



Hydraulika povrchových a podzemních vod  
Hydraulika podzemních vod

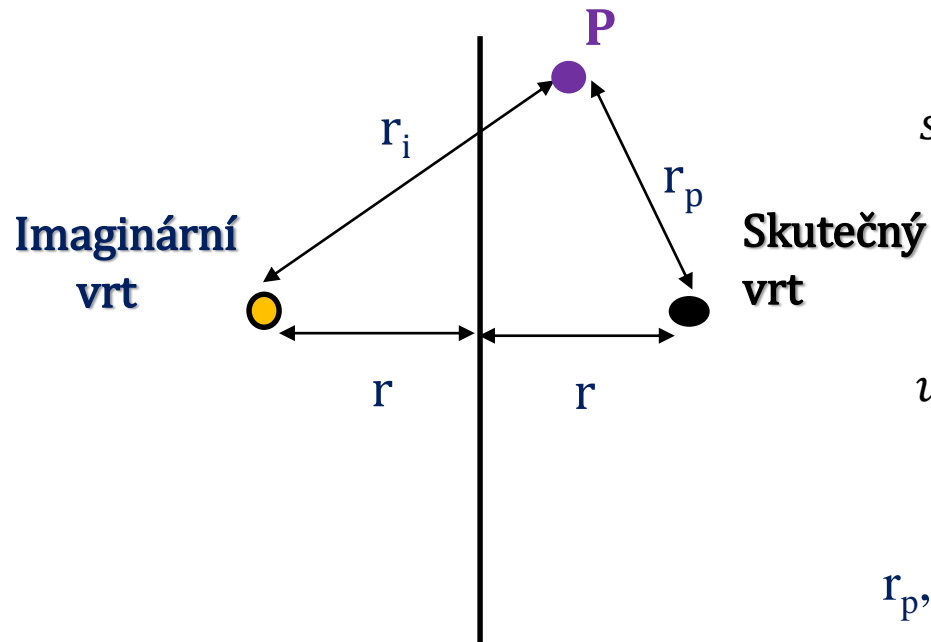
2024\_2025

Přednáška\_8

## Termíny zkoušek

Poř.	Kdy	Pracoviště	Předmět	Kde	Kap.	Druh
1.	14.05.2025 09:00 (st)	KVHEM FŽP	ZVZ118E Hydraulika povrchových a podzemních vod	D226 (SUCH)	0/12 (0)	zkouška
2.	21.05.2025 09:00 (st)	KVHEM FŽP	ZVZ118E Hydraulika povrchových a podzemních vod	D218 (SUCH)	0/12 (0)	zkouška
3.	28.05.2025 09:00 (st)	KVHEM FŽP	ZVZ118E Hydraulika povrchových a podzemních vod	D218 (SUCH)	0/12 (0)	zkouška
4.	04.06.2025 09:00 (st)	KVHEM FŽP	ZVZ118E Hydraulika povrchových a podzemních vod	D220 (SUCH)	0/12 (0)	zkouška

## Obecné řešení



Obecné řešení při přidání  
imaginárního vrtu k vrtu  
reálnému může být vyjádřeno

$$s_P = s_R \pm s_i = \frac{Q}{4\pi T} (W(u_R) \pm W(u_i))$$

where

$$u_R = \frac{r_p^2 S}{4Tt}$$

$$u_i = \frac{r_i^2 S}{4Tt}$$

$r_p, r_i$  jsou vzdálenosti od čerpaného  
vrtu resp. imaginárního vrtu.

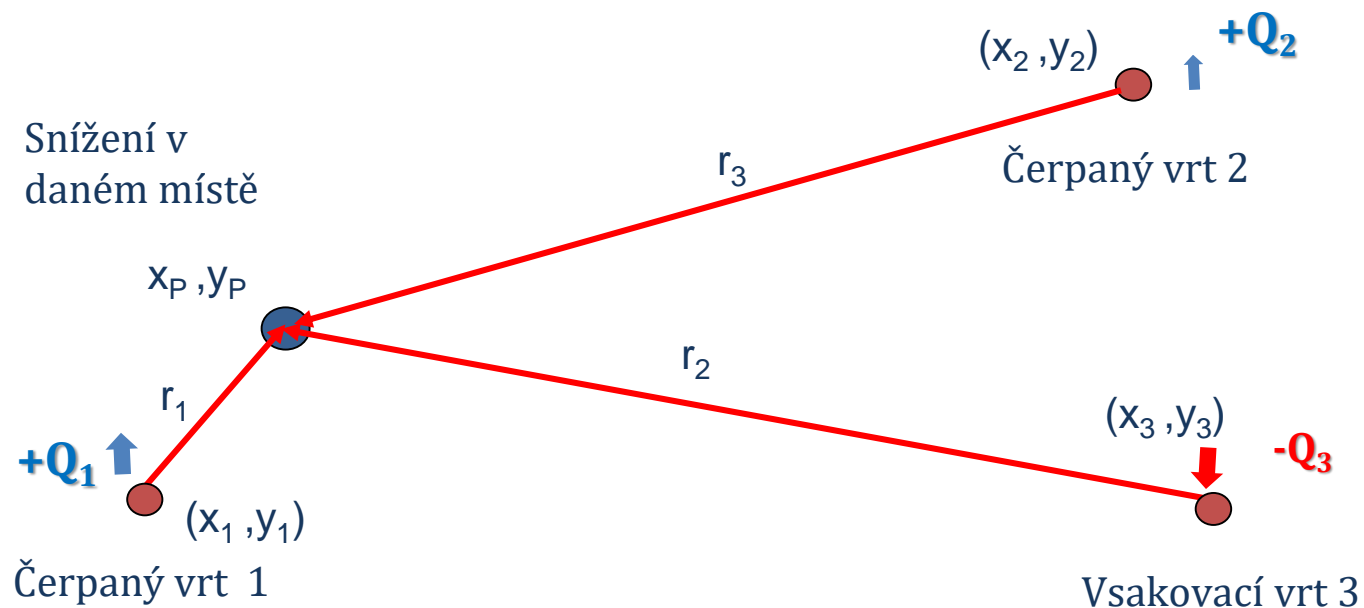
- Pro **nepropustnou hranici**, pro všechny body ležící na hranici  $r_p = r_i$  je snížení zdvojnásobeno.
- Pro **napájecí hranici**, pro všechny body ležící na hranici  $r_p = r_i$  je snížení rovno nule.

# Řešení soustavy vrtů

## Celkové snížení

$$s = \frac{Q_1}{4\pi T} W(u_1) + \frac{Q_2}{4\pi T} W(u_2) - \frac{Q_3}{4\pi T} W(u_3) \quad \text{kde}$$

$$u_i = \frac{r_i^2 S}{4Tt_i} \quad i=1,2,\dots$$



$$r_1 = \sqrt{(x_p - x_1)^2 + (y_p - y_1)^2}$$

součet  $s_1 (Q_1, r_1)$   $s_2 (Q_2, r_2)$  ( $Q_3$  je záporné)  $s_3 (Q_3, r_3)$ . atd.



## **Reálné vrty**

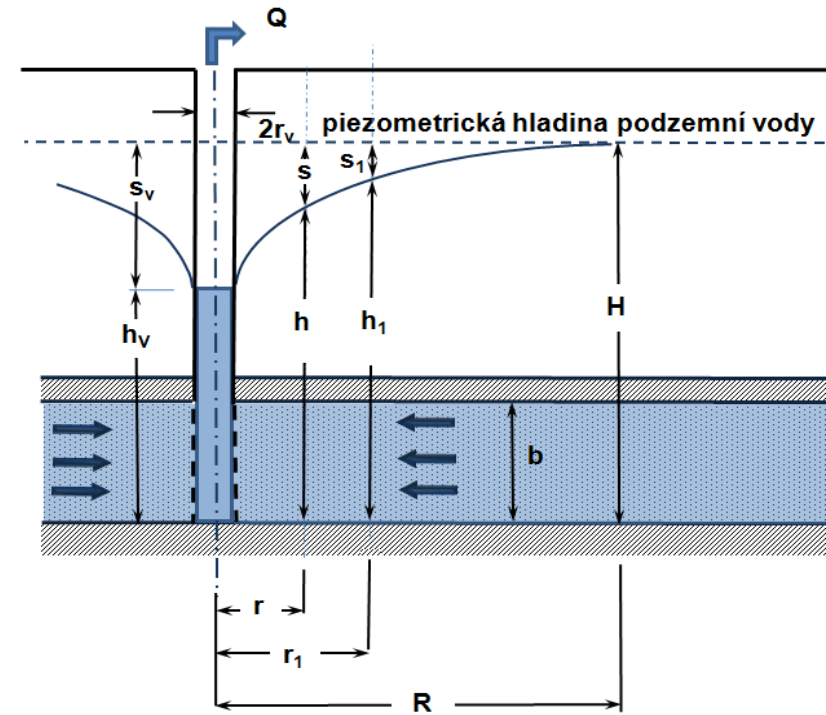
## “Ideální vrt”

- bez dodatečných odporů
- poloměr vrtu je zanedbatelně malý

Rovnice radiálního symetrického proudění k vrtu v cylindrických souřadnicích

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial s}{\partial t}$$

Kde  $r$  – radiální vzdálenost od vrtu,  $S$ - storativita,  $T$ -transmisivita,  $s$  – snížení,  $t$ -čas



Snížení na ideálním čerpaném vrtu

## Dodatečné odpory

Část snížení připadající na působení dodatečných odporů je možné rozdělit na část snížení způsobené

- **kolmataci vrtu** ( $s_K$ ) tj. ucpáváním pórů např. jemným materiálem, čímž dochází ke snížení průtočnosti porézního prostředí nebo narušením původní vnitřní struktury porézního prostředí v těsném okolí odběrového vrtu při jeho hloubení a vystrojování ( jde o snížení propustnosti porézního prostředí vlivem vniknutí výplachu do zvodnělé vrstvy - při rotačním způsobu vrtání, jehož důsledkem je tzv. kalová kůra, nebo případ, kdy při nárazovém vrtání dojde ke zhutnění porézního prostředí a tím ke snížení propustnosti

- **zmenšením aktivního průřezu stěny vrtu** pro přítok vody ( $s_F$ ) tam, kde je stěna vrtu tvořena filtrem, perforovanou pažnicí apod.

- **neúplným průnikem** ( $s_P$ ) - neúplným otevřením mocnosti zvodnělé vrstvy vrtem ( tzv. neúplné vrty )

- **ucpáváním** ( $s_I$ ) - zachycováním částic horniny nebo obsypu v otvorech filtru, kam přiřazujeme také chemickou inkrustaci a ucpávání otvorů filtru působením mikroorganismů a bakterií

- **třením** ( $s_T$ ) vody o stěny vrtu a jejím vnitřním třením ( do této skupiny zařazujeme i dodatečné odpory vznikající turbulencí uvnitř vrtu )

- **turbulentním režimem proudění** ( $s_{TP}$ ) ve zvodnělé vrstvě, zejména v blízkosti odběrového vrtu

- **dalšími druhy dodatečných odporů** ( $s_O$ )

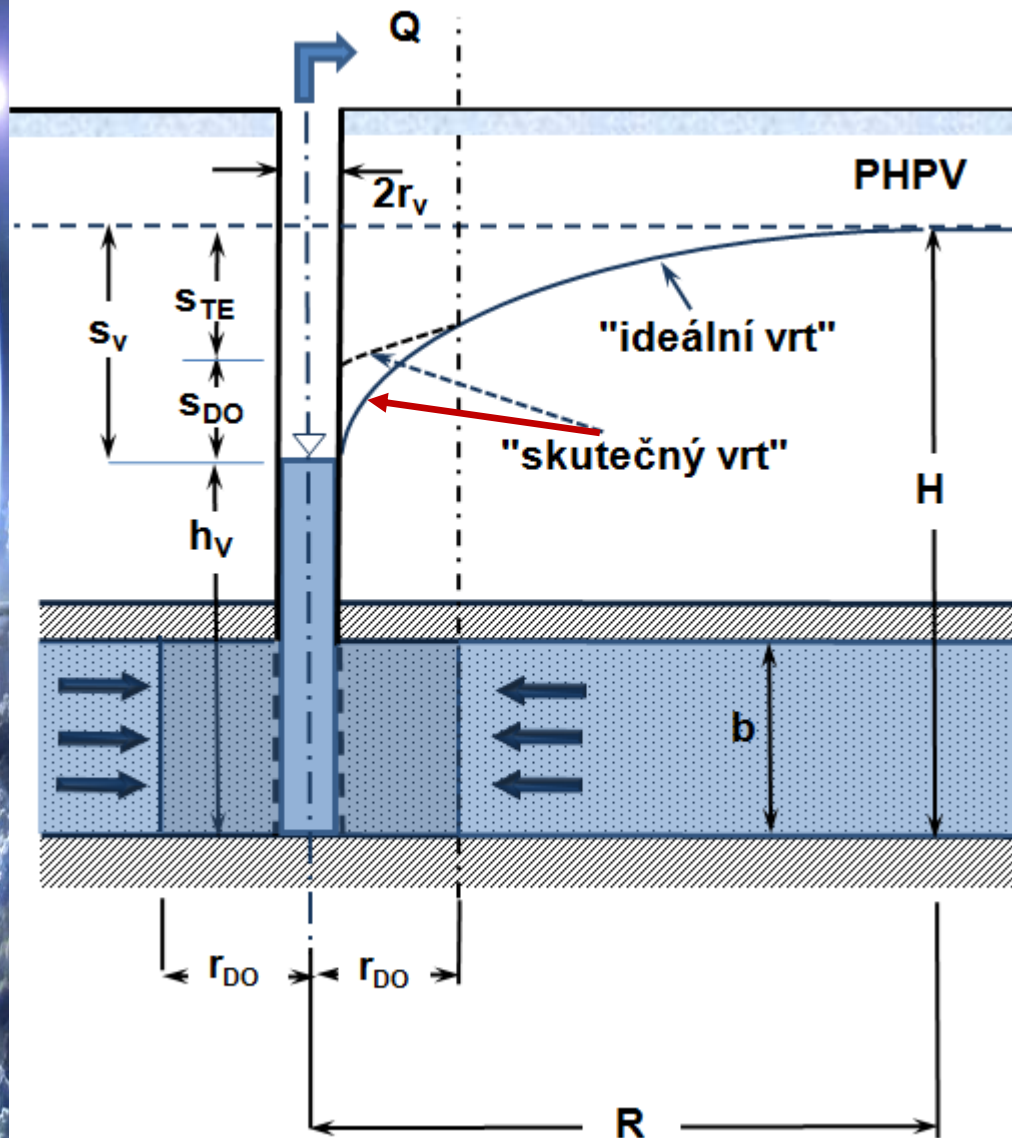
$$s_W = s_K + s_F + s_P + s_I + s_T + s_{TP} + s_O$$



## **Dodatečné odpory- koeficient dodatečných odporůW**

Dodatečné odpory, způsobující **zónu změněné propustnosti**, nemusí být uvažovány a je možné je nahradit fiktivní tenkou vrstvou, též lze označit jako povlak, která se nachází na plášti vrtu. Díky tomu je **rovnice nestacionárního radiálního proudění platná až od vnější hranice studny**. Studny, které skinový efekt nemají, jsou nazývány jako „**ideální studny**“. Pokud kapalina projde skinovou vrstvou, podléhá změně tlaku, kdy tlak na straně vrtu se skinovým efektem je roven skutečnému tlaku. **Skin faktor** může nabývat **kladných** i **záporných** hodnot (JELMERT, 2013). Snížení způsobené dodatečnými odpory lze vyjádřit rovnicí, jak publikoval (van Everdingen, 1953):





### Dodatečné odpory :

- kolmatací ( $s_K$ )
- zmenšením aktivního průřezu stěny vrtu pro přítok vody ( $s_F$ )
- neúplným průnikem ( $s_P$ )
- ucpáváním ( $s_U$ )
- třením ( $s_T$ ) vody o stěny vrtu
- turbulentním režimem proudění ( $s_{TP}$ )
- dalšími druhy dodatečných odporů ( $s_0$ )

$$s_{skin} = s_{DO} = s_K + s_F + s_P + s_U + s_T + s_{TR} + s_0$$

$s_{skin}$  - dodatečné snížení způsobené dodatečnými odpory

$$s_{skin} = \frac{Q}{2\pi T} W$$

$$s_v = s_{te} + s_{skin}$$

# „Skutečný“ vrt

## A) DODATEČNÉ ODPORY (SKIN EFFECT)

Další odolnost je způsobena hydromechanickými, chemickými a biologickými faktory, které se vyskytují během vrtných nebo dokončovacích prací a během využívání vrtu. Tento dodatečný odpor způsobuje dodatečné čerpání ve "skutečném" vrtu ( $s_{SKIN}$ ). Čerpání ve "skutečném" vrtu (se skrývkou a zásobním prostorem vrtu)

$$s_w = s_t + s_{SKIN}$$

$s_t$  teoretické snížení na ideálním vrtu,  $s_{skin}$  snížení způsobené dodatečnými odpory

Předchozí rovnice naznačuje, že snížení v reálném vrtu se se liší od snížení v ideálním vrtu o „dodatečné snížení“

$$s_w = s_{SKIN} = s_{DO} = \frac{Q}{2\pi T} W \quad \leftarrow \text{van Everdingen, 1953}$$

kde Q je čerpané množství, T je transmisivita a **W je koeficient dodatečných odporů.**

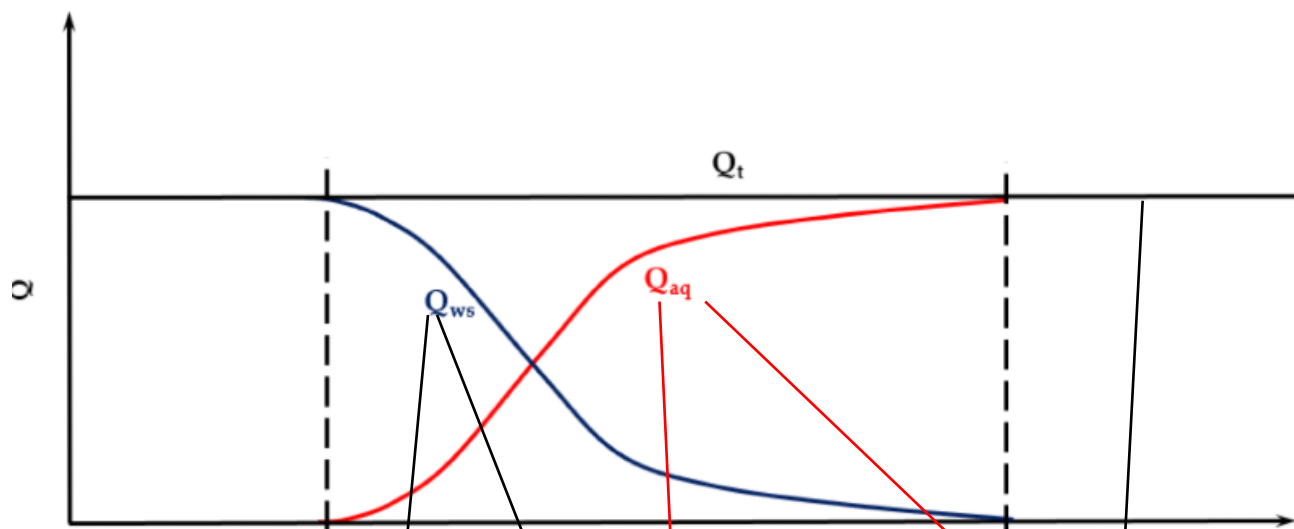
## B) „STORATIVITA VRTU“

Storativita vrtu, se také nazývá plnění resp. prázdnění vrtu na počátku čerpací zkoušky. Tento jev ovlivňuje průběh snížení v čase. Se vzrůstajícím časem konstantní čerpané množství vody z vrtu se srovnává s přitékajícím množstvím vody ze zvodněné vrstvy.

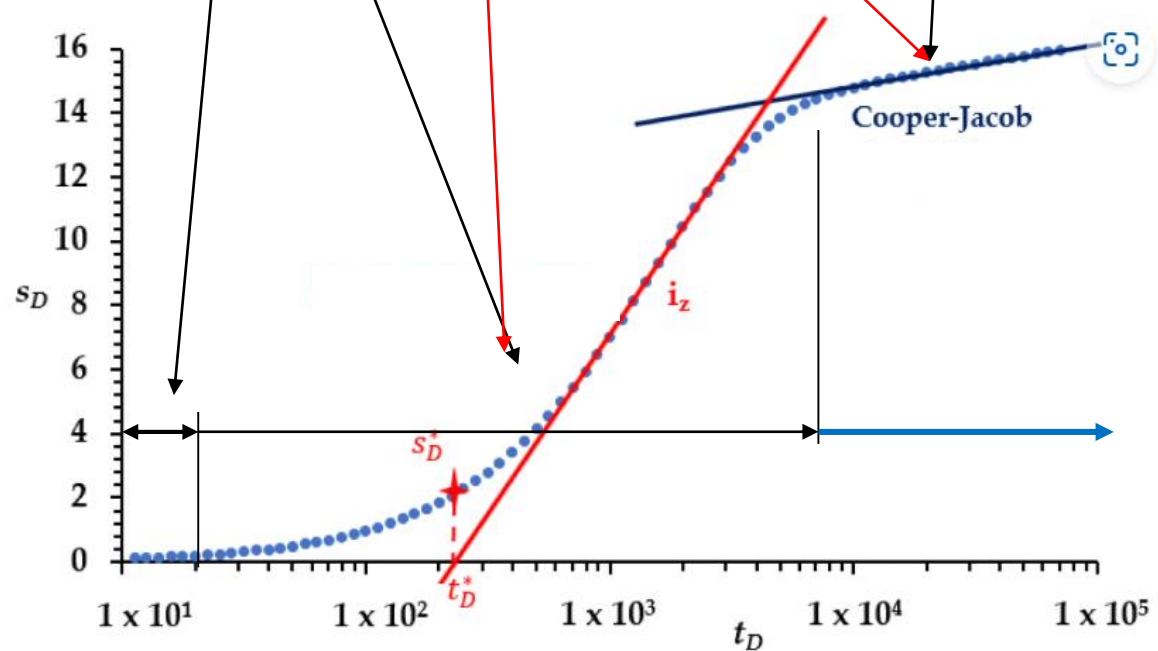
$$Q_{vst} = Q - C \frac{dh_w}{dt} \quad C = Q \frac{t_j}{t_j}$$

kde  $Q_{vst}$  je přitékající množství vody ze zvodněné vrstvy, and C je jednotkový faktor storativity vrtu.

## Čerpané množství vody z vrtu



kde  $Q_t$  je čerpané množství vody;  $Q_{ws}$  - přítok z vlastního objemu vrtu;  $Q_{aq}$  - přítok z kolektoru;



## Předpoklady řešení – reálného vrtu

- jedná se o proudění s napjatou hladinou do úplného vrtu
- gravitační síly jsou zanedbatelné
- zvodnělá vrstva je **homogenní a izotropní**
- **výška zvodnělé vrstvy**, kde dochází k proudění vody k vrtu je konstantní a má velikost  $b$
- úplný vrt se nachází v neomezené zvodnělé vrstvě - odkud vyplývá, že vnější hranice nemají vliv na průběh snížení v závislosti na čase
- koeficienty průtočnosti,  $T$  a storativity,  $S$  jsou konstantní v čase a prostoru
- přítok vody ze zvodnělé vrstvy do vrtu se mění během čerpací zkoušky z hodnoty  $Q_p = 0$  do konečného přítoku  $Q_p = Q = konst.$
- platí Darcyho zákon
- čerpané množství vody je konstantní (  $Q = konst.$  )
- - před začátkem čerpání tj. pro  $t = 0$  je piezometrická výška hladiny podzemní vody ve všech bodech zvodnělého prostředí konstantní a rovná se  $H$  - to platí i pro výšku hladiny vody ve vrtu
- **vrt je konečného objemu**
- koeficient storativity vrtu je konstantní a v průběhu čerpání se nemění jeho velikost
- **vliv dodatečných odporů na vrtu nelze zanedbat a dodatečné odpory působí jen do malé vzdálenosti od vrtu.**



## Regenerace vrtů

Při standardním používání vrtu je běžným procesem jeho **zanášení**. K provedení regenerace vrtu přistupujeme tehdy, pokud dojde k podstatnému snížení průchodnosti perforované části výstroje tzv. inkrustaci nebo **kolmataci**. Inkrustace je děj, při kterém dochází k ulpívání vrstvy chemického nebo biologického původu, na perforovaných stěnách výstroje vrtu. Na tvorbě této vrstvy se podílí zejména sloučeniny vápníku a hořčíku spolu se sloučeninami železa a manganu. Postupné zanášení perforované části vrtu se označuje jako **stárnutí studny**, čímž se myslí proces, při kterém dochází ke snížení vydatnosti vrtu v čase nebo ke snížení hladiny při neměnné vydatnosti.

Pokud vrt svou vydatností již kapacitně nevyhovuje, je provedena **kamerová prohlídka**, kterou se vizuálně kontroluje rozsah a typ inkrustace, **ověří se** skutečný **stav výstroje** vrtu a z této skutečnosti se navrhne vhodná metoda pro regeneraci vrtu. V dnešní době se jako možnosti regenerace používají metody mechanické, chemické a poměrně novou metodou je používání ultrazvuku. Vyhodnocení úspěšnosti provedené regenerace vrtu se následně provádí pomocí hydrodynamických zkoušek

## Teoretická část řešení:

**Parciální diferenciální rovnice axiálně-symetrického proudění** podzemní vody s napjatou hladinou v bezrozměrných parametrech

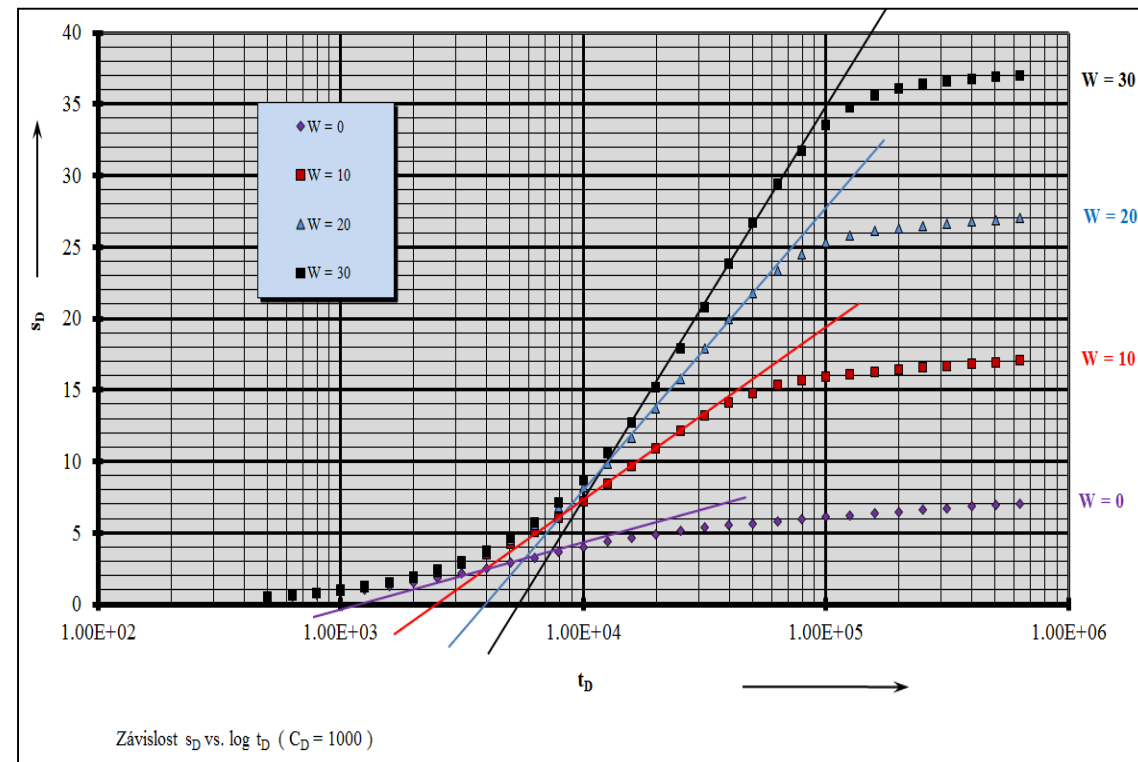
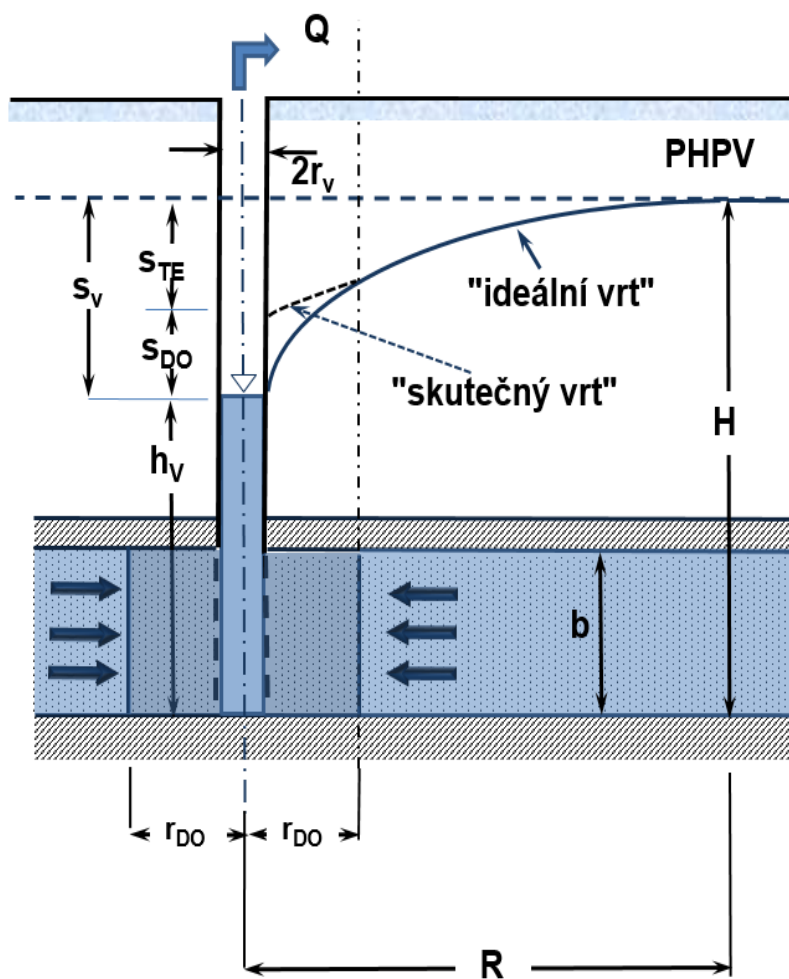
$$\frac{\partial^2 s_D}{\partial r_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{\partial s_D}{\partial r_D} = \frac{\partial s_D}{\partial t_D}$$

### Předpoklady :

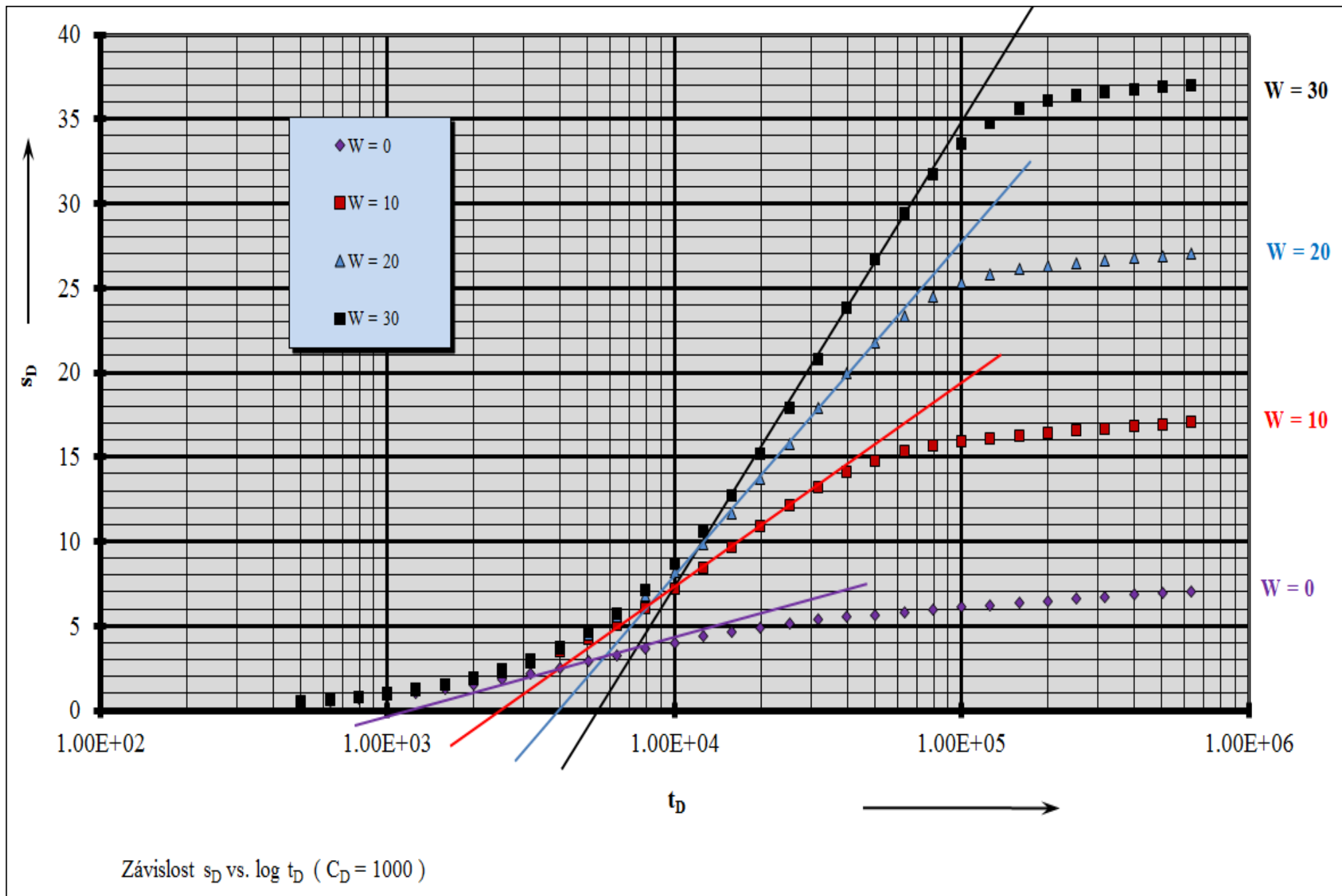
- zvodnělá vrstva je homogenní a izotropní
- výška zvodnělé vrstvy je konstantní
- úplný vrt v neomezené zvodnělé vrstvě
- koeficienty průtočnosti, T a storativity, S jsou konstantní
- přítok vody do vrtu se mění z  $Q_p = 0$  do konečné hodnoty  $Q_p = Q = \text{konst.}$
- platnost Darcyho zákona
- čerpané množství vody je konstantní (  $Q = \text{konst.}$  )
- v čase  $t = 0$  je piezometrická výška hladiny podzemní vody ve všech bodech zvodnělého prostředí konstantní a rovná se H
- **vrt je konečného objemu**
- **dodatečné odpory působí jen do malé vzdálenosti od vrtu.**

## Teoretická část řešení:

$$\frac{\partial^2 s_D}{\partial r_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{\partial s_D}{\partial r_D} = \frac{\partial s_D}{\partial t_D}$$



$$i_{ZD} = 0,86 W + 1,0127(\log C_D) + 1,0237$$





## Koeficient dodatečných odporů – skin factor

- Ustálené proudění**

$$s_v = \frac{Q}{2\pi T} \left( \ln \frac{R}{r_w} + W \right)$$

- Neustálené proudění**

Theisovo řešení:

$$s_v = \frac{Q}{4\pi T} (W(u) + 2W)$$

b) For  $t_D > 25$  (Jacobova semilog. metoda)

$$s_v = \frac{Q}{4\pi T} \left( \ln \frac{2.246Tt}{r_w^2 S} + 2W \right)$$



$$W = \frac{2\pi T s_v}{Q} - \frac{1}{2} \left( \ln t + \ln \frac{T}{r_w^2 S} + 0,8091 \right)$$

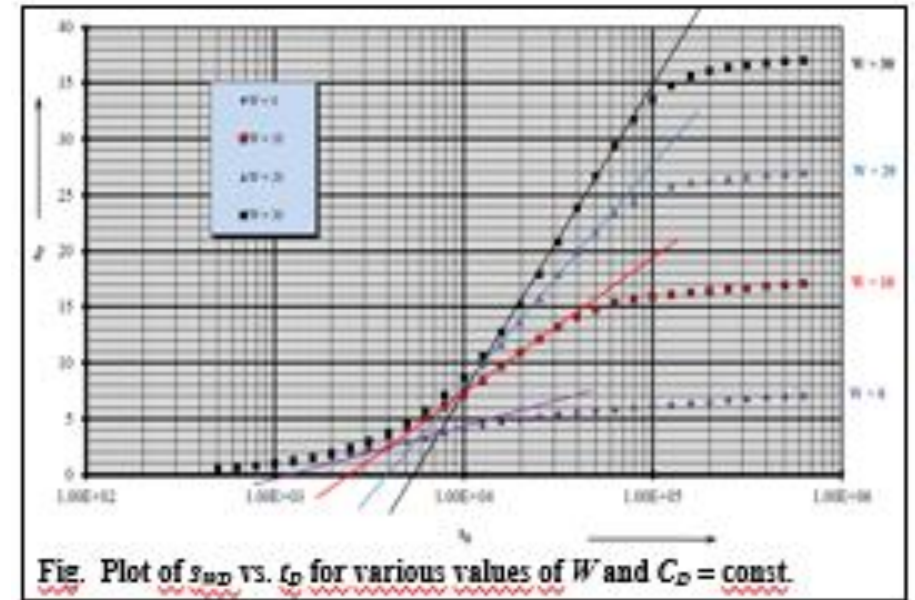
Pro snížení  $s_1$  (v čase  $t_1$ ) a  $s_2$  (v čase  $t_2$ )

$$s_2 - s_1 = \Delta s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \left( \log \frac{2.246T}{r_w^2 S} + \log t_2 + \frac{2}{2.3} W - \log \frac{2.246T}{r_w^2 S} - \log t_1 - \frac{2}{2.3} W \right)$$

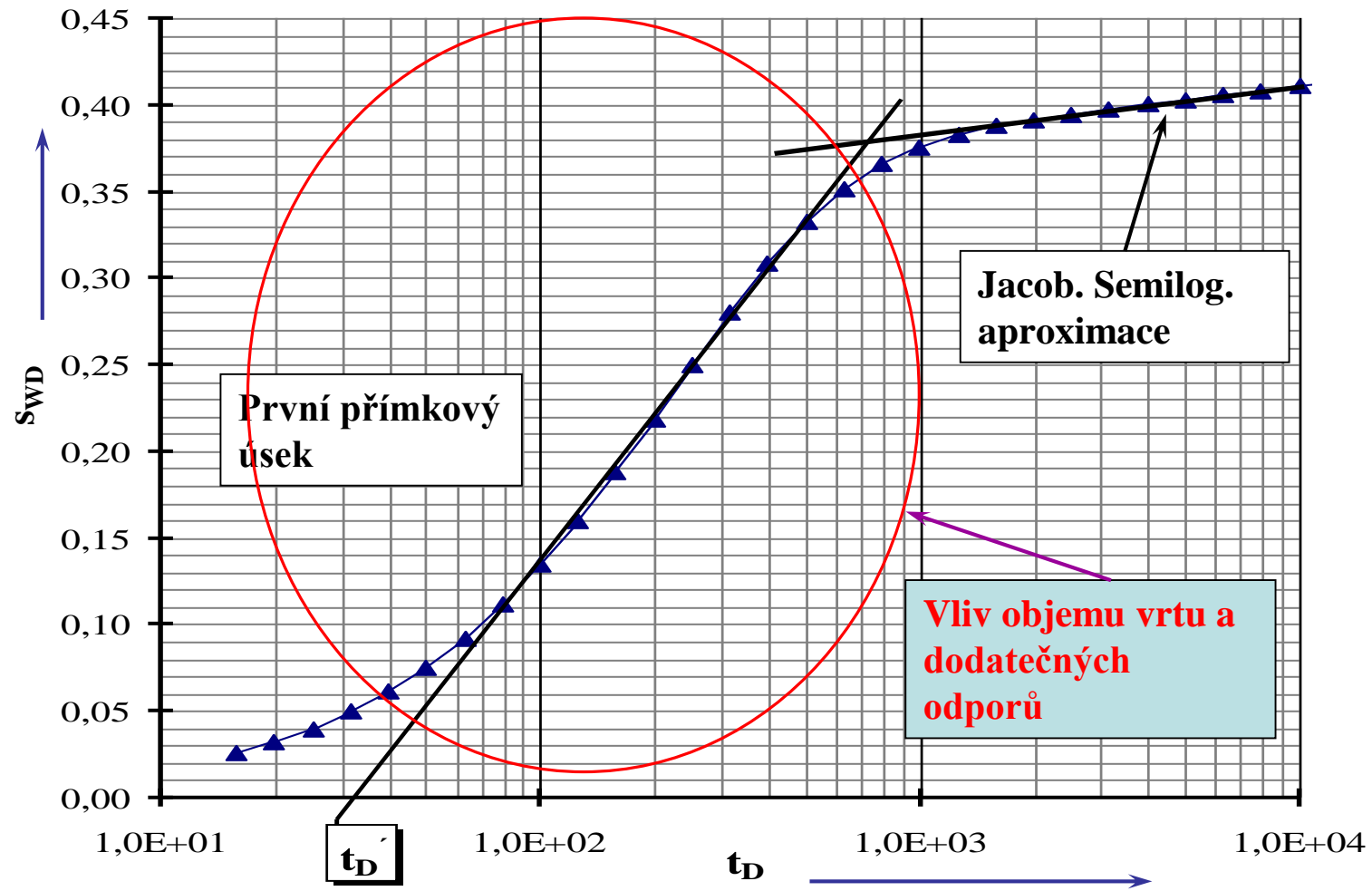
$$\Delta s = \frac{0.183Q}{T} \left( \log \frac{t_2}{t_1} \right)$$



Transmissivity, **T**

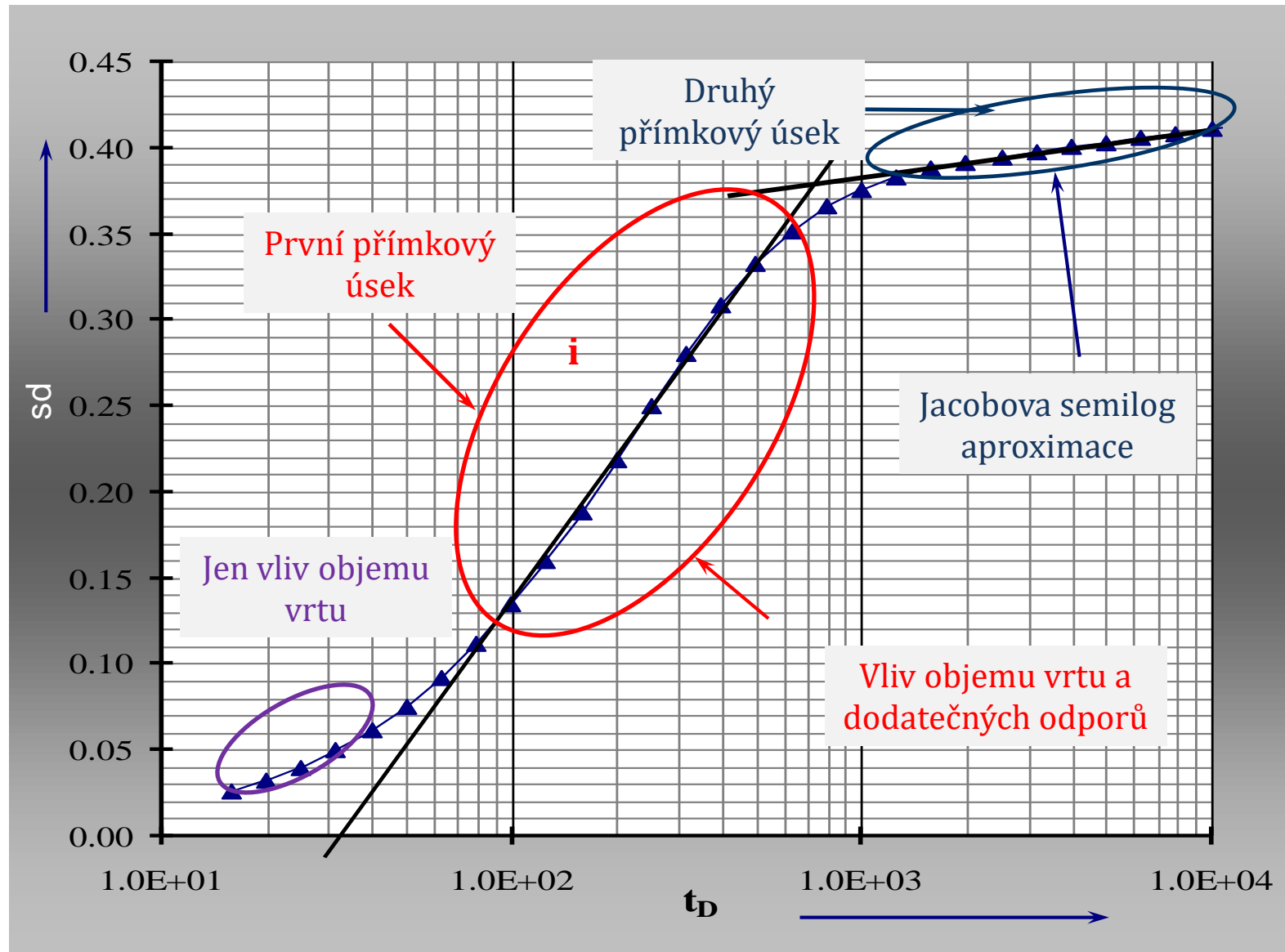


$$\Delta s = \frac{Q}{4\pi T} \left( \ln \frac{t_2}{t_1} \right)$$



Graf  $s_{WD}$  vs.  $\log t_D$  pro vrt se storativitou vrtu a dodatečnými odpory ( $C_D = 100$ ;  $W = 10$ )

# ČERPACÍ ZKOUŠKA NA REÁLNÉM VRTU



$$i_{ZD} = 0,86 W + 1,0127 (\log C_D) + 1,0237$$



## Studna S-V ve Veselí nad Lužnicí

Ve zde uvedeném příkladu byly uvažovány následující hodnoty :

- odčerpávané množství vody .....  $Q = 0,034 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- poloměr vrtu .....  $r_v = 1.5 \text{ m}$
- koeficient storativity .....  $S = 0.13$
- koeficient transmisivity .....  $T = 0,0109 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$
- koeficient dodatečných odporů : W

**Výpočet dodatečného snížení (způsobené skinovým efektem)**

$$s_{skin} = \frac{Q}{2\pi T} W$$



## Vyhodnocení regenerace na vrtu

**Studna S-V Veselí nad Lužnicí – mechanická regenerace**

*Poloměr vrtu*.....  $r_w = 1.5\text{ m}$

*Hloubka vrtu* .....  $h = 9\text{ m}$

**Jacobova semilog aproximace :**

*Transmisivita* .....  $T = 0,0109\text{ m}^2\text{ s}^{-1}$

*Storativita* .....  $S = 0,13$

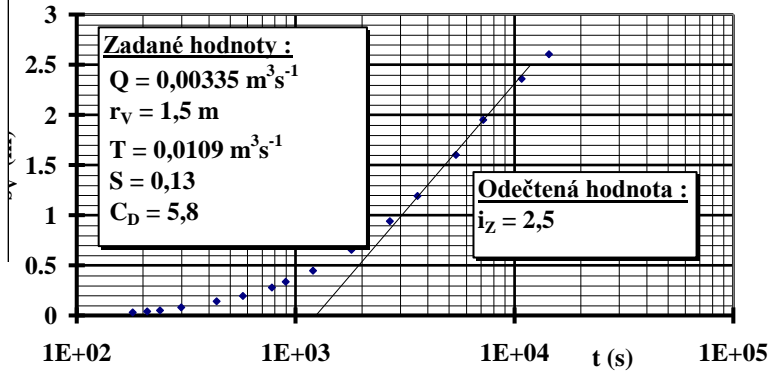
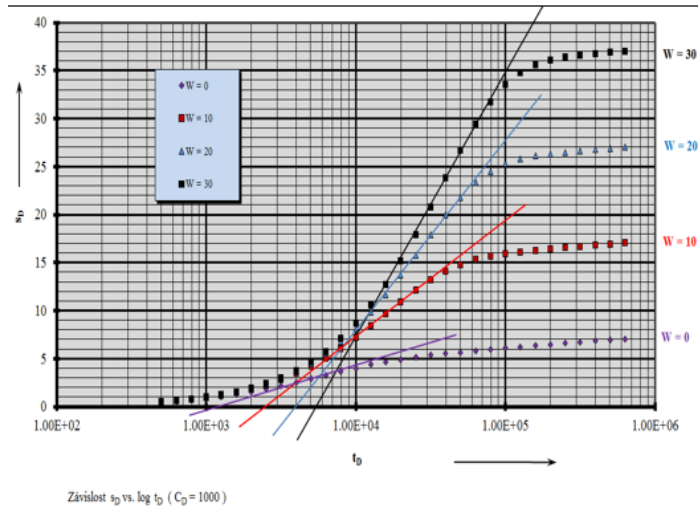
*Bezrozměrná storativita vrtu* ....  $C_D = 5.8$



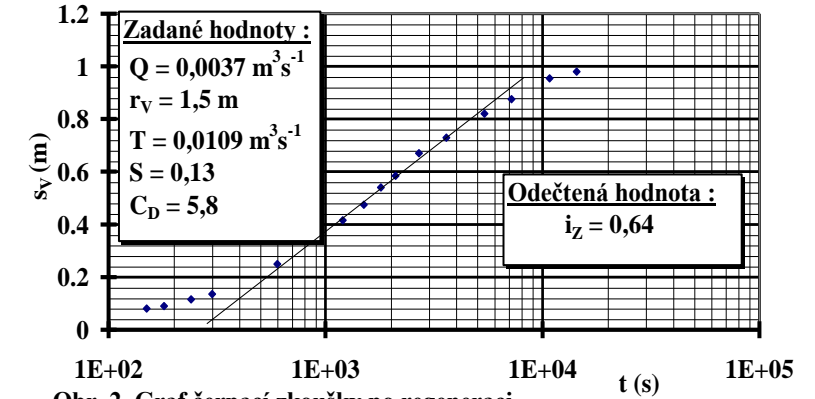
	<b>Před regenerací</b>	<b>Po regeneraci</b>	<b>1 rok po regeneraci</b>
$Q(\text{m}^3.\text{s}^{-1})$	$3.35 \times 10^{-3}$	$3.7 \times 10^{-3}$	$3.52 \times 10^{-3}$
<i>Délka testu (min)</i>	180	240	75



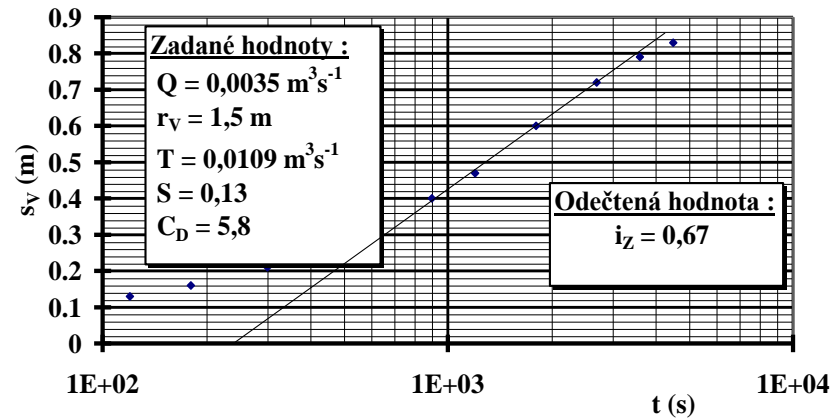
## Studna S-V ve Veselí nad Lužnicí



Obr. 1 Graf čerpací zkoušky před regenerací



Obr. 2 Graf čerpací zkoušky po regeneraci



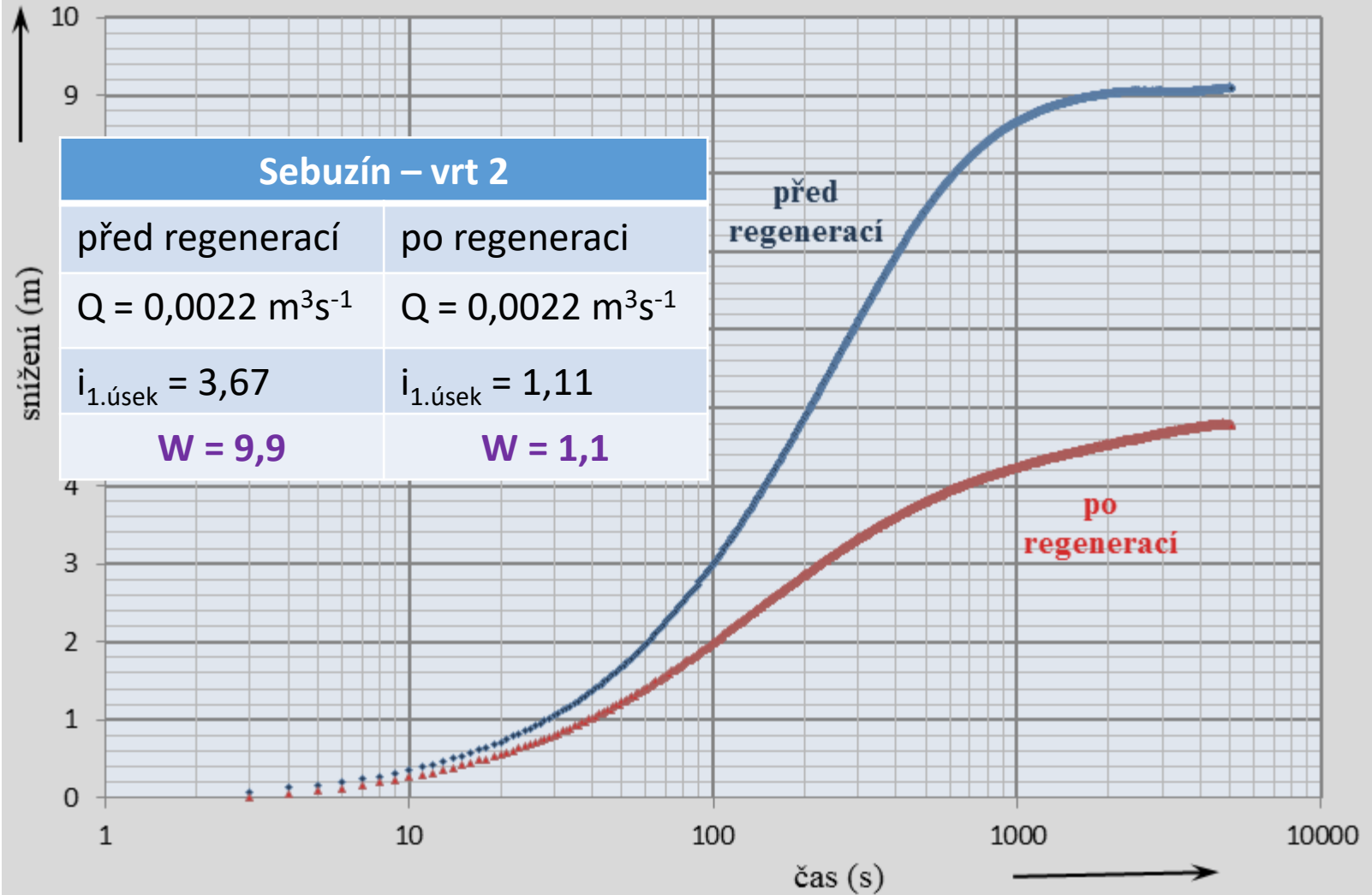
Obr. 3 Graf čerpací zkoušky po roce provozu od provedené

### Hodnoty koeficientu dodatečných odporů

	W z Jacobovy apr.	W z rovnice $i_{ZD}$	chyba (%)
před regenerací	43	51	19
po regeneraci	15	12	20
po roce provozu	19	14	26



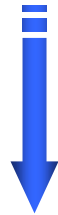
### Sebuzín - vrt 2 - čerpací zkouška před a po regeneraci



## Závěry

Provádět **cyklické krátkodobé čerpací zkoušky** – 1x za 5 ev. 10 let

- sledování „stárnutí vrtu“



je možné **stanovit** okamžik, kdy nastává nutnost  
**provedení regeneračního zásahu**

- **volba** optimální **regenerační techniky**
- efektivní vyhodnocení úspěšnosti regeneračního zásahu na vrtu pomocí hydrodynamických zkoušek



## Předpovědní úlohy (HPV)

**A) kvantitativní ( předvídání změn hladiny - PV  $\Leftarrow$  změny čerpání)**

**B) kvalitativní ( předvídání budoucích změn v kvalitě PV)**

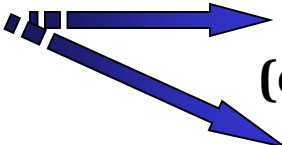
Pohybová rovnice  $\Rightarrow$  Darcyho vztah

$$\mathbf{v} = \mathbf{K} \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{s}} = \mathbf{K} \mathbf{J} \quad (\mathbf{v} = \mathbf{K} \nabla \mathbf{h})$$

$\mathbf{v}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}, \mathbf{t}); \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}, \mathbf{t})$  ... k úplnému popisu třeba další rovnice

**Bilanční rovnice** ( hmoty, energie ...)

Zavedení spojitého prostředí (kontinuum) x hmotné body(  
 $1\text{m}^3$  ...  $2,7 \cdot 10^{25}$  molekul)

Veličiny: 

**extenzivní** (hmota, hybnost, energie)  
(charakterizuje celé těleso jednou číselnou hodnotou)

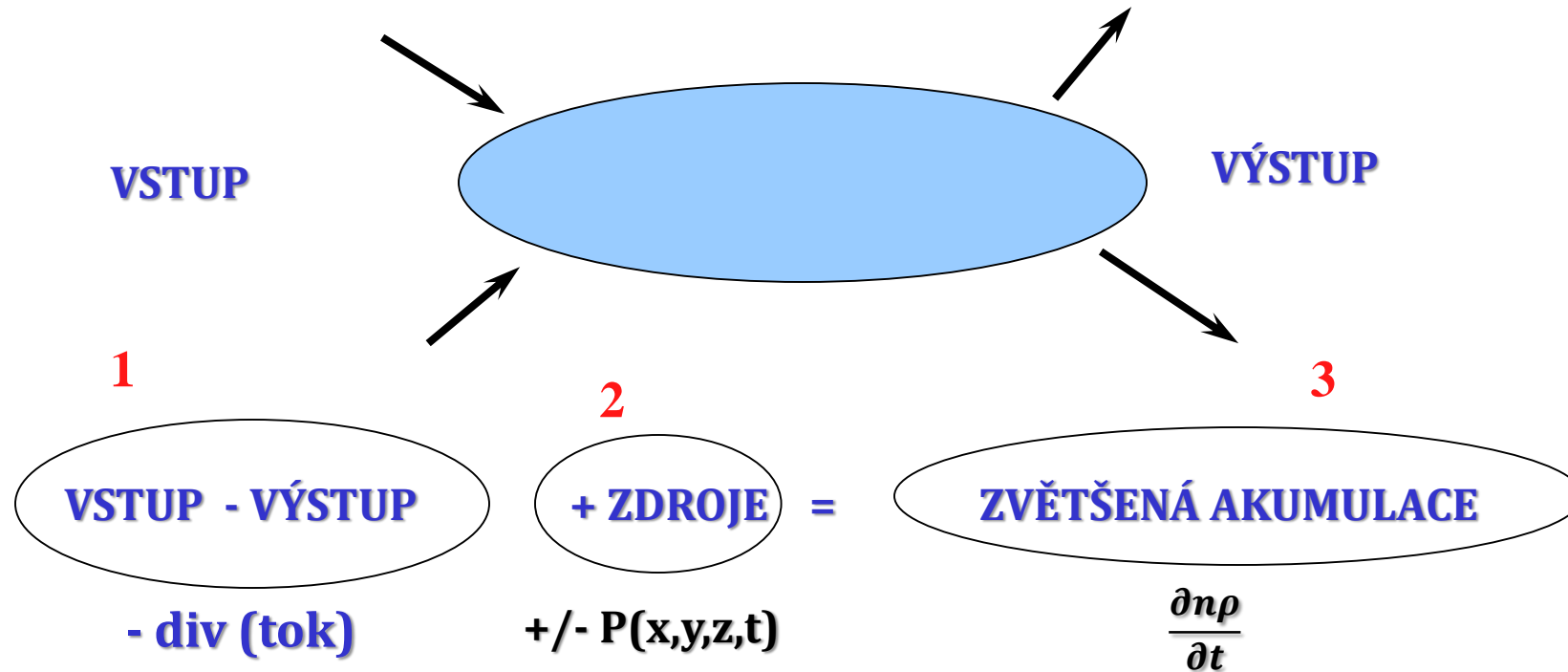
**intenzivní** (teplota, rychlost)  
(závisí na poloze ..  $\mathbf{v}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}, \mathbf{t})$ )

ext. veličinu lze nahradit intenzivní ... hustota extenzivní veličiny

Makroskop. popis el. objem - každá fáze jako kontinuum vyplňuje celý V

## Obecný tvar bilančních rovnic

Tok veličiny:  $J$  ( $J^* = \rho q = \rho v$  .. tok hmotnosti (hmota na jednotku plochy za jedn. čas))



$$-\left[ \frac{\partial(\text{tok})_x}{\partial x} + \frac{\partial(\text{tok})_y}{\partial y} + \frac{\partial(\text{tok})_z}{\partial z} \right] = \text{div}(\text{toku}) = -\nabla(\text{toku})$$

- 1** - tok veličiny jedn. plochou za jednotku času
- 2** - P - produkce veličiny v jednotkovém objemu za jednotku času
- 3** - přírůstek veličiny v jednotkovém objemu za jednotku času



# Řešení proudění v porézním prostředí

## 1) Hydraulické řešení

předpoklad - voda se šíří ve směru  $I$  ( závisí na změně  $I$  )

platnost **rovnice kontinuity** a **Darcyho vztah**

- dosažení hl. p. v.
- přesnější řešení z diferenciálních rovnic, numerické řešení

# Řešení proudění v porézním prostředí

## 2) fyzikálně chem. řešení

nejdokonalejší způsob výpočtu - transport jako interakce jednotlivých procesů transportu

## 3) modelové řešení : - laboratoř

- ověřování teoretických řešení

## 4) přímé měření :

po průniku kontaminace do podzemní vody, je-li vybudována pozorovací síť

nejpřesnější způsob, využití výpočetní techniky



# Modelování

**MODEL** - zjednodušená verze reálného systému  
zaměření - matematické a numerické model.

## Výběr modelu :

- důvody výzkumu
- dostupnost zdrojů (čas, peníze, zkušenosti řešitelů, VT)

- 1) fyzikální model
- 2) matematický
- 3) analytický
- 4) numerický

**1. Krok** - sestavení *konceptuálního modelu* ( soubor předpokladů a podmínek, které umožňují přiřadit reálnému systému adekvátní matematický model)

## **Konceptuální model (KM)**

- **definice zájmové oblasti**, určení *časové a prostorové variability* vlastností PP a jejich *anizotropie*
- *typ proudění ve zvodnělé vrstvě ... 1D, 2D, 3D,*
- *režim proudění (laminární, turbulentní)*
- **vlastnosti kapaliny** ( stlačitelnost...)
- výběr podstatných *stavových veličin a REV*
- umístění a charakter *okrajových podmínek*
- *přítomnost ostrých rozhraní ( kapalina x kapalina, volná hladina*
- *zdroje a propady vody*
- *podmínky na hranici oblasti*





## 2. Krok vyjádření KM ve formě **matematického modelu**

- def. **geometrie oblasti** a jejích hranic
- **seznam proměnných** (v, h, ...)
- **bilanční rovnice** extenzivních veličin ( hmota...)
- **další rovnice** ... např. pohybová
- **specifikace numerických hodnot všech koeficientů**
- **počáteční podmínky**
- **hraniční podmínky**

**Z matematického hlediska** - dobře postavený model musí splňovat :

- **existence řešení**
- daný problém musí mít **pouze jedno řešení**
- **řešení musí být stabilní** ( malé změny dat  $\Rightarrow$  malé změny v řešení

**Numerický simulační model** - řídicí rovnice matematického modelu – analytické řešení jen pro jednoduché úlohy  $\Rightarrow$  složitější úlohy numerické řešení v podobě počítačových modelů.



### **Vstupní data numerického modelu:**

- geometrické a materiálové údaje oblasti
- parametry pro určení koeficientů řídicích rovnic
- hodnoty okrajových a počátečních podmínek
- časová a prostorová diskretizace řídicích rovnic

**Modelový výstup:** informace o časoprostorovém vývoji stavových veličin uvnitř oblasti v průběhu simulovaného období ... změny v *tlakovém, rychlostním a koncentračním* poli.

**Součást výstupu:** celková bilance množství vody a látek v oblasti a toky přes hranice oblasti.

### **Identifikace parametrů:**

pro řešení nutno znát hodnoty všech modelových parametrů.

Většina parametrů má jasný fyzikální význam – **identifikace měřením**.  
Identifikace parametrů reálných přírodních systémů –  
**značná časová a prostorová variabilita a často obtížná měřitelnost.**





## Při řešení řada zjednodušujících podmínek, např.

**ustálený** x **neustálený** režim proudění

**homogenní** x **nehomogenní** vrstva

**izotropie** zvodělé vrstvy

**laminární** x **turbulentní** režim ( platnost Darcyho r.)

**tvár zvodněné vrstvy** s okrajovými podmínkami

výška zvodnělé vrstvy, napjatá x volná hladina

**počáteční podmínky** v čase  **$t=0$** , ...

uvažování stlačitelnosti a roztažnosti kapaliny a horninového prostředí

**transmisivita** (ne)konstantní v čase a prostoru

**storativita**

**okrajové podmínky pro  $h, v, c$  :**

**Z numerických metod** nejpoužívanější **FDM** a **FEM**

Výhoda SIMMOD ( simulačních modelů)

-nevyžadují pravidelný tvar hranic řešené oblasti

-nemusí být homogenní oblast

-na částech hranic mohou být různé podmínky

# MODELOVÁNÍ

- **Identifikace problému**

- Důležité prvky modelování
- Vztahy a interakce mezi nimi
- Stupeň přesnosti

- **Konceptualizace a vývoj**

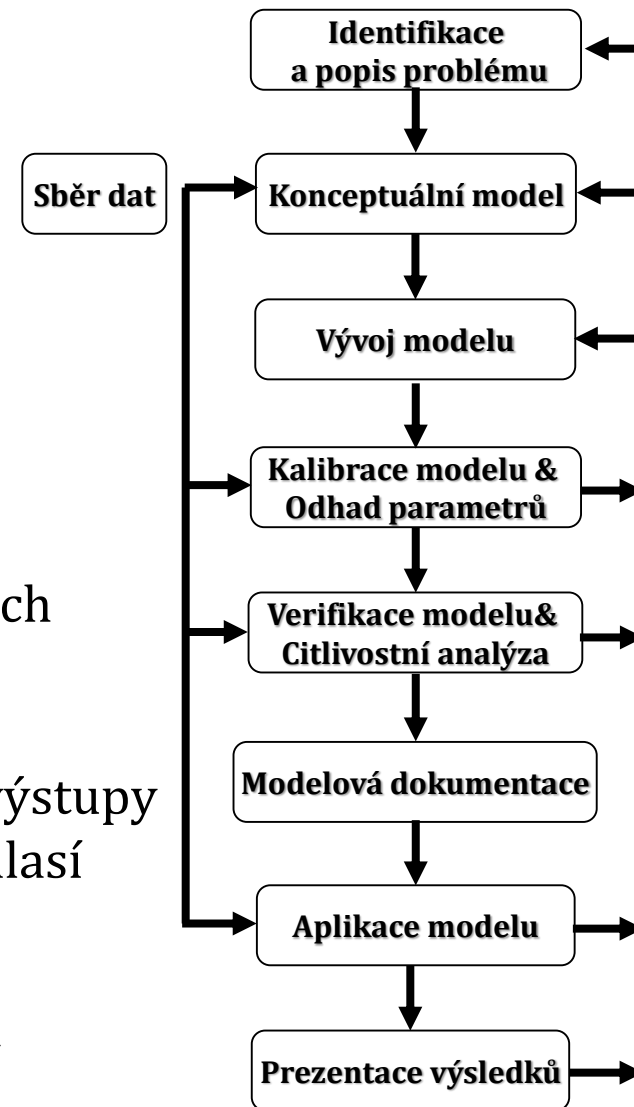
- Matematický popis
- Typ modelu
- Numerická metoda- počítačový kód
- Grid, hraniční a počáteční podmínky

- **Kalibrace**

- je soubor úkonů, kterými se za specifikovaných podmínek stanoví vztah mezi veličinami
- Odhad modelových parametrů
- Modelové výstupy srovnány se skutečnými výstupy
- Parametr se upravují dokud hodnoty nesouhlasí

- **Verifikace**

- Nezávislá sada vstupních dat použita
- Výsledky jsou srovnány s měřenými výstupy
- *Cílem verifikace je, že model funguje správně*



## HPPV; HPV- okruhy ke zkoušce ..... 2024/2025

- 1) Jednotky a veličiny v hydraulice, dělení.
- 2) Druhy sil – dělení – příklady.
- 3) Základní fyzikální vlastnosti kapalin ( měrná hmotnost, stlačitelnost, roztažnost, viskozita kapilarita- kapilární výška).
- 4) Tlak-rovnice určení tlaku v libovolném místě kapaliny (**vztah pro tlak**). Vlastnosti tlaku.
- 5) Pojmy-tlaková výška, relativní a absolutní pojetí tlaku, přetlak a podtlak. Hydrostatický tlak.
- 6) Hydrostatické síly. Zatěžovací těleso, zatěžovací obrazce-aplikace na podzemní vody.
- 7) Vysvětlete pojmy trajektorie, proudnice, proudová trubice, ekvipotenciála- nakreslete schéma.
- 8) Dělení proudění podle různých kritérií – vysvětlení.
- 9) Vysvětlete pojmy: bodová rychlost, průřezová rychlost, průtok, průtočný průřez a jeho plocha, omočený obvod, hydraulický poloměr, sklon.
- 10) Ideální a skutečná kapalina. Základní pojmy v hydrodynamice ( $Q$ ,  $v$ ,  $i$  .....)
- 11) Rovnice kontinuity pro ustálené proudění nestlačitelné kapaliny.
- 12) Bernoulliho rovnice pro ideální a skutečnou kapalinu – vysvětlit jednotlivé členy (Sestavení B. r. – ČE a TČ)
- 13) Laminární a turbulentní proudění, Reynoldsovo číslo (kritická hodnota  $Re$  ... vysvětlení).

## HPPV; HPV- okruhy ke zkoušce ..... 2024/2025

- 14) Hydrologický cyklus. Základní bilanční rovnice.
- 15) Podpovrchové vody – dělení. Celkové zásoby vod.
- 16) Dělení podpovrchových vod podle původu.
- 17) Dělení podpovrchových vod podle převažujícího vlivu sil. Povrchové napětí – kapilarita.
- 18) Základní pojmy z hydrauliky podzemních vod.
- 19) Klasifikace PPV dle výskytu v půdním profilu, dle propustnosti horninového prostředí.
- 20) REV-schéma.
- 21) Druhy zvodněných vrstev. Kapilarita.
- 22) (Ne)Homogenní a (an)izotropní zvodněné prostředí.
- 23) Hydraulické vlastnosti zvodněného prostředí. Měrná hmotnost. Pórovitost (druhy), permeabilita, hydraulická vodivost, transmisivita, storativita
- 24) Storativity volná (pro zvedení s volnou hladinou)
- 25) Specifická storativita (efektivní napětí)
- 26) **Rovnice kontinuity a Bernoulliho rovnice** – pro proudění podzemní vody.
- 27) Hydraulická výška, hydraulický gradient (spád)
- 28) Skutečná a filtrační (darcyovská) rychlost. **Darcyho vztah pro rychlost**. Permeometr.
- 29) Reynoldsovo filtrační číslo. Specifický průměr- např.  $d_{10}$ .
- 30) Meze platnosti Darcyho vztahu.

## HPPV; HPV- okruhy ke zkoušce ..... 2024/2025

- 31) Ztráty při proudění porézním prostředím – určení z Bernoulliho rovnice.
- 32) Vrstevnaté porézní prostředí- určení ekvivalentní hydraulické vodivosti – vertikální a horizontální.
- 33) Počáteční a okrajové podmínky.
- 34) Ustálený průsak s napjatou a volnou hladinou.
- 35) 2D průsak (Laplaceova rovnice) – Proudová síť – vysvětlit.
- 36) Hydraulika studní. Technologie zhotovení. Výhody a nevýhody kopaných a vrtaných studní.
- 37) Snížení, depresní kužel, depresní křivka, dosah depresního kuželu, snížení ve studni, hladina podzemní vody, piezometrická hladina podzemní vody.
- 38) Vliv K, T, S na depresní křivku.
- 39) Studny (vrty) dělení – podle různých kritérií.
- 40) Hydrodynamické zkoušky na vrtech - dělení
- 41) Schéma (ne)úplného vrtu ve zvodnělé vrstvě s volnou (napjatou) hladinou.
- 42) Řešení ustáleného proudění k vrtu v napjatém a volném kolektoru
- 43) Dupuitovy předpoklady.
- 44) Neustálené proudění podzemní vody k vrtům. Radiální souřadnice.
- 45) Základní předpoklady Theisova řešení.



## HPPV; HPV- okruhy ke zkoušce ..... 2024/2025

- 46) Theisova metoda typové křivky.
- 46) Cooper-Jacobova semilogaritmická aproximace – určení  $T, S$ . Části semilog grafu  $s$  vs  $\log$ . času)
- 47) Řešení neustáleného proudění k vrtům ve volné zvodni.
- 48) Stoupací zkoušky, jak se řeší snížení při stoupací zkoušce.
- 49) Řešení vrtů v blízkosti hranice (nepropustné, napájecí).
- 50) Soustavy vrtů – řešení.
- 51) Dodatečné odpory na vrtu a jeho blízkém okolí.
- 52) Zahrnutí dodatečných odporů do určení snížení za ustáleného a neustáleného proudění vody k vrtům.
- 53) Určení transmisivity a storativity na „reálných vrtech“ (vrtech s dodatečnými odpory).
- 54) Obecný tvar bilančních rovnic.
- 55) Modelování proudění podzemních vod.
- 56) Konceptuální model, matematický model.

A photograph of a cave interior. A stream of water flows through the center of the cave, surrounded by dark, jagged rock formations. The water is clear and reflects the surrounding rocks. The lighting is dramatic, with strong highlights on the rocks and deep shadows in the crevices.

Konec

Přednáška\_8