# Regenerace vrtů ultrazvukem a hodnocení úspěšnosti snížení dodatečných odporů

Ing. Daniel KAHUDA, PhD. – VODNÍ ZDROJE, a.s.

Prof. Ing. Pavel PECH, CSc. – KVHEM, FŽP, ČZU

HGIG Ústí nad Labem 2022

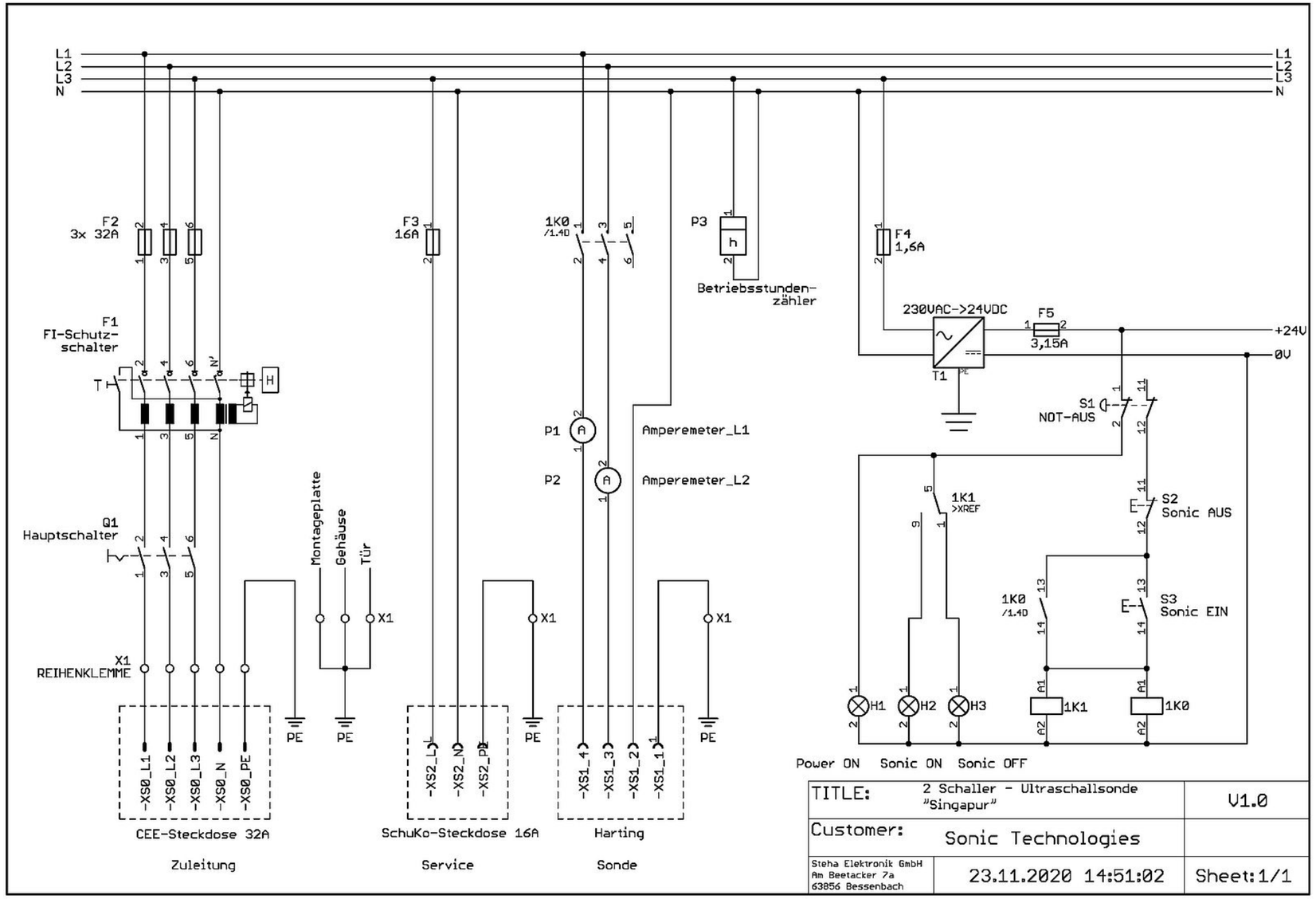
VODNÍ ZDROJE AKCIOVÁ SPOLEČNOST

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

# ULTRAZVUKOVÁ SONDA (dle projektu TAČR TH02030421 ULTRA)

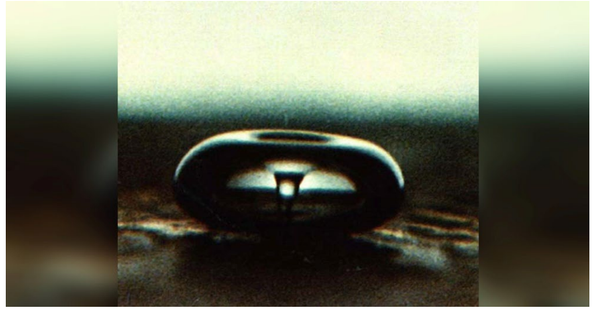
TECHNICKÉ PARAMETRY:
2-3x magnetostrikční emitor
pracovní frekvence: 20kHz
výkon: 5,0-7,5kW

# MAGNETOSTRIKČNÍ EMITOR (SONIC TECHNOLOGIES, GmbH.)

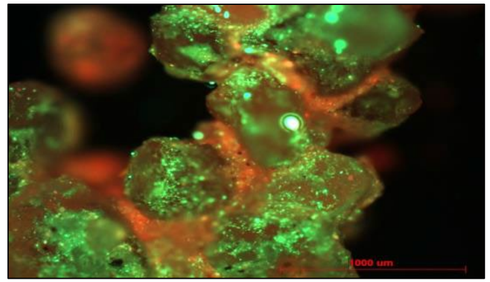


# MECHANICKÉ ÚČINKY ULTRAZVUKU V REGENEROVANÝCH VRTECH (předpokládané)

PROCESY V MIKROSKOPICKÉM MĚŘÍTKU PŮSOBÍ S MECHANICKÝM ÚČINKEM NA MAKROSKOPICKÉ ÚROVNI:



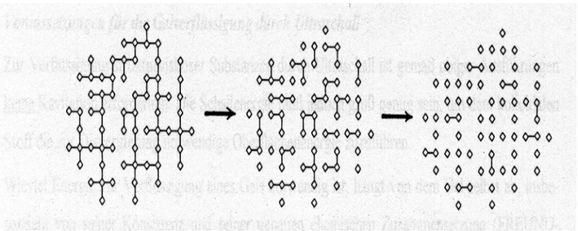
- KAVITACE: proud ultrazvuku vede k podtlaku v kapalině a vzniku kavitačních bublin, při jejich implozi je uvolněn mechanický ráz




- DEFORMACE: rozdílná mechanická deformace na rozhraní materiálů

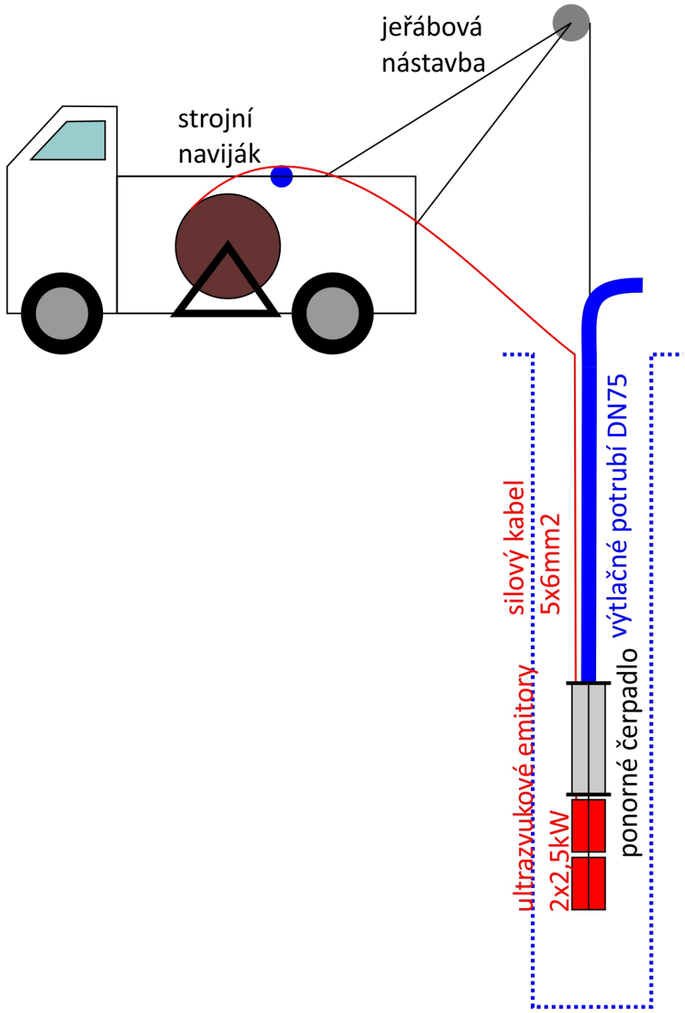
- OBRUS: pohybem částic obsypu

- DEGRADACE MAKROMOLEKUL: mechanickým namáháním, určitý stupeň letality pro viry a baktérie



# MECHANICKÉ ÚČINKY ULTRAZVUKU V REGENEROVANÝCH VRTECH

## (sledované in situ)




**$MnO_2$**

**$(Fe_2O_3 \cdot nH_2O)$, $Fe(OH)_3$**

# VYHODNOCENÍ ÚČINKŮ REGENERACE

- OPTICKÁ INSPEKCE – ponorná kamera
- GEOFYZIKÁLNÍ METODY – (hydro) karotáž
- HYDRAULICKÉ METODY – poměr snížení hladiny k čerpané vydatnosti

  - provozní monitoring:

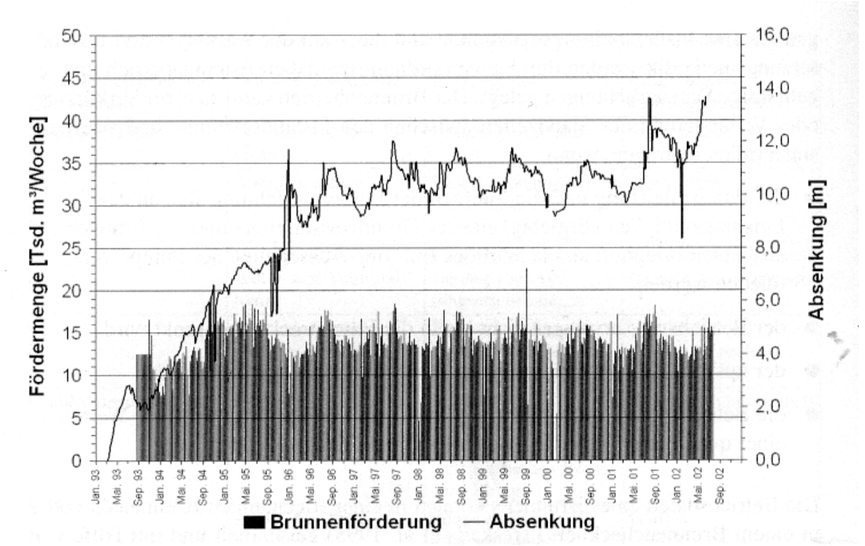
  - vyhodnocení dle specifické vydatnosti: $\mathbf{q} = \frac{Q_p}{s}$

    kde: q – specifická vydatnost [$L^3/T/L$], $Q_p$ – provozní vydatnost [$L^3/T$], $s$ – provozní snížení hladiny [L]

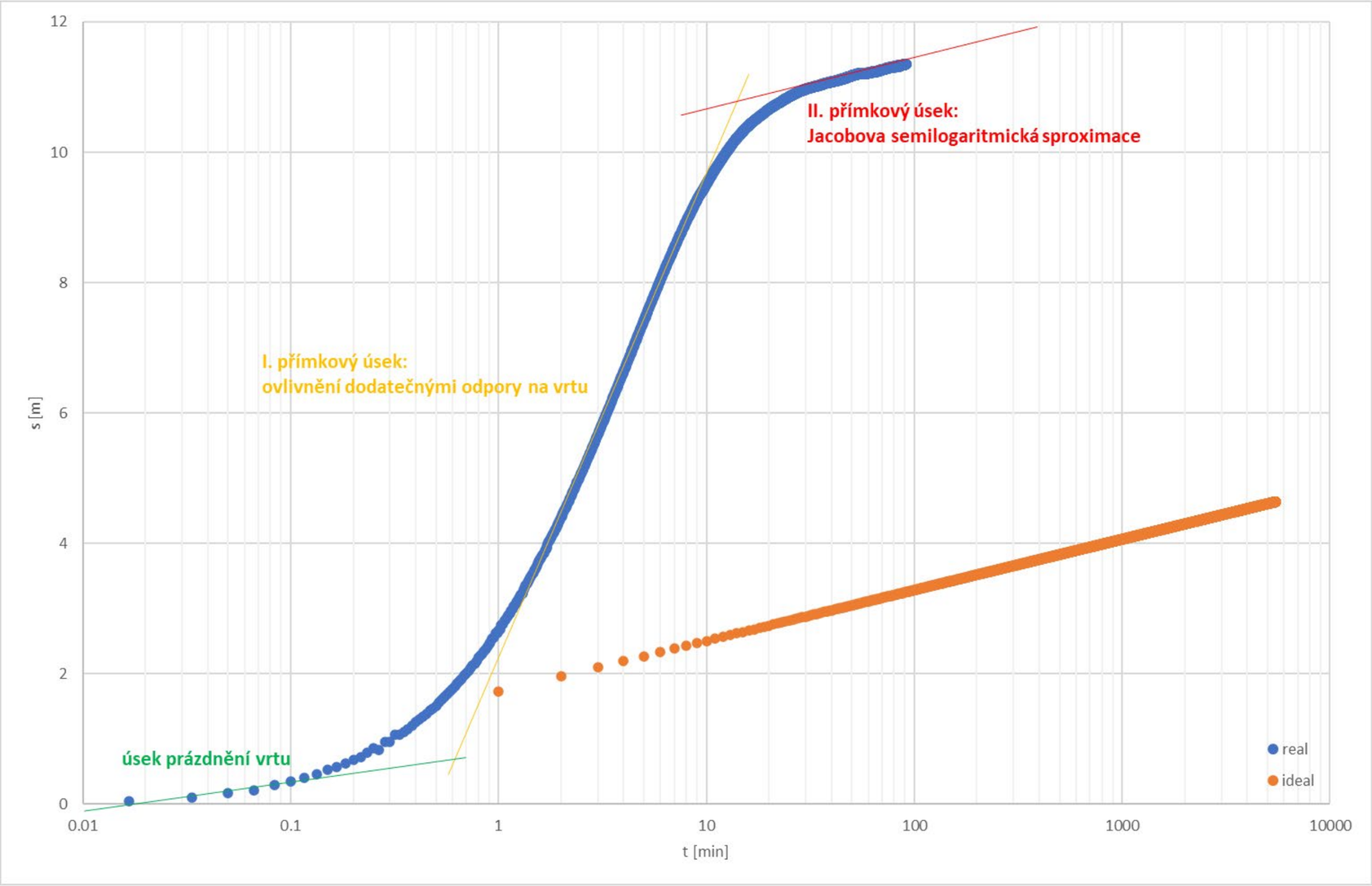
  - vyhodnocení efektivity čerpání (Sørensen, 1988): $s_{teor} = \frac{2.3Q}{4\pi T} log\left(\frac{2.25Tt_m}{r_w^2 S}\right)$

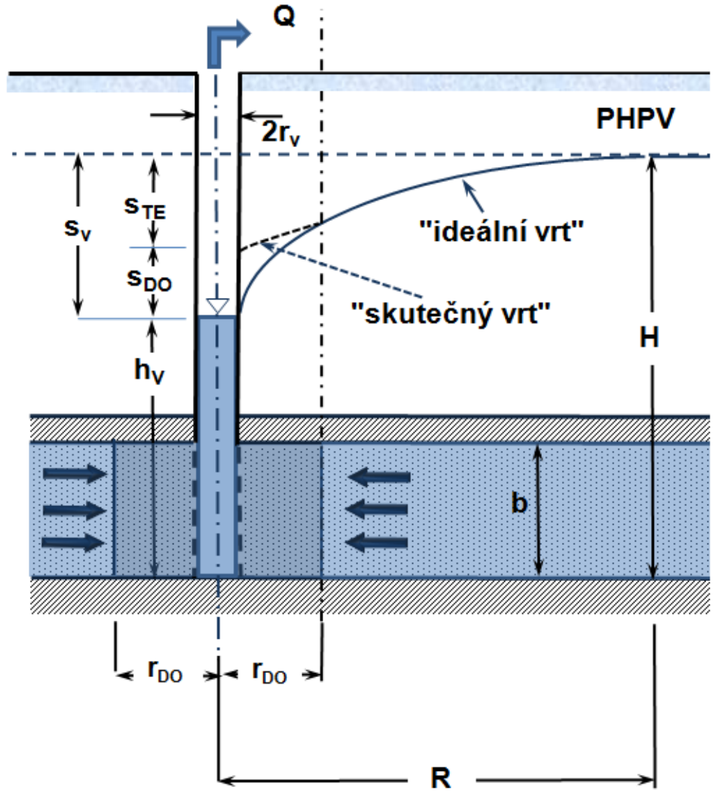
    kde: T – transmisivita [$L^2/T$], $t_m$ – referenční čas [T], $r_w$ – poloměr vrtu [L], $S$ – storativita [-]

  - metodou dle Agarwala: hodnocení úseku prázdnění vrtu a počátečního přímkového úseku



# IDEÁLNÍ vs. REÁLNÝ VRT




VLIV VLASTNÍHO OBJEMU VRTU ~ STORATIVITA VRTU

VLIV DODATEČNÝCH TLAKOVÝCH ODPORŮ ~ SKIN EFFECT

# DODATEČNÉ ODPORY

## souhrn tlakových odporů – lineárních i nelineárních:

*a)* *kolmatací* ($s_1$) tj. ucpáváním pórů obsypu, rozhraní horninového prostředí a perforačních otvorů

- *I.* *mechanická kolmatace* ($s_{1.1}$): zanášení porézního prostředí zejména jemnozrnným sedimentárním materiálem. Dochází k ní přirozeně zejména na rozhraní horninové prostředí/obsyp vrtu v závislosti na gradientu hladiny při vtoku vody do jímacího vrtu, nebo vlivem reziduí vrtného výplachu či těsnění vrtu.
- II. c*hemická kolmatace vrtu* ($s_{1.2}$): zanášení porézního prostředí produkty oxidace (zpravidla Fe, Mn a Ca), tvorba tvrdých minerálních nárůstů (inkrust). Projevuje se zejména v perforačních otvorech na rozhraní obsyp vrtu/výstroj vrtu.
- *III.* *biologická kolmatace vrtu* ($s_{1.3}$): doprovodný efekt oxidačně-redukčních procesů a jeho produktem jsou polotekuté šlemy (biofilm).

*b)* *zmenšením aktivního průřezu stěny vrtu* pro přítok vody ($s_2$) tam, kde je stěna vrtu tvořena filtrem, perforovanou pažnicí apod.

*c)* *neúplným průnikem* ($s_3$) - neúplným otevřením mocnosti zvodnělé vrstvy vrtem (tzv. neúplné vrty)

*d)* *třením* ($s_5$) vody o stěny vrtu a jejím vnitřním třením (do této skupiny zařazujeme i dodatečné odpory vznikající turbulencí uvnitř vrtu)

*e)* *turbulentním režimem proudění* ($s_6$) ve zvodnělé vrstvě, zejména v blízkosti odběrového vrtu

f) dalšími druhy dodatečných odporů ($s_n$)

## výsledné snížení ~ součet všech vlivů:

$$s_{DO} = s_{skin} = \sum_{i=1}^{n} s_i$$

$$s_V = s_{TE} + s_{DO}$$

kde: $s_{TE}$ - je teoretické snížení hladiny vody na “ideálním” vrtu (nulové dodatečné odpory) [L], $s_W$ - dodatečné snížení vody ve vrtu způsobené vlivem dodatečných odporů [L]

# kvantifikace DODATEČNÝCH ODPORŮ

při zanedbání části snížení, které připadá na působení nelineárních odporů je velikost dodatečného snížení závislá na odebírané vydatnosti (van Everdingen, 1953):

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

kde: $W$ – bezrozměrný koeficient dodatečných odporů [-]; $s_{DO}$ – snížení způsobené dodatečnými odpory [L]

zahrnutí $s_{DO}$ do celkového snížení na „skutečném“ vrtu v kolektoru s napjatou hladinou:

a) STACIONÁRNÍ PROUDĚNÍ (dle Thiema):

$$s_V = \frac{Q}{2\,\pi\,T}\left(ln\frac{R}{r_V} + W\right) \longrightarrow \mathrm{W} = \frac{2\,\pi T s_V}{Q} - ln\frac{R}{r_V}$$

kde: $R$ – dosah depresního kuželu [L]; $r_V$ – poloměr vrtu [L]; $W$ – koeficient dodatečných odporů [-]

b1) NESTACIONÁRNÍ PROUDĚNÍ (dle Theise):

$$s_V = \frac{Q}{4\,\pi T}(W(u) + 2W) \longrightarrow \mathrm{W} = \frac{2\,\pi T s_V}{Q} - W(u)$$

kde: $W(u)$ je Theisova studňová funkce a $W$ je bezrozměrný koeficient dodatečných odporů.

b2) NESTACIONÁRNÍ PROUDĚNÍ (dle Jacoba):

$$s_V = \frac{Q}{4\,\pi T}\left(ln\frac{2{,}246\,Tt}{r_V^2 S} + 2W\right) \longrightarrow W = \frac{2\,\pi T s_V}{Q} - \frac{1}{2}\left(lnt + ln\frac{T}{r_V^2 S} + 0.8091\right)$$

# vyhodnocení dodatečných odporů ze sklonu počátečního úseku hydrodynamické zkoušky (Agarwal, R.G., 1970, Pech, P. 2010)

a) převedení na bezrozměrné parametry (Lee, 1982) - redukce počtu neznámých, nezávislost řešení na použitém systému jednotek:

bezrozměrné snížení:

$$s_D(r_D,\ t_D) = \frac{2\,\pi\,T}{Q}\left(H - h(r,t)\right)$$

bezrozměrný čas:

$$t_D = \frac{T\,t}{r_v^2\,S}$$

bezrozměrný koeficient storativity vrtu:

$$C_D = \frac{C}{2\pi\,r_V^2\,S}$$

bezrozměrný sklon prvního přímkového úseku:

$$I_{1PD} = \frac{2\,\pi\,T\,I_{1P}}{Q}$$

b) počáteční a okrajové podmínky – v bezrozměrných parametrech:

$$s_D(r_D, 0) = 0 \qquad s_D(r_D, t_D) = 0\ pro\ r_D \to \infty$$

c) řešení v Laplaceově prostoru:

$$\overline{s_D} = \frac{K_0\left(p^{\frac{1}{2}}\right) + W\,p^{\frac{1}{2}}\,K_1\left(p^{\frac{1}{2}}\right)}{p\left[p^{\frac{1}{2}}K_1\left(p^{\frac{1}{2}}\right) + C_D\,p^{\frac{1}{2}}\left(K_0\left(p^{\frac{1}{2}}\right) + W p^{\frac{1}{2}}\,K_1\left(p^{\frac{1}{2}}\right)\right)\right]}$$

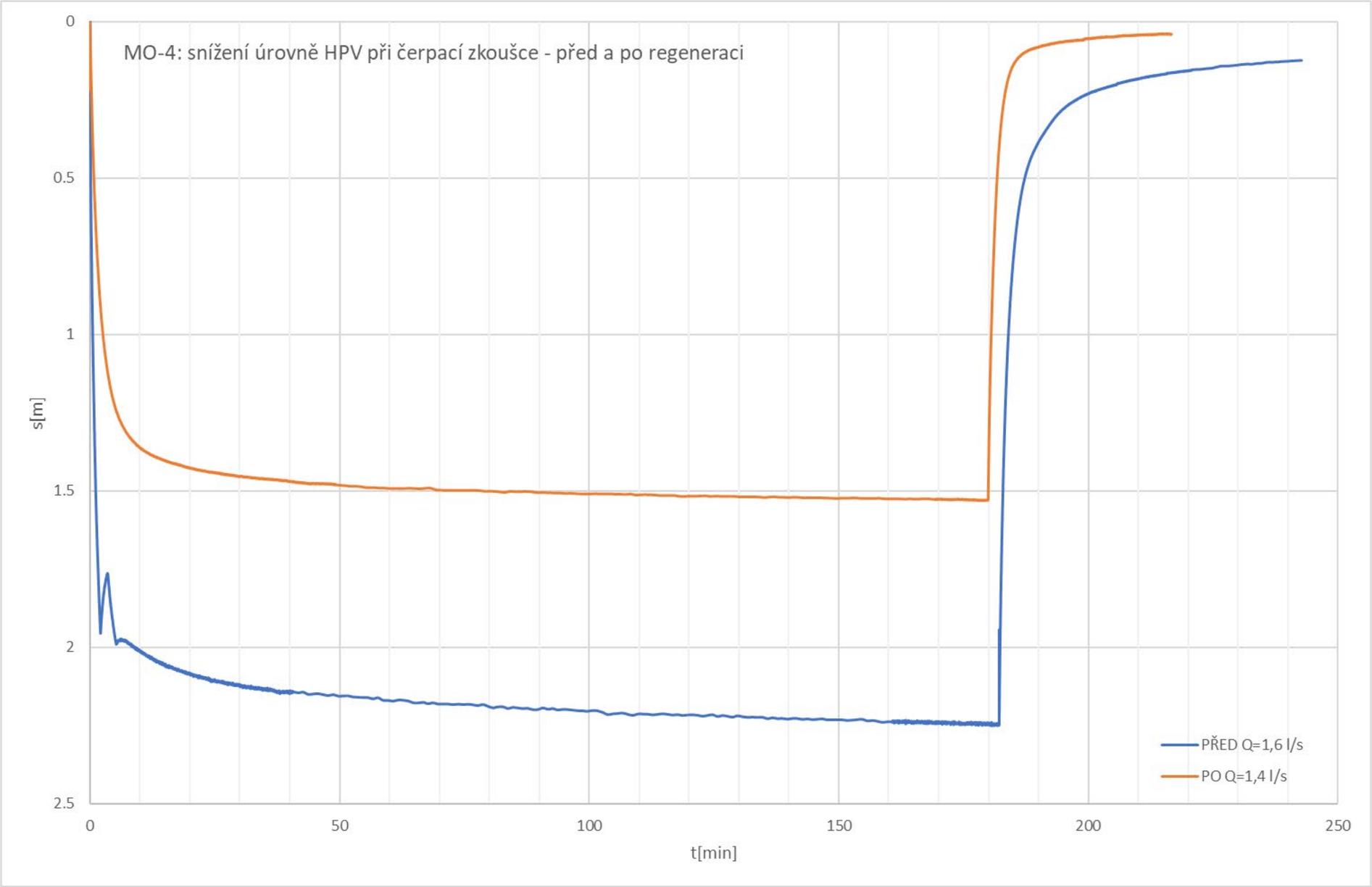
d) aplikací algoritmu Stehfest 368 a úpravou pro závislost W$(I_{1PD}, C_D)$ $(Pech, 2010)$:

$$W = \frac{1}{0{,}86}\left(\frac{2\pi\,T\,I_{1P}}{Q} - 1{,}027\,log\,C_D - 1{,}0237\right)$$

# aplikace 1: vrt Vlastislav MO-4, SČVK, a.s. (2021)

| | HDZ 31.10.-11.11.2014 | | PŘED | PO | | | změna |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ČZ | SZ | 23.4.20 | 8.3.21 | 23.3.21 | | |
| **Q[l/s]** | 2.18 | 4 | 1.59 | 1.40 | 1.40 | čerpaná vydatnost | |
| **$h_w$[m OB]** | 31.4 | 31.4 | 31.4 | 34.1 | 34.1 | průchozí hloubka vrtu | 8.60% |
| **$h_0$[m p.t.]** | 7.74 | 7.74 | 9.12 | 6.65 | 7.02 | počáteční úroveň HPV | |
| **$h_1$[m p.t.]** | 11.5 | 15 | 11.36 | 8.15 | 8.55 | úroveň HPV na konci ČZ | |
| **s[m]** | 3.76 | 7.26 | 2.25 | 1.50 | 1.53 | pokles úrovně HPV při ČZ | |
| **q[l/s/m]** | 0.58 | 0.55 | 0.71 | 0.93 | 0.92 | specifická vydatnost | 31.86% |
| **T[m²/s]** | 1.92E-03 | 2.33E-03 | 1.82E-03 | 1.64E-03 | 2.92E-03 | transmisivita zvodně | |
| **K[m/s]** | 7.27E-05 | 8.82E-05 | 7.25E-05 | 5.49E-05 | 9.91E-05 | nasycená hydraulická vodivost | |
| **S[$m^{-1}$]** | 3.23E-04 | | # | # | # | specifická storativita | |
| | | W[-]= | 10.78 | 4.81 | 4.77 | koeficient dodatečných odporů dle Agarwala | -55.33% |
| | | hW[m]= | 1.50 | 0.65 | 0.36 | snížení způsobené dodatečnými odpory dle Agarwala | -56.37% |
| | | EF= | 0.44 | 0.56 | 0.57 | efektivita čerpání dle Sørensena | 27.38% |
| | | α [-] = | 0.13 | 0.20 | 0.20 | stanovená pórovitost obsypu | 52.80% |
| | | $Q_{max}$[l/s] = | 3.03 | 4.80 | 6.37 | maximální vydatnost (dle Jetela) | 58.24% |

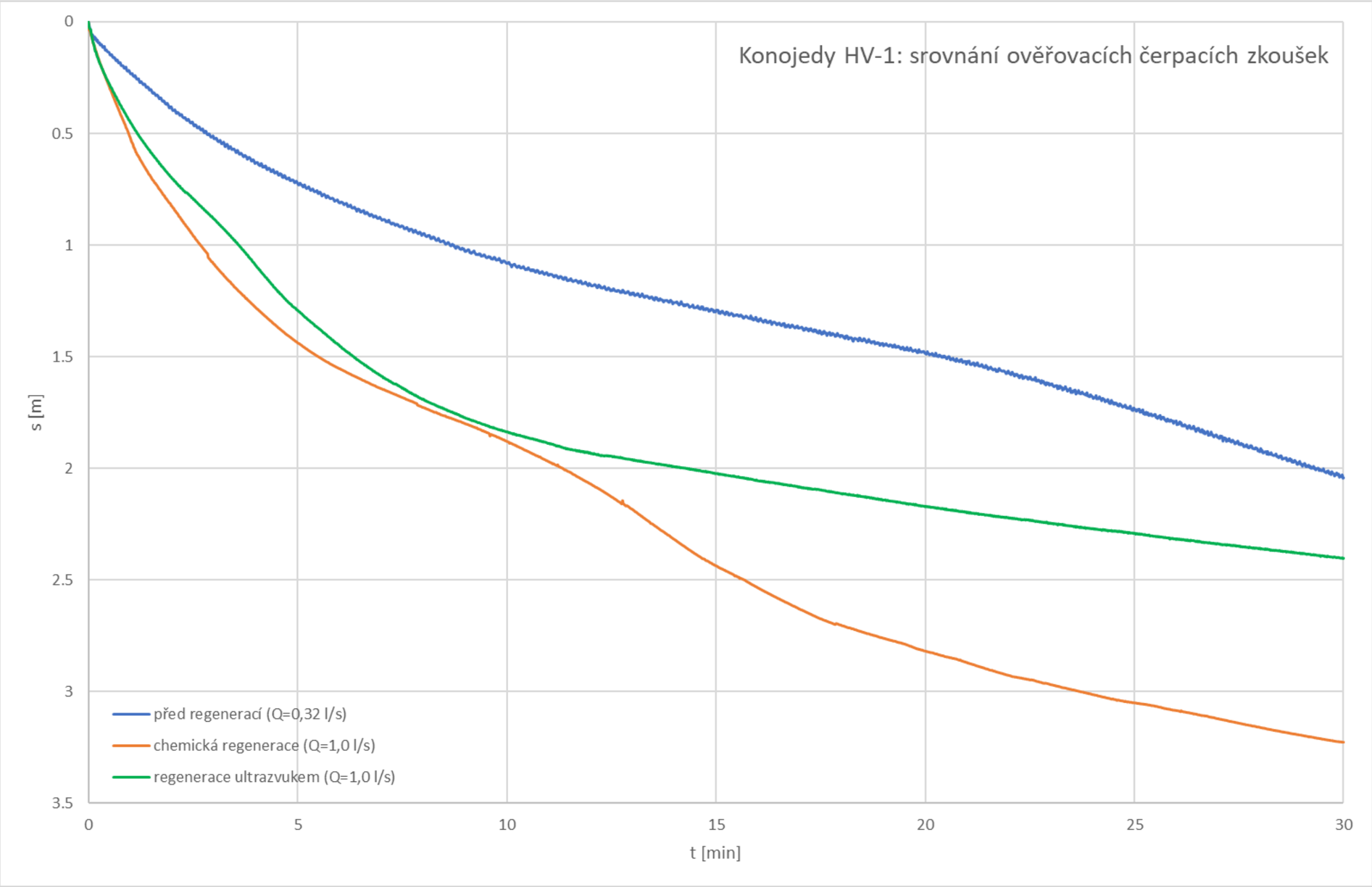
# aplikace 1: vrt Vlastislav MO-4, SČVK, a.s. (2021)



# aplikace 2: vrt Konojedy HV-1, SČVK, a.s., (2022)

| | PŘED | CHEMreg | ULTRAreg | | změna |
|---|---|---|---|---|---|
| | 23.4.20 | 23.4.20 | 23.3.21 | | |
| **Q[l/s]** | 0.32 | 1.00 | 1.00 | čerpaná vydatnost | |
| **$h_w$[m OB]** | 23.05 | 25.25 | 25.25 | průchozí hloubka vrtu | 9.54% |
| **$h_0$[m OB]** | 5.79 | 6.35 | 6.70 | počáteční úroveň HPV | |
| **h30min[m OB]** | 7.83 | 9.58 | 9.10 | úroveň HPV na konci ČZ | |
| **s[m]** | 2.04 | 3.23 | 2.40 | pokles úrovně HPV při ČZ za 30min. | |
| **q[l/s/m]** | 0.16 | 0.31 | 0.42 | specifická vydatnost | 165.86% |
| **T[m²/s]** | | 1.35E-05 | | transmisivita zvodně | |
| **K[m/s]** | | 6.98E-06 | | nasycená hydraulická vodivost | |
| **S[$m^{-1}$]** | | 2.80E-02 | | storativita | |
| **W[-]=** | 1.06 | -1.83 | -1.20 | koeficient dodatečných odporů dle Agarwala | -212.82% |
| **hW[m]=** | 4.00 | -2.28 | -1.49 | snížení způsobené dodatečnými odpory dle Agarwala | -137.33% |
| **EF=** | 73.33% | 145.00% | 194.96% | efektivita čerpání dle Sørensena | 165.86% |
| **α [-] =** | 0.07 | 0.07 | 0.07 | stanovená pórovitost obsypu | |
| **$Q_{max}$[l/s] =** | 0.12 | 0.35 | 0.35 | maximální vydatnost (dle Jetela) | 199.54% |

# aplikace 2: vrt Konojedy HV-1, SČVK, a.s. (2022)



# DĚKUJI ZA POZORNOST!