

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA Z MĚŘENÍ TRT NA PROVEDENÉM GEOTERMÁLNÍM VRTU

Název akce / stavby: **VŠE Praha Žižkov**



Zadání úkolu: Měření tepelně-technických parametrů horninového prostředí na geotermálním vrtu. Získané informace budou následně použity pro dimenzování zbývajících geotermálních vrtů pro tepelná čerpadla systému ZEMĚ – VODA.

Objednatel měření a vyhodnocení: Vysoká škola ekonomická v Praze
Nám. W. Churchila 4, 130 67 Praha 3
IČO 61384399
DIČ CZ61384399

Zpracovatel závěrečné zprávy: Ing. Tomáš Fráňa GEROTop spol. s r.o.
Kateřinská 589, Liberec - Stráž nad Nisou, 463 03

Obchodní vedení zakázky : Milan Trs; GEROTop spol. s r.o.
Kateřinská 589, Liberec - Stráž nad Nisou, 463 03
m.trs@gerotop.cz; +420 777 166 565

Interní číslo akce: 1713/2023

Datum zpracování: 10/2023

OBSAH

Objednatel měření a vyhodnocení: Vysoká škola ekonomická v Praze	1
1 ÚVOD	3
2 VÝCHOZÍ PODKLADY	3
3 ZÁKLADNÍ INFORMACE O PROVEDENÉM MĚŘENÍ	3
3.1 Rozsah provedeného průzkumu.....	3
3.2 Přehled základních technických údajů k průzkumnému vrtu pro TČ	4
3.3 Základní informace o měření TRT.....	4
3.4 Měřené veličiny	5
3.4.1 Neovlivněná teplota horninového prostředí.....	5
3.4.2 Efektivní tepelná vodivost	5
3.4.3 Tepelný odpor vrtného otvoru	5
3.4.4 Možné zdroje chyb	6
4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ TRT.....	6
4.1 Parametry zkušebních vrtů, zastižená geologie	6
4.2 Výsledky měření	7
4.2.1 Okrajové podmínky měření.....	7
4.2.2 Teplotní profil vrtů	8
Průběh měřených hodnot:	9
4.2.3 Zhodnocení naměřených dat.....	10
5 ZÁVĚR.....	11

ROZDĚLOVNÍK

Vyhotovení č. 1 – 3

objednatel

Vyhotovení č. 4

archiv zpracovatele

1 ÚVOD

Na základě objednávky Vysoké školy ekonomické v Praze byl proveden průzkum v rozsahu měření 1ks vrtu pro tepelné čerpadlo metodou měření tepelné odezvy horninového prostředí (TRT). Dokument závěrečná zpráva z měření TRT obsahuje informace o provedeném průzkumu, který byl navržen s ohledem na dimenzování zbývajících geotermálních vrtů a určení možného pokrytí potřeb tepla/chladu plánovaného objektu.

Pilotní zkušební vrt byl proveden společností ARTEMIA,s.r.o. a byly umístěny na parc. p.č. číslo 16/1 v katastrálním Žižkov [727415]. Vrt byl proveden rotačně příklepovou technologií vrtání do konečné hloubky 199 m. a vystrojen geotermální sondou - dvouokruhová sonda Gerotherm VARIO 4 x d40x 3,7-4,5 mm PN16-PN20 délky 199 m a řádně vyinjektován ekologickou injektážní směsí o zaručené tepelné vodivosti $\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$.

Cílem měření bylo získat informace o tepelně-technických parametrech/vlastnostech podloží a zjištění neovlivněné střední teploty podloží včetně teplotního profilu. Veškeré zjištěné parametry budou dále sloužit pro dimenzování vrtného pole v projektové fázi.

2 VÝCHOZÍ PODKLADY

- ARTEMIA,s.r.o. (9/2023): Předané a řádně vyinjektované geotermální vrtu pro TČ vč. technické zprávy z vrtání
- Josef Straka, GEROTop: Rekognoskace území, vlastní měření, foto dokumentace

3 ZÁKLADNÍ INFORMACE O PROVEDENÉM MĚŘENÍ

3.1 Rozsah provedeného průzkumu

Vzhledem k velikosti investičního záměru a nasazenému celkovému výkonu TČ v rámci celé lokality byl proveden test teplotní odezvy horninového prostředí na průzkumném vrtu, které byly provedeny v datu 4.-5.9.2023 Pilotní zkušební vrtu byly umístěny p.č. číslo 16/1 v katastrálním Žižkov [727415]:



3.2 Přehled základních technických údajů k průzkumnému vrtu pro TČ

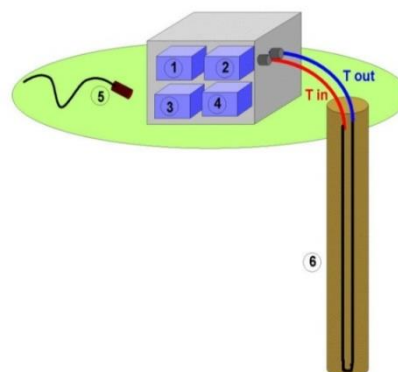
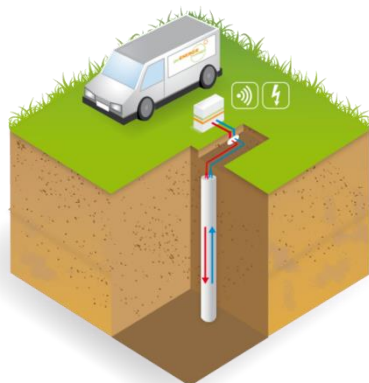
vrt	lokalizace vrtu parc. č.	Datum hloubení	hloubka vrtu	profil vrtání	materiál a profil výstroje	tamponážní směs
V1	16/1	4-5.9.2023	199 m	168 mm / 146 mm	4 x d40 x 3,7-4,5 mm	GeoFlow (2,0 W/mK)

Jedná se o plnohodnotný vrt pro tepelné čerpadlo, který bude zapojen do systému jako plnohodnotná součást primárního okruhu.

3.3 Základní informace o měření TRT

Cílem měření TRT (Thermal response test) je vždy zjištění tepelně-technických parametrů podloží včetně teplotního profilu a neovlivněné střední teploty podloží + teplotního profilu.

Test teplotní odezvy horninového prostředí (TRT) je mezinárodně osvědčený a uznávaný postup pro zjištění tepelných parametrů podloží. Kompletně vystrojený geotermální vrt je při měření tepelně zatížen stanoveným přivedeným teplem po dobu 48 až 72 hodin a tím je podloží aktivováno k teplotní odezvě ("response"). Tato reakce je charakteristická pro příslušné horniny a dovoluje výpočet efektivní tepelné vodivosti v okolí sondy. Dále je pomocí testu určena klidová teplota podloží, teplotní profil a tepelný odpor vrtu. **Tyto specifické hodnoty jsou nejdůležitějšími veličinami pro navrhování geotermálních zařízení.**



Grafické znázornění testu teplotní odezvy

- 1) Zařízení registrace dat pro teplotu na přívodu, zpětném chodu, venkovní teploty a průtočného množství
- 2) Řízení
- 3) Konstrukční skupina hydrauliky s topným prvkem a oběhovým čerpadlem
- 4) GSM radiový modem
- 5) Napájení proudem
- 6) Vrt se zabudovanou sondou zemního tepla

Teoretické základy testu teplotní odezvy byly v 80. letech 20. století odvozeny z termodynamiky a poté upraveny pro určování tepelné vodivosti v geotermálních vrtech. Od poloviny 90. let 20. století jsou k dispozici mobilní měřicí zařízení pro použití na staveništi. Měřicí přístroj TRT se skládá zejména ze zdroje tepla, oběhového čerpadla, záznamníku dat a řízení. Jelikož je příčný řez/profil geotermální sondy vůči délce zanedbatelný, může být vyhodnocení provedeno na základě liniového zdroje.

Podloží proto vykazuje při přísunu konstantního množství tepla ze začátku typické chování při ohřevu a později konstantní nárůst. Vyhodnocení časového vývoje teploty umožňuje určení tepelné vodivosti v okolí vrtného otvoru.

3.4 Měřené veličiny

3.4.1 Neovlivněná teplota horninového prostředí

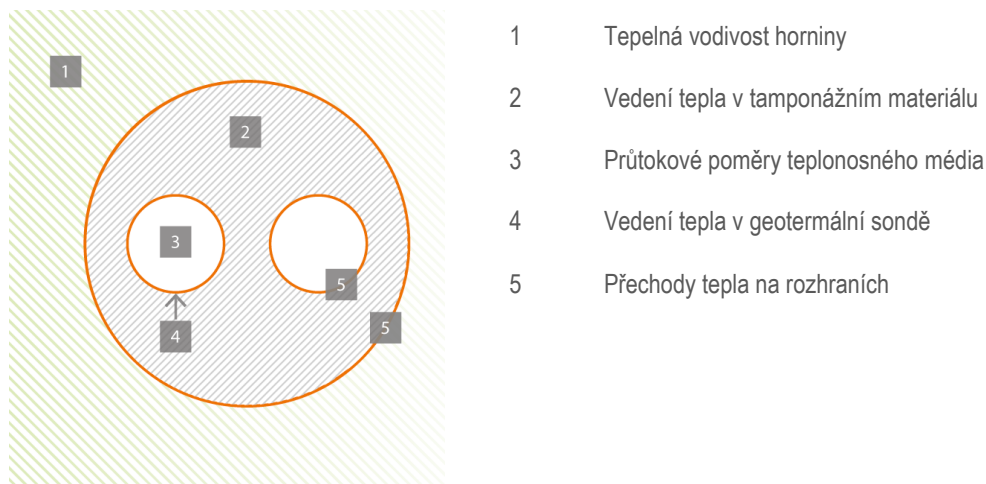
Pro dimenzování systému a určení tepelného odporu vrtného otvoru je zapotřebí neovlivněná teplota podloží. Vysoká teplota podloží umožňuje vyšší pokles teploty, a tím zvýšení efektivity provozu zařízení. Pro vysoké potřeby chlazení může být však vysoká teplota horninového prostředí na škodu. Na začátku testu teplotní odezvy jsou zaznamenány zpětné teploty. Podle délky sondy a velikosti průtoku dostaneme v první fázi testovacích prací odraz teploty zeminy. Druhý postup je zaznamenání profilu klidové teploty. Tímto způsobem jsme schopni zobrazit informaci o měnící se teplotě v rámci jednotlivých horizontů vrtu – teplotní profil.

3.4.2 Efektivní tepelná vodivost

Tepelná vodivost je dána rychlostí, kterou se šíří teplo daným prostředím. Tepelná vodivost je schopnost látky přepravovat energii ve formě tepla. Efektivní tepelná vodivost λ^* poskytuje integrální hodnotu tepelné vodivosti přes celý vrtný otvor. Výpočet se provádí podle teorie liniového zdroje. Do podloží efektivně přivedený topný výkon Q [W] se určí z teplotních rozdílů a parametrů média a objemového průtoku. Tepelná vodivost je rozhodující geotermický parametr, podle kterého jsou zařízení koncipována. V analytických simulačních programech (např. EED Earth Energy Designer) má tepelná vodivost podloží podstatný vliv na velikost geotermálních zařízení.

3.4.3 Tepelný odpor vrtného otvoru

Tepelný odpor vrtného otvoru R_b popisuje přechod tepla mezi kapalinou v sondě a stěnou vrtného otvoru. Dostaneme tak informaci o tepelných vlastnostech materiálu sondy a výplňovém materiálu.



Faktory ovlivňující tepelný odpor

Výpočet lze odvodit také z Kelvinovy teorie liniového zdroje. Pravidlo výpočtu zní:

$$R_b = \frac{H}{Q} (T_f - T_0) - \frac{1}{4\pi\lambda^*} \left[\ln(t) + \ln\left(\frac{4\alpha}{r_0^2}\right) - 0.5772 \right]$$

T_f Aktuální teplota kapaliny

T_0 Teplota kapaliny na začátku měření

α Tepelná difuzivita v [m²/s], $\alpha = \lambda / (\rho \cdot c_p)$

r_0 Rádus vrtného otvoru [mm]

Tepelný odpor vrtného otvoru vypovídá o kvalitě a návaznosti napojení geotermální sondy na horninové prostředí.

3.4.4 Možné zdroje chyb

Zjištění nepřesnosti měření je důležitou součástí vyhodnocení měření. Teprve posouzení možných zdrojů chyb vypovídá o další použitelnosti údajů. Vedle teoretických chyb zakládajících se na přibližném matematickém řešení pro geotermální sondu (teorie liniových zdrojů) mají na výsledky měření vliv nepřesnosti získané měřením a kolísání proudu na staveništi. Největší zde uvedenou chybou se rozumí největší možné odchylky od skutečné hodnoty, tzn. za nejnejpříznivějších okolností. Platí odhad největší chyby podle Gaussova zákona rozmístění nahodilých chyb:

$$\Delta\lambda = \left| \frac{3 \cdot s_D}{\bar{D}} \right| + \left| \frac{3 \cdot s_{\Delta T}}{\bar{\Delta T}} \right| + \left| \frac{\Delta H}{H} \right| + \left| \frac{\Delta k}{k} \right|$$

Chyby v určení λ^* jsou způsobeny jak systematicky topným výkonem Q a délkou sondy H jakož i náhodně stoupáním regresní přímky k . Chyby v Q jsou podmíněny vedle kolísání tlaku na staveništi bezprostředně přesností měření teplotních čidel ($\pm 0,1$ K) a výkonnostního čidla ($\pm 0,1$ l/min). Největší chyba získaného topného výkonu může být odhadnuta pomocí 3 násobku standardní odchylky.

Délka geotermální sondy H se předpokládá s chybou ± 1 % délky sondy zjištěné v pokusu. Při aplikaci uvedeného postupu vychází při testování typické akceptovatelné chyby mezi 3 a 6 %.

4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ TRT

4.1 Parametry zkušebních vrtů, zastížená geologie

Na základě místních hydrogeologických podmínek byla zvolena hloubka zkušebního vrtu 199 m. Vrt byl v obou případech vrtán přibližným průměrem korunky 146 mm v konečné hloubce, vystrojen dvouokruhovým vystrojením - dvouokruhová sonda Gerotherm 4 x d40 x 3,7-4,5 VARIO a následně tlakově vyinjektovány pro zamezení propojení jednotlivých vodních horizontů. Vrt byl vyvrtán a vystrojen do konečné hloubky 199 m a potvrdila se tak technická možnost provádění vrtů v dané lokalitě do těchto hloubek

Při vrtání byla naražena následující geologie:

0,0 – 16 m	hlína+kamení
16,0 – 30,0 m	zvětralá břidlice
30,0 – 199,0 m	břidlice

Technické pažení:

řídící kolona ocelová pažnice Ø 168 mm 0,0 – 16 m – po provedení vrtu odtěženo

Proveditelnost vrtů vrtaného průměru **146 mm o hloubce až 199 m metodou rotačního příklepového vrtání se vzduchovým výplachem byla pilotními vrty potvrzena**. Vzhledem k místním hydrogeologickým podmínkám je třeba počítat s technickým pažením v horizontu 0 – 16 m.

4.2 Výsledky měření

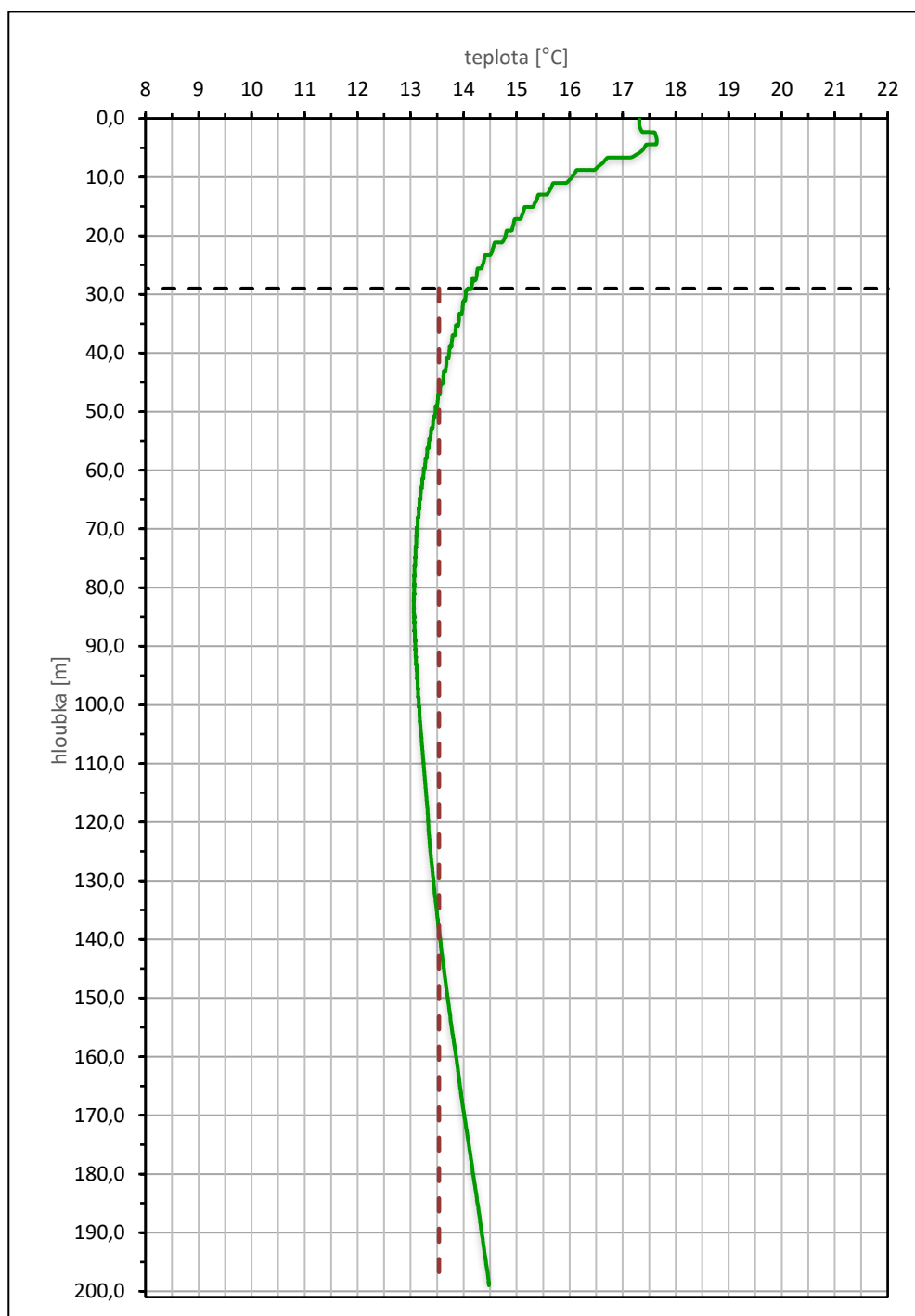
4.2.1 Okrajové podmínky měření

Okrajové podmínky měření		
Datum měření	02.10.2023 - 05.10.2023	-
Parametry vrtu		
Hloubka vrtu podle dokumentace	199m	m
Délka sondy podle dokumentace	199m	m
Střední průměr vrtu	148 mm	mm
Typ sondy	4 x d40x3,7 – 4,5	-
Druh injekční směsi	GeoFlow 2,0	W/m.K
Parametry Thermal Response Testu		
Průměrný topný výkon	9207 W	W
Rozsah venkovních teplot	10,8 – 32°C	°C
Typ média	voda	
Střední průtok vrtem	40,0	l/min
Střední teplotní spád vstup/výstup	3,0	K
Typ proudění	turbulentní	

4.2.2 Teplotní profil vrtu

Před samotným měřením TRT byl proveden teplotní profil geotermálního vrtu, díky kterému byla zjištěna teplota v různých výškových úrovních vrtu a stanovena střední neovlivněná teplota nezatíženého vrtu s ohledem na sezónně ovlivněnou vrchní část vrtu. Výsledky jsou patrné z grafu a tabulky níže:

Teplotní profil vrtu		
Hranice sezónního teplotního ovlivnění t_{seasonal}	29	m
střední neovlivněná teplota podloží (bez sezónního ovlivnění) $T_{\text{T-log}}$	13,5	°C

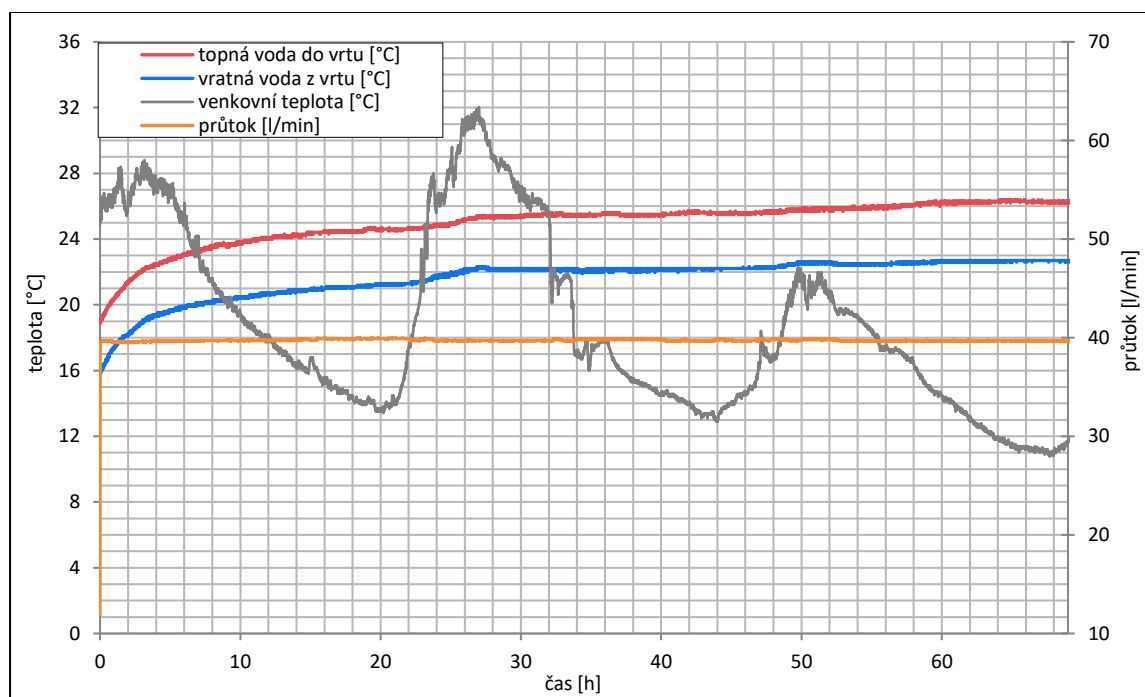
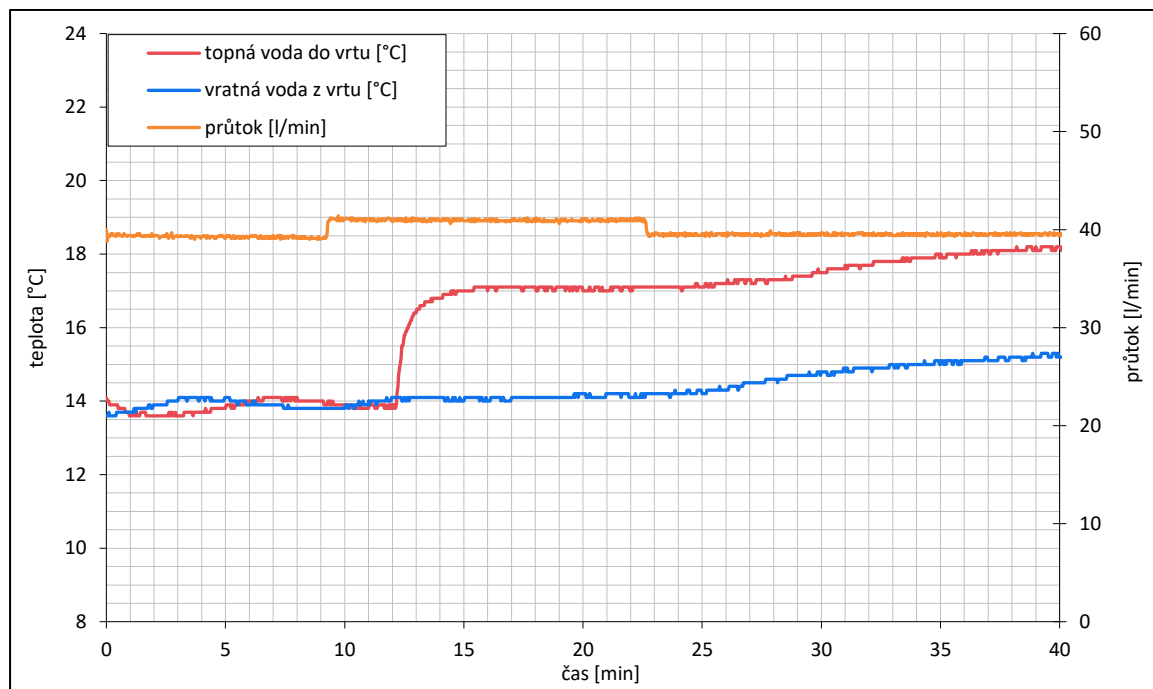


Výsledky měření TRT

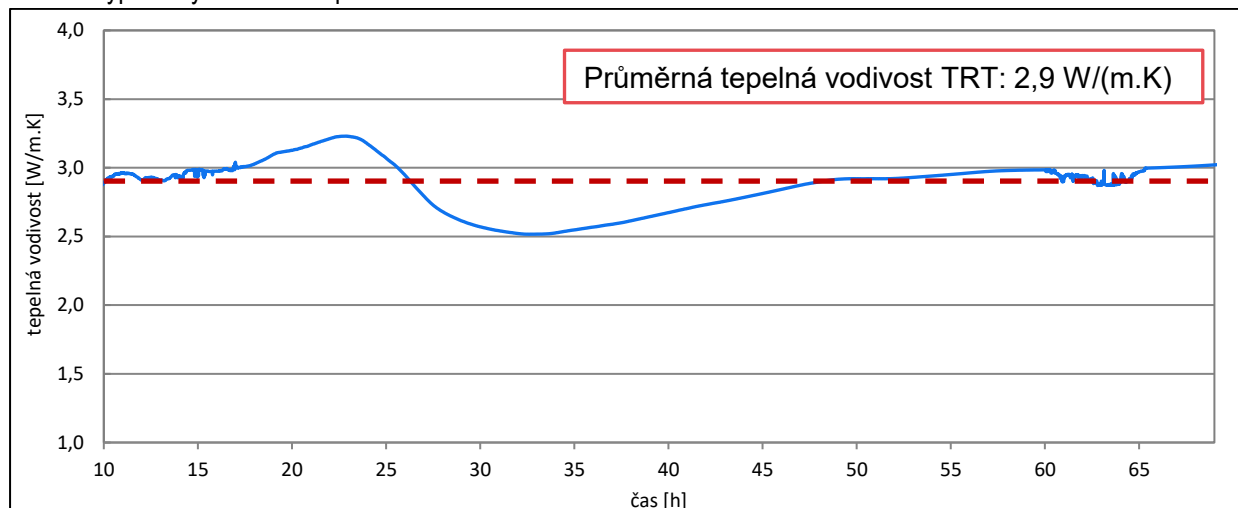
Testem teplotní odezvy horninového prostředí se dospělo k následujícím závěrům:

TRT test na vrtu		
Efektivní tepelná vodivost λ^*	$2,8 \pm 0,1$	W/mK
Tepelný odpor vrtu R_b	0,09	K/W/m
Délka sondy	199	m

Průběh měřených hodnot:



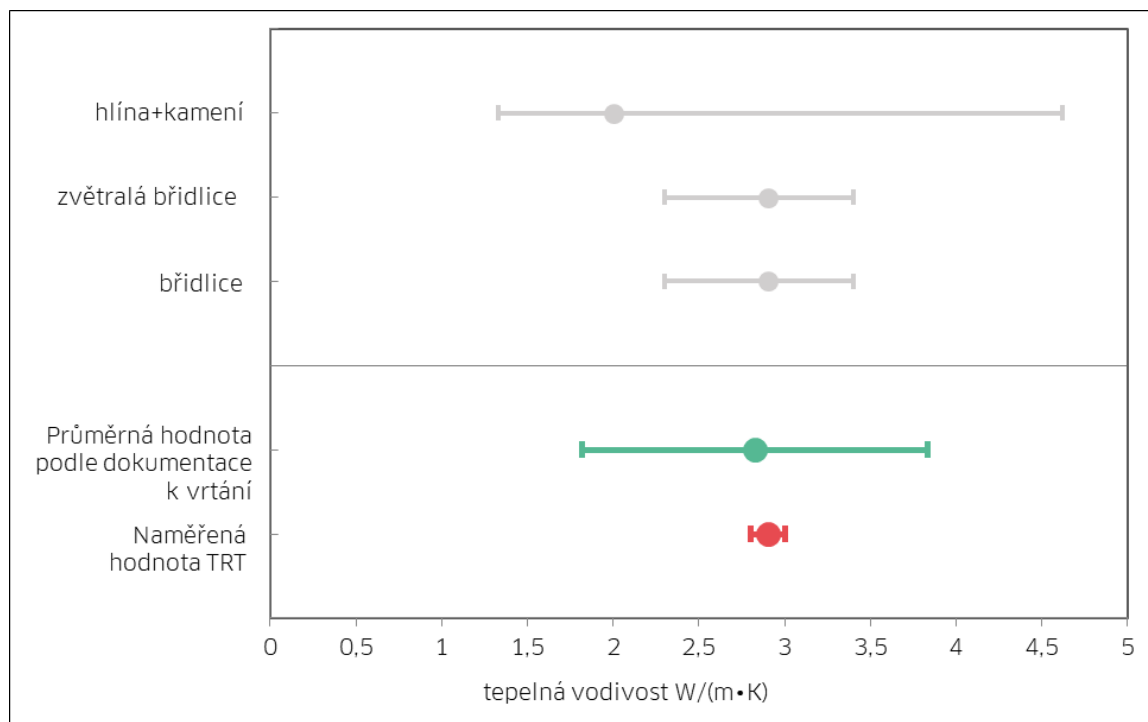
Průběh vypočtených hodnot tepelné vodivosti



4.2.3 Zhodnocení naměřených dat

- Naměřená hodnota efektivní tepelné vodivosti získaná měřením TRT $\lambda = 2,9 \text{ W/mK}$ jsou průměrné hodnoty, odpovídající naražené geologii a pro efektivní využití v oblasti mělké geotermie jsou to hodnoty pozitivní
- Hodnota tepelného odporu měřených vrtů $R_b = 0,09 \text{ K/W/m}$ svědčí o kvalitní injektáži vrtu s ohledem na vrtaný průměr a typ/vodivost použitého materiálu injektáže
- Neovlivněná teplota prostředí bez sezónního ovlivnění byla naměřena $T_{T-\log} = 13,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Tato je očekávaná v daných hloubkách a v lokalitě Praha. Vyšší neovlivněná teplota má pozitivní vliv na množství odebírané energie – větší energetický potenciál pro výrobu tepla respektive odběr tepla ze země.

Porovnání naměřených / vypočtených hodnot tepelných vodivostí s tabulkovými hodnotami naražené geologie:



5 ZÁVĚR

Na základě objednávky Vysoké školy ekonomické v Praze byl proveden průzkum v rozsahu měření 1ks vrtu pro tepelné čerpadlo metodou měření tepelné odezvy horninového prostředí (TRT). Dokument závěrečná zpráva z měření TRT obsahuje informace o provedeném průzkumu, který byl navržen s ohledem na dimenzování zbývajících geotermálních vrtů a určení možného pokrytí potřeb tepla/chladu plánovaného objektu.

Pilotní zkušební vrt byl provedeny společností ARTEMIA,s.r.o. a byly umístěny na parc. p.č. číslo 16/1 v katastrálním Žižkov [727415].

Cílem průzkumných prací bylo získat informace o základních tepelně-technických parametřů/vlastností podloží a zjištění neovlivněné střední teploty podloží včetně teplotního profilu. Veškeré zjištěné parametry budou dále sloužit pro dimenzování vrtného pole pro vytápění/chlazení tepelnými čerpadly v objektech VŠE.

V Liberci 10 / 2023
Ing. Tomáš Fráňa