



NOVÉ ALTERNATIVY ŘEŠENÍ PŘI KRÁTKODOBÝCH ČERPACÍCH ZKOUŠKÁCH

NEW SOLUTION ALTERNATIVES FOR SHORT PUMPING TESTS

FRANTIŠEK PASTUSZEK¹, JIŘÍ GREGOR²

¹ *INSTITUTE OF HYDROGEOLOGY, ENGINEERING GEOLOGY AND APPLIED GEOPHYSICS, CHARLES
UNIVERSITY, PRAGUE, E-MAIL: FRANTISEKPASTUSZEK@SEZNAM.CZ*

² *DEPT.OF MATHEMATICS, FACULTY OF ELECTRICAL ENG., CZECH TECHNICAL UNIVERSITY, PRAGUE, E-
MAIL: GREGORJ4@GMAIL.COM*

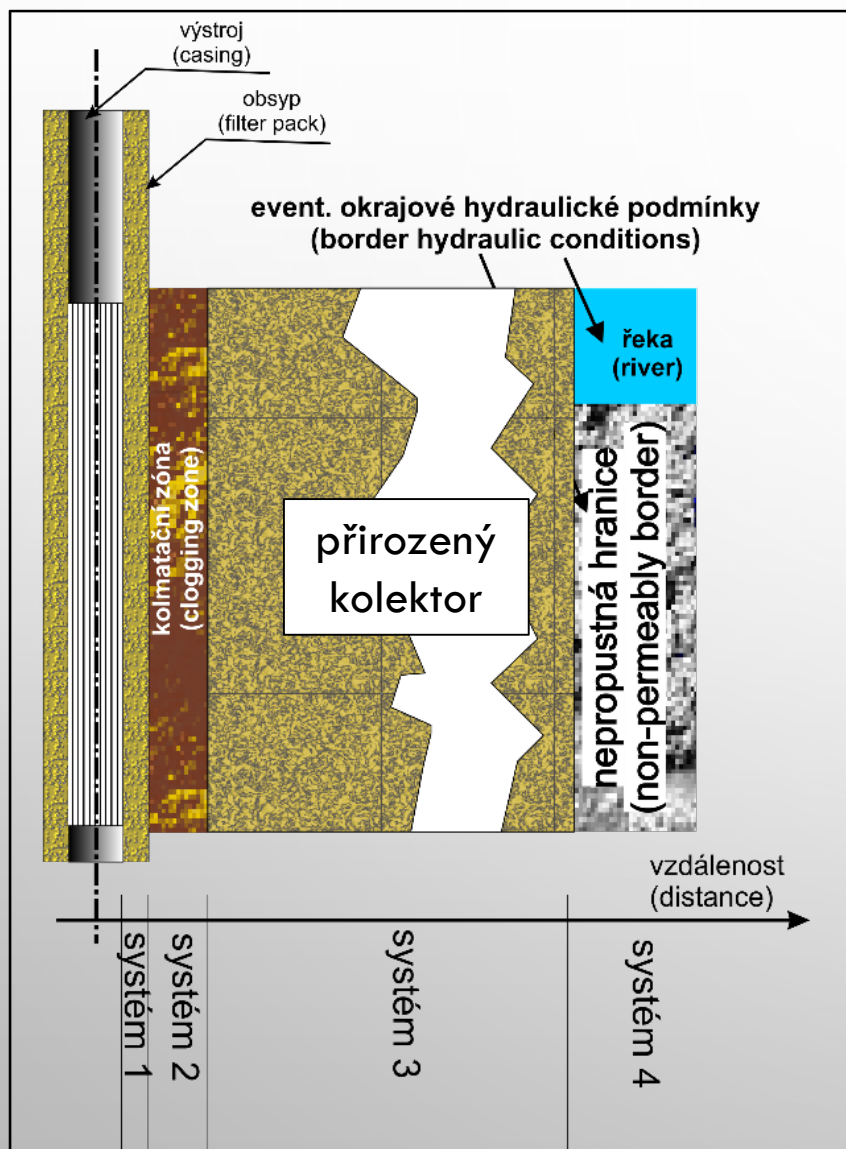


SYSTÉMY

- Okolí zkoušeného objektu (vrtu) si můžeme představit jako systém (černou skříňku – black box), který přenáší na něj vložený signál v podobě informace.
- Signál vždy odpovídá tomu systému, na který byl vložen. V našem případě budeme považovat za takový systém horninové okolí zkoušeného vrtu. Vloženým signálem je pak skoková změna hodnoty čerpaného množství z objektu a reakcí na tuto skokovou změnu jsou měřené hodnoty snížení hladiny podzemní vody.

SYSTÉMY

Konceptuální schéma systémů v okolí
zkoušeného vrtu



SYSTÉMY

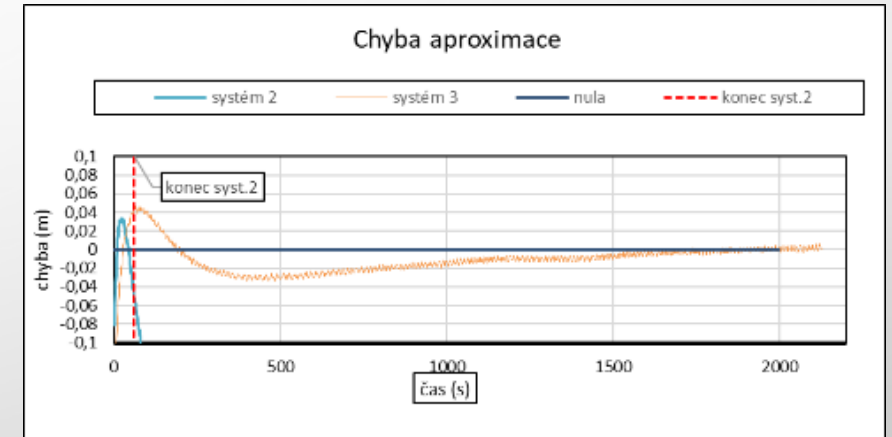
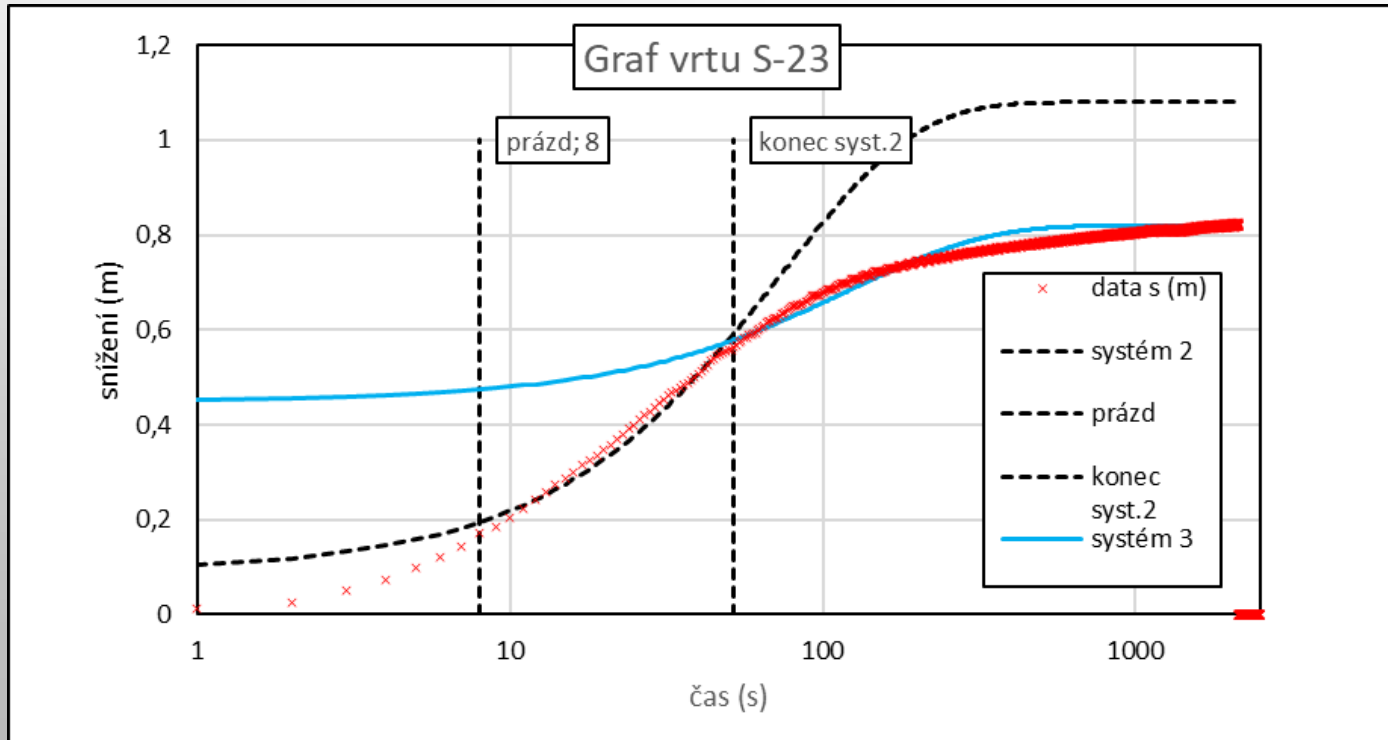
- Chování systému při čerpací zkoušce s konstantním odebíraným množstvím odpovídá tzv. setrvačnému členu systému. U tohoto členu se výstupní signál (hodnota snížení) exponenciálně přibližuje k nové ustálené hodnotě. Vzhledem k tomu, že podíly sousedních diferencí hodnot snížení bývají velmi často přibližně konstantní, můžeme pro aproximaci časové řady hodnot snížení použít modifikovanou exponenciálu ve tvaru:

$$\bullet s = K(1 + a \cdot b^t), \quad a < 0, \quad 0 < b < 1$$

SYSTÉMY

- První odhad parametrů rovnice se řeší technikou částečných součtů.

Následně zpřesníme odhad jednotlivých parametrů aplikací
Levenberg-Marquadtovy optimalizační procedury.



SYSTÉMY

	system 2	system 3
K	1,08	0,82
a	-9,872752E-01	-3,687332E-01
b	9,865E-01	9,919E-01

Výpočet parametrů ***K, a, b*** pro každý systém musí samostatně začínat časem 1 (počátek vstupu impulsu na systém). V grafech znázorňujících celkový průběh hydrodynamické zkoušky pak k časům daného systému přičítáme čas vstupu impulsu do systému od počátku zkoušky. Tedy

$$\sum_{i=1}^{i=n-1} t_i + t_n$$

SYSTÉMY

- ***INFORMACE, KTERÉ POMOCÍ POUŽITÍM METODY ČERNÉ SKŘÍŇKY MŮŽEME ZÍSKAT:***

1. HODNOTU USTÁLENÉHO SNÍŽENÍ s PŘI DANÉM Q
2. ČAS DOSAŽENÍ USTÁLENÉHO STAVU HODNOTY SNÍŽENÍ PŘI DANÉM Q A t
3. PŘI STUPŇOVITÝCH ČERPACÍCH ZKOUŠKÁCH HODNOTY k PRO JEDNOTLIVÉ DEPRESE A ČASY DOSAŽENÍ USTÁLENÉHO SNÍŽENÍ
4. LZE PROVÉST KŘÍŽOVOU KONTROLU VÝPOČTENÝCH PARAMETRŮ POROVNÁNÍM S VÝPOČTEM METODAMI USTÁLENÉHO PROUDĚNÍ.

UNICITA

Pro popis pohybu podzemní vody v homogenním a izotropním horninovém prostředí používá parciální diferenciální rovnice pro vedení tepla v cylindrických souřadnicích:

$$\frac{\partial^2 h[t,R]}{\partial^2 R} + \frac{1}{R} \frac{\partial h[t,R]}{\partial R} = \frac{\sigma}{T} \frac{\partial h[t,R]}{\partial t}, \quad t \geq 0, R > 0$$

UNICITA

Řešení navrhl THEIS (1935) výrazem

$$s[t, r] = \frac{Q}{4\pi T} W(u),$$

$$u = \frac{r^2 \sigma}{4Tt} \quad W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u!}$$

$$pro \ t > 0, r \rightarrow \infty$$

UNICITA

Theisovo řešení však představuje pouze jedno z mnoha možných řešení PDA. Neodpovídá totiž úplně fyzikální realitě (pro $t \rightarrow \infty, s = \infty$). Autoři proto hledali a našli unicitní (jedinečné) řešení PDA tak, aby respektovalo fyzikální realitu v okolí zkoušeného objektu ($s(0,r)=0$ pro všechna $r > 0$; omezené pro všechna $t > 0$ a $r > 0$ a současně bylo spojité). Důkaz unicity a podrobnosti viz:

GREGOR J., PASTUSZEK F., 2022: A NOVEL APPROACH TO WELL TESTS DATA PROCESSING. - ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES RESEARCH. VOL. 12, NO. 1, JUNE 2022. [HTTPS://DOI.ORG/10.5539/ENRR.V12N1P80](https://doi.org/10.5539/enrr.v12n1p80)

UNICITA

Jako příklad využití zde uvedeme řešení ve zkoušeném objektu.

Výpočet hodnot snížení s horním omezením ve zkoušeném objektu (dosažení ustáleného stavu) respektující reálné fyzikální podmínky v jeho okolí dostáváme ve tvaru:

$$awf(t, r) = s(t, r)$$

$$= \lambda - \frac{Q}{4\pi T} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\text{EXP}(-x)}{x} dx, \quad \text{kde } z_1 = \frac{r^2 \sigma}{4T(t+d)}, z_2 = \frac{r^2 \sigma}{4Tt}$$

r =poloměr vrtu, σ =storativita, T =transmissivita, λ =ustál.snížení, t =čas

UNICITA

Funkce má tyto vlastnosti:

- $awf(t,r)$ je řešením PDA
- $awf(t,r)$ je spojitá, nezáporná, rostoucí a shora ohraničená pro všechna $t \geq 0$, všechna $R \geq r$, $awf(t,r) < \lambda$
- asymptotická hodnota integrálu pro $t \rightarrow \infty$ je dána výrazem

$$\frac{Q}{4\pi T} \text{LN} \left(1 + \frac{d}{t} \right)$$

$$awf(t, r) \approx \lambda - \frac{Q}{4\pi T} \text{LN} \left(1 + \frac{d}{t} \right) = s(t, r)$$

UNICITA

Asymptotickou aproximaci lze proto využít pro určení hodnoty ustáleného snížení při čerpacích zkouškách u nichž není dosaženo ustáleného stavu. Podmínkou pro praktické použití je záznam hodnot snížení v ekvidistantních intervalech.

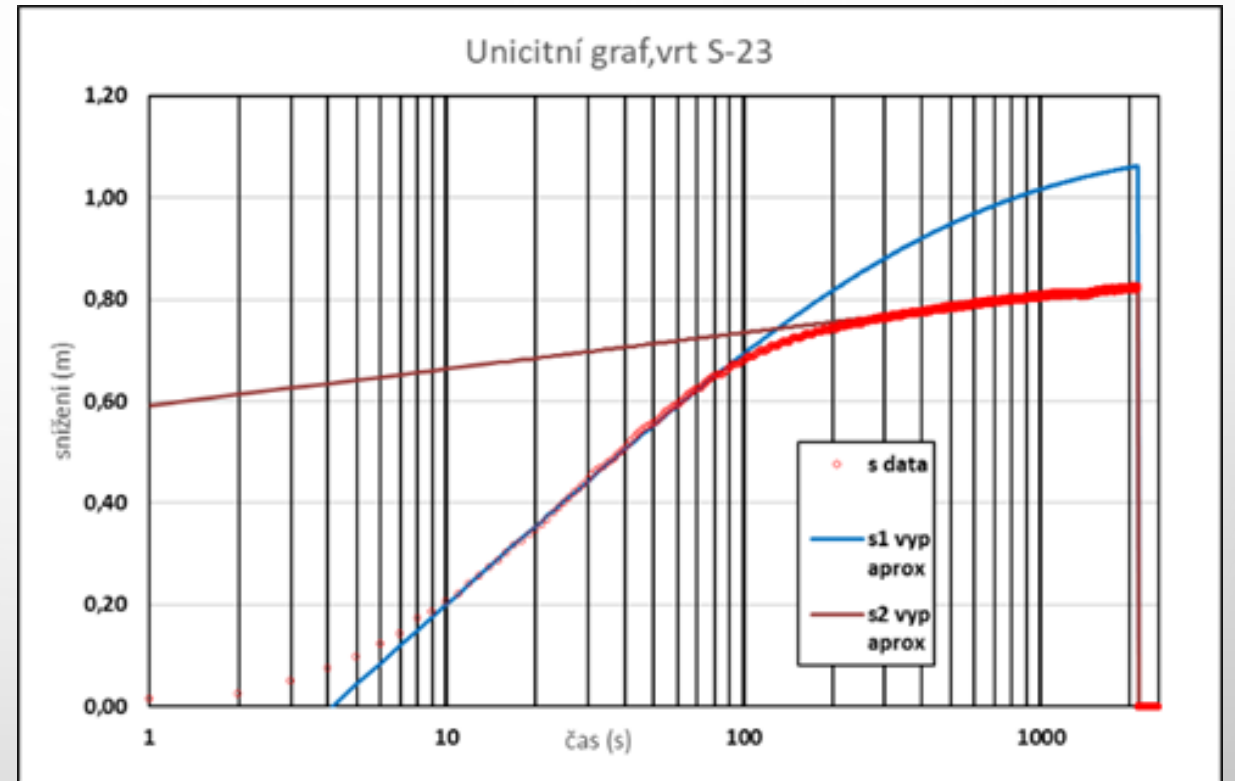
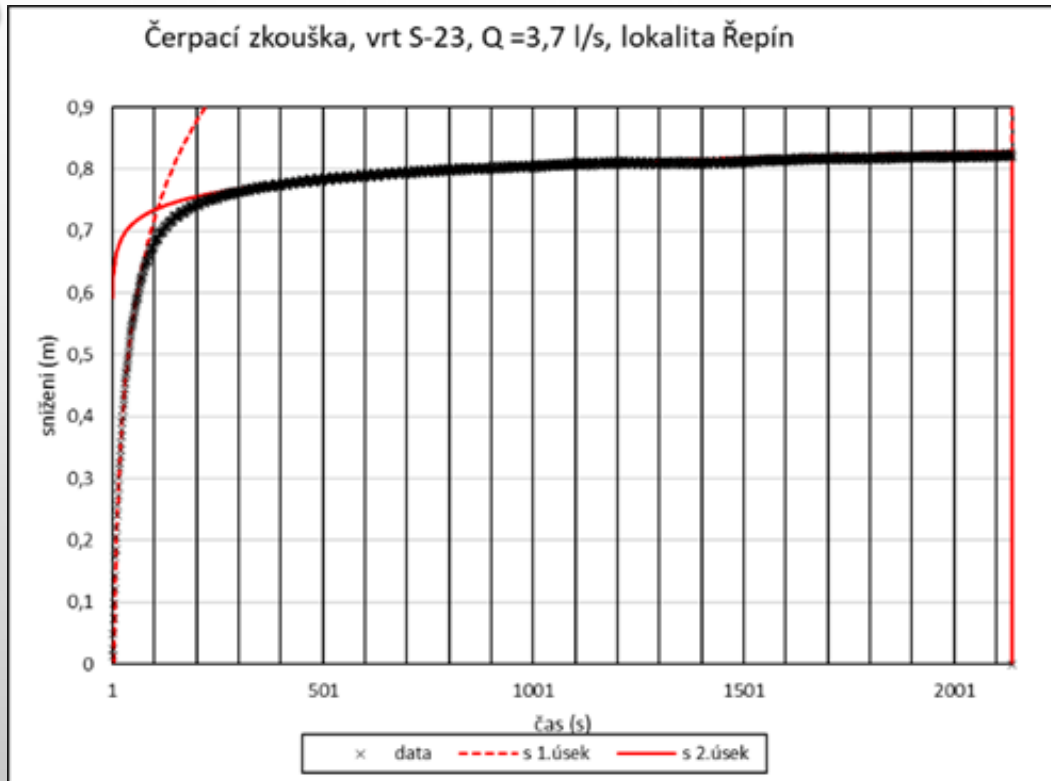
Použití dokumentujeme na příkladu čerpací zkoušky z vrtu S23, abychom měli srovnání s řešením provedeném v předchozí části.

UNICITA

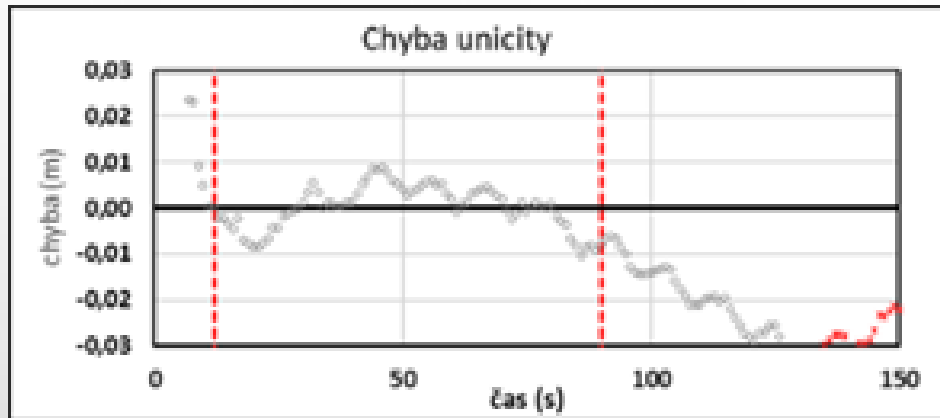
Základní parametry zkoušeného objektu:

- délka zkoušky 2139 s
- hloubka 50 m
- hl-před ČZ 16,01 m od o.b.
- perforace 24 – 45 m
- poloměr výstroje 0,208 m
- doba prázdnění vrtu činila 8 s.
- intervaly snížení byly měřeny s četností 1 s

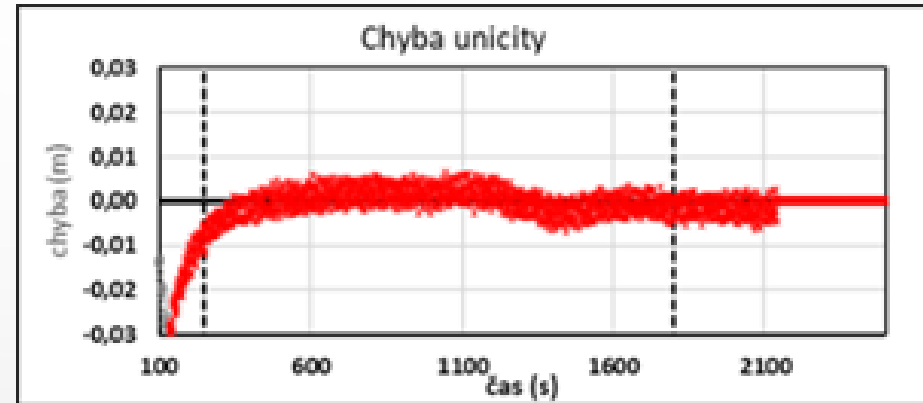
UNICITA



UNICITA



Chyba výpočtu, 2.systém-
zóna odporů na plášti vrtu
(kolmatační zóna)



Chyba výpočtu, 3 .systém –
kolektor

UNICITA

Výpočet parametrů T a λ pomocí fce $awf(t,r)$ byl proveden pomocí Levenberg-Marquardtovy procedury na intervalu 12 – 90 s (2 systém, kolmatační zóna) a 250 – 1800 s pro 3 systém (vlastní kolektor). Jako počáteční bod intervalu pro výpočet aproximace volíme průsečík 1 a 2 úseku reaktorového řešení.

UNICITA

Vypočtené parametry a jejich srovnání:

parametry	T 1 úsek	T 2 úsek	λ 1 úsek	λ 2 úsek	d 1 úsek	d 2 úsek
fce awf	1,29e-3	9,49e-3	1,11	0,88	527 s	2,9 hod.
Jacob	1,33e-3	1,02e-2				
Dupuit-Thiem	1,93e-3	9,16e-3				

UNICITA

Pomocí Hawkinsnova vzorce (Hawkins et al., 1991) ve tvaru:

$$s_k - s_w = \frac{Q}{2\pi T} \frac{\text{LN } r_k}{\text{LN } r_w}$$

můžeme dále stanovit z hodnot transmisivity mocnost kolmatační zóny. V případě vrtu S23 byla mocnost kolmatační zóny stanovena na 0,13 m..

UNICITA

- *INFORMACE, KTERÉ POMOCÍ POUŽITÍ FUNKCE AWF MŮŽEME ZÍSKAT:*

1. hodnotu ustáleného snížení λ při daném Q
2. čas dosažení ustáleného stavu hodnoty snížení při daném Q a T
3. stanovit tloušťku kolmatační zóny vrtu
4. při stupňovitých čerpacích zkouškách hodnoty λ pro jednotlivé deprese a časy dosažení ustáleného snížení. Jako hodnotu Q zde zadáváme rozdíl mezi stávajícím a předchozím Q .
5. lze provést křížovou kontrolu vypočtených parametrů porovnáním s výpočtem metodami ustáleného proudění.

DĚKUJI ZA POZORNOST