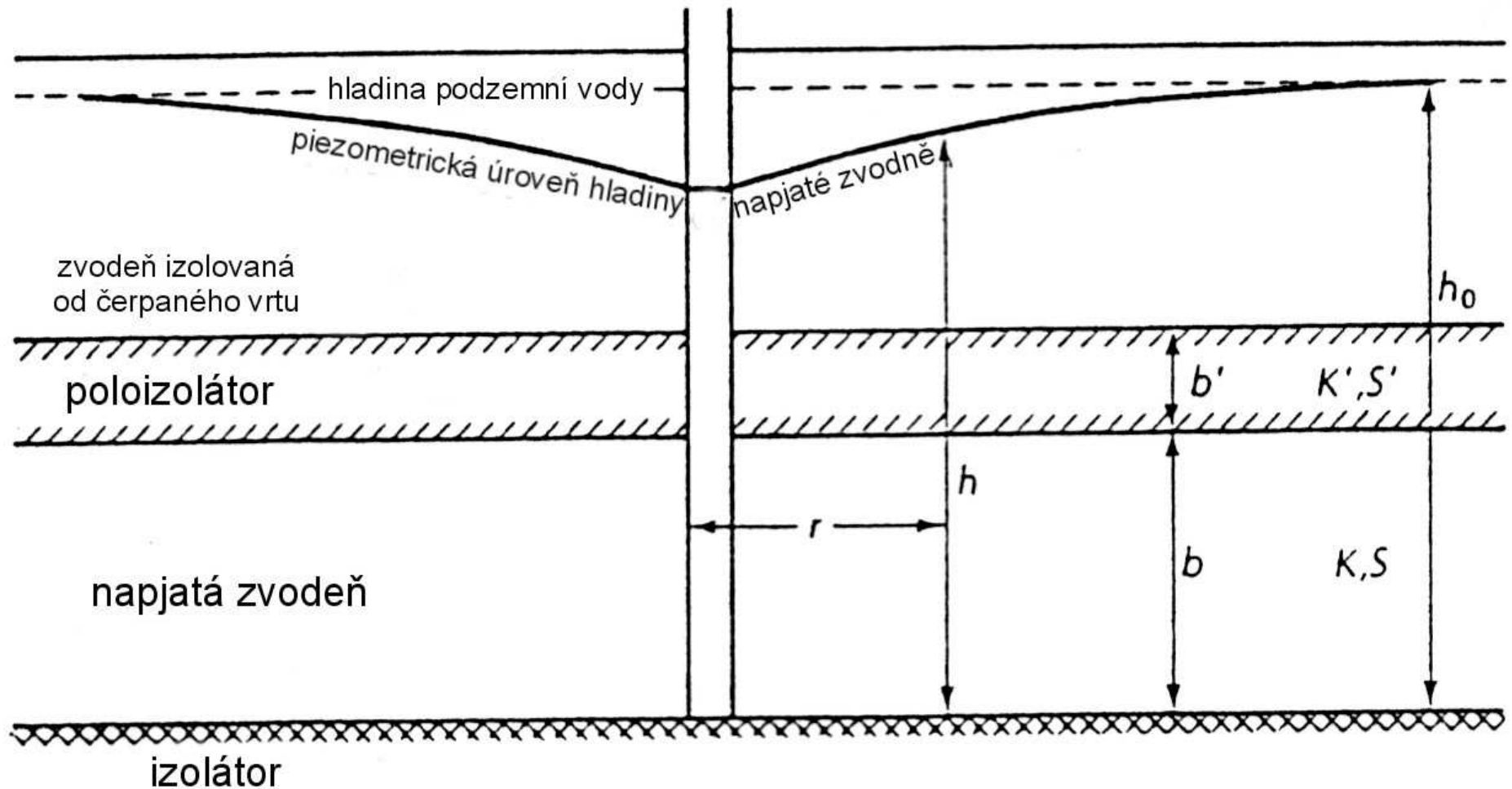


Hydraulika podzemních vod

PROUDĚNÍ K VRTU S PŘETĚKÁNÍM

- 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 poloizolátoru ... B

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

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**

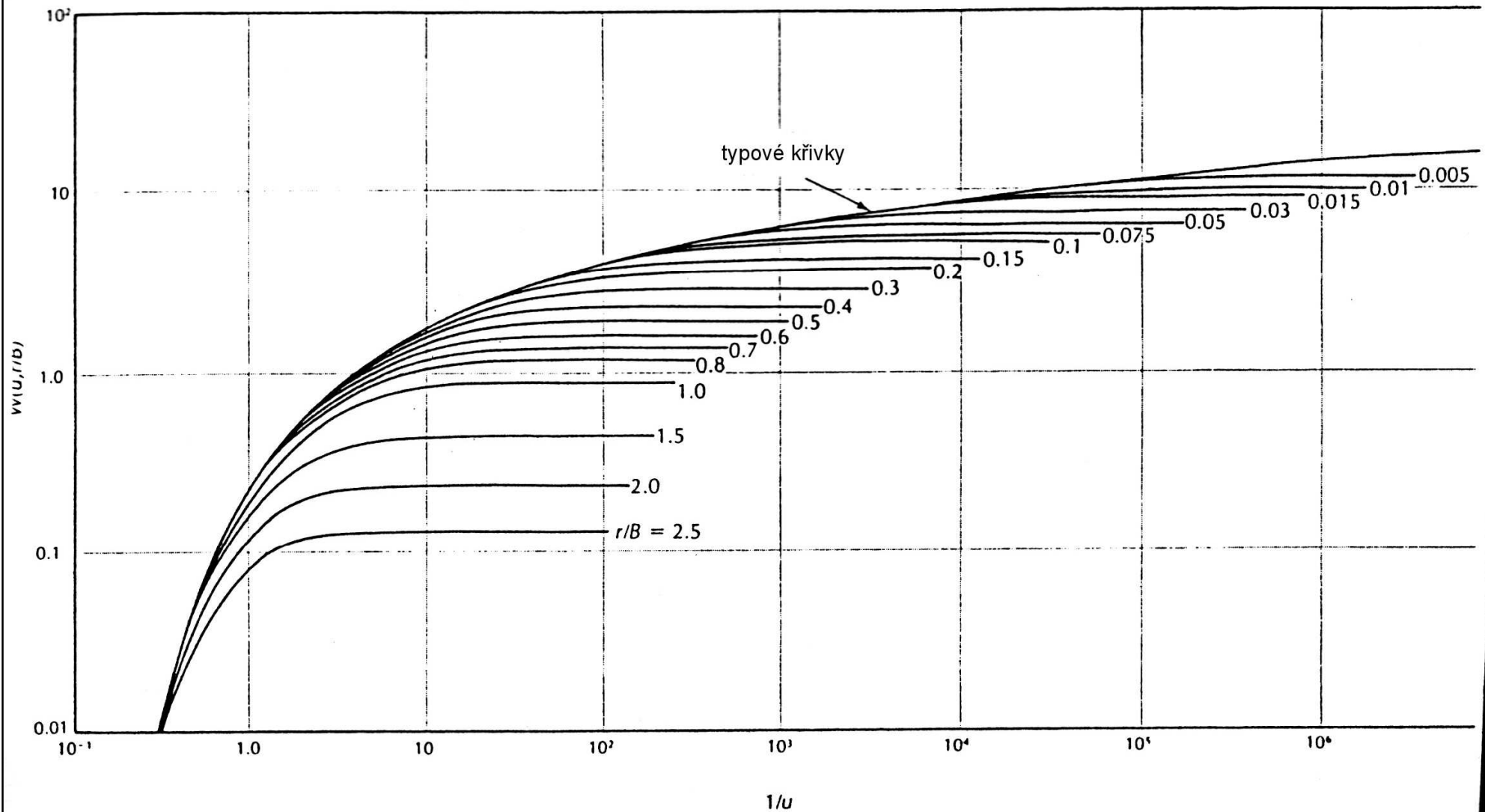
- shodné podmínky se základním Theisovým řešením
- navíc – čerpání neovlivní mocnost zvodně v sousedním kolektoru (hydraulická výška v něm zůstává konstantní)
- proudění v poloizolátoru je vertikální
- zanedbatelná zásobnost poloizolátoru

řešení rovnice **Neumana a Whitterspoona**

- shodné s předchozím
- zásobnost poloizolátoru není zanedbatelná

řešení Hantushe a Jacoba

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



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

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

- můžeme určit množství vody z kolektoru a z přetékaní $q_{přet} = k'(h_0 - h)/b' = k'(s/b')$

$$q_{přet} = Q - q_{kol}$$

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 zakříví 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:

$$m_i = \left(\frac{2,303 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \right) \exp\left(\frac{-r}{B}\right) \quad \text{a současně} \quad 0,5(h_0 - h_{\max}) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot K_0\left(\frac{r}{B}\right)$$

$$B = \left(\frac{T}{k'/b'} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{a současně} \quad f\left(\frac{r}{B}\right) = \frac{2,303(h_0 - h_i)}{m_i} = \exp\left(\frac{r}{B}\right) K_0\left(\frac{r}{B}\right)$$

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

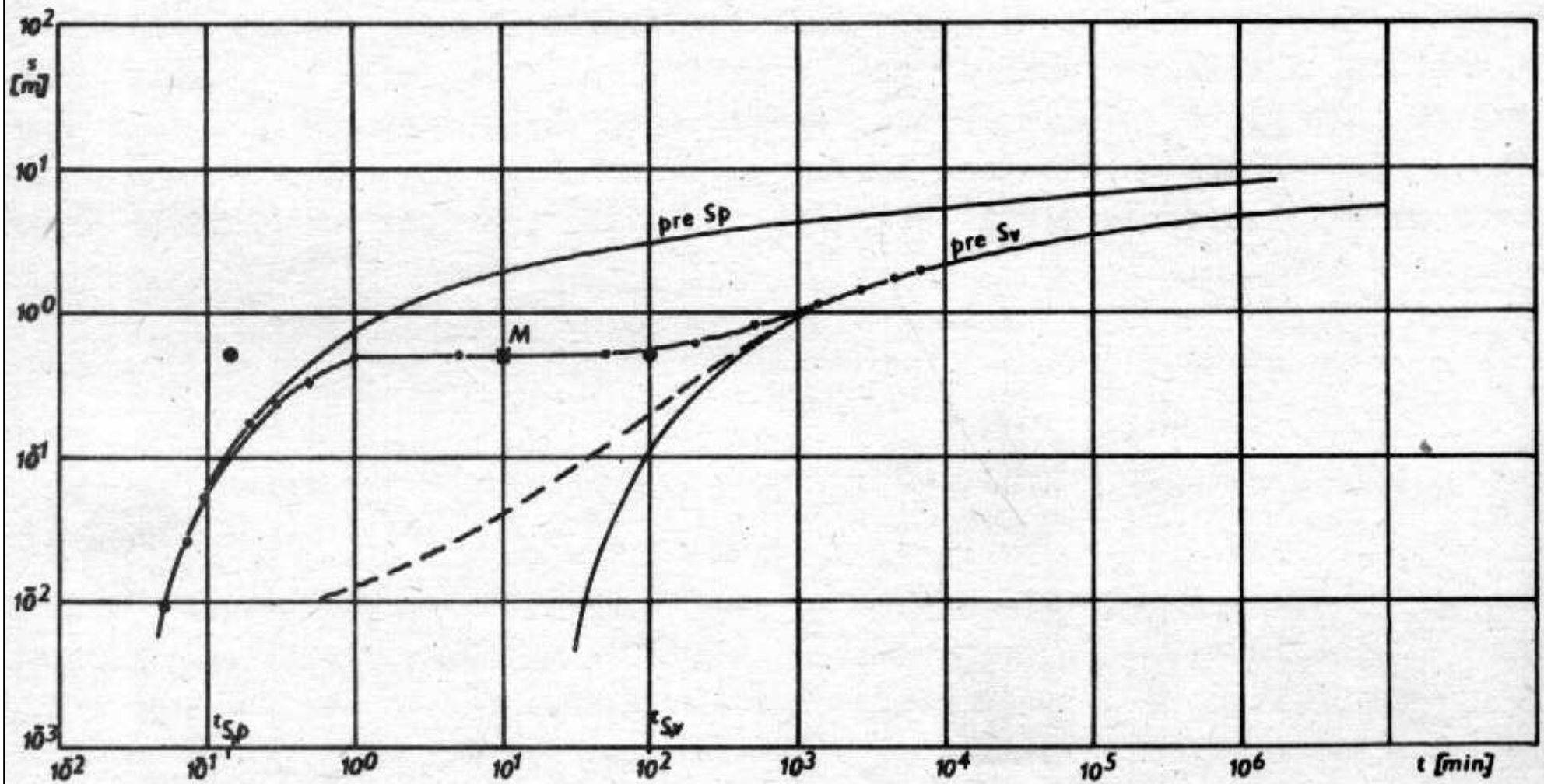
- zjistíme hodnoty r/B a $K_0(r/B)$

$$T = \frac{Q \cdot K_0\left(\frac{r}{B}\right)}{2\pi \cdot (h_0 - h_{\max})} \quad S = \frac{4 \cdot T \cdot t_i}{2 \cdot r \cdot B} \quad k' = \frac{T \cdot b'}{B^2}$$

NEUSTÁLENÉ PROUDĚNÍ U VOLNÉ ZVODNĚ

VLIV ZPOŽDĚNÉHO UVOLŇOVÁNÍ
PODZEMNÍ VODY ZE ZÁSOBNOSTI

- u volných zvodní dochází k zakřivení čáry čerpací zkoušky do charakteristického S-tvaru v bilogaritmicím 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 S_p

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 S_v - 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

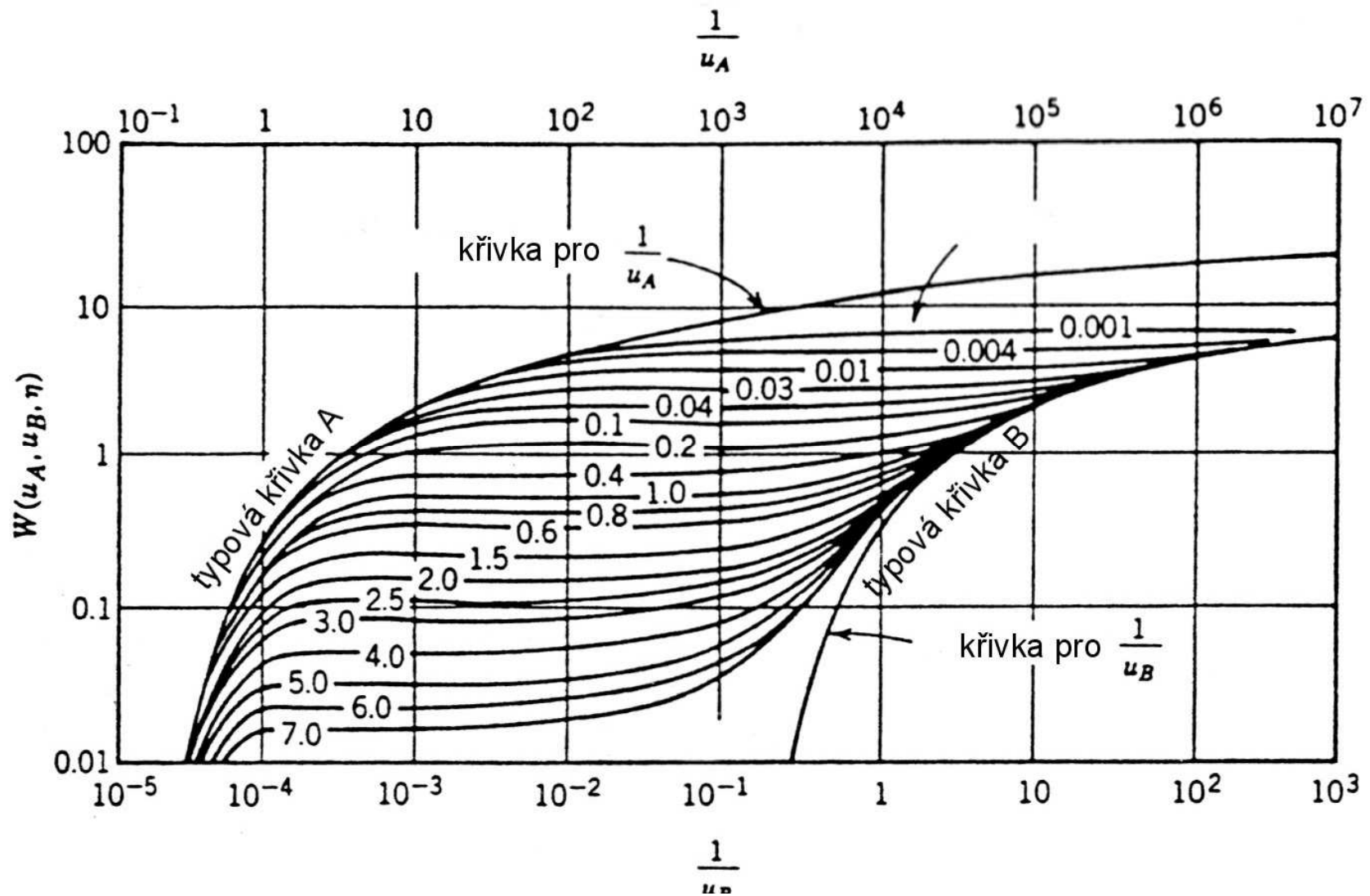
druhý úsek

- 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

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

POSTUP VYHODNOCENÍ

Neumanova metoda s vyhodnocením podle typových křivek
v bilogarithmickém 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 $t_{2,3}$
- vypočítáme hodnoty T a S_v ze třetího úseku křivky (pomocí i_2 a $t_{0,3}$)

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

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

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

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

- zjistíme S_{pom} podle vztahu $S_{pom} = \frac{2,246 \cdot T \cdot t_{0,1}}{r^2}$

- zjistíme hodnotu S_p 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 $k_d = \frac{k_v}{k_h}$