

Závěrečná zpráva

„Provedení Thermal-Response-Test (TRT)
na vrtu vystrojeném geotermální sondou“

Stavební projekt
„Botanická Brno“

Zhotovitel testu:

HGC Hydro-Geo-Consult GmbH
Halsbrücker Straße 34
09599 Freiberg

Objednatel testu:

GE-TRA s.r.o.
Kašparova 9
460 06 Liberec 6

Freiberg, 28.8.2012



i.A. M. Richter
Dipl.-Geol.

Obsah:

1	Předmluva.....	3
1.1	Smluvní vztah.....	3
1.2	Provedené práce.....	3
2	Popis projektu.....	3
2.1	Umístění.....	3
2.2	Technické podmínky vrtu.....	3
2.3	Geologické podmínky.....	4
3	Thermal-Response-Test.....	4
3.1	Zařízení pro TRT.....	4
3.2	Podmínky zkoušky.....	4
3.3	Výsledky měření.....	5
3.4	Vyhodnocení.....	6
4	Shrnutí výsledků.....	7
5	Použitá literatura.....	9

Popisy obrázků:

Obrázek 1:	Nákres naměřených hodnot vstupních a výstupních teplot a také průtoku v křivkách.....	5
Obrázek 2:	Průměrná teplota kapaliny a tepelný záznam v podloží.....	6
Obrázek 3:	Průměrná teplota teplotnosného média a regresní křivka.....	7

Popisy tabulek:

Tabulka 4-1:	Výsledky testu.....	7
--------------	---------------------	---

Popisy příloh:

Příloha 1:	Teplotní záznam
Příloha 2:	Fotodokumentace

1 Předmluva

V rámci stavebního projektu Botanická v Brně je plánováno využití zemní energie aktivací energetických pilot.

Jako základ pro určení vydatnosti pilot je potřeba určit specifickou tepelnou vodivost horniny v podloží. K tomu byl na místě vyhlouben vrt a vystrojen zemní sondou. Na této sondě byla prostřednictvím TRT určen tepelná vodivost.

1.1 Smluvní vztah

Objednatel Thermal-Response-Testu je firma GE-TRA s.r.o.

1.2 Provedené práce

Po dohodě se zadavatelem byl Thermal-Response-Test proveden firmou Hydro-Geo-Consult GmbH a to v časovém období od 8.8.2012 do 11.8.2012 v trvání 72 hodin.

2 Popis projektu

2.1 Umístění

Brno, Botanická

2.2 Technické podmínky vrtu

Zkušební vrt má následující charakteristiku:

- Konečná hloubka: 13m (měření teplotního záznamu)
- Vrtný průměr
(0,0 - 4,5m): 273mm
(4,5 - 13,0m): 220mm (střed 238mm)
- Typ zemní sondy: PE 4 x 32mm

2.3 Geologické podmínky

Pro testovací vrt nebyl předložen nákres jednotlivých vrstev podloží.

Proto byly použity údaje vyplývající z již hotových stavebních vrtů (zdroj: GEOTest, Brno, březen 2010).

Následující rozdělení podložních vrstev bylo odhadnuto pro zkušební vrt:

- 0,0 - 3,8m: antropogenní násyp (např. štěrk, hlína, beton)
- 3,8 - 6,0m: spraš
- 6,0 - 7,8m: štěrk a jíl
- 7,8 - 8,1m: štěrk, písek
- 8,1 - 13,0m: jíl

Hladina spodní vody byla stanovena v hloubce 6,2m.

3 Thermal-Response-Test

3.1 Zařízení pro TRT

Testovací zařízení se skládá z těchto hlavních komponentů:

- 0-9 kW elektrické topné zařízení
- Průběžné oběhové čerpadlo
- Datový rekordér pro vstupní a výstupní teploty, proudění a okolní teplotu
- Kontrolní a řídicí jednotka
- Datový modem pro vzdálený přenos a obsluhu

3.2 Podmínky zkoušky

Hloubka sondy: 13 m

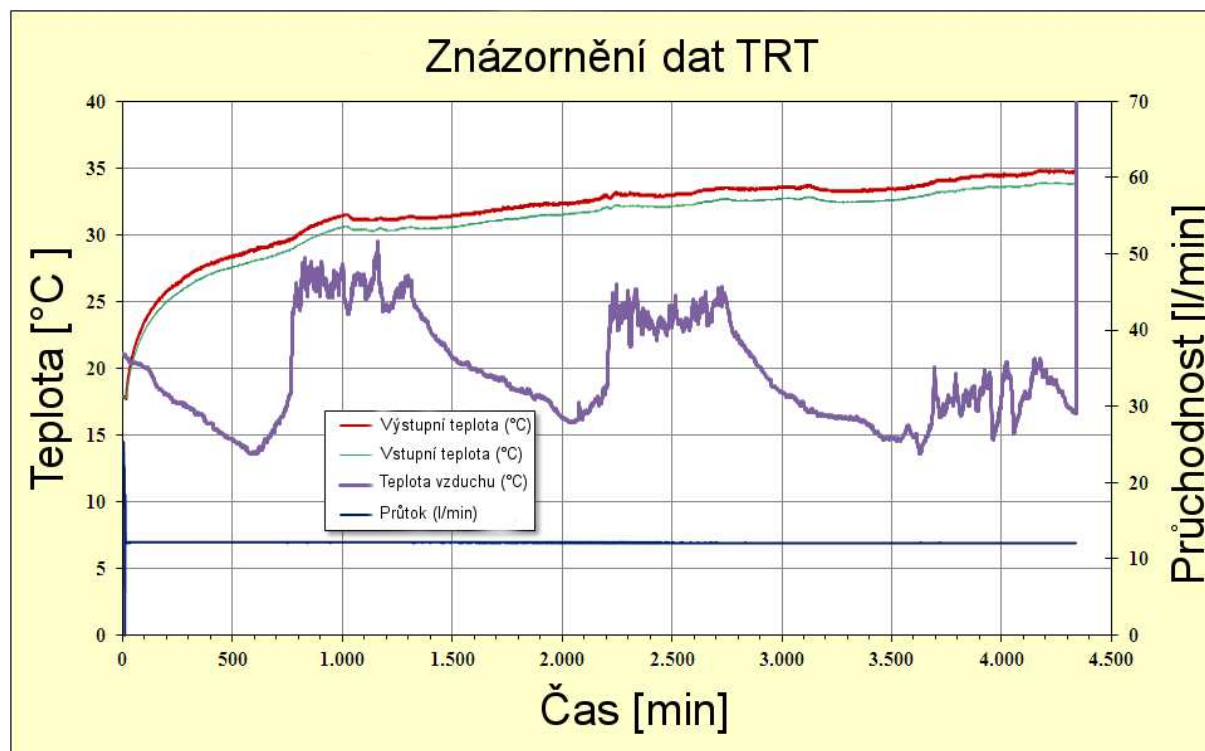
Druh sondy: PE-HD-Doppel-U, 4 x 32 x 2,9 mm

Doba měření: 08/08/2012 až 11/08/2012
 Topný výkon: 730 W
 Max. výstupní teplota: 34,8 °C
 Max. vstupní teplota: 33,9 °C
 Doba trvání měření: 4340 min, použitá data: 3140 min

3.3 Výsledky měření

Naměřené výstupní (červená křivka) a vstupní (zelená křivka) teploty jsou znázorněny v obrázku 1. Před začátkem testu proběhlo měření teplotního profilu v sondě (příloha 1). Na základě těchto dat byla určena nerušená teplota podloží, které je 16,3 °C.

Po přístavení agregátu proběhl TRT bez přerušení. Zakreslené teploty jsou dostatečně stabilní a vykazují konstantní nárůst.



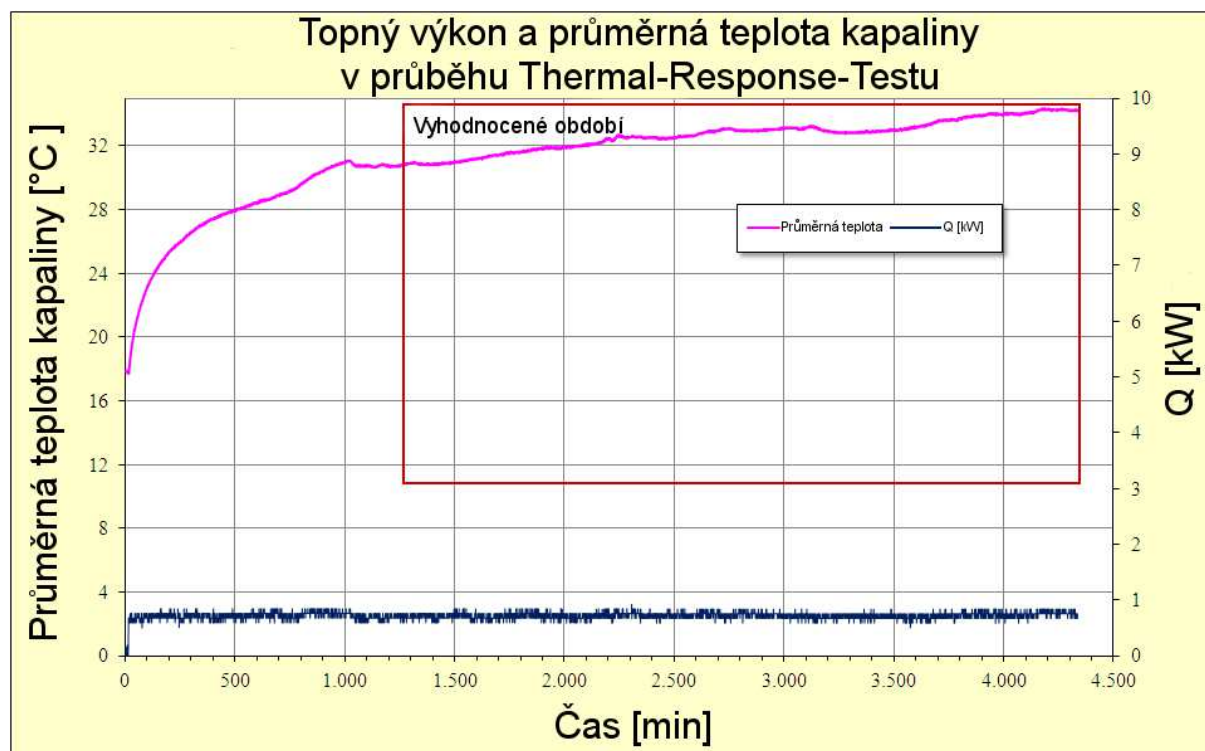
Obrázek 1: Náskres naměřených hodnot vstupních a výstupních teplot a také průtoku v křivkách

Před zahájením testu byl rutinně zabudován nový filtr, aby se zabránilo technickým problémům.

Prvním krokem hodnocení naměřených hodnot je zjistit minimální dobu platnosti (minimální doba t_{min}).

Naměřené hodnoty pod minimální dobu t_{min} budou z vyhodnocení vypuštěny. Pro provedení testu může být průkazná minimální doba 1200 min.

Na obrázku 2 je znázorněn teplotní výkon dodaný zemní sondě (zde topný výkon) a průměrná teplota kapaliny. Obě hodnoty jsou potřebné přímo pro vyhodnocení testu. Teplotní výkon je počítán na základě proudění a teplotních rozdílů. Níže je znázorněno také vyhodnocené období.



Obrázek 2: Průměrná teplota kapaliny a tepelný záznam v podloží

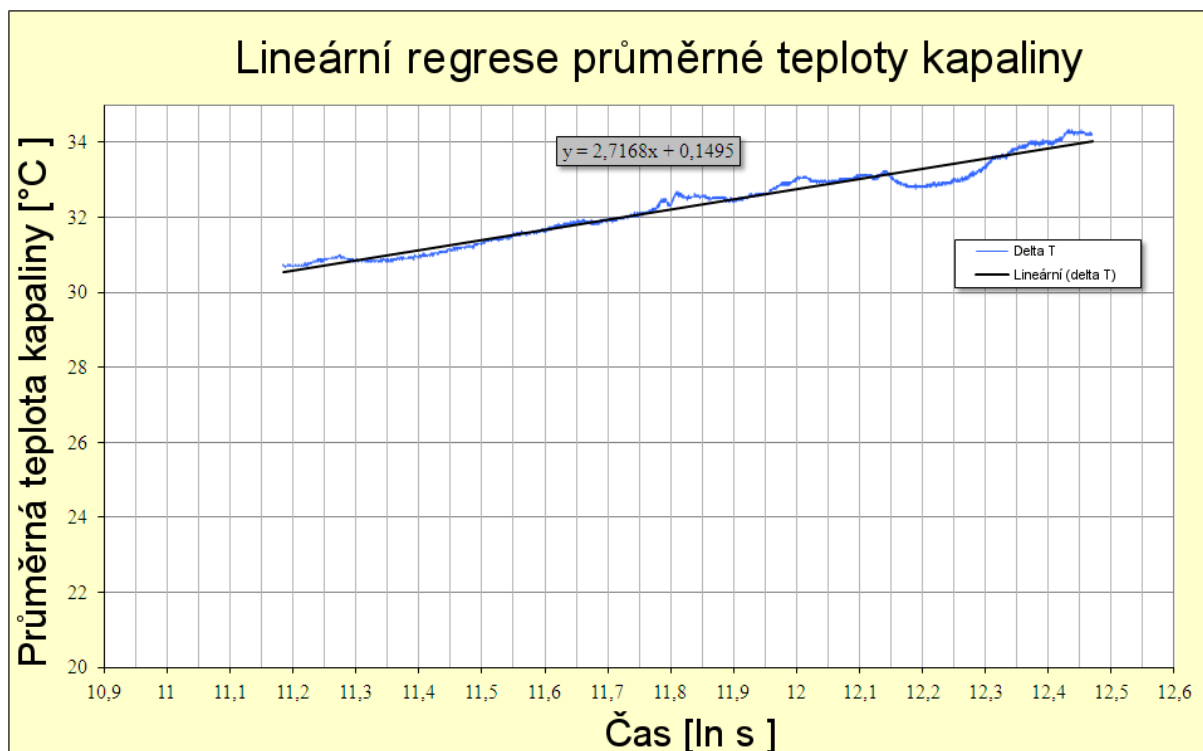
3.4 Vyhodnocení

Vyhodnocení je provedeno na základě „Linienquellentheorie“

Na obrázku 3 je zanesena průměrná teplota teplonosné kapaliny na logaritmické časové ose.

Ze sklonu regresivní přímky pro každý časový úsek vyplývá efektivní resp. zřejmá tepelná vodivost λ^* :

$$\lambda^* = \frac{Q}{4\pi \cdot H \cdot k}$$



Obrázek 3: Průměrná teplota teplotnosné kapaliny a regresní přímka

Ve výsledku vychází stanovená efektivní tepelná vodivost $1,63 \text{ W/(m K)}$.

4 Shrnutí výsledků testu

Kompletní výsledky testu jsou shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 4-1: Výsledky testu

Čas [h]	H [m]	r_b [m]	t_{\min} [h]	Q [W]	k	T_0 [°C]	R_b [K/(W/m)]	λ^* [W/m·K]
20,0...72,3	13	0,119	20	727	2,7168	16,3	(0,15)	1,63

Na základě využití energetických pilot nemá spočítaný odpor vrtu žádný význam. Jelikož pro testovací vrt nebyl předložen náčrtek vrstev podloží, nelze vyloučit „mírné“ odchylky výsledků.

Efektivní tepelná vodivost podloží dosáhla v místě zkušební sondy **$1,63 \text{ W/(m K)}$** . Z důvodu suchého podloží lze naměřenou hodnotu brát jako střední až špatnou.

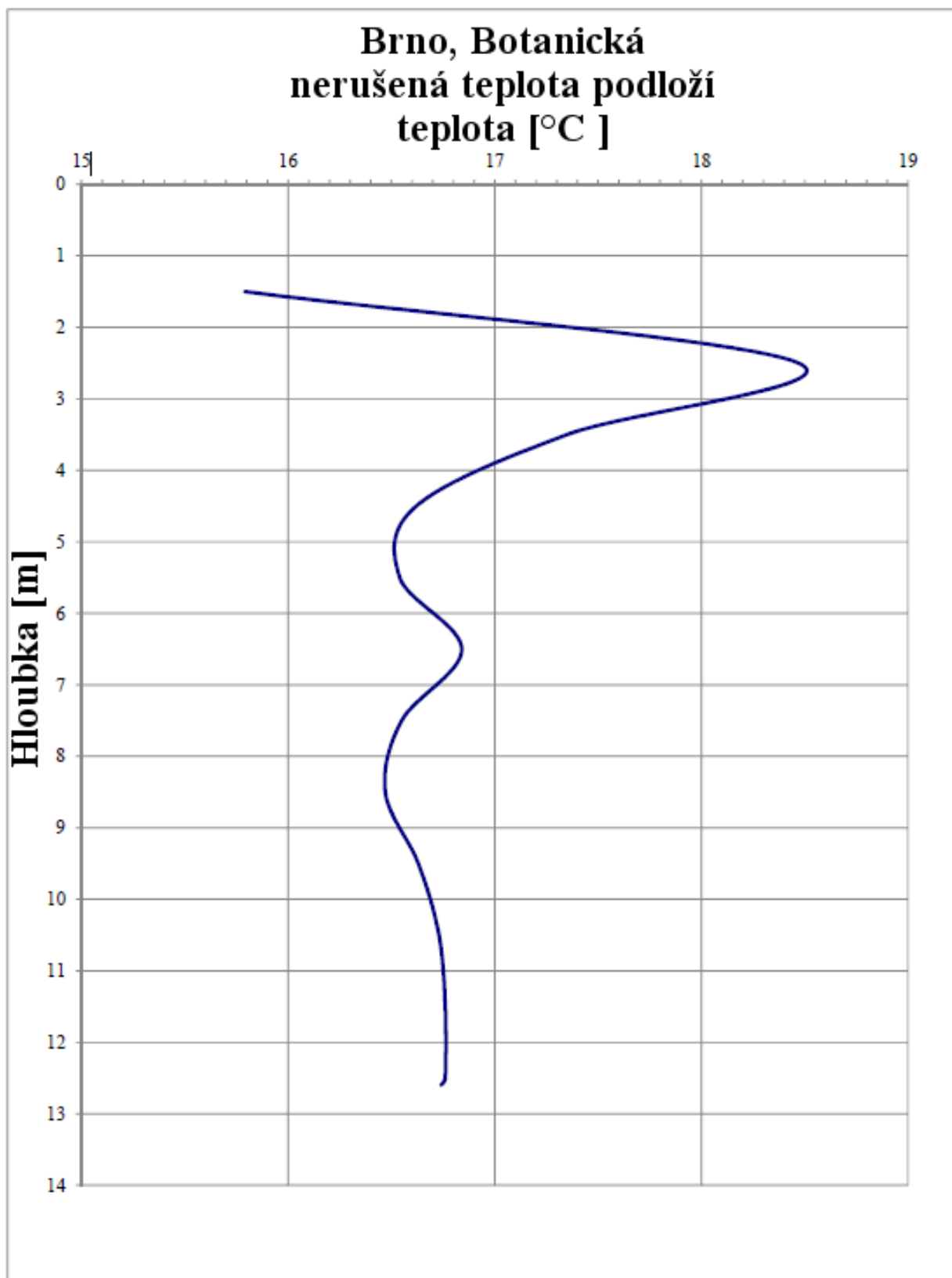
Závěrem by mělo být zmíněno, že je nerušená teplota podloží neočekávaně vysoká.

5 Literatura

- Busso, A., Georgiev, A., Roth, P., 2003: Underground Thermal Energy Storage – First Thermal Response Test in South America. RIO 3, World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, Brazil
- Carslaw, H. S., Jaeger, J. C., 1959: Conduction of Heat in Solids. Second ed. Oxford University Press, Great Britain
- Claesson, J., Hellström, G., 2000: Analytical studies of the influence of regional groundwater flow in the performance of borehole heat exchangers. Proc. of the 8th International Conference on Thermal Energy Storage, Terrastock 2000, Stuttgart
- Eklof, C., Gehlin, S., 1996: A mobile Equipment for Thermal Response Test. Master's Thesis Lulea University of Technology, Sweden
- Gehlin, S., 2002: Thermal Response Test – Method, Development and Evaluation. Doctoral Theses, Lulea University of Technology, Sweden
- Hellström, G., 1994: Fluid-to-Ground Thermal Resistance in Duct Ground Heat Storage. Proc. 6th International Conference on Thermal Energy Storage, Calorstock 1994, Espoo Finland, 373-380
- Hellström, G., 1997: Thermal Response Test in a Heat Store in Clay at Linköping, Sweden. Proc. 7th International Conference on Thermal Energy Storage, Megastock 1997, Sapporo, Japan, 115-120
- Ingersoll, L. R., Plass, H. J.: 1948: Theory of the Ground Pipe Heat Source for the Heat Pump. ASHVE Transactions Vol. 54, 339-34
- Morgensen, P., 1983: Fluid to Duct Well Heat Transfer in Duct System Heat Storage. Proc. Int. Conf. On Subsurface Heat Storage in Theory and Practice. Stockholm, Sweden, 652-657
- Sanner, B., 2001: Erfahrungen mit dem Thermal Response Test in Deutschland. 6. Geothermische Fachtagung, Herne
- Schön, J., 1983: Petrophysik. Akademie-Verlag Berlin

Příloha 1

Teplotní záznam



Příloha 2

Fotodokumentace



Obrázek 1: Provozní fáze Thermal-Response-Testu



Obrázek 2: Uzavřená sonda po dokončení testu