



*Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a
aplikovanej geofyziky, Prírodovedecká fakulta,
Univerzita Komenského v Bratislave*

HydroGEP, s.r.o.
www.hydrogep.sk



Plytká geotermia, využitie a prax.

Doc. RNDr. Dávid Krčmář, PhD.
KIGHGAG, PriF, UK

Mgr. Matúš Klúz
HydroGEP, s.r.o.

AKÉ TYPY Využívania TEPLA ZEME POZNÁME ?

Hĺbková geotermálna energia (> 600 m)

- Hydrotermálne systémy (*Využívanie tepla zeme pomocou termálnej vody*)
- Petrotermálne systémy (*Využívanie tepla zeme pomocou umelo čerpanej vody*)
- Hĺbkové zemné sondy (*Využívanie tepla zeme pomocou uzavretého okruhu*)

Plytká geotermika (< 250 m)

- Zemné kolektory (*Využívanie tepla zeme pomocou plochy v cca 1,5 m hĺbke*)
- **Zemné sondy (*Využívanie suchého tepla zeme z hĺbkovýchvrtov (hĺbky cca. 80 - 150 m)*)**
- V zemi zakotvené betónové konštrukcie/energetické pilóty (*Využívanie základových konštrukcii*)
- Studňa (*využitie tepla podzemnej vody – odber energetického potenciálu PV*)
- Energetický zásobník tepla (*Uloženie prebytočnej energie do zeme, pre využitie v zime*)

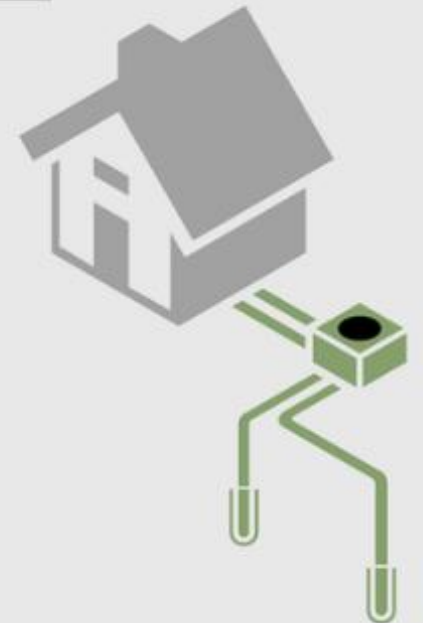
ČO SÚ HLAVNÉ VÝHODY VZUŽÍVANIA TEPLA ZEME?

- Domáci(lokálny), ekologický zdroj tepla
- Permanentne k dispozícii – nezávislý od klimatických podmienok a ročného obdobia
- Nevyčerpatelný a udržateľný zdroj tepla (v pohľade na ľudský život)
- Celoročné využitie najmä pasívne chladenie v lete
- Úspora energií pri vykurovaní až do 75% a pri chladení až do 85%
- Výrazné zníženie CO₂ –Emisii

Erdwärmepfahl



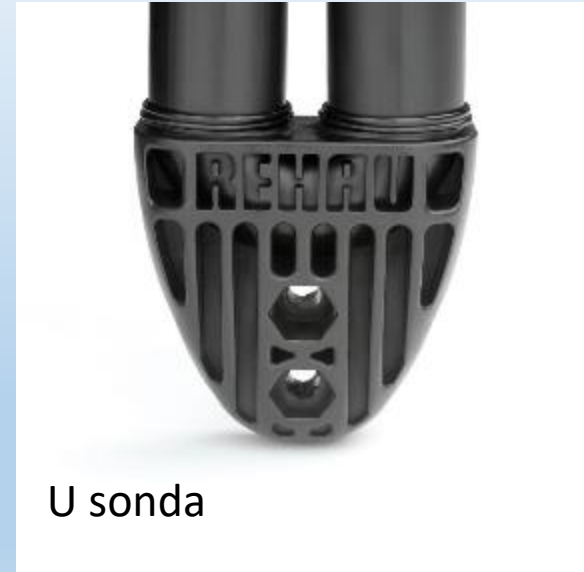
Erdwärmesonde



BUDOVANIE VRTOV PRE TEPELNÉ ČERPADLO TYPU ZEM - VODA



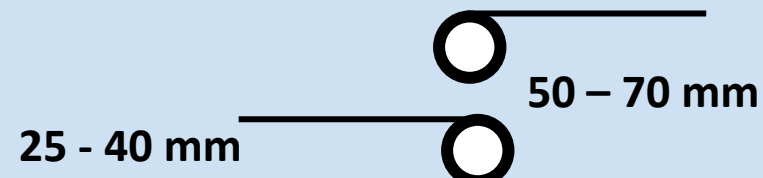
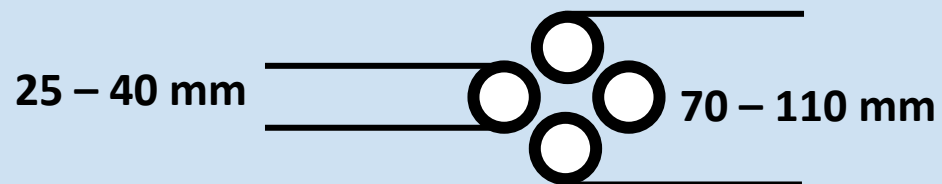
Sondy v dodávateľských baleniach



U sonda



Dvojitá U sonda



VŘTANIE VALIVÝM DLÁTOM S
VODNÝM VÝPLACHOM



VŘTANIE PONORNÝM KLADIVOM S
VZDUCHOVÝM „VÝPLACHOM“



INŠTALÁCIE SONDY DO VRTU



INJEKTÁŽ SONDY VO VRTE

Injektážna „termozmes“



Injektážne práce



Spájanie horizontálnych potrubí
z vrto v do zlučovacej šachty

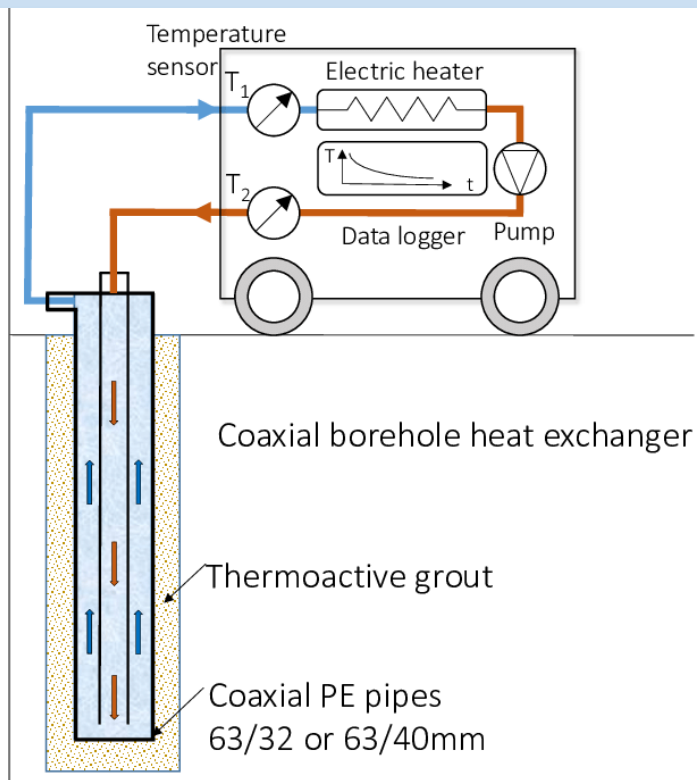


INŠTALÁCIE HORIZONTÁLNYCH POTRUBÍ A ŠÁCHT DO ROZDELOVAČA



THERMAL RESPONSE TEST (TRT)

TRT sa využíva na dimenzovanie počtu vrtov, hĺbky a geometrie vrtov v konkrétnom geologickom prostredí s ohľadom na projektované kapacity kúrenia resp. chladenia.



TECHNICKÉ POŽIADAVKY / NORMY

VDI 1310 (nezáväzná pre podmienky SR)

- geotermálne využitie horninového prostredia a aspekty spojené s ŽP do hĺbky cca 400 m, príklady tepelnej vodivosti v jednotlivých horninách. Definujú malé systémy do kapacity 30 kW a veľké nad 30 kW, maximálne teploty ohrievania horninového prostredia, materiálové požiadavky s ohľadom na ŽP

Příručka pro projektování, povolování a realizaci vrtů pro tepelná čerpadla systémů „země x voda“ a „voda x voda“ (v príprave pre podmienky ČR)

- Česká asociace hydrogeologů, z. s. Pojednava o projektování, umisťňovaní, parametroch vrtov, povoľovanie vrtov, špecifické podmienky vykonávania vrtov, riziká pre PV a POV.

Usmernenie generálneho riaditeľa sekcie vôd MŽP SE o tepelných čerpadlách a pôsobnosti orgánov štátnej správy a vodnej správy z 08.01.2020 Čl. 4

- „Pri tomto type tepelného čerpadla sa nevyžaduje povolenie orgánu štátnej vodnej správy podľa § 21 ods. 1 vodného zákona, ale je potrebný súhlas podľa § 27 ods. 1 písm. g) vodného zákona. K vydaniu súhlasu si orgán štátnej vodnej správy vyžiada od žiadateľa hydrogeologický posudok vypracovaný oprávnenou osobou v zmysle § 4 geologického zákona. Podľa § 12 písm. i) vyhlášky č. 89/1988 Zb. sa jednotlivo ohlasuje strojové vŕtanie studní s hĺbkou väčšou ako 30 m, pričom podľa § 10 ods. 1 tejto vyhlášky organizácia (ktorá vykonáva danú činnosť) ohlasuje banskú činnosť a činnosť vykonávanú banským spôsobom obvodnému banskému úradu.“

LEGISLATÍVNE POŽIADAVKY / OPRÁVNENIA PRE VRTANIE VRTOV NA TEPELNÉ ČERPADLÁ

- Vrtanie vrtoV na tepelné čerpadlo zem – voda nespadá pod geologický prieskum, sú to strojné vrtné práce a **sú súčasťou TZB stavby**
- **Vrtanie je banská činnosť** a činnosť vykonávaná banským spôsobom na povrchu a spadá pod Zákon č. 51 / 1988 Zb. „Banský zákon“
- Spoločnosť vykonáva strojné vrtanie vrtoV s dĺžkou nad 30 m musí mať zapísanú viazanú živnosť a zamestnávať odborne spôsobilú osobu na Zodpovedného vedúceho pracovníka, Projektanta pri banskej činnosti, Banského bezpečnostného technika, VLH, viesť základnú a prevádzkovú technickú dokumentáciu a ohlasovať činnosť na OBÚ

Obvodný banský úrad v Banskej Bystrici



Číslo: OBUBB_1018 – 1911/2024

OSVEDČENIE
o odbornej spôsobilosti

Meno a priezvisko: **Mgr. Matúš KLÚZ, MSc.**
Narodený dňa: [REDACTED]
Rodné číslo: [REDACTED]
Bytom: [REDACTED]

Podrobil sa dňa 22.4.2024 skúške z predpisov podľa § 4 ods. 1 vyhlášky Ministerstva hospodárstva Slovenskej republiky č. 208/1993 Z. z. o požiadavkách na kvalifikáciu a o overovaní odbornej spôsobilosti pracovníkov pri banskej činnosti a činnosti vykonávanej banským spôsobom (ďalej len „cit. vyhláška“)

Na základe výsledku skúšky a po preskúmaní predložených dokladov o kvalifikácii Obvodný banský úrad v Banskej Bystrici podľa § 5 ods. 1 cit. vyhlášky osvedčuje, že menovaný je

odborne spôsobilý

vykonávať funkciu:

- **Zodpovedný vedúci pracovník**
určený na zaistenie odborného a bezpečného riadenia inej banskej činnosti a činnosti vykonávanej banským spôsobom na povrchu podľa § 6 ods. 1 zákona SNR č. 51/1988 Zb. o banskej činnosti, výbušninách a o štátnej banskej správe v znení neskorších predpisov (ďalej len „citovaný zákon“) pre vrtné práce.
- **Banský projektant**
ktorý vypracúva plány, prípadne dokumentáciu pri banskej činnosti a činnosti vykonávanej banským spôsobom na povrchu pre vrtné práce.
- **Pracovník určený na riadenie likvidácie závažných prevádzkových nehôd (havárií)**
pri vykonávaní banskej činnosti a činnosti vykonávanej banským spôsobom na povrchu na plnenie úloh organizácie podľa § 6a ods. 5 citovaného zákona pre vrtné práce.

V Banskej Bystrici 25. 04. 2024

predseda úradu [REDACTED]



POVOĽOVACÍ PROCES

Okresný úrad, OSŽP:

Zákon č. 364/2004 Z.z. (**vodný zákon**) § 27 1) súhlas orgánu štátnej vodnej správy sa vydáva na uskutočnenie, zmenu alebo odstránenie stavieb a zariadení alebo na činnosti, na ktoré nie je potrebné povolenie podľa tohto zákona, ktoré však môžu ovplyvniť stav povrchových vôd a podzemných vôd. Súhlas je potrebný, ak ide o:

g) vrty na využívanie energetického potenciálu podzemných vôd, ktorými sa neodoberá alebo nečerpá podzemná voda.

Odborný hydrogeologický posudok => posúdi vplyv vybudovania a prevádzky projektovaných vrtov na využívanie energetického potenciálu, ktorými sa neodoberá alebo nečerpá podzemná voda na podzemné, povrchové vody a geologické prostredie.

 **MINISTERSTVO
ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**
Sektoria geológie a prírodných zdrojov
Odbor štátnej geologickej správy

Číslo preukazu: Bratislava 07. 09. 2022
Číslo spisu:
Číslo záznamu:

**PREUKAZ O ODBORNEJ SPÔSOBILOSTI
NA VYKONÁVANIE GEOLOGICKÝCH PRÁC**

Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky podľa § 9 ods. 4 zákona č. 569/2007 Z. z. o geologických prácach (geologický zákon) v znení neskorších predpisov **osvedčuje** odbornú spôsobilosť pre:

Meno a priezvisko: **Mgr. Matúš Klúz**
Dátum narodenia:
Trvalý pobyt:
Odborná spôsobilosť: **hydrogeologický prieskum
geologický prieskum životného prostredia**

Preukaz o odbornej spôsobilosti sa vydáva na dobu neurčitú.


predseda skúšobnej komisie

Podľa § 9 ods. 4 geologického zákona odborná spôsobilosť sa osvedčuje vydaním preukazu o odbornej spôsobilosti, ktorý sa vydáva na dobu neurčitú.
Podľa § 9 ods. 5 geologického zákona vydaním preukazu o odbornej spôsobilosti vzniká odborne spôsobilej osobe právo používať okrúhlu pečiatku so štátnym znakom.
Podľa § 9 ods. 8 geologického zákona odborne spôsobilá osoba je povinná oznámiť každú zmenu údajov uvedených v preukaze o odbornej spôsobilosti do 30 dní od vzniku zmeny a zároveň požiadať o vydanie nového preukazu o odbornej spôsobilosti.
Podľa § 9 ods. 9 geologického zákona odborne spôsobilá osoba je na základe výzvy ministerstva povinná zúčastniť sa preškolenia každých päť rokov od dátumu skúšky alebo od dátumu vykonania posledného preškolenia.
Náklady spojené s preškoľením uhrádza odborne spôsobilá osoba.
Správny poplatok vo výške 10,00 € podľa položky 164 písm. c) prílohy zákona NR SR č. 145/1995 Z. z. o správnych poplatkoch v znení neskorších predpisov bol uhradený dňa 23. 08. 2022 e-komom.

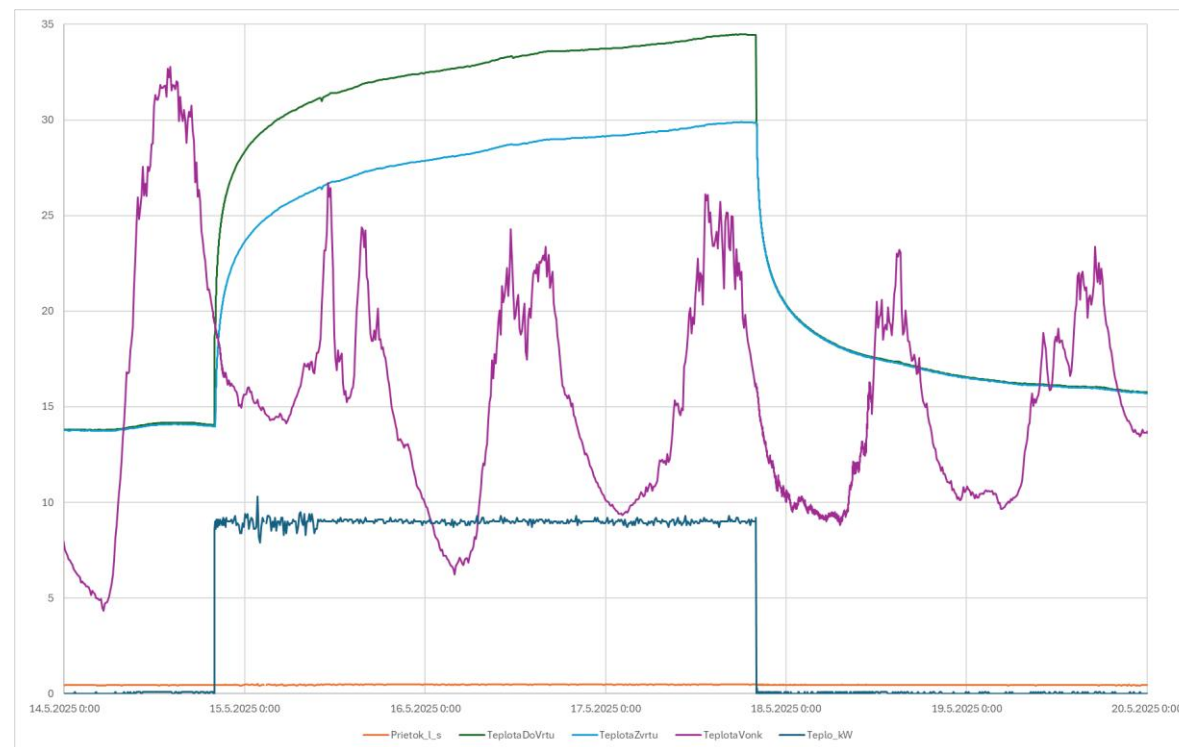
VSTUPNÉ DÁTA A PARAMETRE ANALÝZY

Parametre TRT testu

- Dĺžka vrtu (L)
- Polomer vrtu (r)
- Počiatočná teplota T_0 (stred optimalizácie)

Priebeh TRT testu

- Celé trvanie testu (hod)
- Fázy ohrevu (hod), $/q = (W/m)/$
- Fáza chladenia (hod)



METODIKA

Analytické modely prenosu tepla

Základom analýzy je riešenie **rovnice vedenia tepla**. Celková zmena priemernej teploty teplonosnej kvapaliny $T_f(t)$ vo vrte oproti počiatočnej, nerušenej teplote podložia T_0 je definovaná ako súčet teplotnej odozvy horninového masívu $\Delta T_{ground}(t)$ a teplotného spádu na tepelnom odpore vrtu R_b :

$$\Delta T(t) = T_f(t) - T_0 = \Delta T_{ground}(t) + q \cdot R_b$$

kde q je konštantný špecifický tepelný výkon na jednotku dĺžky vrtu [W/m]. Na modelovanie teplotnej odozvy horninového masívu $\Delta T_{ground}(t)$ boli implementované nasledujúce analytické riešenia:

1. Model nekonečného líniového zdroja (ILS - Infinite Line Source): Tento model aproximuje vrt ako líniu s nekonečnou dĺžkou a nulovým priemerom.

- **Plné riešenie** je dané pomocou exponenciálneho integrálu $E_1(u)$, ktorý je platný pre celý časový priebeh testu:

$$\Delta T_{ground}(t) = \frac{q}{4\pi\lambda} E_1\left(\frac{r_b^2}{4\alpha t}\right) \quad \text{kde} \quad E_1(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-x}}{x} dx$$

- **Logaritmická aproximácia** je zjednodušením plného riešenia pre asymptotické správanie pri dlhých časoch ($t > 5r_b^2/\alpha$):

$$\Delta T_{ground}(t) = \frac{q}{4\pi\lambda} \left(\ln\left(\frac{4\alpha t}{r_b^2}\right) - \gamma \right)$$

V rovniciach vystupuje polomer vrtu r_b [m], **teplotná difuzivita**

$\alpha = \lambda/C_s$ [m²/s] a Eulerova-Mascheroniho konštanta $\gamma \approx 0.5772$.

Model nekonečného valcového zdroja (ICS - Infinite Cylinder Source): Tento model poskytuje presnejšie riešenie tým, že uvažuje vrt ako valec s konečným polomerom r_b .

Metódy inverznej analýzy a optimalizácie

Identifikácia termofyzikálnych parametrov – **efektívnej tepelnej vodivosti (λ)**, **tepelného odporu vrtu (R_b)** a **objemovej tepelnej kapacity (C_s)** – je formulovaná ako inverzný problém.

- **Superpozícia v čase:** Pre korektné spracovanie testov s premenlivým tepelným výkonom (viacero fáz ohrevu a ochladzovania) bol aplikovaný princíp superpozície. Teplotná odozva je vypočítaná ako súčet odoziev na jednotlivé krokové zmeny výkonu $\Delta q_i = q_i - q_{i-1}$ v časoch t_i :

$$\Delta T_{ground}(t) = \sum_{i=1}^N \Delta q_i \cdot g(t - t_i)$$

kde $g(t)$ je funkcia tepelnej odozvy (G-function) príslušného analytického modelu na jednotkový pulz.

- **Optimalizácia parametrov:** Na riešenie inverzného problému bol použitý kvázi-Newtonov optimalizačný algoritmus **L-BFGS-B** (Limited-memory Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno with Bounds). Algoritmus minimalizuje cieľovú funkciu, definovanú ako suma štvorcových odchýlok (SSE) medzi nameranými a modelovanými hodnotami:

$$\text{minimalizovať} \quad \text{SSE} = \sum_{j=1}^M (\Delta T_{\text{namerané}}(t_j) - \Delta T_{\text{model}}(t_j, \vec{p}))^2$$

kde $\vec{p} = [\lambda, R_b, C_s, T_0]$ je vektor hľadaných parametrov.

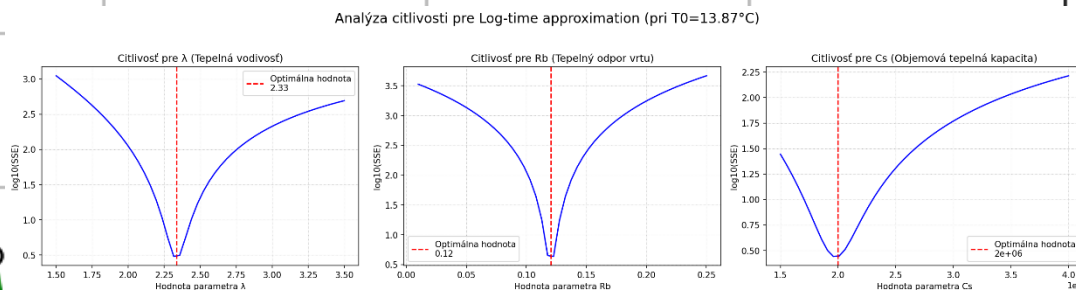
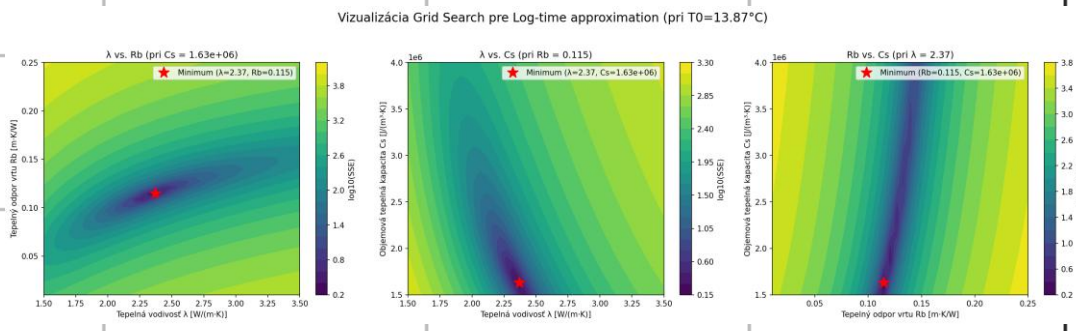
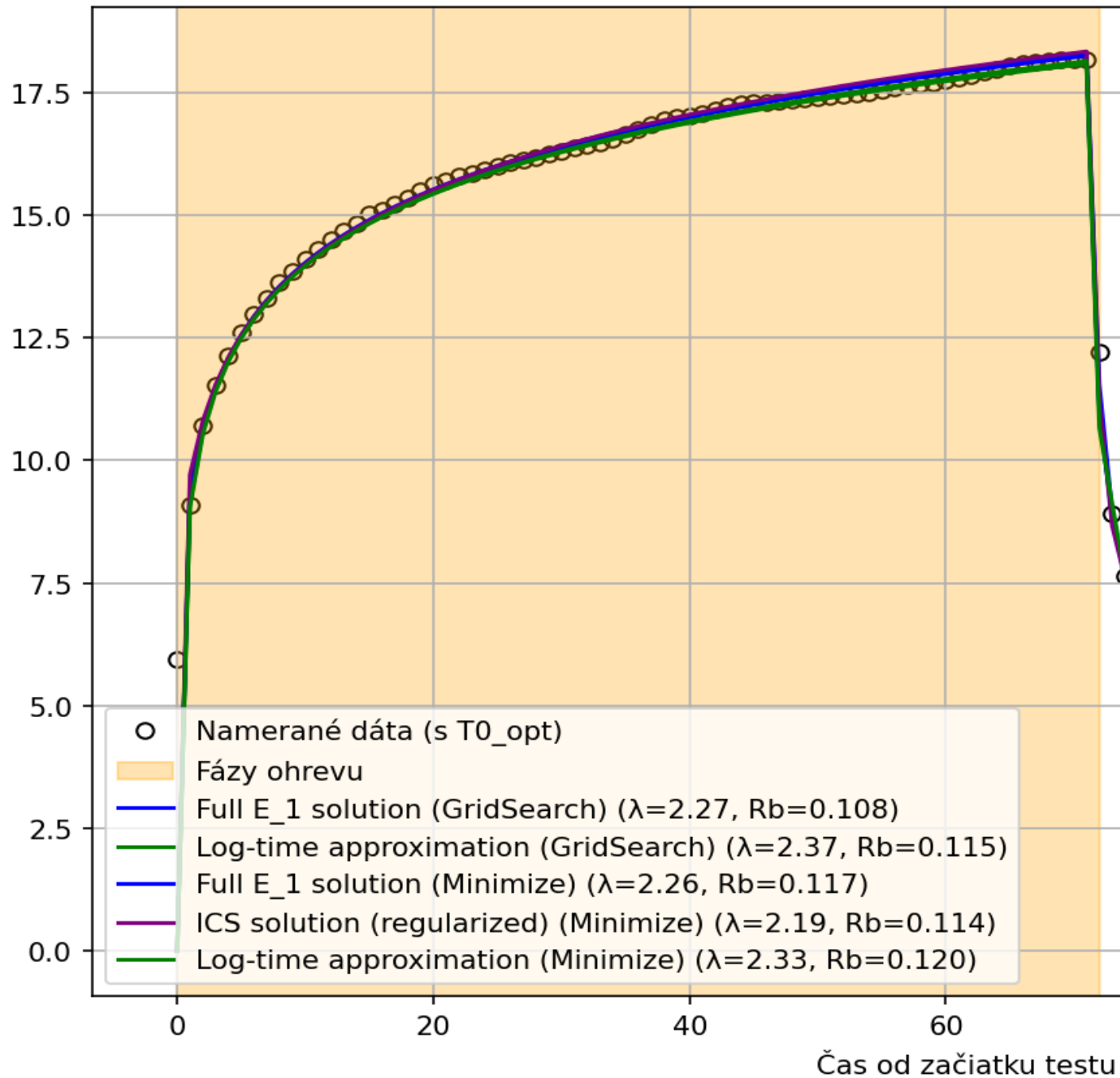
- **Optimalizácia počiatočnej teploty:** Vzhľadom na silnú koreláciu medzi parametrami R_b a T_0 bola neovplyvnená teplota podložia zahrnutá do optimalizácie ako štvrtý parameter. Jeho hľadanie bolo obmedzené na úzky, fyzikálne zmysluplný interval (napr. $\pm 1\%$ okolo experimentálne stanovenej hodnoty), čo viedlo k stabilizácii riešenia a zvýšeniu presnosti určenia R_b .

Validácia a analýza robustnosti: Výsledky z optimalizácie boli overené metódou **Grid Search** na vizualizáciu priestoru riešení a identifikáciu prípadných lokálnych miním.

Analýza citlivosti bola použitá na kvantifikáciu spoľahlivosti a miery nezávislosti určenia jednotlivých parametrov.

Porovnanie TRT modelov (s optimalizovanou T0 = 13.80°C)

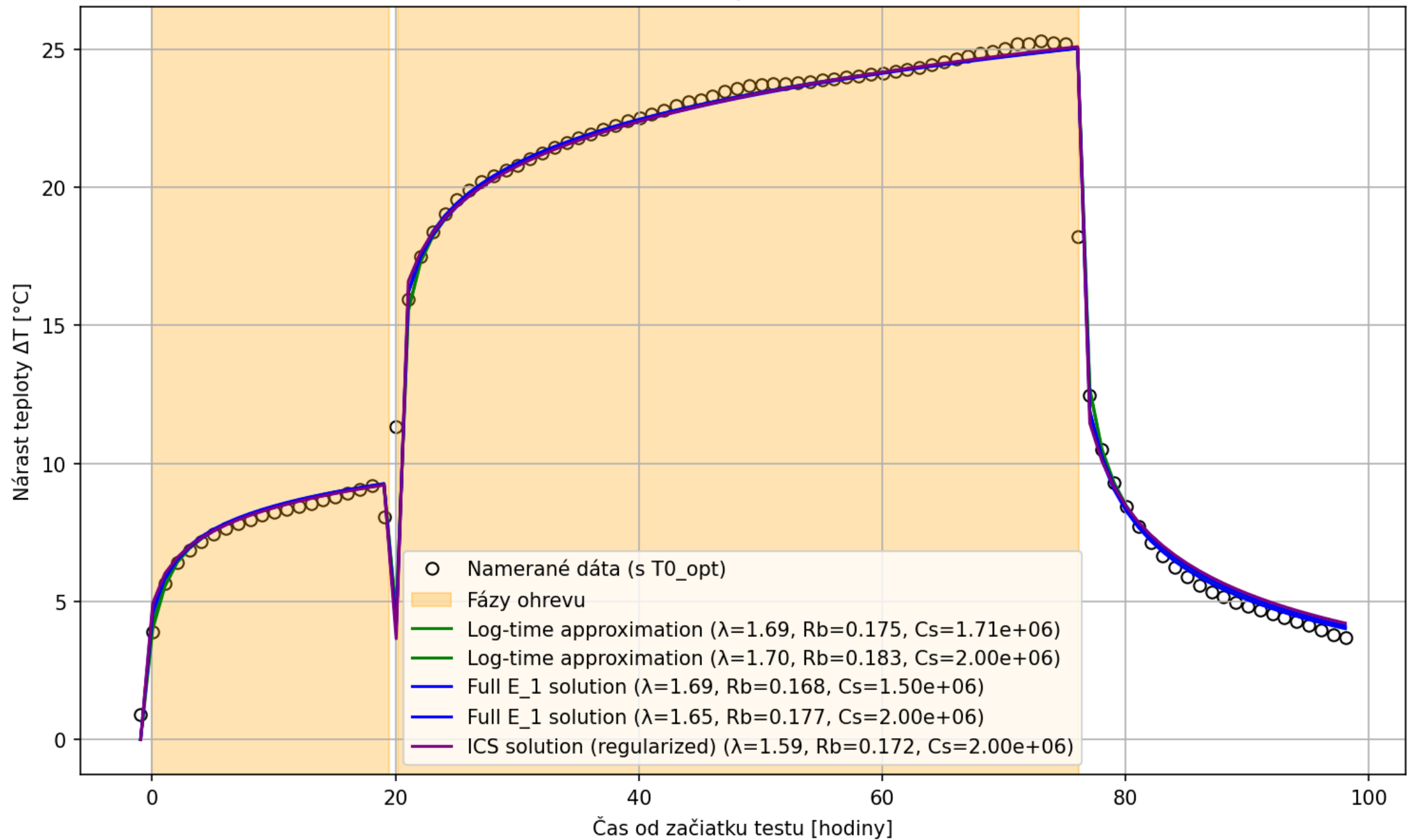
Nárast teploty ΔT [°C]

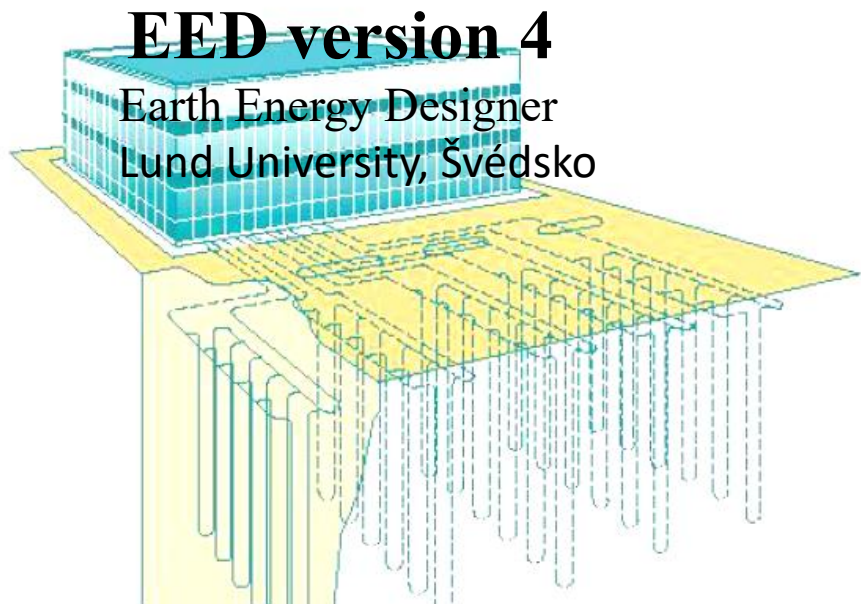


- Namerané dáta (s T0_opt)
- Fázy ohrevu
- Full E_1 solution (GridSearch) ($\lambda=2.27$, $R_b=0.108$)
- Log-time approximation (GridSearch) ($\lambda=2.37$, $R_b=0.115$)
- Full E_1 solution (Minimize) ($\lambda=2.26$, $R_b=0.117$)
- ICS solution (regularized) (Minimize) ($\lambda=2.19$, $R_b=0.114$)
- Log-time approximation (Minimize) ($\lambda=2.33$, $R_b=0.120$)

Čas od začiatku testu [hodiny]

Porovnanie TRT modelov (s optimalizovanou $T_0 = 14.74^{\circ}\text{C}$)



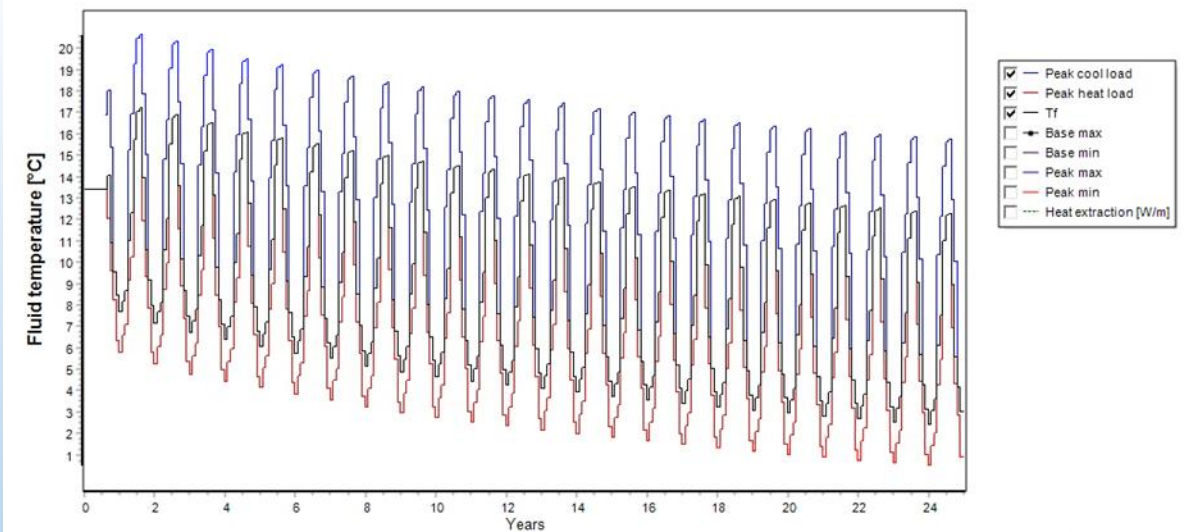
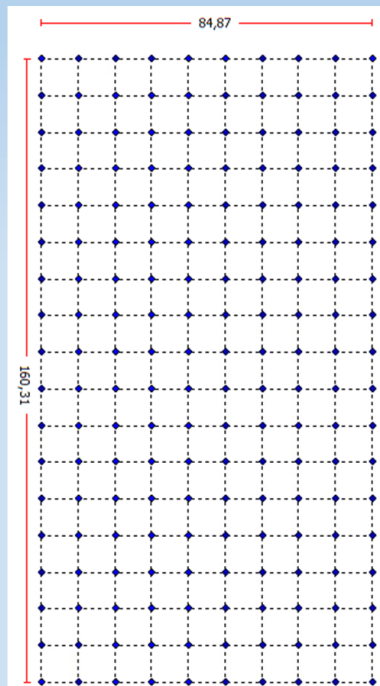
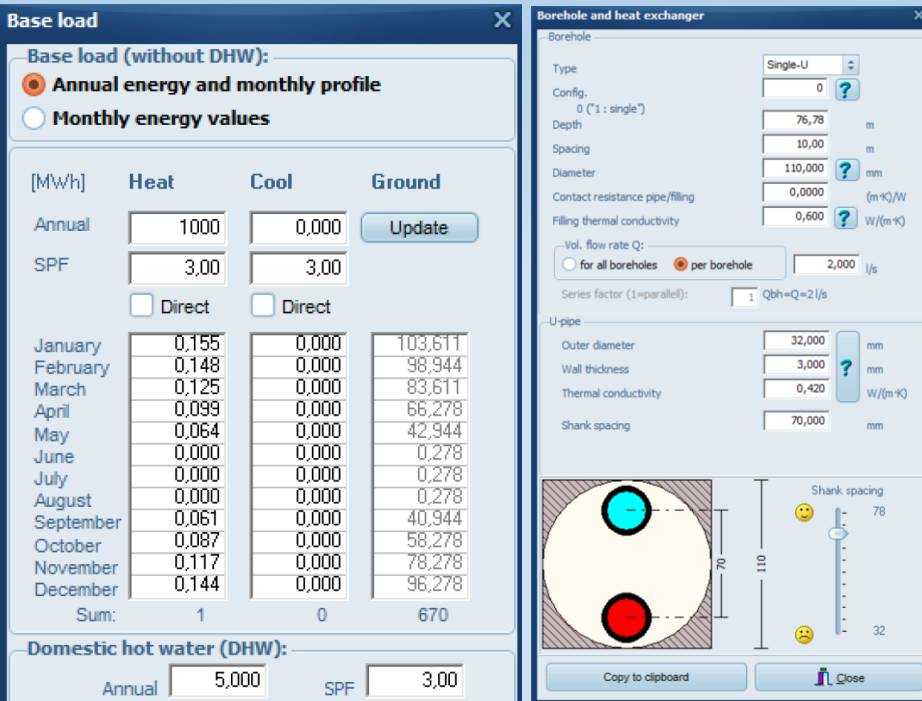


EED version 4

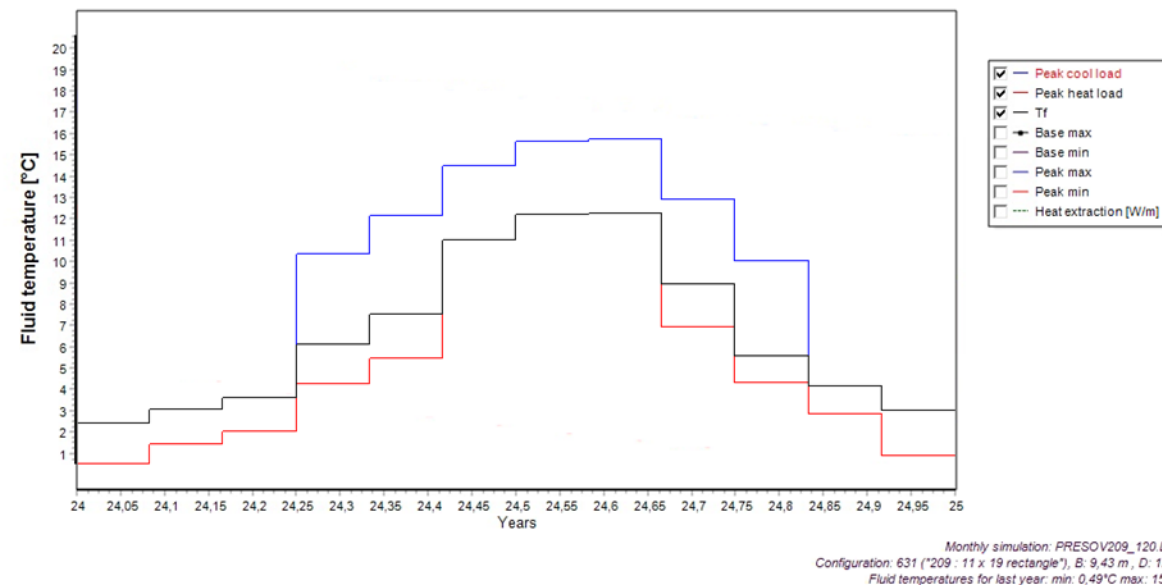
Earth Energy Designer

Lund University, Švédsko

tepelná vodivosť (λ)
tepelný odpor vrtu (R_b) $\rightarrow$ TRT



Teplota kvapaliny po 25 rokoch °C		
Vykurovanie		Chladenie
Základný výkon	Maximálny výkon	Maximálny výkon
2,41 °C	0,49 °C	15,7 °C



MODFLOW 6: USGS Modular Hydrologic Model

MFE: A New Groundwater Energy Transport Model for the MODFLOW

$$\frac{\partial}{\partial t} [\epsilon \rho_w c_w + (1 - \epsilon) \rho_s c_s] T + \nabla \cdot (\epsilon \rho_w c_w \mathbf{v} T) - \nabla \cdot (\lambda_{bulk} \nabla T) = q_E$$

1. Člen akumulácie energie (**Energy Storage Term**):

Čo rieši: Tento člen hovorí o tom, ako sa mení množstvo uloženej tepelnej energie v danom objeme horniny v čase.

Zloženie: Skladá sa z dvoch častí, pretože teplo sa ukladá aj vo vode, aj v hornine (zrnách):

- Kapacita uloženia tepla vo **vode**
- Kapacita uloženia tepla v **horninovej matici**

2. Člen advekcie (**Advection Term**):

Čo rieši: Tento člen reprezentuje transport tepla spôsobený **pohybom (prúdením) podzemnej vody**.

Význam: Toto je hlavný spôsob, ktorým sa teplo šíri v dobre priepustných zvodnencoch (napr. štrky). Ak voda priteká rýchlo, prináša/odnáša veľa energie.

3. Člen kondukcie a disperzie (**Conduction and Dispersion Term**):

Čo rieši: Tento člen opisuje šírenie tepla ktoré je spôsobené **teplotným spádom (gradientom)**.

Zloženie:

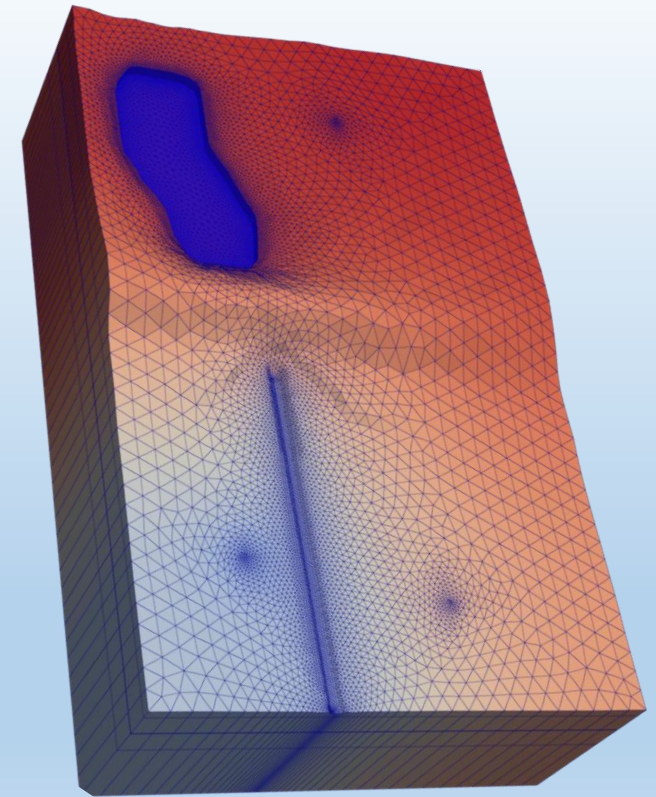
- **Tepelná vodivosť (Conduction):** Teplo sa šíri z teplejšieho miesta na chladnejšie vedením cez vodu aj cez horninu (zrná). Toto funguje, aj keď voda stojí (alebo v suchej hornine).
- **Termálna disperzia (Dispersion):** Rozptyl tepla spôsobený mikroskopickými nepravidelnosťami v prúdení (voda obteká zrná rôznymi cestami, čím sa teplo "rozmazáva").

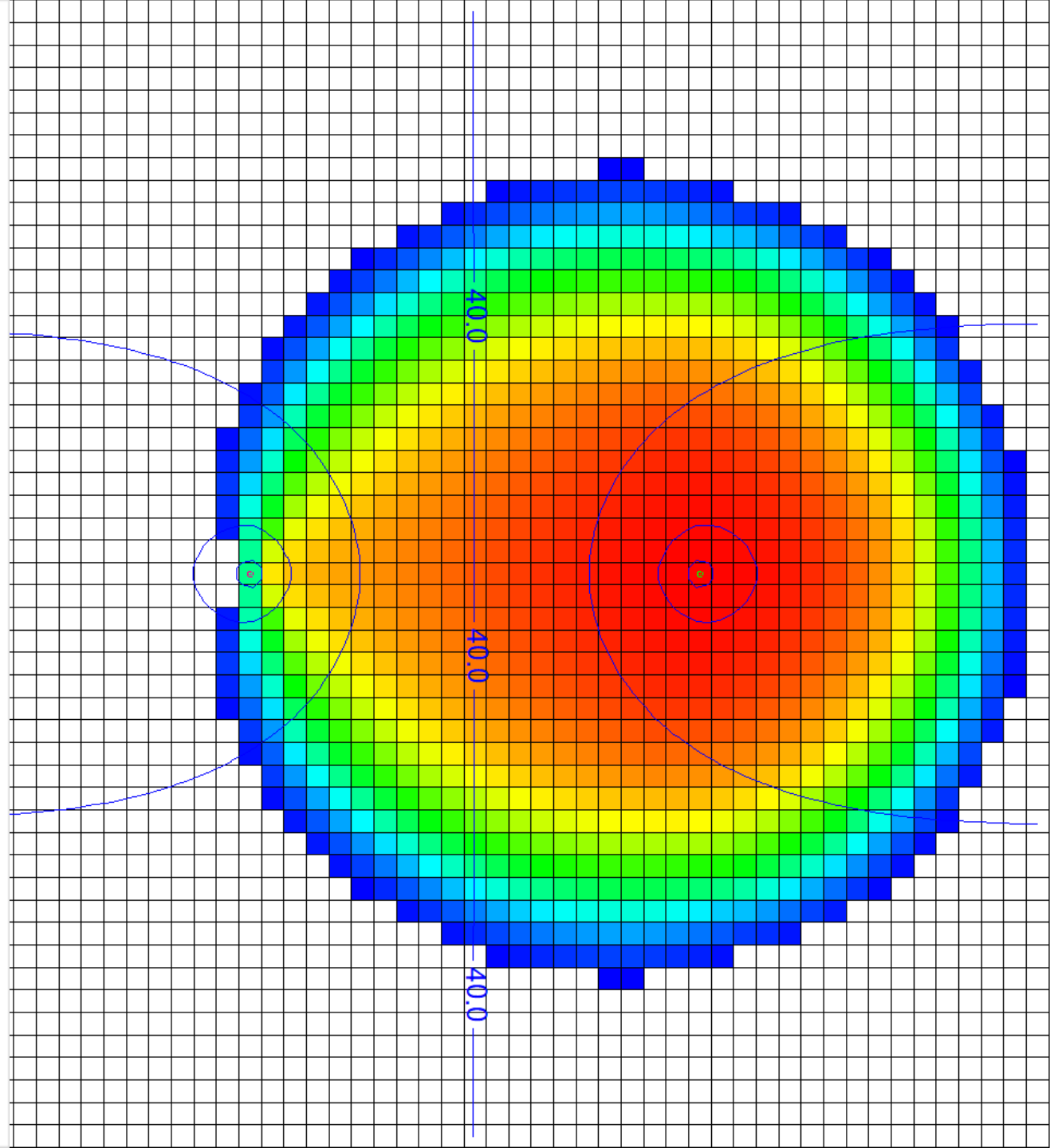
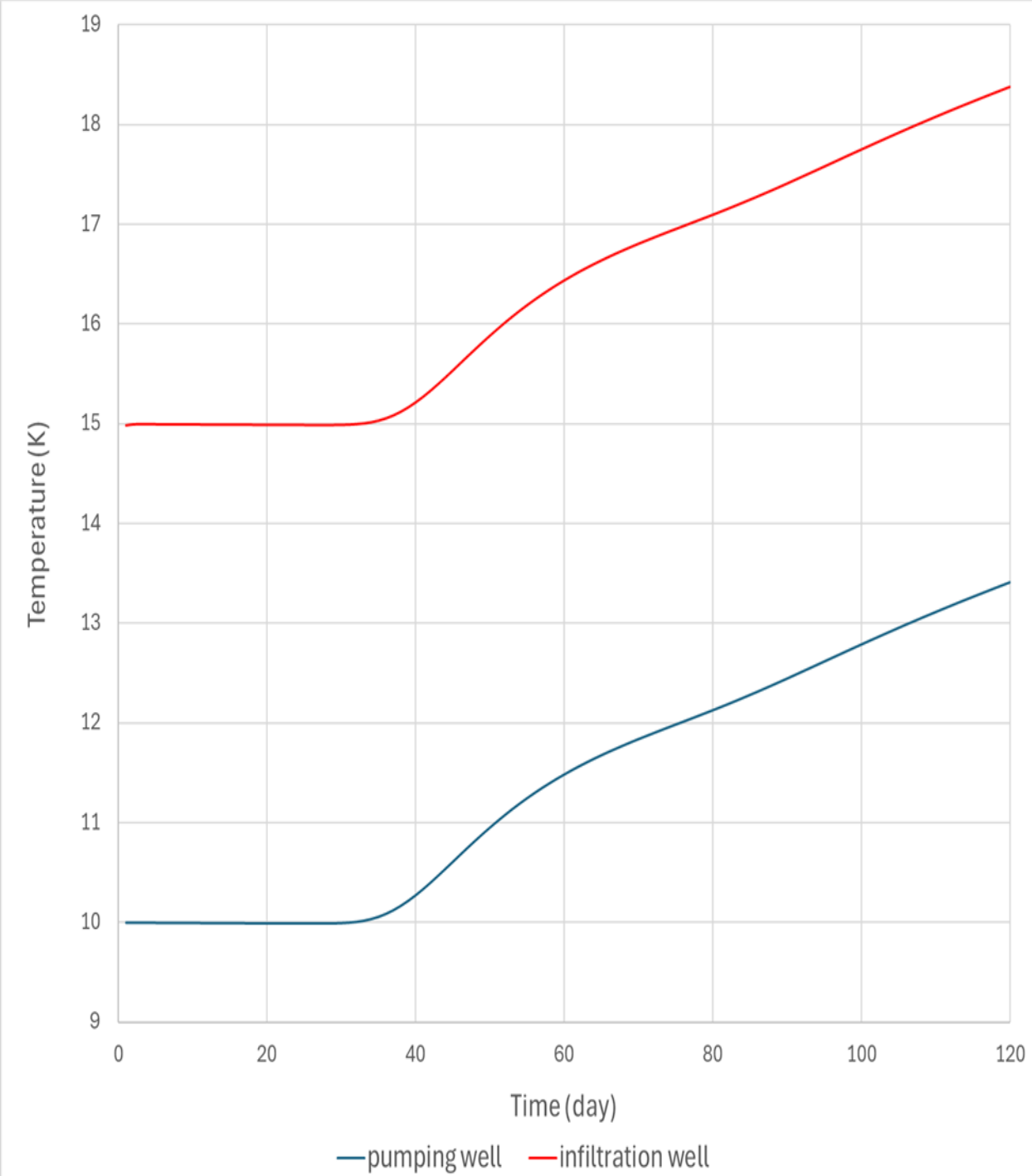
Význam: V málo priepustných horninách (íly) alebo v suchých zónach je toto dominantný spôsob šírenia tepla.

4. Zdrojový/Odberový člen (**Source/Sink Term**):

Čo rieši: Tento člen reprezentuje **externé pridávanie alebo odoberanie energie** zo systému.

Zhrnutie: Rovnica hovorí, že **zmena teploty v čase** (člen 1) je výsledkom rovnováhy medzi **teplom prineseným prúdom vody** (člen 2), **teplom preneseným vedením/rozptylom** (člen 3) a **teplom pridaným zvonku** (člen 4).





Ďakujeme za pozornosť



Doc. RNDr. Dávid Krčmář, PhD.
KIGHGAG, PriF, UK
david.krcmar@uniba.sk

Mgr. Matúš Klúz
HydroGEP, s.r.o.
matus.kluz@hydrogep.sk