném i nerovnoměrném (plynule se měnícím) proudění je filtrační rychlost dána sklonem hladiny

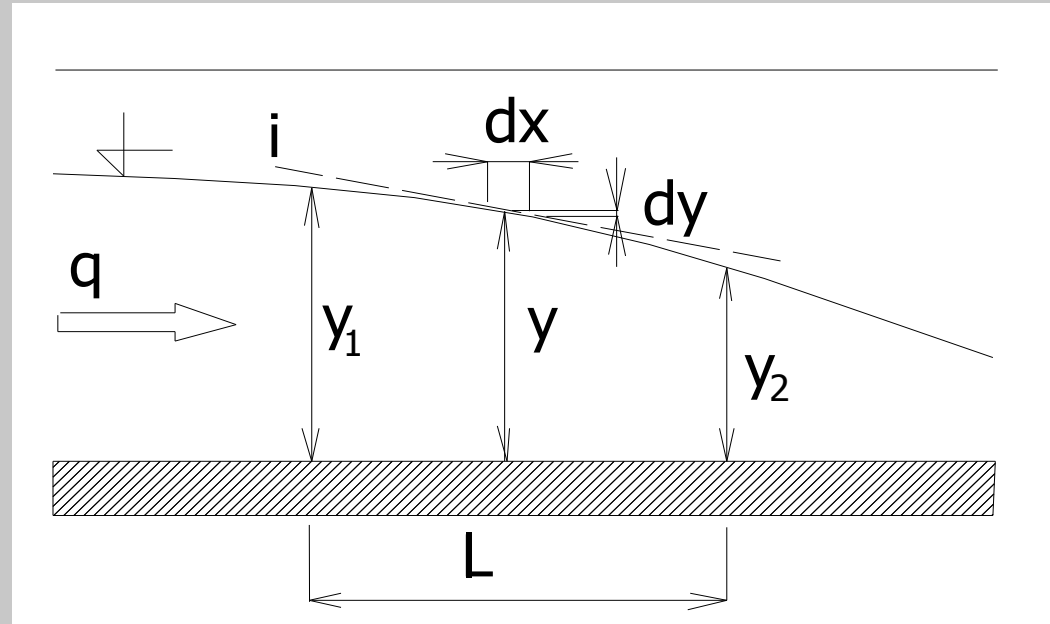
Nerovnoměrné proudění na vodorovném podloží:

sklon hladiny podzemní vody:

$$i = -\frac{dy}{dx} \Rightarrow v_f = -k \frac{dy}{dx}$$

$$\Rightarrow q = v_f y = -ky \frac{dy}{dx}$$

$$\Rightarrow y dy = -\frac{q}{k} dx$$



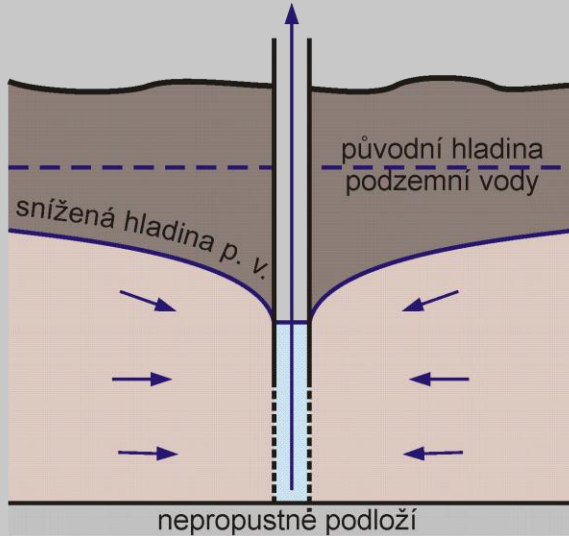
po integraci $y_1^2 - y_2^2 = \frac{2q}{k} L$



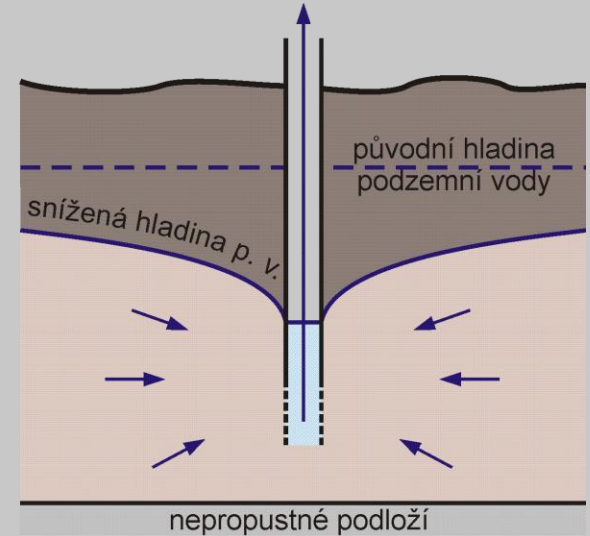
hladina je kvadratická parabola,
pro vodorovné podloží jen křivka snížení

Jímání podzemní vody svislé – studny

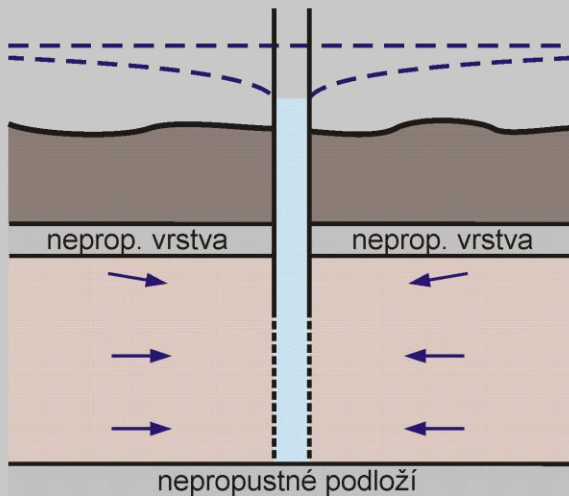
obyčejná
úplná



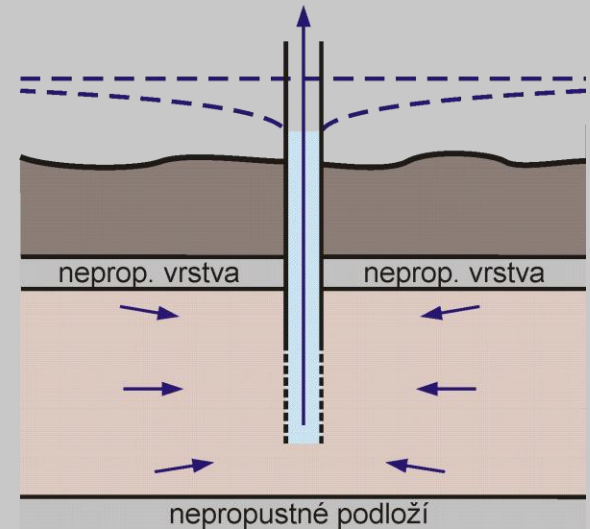
obyčejná
neúplná



artézská
úplná

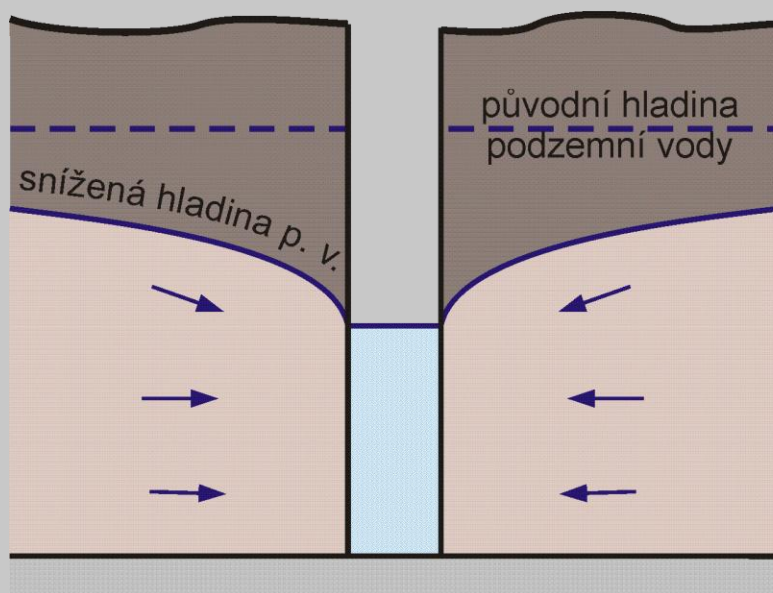


artézská
neúplná

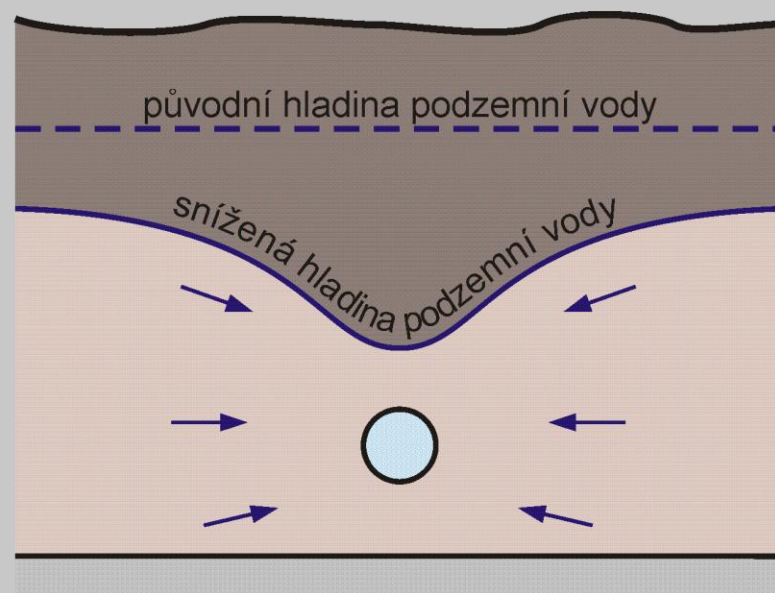


Jímání podzemní vody vodorovné - zářezy, drény, galerie

zářez



drén

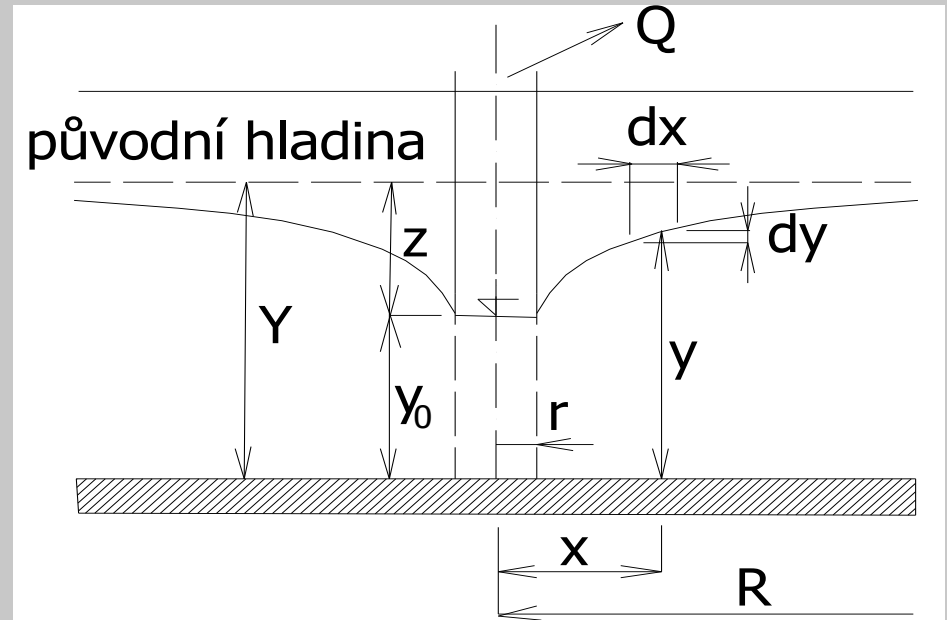


Účel jímání podzemní vody

- jímání pitné vody (též umělá infiltrace)
- odvodnění stavebních jam, odvodnění staveb
- odvodnění pozemků
- ochranná opatření proti šíření polutantů – hydraulické clony (letiště, chemičky, ...)

poloměr dosahu studny R

podle Kusakina $R = 575z\sqrt{kY}$



při proudění nesmí docházet k vyplavování zrn zeminy

\Rightarrow max. filtrační rychlost na plášti studny $v_{f,k}$

podle Gavrilenka a Abramova $v_{f,k} = 65\sqrt[3]{k} \quad [\text{m} \cdot \text{den}^{-1}]$

Řešení jímání vody zářezem/šťolou

řešení vychází z rovnice pro tvar hladiny při nerovnoměrném pohybu na vodorovném podloží

$$y_1^2 - y_2^2 = \frac{2q}{k}L$$

pro

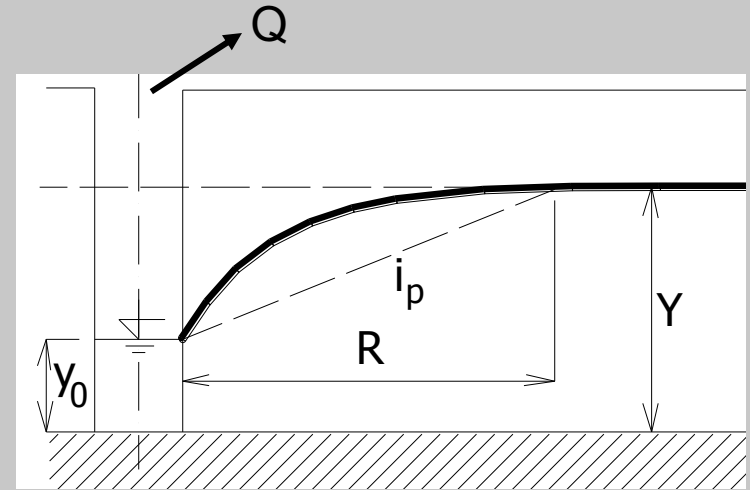
$$y_1 = Y, y_2 = y_0, L = R \Rightarrow q = k \frac{Y^2 - y_0^2}{2R}$$

při neznámém dosahu R možno:

$$i_p = \frac{Y - y_0}{R} \Rightarrow q = k \frac{Y + y_0}{2} i_p$$

celková vydatnost: $Q = 2qL_z$

L_z – délka zářezu/šťoly



hodnoty sklonu i_p :

štěrk, hrubý písek	0,003-0,006
písek	0,020-0,050
písčité hlíny	0,050-0,10
jíl. zeminy	0,10-0,15
jíly	0,15-0,20