

Metody Hydrogeologického výzkumu

VII. PŘEDNÁŠKA

**Stanovení hydraulických parametrů zvodněných hornin
pomocí čerpacích zkoušek
v režimu neustáleného proudění**

Druhy čerpacích zkoušek

Podmínky uspořádání zkoušky

Podle režimu čerpací zkoušky

- s konstantní vydatností
- s konstantním snížením
- se stupňovitými změnami vydatnosti
- s vydatností jako zadanou funkcí času

Podle systému pozorovacích objektů

- bez pozorovacích objektů
- s jedním pozorovacím objektem
- s dvěma a více pozorovacími objekty

Přírodní podmínky

Podle hydraulického mechanismu zvodně

- **napjatá zvodně**
- **volná zvodně**

Podle bočního omezení

- **bočně neomezená (nekonečná) zvodně (boční hranice mimo dosah účinku zkoušek)**
- **bočně omezená zvodně**

Podle dokonalosti vertikálního omezení zvodně

- **zvodně s těsným stropním i počevním izolátorem (zanedbatelný přítok)**
- **zvodně s netěsným stropním nebo/a počevním izolátorem**

Podle dalších speciálních efektů

- **s okamžitým uvolňováním vody z horniny**
- **se zpožděným uvolňováním vody z horniny (Boultonův efekt)**

Podmínky spojené s čerpaným objektem

Podle úplnosti průniku zvodněným kolektorem

- úplný vrt
- neúplný vrt

Podle dokonalosti laterální komunikace mezi vrtem a zvodněným kolektorem

- bez dodatečných tlakových ztrát na stěně vrtu
- s dodatečnými tlakovými ztrátami na stěně vrtu

ČERPACÍ ZKOUŠKY V REŽIMU NEUSTÁLENÉHO PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY

Theis (1935)

- **rozpory mezi skutečným průběhem snížení v okolí čerpaného vrtu a teoretickým snížením**
- **při ustáleném proudění podzemní vody**
- **popis neustáleného proudění podzemní vody k čerpanému vrtu**
- **matematický popis průběhu čerpací zkoušky na základě analogie s prouděním tepla (odporová a kapacitní charakteristika)**
- **interpretuje se průběh snížení v čase**

výhody:

- **v přírodních podmínkách nemusí dojít k ustálenému proudění v okolí čerpaného vrtu**
- **kratší doba čerpací zkoušky**
- **nejlépe propracovaná metoda s řadou řešení dalších vlivů na průběh čerpací zkoušky (vliv okrajových podmínek, mezivrstevního přetékání, anizotropie prostředí, apod.)**

$$s = h_0 - h(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} \cdot \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

úplný tvar Theisovy rovnice

$$- \text{Ei}(-u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} \cdot du = 0,577 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} + \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$$

exponenciální integrální funkce **studňová funkce** - tabelovaná

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot W(u)$$

základní tvar Theisovy rovnice

studňová funkce charakterizuje závislost bezrozměrného snížení na bezrozměrném čase

$$u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$$

nebo

$$\frac{1}{u} = \frac{4 \cdot T}{S} \cdot \frac{t}{r^2}$$

tabelované hodnoty studňové funkce
-párové hodnoty $W(u)$ a u (nebo $1/u$)

| u | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
| $\times 1$ | 0.219 | 0.049 | 0.013 | 0.0038 | 0.0011 | 0.00036 | 0.00012 | 0.000038 | 0.000012 |
| $\times 10^{-1}$ | 1.82 | 1.22 | 0.91 | 0.70 | 0.56 | 0.45 | 0.37 | 0.31 | 0.26 |
| $\times 10^{-2}$ | 4.04 | 3.35 | 2.96 | 2.68 | 2.47 | 2.30 | 2.15 | 2.03 | 1.92 |
| $\times 10^{-3}$ | 6.33 | 5.64 | 5.23 | 4.95 | 4.73 | 4.54 | 4.39 | 4.26 | 4.14 |
| $\times 10^{-4}$ | 8.63 | 7.94 | 7.53 | 7.25 | 7.02 | 6.84 | 6.69 | 6.55 | 6.44 |
| $\times 10^{-5}$ | 10.94 | 10.24 | 9.84 | 9.55 | 9.33 | 9.14 | 8.99 | 8.86 | 8.74 |
| $\times 10^{-6}$ | 13.24 | 12.55 | 12.14 | 11.85 | 11.63 | 11.45 | 11.29 | 11.16 | 11.04 |
| $\times 10^{-7}$ | 15.54 | 14.85 | 14.44 | 14.15 | 13.93 | 13.75 | 13.60 | 13.46 | 13.34 |
| $\times 10^{-8}$ | 17.84 | 17.15 | 16.74 | 16.46 | 16.23 | 16.05 | 15.90 | 15.76 | 15.65 |
| $\times 10^{-9}$ | 20.15 | 19.45 | 19.05 | 18.76 | 18.54 | 18.35 | 18.20 | 18.07 | 17.95 |
| $\times 10^{-10}$ | 22.45 | 21.76 | 21.35 | 21.06 | 20.84 | 20.66 | 20.50 | 20.37 | 20.25 |
| $\times 10^{-11}$ | 24.75 | 24.06 | 23.65 | 23.36 | 23.14 | 22.96 | 22.81 | 22.67 | 22.55 |
| $\times 10^{-12}$ | 27.05 | 26.36 | 25.96 | 25.67 | 25.44 | 25.26 | 25.11 | 24.97 | 24.86 |
| $\times 10^{-13}$ | 29.36 | 28.66 | 28.26 | 27.97 | 27.75 | 27.56 | 27.41 | 27.28 | 27.16 |
| $\times 10^{-14}$ | 31.66 | 30.97 | 30.56 | 30.27 | 30.05 | 29.87 | 29.71 | 29.58 | 29.46 |
| $\times 10^{-15}$ | 33.96 | 33.27 | 32.86 | 32.58 | 32.35 | 32.17 | 32.02 | 31.88 | 31.76 |

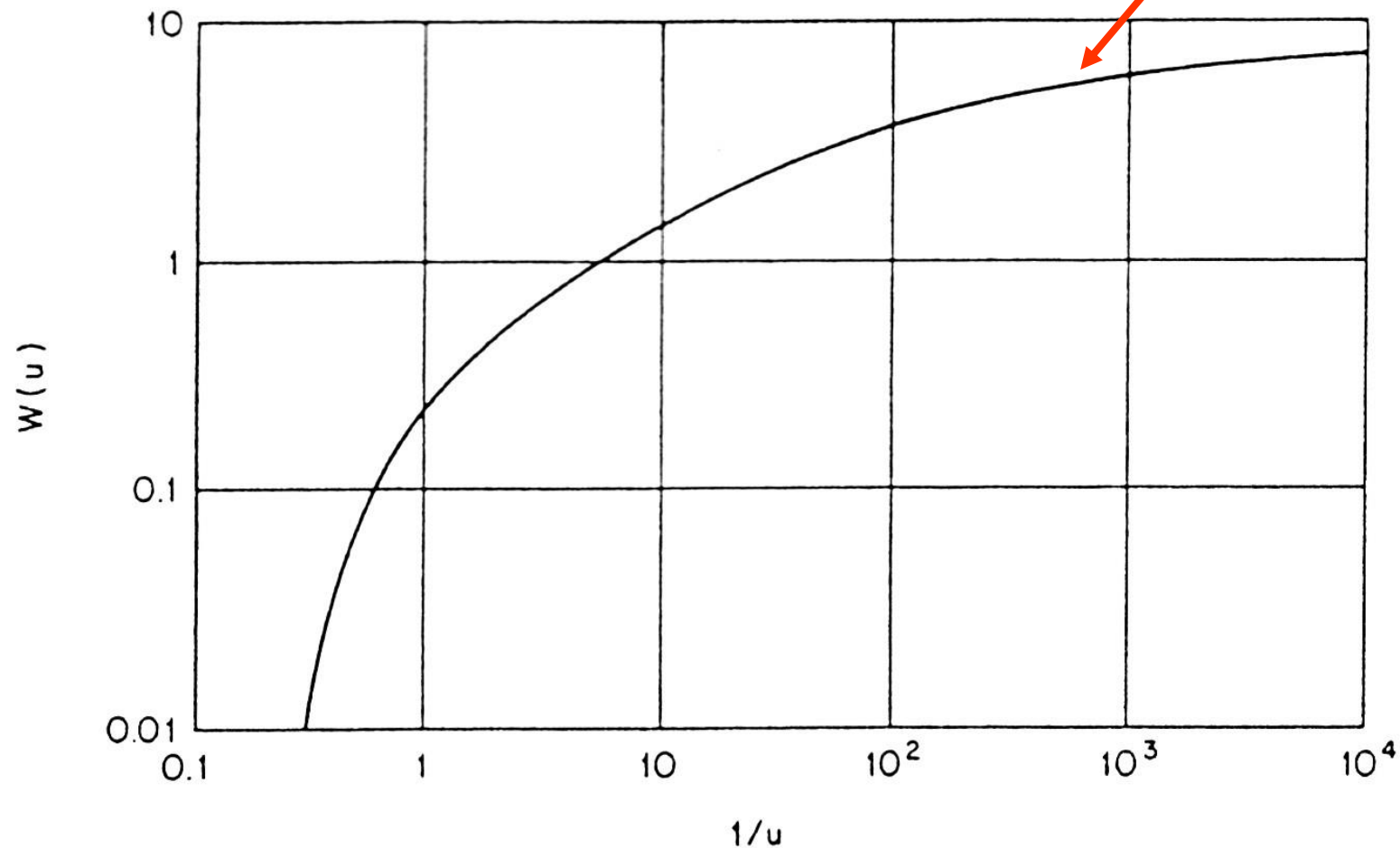
SOURCE: Wenzel, 1942.

$W(u)$ – charakterizuje odpor prostředí (snížení)

$1/u$ – charakterizuje čas (bezrozměrný čas)

tabelované hodnoty studňové funkce
-párové hodnoty $W(u)$ a u (nebo $1/u$)

typová křivka



$W(u)$ – charakterizuje odpor prostředí (snížení)

$1/u$ – charakterizuje čas (bezrozměrný čas)

Theisova rovnice – určuje snížení hladiny s v libovolném bodě vzdáleném r od osy čerpaného vrtu v určitém čase t od začátku čerpání s vydatností Q

použitelná i pro ustálené proudění – Dupuit-Thiemova rovnice je zvláštním případem Theisovy rovnice

Podmínky platnosti Theisovy rovnice:

- proudění je laminární a je popsáno Darcyho zákonem
- voda je uvolňována ze zásobnosti okamžitě při snížení hydraulické výšky
- kolektor je homogenní a izotropní a má konstantní mocnost
- horizontální rozsah kolektoru je nekonečný
- zvoděň má nekonečný objem
- zvoděň je před čerpáním v klidu, tedy není v ní žádné proudění
- hodnoty T a S jsou v čase konstantní (zvoděň s napjatou hladinou)
- hodnota vydatnosti Q je v čase konstantní

- k výpočtu není možné použít údaje o snížení z čerpaného vrtu (velké chyby)
- hodnoty snížení jsou měřeny v pozorovacích vrtech

SEMILOGARITMICKÁ JACOBOVA METODA (metoda přímkové transformace)

$$- \text{Ei}(-u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} \cdot du = 0,577 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} + \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$$

- zjednodušení základní Theisovy rovnice
- pro čas $1/u > 33,3$ je při zanedbání druhého až n-tého členu rovnice výsledná chyba stanovení T a S menší než 1%

po transformaci \ln na \lg obdržíme rovnici

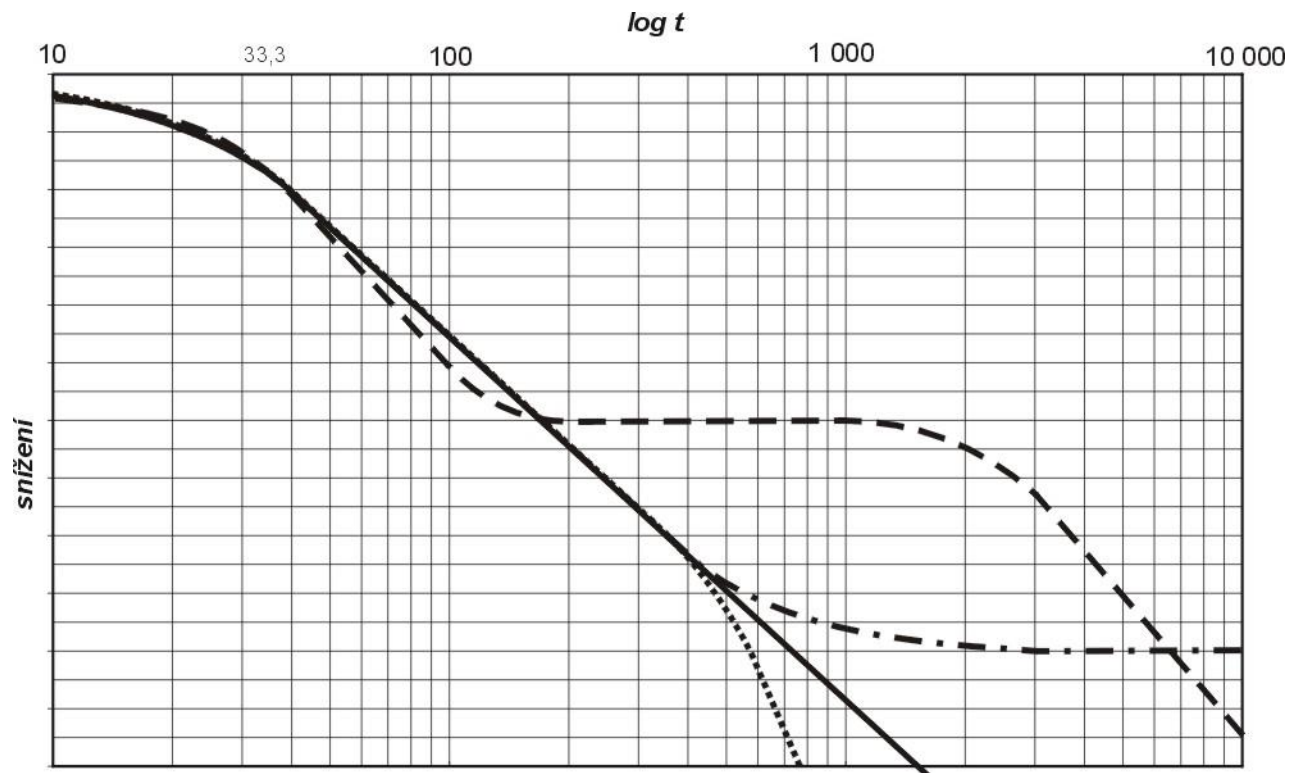
$$s = \frac{2,303}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \lg \frac{2,246 \cdot T \cdot t}{S \cdot r^2}$$

$$s = \frac{2,303}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \lg \frac{2,246 \cdot T}{S} + \frac{2,303}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \lg \frac{t}{r^2}$$

ODCHYLKY REÁLNÝCH KŘIVEK OD THEISOVY TYPOVÉ KŘIVKY

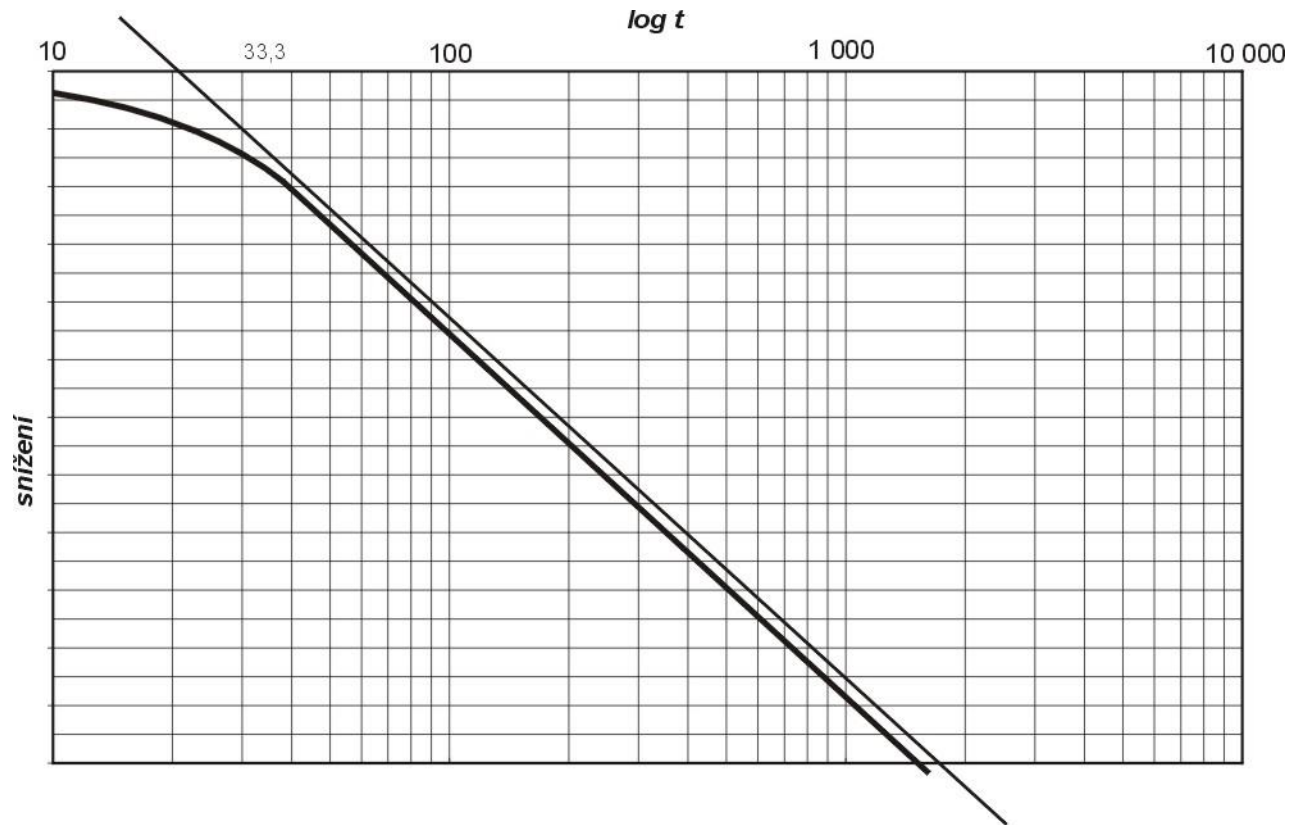
reálné podmínky

- zvodeň není nekonečná
- volná zvodeň - často zpožděné uvolňování vody ze zásobnosti



ideální stav

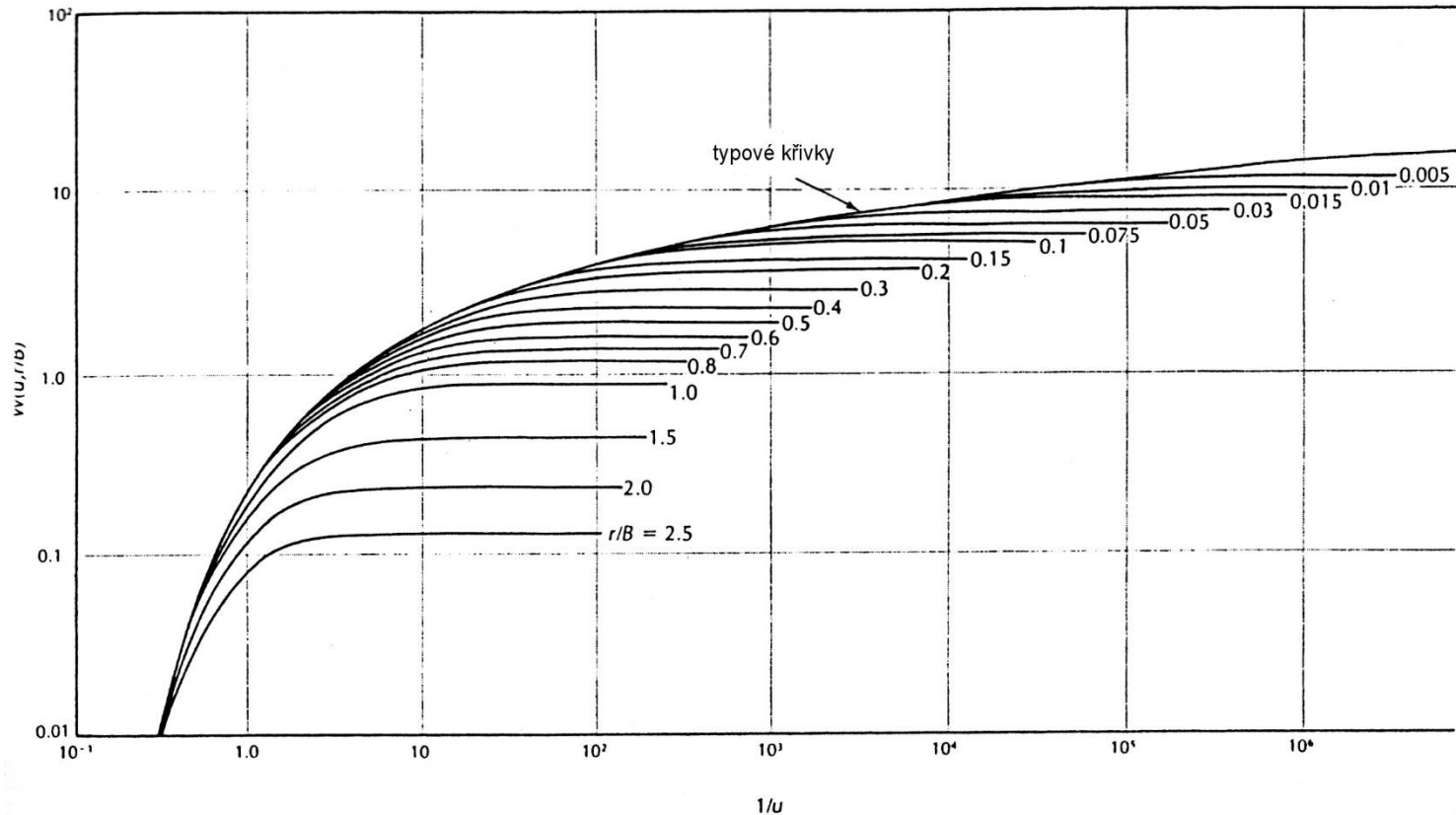
- bez projevu okrajových podmínek (v dosahu depresního kuželu)
- homogenní a izotropní zvodněná vrstva
- okamžité uvolnění podzemní vody ze zásobnosti



Theisova typová křivka + základní Jacobova přímková transformace

Vliv okrajové podmínky 1. typu (H = konst.)

- po určité době v čase t se v semilogaritmickém měřítku začne měnit sklon přímky
- Δs je rovno nule (ustálené proudění)
- sklon přímky je nulový a přímka je rovnoběžná s osou x
- hydraulické parametry je možné spočítat pouze z první přímkové části křivky
- druhá přímková část křivky a inflexní bod charakterizují okrajovou podmínku

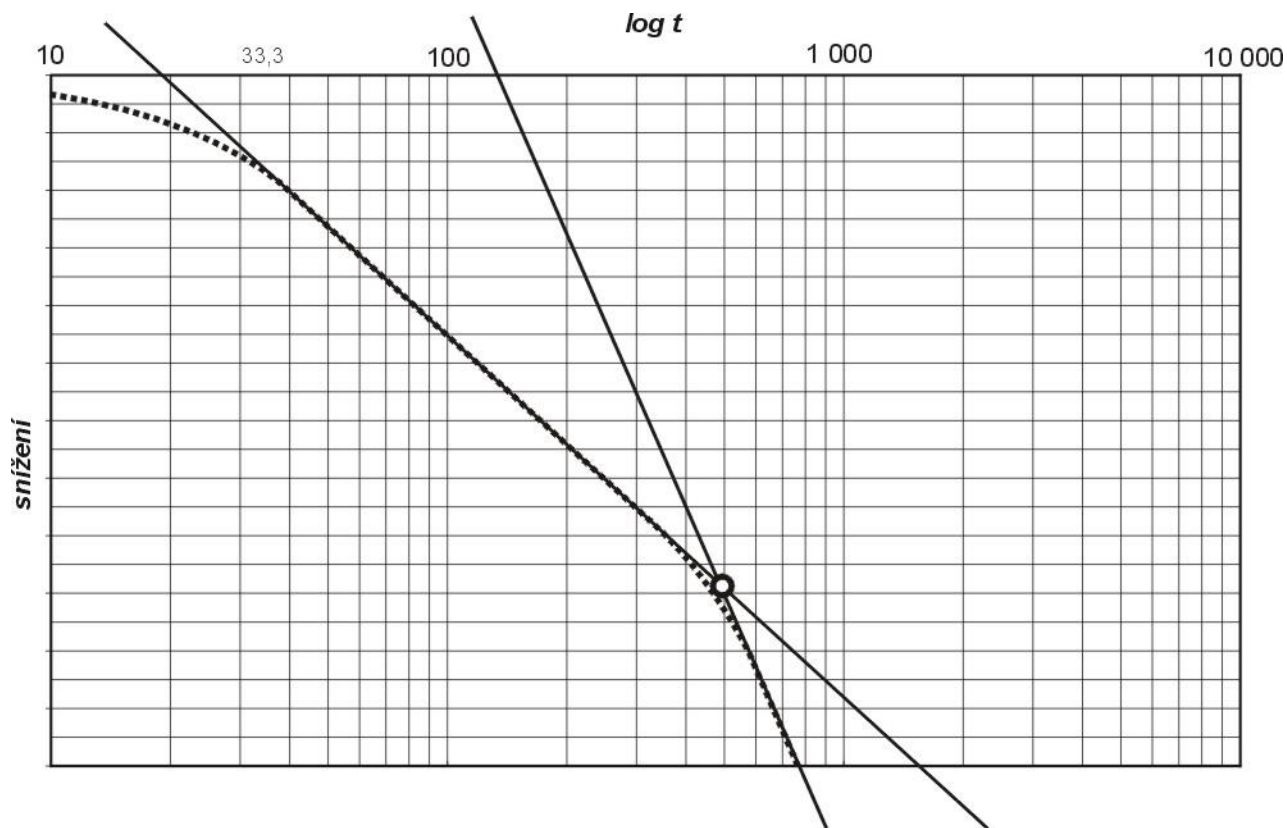


Identický tvar křivky je rovněž pro případ mezivrstevního přetékání

- vzájemné odlišení možné pouze ze znalosti geologických poměrů

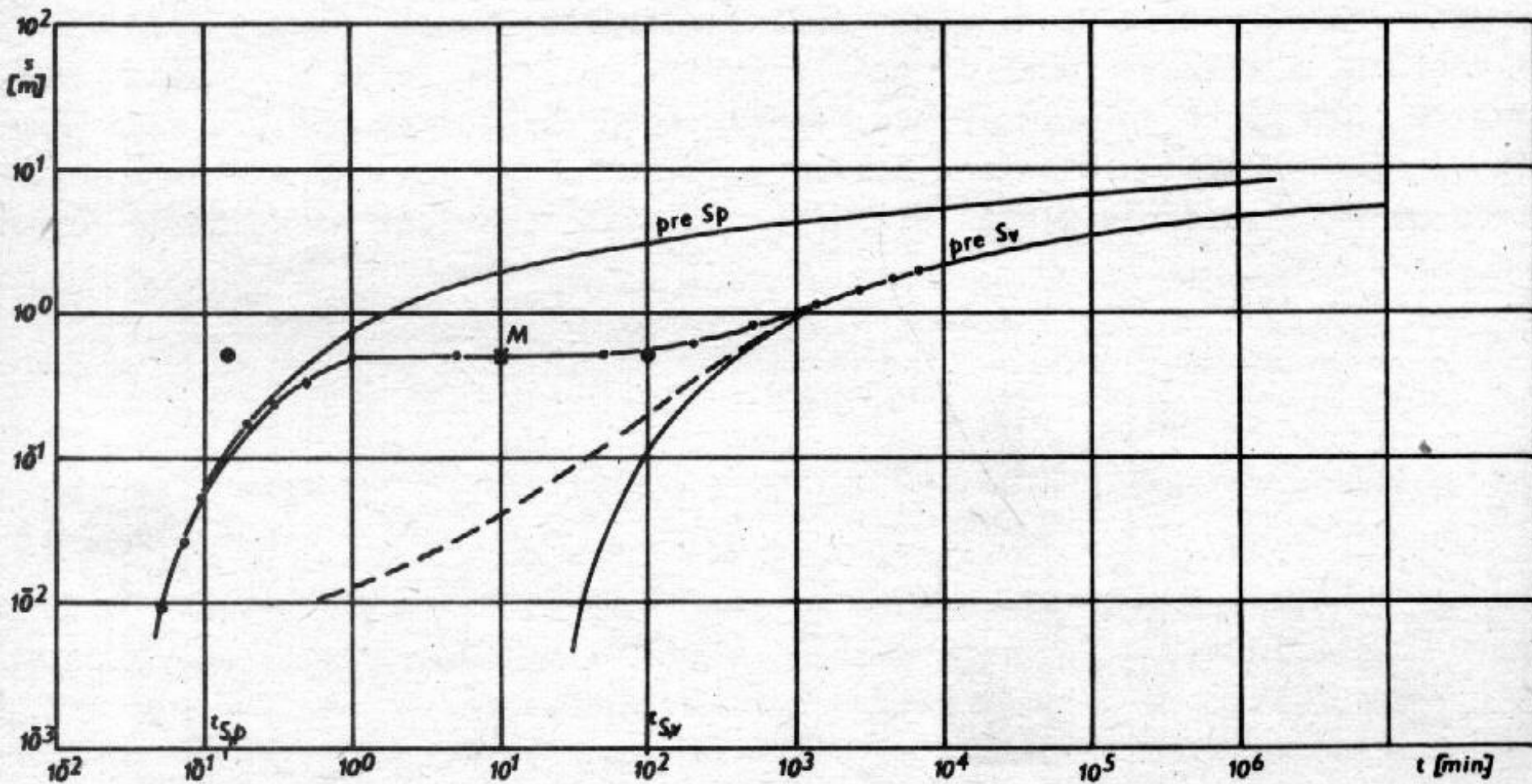
Vliv okrajové podmínky 2. Typu – $q=0$ (nepropustná hranice)

- po určité době v čase t se v semilogaritmickém měřítku začne měnit sklon přímky
- Δs se v jednom logaritmickém cyklu času zvyšuje
- hodnoty T a S lze počítat pouze z první přímkové části křivky
- vlastnosti okrajové podmínky potom z druhé přímkové části křivky a z inflexního bodu



Vliv zpožděného uvolňování podzemní vody ze zásobnosti

- charakteristický S tvar křivky
- v bilogarithmickém měřítku $\log s$ proti $\log t$ – Boultonova S-křivka



Metoda snížení - čas

grafická interpretace v semilogaritmickém grafu snížení s (normální měřítko) proti logaritmu času $\log t$

metoda je použitelná i pro volnou zvědeň, pokud se neprojevuje zpožděné uvolňování podzemní vody

je-li snížení větší než 10 % původní mocnosti zvodně –
$$S_{oprav} = S - \frac{s^2}{2 \cdot h_0}$$

- vyneseme párové hodnoty snížení s a $\log t$
- v semilogaritmickém grafu se v čase $1/u > 33,3$ se křivka promítne jako přímka
- body proložíme přímkou
- sklon přímky udává hodnotu T
- stanoví se hodnota snížení Δs v jednom logaritmickém cyklu času

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

- odečteme čas t_0 ve kterém je hodnota s rovna nule

$$S_p = \frac{2,246 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

Metoda snížení - vzdálenost

grafická interpretace v semilogaritmickém grafu snížení s (normální měřítko) proti logaritmu vzdálenosti pozorovacích vrtů $\log r$

metoda je použitelná i pro volnou zvědeň, pokud se neprojevuje zpožděné uvolňování podzemní vody

je-li snížení větší než 10 % původní mocnosti zvodně – $S_{oprav} = S - \frac{s^2}{2 \cdot h_0}$

- vyneseme párové hodnoty snížení s a $\log r$, za podmínky, že hodnoty snížení byly změřeny ve stejném čase od zahájení čerpání
- v semilogaritmickém grafu se v čase $1/u > 33,3$ se křivka promítne jako přímka
- body proložíme přímkou
- sklon přímky udává hodnotu T
- stanoví se hodnota snížení Δs v jednom logaritmickém cyklu vzdálenosti

- odečteme čas r_0 ve kterém je hodnota s rovna nule

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

$$S_p = \frac{2,246 \cdot T \cdot t}{r_0^2}$$