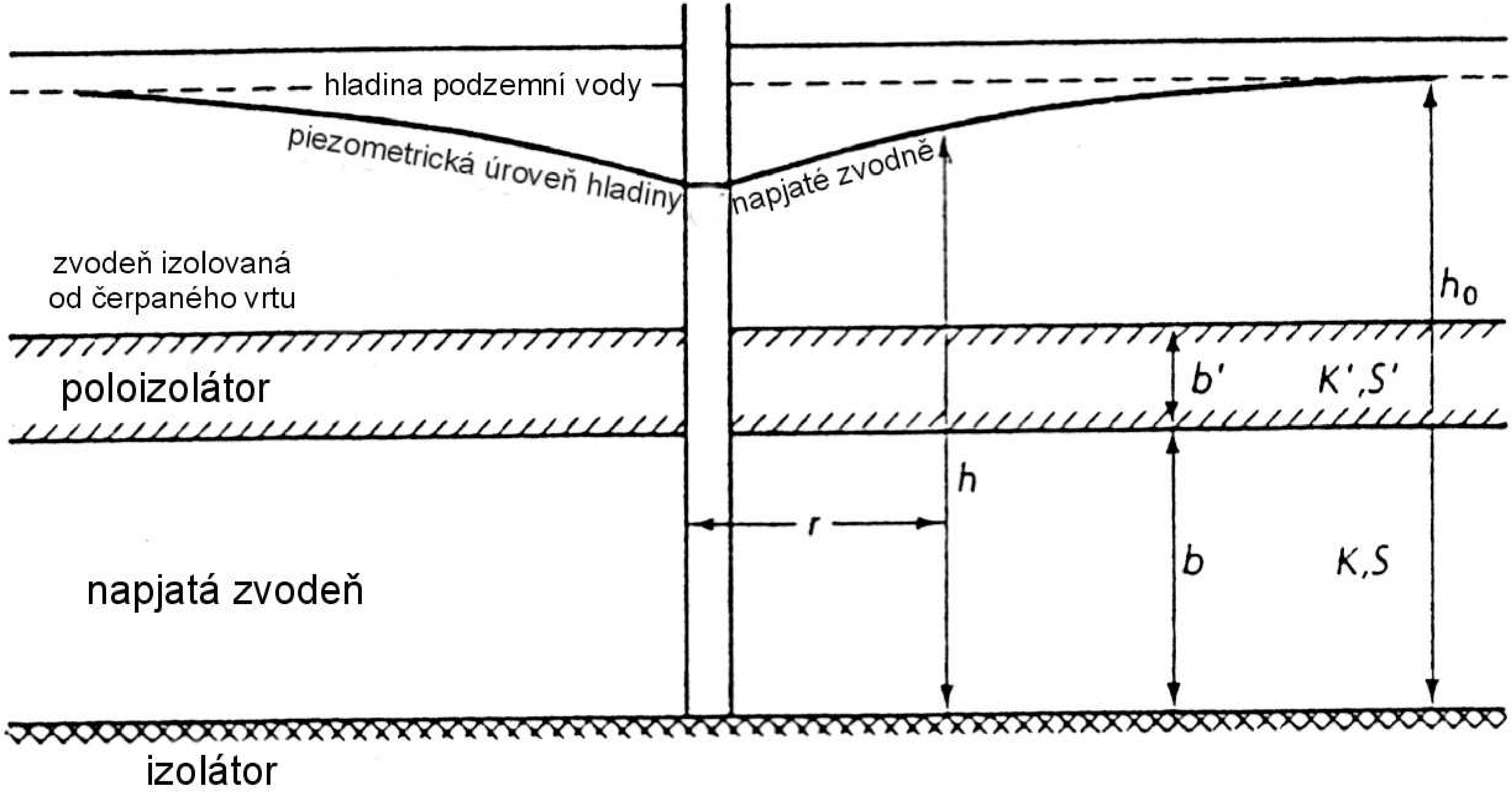
Hydraulika podzemních vod

PROUDĚNÍ K VRTU S PŘETÉKÁNÍM

- většina napjatých zvodní není nekonečná a nemá absolutně nepropustné hranice
- pokud je mezi kolektorem a poloizolátorem rozdíl v propustnosti alespoň 2 řády, proudění přes poloizolátor je vertikální



při mocnosti poloizolátoru *b´* je vertikální hydraulický gradient napříč poloizolátorem roven *dh/dz = s/b´*

průtok přes poloizolátor je potom $q_z = k'(dh/dz) = k'(h_0 - h)/b' = k'(s/b')$

k´ . . . hydraulická vodivost poloizolátoru

s . . . snížení hladiny napjaté zvodně v kolektoru

faktor těsnosti ploloizolátoru . . . *B*

$$B = \sqrt{\frac{T.b'}{k'}} = \sqrt{\frac{k.b.b'}{k'}}$$

základní rovnice proudění
ve zvodni s mezivrstevním přetékáním

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S_p}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{s}{B^2}$$

řešení rovnice **Hantushe a Jacoba**

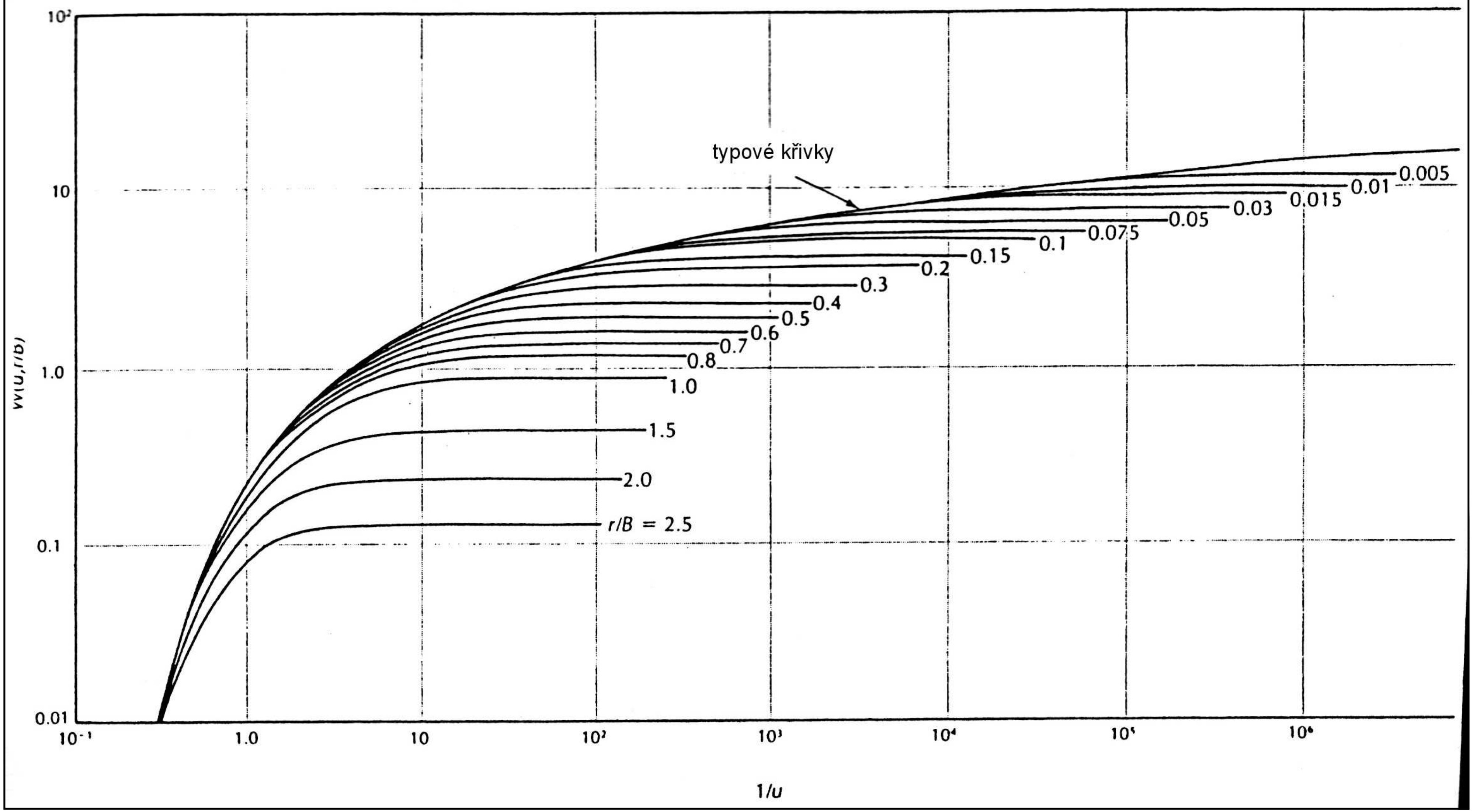
- shodné podmínky se základním Theisovým řešením
- navíc – čerpání neovlivní mocnost zvodně v sousedním koletoru (hydraulická výška v něm zůstává konstantní)
- proudění v poloizolátoru je vertikální
- zanedbatelná zásobnost poloizolátoru

řešení rovnice **Neumana a Whiterspoona**

- shodné s předchozím
- zásobnost poloizolátoru není zanedbatelná

řešení **Hantushe a Jacoba**

$$s = \frac{Q}{4.\pi.T}.W\left(u, \frac{r}{B}\right) \longrightarrow T = \frac{Q}{4.\pi.s}\cdot\left(u, \frac{r}{B}\right) \longrightarrow S_p = \frac{4.u.T.t}{r^2}$$



POSTUP VYHODNOCENÍ

- vyneseme data z čerpací zkoušky ve formě *log s* proti *log t* ve stejném měřítku jako typovou křivku

- pomocí vztažného bodu odečteme hodnoty *s* *t* *W(u, r/B)* *1/u*

- dosadíme do vzorců $$T = \frac{Q}{4.\pi.s} \cdot W\left(u, \frac{r}{B}\right) \qquad S_p = \frac{4.u.T.t}{r^2}$$

- určíme hydraulickou vodivost poloizolátoru (vertikální) $$K' = \frac{T.b'.(r/B)^2}{r^2}$$

- můžeme určit množství vody z kolektoru a z přetékání

$$q_{přet} = k'(h_0 - h)/b' = k'(s/b')$$

$$q_{přet} = Q - q_{kol}$$

řešení **Hantushe pomocí inflexního bodu**

- metoda nevyžaduje vynášení typových křivek a srovnávání křivek z čerpacích zkoušek s nimi

POSTUP VYHODNOCENÍ

- v semilogaritmickém měřítku vyneseme snížení *s* (osa *y*) proti *log t* (osa *x*)
- přímka se v určitém bodě zakřiví a je rovnoběžná s osou *x*
- zjistíme hodnotu maximálního snížení $h_0 – h_{max}$
- snížení v inflexním bodě je rovno polovině maximálního snížení
- z grafu určíme hodnotu t_i odpovídající času v inflexním bodu
- zjistíme hodnotu sklonu přímkové části křivky v inflexním bodu (snížení na jeden logaritmický cyklus času)

pro inflexní bod platí:

$$m_i = \left(\frac{2{,}303 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot T}\right) \exp\left(\frac{-r}{B}\right)$$

a současně

$$0{,}5\left(h_0 - h_{\max}\right) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot K_0\left(\frac{r}{B}\right)$$

$$B = \left(\frac{T}{k'/b'}\right)^{\frac{1}{2}}$$

a současně

$$f\left(\frac{r}{B}\right) = \frac{2{,}303\left(h_0 - h_i\right)}{m_i} = \exp\left(\frac{r}{B}\right) K_0\left(\frac{r}{B}\right)$$

K_0 – **Besselova funkce** - hodnoty tabelovány – pro hodnoty *x*, *K_0 (x)* a *exp(x) K_0(x)*

- zjistíme hodnoty *r/B* a *K_0(r/B)*

$$T = \frac{Q \cdot K_0\left(\frac{r}{B}\right)}{2\pi \cdot \left(h_0 - h_{\max}\right)}$$

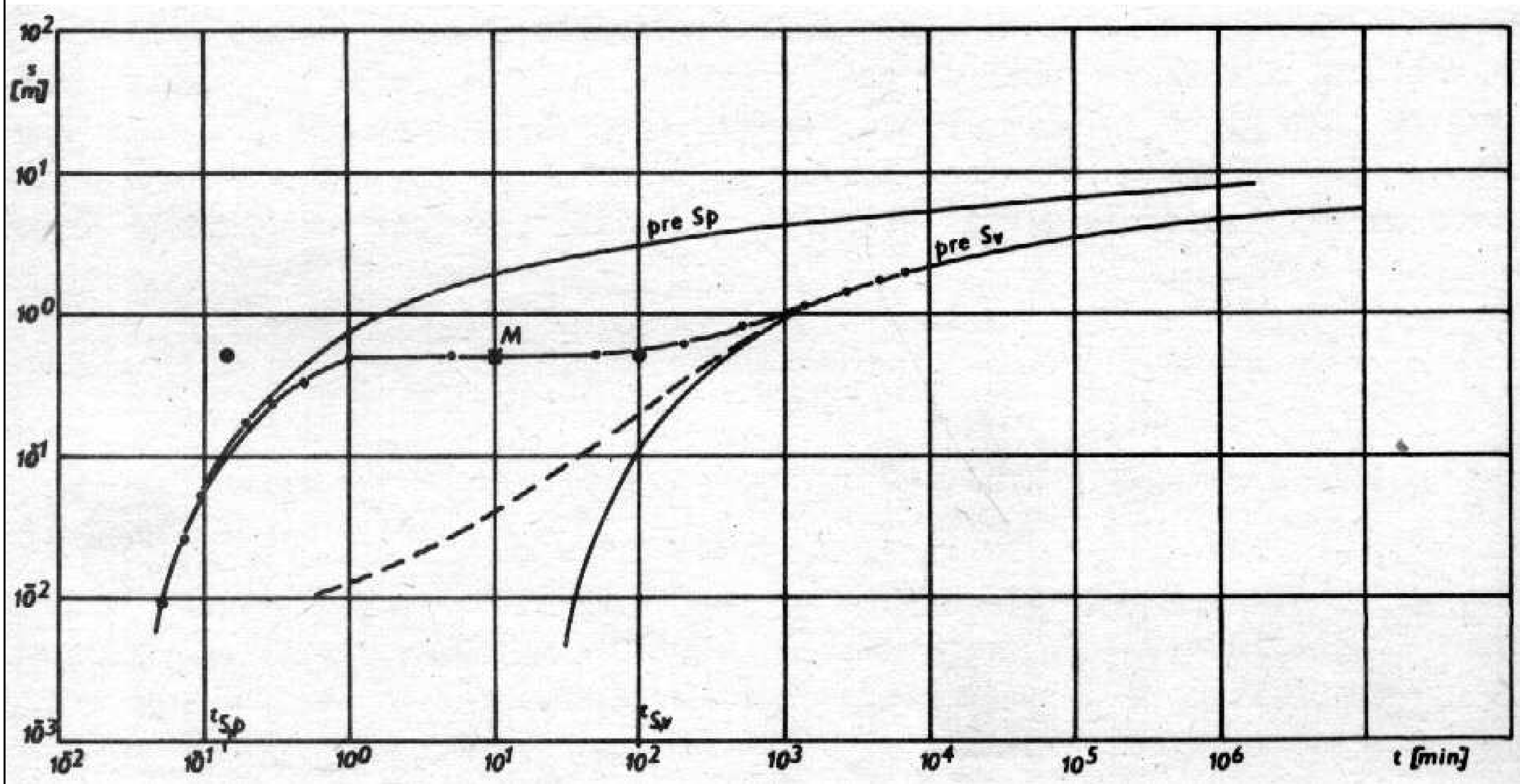
$$S = \frac{4 \cdot T \cdot t_i}{2 \cdot r \cdot B}$$

$$k' = \frac{T \cdot b'}{B^2}$$

NEUSTÁLENÉ PROUDĚNÍ U VOLNÉ ZVODNĚ

VLIV ZPOŽDĚNÉHO UVOLŇOVÁNÍ PODZEMNÍ VODY ZE ZÁSOBNOSTI

- u volných zvodní dochází k zakřivění čáry čerpací zkoušky do charakteristického S-tvaru v bilogaritmickém měřítku *log s* proti *log t* (**Boultonova S-křivka**)



příčiny S-tvaru křivek:

původně se vysvětlovaly vlivem nenasycené zóny, ve skutečnosti je především důsledkem rychlé redukce hydrostatického tlaku v okolí čerpaného vrtu, stlačitelnosti zvodněné vrstvy a působení kapilárních sil

první část – podobná typové křivce pro napjatou hladinu – klesá hladina ve vrtu, v okolí je stabilní – klesají jen piezometrické úrovně, voda je „zavěšená“, uplatňuje se koeficient pružné zásobnosti *Sp*

druhá část – podobná typové křivce pro napjatou hladinu s mezivrstevním přetékáním – hladina účinkem gravitace klesá a proudění je převážně vertikální = dojde k dočasnému zpomalení poklesu piezometrických úrovní – nastává téměř ustálený stav – dočasně ustálené proudění

třetí část – odpovídá Theisově typové křivce pro volnou hladinu – tvar křivky se blíží přímce, plně se uplatňuje koeficient zásobnosti volné hladiny *Sv* - začíná po několika minutách, hodinách až dnech od zahájení čerpání

semilogaritmické měřítko *s* proti *log t* – 3 přímkové úseky

- na rozdíl od napjaté zvodně mocnost zvodněné vrstvy klesá
- je porušen Dupuitův předpoklad horizontálního proudění
- vzdálenost od vrtu, ve které se už nevyskytují vertikální hydraulické gradienty, závisí na anizotropii hydraulické vodivosti

druhý úsek

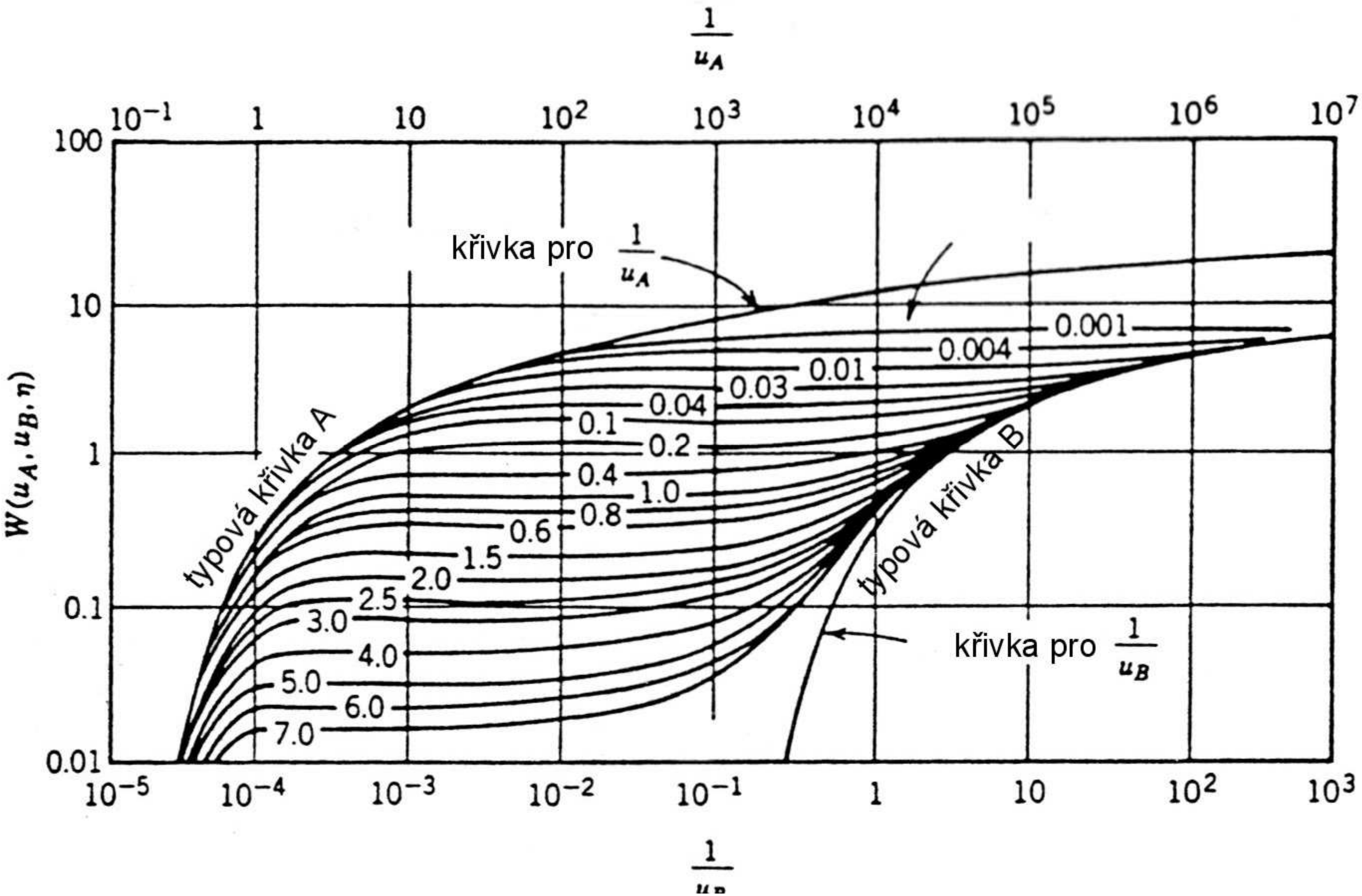
- tím výraznější, čím je koeficient pružné zásobnosti oproti koeficientu akumulace menší
- nevýrazný nebo zaniká v silně stlačitelných zvodněných vrstvách nebo při jejich velké mocnosti
- klesá s rostoucí vzdáleností od čerpaného vrtu (odezva redukce hydrostatického tlaku je stále menší), při vzdálenostech čerpacího vrtu 10x převyšujících mocnost zvodněné vrstvy efekt úplně zaniká (zanedbatelný již při 5-ti násobku)
- výraznější při nehomogenitě zvodněné vrstvě a velké anizotropii

- přibližné určení vzdálenosti projevu zpožděného uvolňování od čerpaného vrtu

$$L = 1{,}5b\sqrt{\frac{K_h}{K_v}}$$

POSTUP VYHODNOCENÍ

Neumanova metoda s vyhodnocením podle typových křivek v bilogaritmickém měřítku *log s* proti *log t*



Semilogaritmické měřítko *s* proti *log t*

- sklony přímkových částí (1. a 2.) jsou určeny hodnotami i_1 a i_2 – odpovídají hodnotě T
- jejich průsečíky s osou x (v bodě $s=0$) jsou označeny jako $t_{0,1}$ a $t_{0,3}$
- bod, ve kterém se protínají 2. a 3. přímkový úsek odpovídají času $t_{2,3}$

$$T = \frac{2,303.Q}{4.\pi.\Delta s}$$

- vypočítáme hodnoty T a Sv ze třetího úseku křivky (pomocí i_2 a $t_{0,3}$)

$$S_v = \frac{2,246.T.t_{0,3}}{r^2}$$

- vypočítáme hodnotu $t_{2\varepsilon}$ podle vztahu $t_{2\varepsilon} = \frac{T \cdot t_{2,3}}{r^2 \cdot S_v}$

-z pomocného grafu Berkaloffova řešení (funkce $e = 0,195/ t_{2\varepsilon}^{1,1053}$)
odečteme hodnotu $1/e$ odpovídající zjištěnému času $t_{2\varepsilon}$ a vypočítáme hodnotu e

- zjistíme S_{pom} podle vztahu

$$S_{pom} = \frac{2,246.T.t_{0,1}}{r^2}$$

- zjistíme hodnotu Sp podle vztahu $S_p = \frac{S_{pom}}{H}$
- určíme k_h podle vztahu $k_h = \frac{T}{b}$
- určíme k_d (Neumanův stupeň anizotropie) $k_d = \frac{\varepsilon \cdot M^2}{r^2}$
- vypočítáme hodnotu k_v podle vztahu $k_d = \frac{k_v}{k_h}$