

# **Hydraulika podzemních vod**

# 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.)

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

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

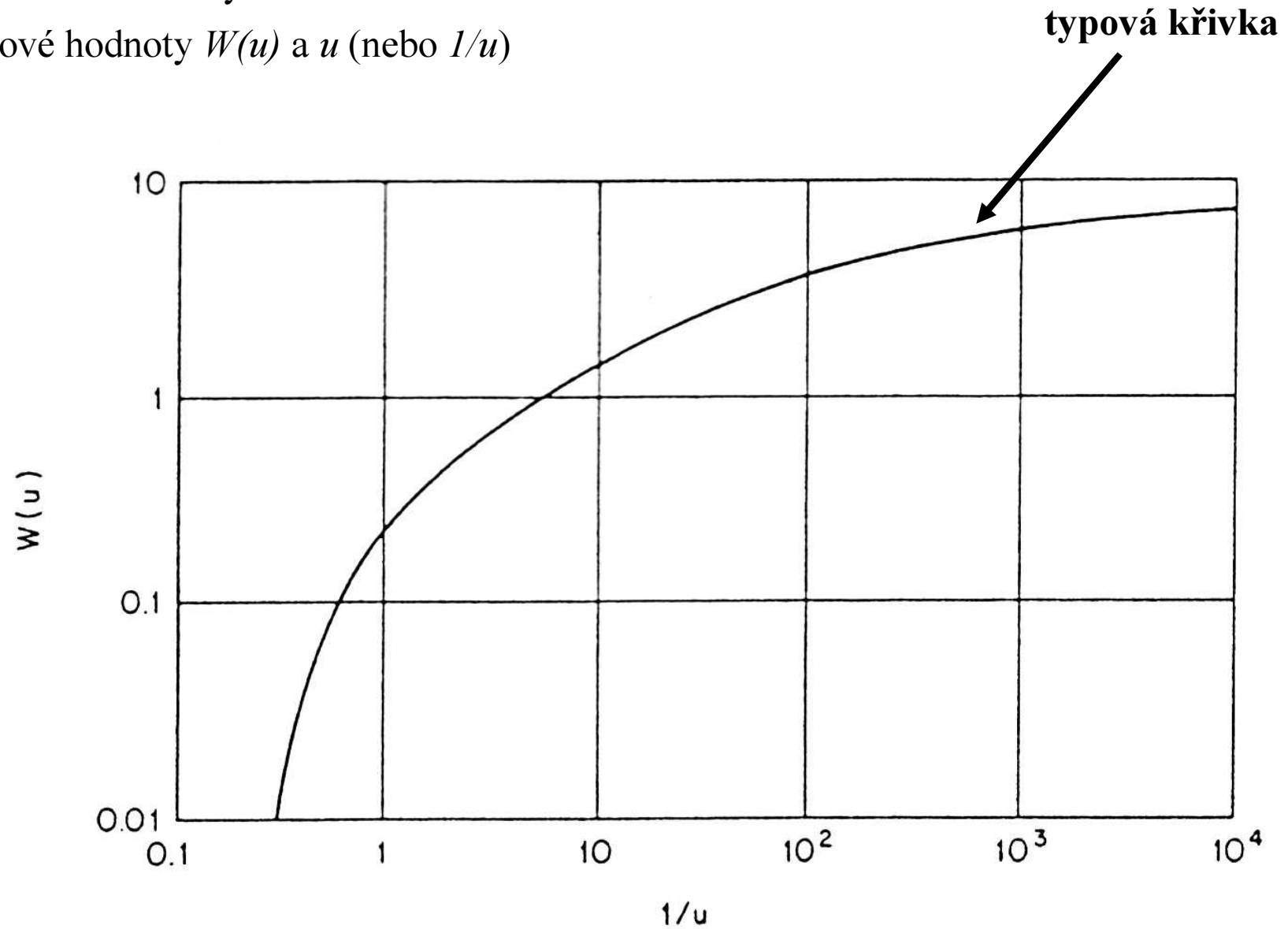
studňová funkce charakterizuje závislost bezrozměrného snížení na bezrozměrném čase

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

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  $1/u$ )



$W(u)$  – 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
- zvodeň má nekonečný objem
- zvodeň je před čerpáním v klidu, tedy není v ní žádné proudění
- hodnoty  $T$  a  $S$  jsou v čase konstantní (zvodeň 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

# Modifikace základní Theisovy metody

hodnota  $1/u$  je přímo úměrná  $t/r^2$

## 1. Metoda snížení – čas

- interpretuje se log snížení proti log času
- platí pro jeden pozorovací vrt, vzdálený od čerpacího vrtu  $r$ , ve kterém bylo snížení  $s$  měřeno v různých časech  $t$

$$\lg t - \lg \frac{1}{u} = \lg \frac{S \cdot r^2}{4 \cdot T} = \text{konst.}$$

## 2. Metoda snížení – vzdálenost

- interpretuje se log snížení proti log vzdálenosti
- platí pro více pozorovacích vrtů, vzdálených od čerpacího vrtu různé vzdálenosti  $r$ , ve kterých bylo snížení  $s$  měřeno ve stejném čase  $t$  od zahájení čerpání

$$\lg \frac{1}{r^2} - \lg \frac{1}{u} = \lg \frac{s}{4 \cdot T \cdot t} = \text{konst.}$$

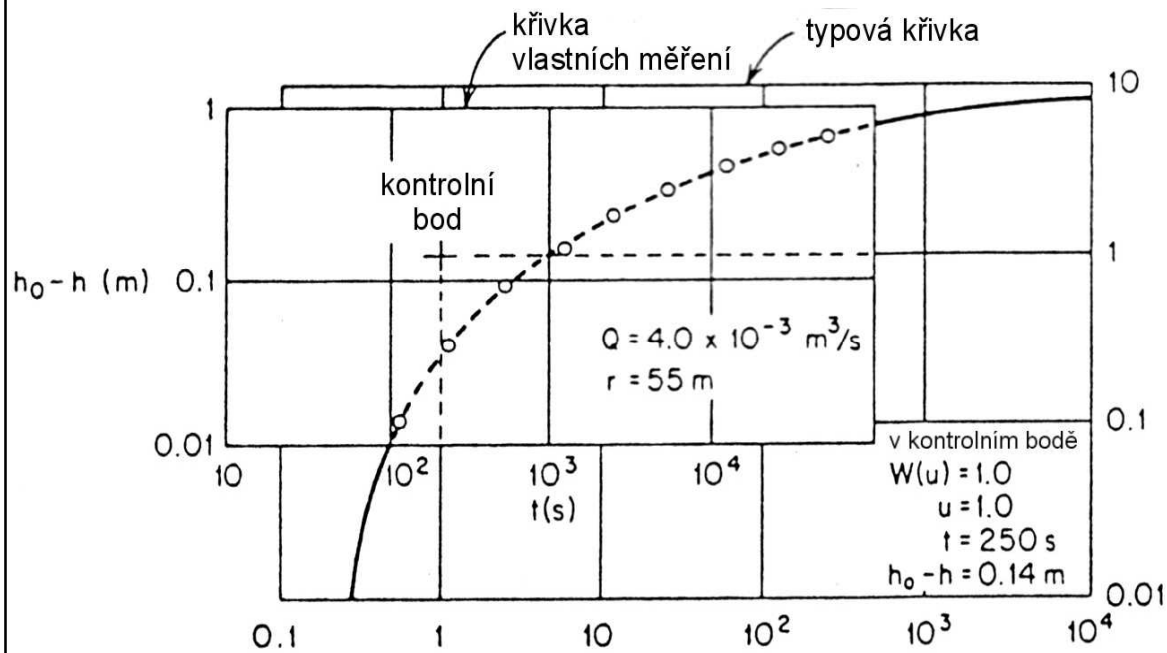
## 3. Metoda snížení – čas/vzdálenost

- interpretuje se log snížení proti log podílu času a čtverci vzdálenosti
- platí pro více pozorovacích vrtů, vzdálených od čerpacího vrtu různé vzdálenosti  $r$ , ve kterých bylo snížení  $s$  měřeno v různých časech  $t$  od zahájení čerpání

$$\lg \frac{t}{r^2} - \lg \frac{1}{u} = \lg \frac{S}{4 \cdot T} = \text{konst.}$$

## Základní postup stanovení hydraulických parametrů Theisovou metodou

- v logaritmické měřítku se vynese  $W(u)$  proti  $1/u$  – typová křivka
- vynese se křivka z čerpací zkoušky ve stejném měřítku jako křivka  $s$  proti  $t/r^2$ , nebo  $t$ , nebo  $1/r^2$
- zkonstruovaná křivka se přiloží na typovou křivku tak, aby osy byly rovnoběžné
- obě křivky se musí co nejvíce překrývat
- konstanty na pravých stranách rovnic představují konstantní rozdíl, vyjádřený graficky posunutím křivky čerpací zkoušky oproti typové křivce
- velikost posunutí je definovaná parametry T a S (viz rovnice)
- z velikosti posunutí souřadnic, které určíme proložení typové křivky křivkou čerpací zkoušky, můžeme po odečtení souřadnic libovolně zvoleného vztažného bodu  $W(u)$  a  $1/u$  z typové křivky dosazením do rovnic určit parametry T a S



$$T = \frac{QW(u)}{4\pi(h_0-h)} = \frac{(4.0 \times 10^{-3})(1.0)}{(4.0)(3.14)(0.14)} = 0.0023 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = \frac{4uTt}{r^2} = \frac{(4.0)(1.0)(0.0023)(250)}{(55.0)^2} = 7.5 \times 10^{-4}$$

$W(u)$



## 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  $\log$  obdržíme rovnici

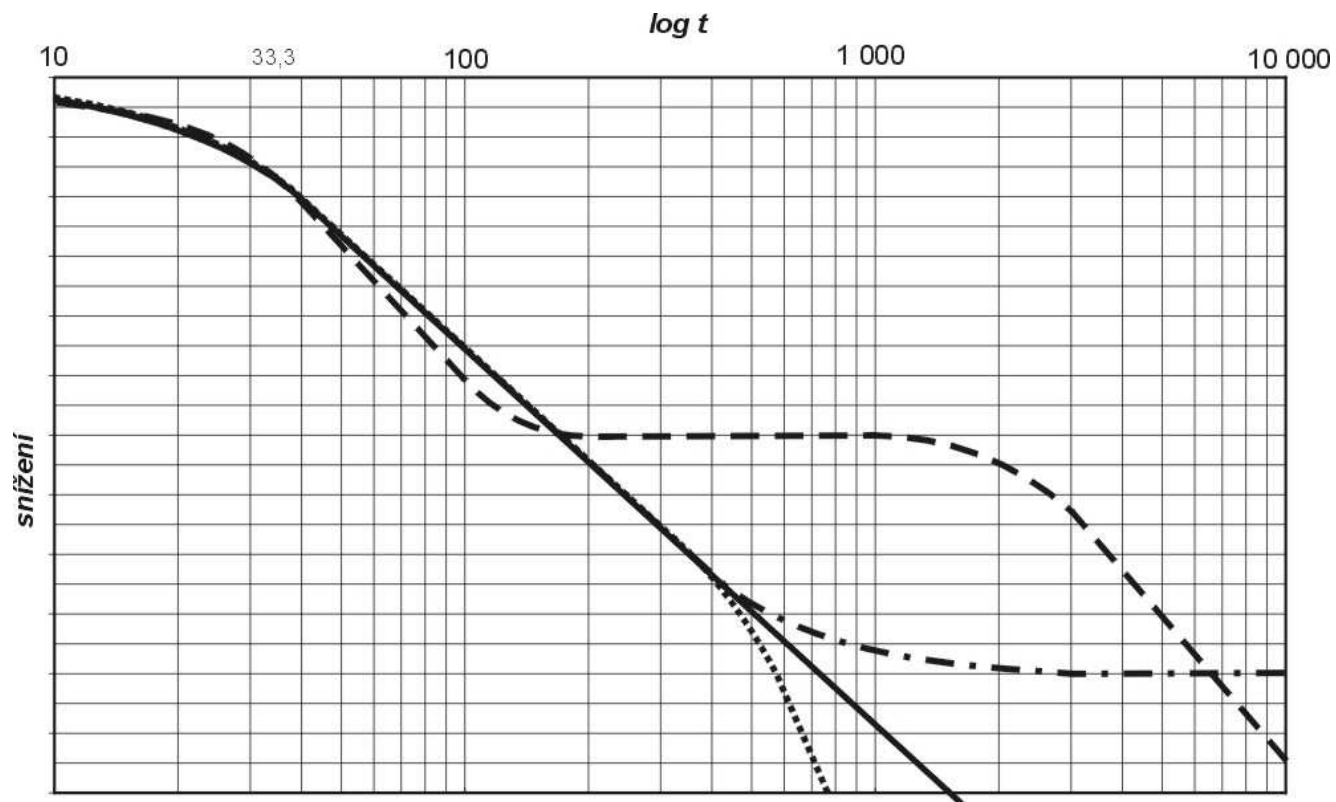
$$s = \frac{2,303}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \lg \frac{2,246 \cdot T \cdot t}{S \cdot r^2}$$

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

# ODCHYLKY REÁLNÝCH KŘIVEK OD THEISOVY TYPOVÉ KŘIVKY

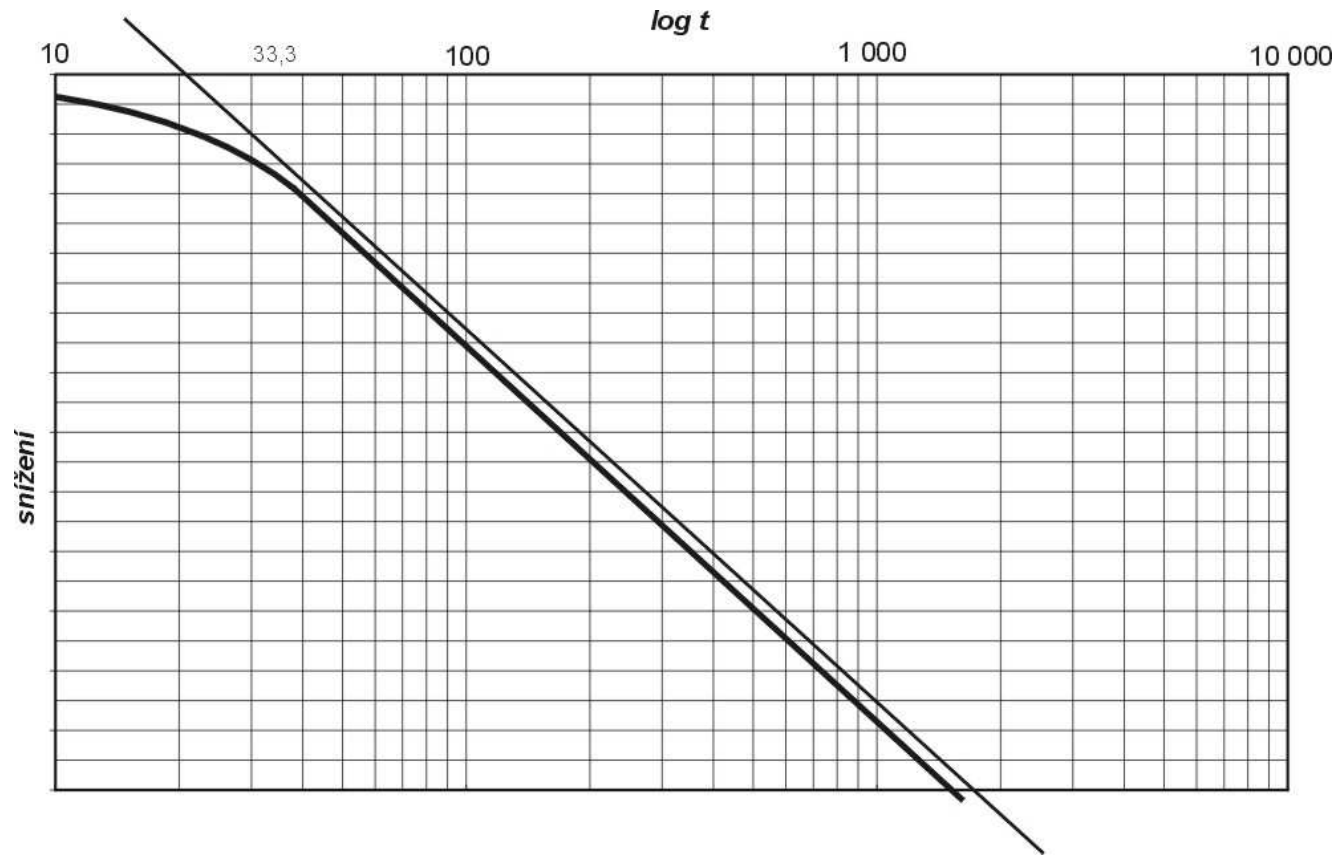
## reálné podmínky

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



## ideální stav

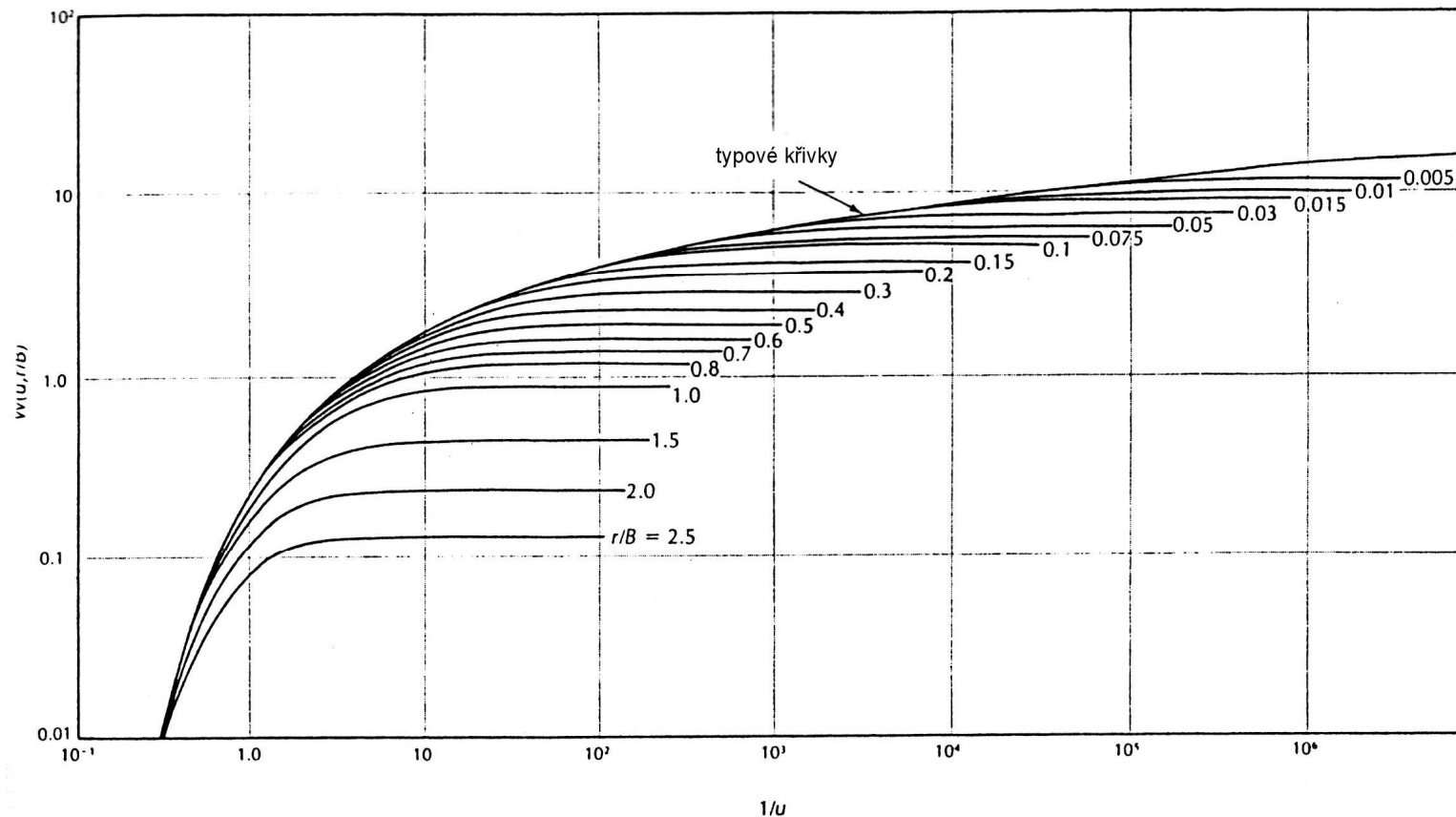
- bez projevu okrajových podmínek (v dosahu depresního kuželu)
- homogenní a izotropní zvodněná vrstva
- okamžité uvolnění podzemní vody ze zásobnosti



*Theisova typová křivka + základní Jacobova přímková transformace*

## Vliv okrajové podmínky 1. typu ( $H = \text{konst.}$ )

- po určité době v čase  $t$  se v semilogaritmickém měřítku začne měnit sklon přímky
- $\Delta s$  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

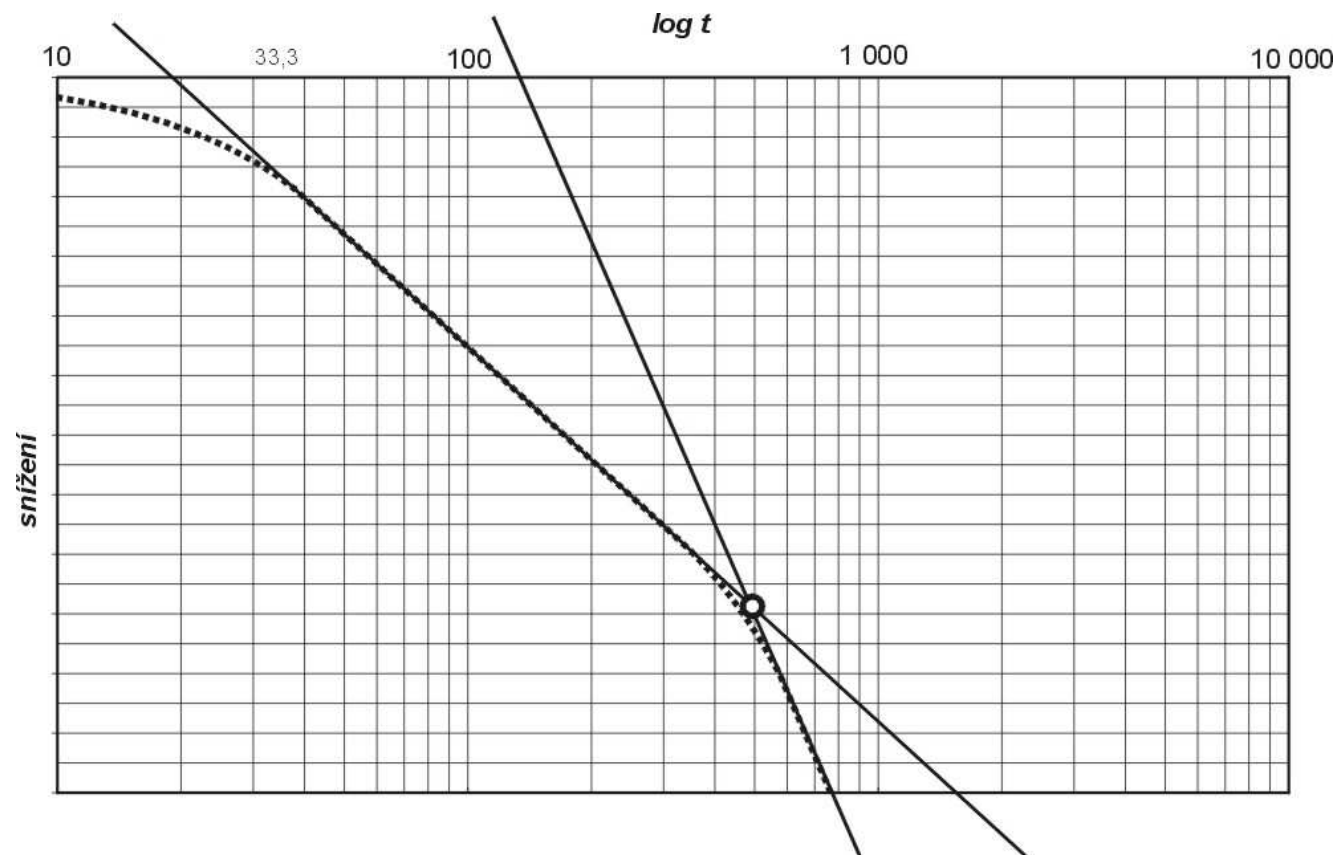


Identický tvar křivky je rovněž pro případ mezivrstevního přetékání

- vzájemné odlišení možné pouze ze znalosti geologických poměrů

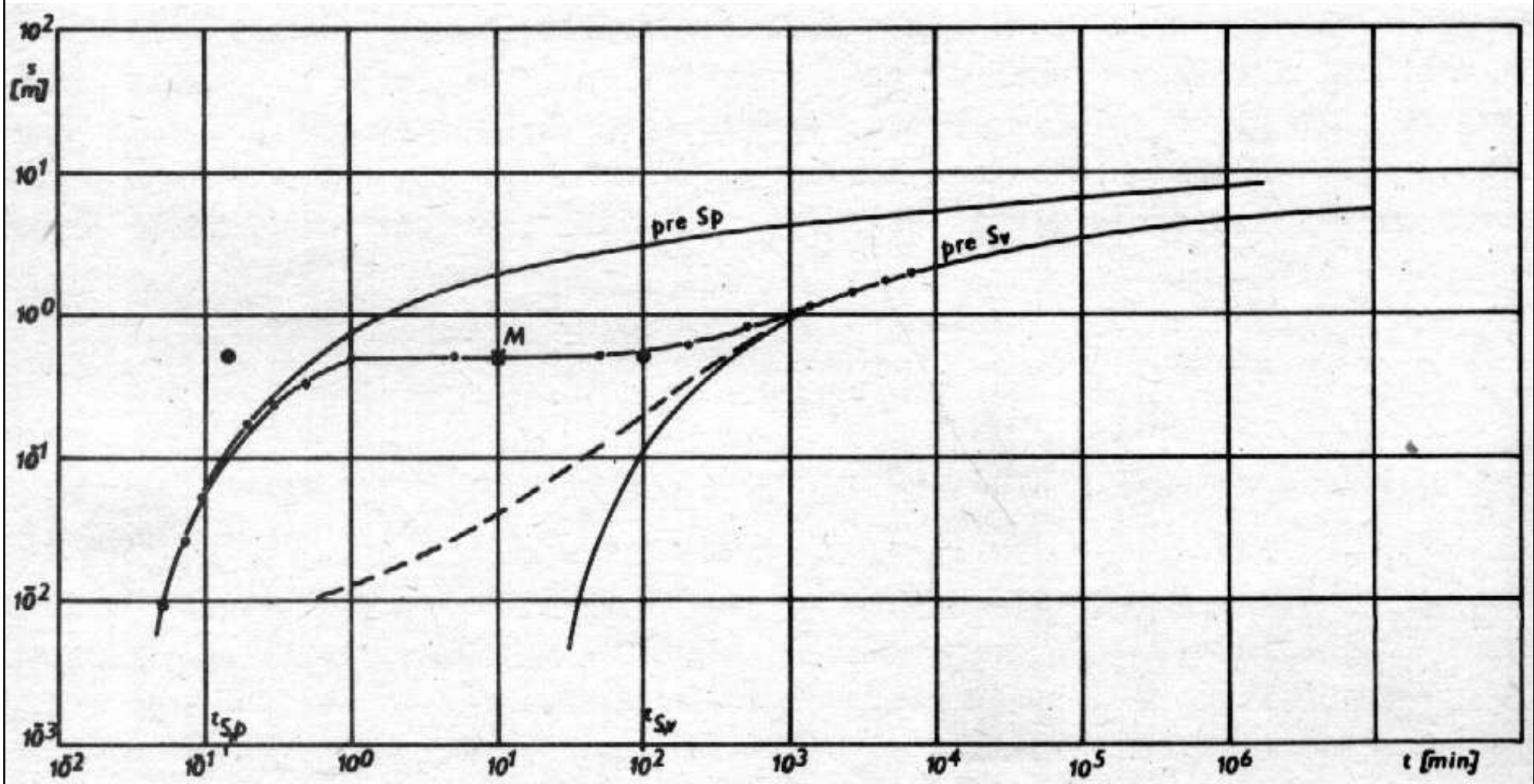
## Vliv okrajové podmínky 2. Typu – $q=0$ (nepropustná hranice)

- po určité době v čase  $t$  se v semilogaritmickém měřítku začne měnit sklon přímky
- $\Delta s$  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 zvodně, 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  $\Delta s$  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

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