EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

KRYCÍ LIST – VÝSTUPY

Název výstupu	Rozšířená databáze tepelných vlastností hornin
Výzkumný program	Tepelný tok a teplotní podmínky v zemské kůře
Partner/partneři	Geofyzikální ústav AV
Termín zpracování	5/2020

Název projektu	Modernizace výzkumné infrastruktury RINGEN (RINGEN+)
Registrační číslo	CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_013/0001792
Žadatel	Univerzita Karlova – Přírodovědecká fakulta

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Úvod

V rámci projektu RINGEN byly zejména ve spolupráci s ČGS změřeny tepelné vlastnosti desítek horninových vzorků a tím byla rozšířena stávající databáze naměřených dat, která v uplynulých letech vznikla v geotermickém oddělení GFÚ. Jednalo se například o vzorky krystalických hornin z oblasti západních Čech, nebo vzorky odebrané v místech granitických plutonů, které jsou díky své zvýšené tepelné produkci významné z hlediska možného využití geotermální energie.

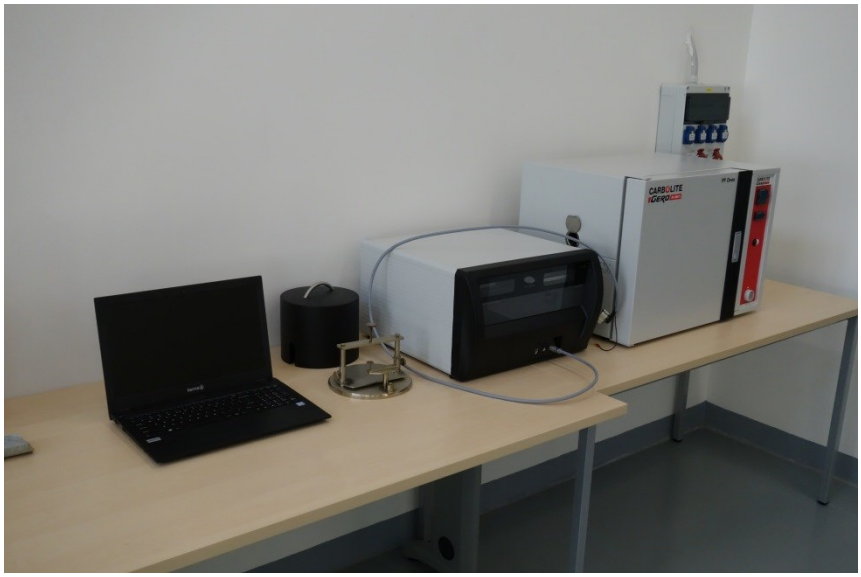
Metodika měření

Měření probíhalo zejména bezkontaktní metodou tzv. optického skenování a pak také nově zakoupenou kontaktní aparaturou Hot Disk. Principem metody optického skenování (přístroj TCS vyrobený firmou Lippmann and Rauen GbR, viz. obr. 1) je zahřívání horninových vzorků optickým paprskem, jehož zdroj je spolu s bezkontaktními teplotními čidly umístěn na pohybující se měřící "hlavě". Teplotní odezva je snímána podél vzorků s krokem 2 mm. Přístroj umožňuje stanovit tepelnou vodivost a difuzivitu. Po zapnutí přístroje je vždy provedena kalibrace teplotních čidel a spolu se sadou vzorků je proměřen také homogenní standard o přesně stanovených tepelných vlastnostech. Pokud je odchylka naměřené tepelné vodivosti standardu větší než cca 3%, jsou teplotní čidla rekalibrována a měření opakováno. Tím je zaručena výrobcem deklarovaná přesnost měření 3% v případě tepelné vodivosti a 5% v případě tepelné difuzivity. Na přesnost měření má pak dále vliv velikost vzorku, resp. jeho struktura. V případě, že se jedná o horniny krystalické, může docházet ke zkreslení měřených hodnot přítomností krystalových vyrostlic, resp. lokální akumulací minerálů s rozdílnými tepelnými vlastnostmi. Z důvodu co největšího zamezení výše uvedených negativních vlivů, je měření provedeno vždy třikrát paralelně v daném směru. Měření je vždy provedeno ve dvou na sebe kolmých směrech na ploše řezu. V případě patrných foliací, či usměrnění zrn je měření prováděno ve směrech kolmo a paralelně s plochami foliace.

Obr. 1 - pohled na část měřící aparatury s umístěním vzorku

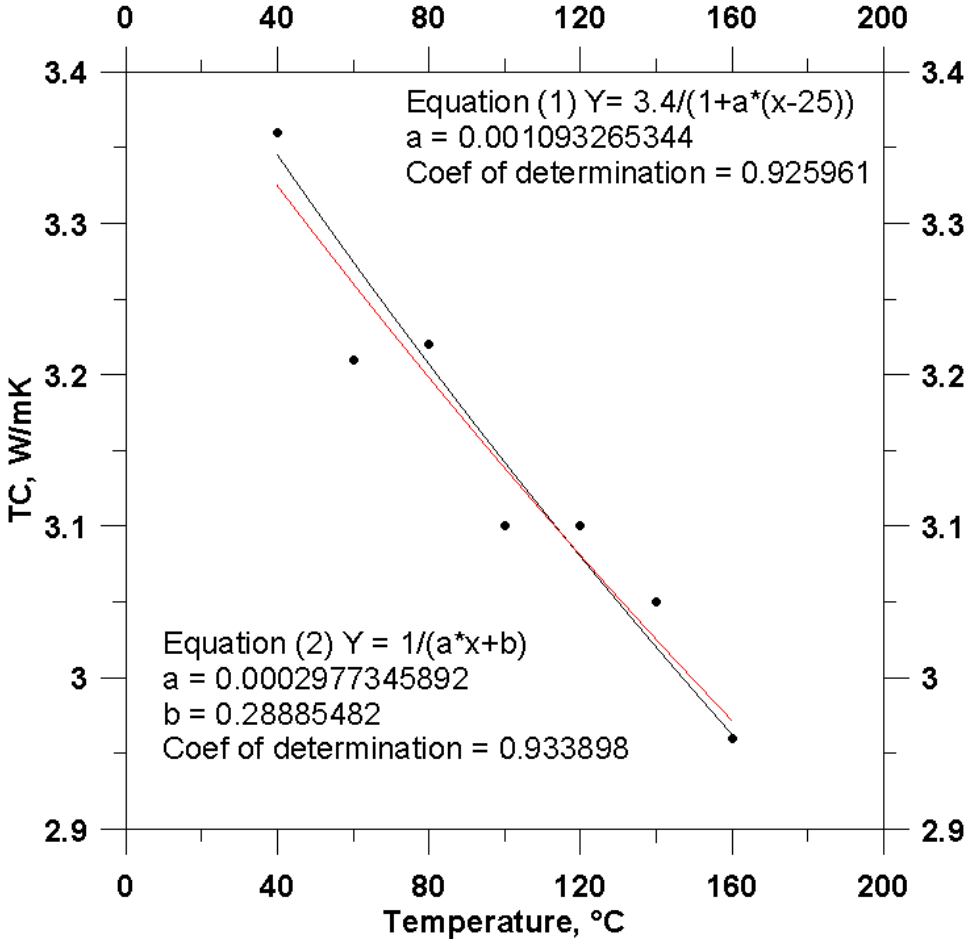
Obr. 2 - horninový vzorek z přibližným zákresem měřících trajektorií

Druhou použitou metodou bylo měření pomocí kontaktní aparatury Hot Disk (viz. obr. 3), která byla na konci roku 2018 pořízena z prostředků projektu RINGEN. Aparatura disponuje různě velkými plošnými senzory, jejichž tloušťka je menší než 1mm. Díky propracovanému softwaru je možné z měření odfiltrovat možný vliv tepelného odporu vzorku, což bývá slabinou ostatních dotykových metod. Zásadní výhodou a důvodem proč byla aparatura pořizována, je možnost propojení s vysokoteplotní pecí (na obr. 3 vpravo) a měření tepelných vlastností horninových vzorků za různých teplot. Tím lze simulovat podmínky reálného geotermálního reservoáru v hloubce několika kilometrů pod zemským povrchem.



Obr. 3 – aparatura Hot Disk spolu s vysokoteplotní pecí

Na obrázku 4 je ukázka výsledku měření aparaturou Hot Disk, kdy byl za různých teplot proměřen vzorek svoru z vrtného jádra vrtu GTPVLT-1 v Litoměřicích. Je patrný poměrně značný pokles tepelné vodivosti s narůstající teplotou, který odpovídá parametrům použitým pro model granitového tělesa publikovaný v závěrečné zprávě o litoměřickém vrtu z roku 2007 (Šafanda a kol. 2007)



Obr. 4 – závislost tepelné vodivosti na teplotě vzorku svoru z vrtu GTPVLT-1

Výsledky měření

V následujících tabulkách jsou ukázány naměřené hodnoty tepelných vlastností několika souborů horninových vzorků. V případě anizotropních vzorků jsou uvedeny hodnoty ve směrech kolmo na plochy foliaci a podél těchto ploch. V případě, že hornina žádnou anizotropii neprojevovala, je uvedena pouze průměrná hodnota ze všech měření.

Použité symboly:

λ [$Wm^{-1}K^{-1}$] – tepelná vodivost

a [m^2s^{-1}] – tepelná difuzivita

C_V [m^2s^{-1}] – objemová tepelná kapacita

Tabulka 1 – vzorky krystalických hornin západních Čech

		λ (w $m^{-1}K^{-1}$)		a (m^2s^{-1}) x 10^{-6}		c_V J/m^3K		
vzorek	**hornina**	podél foliace	kolmo	podél foliace	kolmo	podél	kolmo	**průměr**
GH1	fylit	**3,5**	**1,5**	**1,6**	**0,6**	2,3E+06	2,3E+06	**2,3E+06**
GH2	fylit	**3,0**	**1,8**	**1,2**	**0,8**	2,5E+06	2,3E+06	**2,4E+06**
GH3	fylit	**2,8**	**1,0**	**1,5**	**0,5**	1,9E+06	2,0E+06	**1,9E+06**
GH4	fylit	**3,4**	**1,0**	**1,4**	**0,4**	2,4E+06	2,5E+06	**2,5E+06**
GH5N	granit	**2,8**		**1,4**		2,0E+06		**2,0E+06**
GH5P	granit	**2,3**		**1,2**		1,9E+06		**1,9E+06**
GH6	granit	**2,4**		**1,1**		2,2E+06		**2,2E+06**
GH7	fylit	**3,1**	**1,6**	**1,4**	**0,7**	2,2E+06	2,3E+06	**2,3E+06**
GH8	fylit	**3,2**	**1,2**	**1,7**	**0,6**	1,9E+06	2,0E+06	**1,9E+06**
GH10	granit	**2,8**		**1,4**		2,0E+06		**2,0E+06**
GH11	fylit	**3,3**	**1,3**	**1,9**	**0,6**	1,8E+06	2,0E+06	**1,9E+06**
GH11.2	fylit	**3,1**	**1,7**	**1,5**	**0,7**	2,1E+06	2,3E+06	**2,2E+06**
GH13	granit	**2,4**		**1,3**		1,8E+06		**1,8E+06**
GH16	fylit	**3,4**	**1,7**	**1,3**	**0,6**	2,6E+06	2,8E+06	**2,7E+06**
SKP	fylit	**3,6**	**1,3**	**1,9**	**0,6**	1,9E+06	2,2E+06	**2,1E+06**

Tabulka 2 – tepelné vlastnosti plutonických hornin

		λ	a	c_V
Hornina	KOD HORNINY	W/mK	m2s-1 * 10-6	J/m3K
BT- granodiorit Blatenský typ	BT4	2,6	1,2	2159809
	BT6	2,7	1,3	2138629
	BT7	2,7	1,3	2037474
	BT9	2,6	1,3	2017933
	BT	**2,7**	**1,3**	**2088461**
CT - granodiorit Červenský typ	CT2	2,7	1,3	2118782
	CT3	2,5	1,2	2128533
	CT	**2,6**	**1,2**	**2123657**
S - syenit třebíčský masiv	S2	2,0	1,0	2079905
	S4	2,1	1,0	2081979
	S9	2,1	1,0	2107697

	S	**2,1**	**1,0**	**2089861**
M - migmatit_gföhlská skupina	M2	3,0	1,3	2307692
	M3	2,9	1,5	1933333
	M8	3,0	1,5	2000000
	M9	3,1	1,5	2066667
	M	**3,0**	**1,5**	**2076923**
G - granulit	G2	2,9	1,3	2230769
	G3	2,6	1,2	2166667
	G6	2,6	1,3	2000000
	G8	2,5	1,2	2083333
	G	**2,7**	**1,3**	**2120192**
EK - granit_typ Klenov	EK2	2,9	1,5	1933333
	EK6	2,8	1,5	1866667
	EK8	2,7	1,5	1851500
	EK	**2,8**	**1,5**	**1829167**
MG - migmatit_lok.Čihadlo	MG6p	1,9	1,0	1900000
	MG6k	3,3	1,6	2062500
	MG7p	2,0	1,0	2000000
	MG7k	3,2	1,5	2133333
	MGp	**2,0**	**1,0**	**1969031**
	Mgk	**3,3**	**1,6**	**2071895**
TG - granit_tiský pluton	TG2	3,2	1,5	2133333
	TG6	3,1	1,5	2102000
	TG7	3,2	1,5	2133333
	TG	**3,2**	**1,5**	**2111111**
GB - granit_typ Boršov	GB1	2,7	1,4	1868784
	GB3	2,7	1,4	2027002
	GB5	2,8	1,4	2041644
	GB9	2,6	1,2	2054611
	GB	**2,7**	**1,4**	**1998010**

	GC1	2,9	1,5	1907334
	GC4	2,8	1,5	1876718
	GC7	2,8	1,5	1908835
	GC8	2,8	1,4	1968114
GC - granit_ Čeřínek	**GC**	**2,8**	**1,5**	**1915251**
	CB2	1,9	0,9	2155562
	CB3	1,8	0,8	2122851
CB - syenit_Čertovo břemeno	CB5	1,8	0,8	2081766
	CB	**1,8**	**0,9**	**2120060**
	TD1	2,2	1,0	2101268
TD - syenit_typ Dražice	TD3	2,2	1,0	2093467
	TD	**2,2**	**1,0**	**2097367**
	TT1	2,2	1,1	2068923
TT - syenit _Táborský typ	TT7	2,2	1,0	2149110
	TT	**2,2**	**1,1**	**2109016**

Tabulka 3 – tepelné vlastnosti vybraných krystalických hornin

				λ	a	c_V
lokalita	**vzorek**	**hornina**	**hustota**	W/mK	m2s-1 * 10-6	J/m3K
Jirkasův mlýn III	191GCK0003	aplit	2533	**2,7**	**1,2**	**2250000**
Jirkasův mlýn II	191GCK0004	durbachit	2604	**2,1**	**1,1**	**1909091**
Třebenice Na vlčici II	191GCK0005	granulitová rula		**2,7**	**1,3**	**2076923**
Třebenice Na vlčici	191GCK0006	granulit	2578	**2,7**	**1,4**	**1928571**
kóta 504 Dolní Vilémovice	191GCK0008	migmatit	2568	**2,5**	**1,2**	**2083333**
Zárubice-Vilémovice	191GCK0011	granulitová rula		**2,6**	**1,2**	**2166667**
Zárubice - kopanina	191GCK0012	migmatit		**2,4**	**1,1**	**2181818**
Lipník - Na	191GCK0021	granit	2449	**2**	**1**	**2000000**

dlouhých						
Lipník II	191GCK0022	durbachit	2647	**1,8**	**0,8**	**2250000**
Výčapy	191GCK0036	turm. granit		**2,2**	**1,1**	**2000000**
Jirkasův mlýn I	191GCK0150	granit	2578	**2,5**	**1,2**	**2083333**
Lipník III	191GCV0016	durbachit	2564	**2**	**1**	**2000000**
V Ratměřicích	191GCZ0004	rula	2601	**2,3**	**1**	**2300000**
Vladislav	191GCZ0006	durbachit		**2,5**	**1,1**	**2272727**
Třebíč-Kaufland	191GCH0003	durbachit	2665	**2,1**	**1**	**2100000**
Ostašov	191GCH0016	durbachit		**1,6**	**0,7**	**2285714**
Panenka	191GCH0041	granit		**2,1**	**1,1**	**1909091**
Tatarák	191GCH0080	diatexit		**2,2**	**1**	**2200000**
Vápeník	191GCH0192	durbachit		**2,2**	**1,1**	**2000000**
Lipník IV	191GCH0219	turm. granit	2471	**2,3**	**1,1**	**2090909**

Závěr

V rámci projektu RINGEN se podařilo zásadním způsobem doplnit a rozšířit databázi tepelných vlastností hornin zejména s přihlédnutím k horninovým typům důležitým z hlediska využití geotermální energie. Díky nově pořízené aparatuře Hot Disk je možné provádět měření vybraných vzorků za různých teplot a simulovat tak reálné podmínky v prostředí geotermálního reservoáru v hloubce několika kilometrů.

Použitá literatura:

Šafanda J., Dědeček P., Krešl M., Čermák V., Zpráva o geotermickém výzkumu vrtu GTPVLT-1 (Litoměřice), Praha 2007