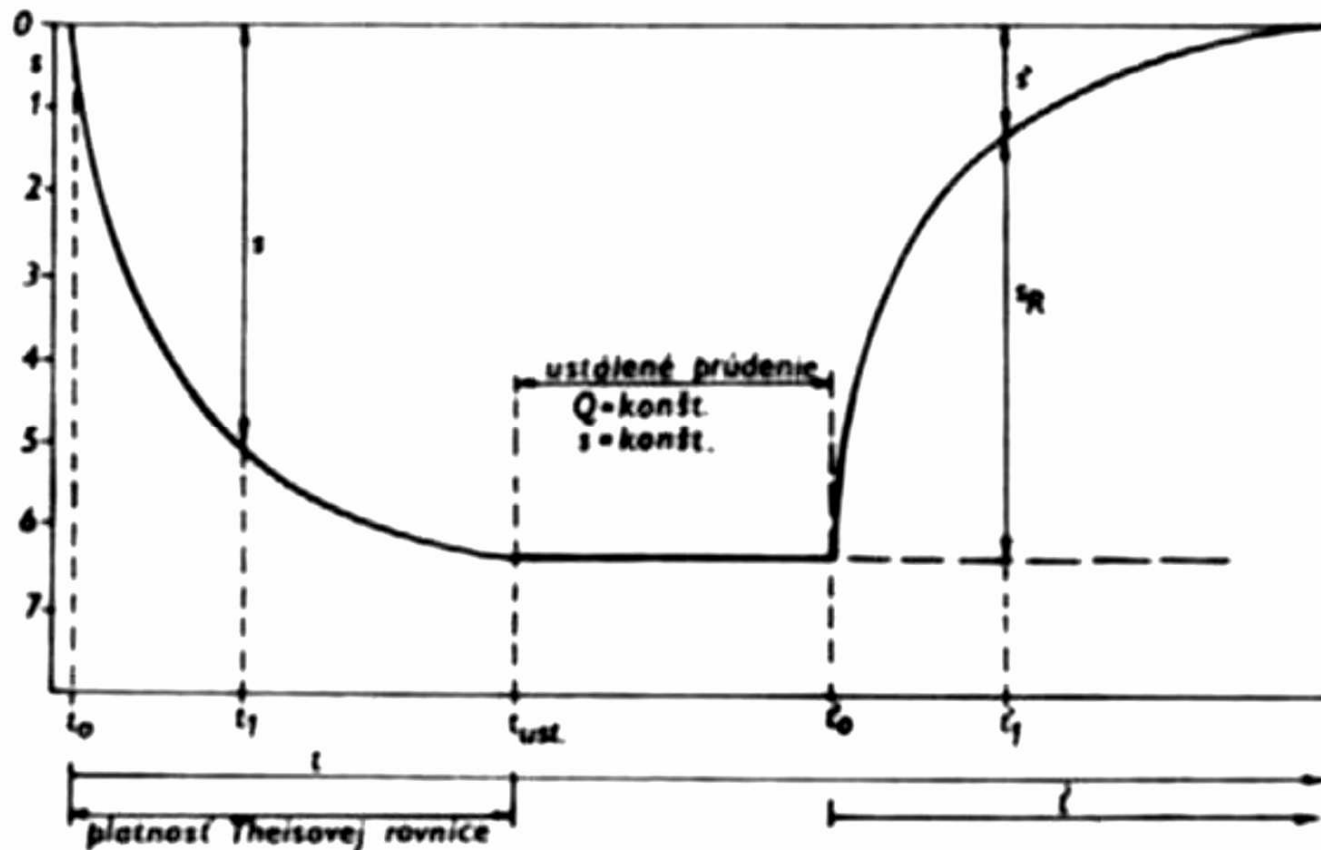


# **Hydraulika podzemních vod**

# STOUPACÍ ZKOUŠKY

- vyhodnocení stavu po skončení čerpací zkoušky
- měří se tzv. zbytkové snížení (původní hladina – hladina po skončení čerpání v libovolném čase po skončení odběru)
- zbytkové snížení je podle Theise aproximováno rozdílem snížení hladin v případě, kdy po skončení čerpání dochází ke vsakování stejného množství vody v imaginárním vrtu umístěném v původně čerpaném vrtu (aplikace zákona superpozice)
- obrovská výhoda – stanovení pro čerpaný vrt (bez nutnosti vrtů pozorovacích)



$$s' = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} W\left(\frac{S \cdot r^2}{4 \cdot T \cdot t}\right) - \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} W\left(\frac{S' \cdot r^2}{4 \cdot T \cdot t'}\right)$$

upravená Theisova rovnice pro výpočet snížení při stoupací zkoušce

$$s' = \frac{2,303 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \left( \log \frac{2,246 \cdot T \cdot t}{S \cdot r^2} - \log \frac{2,246 \cdot T \cdot t'}{S' \cdot r^2} \right)$$

úprava Jacobovou metodou přímkové aproximace

$$s' = \frac{2,303 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \log \frac{t}{t'}$$

$$\Delta s' = \frac{2,303 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot T}$$

výpočet snížení v jednom logaritmickém cyklu času  $t/t'$

## POSTUP VYHODNOCENÍ

- nejčastěji vyhodnocení semilogaritmickou metodou (obdoba Jacobovy aproximace) – pro výpočet  $T$  se používá přímkový úsek grafu
- změříme snížení na konci čerpací zkoušky v čase  $t$
- postupně měříme zbytkové snížení  $s'$  v časech  $t'$
- četnost měření hladin odpovídá 2 – 3 měření  $s'$  v jednom logaritmickém cyklu času
- v semilogaritmickém grafu vyneseme na osu x poměr  $t/t'$  proti hodnotám  $s'$  na ose y
- čas  $t$  je celkový čas hydrodynamické zkoušky – čas čerpací + stoupací zkoušky k danému bodu měření
- čas  $t'$  je čas od zahájení stoupací zkoušky (přerušeni čerpání)

## Stanovení storativity touto metodou

- jen orientační (pro čerpaná vrt)
- nepřesné – ovlivněno objemem vody ve vrtu
- přesnější než v případě čerpací zkoušky (samotný vrtu je při čerpací zkoušce pro výpočet  $S$  nepoužitelný)

storativita čerpací zkoušky –  $S$   
storativita stoupací zkoušky –  $S'$       hodnoty často rozdílné

vyjádření storativity v základní rovnici  $s' = \frac{2,303 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \left[ \log \left( \frac{t}{S} \right) - \log \left( \frac{t'}{S'} \right) \right]$

pro snížení  $s' = 0$  platí  $\log \frac{t \cdot S'}{t' \cdot S} = 0$  z čehož  $t/t' = S/S'$

hodnotu  $t/t'$  odečteme přímo z grafu (pro  $s' = 0$ ) můžeme určit poměr  $S/S'$

$$(t/t')_0 > 1 \quad (S' < S)$$

$$(t/t')_0 = 1 \quad (S' = S)$$

$$(t/t')_0 < 1 \quad (S' > S)$$

k výpočtu storativity lze použít údaje z pozorovacího vrtu

$$S_p = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_{cz} / r^2}{10^{s'_0 / i}}$$

$s'_0$  - počáteční snížení na začátku stoupací zkoušky  
 $i$  - snížení na jeden  $\log$  cyklus času  $t'$

## HYDRODYNAMICKÉ ZKOUŠKY S JEDNORÁZOVÝM NÁLEVEM NEBO ODBĚREM

- principem je rychlý (jednorázový) odběr určitého objemu vody (**bail test**), nebo naopak injektáž určitého objemu vody (**slug test**)
- rychlost návratu hladiny na původní úroveň je mírou propustnosti kolektoru

### Výhody

- rychlá metoda
- při nálevech nevzniká nutnost odčerpávat vodu – použití v kontaminační hydrogeologii

### Nevýhody

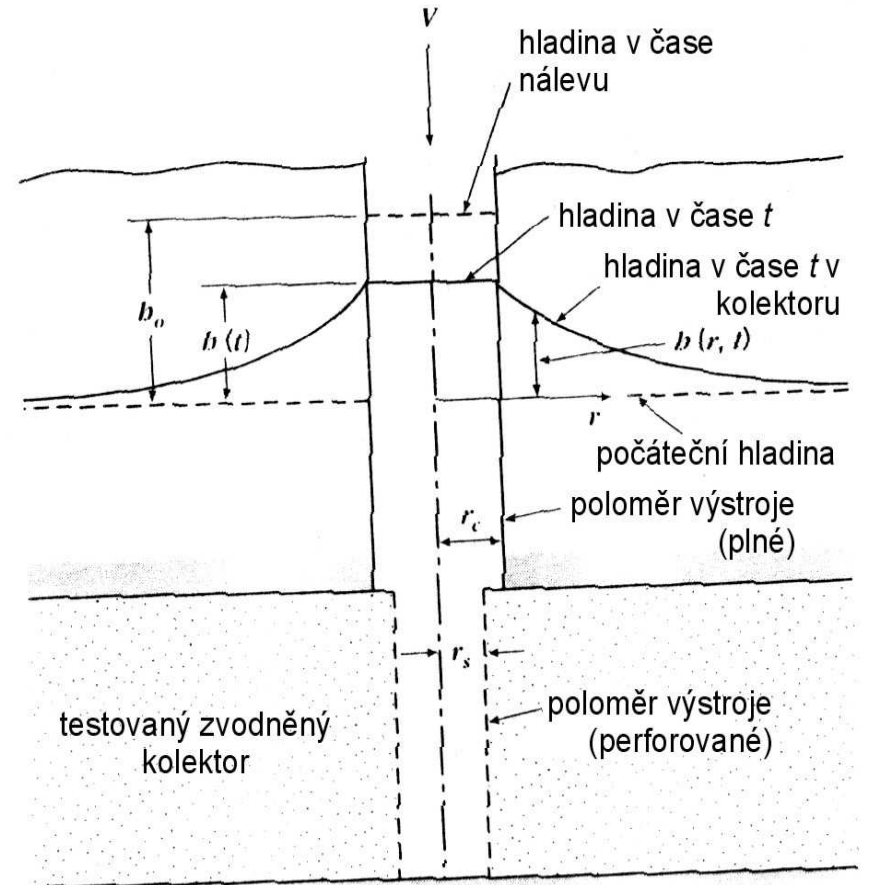
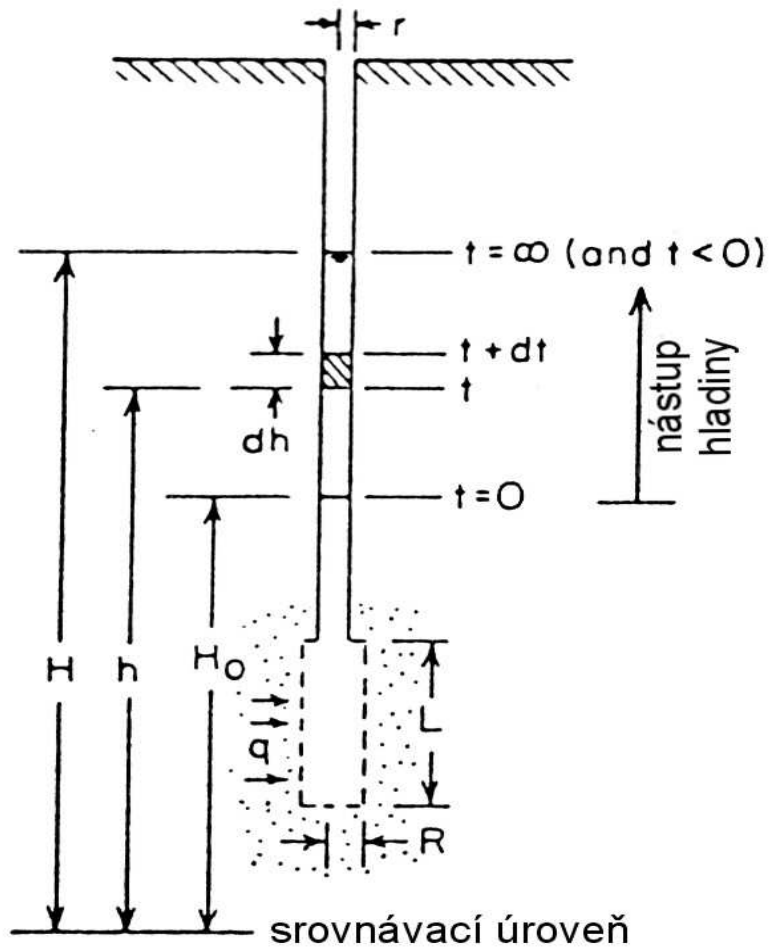
- orientační metoda použitelná jen v omezených případech
- použitelné jen u úzkoprofilových piezometrů
- stanovuje se  $k$  v dosahu jen několika centimetrů od vrtu
- nevhodné u vrtů s obsypem

### Metody řešení

- Bouwer a Rice
- Ferris a Knowles
- Hvorslev

Faktory ovlivňující zjišťovanou hodnotu  $k$  (měřené hodnoty) – obecně pro všechny metody

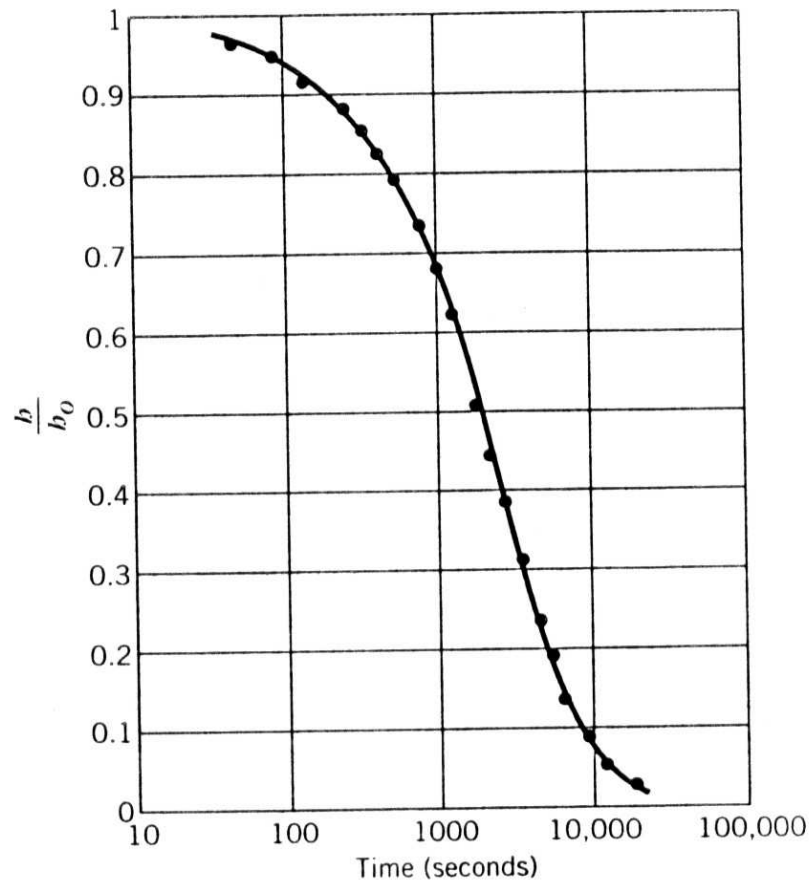
- zbytkové snížení
- čas
- tvarový faktor piezometru



## Metoda Hvorsleva

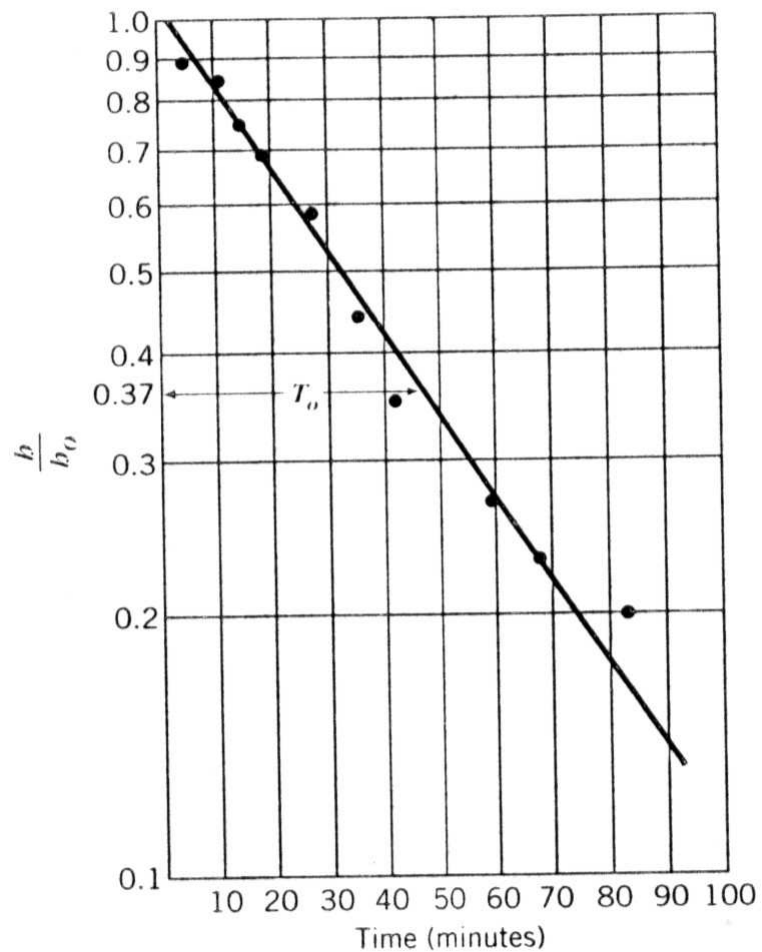
Tvarový faktor

Hvorslevova metoda –  $L/R > 8$



- vynáší se poměr  $h/h_0$  na ose y proti času  $t$  na ose x
- výška  $h$  je výška nálevu v libovolném čase
- na počátku je poměr  $h/h_0$  roven 1 a postupně se blíží 0

## Interpretace v semilogaritmickém grafu $\log h/h_0$ proti $t$



-je definována základní doba zpoždění  $T_0$

### Postup vyhodnocení

- data změřená v piezometru se vynesou v semilogaritmickém grafu
- střední část křivky se v semilogaritmickém měřítku promítne jako přímka
- odečte se část odpovídající poměru snížení  $h/h_0$  rovno 0,37 (přepočten  $\log$  na  $\ln$ )

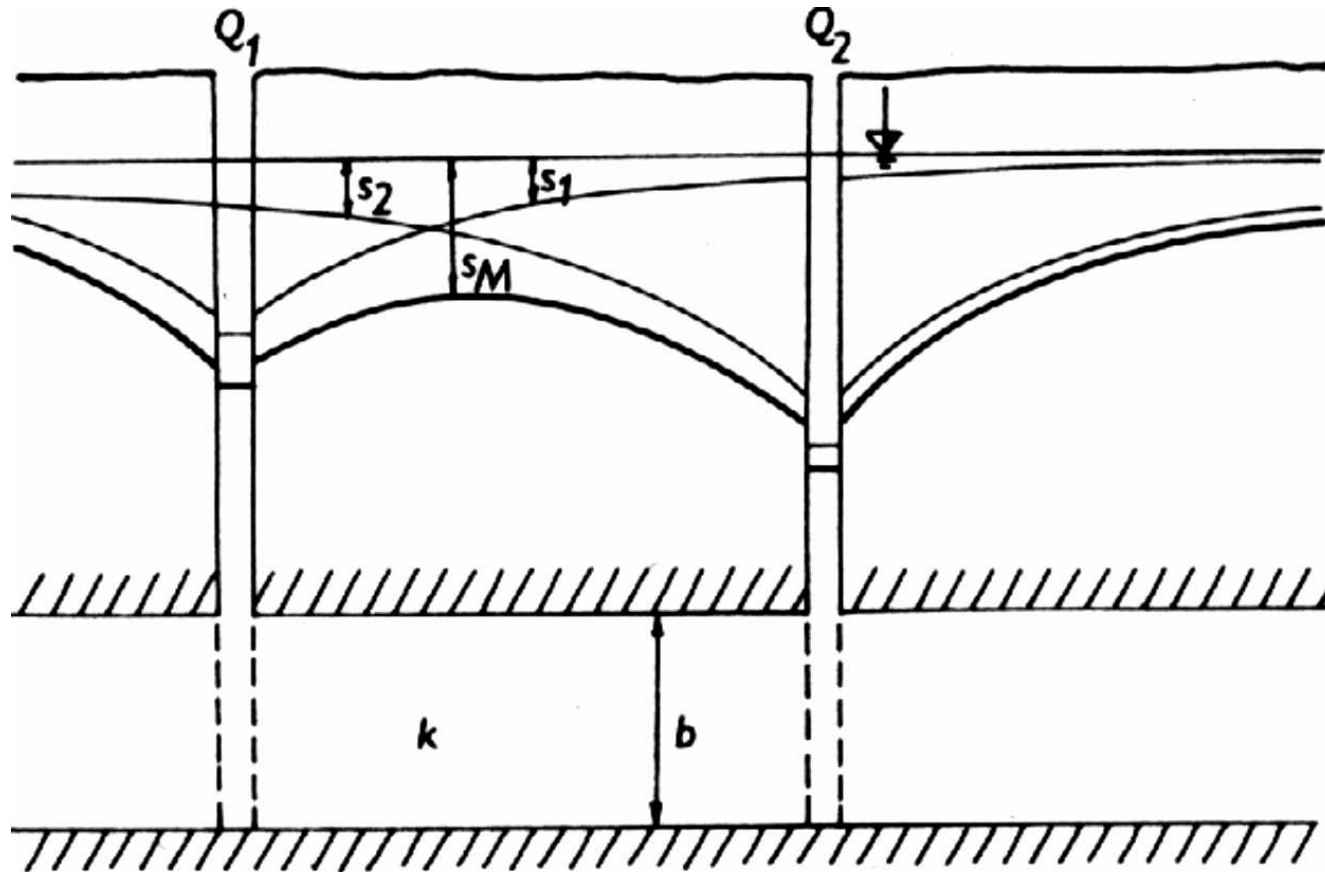
$$k = \frac{r^2 \cdot \ln(L/r)}{2 \cdot L \cdot T_0}$$



## PRINCIP SUPERPOZICE

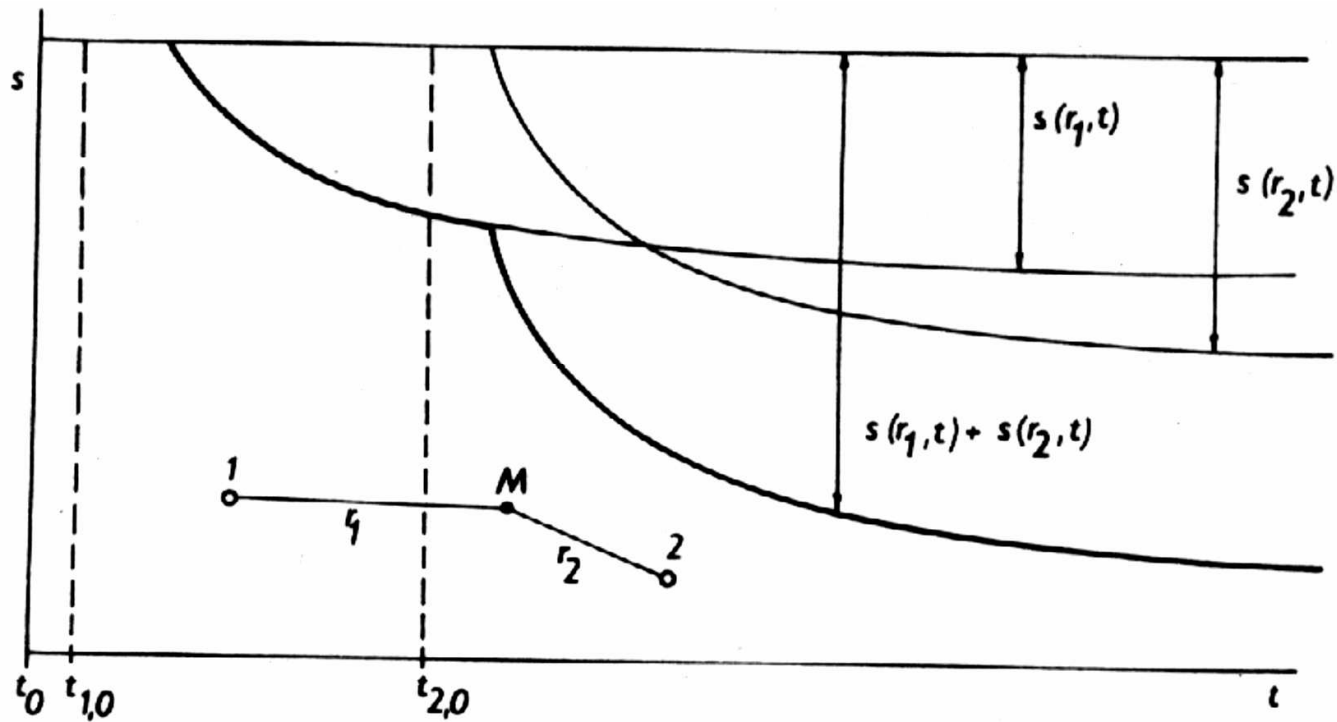
- základem řešení hydraulických problémů v reálných podmínkách
- pokud je ve zvodněné vrstvě několik vstupů a výstupů podzemní vody, potom výsledná piezometrická úroveň hladiny je rovná algebraickému součtu piezometrických výšek vyvolaných jednotlivými vlivy
- využití – řešení okrajových podmínek proudění, čerpání v případech existence více objektů, apod.

## PŘÍKLAD



dva čerpané vrty v jedné hydrogeologické struktuře s napjatou hladinou,  
před začátkem čerpání byla hladina ustálená, čerpání  $Q_1$  vyvolá ve struktuře snížení  $s_1$ ,  
čerpání  $Q_2$  vyvolá ve struktuře snížení  $s_2$ ,  
snížení vyvolané současným čerpáním obou vrtů v množství  $Q_1$  a  $Q_2$  odpovídá v každém bodě  
součtu obou snížení

## PŘÍKLAD



pokud není čerpání v obou vrtech zahájeno současně,  
pokles vyvolaný čerpáním z druhého vrtu se v libovolném bodě  $M$   
projeví až po dosažení tohoto bodu druhým depresním kuželem

Obecný tvar Theisovy rovnice pro řešení reálných podmínek aplikací zákona superpozice

$$s = s_1 \pm s_2 \pm s_3 \pm \dots \pm s_n = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot [W(u)_1 \pm W(u)_2 \pm W(u)_3 \pm \dots \pm W(u)_n] = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \sum W(u)$$

- kladné hodnoty snížení - odpovídají vlivu dalšího čerpaného vrtu
- záporné hodnoty snížení – odpovídají vlivu dalšího vrtu - vsakovaného

### **výpočet snížení**

- výpočet z Theisovy rovnice  $s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot W(u)$

- při známých parametrech  $T$  a  $S$  zjistíme hodnotu argumentu  $u$   $u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$

- následně zjistíme hodnotu odpovídající hodnotu argumentu  $W(u)$   
(z tabulky hodnot Theisovy funkce nebo z grafu typové křivky)  $s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot W(u)$

# ŘEŠENÍ ČERPACÍCH ZKOUŠEK OVLIVNĚNÝCH OKRAJOVÝMI PODMÍNKAMI

neexistuje nekonečná zvodněná vrstva

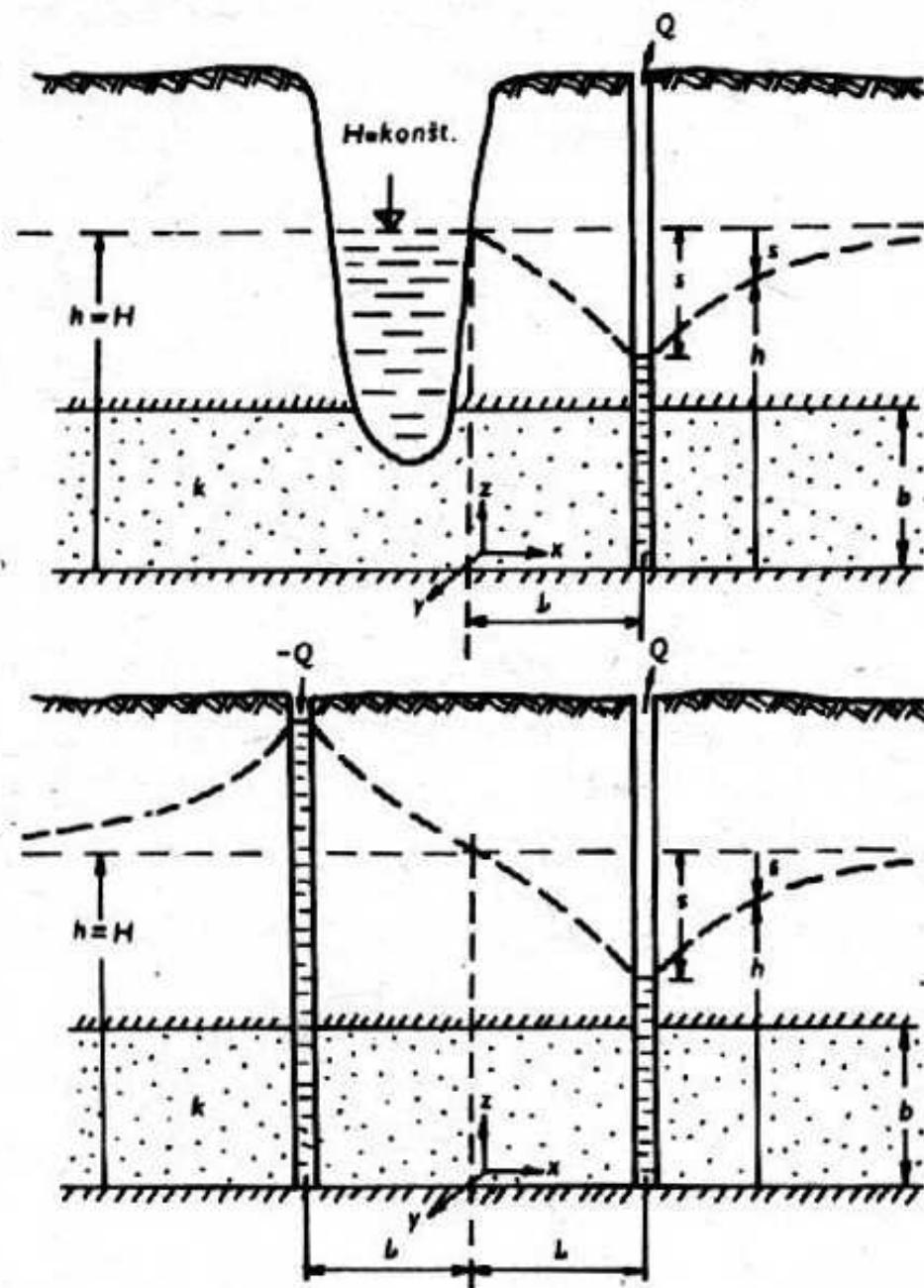
z vyhodnocení průběhu čáry snížení lze rozeznat druh okrajové podmínky a určit její hydraulický charakter (dokonalost)

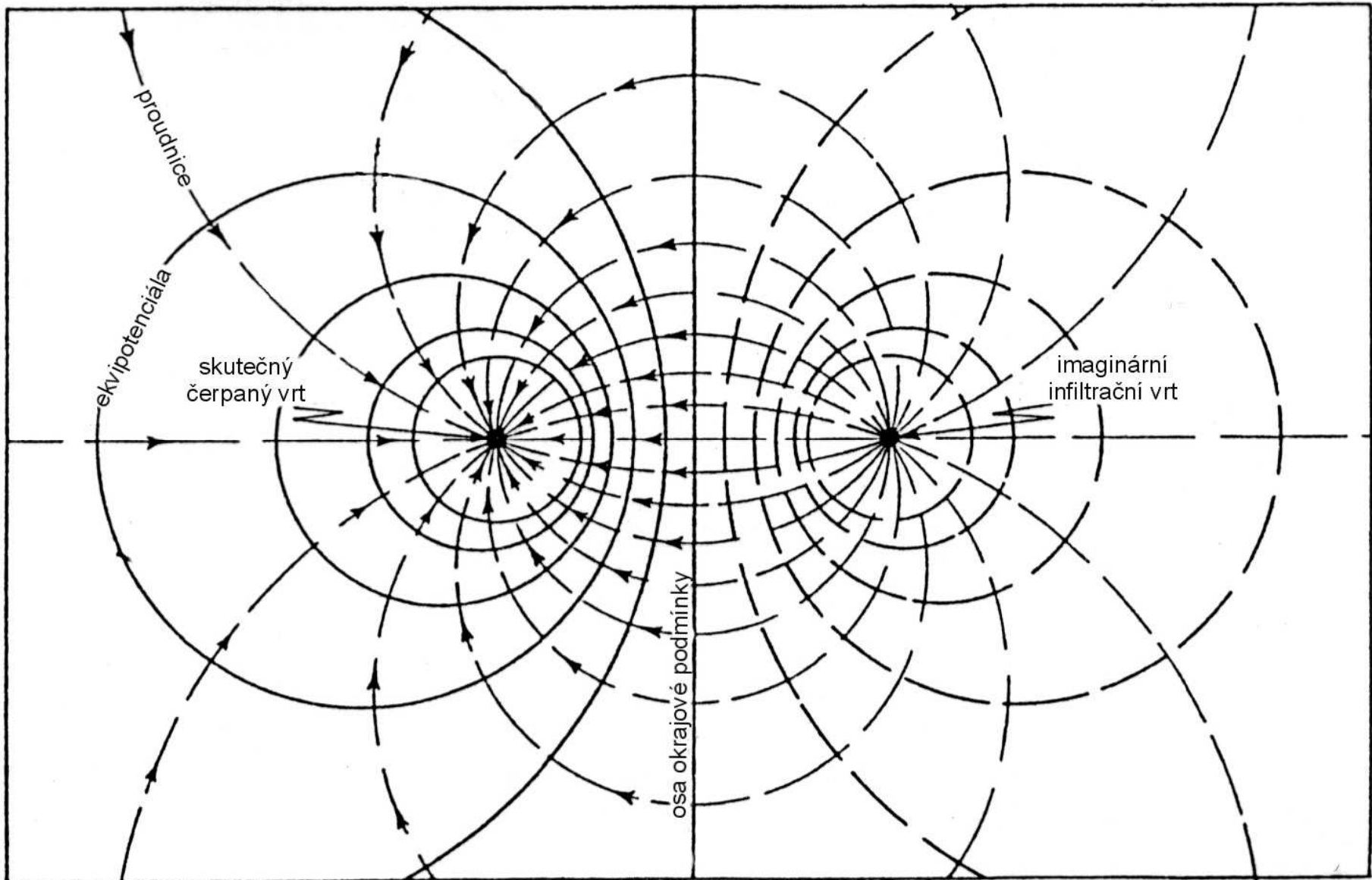
## **Teorie zrcadlového zobrazení (imaginárních, fiktivních vrtů)**

- vliv okrajové podmínky lze vyjádřit imaginárními (zrcadlově zobrazenými vrty)
- podle druhu okrajové podmínky má imaginární vrt čerpané množství +Q nebo -Q
- superponováním snížení (+s nebo -s) vyvolané imaginárním vrtem na snížení vyvolané čerpáním z reálného vrtu lze kalkulovat skutečné snížení v libovolné vzdálenosti od čerpaného vrtu
- platí, že imaginární vrt leží za okrajovou podmínkou, jejíž osa probíhá kolmo na spojnici imaginárního a reálného vrtu a leží uprostřed této vzdálenosti
  
- použitelné zejména pro případy okrajové podmínky typu  $H = \text{konst.}$  (skutečné snížení v dosahu okrajové podmínky bude menší a pro případ  $q = 0$  (skutečné snížení bude větší )

$$s = s_r \pm s_i = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot [W(u)_r \pm W(u)_i] = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \sum W(u)$$

řeka jako okrajová podmínka (1. Typu,  $h = \text{konst.}$ )





proudnice

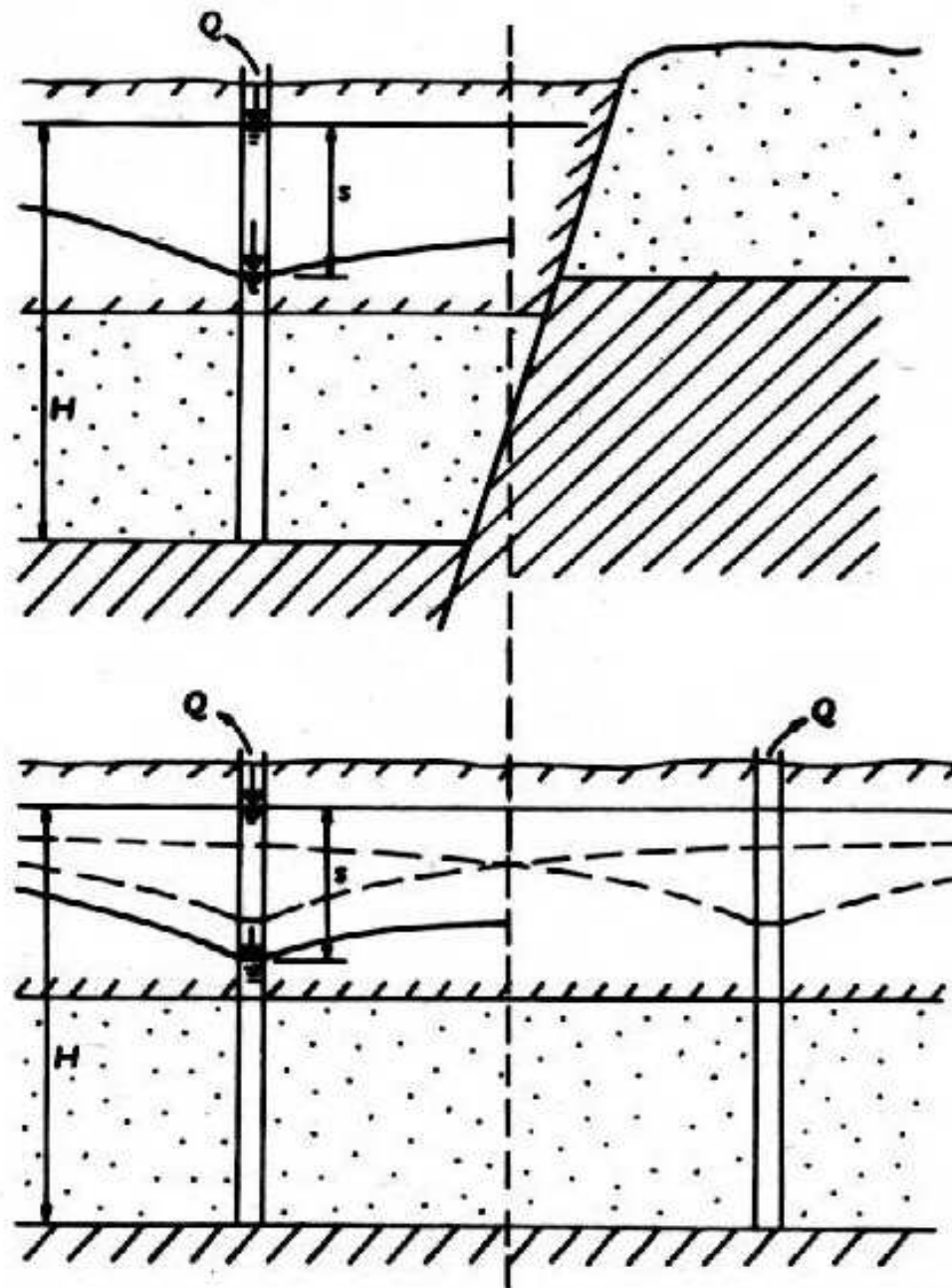
ekvipotenciála

skutečný  
čerpaný vrt

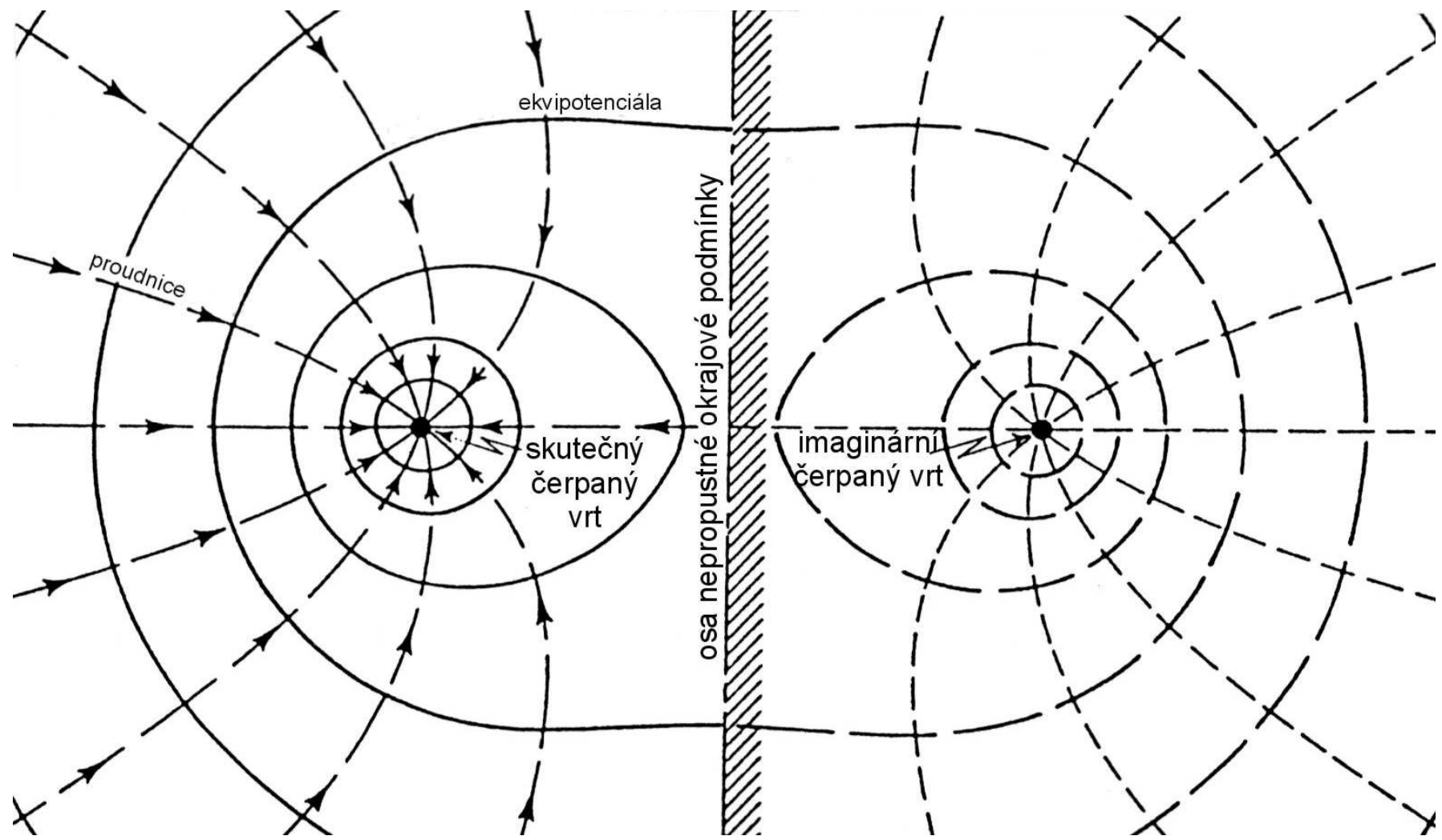
imaginární  
infiltrační vrt

osa okrajové podmínky

nepropustná vrstva jako okrajová podmínka (2. typu,  $q = 0$ )

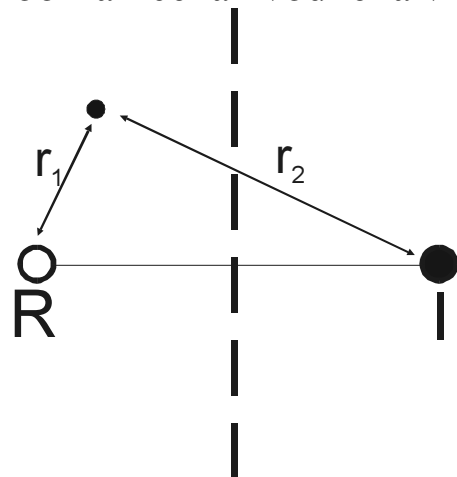




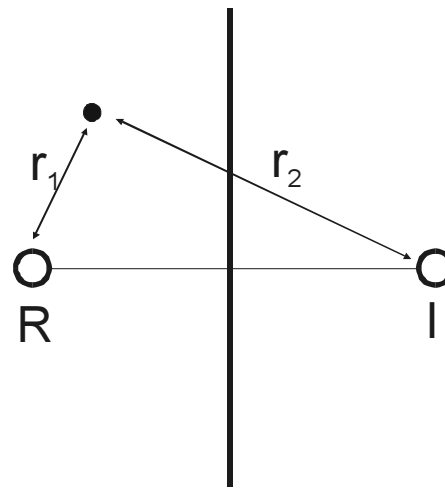


# Vliv geometrie okrajových podmínek na lokalizaci imaginárních vrtů

## 1. Poloohraničená zvodněná vrstva

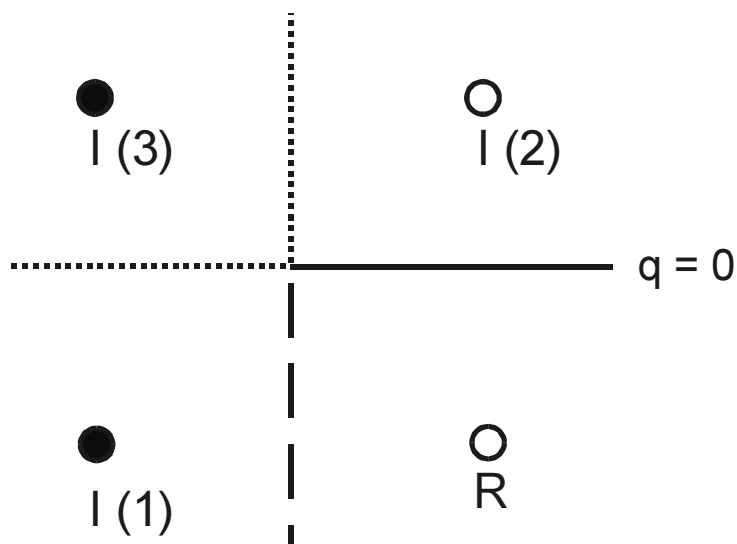


$h = \text{konst.}$

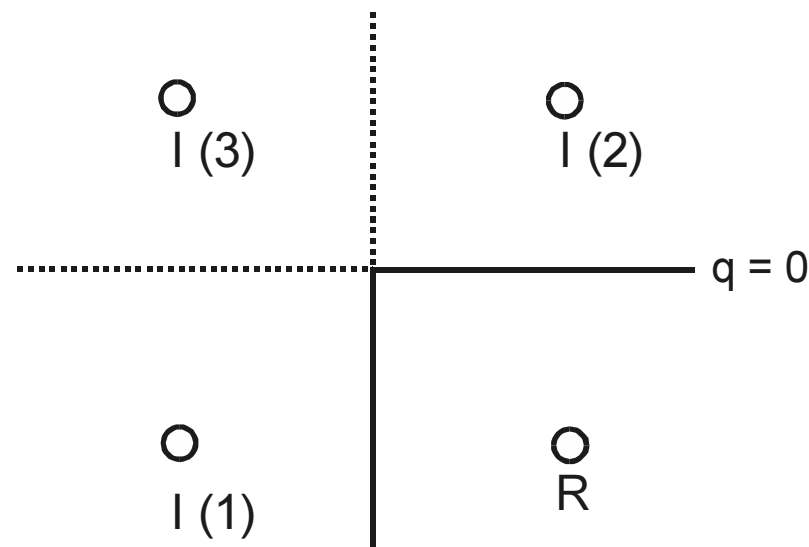


$q = 0$

## 2. Zvodněné vrstva ohraničená ze 3/4



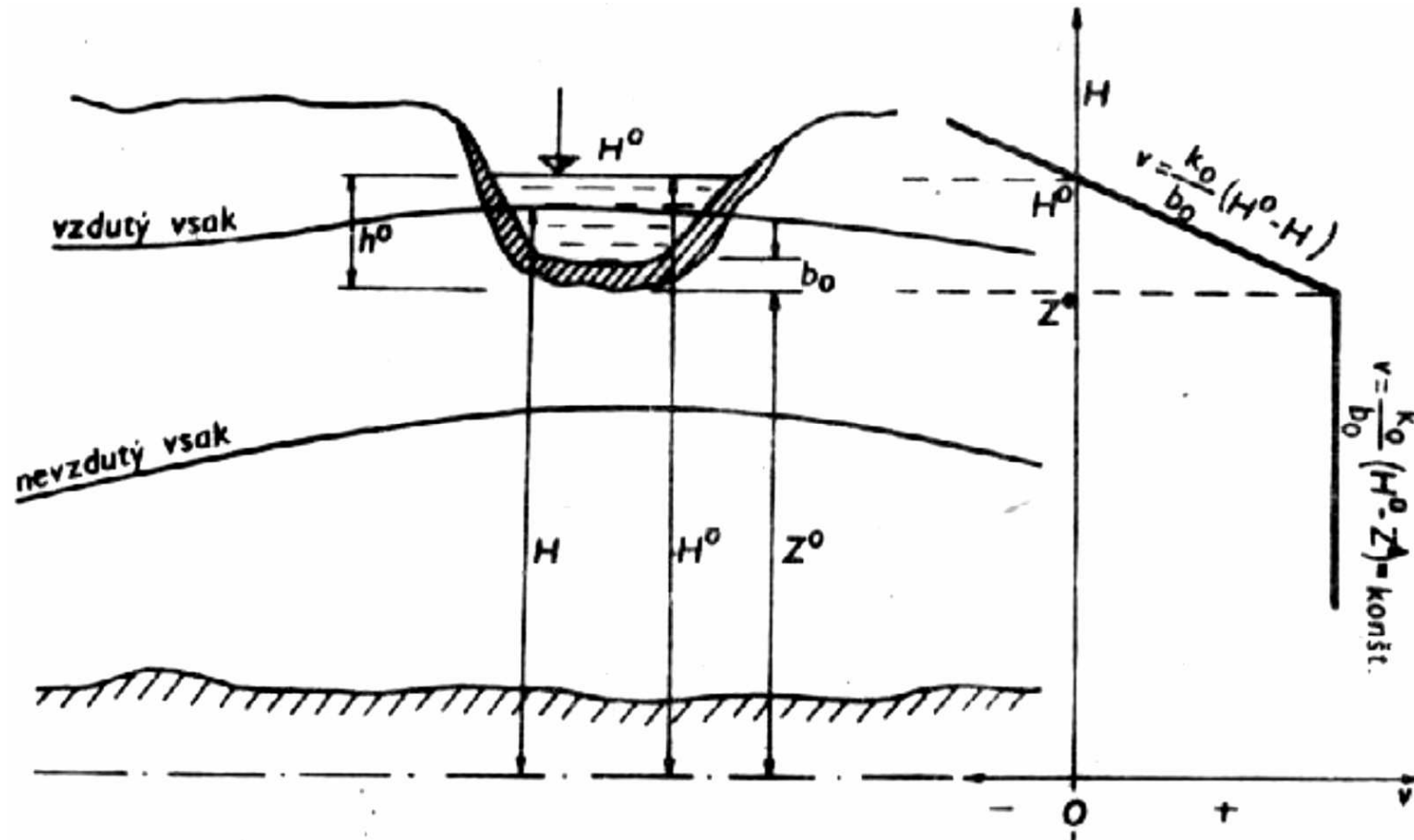
$h = \text{konst.}$

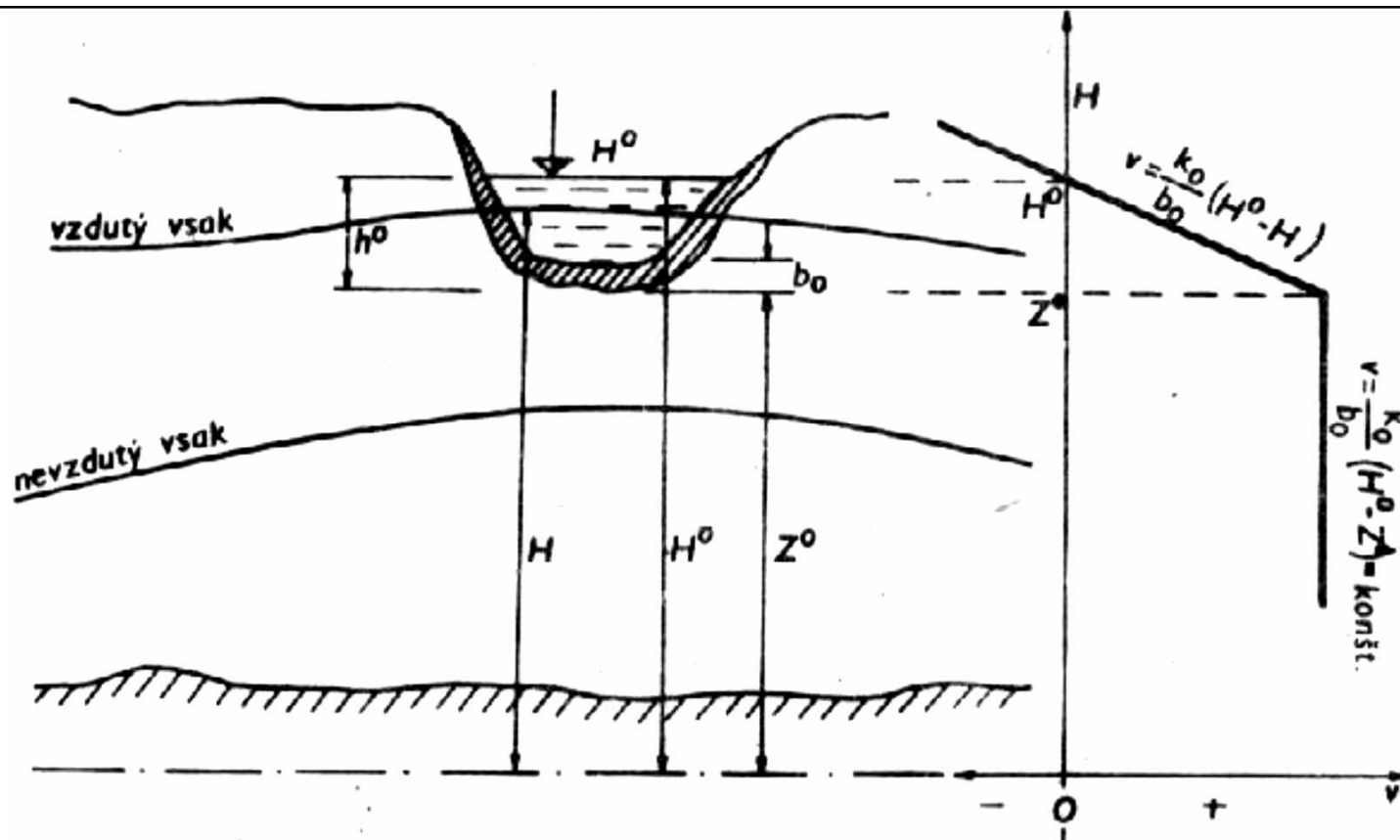


$q = 0$

## ŘEKA JAKO OKRAJOVÁ PODMÍNKA

- $H = konst.$ ,  $H$  nezávisí na přítoku na hranici okrajové podmínky
- při neustáleném proudění se  $H_0$  (hladina v řece) může měnit v závislosti na hydrologických faktorech a je dána součtem  $h_0 + z_0$
- pokud je koryto zanesené vrstvičkou nepropustných sedimentů nebo je zakolmatované, hranice okrajové podmínky se přenáší až na styk této vrstvy se zvodněným prostředím





## 2 druhy okrajových podmínek

proudění s nevzdutým vsakem – proudění neovlivněné hladinou podzemní vody (hladina podzemní vody se trvale nachází v hloubce větší, než je styk kolmatované vrstvy s propustným prostředím a mezi nimi je nenasycená zóna)

proudění se vzdutým vsakem – hladina podzemní vody se pohybuje nad hranicí styku kolmatované vrstvy se zvodněným prostředím (zvodněné prostředí pod touto hranicí je úplně nasycené vodou, rychlost proudění závisí na výšce hladiny v okrajové podmínce a zvodněné vrstvě, vzhledem ke zpravidla malé tloušťce kolmatované vrstvy se uvažuje filtrační proud kolmý na vrstvičku)

v některých případech může nastat stav, kdy část vody infiltruje se vzdutým a část bez vzdutého vsaku

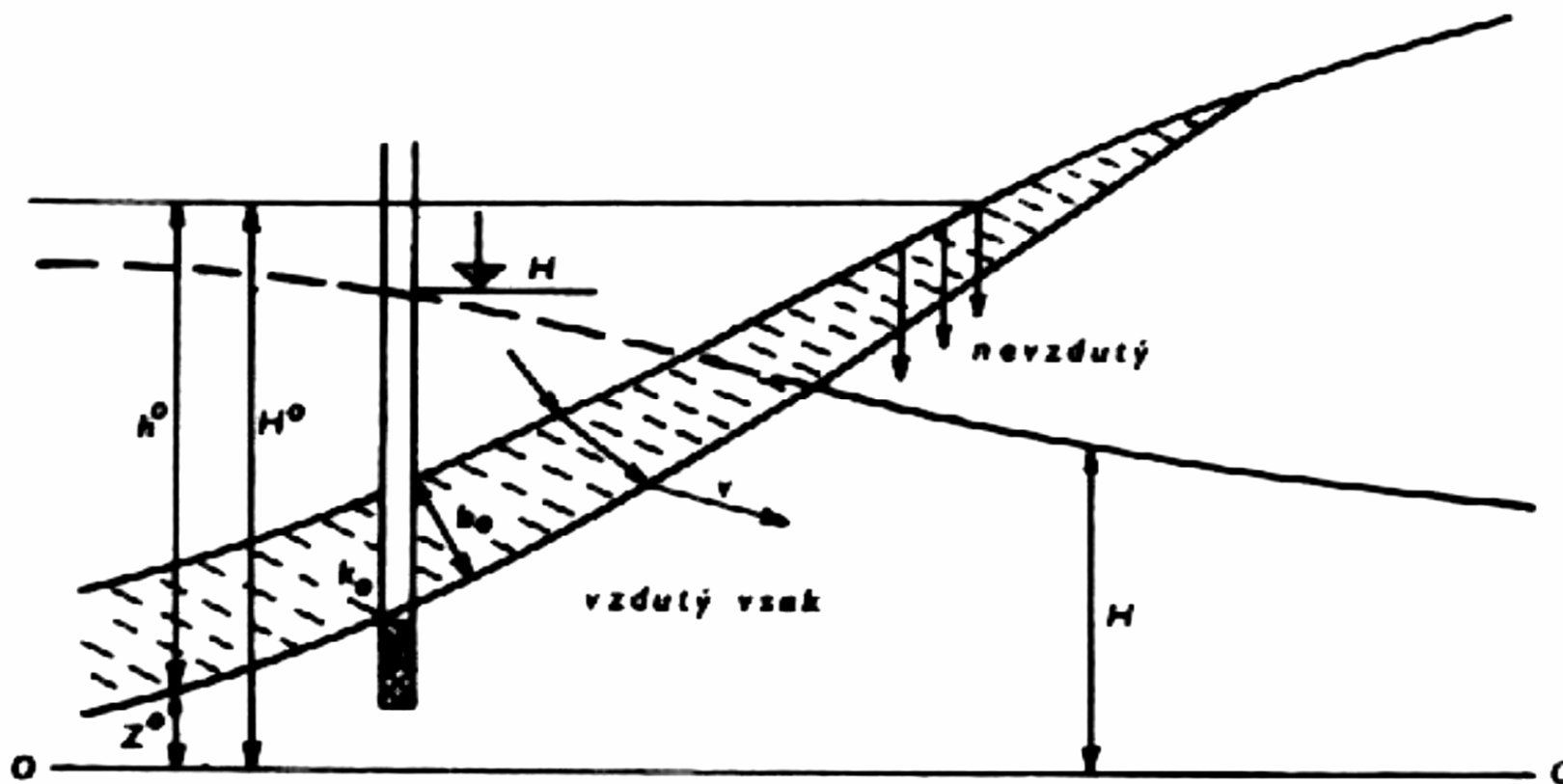
rychlost filtrace při proudění se vzduťým vsakem

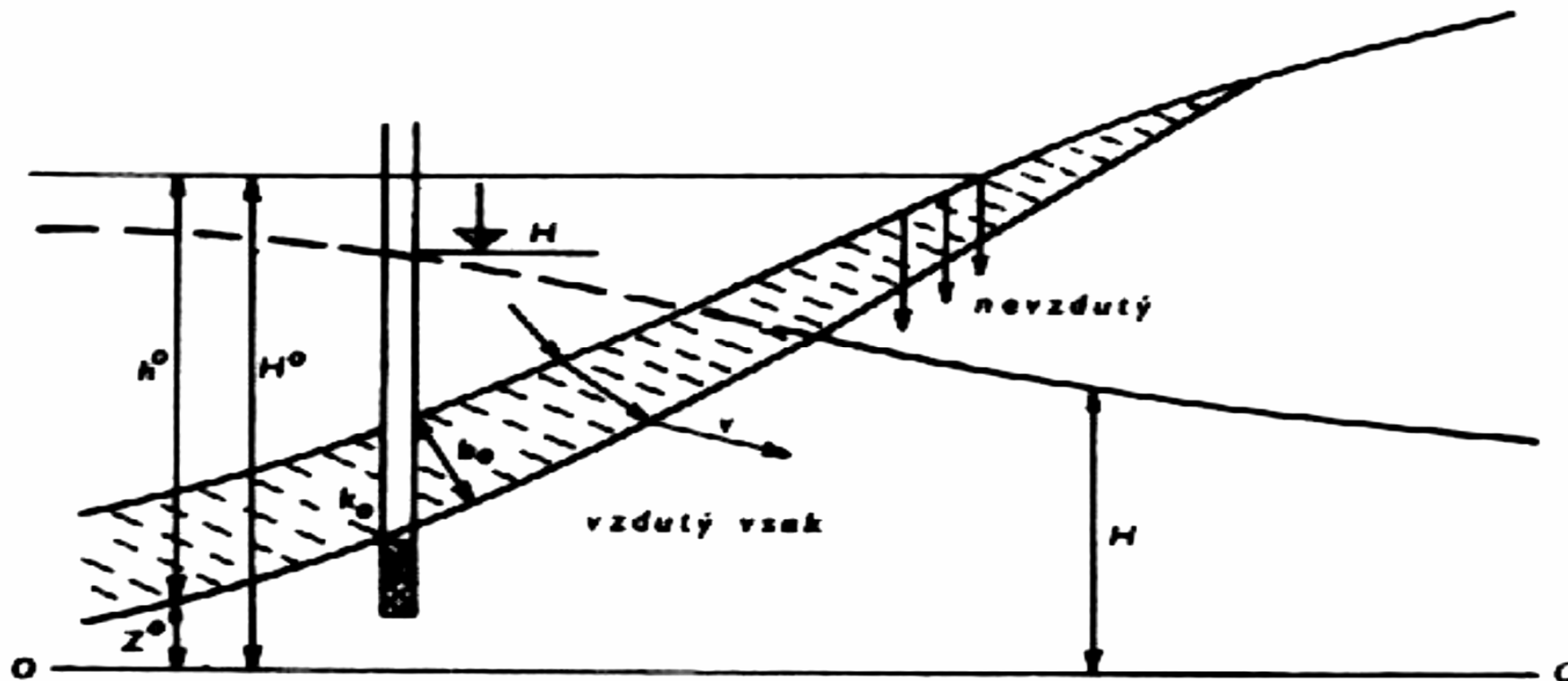
$$v = \frac{k_0}{b_0} \cdot (H_0 - H)$$

rychlost filtrace při proudění s nevzduťým vsakem

$$v = \frac{k_0}{b_0} \cdot (H_0 - Z_0) \quad \text{nebo} \quad v = \frac{k_0}{b_0} \cdot h_0$$

$$\frac{k_0 \cdot \omega}{b_0} = \frac{T}{L}$$





kde  $T$  je transmisivita zvodněné vrstvy,  $\omega$  je plocha průsaku jednotkové šířky a  $L$  je náhradní délka zvodněné vrstvy o transmisivitě  $T$ , která odpovídá svými odporovými vlastnostmi kolmatované vrstvičce

poměr  $k_0/b_0$  představuje jednotkovou charakteristiku propustnosti kolmatované vrstvičky a označuje se jako součinitel kolmatace, není jej možné přesně určit.

proudění přes takové ohraničení se nazývá břehová infiltrace a pokud je vyvolané čerpáním ve zvodněné vrstvě jako indukovaná břehová infiltrace.

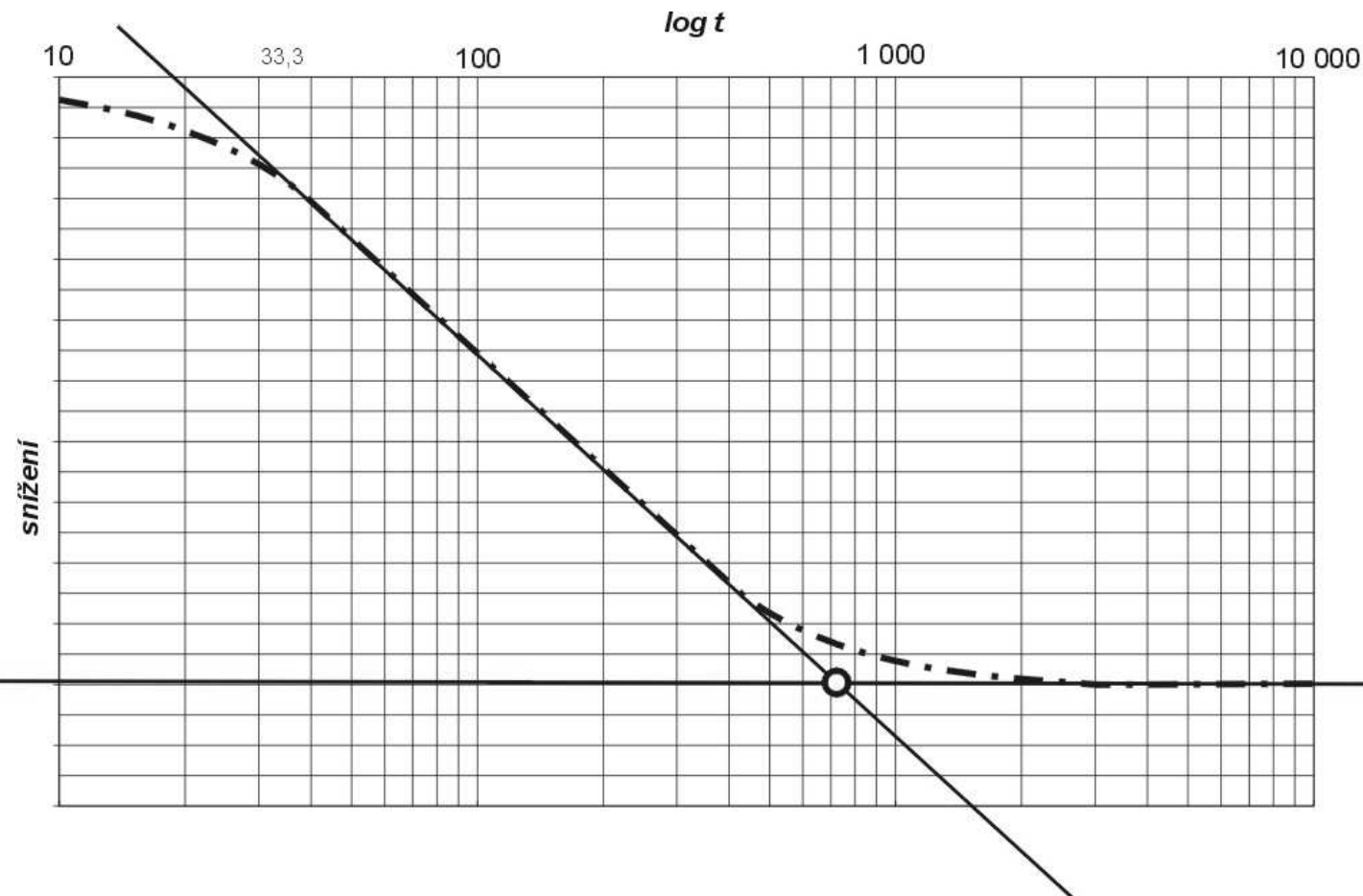
$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \left[ W\left(\frac{S \cdot r_1^2}{4 \cdot T \cdot t}\right) - W\left(\frac{S \cdot r_2^2}{4 \cdot T \cdot t}\right) \right]$$

$$s = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \ln \frac{2L}{r}$$

$$s = \frac{2,303 \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \log\left(\frac{r_f}{r}\right)$$

### způsoby řešení

- typové křivky v bilogarithmickém měřítku (podobné křivkám pro mezivrstevní přetékání)
- semilogarithmické řešení



vypočítáme hodnoty  $T$  a  $S$  z rovnic pro Jacobovu aproximaci z prvního přímkového úseku

odečteme čas  $t_i$  odpovídající souřadnicím inflexního bodu

pro výpočty vzdálenosti okrajové podmínky (resp. vzdálenosti pozorovacího vrtu od imaginárního vrtu) použijeme následující vzorce

**pro případ, kdy je vzdálenost  $r$  zanedbatelně malá proti vzdálenosti  $L$**

- platí zjednodušení  $r_f = 2L$

- platí pro výpočet vzdálenosti okrajové podmínky rovnice  $L = 0,75 \sqrt{\frac{T \cdot t_i}{S}}$   $t_i = 1,78 \frac{L^2 \cdot S}{T}$

**pro případ, kdy je pozorovací vrt na spojnici čerpaného a imaginárního vrtu (tj. na kolmici čerpaného vrtu k ose okrajové podmínky)**

- platí  $r_f = 2L - r$

- výpočet vzdálenosti okrajové podmínky  $L = \left(\frac{r}{2}\right) \sqrt{\left(\frac{t_i}{t_0}\right)} + \frac{r}{2}$

**pro případ, kdy je pozorovací vrt na prodloužení spojnice čerpaného a imaginárního vrtu na opačnou stranu od čerpaného vrtu, než probíhá hranice**

- platí  $r_f = 2L + r$

- výpočet vzdálenosti okrajové podmínky  $L = \left(\frac{r}{2}\right) \sqrt{\left(\frac{t_i}{t_0}\right)} - \frac{r}{2}$



**pro případ, kdy je pozorovací vrt na přímce procházející čerpaným vrtem a rovnoběžné s hranicí**

- platí  $r_f = \sqrt{4L^2 + r^2}$

- výpočet vzdálenosti okrajové podmínky  $L = \left(\frac{r}{2}\right) \sqrt{\left(\frac{t_i}{t_0}\right) - 1}$

**pro případ pozorovacího vrtu, jehož spojnice s odběrovým vrtem je odchýlena o libovolný úhel  $\Theta$  od kolmice spuštěné z odběrového vrtu na přímkovou boční hranici**

- určení vzdálenosti  $r_f$  podle vztahu  $r_f = \sqrt{4 \cdot L^2 + r^2 - 4 \cdot L \cdot r \cdot \cos \Theta}$

# HYDRAULICKY NEDOKONALÁ BOČNÍ NAPÁJECÍ HRANICE

- všechny uvedené rovnice platí pro ideální okrajovou podmínku – neexistují doplňkové hydraulické odpory
- ve skutečnosti – např. zakolmatované břehy vodoteče, neúplné prořezání zvodněného kolektoru vodotečí, apod.

## ZPŮSOB ŘEŠENÍ:

- zavedení doplňkového hydraulického odporu vyjádřeného doplňkovou vzdáleností  $\Delta d$
- skutečná vzdálenost reálných vrtů od okrajové podmínky se posune o vzdálenost, která představuje dodatečný hydraulický odpor (posunutí osy okrajové podmínky do větší vzdálenosti, než je vypočítaná vzdálenost  $L$ )

### 1. Určení velikosti posunutí – vzdálenosti $\Delta d$

- srovnání známé vzdálenosti  $L$  a vzdálenosti  $L$  vypočítané z čerpacích zkoušek

- použití Forcheimerovy rovnice 
$$s = \frac{2,303 \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \log \left( \frac{r_f}{r} \right) \qquad s = \frac{\Delta s}{\log r_2 - \log r_1} \log \frac{r_f}{r}$$

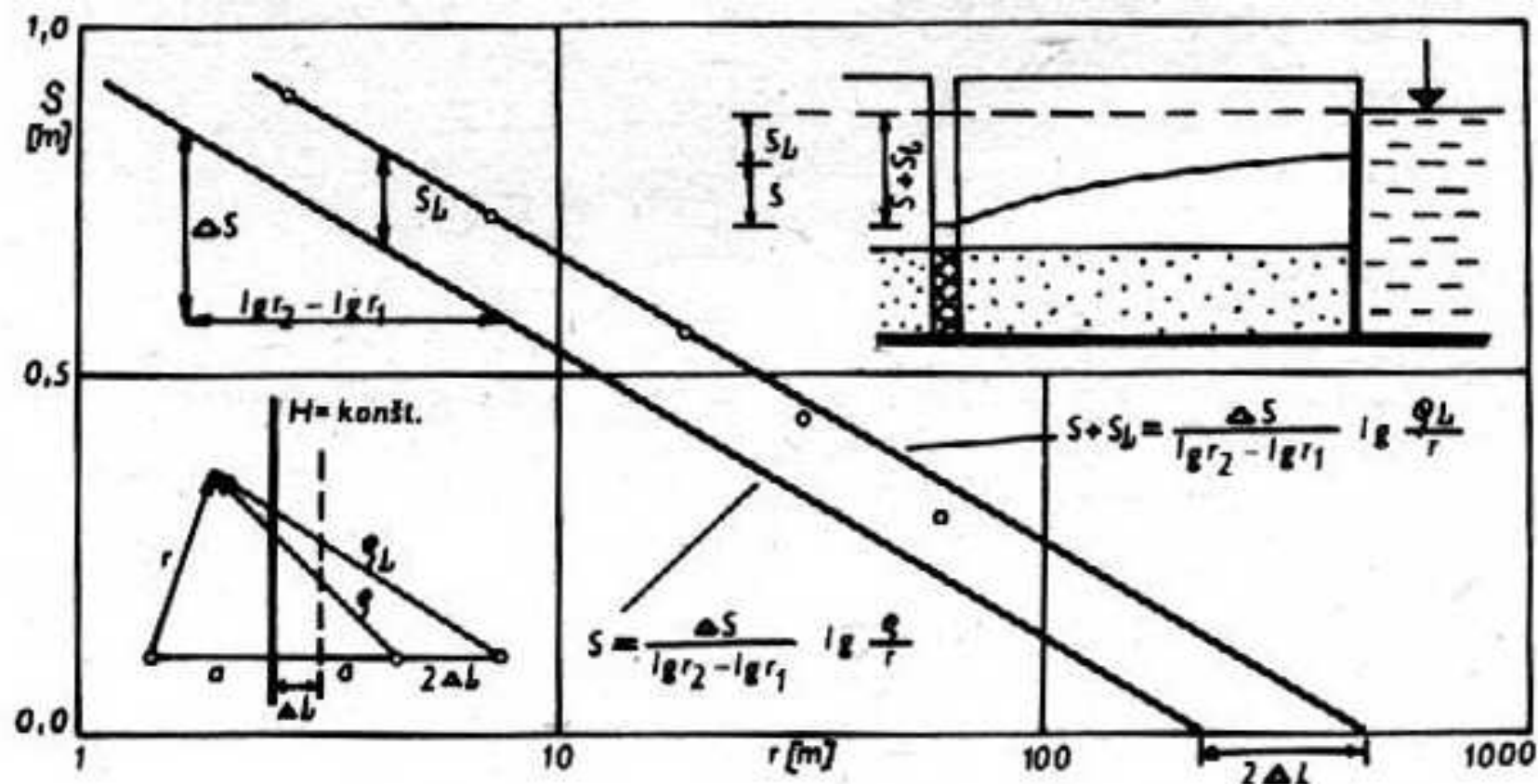
- po dosazení známých členů rovnice vypočítáme snížení pro ideální okrajovou podmínku
- teoretické snížení srovnáme se skutečným zjištěným při čerpací zkoušce
- pokud je okrajová podmínka neúplná, naměřené skutečné snížení nebude souhlasit s vypočítaným a bude větší, zvětšené bude o hodnotu  $s_L$ , což představuje doplňující hydraulický odpor okrajové podmínky.

### určení doplňkové vzdálenosti:

- výpočet z rovnice  $s + s_L = \frac{\Delta s}{\log r_2 - \log r_1} \log \frac{\rho_L}{r}$

$s$  je vypočítané ideální snížení a  $\rho_L$  je vzdálenost pozorovaného vrtu od imaginárního zrcadlově zobrazeného vrtu přes posunutou okrajovou podmínku a  $s_L$  je doplňkové snížení v důsledku neúplnosti okrajové podmínky

- nebo grafické určení ze semilogaritmického grafu  $\log r$  proti  $s$



## Numerické řešení doplňkové vzdálenosti

- výpočet doplňkové vzdálenosti 
$$\Delta d = \frac{1}{k_b} \operatorname{erf}\left(\frac{k_b \cdot l}{2}\right)$$

kde  $l$  je šířka řeky a  $k_b$  je charakteristika odporové vrstvičky podle vztahu

$$k_b = \sqrt{\frac{k_0}{b_0 \cdot T}}$$

- při velké šířce koryta platí zjednodušení 
$$\Delta d = \frac{1}{k_b} = \sqrt{\frac{T \cdot b_0}{k_0}}$$

- malé šířky koryt – komplikované

- po zjištění hodnoty koeficientu netěsnosti  $k_b$  určíme hodnoty  $k_0$  a  $b_0$  tak, aby hodnota součinitele kolmatace zůstala neměnná

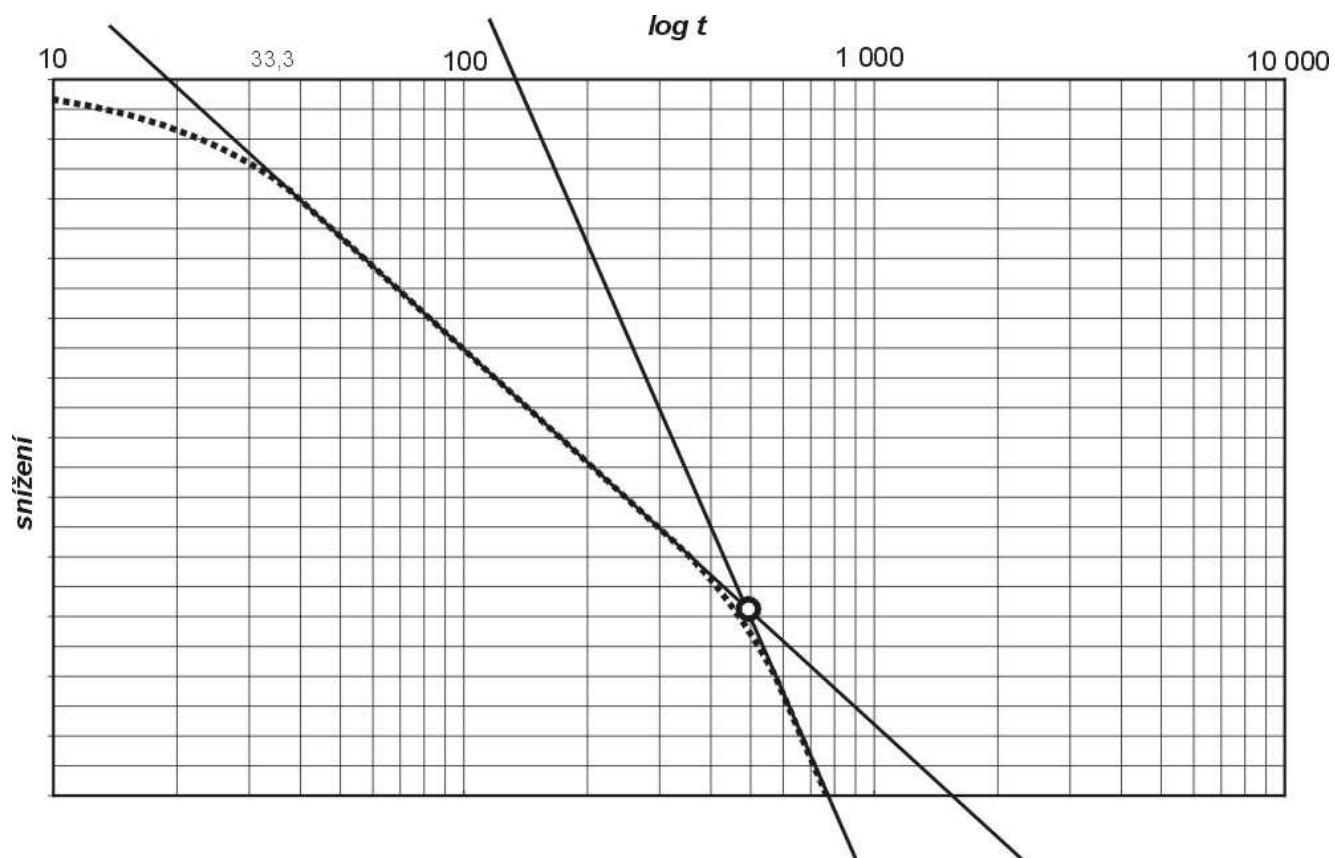
např. součinitel kolmatace =  $3 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ , .....  $k_0 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$  a  $b_0 = 1 \text{ m}$ , .....  $k_0 = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$  a  $b_0 = 10 \text{ m}$

# NEPROPUSTNÁ HRANICE JAKO OKRAJOVÁ PODMÍNKA

## způsoby vyhodnocení

- bilogarithmická metoda – typové křivky
- semilogarithmická metoda

## SEMILOGARITMICKÉ ŘEŠENÍ



ideální případ -  $\Delta s_1 = 2\Delta s_2 = \frac{2,303 \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot T}$

**pro tento případ** je postup řešení:

- vypočítáme hodnoty  $T$  a  $S$  z rovnic pro Jacobovu aproximaci
- odečteme čas  $t_i$  odpovídající souřadnicím inflexního bodu

- dosadíme do rovnice  $r_f = 1,5 \sqrt{\frac{T \cdot t_i}{S}}$

**pro případ, kdy je vzdálenost  $r$  zanedbatelně malá proti vzdálenosti  $L$**

- platí zjednodušení  $r_f = 2L$

- platí pro výpočet vzdálenosti okrajové podmínky rovnice  $L = 0,75 \sqrt{\frac{T \cdot t_i}{S}}$

$$t_i = 1,78 \frac{L^2 \cdot S}{T}$$

- podmínka platí i pro čerpaný vrt – vzhledem k dodatečným snížením nelze zjistit  $S$  ani  $L$

**pro případ, kdy je pozorovací vrt na spojnici čerpaného a imaginárního vrtu  
(tj. na kolmici čerpaného vrtu k ose okrajové podmínky)**

- platí  $r_f = 2L - r$

- výpočet vzdálenosti okrajové podmínky  $L = \left(\frac{r}{2}\right) \sqrt{\left(\frac{t_i}{t_0}\right)} + \frac{r}{2}$

**pro případ, kdy je pozorovací vrt na prodloužení spojnice čerpaného a imaginárního vrtu  
na opačnou stranu od čerpaného vrtu, než probíhá hranice**

- platí  $r_f = 2L + r$

- výpočet vzdálenosti okrajové podmínky  $L = \left(\frac{r}{2}\right) \sqrt{\left(\frac{t_i}{t_0}\right)} - \frac{r}{2}$

**pro případ, kdy je pozorovací vrt na přímce procházející čerpaným vrtem a rovnoběžné s nepropustnou hranicí**

- platí  $r_f = \sqrt{4L^2 + r^2}$

- výpočet vzdálenosti okrajové podmínky  $L = \left(\frac{r}{2}\right) \sqrt{\left(\frac{t_i}{t_0}\right) - 1}$

**pro případ pozorovacího vrtu, jehož spojnice s odběrovým vrtem je odchýlena o libovolný úhel  $\Theta$  od kolmice spuštěné z odběrového vrtu na přímkovou boční hranici**

- určení vzdálenosti  $r_f$  podle vztahu  $r_f = \sqrt{4 \cdot L^2 + r^2 - 4 \cdot L \cdot r \cdot \cos \Theta}$



## obecné určení vzdálenosti $r_f$ ze semilogaritmického grafu

- ze semilogaritmického grafu  $s$  (osa y) proti  $\log t$  (osa x)
- v grafu se vyhledají dvě stejné hodnoty snížení pro 1. a 2. přímkový úsek grafu
- odečtou se časy  $t_1$  a  $t_2$  od začátku čerpací zkoušky odpovídající tomuto snížení

- pokud platí, že

$$u_1 = \frac{r_1^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t} \qquad u_2 = \frac{r_f^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$$

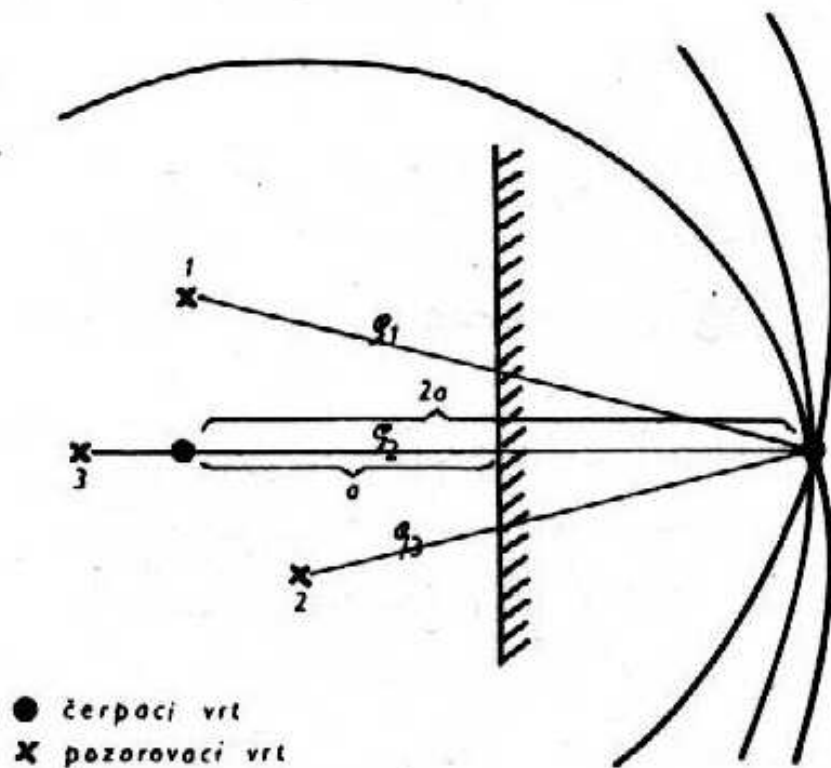
- potom pro stejné hodnoty snížení platí  $u_1 = u_2$

- a potom

$$r_f = r \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

## URČENÍ POLOHY BOČNÍ HRANICE

- polohu hranice o známém směru určíme graficky podle výsledků jednoho pozorovacího vrtu
- pokud neznáme směr hranice, k určení průběhu je potřeba minimálně 2, ideálně 3 pozorovací vrtu



fiktivní vrt leží na průsečíku kružnic a  
okrajová podmínka v polovině  
vzdálenosti mezi čerpaným  
a imaginárním vrtem,  
osa okrajové podmínky je kolmá  
na tuto spojnici

### Vzdálenost okrajové podmínky

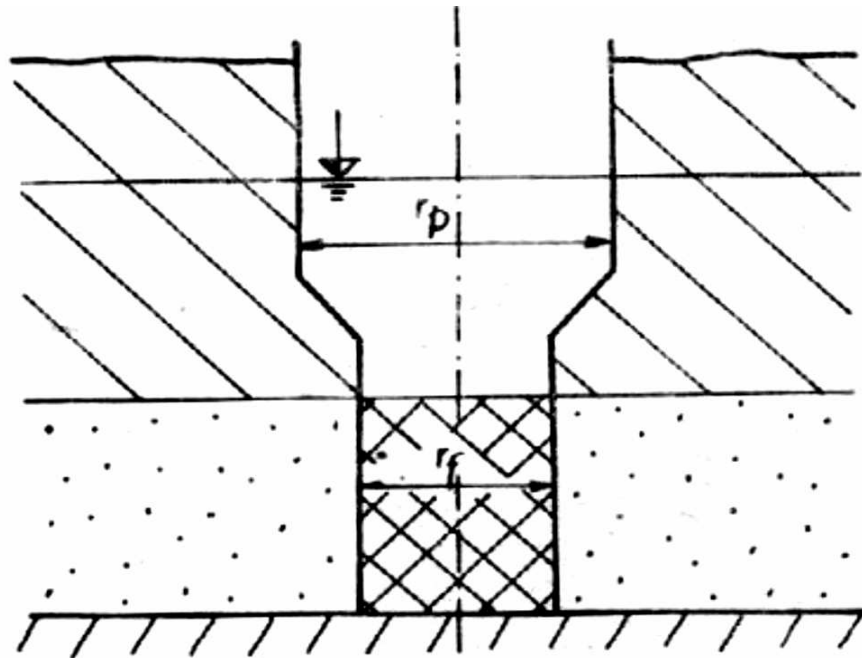
- stanoví se „hydraulicky efektivní vzdálenost“
- např. vyklínění, faciální změny, vertikálně ukloněná hranice – linie, na které je pokles mocnosti zvodněné vrstvy spolu se současným poklesem propustnosti tak velký, že vyvolá efekt nepropustné okrajové podmínky

# OSTATNÍ VLIVY NA PRŮBĚH ČERPACÍ ZKOUŠKY (čerpané objekty)

## VLIV OBJEMU VRTŮ A STUDNÍ

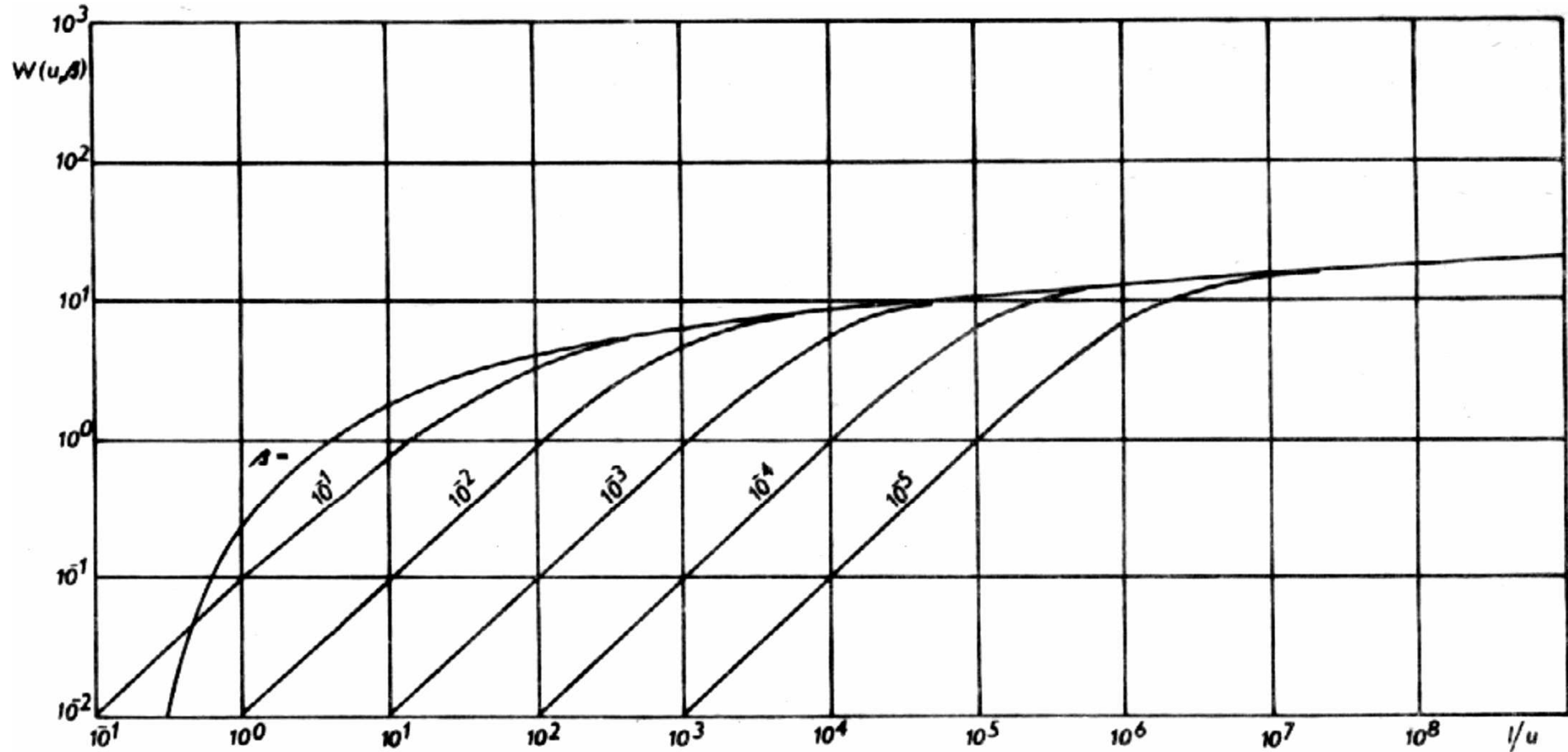
- základní Theisova rovnice zanedbává objem vrtu (je nulový)
- ve skutečnosti objem vrtu výrazně ovlivňuje průběh snížení v čerpaném vrtu a jeho blízkém okolí

- popis upravenou Theisovou rovnicí  $s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} W(u, \beta)$  ;  $u = \frac{r_f^2 S}{4 \cdot T \cdot t}$  ;  $\beta = \frac{r_f^2 S}{r_p^2}$



- vliv zásobnosti vrtu je tím větší, čím větší je poměr  $S_{vrtu}$  k  $S_p$  ( $S_{vrtu} = 1$ )

- vyhodnocení pomocí typových křivek

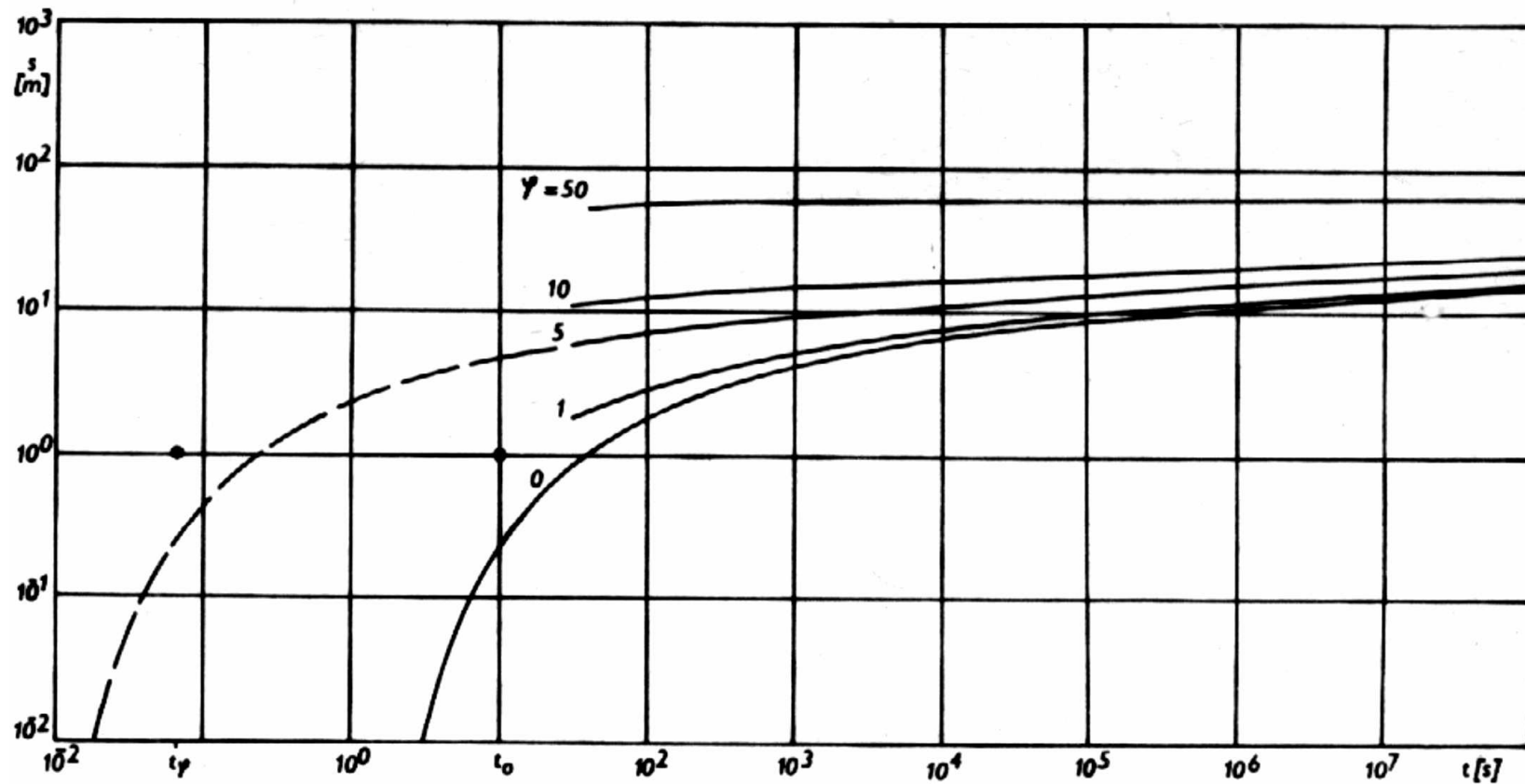


### ROZEZNÁNÍ VLIVU

- při malých hodnotách času má v bilogarithmickém měřítku čára snížení tvar přímky
- křivku není možné vyhodnotit, dokud čára snížení nepřejde do některé z modifikací Theisovy typové křivky
- dlouhé doby čerpacích zkoušek
- zkrácení doby čerpacích zkoušek – zvětšení parametru  $\beta$  (zvýšení podílu poloměru aktivní části vrtu na objemu vody ve vrtu) – obturátory, tenké roury na měření hladin, těsnění, apod.

## VLIV FILTRAČNÍ ČÁSTI ČERPACÍHO VRTU

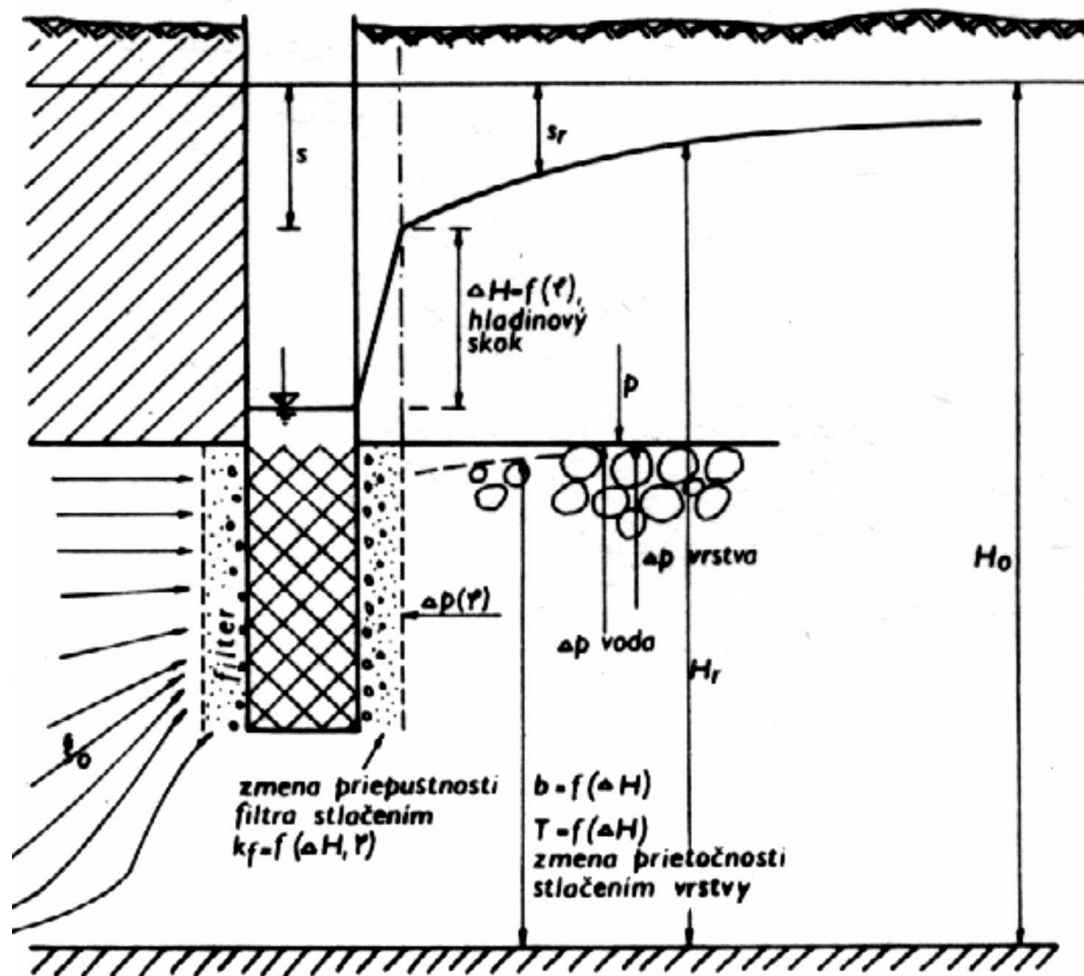
- Theisova rovnice uvažuje nulové ztráty způsobené vrtem
- skutečné snížení při čerpací zkoušce je rovno součtu ztrát hydraulických (teoretické snížení podle různých modifikací Theisovy rovnice) a studňových (odpor filtrační části vrtu) – čerpací vrt
- projevuje se zploštěním čar snížení a jejich posunem oproti Theisově typové křivce směrem doprava
- souborně – popis pomocí součinitele hladinového skoku  $\phi$



zjednodušený popis rovnicí  $s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} [W(u) + \phi]$  – nepřesné – uvažuje konstantní  $\phi$

## CELKOVÉ ZTRÁTY NA PIEZOMETRICKÉ VÝŠCE V ČERPANÉM VRTU

1. hydrogeologické ztráty – způsobené hydrogeologickými parametry zvodněného prostředí (transmisivita, storativita, okrajové podmínky, změny parametrů v prostoru, apod.) – snížení mimo čerpané vrty (za filtrem a obsypem)
2. studňové ztráty (ztráty na piezometrické výšce způsobené studní či vrtem – připočítávají se k hydrogeologickým ztrátám, celkové snížení ve studni (vrtu) je tedy součtem obou typů ztrát



## **Studňové ztráty**

### **1. lineární**

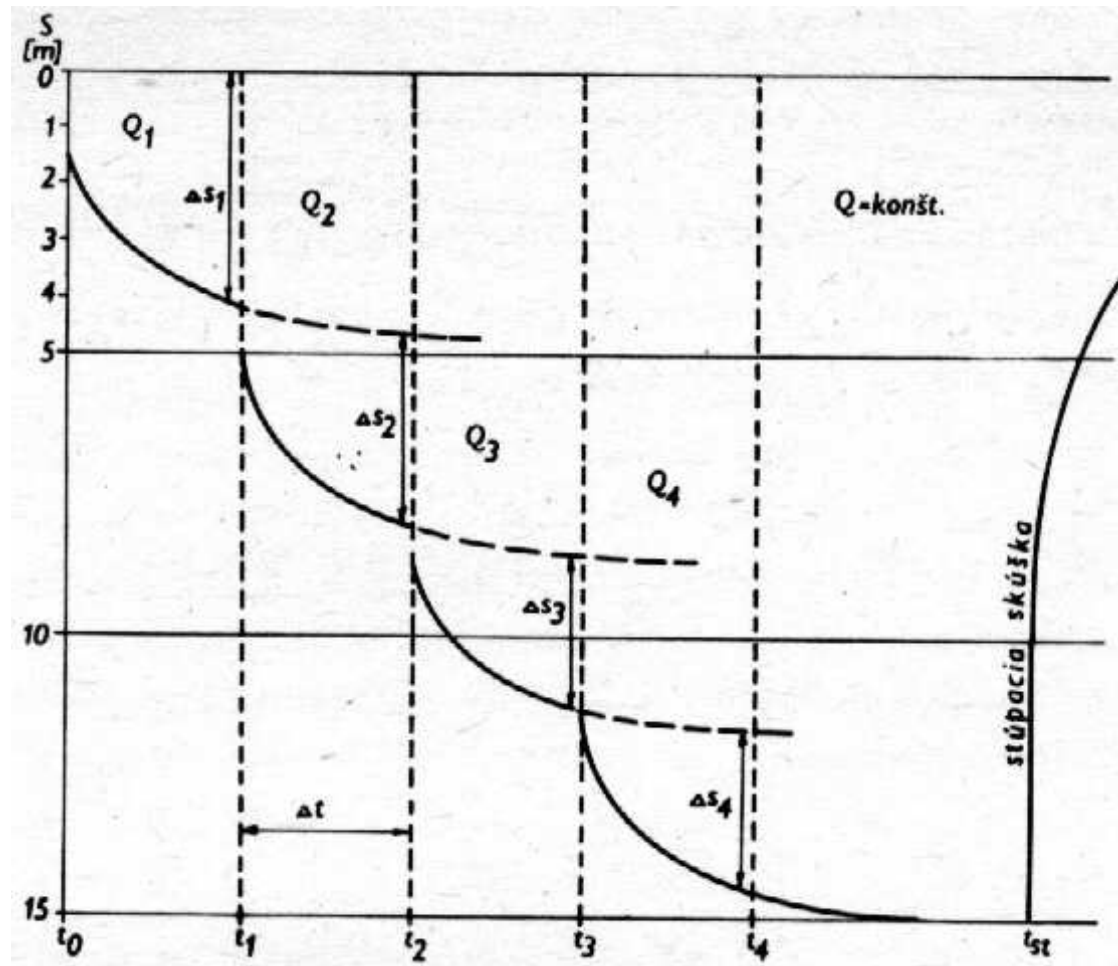
- změna propustnosti v důsledku vniknutí výplachu do okolí vrtu
- hydraulický odpor filtru
  - inkrustace a dodatečné ucpávání filtru v období využívání studny či vrtu nebo při jejím nesprávném odpískování

### **2. nelineární**

- změna průtočnosti v okolí studny v důsledku snížení piezometrického tlaku a pružných deformací při čerpání
- změna propustnosti filtru a jeho nejbližšího okolí v důsledku změn gradientu tlaku po proudnicích, hlavně pokud je filtr a jeho okolí částečně ucpané
- vznik turbulentního proudění v pažnici, filtru a okolí vrtu

k určení velikosti hladinového skoku a studňových ztrát se realizují **stupňovité čerpací zkoušky**

## ČERPACÍ ZKOUŠKY SE STUPŇOVITÝMI ZMĚNAMI VYDATNOSTI



zásady konstrukce

- ideálně – hodnoty z ustáleného proudění ze stupňovité čerpací zkoušky
- zjednodušeně – hodnoty z neustáleného proudění po stejném časovém úseku od zahájení čerpání s příslušnou vydatností  $Q_n$ , jinak velké nepřesnosti



- napjatá hladina – čára vydatnosti vrtu má tvar přímky
- volná hladina – čára vydatnosti má tvar křivky

### URČENÍ CHARAKTERISTIK ČERPANÝCH OBJEKTŮ PODLE JACOBA

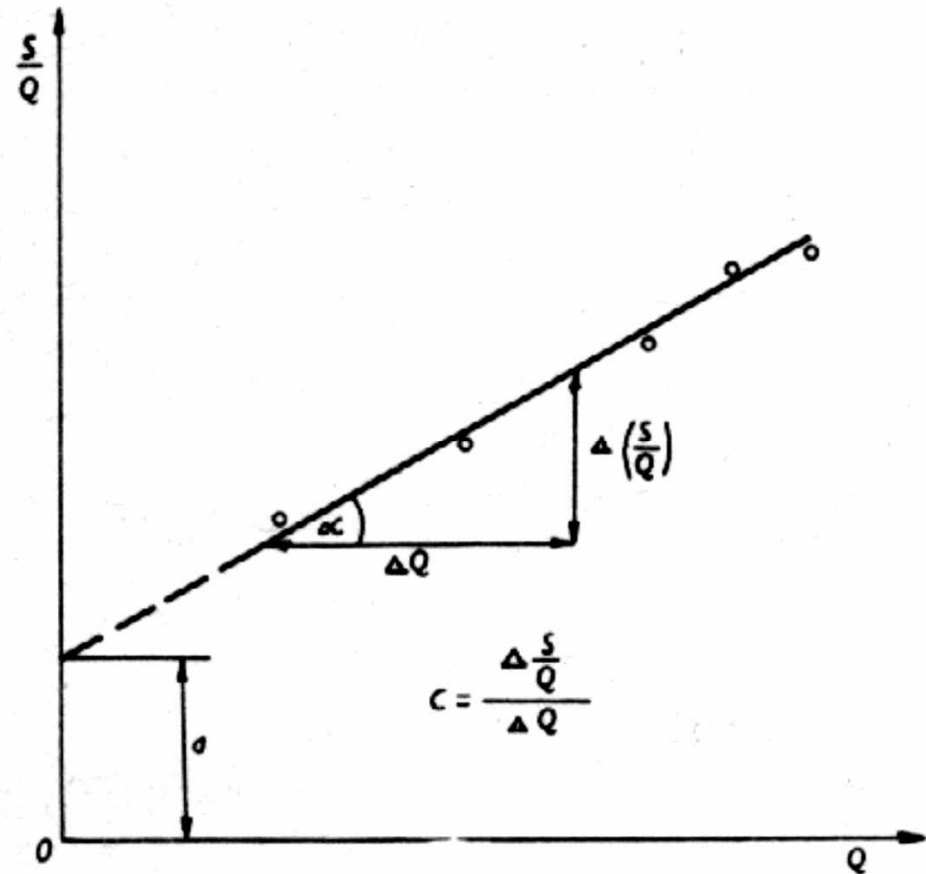
celkové snížení v čerpaném objektu  $s = B \cdot Q + C \cdot Q^2$  a nebo  $s = (A + B) \cdot Q + C \cdot Q^2$

hydrogeologické ztráty  $A = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot T} W(u)$

studňové lineární ztráty  $B = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot T} \phi$  ( $\phi$  - součinitel hladinového skoku)

## ZPŮSOB ŘEŠENÍ

- do grafu vyneseme snížení  $s/Q$  proti  $Q$  pro všechny zjištěné intervaly stupňovité čerpací zkoušky
- body se spojí přímkou
- přímka protíná vertikální osu v bodě  $A+B$



- vypočítáme hodnotu hydraulických ztrát  $A$  ze vzorce  $A = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot T} W(u)$
- zjistíme hodnotu  $B$  z rozdílu součtu  $A + B$

- vypočítáme hodnotu součinitele hladinového skoku  $\phi$   $B = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot T} \phi$

zjistíme hodnotu  $C$  podle vzorce  $C = \frac{\Delta \frac{s}{Q}}{\Delta Q}$

- parametr C odráží vznik turbulentního proudění – při vysokých hodnotách  $Q$  se křivka lomí – hodnoty parametru C se potom v průběhu čerpací zkoušky mění a parametr C nabývá výrazně větších hodnot (vznik turbulentního proudění)

malé hodnoty B a C

- studna nebo vrt byly dobře vystrojeny a odpískovány
- záporná hodnota B naznačuje na zvýšení propustnosti zvodněného prostředí v okolí vrtu důsledkem odpískování (štěrky a puklinově propustné horniny)

velké hodnoty B a C

- nesprávně zabudovaný filtr, příliš jemnozrný obsyp, obalová pletiva, apod.
- odpovídá tomu i velký součinitel hladinového skoku  $\phi$

konstrukce křivky ve zvodni s volnou hladinou

- snížení je třeba transformovat na ekvivalentní snížení podle vztahu

$$S_{\text{ekv}} = s - \frac{s^2}{2b}$$

## GRAFICKÉ VYHODNOCENÍ STUPŇOVITÉ ČERPACÍ ZKOUŠKY semilogaritmické řešení

- pokud se hodnota parametru  $C$  v průběhu čerpací zkoušky mění, zjišťuje se hodnota parametru  $C$  postupně pro dvojice po sobě následujících depresí z grafu  $\log t$  (osa x) proti  $s$  (osa y)

- podle vzorce

$$C = \frac{\frac{\Delta s_i}{\Delta Q_i} - \frac{\Delta s_{i-1}}{\Delta Q_{i-1}}}{\Delta Q_{i-1} + \Delta Q_i}$$

- kde  $\Delta s_i$  reprezentuje přírůstek snížení – rozdíl mezi naměřeným snížením předcházejícího a následujícího intervalu času  $t$  (platí, že doba čerpání jednotlivých vydatností je stejná)
- postupně se určí hodnoty parametru  $C$  pro všechny dvojice vydatností a určí se průměrná hodnota
- velikost studňových ztrát se potom určí podle vzorce  $s = C \cdot Q^2$   
(hodnota  $B$  je proti hodnotě  $C$  velmi malá)

**Jacoboovo vyhodnocení (i předchozí metoda) platí pouze pro odběry převyšující cca 1 – 1,5 l/s**

## **POUŽITÍ VÝSLEDKŮ VYHODNOCENÍ STUPŇOVITÝCH ČERPACÍCH ZKOUŠEK**

- určení snížení v čerpaných objektech
- posouzení tzv. stárnutí studní (vrtů) – opakované vyhodnocení stupňovitých čerpacích zkoušek v dlouhodobě exploatovaných objektech – je možné určit, jestli pokles vydatnosti vrtu (nebo postupný nárůst snížení) je důsledkem zvyšujících se studňových ztrát
- posouzení maximálního odebíratelného množství podzemní vody při určitém snížení, mocnosti zvodněné vrstvy, nebo hloubce vrtu

### **určení specifické kapacity čerpaného objektu**

- jednoznačně definuje vrt v daném prostředí a daném čerpaném množství
- určení podle vzorce
- určení ze stupňovité čerpací zkoušky (hodnoty maximálního snížení pro dané  $Q$ )

### **určení účinnosti čerpaného objektu**

- poměr mezi teoretickým snížením z hydraulických ztrát a skutečným snížením
- udává se v %
- nikdy nedosahuje 100 % a ani se této hodnotě neblíží
- poloměr vrtu zde nahrazuje hodnotu vzdálenosti osy čerpaného vrtu od vrtu pozorovacího