POHYB PODZEMNÍ VODY

Podpovrchová voda – je obsažena v zemské kůře, hlavně v půdě a v nesoudržných horninách, kde vyplňuje zcela nebo zčásti póry (jde o sypké úlomkovité horniny, štěrky, písky)

Rozdělení podle sil, které na vodu působí:

Adsorpční podpovrchová voda (půdní voda) – vázána silovým polem povrchu pevných částic, které vzniká chemickými a fyzikálními silami mezi ionty a atomy částic. Voda se může pohybovat pouze jako vodní pára, jinak je její vazba pevná (převažující vliv na adsorpci mají jílové materiály.

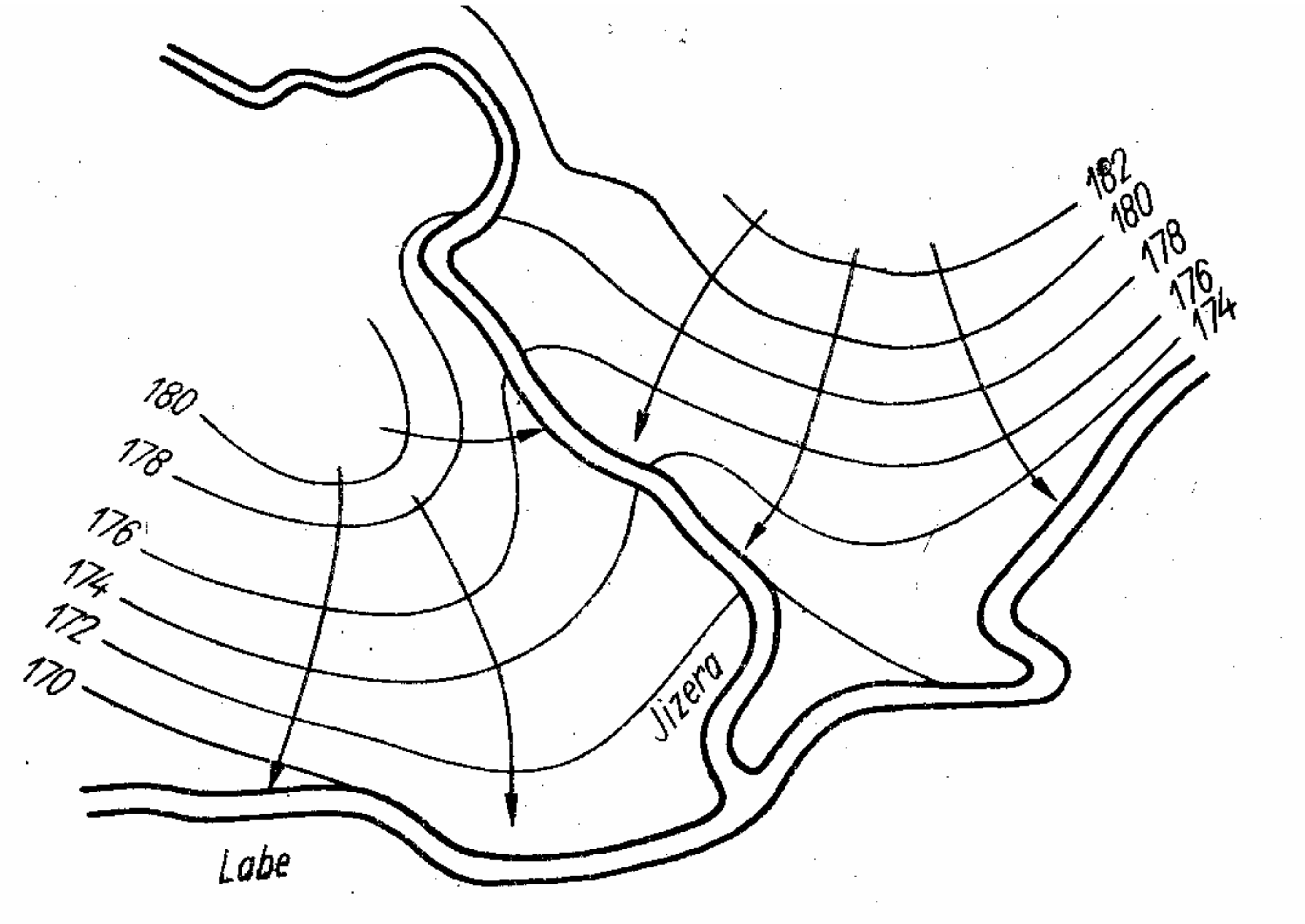
Kapilární podpovrchová voda – adsorpční voda při zvyšování vlhkosti přechází v kapilární podpovrchovou vodu. Voda v kapilárních pórech

Gravitační voda – voda v nekapilárních pórech. Základní vlastností je snadná pohyblivost vlivem gravitace. Voda klesá až k nepropustné vrstvě, kde se hromadí a vytváří **hladinu podzemní vody – (volná hladina, napjatá hladina).** Vlivem gravitace dochází k podélnému pohybu.

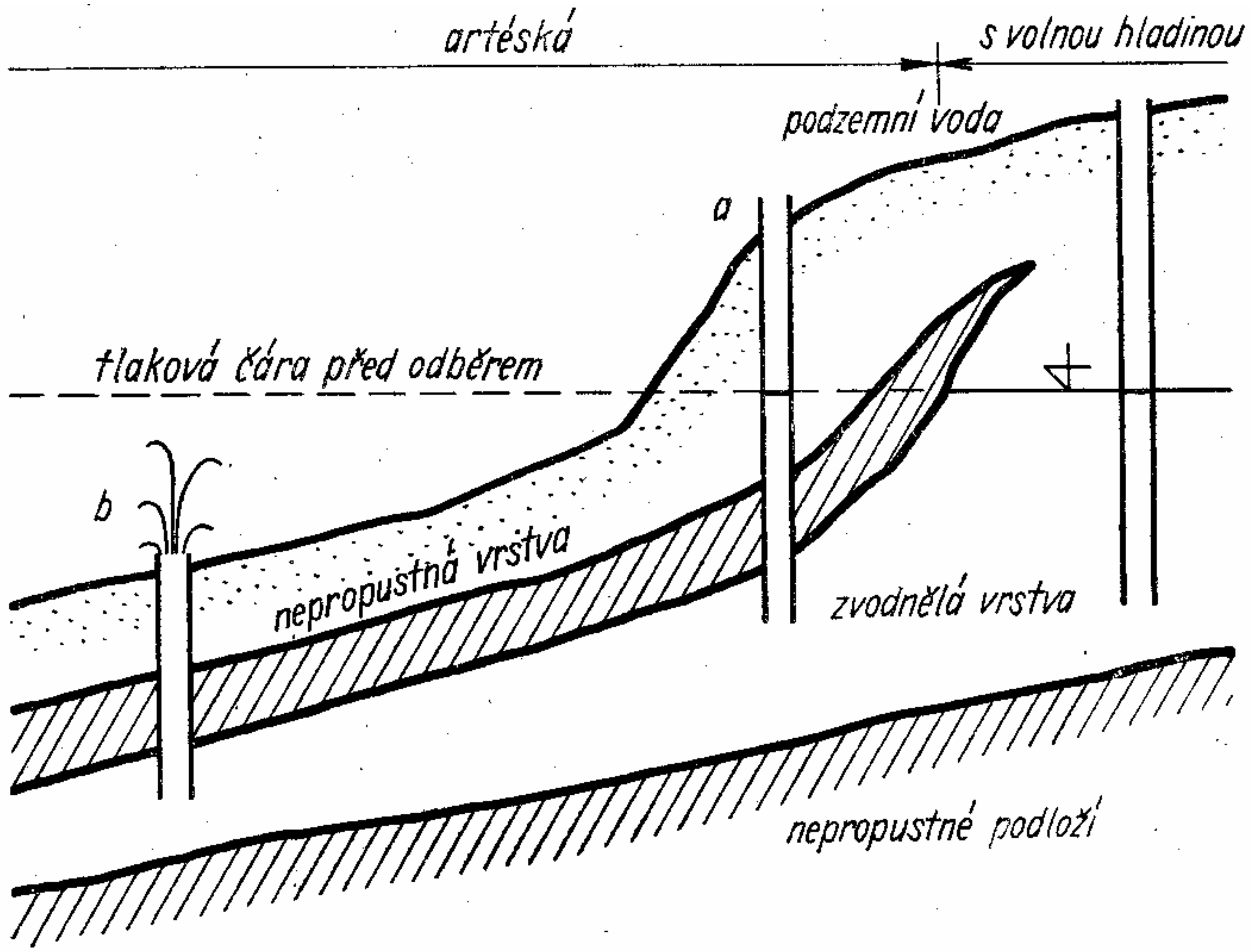
Horniny naplněné podzemní vodou označujeme jako **zvodnělé**.
Mocnost zvodnělé vrstvy – vzdálenost hladiny nad nepropustným podložím

Izohydrohypsy – spojnice stejných výšek hladin podzemní vody

Mapka izohydrohyps při ústí Jizery do Labe



Napjatá (artézská) voda



Darcyho filtrační zákon

Filtrační rychlost v_F zavádíme jako fiktivní rychlost proudění plochou zvodnělého průřezu S, kterou prosakuje průtok Q

$$v_F = \frac{Q}{S}$$

Pórovitost P (objemová pórovitost) – podíl objemu pórů k celému objemu horniny

$$P = 100\left(1 - \frac{m_v}{\rho}\right) \qquad (\%)$$

kde
m_v ... objemová váha vzorku
ρ ... měrná hmotnost horniny

Podle Darcyho

$$v_F = KI$$

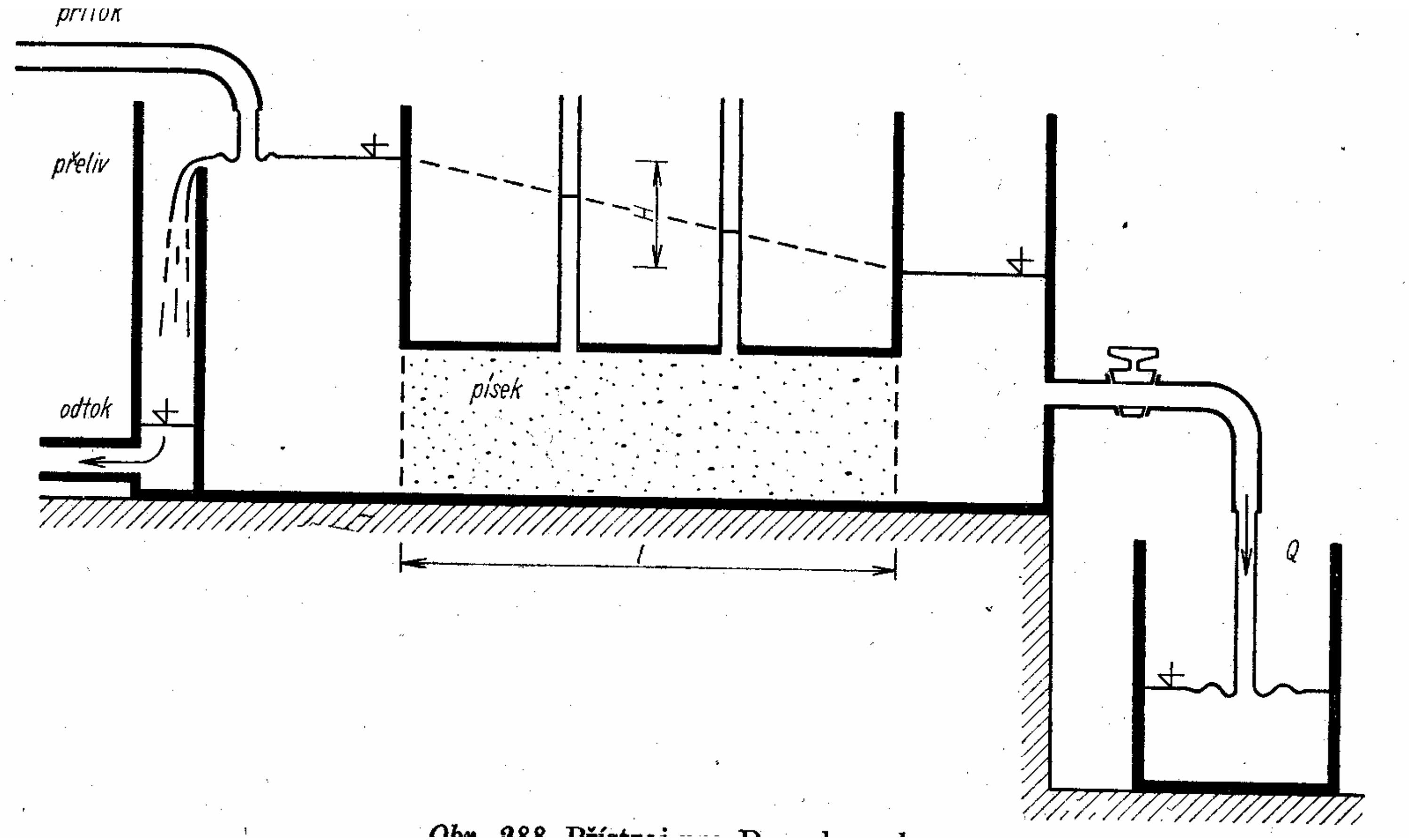
kde
K ... koeficient hydraulické vodivosti (m.s^{-1})
I ... sklon hladiny proudu podzemní vody nebo sklon tlakové čáry

K má rozměr rychlosti a je to vlastně filtrační rychlost , odpovídající sklonu I=1.

Platnost Darcyho zákona je omezena na oblast hodnot Reynoldsova čísla filtrace Re_F = 1-10.
Reynoldsovo číslo filtrace:

$$Re_F = \frac{v_F d_S}{\nu}$$

Kde
d_S ... efektivní průměr zrna
ν ... kinematická viskozita



$$Q = Sv_F = SKI = SK\frac{H}{L}$$

Jednoduché případy jímání podzemní vody a snižování její hladiny

Nejrozšířenějšími záchytnými zařízeními na využívání podzemních vod a na testování zvodnělého prostředí jsou svislé záchytné zařízení, studny. Pod pojmem studna označujeme svislou sběrnou konstrukci (vrtaná, kopaná, s filtrem nebo bez filtru na plášti), která je zapuštěná pod hladinu podzemní vody. **Studny dělíme podle řady kritérií.**

a) Podle účelu dělíme studny:

- vsakovací: přivádí se voda do studny a vsakuje do porézního prostředí
- s odběrem: čerpáním se z nich odvádí určité množství vody

b) Podle způsobu a délky zapuštění do zvodnělé vrstvy rozeznáváme:

- úplné studny: jejich dno zasahuje až na nepropustné podloží
- neúplné studny: dno studny nedosahuje do nepropustného podloží

c) Podle hydraulické funkce:

- obyčejné: voda ke studně přitéká s volnou hladinou
- artézské: voda přitéká ke studně s napjatou hladinou
- smíšené: v části dosahu účinnosti pracují jako obyčejné a dále od studny jako artézské

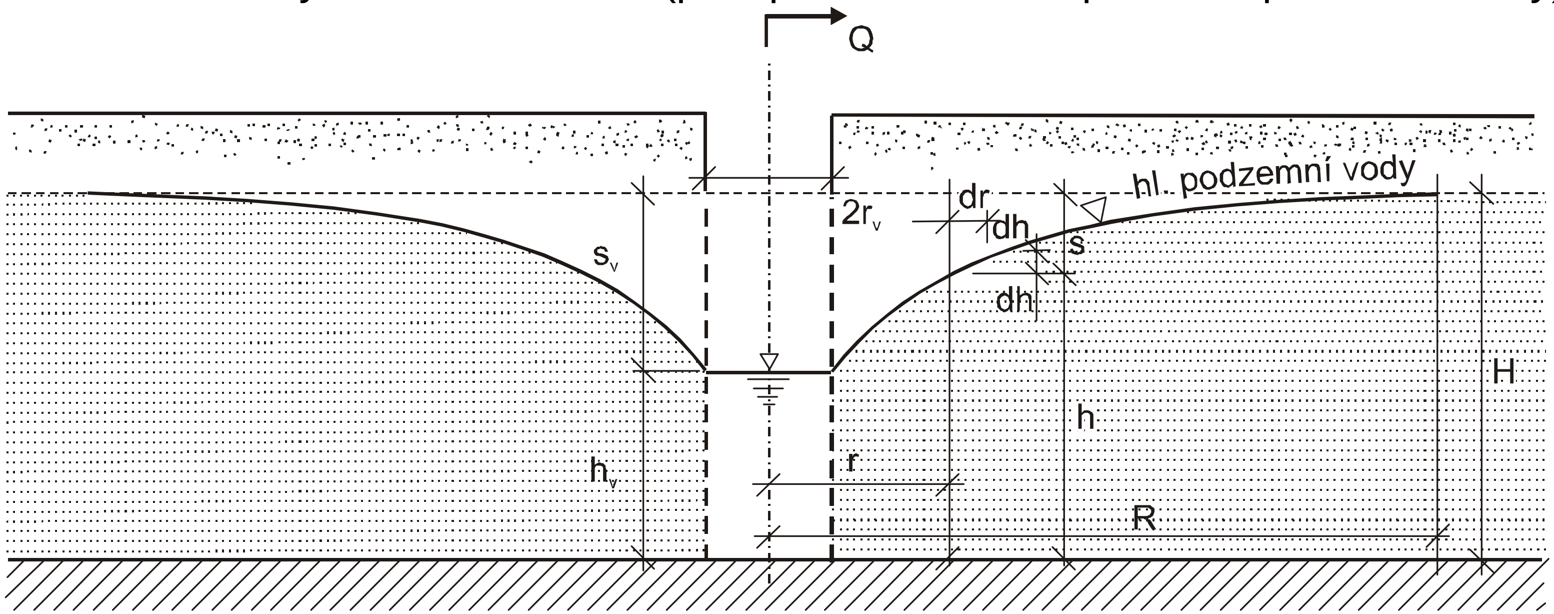
Poloměr **depresního kuželu** učujeme pro jednu studnu např. z empirického Sichardtova vztahu

$$R = 3000\, s \sqrt{K}$$

kde
s ... snížení (m)
K ... koeficient hydraulické vodivosti ($m.s^{-1}$)
R ... poloměr depresního kuželu

Úplná studna

prochází celou zvodnělou vrstvou až na nepropustné podloží. Základní parametry obyčejné studny jsou: **poloměr studny, r_V, dosah depresního kuželu, R a snížení vody ve studně, s_V** . Pro odebírané množství vody lze odvodit vztah (platí pro rovnoměrné proudění podzemní vody):



$$Q = \pi K \frac{H^2 - h_V^2}{\ln \frac{R}{r_V}}$$

nebo

$$Q = 1{,}365 \frac{K(H^2 - h_V^2)}{\log \frac{R}{r_V}}$$

H ... původní nesnížená hladina podzemní vody (m)

K ... nasycená hydraulická vodivost ($m.s^{-1}$)

Známe-li výšku volné hladiny ve dvou bodech (např. ve studni a v pozorovacím vrtu nebo ve dvou pozorovacích vrtech) lze k vyjádření odebíraného množství vody ze studny užít rovnici depresní křivky ve tvaru

$$Q = \pi K \frac{(h_1^2 - h_V^2)}{\ln \frac{r_1}{r_V}} \quad \text{resp.} \quad Q = \pi K \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

nebo při užití dekadického logaritmu

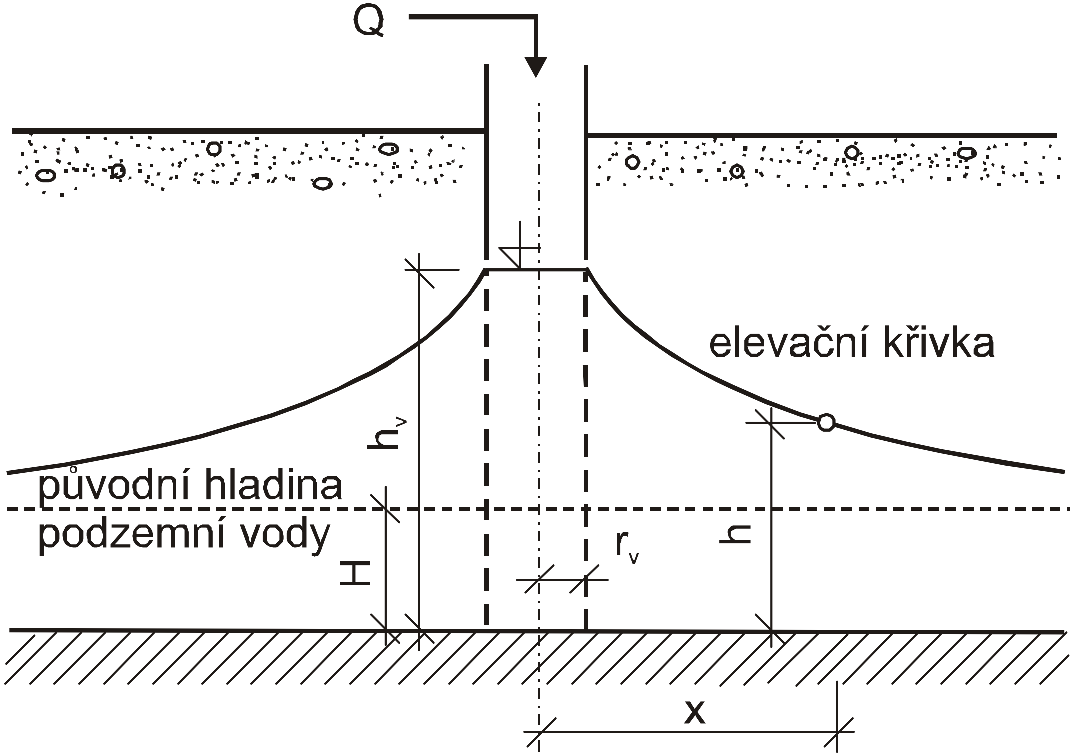
$$Q = 1{,}365\, K \frac{(h_1^2 - h_V^2)}{\log \frac{r_1}{r_V}} \quad \text{resp.} \quad Q = 1{,}365\, K \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{\log \frac{r_2}{r_1}}$$

Optimální snížení úplné studny určíme ze vztahu

$$s_V = \frac{H}{2{,}67}$$

Vsakovací studna

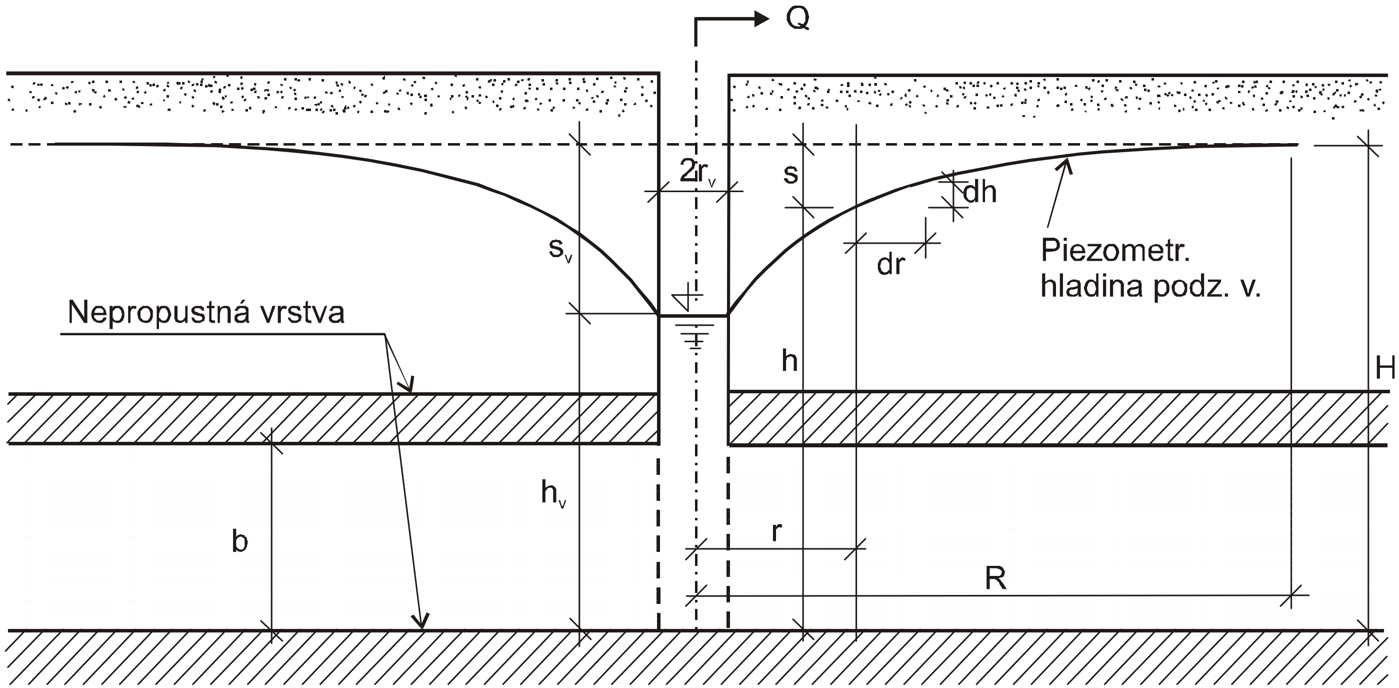
Odvádí určitý přítok do pórů v zemině, které nezaplňuje voda. Vytvoří se elevační křivka s rovnicí:



$$h_v^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{r}{r_V}$$

Artézská studna

Úplná artézská studna je vertikální sběrač, ze kterého se čerpá určité množství podzemní vody s napjatou hladinou, jestliže je výška zvodnělé vrstvy b a původní nesnížená výška piezometrické hladiny H, potom rovnice depresní křivky při odběru vody z vrtu Q je



$$h - h_V = \frac{Q}{2\pi K b} \ln \frac{r}{r_V}$$

Známe-li okrajové podmínky na plášti studny a v dosahu depresního kuželu:

$$Q = 2\pi \frac{Kb(H - h_V)}{\ln \frac{R}{r_V}} = 2\pi \frac{Kbs_V}{\ln \frac{R}{r_V}}$$

nebo ze známých hloubek ve dvou pozorovacích vrtech

$$Q = 2\pi \frac{Kb(h_2 - h_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Příklad

Při ustáleném stavu je čerpáno ze studny o poloměru 400 mm Q = 17,8 $l.s^{-1}$ vody. V pozorovacím vrtu vzdáleném 14,2 m od osy odčerpávané studny je snížení 2,79 m a v pozorovacím vrtu vzdáleném 32,9 m je snížení 1,04 m. Výška zvodnělé vrstvy je 14,7 m. Vypočítejte velikost koeficientu hydraulické vodivosti K a snížení v odčerpávané studni s_V.

Řešení:

Koeficient hydraulické vodivosti vyjádříme z rovnice depresní křivky procházející dvěma známými body

$$K = \frac{Q}{\pi} \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{y_2^2 - y_1^2}$$

Přičemž

$y_1 = H - s_1 = 14{,}7 - 2{,}19 = 12{,}51$ m

$y_2 = H - s_2 = 14{,}7 - 1{,}04 = 13{,}66$ m

$$K = \frac{0{,}0178}{\pi} \frac{\ln \frac{32{,}9}{14{,}2}}{13{,}66^2 - 12{,}51^2} = 1{,}58.10^{-4}\ m.s^{-1}$$

Snížení na plášti studny určíme z rovnice depresní křivky

$$h_V = \sqrt{y_1^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{r_1}{r_V}} = \sqrt{12{,}51y^2 - \frac{0{,}0178}{\pi.1{,}58.10^{-4}} \ln \frac{14{,}2}{0{,}4}} = 5{,}34\ m$$

potom $s_V = H - h_V = 14{,}7 - 5{,}34 = 9{,}36$ m.