

GEOFYZIKÁLNÍ A GEOMECHANICKÝ MONITORING PŘI TEPLOTNÍM EXPERIMENTU VE ŠTOLE JOSEF U MOKRSKA

Milan Brož^{1)*}, Jaroslav Štrunc¹⁾, Jan Valenta¹⁾, Radim Hladký²⁾ a prac. skupina MPO-TIP³⁾

¹ *Ústav struktury a mechaniky hornin Akademie věd ČR, v.v.i., V Holešovičkách 41, 182 09 Praha*

² *ARCADIS – Geotechnika a.s., Geologická 4, Praha 4 – Barrandov, 150 00*

³ *Výzkumný projekt MPO TIP-FR-TI 3/325, hlavní řešitel ČGS Praha, Jan Franěk*

*e-mail: mbroz@irms.cas.cz

ABSTRACT

There are several possibilities of storing redundant energy produced by renewable sources such as wind power plants or photovoltaic power plants. Along two the most famous approaches – water heating and salt melting – a rock heating is starting to be similarly promising. This procedure can be realized at a real rock massif or at a concrete block with heating exchangers. The in situ rock heating expects a specific rock features as thermal conductivity, thermal load stability etc. Within the reasearch project no. MPO TIP-FR-TI 3/325, investigated by Czech Geological Survey in cooperation with Arcadis Geotechnika a.s., ISATech s.r.o., Technical University in Liberec and Institute of Rock Structure and Mechanics ASCR v.v.i., were done preliminary works and technological installations for performing in situ rock heating experiment in the Josef gallery in Mokrsko. The initial steady state of rock massif have to be described. Its basic geomechanical and geophysical features must be determined to be able to objectively explain changes made during the rock heating phase. Because of these reasons geological and hydrogeological studies were carried out along the geoelectric and shallow seismic surveys. Results of these works are being described here and expected changes of the rock features are discussed. It is going to be verified during the heating experiment as a complete hypothesis.

KEYWORDS: energy storage, granit, temperature, heating, thermal features

1. ÚVOD

Geologické prostředí v hloubkách stovek metrů lze využít pro akumulaci tepelné energie v době její nadprodukce, a zpětného odebrání v případě jejího nedostatku. Granitové – žulové – masivy představují relativně stabilní prostředí, navíc jsou celosvětově považovány za geologické podloží vhodné i pro zbudování strategicky významných úložných nebo skladovacích prostor v hloubkách od cca 300 do 1 500 m a ploše několika hektarů. V obou případech využití jsou bezpečnost a využitelnost zájmového prostoru přímo závislé na kvalitativních parametrech, kterými jsou hlavně kompaktnost, dlouhodobá stabilita a homogenita horninového prostředí. Řešitelský tým při výzkumu tepelné zátěže granitových hornin vychází jednak z vlastních rozsáhlých znalostí geotechniky, geofyziky a hydrodynamiky, jednak ze znalostí řešitelů zapojených například do výzkumu geotermálního zdroje na lokalitách Litoměřice nebo Liberec.

Zahraniční projekty zaměřené na výzkum vlivu tepelné zátěže granitových hornin byly a v současnosti jsou realizovány hlavně v souvislosti s vývojem hlubinného ukládání některých typů radioaktivních odpadů a způsobem redukce nadbytečné tepelné energie. Mezi nejdůležitější projekty patří vědecko-výzkumné programy realizované v granitech na území Švýcarska (NAGRA), Švédska (SKB) a Španělska (ENRESA). Publikované výsledky výzkumných prací jsou však v naprosté většině zaměřeny na tepelnou vodivost a rezistivitu horninotvorných minerálů. Dosavadní práce in situ byly zaměřeny zejména na oblast dobývání surovin a to pro zajištění přijatelných podmínek těžby, takže zejména na problematiku ochlazování horninového prostředí. Tyto práce byly na území ČR prováděny v 70. letech minulého století (Rudné doly, Příbram).

Výzkumné práce jsou prováděny v podzemí, v lokalitě výzkumné štoly Josef cca 50 km J od Prahy. Toto cca 20 let staré důlní dílo, bylo otevřeno pro těžbu zlata v lokalitě Mokrsko-Psí hory a má v současné době statut výzkumného pracoviště a přírodní laboratoře, jehož provozovatelem je ČVUT Praha. Štola prochází mírně metamorfovanými vulkanity tzv. jílovského pásma na kontaktu s granodiority až tonality (dále pro jednoduchost jen „granity“) středoečeského plutonu. Ve štole byl vytipován úsek, který vyhovuje projektovaným testům, nachází se cca 1,5 km od vstupu a je kryt cca 120 m horninového nadloží. Podzemní pracoviště splňuje všechny podmínky daného provozu a je v souladu s předpisy místně příslušné báňské správy.



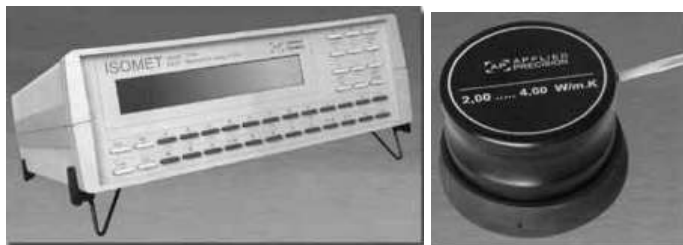
Obr. 1 Pohled na vybraný úsek důlního díla ve štolě Josef

2. POUŽITÉ EXPERIMENTÁLNÍ METODIKY A VÝSLEDKY LABORATORNÍCH MĚŘENÍ

Pro realizaci čtyřletého výzkumného projektu byly v prvním roce kromě potřebných technických prací a přípravy přístrojové techniky provedena základní měření vlastností horninových vzorků tak i vlastností horninového prostředí in situ.

- a) Studium geomechanických a geofyzikálních charakteristik horninových vzorků obsahuje parametry pevnosti, hydraulické propustnosti, porosity a rychlosti šíření seismických vln a to jak při základní laboratorní teplotě tak i při cílové teplotě experimentu, která je 90°C. Jelikož se jedná o standardní měřicí metodiky, nejsou v tomto příspěvku prezentovány.
- b) Studium tepelných vlastností horninových vzorků.

Těmito parametry jsou teplotní charakteristiky granitu, měrná tepelná kapacita, součinitel tepelné vodivosti a tepelná roztažnost. První dvě veličiny byly měřeny přístrojem ISOMET 2104 při pracovních teplotách do 40°C na vzorcích hornin o velikosti 80×80×80 mm. Měrná objemová tepelná kapacita „ c_p “ (J/m³.K) je definována množstvím tepla, které je potřebné k ohřátí 1 m³ látky o 1°C. Tepelná vodivita – součinitel tepelné vodivosti „ λ “ (W/m.K) vyjadřuje schopnost látky v ustáleném stavu vést teplo jednotkovým průřezem při jednotkovém teplotním gradientu. Měření se provádí přístrojem ISOMET 2104 s teplotním rozsahem -15 až 50°C jako nestacionární měření s absolutní přesností 10 až 15%. Pro různé teplotní vlastnosti je třeba měnit teplotní sondu.



Obr. 2 Přístroj Isomet 2104 s teplotní sondou

Výsledky měření – granit – tepelné konstanty byly měřeny v devíti různých místech na všech stěnách krychlového vzorku při teplotě 17°C. Dále bylo měření provedeno na vlhkém, kapilárně nasyceném vzorku. Na výsledcích jsme pozorovali nárůst tepelné vodivosti o 7%.

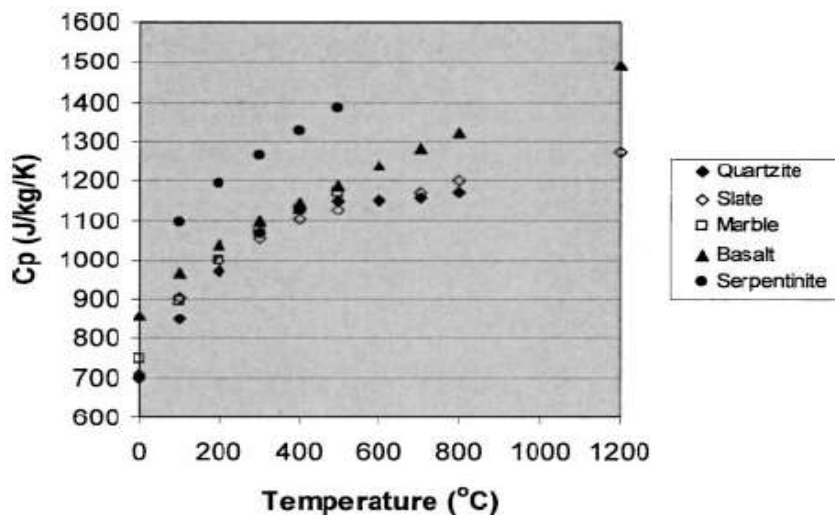
$$\lambda = 3,34 \text{ W/m.K se směr. odchylkou } \delta = 0,04 \text{ W/m.K}$$

$$c_p = 2,09 \text{ MJ/m}^3 \cdot \text{K se směr. odchylkou } \delta = 0,05 \text{ MJ/m}^3 \cdot \text{K}$$

Poté jsme se zabývali zkoumáním vlivu teplotního namáhání na tepelné konstanty. Nejprve jsme vzorek

pozvolna ohřáli na 150°C a po zchlazení na teplotu okolí jsme změřili tepelné konstanty, přičemž došlo k zanedbatelnému poklesu tepelné vodivosti o 5% a tepelné kapacity o 2%. Při ohřátí vzorku na 400°C a po zchlazení jsme zaznamenali již významnější pokles tepelné vodivosti a to o 15%.

Použitý přístroj však není vhodný pro aplikace do vyšších teplot. V ČR je možné tato realizovat na Západočeské univerzitě v Plzni na přístroji "HOT DISK". Z literatury jsou známy závislosti tepelných parametrů na teplotě, které jsou uvedeny na následujícím převzatém obr. 3.



Obr. 3 Změna tepelné kapacity C_p při nárůstu teploty do 800°C pro různé horniny (z Waples a Wap, ????)

Měření tepelné roztažnosti granitu (mm/mK) je prováděno v experimentálních laboratořích FSI ČVUT podle ČSN EN 14581 dilatometrem, kde je stanoven součinitel lineární roztažnosti při 5ti teplotách od 20°C do 90°C. V případě zatěžování materiálu teplotou T za stálého tlaku se mění jeho počáteční délka l_0 , nebo objem V_0 . Tyto dvě změny je třeba rozlišit podle toho, jestli se uvažují objemové nebo délkové změny. Pak se hovoří o objemové nebo délkové roztažnosti. Kvantitativně se roztažnost materiálu vyjadřuje pomocí součinitele teplotní roztažnosti. Součinitel teplotní délkové roztažnosti α je dán vztahem:

$$dl = l_0 \cdot \alpha \cdot dT \quad (1)$$

Kde l_0 je původní délka (v m) vzorku při teplotě T_0 (měřená v K), dl je změna délky vzorku (prodloužení) při změně teploty o dT . Z této rovnice lze vyjádřit α :

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{dl}{dT} \quad (2)$$

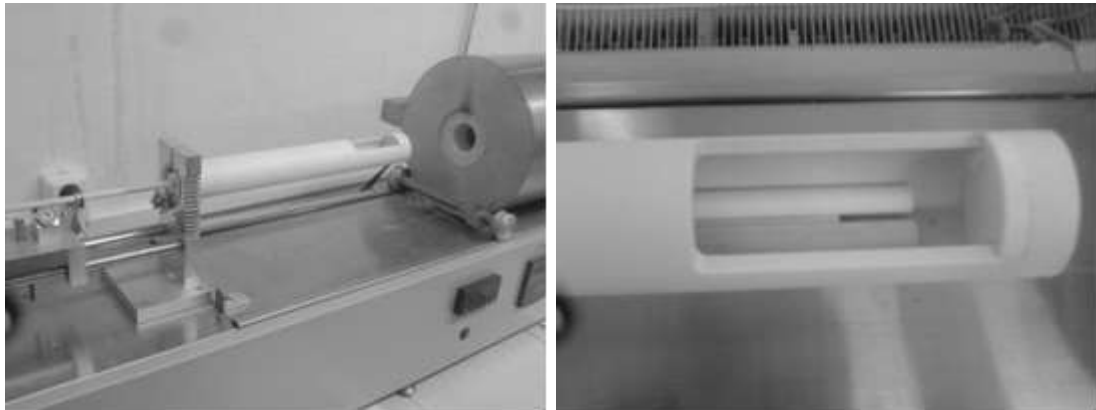
Ze vztahu je zřejmé, že je součinitel teplotní délkové roztažnosti funkcí teploty. Za předpokladu, že zůstane počáteční délka konstantní, lze napsat:

$$\alpha = \frac{d(l/l_0)}{dT} = \frac{d\varepsilon}{dT} \quad (3)$$

Kde ε je relativní prodloužení, které je také funkcí teploty. Integrací se získá nový vztah:

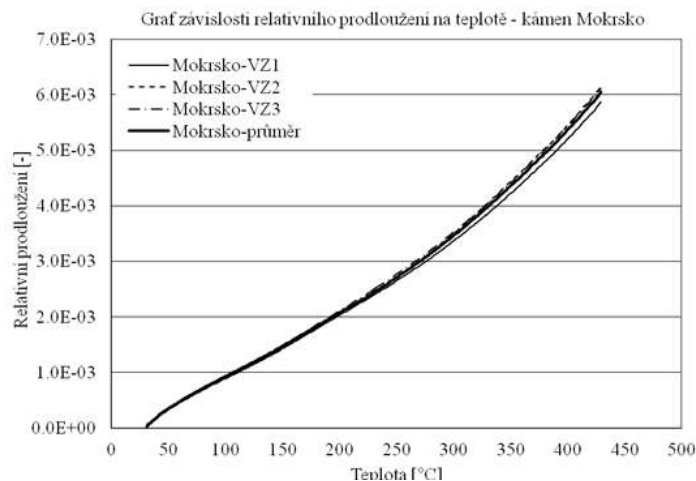
$$\varepsilon(T) = \int_{T_0}^T \alpha(T) dT \quad (4)$$

Použitá diferenční metoda je obecně považována za nejvhodnější k měření délkových změn. Měřicí aparatura je umístěna horizontálně. Skládá se z vodorovně položené pece, ve které jsou uloženy korundové dilatometry. V peci je umístěn vzorek v korundové trubici na třech tyčinkách uspořádaných do trojúhelníkového tvaru.

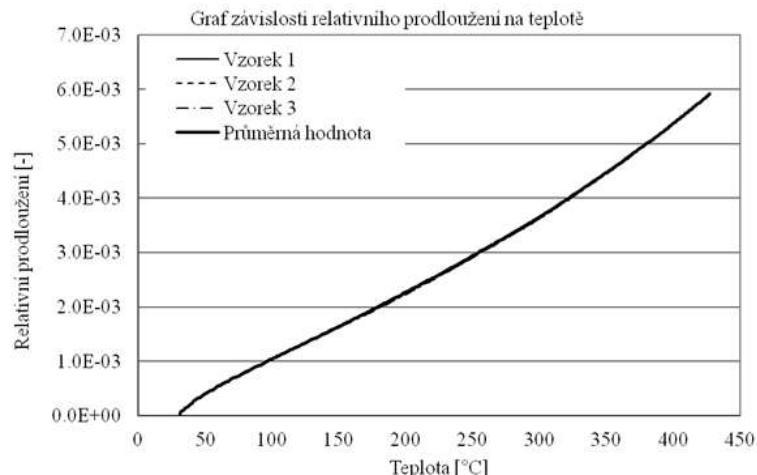


Obr. 4 Měřicí soustava před spuštěním, žáruvzdorná trubice s prostorem na vzorek

Nevýhoda této metody je, že s ní lze měřit vzorky omezených rozměrů. Je nutné se vzorkem manipulovat velmi opatrně, aby nedošlo k odchylkám měření ihned na začátku. Po správném způsobu uložení vzorku (vzorek se musí položit na hranu, aby během teplotního zatěžování nedošlo k jeho posunu) se odjistí pec a pomalu se přemístí pomocí pojízdných koleček přímo na vzorek. V počítači se v programu nazvaném Dilatometr 1.3 nastaví požadované parametry – především původní délka vzorku a spustí se měření. Na peci se nastaví změna teploty o $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, a to až na hodnotu 600°C . Až bude tato hodnota dosažena, začne se stejným způsobem vzorek ochlazovat až na hodnotu pokojové teploty. Výsledky měření jsou ukládány do programu, a na konci měření lze data exportovat. Tato metoda, kdy délková teplotní roztažnost vzorku tlačí na táhlo a tento impuls se přenáší na indikační zařízení, jenž tyto změny snímá, je velmi vhodná právě na měření dilatací za vysokých teplot.



Obr. 5 Graf závislosti relativního prodloužení na teplotě - kámen Mokrsko

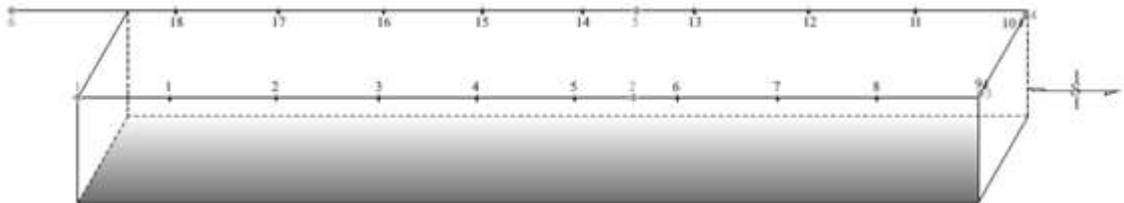


Obr. 6 Graf závislosti relativního prodloužení na teplotě

3. POUŽITÉ EXPERIMENTÁLNÍ METODIKY PŘI MĚŘENÍ IN SITU

a) seismický profil v lokalitě rozrážky SP47

Cílem tohoto měření bylo určit výchozí seismické parametry pro monitoring horninového masívu v blízkém okolí místa, které bude zahříváno. Vlastnímu měření předcházelo parametrické měření pro stanovení rozsahů a rozložení snímacích a budicích bodů. Ve štoli bylo do stěn zabudováno 18 kovových držáků na geofony ve výšce asi 1.7 m ve vzájemných vzdálenostech cca 2 m, přičemž 16 geofonů je umístěno na protilehlých stěnách a 2 geofony na čelbě. V držácích byly vyvrtány otvory tak, že umožňovaly uchycení vertikálních i horizontálních geofonů. Schéma rozložení geofonů je zakresleno na obr. 7.



Obr. 7 Rozložení geofonů (1-18) a míst budicích úderů (1-6)

Při měření MRS byla použita 24-kanálová aparatura TERRALOC Mk6 (Švédsko). Seismická energie byla vzbuzována úderem kladiva na destičku v celkem šesti zvolených bodech. Vzhledem k nerovnému tvrdému povrchu bylo buzení podélných a příčných vln v některých případech složité. Seismický signál byl snímán vertikálními a horizontálními 100 Hz geofony. V každém bodě byly registrovány 2 záznamy při zapojených vertikálních geofonů a 2 záznamy při zapojení horizontálních geofonů.

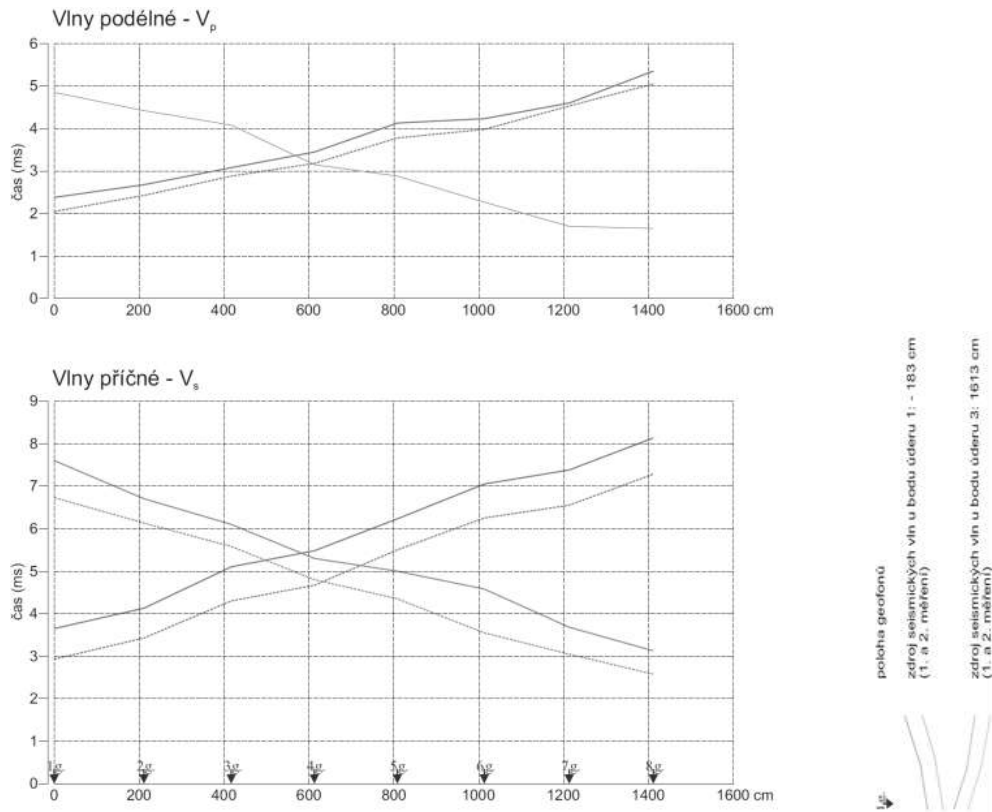
Získané seismické záznamy byly zatíženy vysokofrekvenčním šumem z provozu štoly a mikroseismy. Čitelnost záznamů tak byla dosti ztížena. Dalším negativním faktorem bylo velmi pozvolné nasazení užitečné vlny, takže její přesný časový počátek bylo někdy těžké určit. Proto u některých záznamů byly odečítány časy 1. maxima. Nejméně kvalitní byly záznamy z bodů 3 a 4, které byly umístěny v čelbě štoly. Na kvalitu záznamů měl negativní vliv zřejmě také nerovný povrch stěn štoly, na kterém bylo buzení seismické energie obtížné. Při dalším měření, které bude provedeno těsně před započítím ohřívání, budou ověřeny jiné možnosti buzení energie a jiné typy budicích podložek. Ze seismických záznamů byly odečteny časy příchodu seismického vlnění a pro jednotlivé body byly sestaveny grafy časů příchodu seismických vln – hodochrony uvedené na obr. 8 a obr. 9.

Vyhodnocení seismického měření je ztíženo faktem, že časy příchodu podélných vln jsou v rozmezí asi 3 ms a příčných vln v rozmezí asi 5 ms, což klade vysoké požadavky na přesnost odečtu časů, což u některých záznamů bylo velmi obtížné z důvodu seismického šumu. Tyto záznamy byly vyloučeny. Na východní stěně štoly hodochrony od 2 různých záznamů vcelku dobře korelují, až na určitý časový posun, který je zřejmě způsoben diferencemi v sepnutí seismografu při úderu. Toto sepnutí bylo zajišťováno zkratováním dvou oddělených vodičů při úderu kladiva a zřejmě díky nerovnostem na povrchu stěny štoly mohlo dojít k malým časovým posunům. Tyto časové posuny však nemají při dalším zpracování žádný negativní vliv.

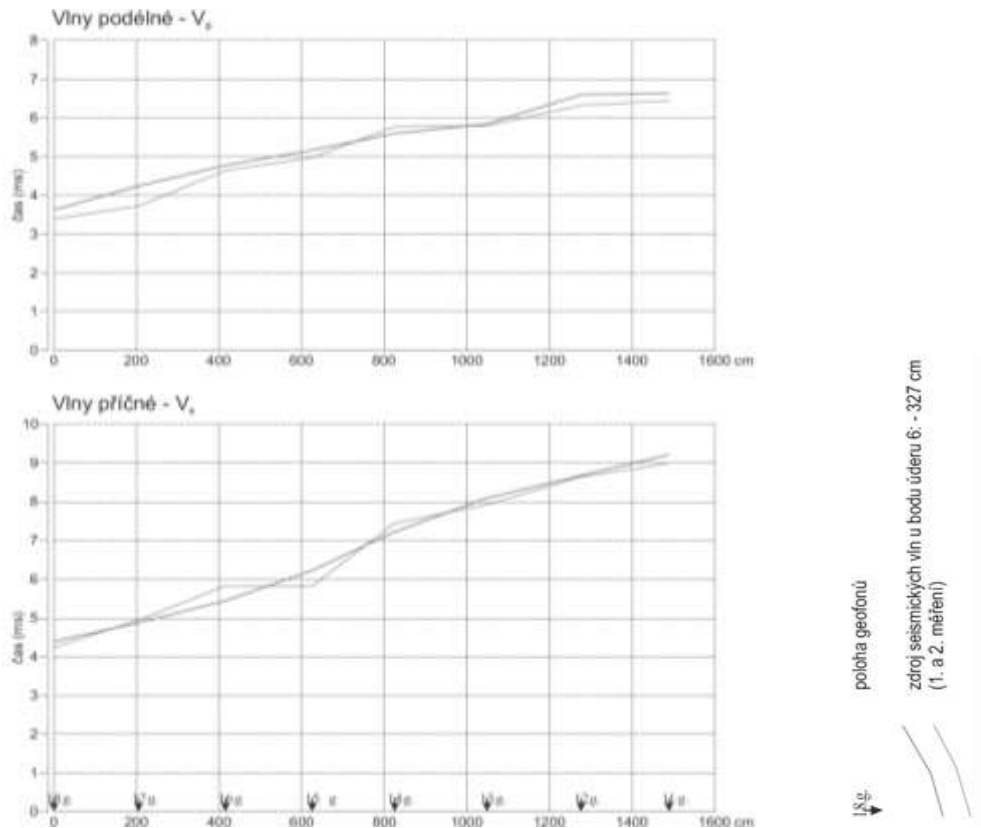
Určitý vliv však má kvalita záznamu. Např. na obr. 8 u hodochron příčných vln bylo odečítáno 1. maximum (1. nasazení příčné vlny bylo překryto podélnou vlnou) a korelace dvou modrých křivek je velmi dobrá – maxima byla ostrá a jejich vrchol jednoznačný. Horší situace je u západní stěny na obr. 9, kde korelace již není dobrá z důvodu nejasných 1. nasazení a nevýrazných maxim – odečty časů zde nejsou již tak jednoznačné. Hodochrony nejsou přímkové – za předpokladu, že vyloučíme chyby v odečtu času, to znamená, že jsou zde přítomny rychlostní nehomogenity – pevnější a méně pevné polohy. Na východní stěně jsou méně pevné polohy u 3. geofonu a mezi 5. a 6. geofonem, na západní stěně u 14. geofonu.

Z hodochron lze tak určit rychlost šíření seismického vlnění v hornině. Na východní stěně je rychlost podélných vln v_p v rozmezí 4 400 – 4 700 m/s, rychlost příčných vln v_s je v rozmezí 3 150 – 3 250, podíl v_p/v_s je v rozmezí 1.45 - 1.50. Na západní stěně je rychlost podélných vln v_p kolem 4 900 m/s, rychlost příčných vln v_s je kolem 3 100, podíl v_p/v_s je v rozmezí 1.56 - 1.59.

Při dalším seismickém měření, které bude uskutečněno těsně před započítím ohřívání horninového masívu a které již bude respektovat veškeré provedené vrtací práce, bude volbou času měření snížen poměr signál/šum a dále bude proveden výběr vhodnějšího zdroje seismického vlnění tak, aby bylo zřetelnější 1. nasazení, případně 1. maximum a aby bylo docíleno co možná nejlepší shody u opakovaných záznamů. Předpokládáme i určitou optimalizaci umístění bodů úderů tak, aby bylo možné zpracovat jednoznačně seismické záznamy zejména v blízkosti zahříváního prostoru, tj. na čelbě štoly (9. a 10. geofon) – na těchto geofonech byly záznamy nejasné zřejmě kvůli tomu, že jsou tyto geofony umístěny na kolmé stěně vůči ostatním geofonům i bodům úderů.



Obr. 8 Časy příchodu seismických vln – východní stěna

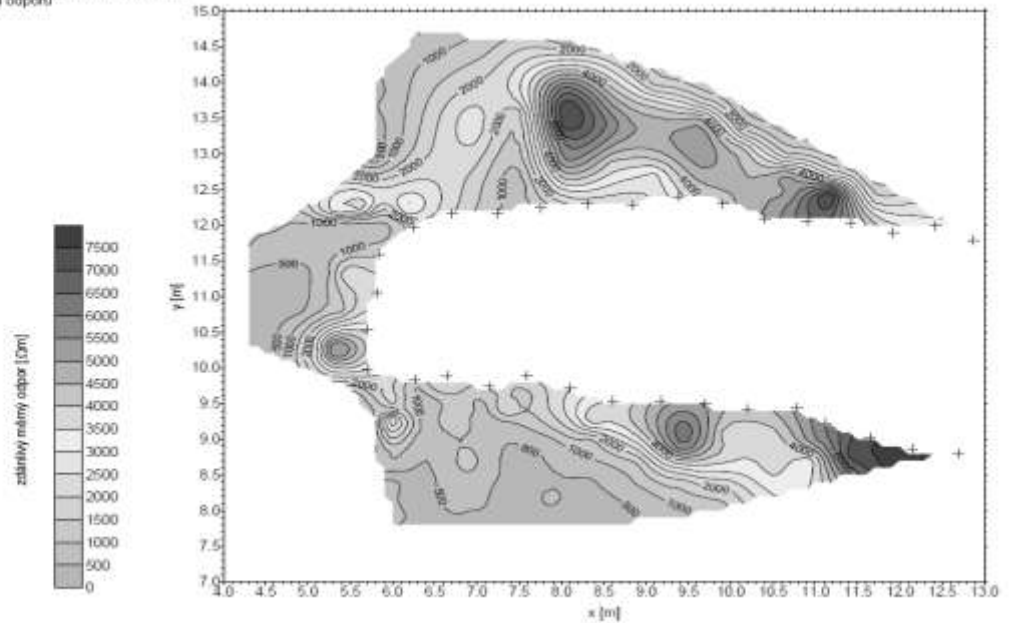


Obr. 9 Časy příchodu seismických vln – západní stěna

b) Elektrický profil v lokalitě rozrážky SP47

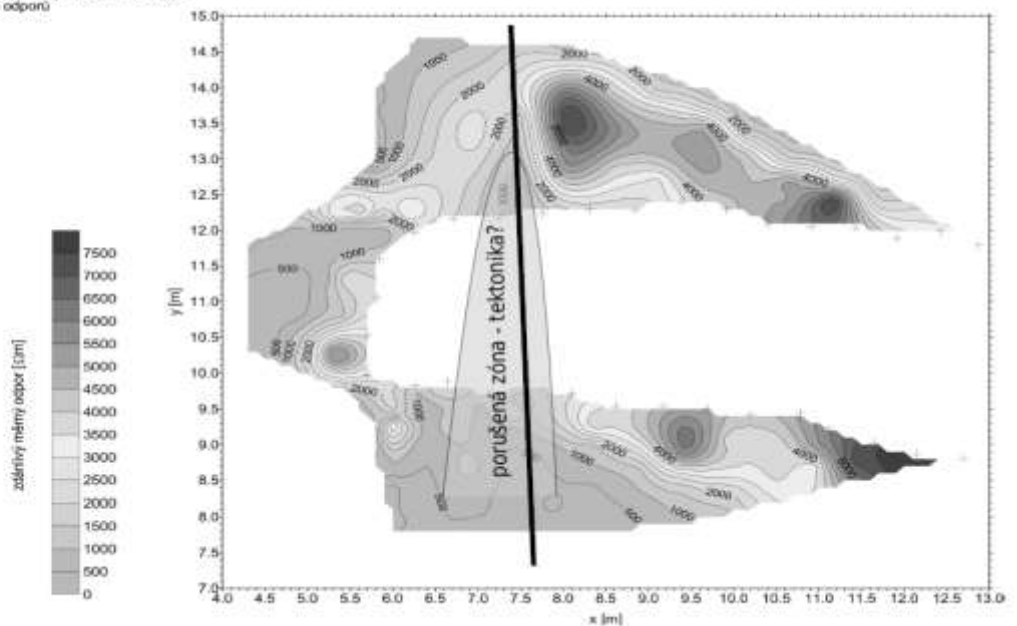
Úkolem provedené multielektroodporové metody je rovněž zachycení výchozího stavu horninového masivu před jeho ohřevem před provedením vrtných prací. Důlním dílem porušená zóna horninového masivu (Excavation Disturbed Zone, EDZ) se řadou svých fyzikálních vlastností liší od neporušeného horninového masivu. Změny významné pro geofyzikální průzkum jsou změny elastických vlastností hornin a změny elektromagnetických vlastností. Změny elektromagnetických vlastností se projevují tím, že porušená zóna je rychleji postižena zvětráváním a vznikem jílovitých minerálů, čímž roste její měrná vodivost. Stejně tak puklinový prostor je vyplněn vodou, která dále zvyšuje vodivost a může zvýšit i polarizovatelnost. Multielektroodporovou metodou je tak možno sledovat rozložení a změny EDZ podél stěn rozrážky.

Josef - multielektroodporová metoda
izolinie zdánlivých měrných odporů



Obr. 10 Průběh isolinií zdánlivých měrných odporů v rozrážce SP47

Josef - multielektroodporová metoda
izolinie zdánlivých měrných odporů



Obr. 11 Interpretace odporové metody na geologické prostředí v rozrážce SP47

Z výsledku tohoto měření patrné rozhraní dvou litologicky odlišných hornin pro vzdálenost $x > 8\text{m}$ se pravděpodobně jedná o pevnější, nebo spíše méně porušenou horninu s možností většího prokřemenění. Ve vzdálenosti $x = \text{cca } 7.5\text{m}$ se projevuje výrazné snížení zdánlivých měrných odporů, což může být způsobeno porušenou, mírně navětralou a zvodnělou zónou. Může se jednat o oblast s vyšší koncentrací puklin, nebo porušenou tektonickou zónou. Směrem k čelbě pak pokračuje méně odolná hornina, snad méně prokřemenělá a víc porušená.

c) Měření teplot in situ

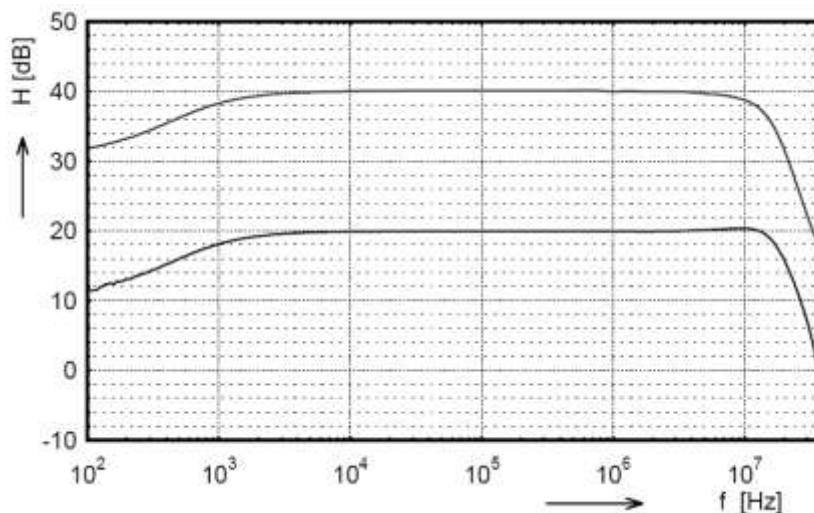
Tato měření mají zásadní význam pro stanovení teplotního pole a určení teplotního gradientu tohoto prostředí neohrazeného okrajovými podmínkami. Pro měření byl vypracován projekt a realizována sestava základního 48-kanálového systému automatického monitoringu teploty. Na základě předchozích praktických zkušeností z důlního výzkumu byly určeny možné metodiky měření teploty a geofyzikálních parametrů a určeny měřicí rozsahy pro aplikaci ve zvoleném granitovém prostředí štol Mokrsko. Při praktické realizaci měření in situ se zejména uplatní poznatky z měření v extrémních podmínkách hlubinných dolů v Rudných a Uranových dolech na Příbrami, v Kladenských uhelných dolech a výsledky dlouhodobých monitoringů teplot podzemních úložišť a zásobníků – štol Bratrství, Podzemní úložiště Richard a Podzemní zásobník plynu Háje.

Pro monitoring prostorového teplotního pole vybraného granitového bloku v rozrážce SP47 štol Mokrsko bylo navrženo osazení teplotních čidel do měřicích vrtů a jejich připojení na monitorovací systém. Hlavní částí provedeného návrhu je výběr přesných a odolných teplotních čidel a způsobu jejich zapojení. Vzhledem k tomu že snímače budou umístěny v důlním prostředí a v extrémních podmínkách v dlouhých až 15m vrtech bylo nutné zvolit vysoce citlivé odporové snímače typu Pt 1000A v nerez vodotěsném provedení a to ve 4-vodičovém kompenzačním zapojení realizovaném stíněným silikonovým kabelem (TG8-40 Pt 1000A). Měřicí jednotka systému se skládá z 12ti 4-kanálových modulů analogových vstupů MU-415 (Tedia Plzeň) do kterých jsou teploměry připojeny čtyřvodičovým zapojením. Výstupy jednotek měření jsou komunikačním modulem USB1032 připojeny do registračního počítačového systému, který pracuje s OS Windows XP Prof. Registrační program umožňuje velkou variabilitu nastavení vzorkovacích časů a měřicích rozsahů. Celý systém monitoringu teploty je připojen k počítačové LAN síti a je dálkově spravován.

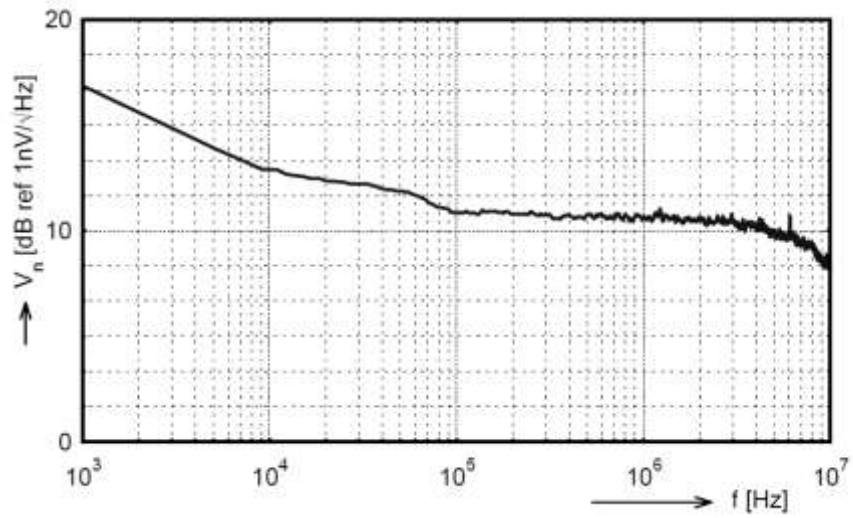
Kromě tohoto stacionárního dlouhodobého monitoringu jsou do měřicího režimu aplikovány i jednoduché teplotní loggery typu Comet řady Tx40 které umožňují operativní osazení 4 Pt externích teploměrů na 20 m silikonových kabelech které jsou bez dalších požadavků na zdroje a zajistí dlouhodobý monitoring se vzorkováním od 1 s do 24 hod.

d) Mikroseismické měření in situ

Pro zajištění informace o mikroporušeních v horninách při jejich ohřevu (Temperature Rock Disruptions) jsou do skalního masivu instalovány piezoelektrické sondy s vlastní frekvencí 10 kHz s vysokoimpedančními předzesilovači se ziskem 40 dB. Tyto snímače jsou ve speciálních pouzdrech zakotveny do 5 m vrtů. Monitoring mikroporušení je současně doplněn příložitými miniaturními teploměry a je tedy sledován synchronně s navyšováním teploty horského masivu. Parametry mikroseismického zesilovače Sedlak (Brno) jsou: Gain 40/6/20dB, Bandwidth 1 kHz to 10 MHz, Input Impedance $2 \times 10 \text{ M}\Omega/20\text{pF}$, Output Impedance 50 Ω , Noise Voltage $< 1,8\text{nV}/\text{sqHz}$.



Obr. 12 Frekvenční charakteristika předzesilovačů

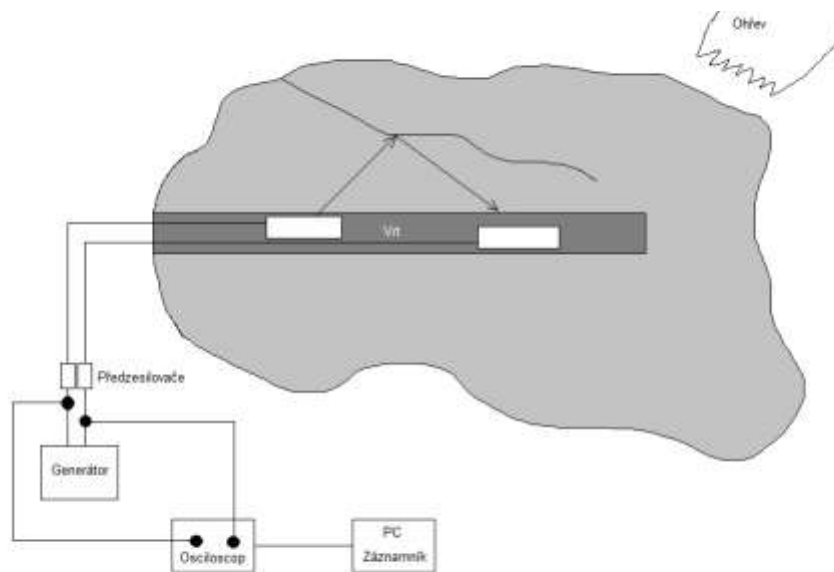


Obr. 13 Spektrální šumová charakteristika



Obr. 14 Mikroseismická polní aparatura pro měření seismoakustických impulzů vzniklých napěťovým přetížením nebo zvýšením teploty

Druhou seismickou metodikou zjišťování změny vlastností horského masivu in situ je ultrazvukové prozařování mezi dvěma paralelními vrty nebo v jednom vrtu. V tomto případě jsou měřeny rychlosti podélných vln, které jsou závislé na stavu napětí v masivu. Princip měření je uveden na obr. 15.



Obr. 15 Schéma měření ultrazukovou metodou v jednom vrtu



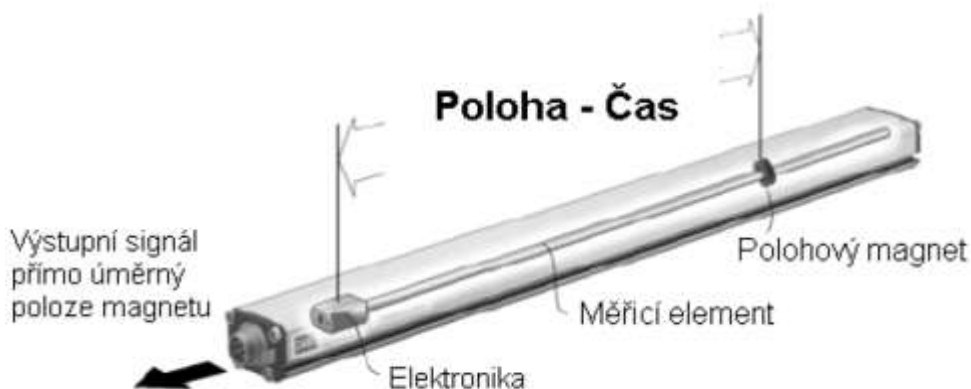
Obr. 16 Ultrazukový polní defektoskop UDC-50 pro měření in situ (NDK Kraft Praha)

e) Dilatační měření

Ve vytipovaných místech tektonického porušení horninového masivu jsou umístěny vždy dvě na sobě kolmé velmi přesné magnetostrikční deformometry, které umožní zachycení posuvů trhliny i zhodnocení směru.

Magnetostrikce je schopnost některých feromagnetických materiálů pod vlivem magnetického pole měnit svoje rozměry nebo naopak při deformaci vykazovat magnetizaci. Do feromagnetického magnetostrikčního vodiče uvnitř snímače je přiveden krátký proudový impuls, který v celé délce vodiče vybudí magnetické pole. V určitém místě již působí axiální magnetické pole permanentního magnetu, který je přiložen blízko povrchu snímače. Interakce magnetického pole permanentního magnetu a magnetického pole vodiče (Wiedemannův efekt) vybudí ve feromagnetickém vodiči torzní magnetostrikční impuls, který se šíří jako mechanický vzruch rychlostí zvuku od místa vzniku k oběma koncům vodiče. Na vzdáleném konci feromagnetického vodiče je impuls pohlcen tlumícím prvkem, aby se zabránilo jeho odražení a rušivému vlivu na měření. Na začátku feromagnetického vodiče se druhá část mechanického vzruchu zachytí snímacím zařízením a z časové prodlevy od vyslání budicího proudového impulsu a známé rychlosti šíření mechanického vzruchu v daném feromagnetickém materiálu lze určit polohu místa vzniku mechanického vzruchu a tedy i polohu permanentního magnetu vůči začátku snímače.

Pro měření polohy je min rozpětí měření 25 mm a s rozlišením 16bit se jedná o citlivost 1 μm s linearitou $\pm 0,01\%$. Současně s měřením posunu je zaznamenávána i jeho rychlost a to v rozsahu 0,025 až 10 m/s.

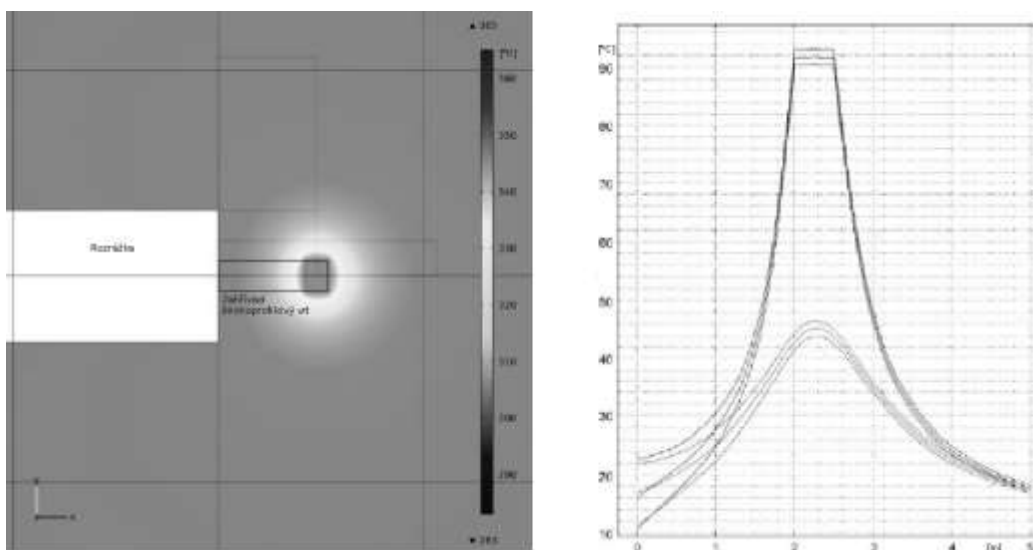


Obr. 17 Provedení magnetostrikčního snímače

4. TEPLOTNÍ MODEL PŘIPRAVOVANÉHO EXPERIMENTU

Součástí tohoto projektu je i ověření možnosti modelování vývoje teplotního pole v horninovém prostředí in situ. Pro tyto modely jsou právě laboratorními metodami zjišťovány tepelné charakteristiky pro vstupní data matematického modelu. Jeho úkolem je pak věrně definovat geometrii prostředí (v závislosti na měřítku přístupu), simulovat hydraulické, transportní, termodynamické a geomechanické procesy, a to v měřítku odpovídajícím předpokládaným laboratorním a in situ testům a poskytnout vhodné nástroje pro pre-processing a post-processing dat, které bude možné prezentovat vhodnou formou.

Geomechanické chování horninového masivu je modelováno softwarem FLAC. Teoretická část výzkumu modelování je zaměřena na zjištění vztahu mezi užívanými hydrogeologickými a geotechnickými softwary, například FEFLOW, SURFER, HydrogeoAnalyst, a dalšími a softwary popsány v mezinárodních výzkumných projektech zaměřených na problematiku tepelné konduktce a doprovodných změn.



Obr. 18 Model šíření tepla od zahřívacího vrtu a dosah termálního pole v semi-ustáleném stavu, graf vpravo zobrazuje tuto simulaci v podélném profilu 5m dlouhým zahřívacím vrtem

5. ZÁVĚR

Cílem tohoto textu bylo přiblížit přípravné technologické, laboratorní a teoretické práce a experimenty prováděné v rámci unikátního projektu pro studium možností ukládání tepelné energie do granitového masivu jejího následného získávání zpět. Takový způsob akumulace je vhodný při vykrývání nadprodukčních energetických špiček způsobených zejména obnovitelnými zdroji energie. Uložení tohoto nadbytku do spolehlivého a opakovatelně použitelného akumulátoru představuje výzvu pro mnoho řešitelských týmů. Nalezení vhodné materie pro takový účel v granitu jako všeobecně uznávaném stabilním materiálu by umožnilo rozvoj tohoto způsobu ukládání energie ve velkém rozsahu. Průběh experimentu, jehož počáteční procesy byly výše popsány, by měl tuto hypotézu potvrdit.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu v rámci řešení projektu MPO TIP-FR-TI 3/325 „Výzkum termální zátěže hornin – perspektivy podzemního skladování tepelné energie“. Hlavním řešitelem je Česká geologická služba, Mgr. Jan Franěk, Ph.D. Spoluřešitelé jsou ISATech s.r.o., Mgr. Michal Vaněček, ARCADIS Geotechnika a.s., Ing. Jiří Záruba, Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i., Ing. Milan Brož, CSc. a Technická universita v Liberci, doc. Dr. Ing. Miroslav Černík, CSc.

REFERENCE

- Lokajíček, T. Ivankina, A. Nikitin: Anisotropy and texture of lithospheric rocks under high pressure – based on ultrasonic and neutron diffraction measurements, XXXIII. Czech - Polish - Slovak Symposium on Mining and Environmental Geophysics Staré Splavy, September 19-22, 2011
- Ledníská M., Kaláb Z.: Ultrasonic measurements in medieval mine, XXXIII. Czech - Polish - Slovak Symposium on Mining and Environmental Geophysics Staré Splavy, September 19-22, 2011
- Štrunc J., Brož M.: Small aperture seismic arrays operated within projects of IRSM AS CR, XXXIII. Czech - Polish - Slovak Symposium on Mining and Environmental Geophysics Staré Splavy, September 19-22, 2011
- Labaš M., Miklušová V., Ivaničová L.: Rock parameters in research of thermal spalling, XXXIII. Czech - Polish - Slovak Symposium on Mining and Environmental Geophysics Staré Splavy, September 19-22, 2011
- Rudajev V., Lokajíček T., Vasin R.N., Nikitin A.N.: Influence of heating to rock samples fracturing, XXXIII. Czech - Polish - Slovak Symposium on Mining and Environmental Geophysics Staré Splavy, September 19-22, 2011
- Lokajíček T., Rudajev V., Dwivedi R.: Influence of thermal heating on granulite elastic anisotropy, XXXIII. Czech - Polish - Slovak Symposium on Mining and Environmental Geophysics Staré Splavy, September 19-22, 2011
- Lokajíček T., Vilhelm J.: Low Temperature Degradation of Granodiorite, XXXIII. Czech - Polish - Slovak Symposium on Mining and Environmental Geophysics Staré Splavy, September 19-22, 2011
- Brož M., Štrunc J.: Historické a moderní způsoby uchování přebytečné elektrické energie. II. ročník konference OZE2011,13. – 15. duben 2011 Kouty nad Desnou
- Douglas W. Waples and Jacob S.Wap: A Review and Evaluation of Specific Heat Capacities of Rocks, Minerals, and Subsurface Fluids. Part 1: Minerals and Nonporous Rocks, Natural Resources Research, 2004, Vol. 13, Issue 2, pp 97-122, ISSN 1520-7439