

INOVACE SOND CCBM PRO DISTRIBUOVANÉ MĚŘICÍ SYSTÉMY

INNOVATION OF THE CCBM PROBES FOR DISTRIBUTED MEASURING NETWORKS

Jaromír Knejzlík¹, Zdeněk Kaláb², Markéta Lednická³, Zdeněk Rambouský⁴

Abstrakt

V tomto příspěvku jsou zhodnoceny poznatky získané během experimentálního dlouhodobého monitoringu změn tenzoru napjatosti v masivu metodou CCBM v Dole Jeroným. Cílem monitoringu bylo především ověření možnosti použití sond CCBM v distribuovaném měřicím systému a otestování jejich spolehlivosti a dlouhodobé stability. Prvé poznatky a výsledky měření byly publikovány v tomto časopise v roce 2011. Nyní jsou získaná data analyzována s cílem odstranit konstrukční nedostatky použitých prototypů sond CCBM a optimalizovat jejich konstrukci pro použití v distribuovaných měřicích systémech. Při hledání optimální kompenzace teplotní roztažnosti horniny a konstrukčního uspořádání kompenzačního tenzometru byl zjištěn významný vliv vlhkosti na roztažnost pórovitých hornin, který významně ovlivňuje přesnost tenzometrických měření. Na základě získaných poznatků je navržena inovovaná konstrukce sond CCBM.

Abstract

Knowledge obtained during the experimental long-term monitoring of changes of stress tensor in rock massif using the CCBM method in Jeroným Mine is evaluated in this paper. The aim of the monitoring was to verify the use of the CCBM probes in distributed measurement network and to test their reliability and long-term stability. First knowledge and registering results have been published in this journal in 2011. The obtained data are now analysed to eliminate the structural defects of used CCBM prototype probes and to optimize their design for use in distributed registering networks. During testing of optimum thermal compensation of rock expansion and of structural design of compensation strain gauge, it was found significant effect of moisture on the expansion of porous rocks. Moisture effect significantly influenced the accuracy of the strain registering. Innovative design of the CCBM probes is projected on the basis of obtained knowledge.

Klíčová slova

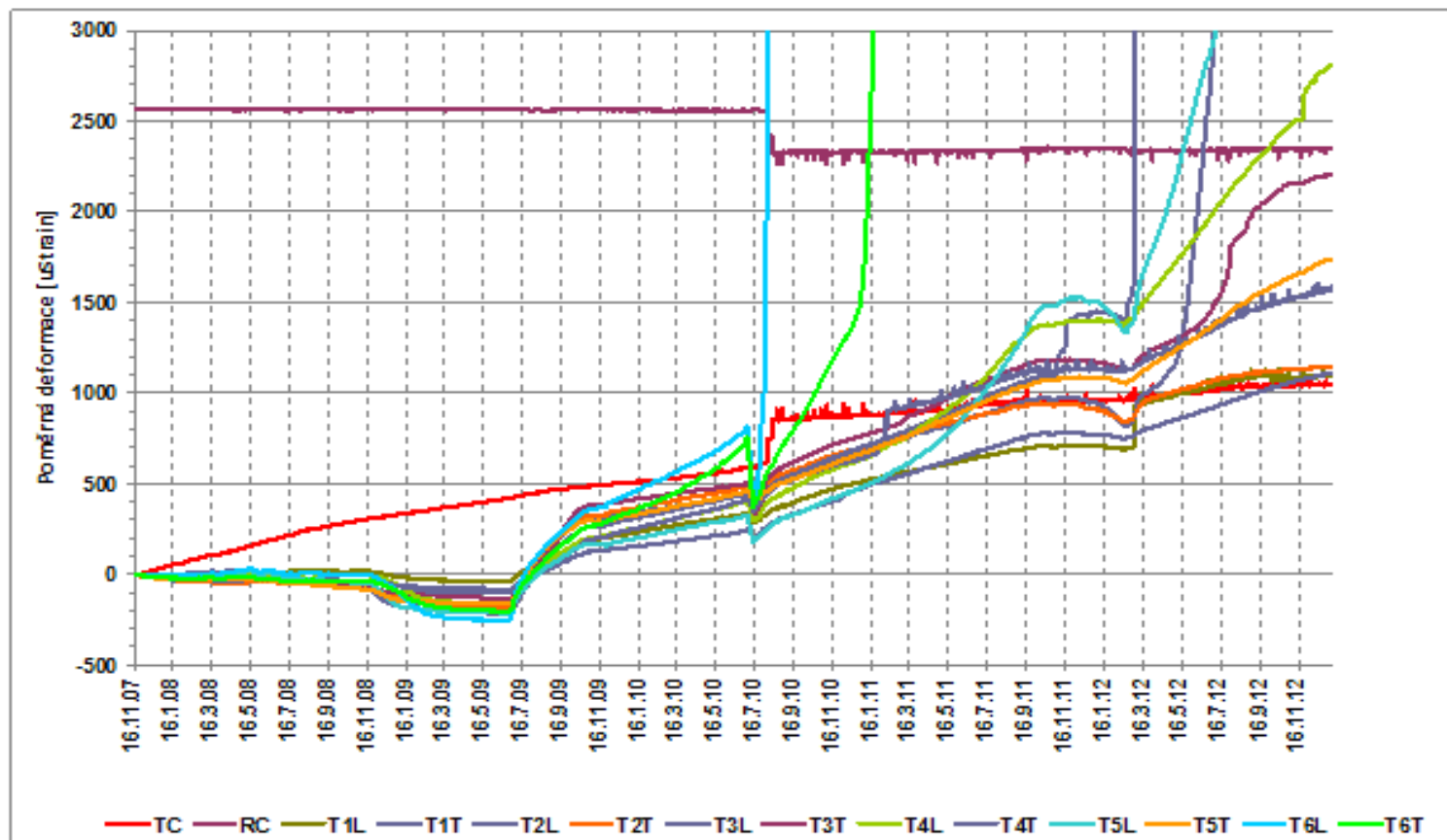
Důl Jeroným v Čistě, CCBM zkouška, měření napětí, dlouhodobý monitoring, tepelná roztažnost hornin, vlhkost hornin

Keywords

Jeroným Mine in Čistá, CCBM probe, strain registering, long-term monitoring, thermal rock expansion, rock moisture

1 Úvod

Měření napětového stavu horninového masivu metodou odlehčeného jádra v kuželové geometrii CCBO – Compact Conical-ended Overcoring byla navržena K. Sugawarou a Y. Obarou (Nakamura et al., 1999, Kang, 2000). V Ústavu geoniky AVČR, v.v.i., zavedl metodu měření L. Staš. Původní japonské sondy jsou osazeny pouze měřicími tenzometry. S tenzometrickým mostem jsou spojeny mnohažilovým kabelem. Pro spolehlivé vyhodnocení měření je nutný kontinuální záznam dat během obvrtávání. S použitím běžně



Obr. 1 Data sondy CCBM1

používaných důlních vrtaček nebylo možno takto koncipované měřicí zařízení v tuzemsku použít. Proto bylo nutno vyvinout vlastní konstrukci kuželových sond CCBO s vestavěným mikroprocesorovým záznamníkem (Staš et al., 2005a, b), do kterého se data během obvrtávání uloží a po jeho ukončení se přes standardní sériové rozhraní přenesou do počítače. Takto konstruované sondy CCBO byly

možno upravit pro dlouhodobé monitorování změn tenzoru napjatosti na typ CCBM. Měření sondami CCBM se provádí v OKR v režimu, kdy obsluha periodicky odečítá naměřené hodnoty a ukládá je do přenosného terminálu. Optimální by ovšem byl online telemetrický přenos dat, což je však v OKR s ohledem na prostředí s nebezpečím výbuchu uhelného prachu a methanu obtížná úloha. Proto jsme se rozhodli ověřit použitelnost a dlouhodobé vlastnosti sond CCBM v rámci budování distribuovaného měřicího systému (DMS) v Dole Jeroným. Přitom jsme si vědomi skutečnosti, že z metodického hle-diska není tato úloha zcela korektní, protože zrnitost granitu je velká vzhledem k rozměrům měřicích tenzometrů.

Instalace 2 ks sond CCBM1 a CCBM2 v Dole Jeroným v roce 2007 a výsledky monitorování do roku 2011 jsou podrobně publikovány (Kaláb et al., 2011). Jak již bylo konstatováno ve výše uvedené práci, vrt sondy CCBM2 byl situován v blízkosti poruchy a po instalaci sondy došlo pravdě-podobně ke vzniku trhliny na měřicí ploše, což vyřadilo část jejích tenzometrů z provozu. Proto jsou dále z hlediska metodiky měření interpretována jen data ze sondy CCBM1 s cílem zjistit příčiny vzniku chyb měření.

2 Naměřená data

V grafu na obr. 1 jsou vynesena souhrnně data sondy CCBM1 za celou dobu měření od 16. 11. 2007 do 7. 1. 2013. Období do 5. 1. 2011 bylo analyzováno a geomechanicky interpretováno v publikacích Knejzlíka et al. (2011) a Kalába et al. (2011).

Registrovaná data lze rozdělit na období před a po červenci roku 2010. V tomto měsíci se vyskytlo delší období mimořádně intenzivních bouřek, během nichž došlo po úderu blesku do povrchu v blízkosti fárovací jámy Jeroným k vyřazení celého distribuovaného měřicího systému z provozu a mimo jiné také k poškození elektronických obvodů interface sondy CCBM2. Ohrožení sond v Dole Jeroným potenciály vyvolanými úderem blesku je mimořádné, protože sondy jsou instalovány v malé hloubce (cca 30 m) v hornině s poměrně vysokým měrným odporem.

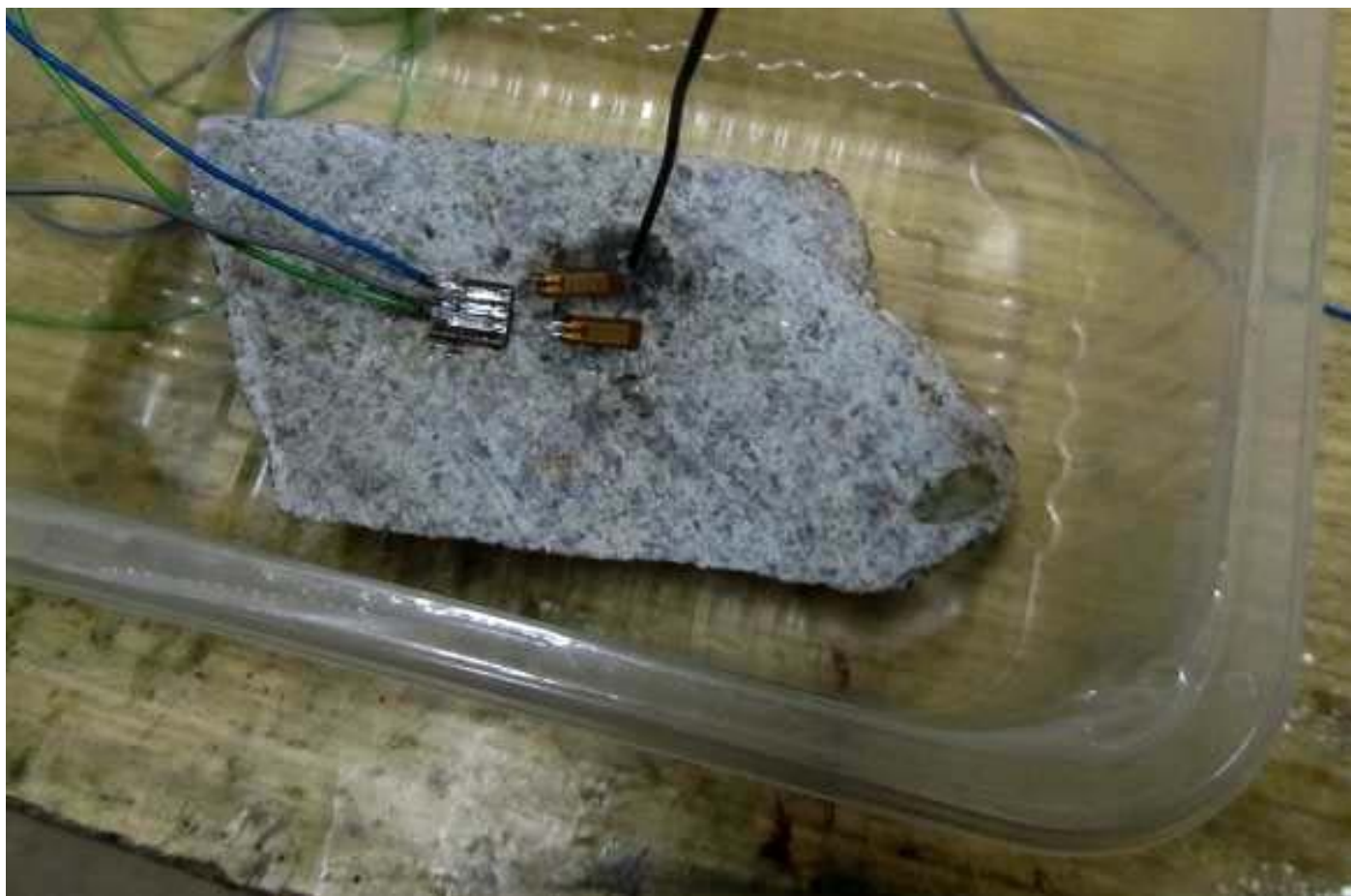
Po opravě DMS došlo k rychlému nárůstu hodnoty kompenzačního tenzometru TC v sondě CCBM1 a také hodnoty kalibrace rozsahu RC. Současně došlo k nárůstu hodnot tenzometrů T6L a T6T až mimo rozsah měření. Ostatní kanály se po cca 1 měsíci ustálily do původního trendu hodnot. Data od této doby již nelze geomechanicky interpretovat a mohou být použita jen k posouzení trendů a anomálního chování jednotlivých tenzometrů. Na počátku roku 2012 došlo u dalších pěti tenzometrů k rychlému nárůstu měřených deformací. Tyto změny však nejsou skokové a není je proto možno přičíst okamžité poruše kontaktování přívodů k měřicí mřížce tenzometrů. Mohou být způsobeny jejich korozí. Dlouhodobé souhlasné trendy hodnot by mohly být způsobeny také difuzí iontů vody přes porézní zalévací hmotu a tím vznikajícími stejnosměrnými potenciály.

Závažnou konstrukční nedokonalost daného provedení sondy CCBM odhaluje chování kompenzačního tenzometru (TC), jehož hodnota naměřené poměrné deformace by měla být po celou dobu registrace blízka k nule a měla by být použita pro digitální korekci rozvážení multiplexovaného tenzometrického mostu (Knejzlík et al., 2008). Ve skutečnosti má odpor TC monotónně narůstající trend (s výjimkou skoku po poškození bleskem). Je to způsobeno tím, že v sondě je fóliový kompenzační tenzometr zalit přímo v zalévací hmotě (Wepuran VU 4453/101 WR, www.peters.de) a tato hmota se dlouhodobě objemově rozpíná, pravděpodobně vlivem navlhání. Protože sonda je

v čele vrtu pevně zalepena, dochází při rozpínání zalévací hmoty k nárůstu tlaku v tělese sondy. Ten působí v kolmém směru na všechny měřicí tenzometry a také na rezistory elektronických obvodů (které se chovají také jako tenzometry) a tím způsobuje chybu měření.

Protože ke kalibraci rozsahu (RC) se v můstku používá rezistor, který je sériově spojen s TC (Knejzlík et al., 2008), došlo při neočekávaně vysoké hodnotě rozvážení TC ($900\mu\text{Strain}$) k překročení dynamického rozsahu měření v kanálu RC a tím k chybnému měření RC. Ostatní nepoškozené měřicí tenzometry nebyly tímto jevem postiženy, a proto v dalším období měřily.

Lze konstatovat, že od konce roku 2009 vykazují všechny hodnoty měřících tenzometrů obecně stoupající trend. Na podzim roku 2011 a počátku roku 2012 se však v trendu dat objevila společná anomálie, podobná anomálii na podzim 2008 a počátku roku 2009. Je zajímavé, že výskytu obou anomálií předcházely seizmické roje na Kraslicku v letech 2008 a 2011 (Kaláb a Lednická, 2011, Lednická a Kaláb, 2013). Tyto jevy však není možno jednoznačně dát do příčinné souvislosti.

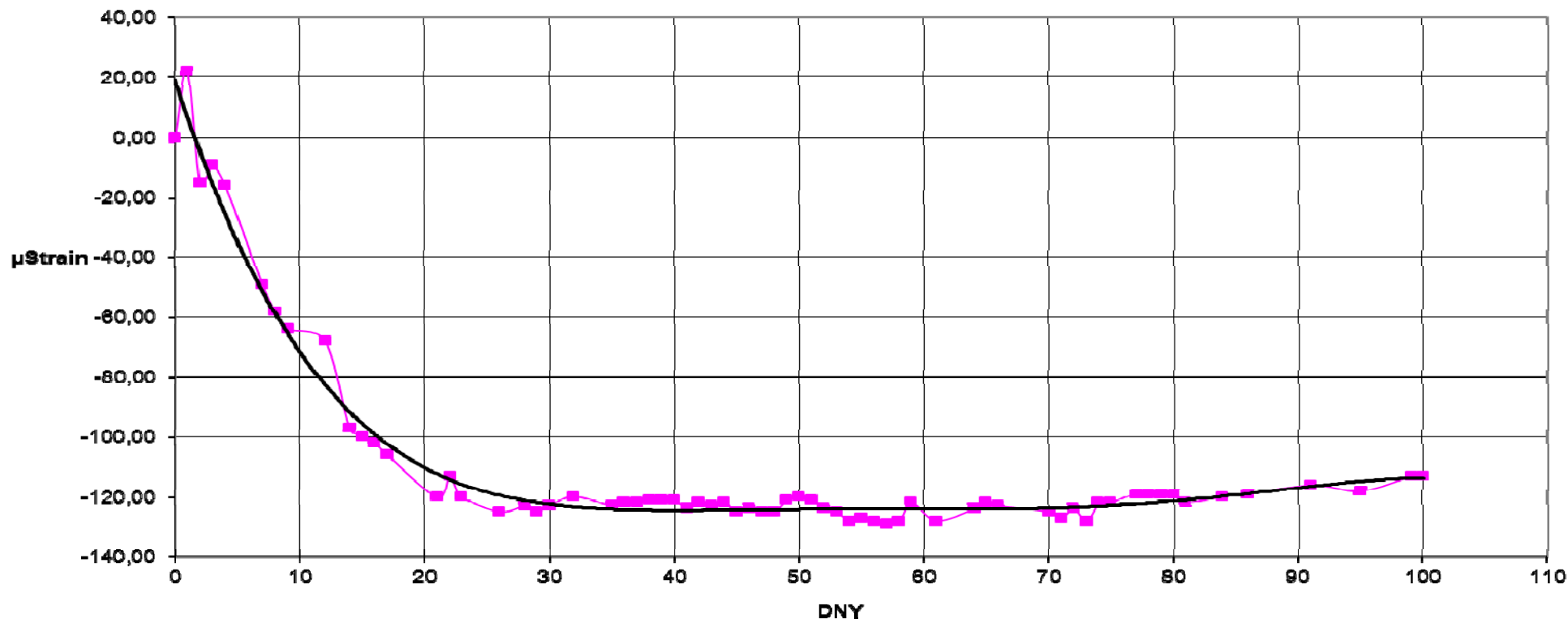


Obr. 2 Experimentální uspořádání tenzometrů na povrchu vzorku z jádra vrtu CCBM1

K lepení sond CCBM do vrtu používáme dvousložkové lepidlo EPOXY 531, které tuhne ve vlhku a lepí i na vlhké povrchy. Abychom měli jistotu, že použité epoxidové lepidlo dostatečně ztuhlo při nízké teplotě horninového masivu v Dole Jeroným, byla nejprve provedena dlouhodobá laboratorní zkouška průběhu jeho tuhnutí. Vlastnosti lepidla EPOXY 531 byly dlouhodobě při pokojové teplotě laboratorně testovány v roce 2007. Tenzometry byly přilepeny na válcový vzorek horniny a pro srovnání také na ocelový váleček. Lepidlo tuhlo za pokojové teploty. Poté byly vzorky po dobu cca 6 měsíců současně zatíženy v reologickém lisu silou 100 kN a byly měřeny deformace. K prokluzu lepidla během experimentu nedošlo.

V Dole Jeroným však musí lepidlo tuhnout při teplotě cca $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, což již výrobce nezaručuje. Proto jsme tuhnutí prověřili laboratorně. Měřicí tenzometr TM typu

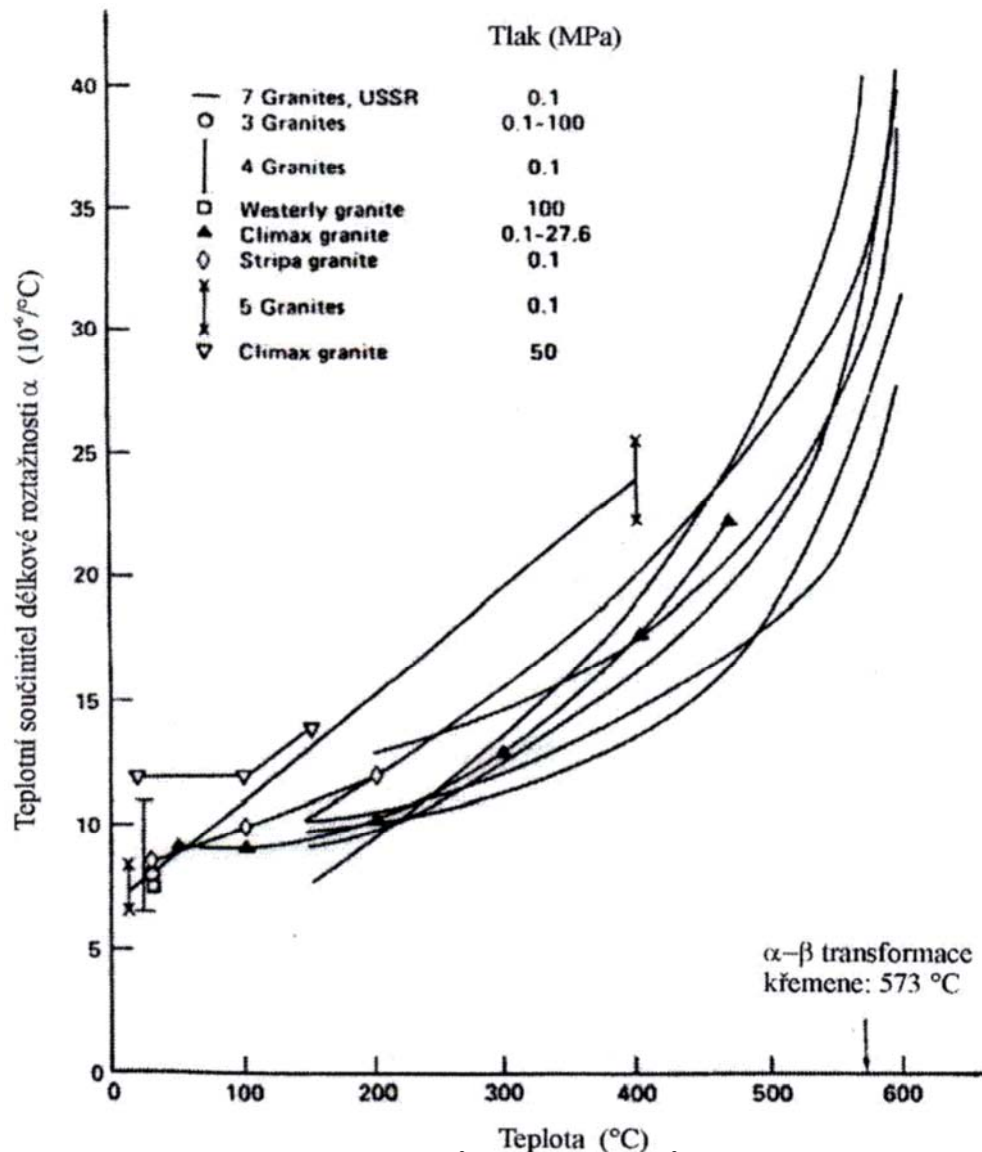
1xK51E-3 byl přilepen lepidlem EPOXY 531 na zabroušenou plochu části vzorku horniny odebrané z jádra vrtu pro sondu CCBM1. Kompenzační tenzometr TC stejného typu byl s povrchem vzorku kontaktován silikonovou vazelínou – obr. 2. Poté byl vzorek umístěn do lednice nastavené na teplotu 10 °C a po dobu 110 dnů byla registrována poměrná deformace tenzometru tenzometrickým můstkem Brüel+Kjaer, Type 1526. Tenzometry TM a TC tvořily měřicí a kompenzační větve pŕlmostu.



Obr. 3 Tuhnutí lepidla EPOXY 531 při teplotě 10°C. Tenzometr 1xK51E-3/350 (jedna sekce)

Při tuhnutí lepidla dochází k jeho kontrakci. Tuto kontrakci jsme považovali za indikátor průběhu polymerizace v lepidle. Výsledek experimentu je znázorněn na obr. 3. Během tuhnutí lepidla docházelo ke kontrakci po dobu třiceti dnů. Po této době je lepidlo plně zatuhlé. Lze tedy před-pokládat, že i lepidlo použité u sond CCBM1 a CCBM2 v Dole Jeroným po cca měsíci dostatečně zatuhlo a nepůsobí chyby měření.

Z průběhu hodnot naměřených sondou CCBM1 a poznatků z instalace do DMS lze pro inovaci konstrukce sond CCBM stanovit následující doporučení:



Obr.4 Teplotní roztažnost různých granitů. Převzato z Heuze (1983)

teplotní roztažnosti horniny α_H . U sond v Dole Jeroným se vliv změn teploty neuplatňuje, protože horninový masiv má stabilní teplotu cca 8 °C. Vliv teplotních změn se však uplatňuje u jiných úloh, například při overcoringu.

- Je nutno upravit instalaci kompenzačního tenzometru tak, aby nebyl ovlivňován objemovými změnami zalévací hmoty a kompenzoval teplotní roztažnost horniny. Pro eliminaci tlaku rozpínající se zalévací hmoty je nutno v tělese sondy vytvořit dutinu vyplněnou stlačitelnou hmotou. Je nutno použít objemově co nejstálější zalévací hmotu s vhodnými mechanickými parametry.
- Kvůli vyloučení vzniku parazitních potenciálů vlivem iontové difúze je vhodné napájet tenzometrický most střídavým (komutovaným) proudem.
- Za účelem ochrany vstupních obvodů proti pronikání rušení a parazitních svodových proudů je vhodné obvody pro galvanické oddělení od sběrnice distribuovaného měřicího systému instalovat přímo do sondy.
- Z hlediska začlenění sond do DMS je výhodné, aby sondy byly vybaveny přímo příslušným komunikačním rozhraním na programové i hardwarové úrovni.

3 Úprava instalace kompenzačního tenzometru

Po zjištění nestability kompenzačního tenzometru, který byl zalit přímo do tělesa sondy, byly provedeny laboratorní experimenty, které potvrdily vliv objemových změn zalévací hmoty. Proto byly kompenzační tenzometry (TC) v dalších kusech této série sond CCBM instalovány do komůrek, které je oddělovaly od zalévací hmoty. Toto řešení, stejně jako u tenzometru zalitého přímo ve hmotě, však nesplňuje podmínku pro teplotní kompenzaci, neboť koeficient lineární teplotní roztažnosti tenzometru α_T [K⁻¹] se liší od koeficientu lineární

Délkovou teplotní roztažností hornin se zabývá řada publikovaných prací. Pro měření jsou používány různé typy komerčních dilatometrů (Vavro a Konečný, 2002) nebo speciální výzkumné aparatury (Fojtek et al. 1990). Popsány jsou zpravidla výsledky pro rozsah teplot řádově do stovek °C.

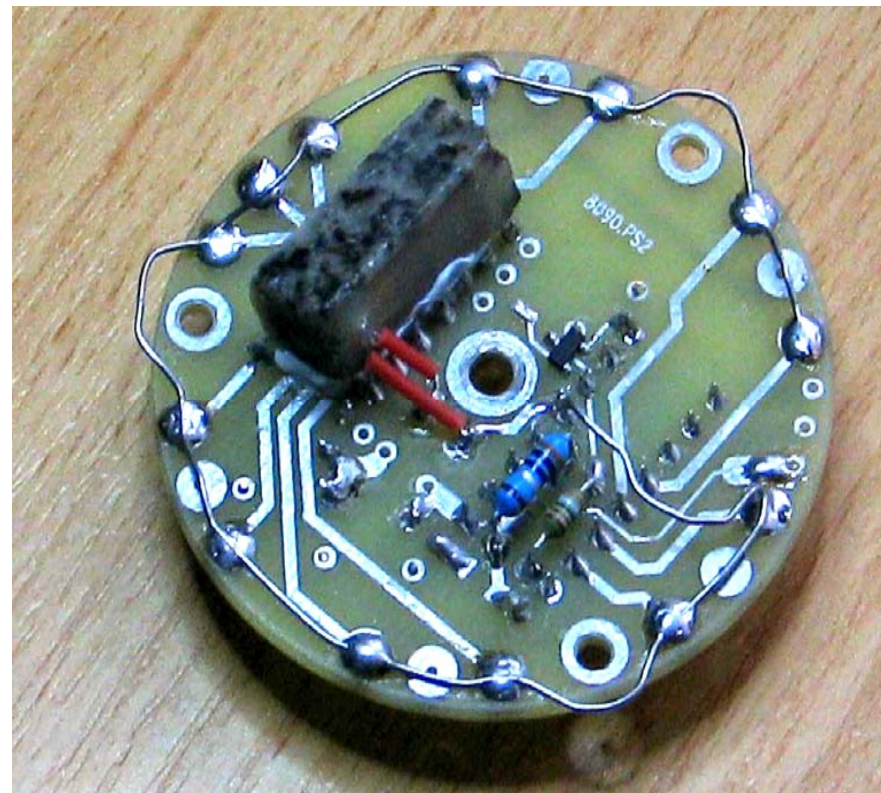
V tomto rozsahu teplot dochází v hornině k chemickým změnám a k případné změně krystalické stavby. Je známo, že výsledek měření teplotní roztažnosti hornin závisí mimo jiné na režimu ohřevu vzorku a nelineární závislost dilatace na teplotě při ohřevu a chladnutí je různá (Vavro a Konečný, 2002). Jako příklad zde uvádíme na obr. 4 graf závislosti teplotního součinitele roztažnosti různých granitů.

V malém rozsahu teplot (10 – 80 °C), který přichází v úvahu pro aplikace sond CCBM, jsme však předpokládali, že ke změnám složení granitu nedochází a že průběh dilatace bude vratný a k jeho vyjádření postačí koeficient délkové teplotní roztažnosti horniny α_H .

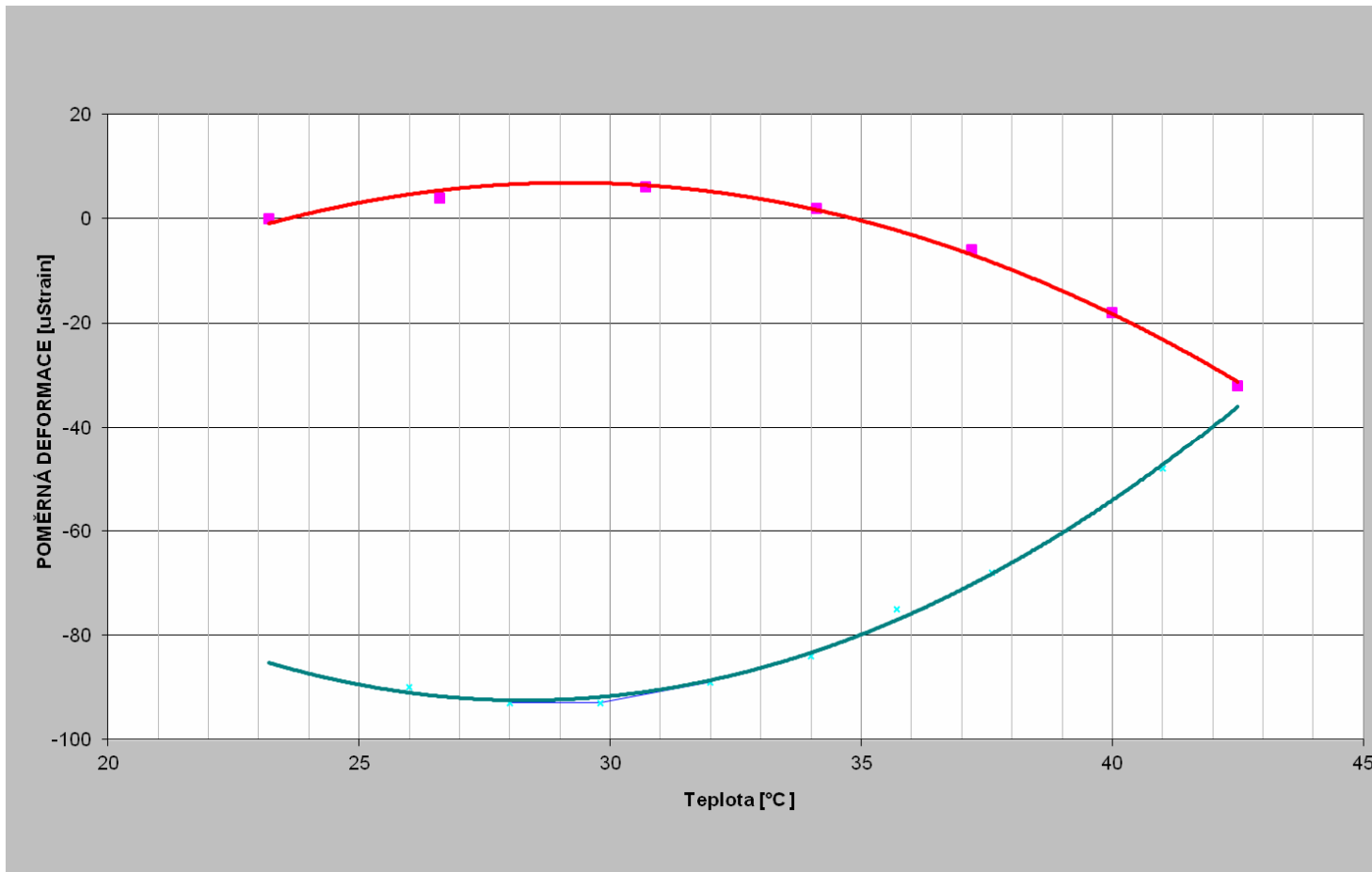
Jako nejjednodušší řešení problému kompenzace α_H se jeví přilepení TC na trámeček, vyříznutý z horniny získané z jádra vrtu, do něž má být sonda instalována. TC je přilepen stejným lepidlem jako měřicí tenzometry na trámeček o rozměrech 8x8x25 mm a pokryt krycí vrstvou zalévací hmoty. Lepidlo bylo dokonale vytvrzeno. Trámeček s TC je přilepen pružným silikonovým tmelem na desku plošných spojů obvodů multiplexeru - obr. 5.

S takto instalovaným TC bylo pomocí TC provedeno orientační měření koeficientu délkové teplotní roztažnosti horniny α_H . Očekávali jsme hodnotu $\alpha_H > 0$, avšak získali jsme překvapující závislost poměrné deformace $\varepsilon(T)$ na teplotě, která je znázorněna v grafu na obr. 6. Proti očekávání je výsledná poměrná deformace při vzrůstu teploty záporná a po vychladnutí se nevrátila na výchozí hodnotu. Při dalších cyklech zahřívání a chladnutí jsou křivky závislosti relativní deformace $\varepsilon(T)$ nereprodukovatelné.

Zápornou hodnotu tenzometricky naměřené poměrné deformace při vzrůstu teploty lze vysvětlit na základě rozdílné hodnoty koeficientu délkové teplotní roztažnosti tenzometru α_T a horniny α_H . Sondy CCBM jsou osazeny fóliovými tenzometry, které jsou kompenzovány pro feritickou ocel s koeficientem délkové teplotní roztažnosti $\alpha = 10,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (citace Prospekt HBM). Je-li takový tenzometr přilepen na horninu se vztahem $\alpha_H < \alpha_T$ omezuje hornina jeho roztažení, důsledkem čehož je zvětšení průřezu jeho vodičů v měřicí mřížce a snížení odporu. To se na výsledku měření projeví jako komprese. Je-li při měření kompenzována teplotní závislost měrného odporu materiálu tenzometru na teplotě, lze závislost naměřené poměrné deformace $\Delta\varepsilon$ na změně teploty Δt popsat vztahem:



Obr. 5 Kompenzační tenzometr nalepený na trámečku z horniny



Obr. 6 Závislost poměrné deformace trámečku z granitu s nalepeným TC.

Vysvětlivky: červená křivka – zahřívání, zelená – chladnutí

$$\Delta\varepsilon = k \times (\alpha_H - \alpha_T) \times \Delta t .$$

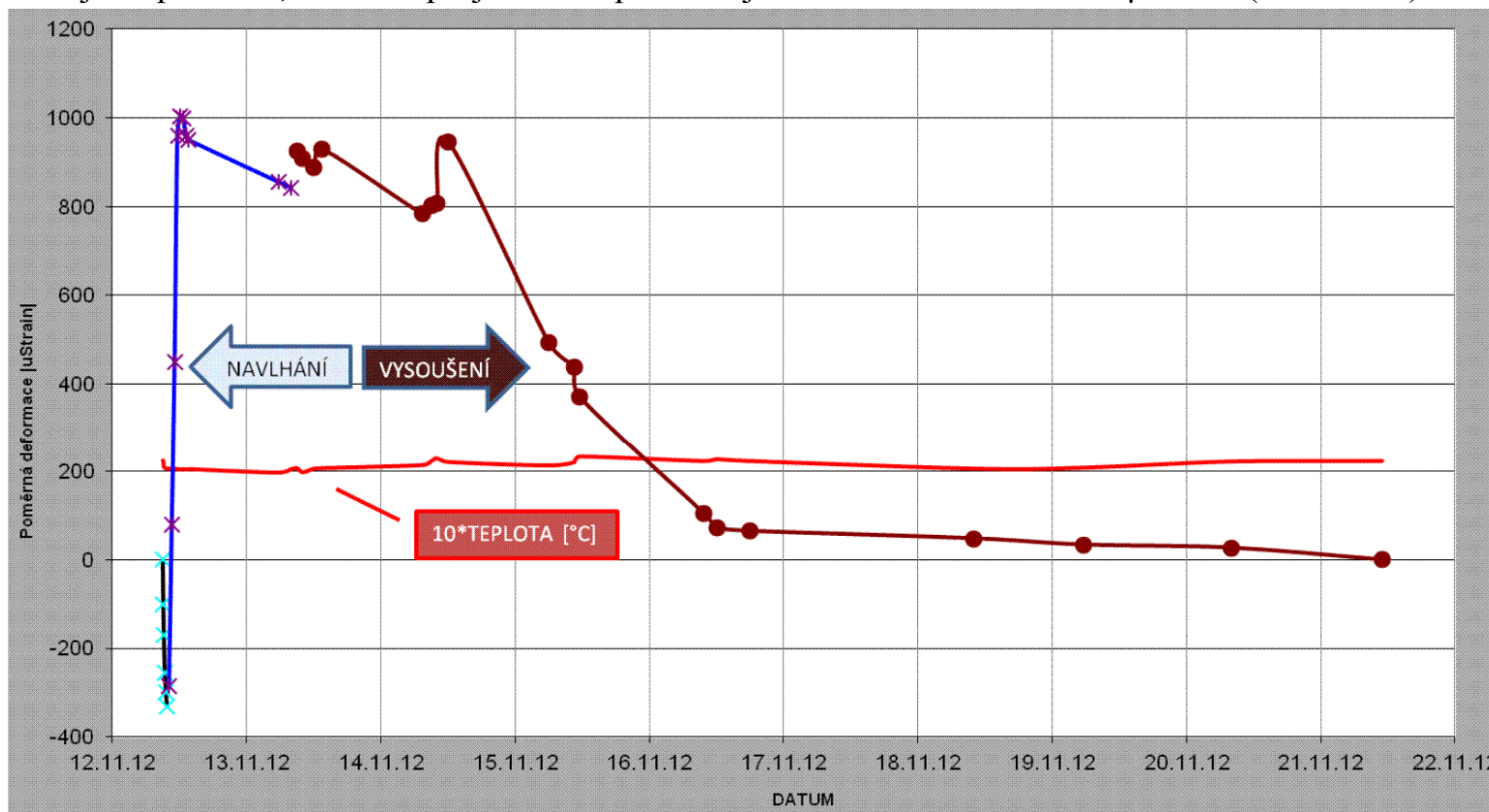
(1)

Odlišný průběh dilatace při zahřívání a chladnutí jsme si vysvětlovali ohybem trámečku. Proto byl k dalšímu měření použit masivnější vzorek granitu z vrtu sondy CCBM2 – obr. 2. Na zabroušený povrch vzorku byl přilepen lepidlem EPOXY 531 měřicí tenzometr (TM) a silikonovou vazelínou tepelně kontaktován kompenzační tenzometr TC. K povrchu vzorku je upevněno také čidlo teplotoměru. Na tomto vzorku byly naměřeny podobné průběhy $\varepsilon(T)$ jako na trámečku z téže horniny. Měření bylo provedeno v rozsahu teplot

20 °C – 45 °C. Opět byl průběh $\varepsilon(T)$ při chladnutí velmi odlišný od ohřevu. Navíc se po třech dnech po ukončení ohřevu vrátila hodnota $\varepsilon(T)$ na výchozí hodnotu. Je zřejmé, že výsledek měření ovlivňuje další parametr, kterým je pravděpodobně vlhkost.

4 Vliv vlhkosti na poměrnou deformaci horniny

Pro hrubé ověření vlivu vlhkosti na poměrnou deformaci horniny byl proveden jednoduchý laboratorní pokus se vzorkem granitu z vrtu sondy CCBM1 z Dolu Jeroným. Vzorek s instalovanými tenzometry podle obr. 2, který byl použit k orientačnímu měření teplotní roztažnosti, byl ponořen do vody a byla měřena poměrná deformace a teplota v závislosti na čase. Po navlhnutí povrchu vzorku, které bylo posuzováno vizuálně, a podle dosažení ustálené hodnoty poměrné deformace byla voda odstraněna a vzorek měřen až do vyschnutí. Naměřené hodnoty jsou vyneseny v grafu na obr. 7. V grafu lze rozlišit 3 základní fáze. Po ponoření spodní strany vzorku horniny do vody došlo pravděpodobně k jeho prohnutí, které se projevilo na povrchu jako kontrakce o cca 300 μStrain (černá čára). Poté vzorek postupně



Obr. 7 Vliv vlhkosti na poměrnou deformaci vzorku granitu z vrtu sondy CCBM1

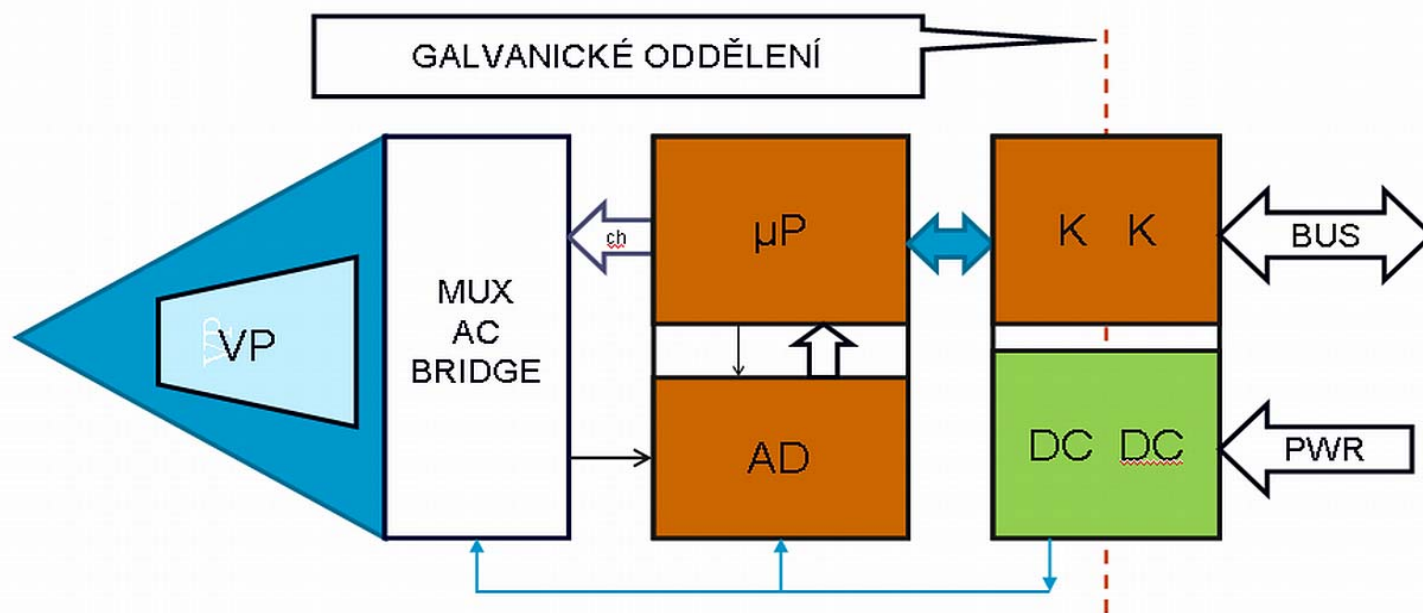
navlhnul až k povrchu, což způsobilo významnou poměrnou dilataci až +1000 μ Strain (modrá čára). Po cca 24 hodinách počala fáze vysušování, která trvala 8 dnů a během níž se poměrná deformace vrátila k nule (hnědá čára). Tento jednoduchý experiment ukázal, že vliv vlhkosti na roztažnost granitu z Dolu Jeroným je značný a může být příčinou naměření hodnot, které jsou pouze následek změny vlhkosti a ne změny napětí v masivu.

V publikovaných pracích je rozebírán vliv vlhkosti na elastické vlastnosti hornin (např. Kwaśniewski a Rodríguez-Oitabén, 2010), nikoliv vliv vlhkosti na dilataci. Proto bylo v ÚGN AVČR zahájeno experimentální měření, kdy je současně měřena roztažnost u vybraných druhů hornin v závislosti na teplotě a čase a porovnávána jejich dilatace vyvolaná navlhčením do nasyceného stavu.

5 Návrh inovované konstrukce sondy CCBM

Na základě zkušeností s instalací sond CCBM do DMS v Dole Jeroným je vyvinuta jejich inovovaná konstrukce. Blokové schéma je na obr. 8. Základní koncepce, tj. funkce jako adresovatelná měřicí jednotka, instrukční soubor a přenosový protokol zůstávají stejné jako u původního provedení.

Stejně jako u původní konstrukce je 6 dvojitých zkřížených tenzometrů, umístěných na povrchu kuželové špičky sondy (na obr. 8 nejsou vyznačeny), připojeno na multiplexovaný linearizovaný můstek MUX, který je však, na rozdíl od původní konstrukce sondy, buzený



komutovaným proudem. Na další kanály MUX je připojen kompenzační tenzometr TC (nalepený na trámečku z horniny podle obr. 5), pevný přesný rezistor $R_0=350 \Omega$ se sériovým rezistorem pro kalibraci citlivosti a odporový senzor teploty.

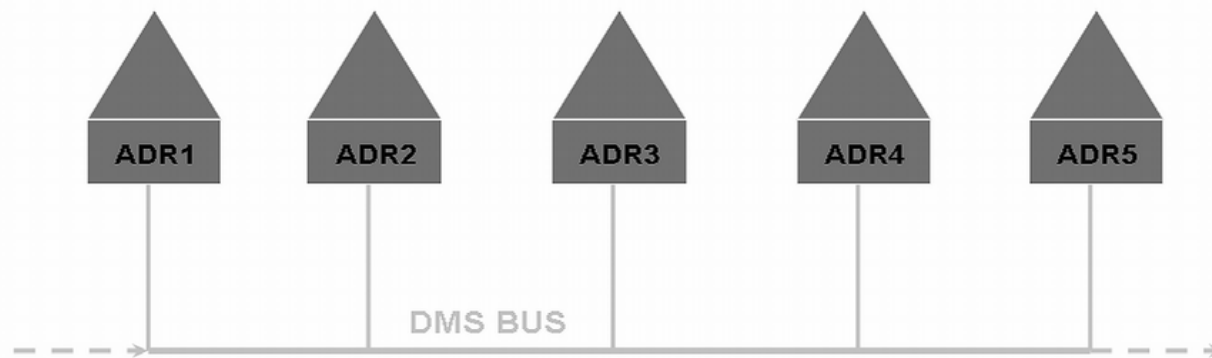
Přepínání kanálů na vstup analogově-číslicového převodníku AD, komutaci proudu, spouštění analogově-číslicového převodu a další komunikaci s DMS řídí mikroprocesor μ P. Přímě do tělesa sondy je instalován blok komunikačního konvertoru, který převádí signály sériového rozhraní μ P na galvanicky izolované rozhraní RS485, které je možno připojit přímo na sběrnici BUS DMS.

Obr. 8 Blokové schéma inovované sondy CCBM

Napájecí blok DC-DC, realizovaný DC-DC konvertorem zajišťuje galvanické oddělení napájení PWR z DMS. Blok DC-DC může být realizován pro napájecí napětí 5 – 9 V, 12 V nebo 24 V.

V kuželové špici sondy je vytvořen volný prostor VP (vyplněný stlačitelnou pěnovou hmotou), který zabraňuje narůstání tlaku na tenzometry a součásti elektronických obvodů při rozpínání zalévací hmoty. Pro aplikace, kde se předpokládají významné změny teploty v průběhu monitorování je vhodné sondy osadit tenzometry, které jsou teplotně kompenzovány pro jiné materiály. Například firma HBM nabízí tenzometry kompenzované pro molybden s koeficientem $\alpha = 5,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ nebo pro křemen s $\alpha = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (www.hbm.com).

Výhodou této konstrukce je především dokonalejší odizolování citlivých měřicích obvodů sondy od okolního prostředí a snížení kapacity mezi měřicími obvody sondy a sběrnici DMS. Další předností je možnost jednoduchého paralelního připojování jednotlivých sond na DMS BUS, jak je ukázáno na obr. 9. S DC-DC konvertorem s napájením 5 – 9 V lze sondy napájet ze zdroje s velkým výstupním odporem, což usnadňuje realizaci DMS v jiskrově bezpečném provedení. Elektronické obvody sondy podle obr. 8 jsou vyvinuty do stadia funkčního vzorku.



Obr. 9 Připojení inovovaných sond CCBM na sběrnici DMS

6 Závěr

Distribuovaný měřicí systém na Dole Jeroným a jeho výsledky jsou publikovány (např. Kaláb et al., 2008, Knejzlík et al., 2011). Přesto, že data sond CCBM instalovaných v Dole Jeroným nelze geomechanicky interpretovat za celou dobu 5 let měření, považujeme toto jejich experimentální nasazení za přínosné. Sondy bylo možno začlenit do DMS a zajistit registraci dat s telemetrickým přenosem. Měření není ovlivňováno průnikem elektrického rušení ze sběrnice DMS. Elektronické obvody obou sond jsou dosud funkční. Na základě získaných poznatků je navržena inovovaná konstrukce sond CCBM, která odstraňuje zjištěné konstrukční nedostatky prvních prototypů.

Z výsledků výše uvedených orientačních experimentů je možno odvodit důležitý závěr, že roztažnost granitu z Dolu Jeroným závisí značně na vlhkosti. Vliv změn vlhkosti je mnohem větší, než vliv možných změn teploty. Při dalších experimentálních laboratorních zkouškách bylo zjištěno, že tento fenomén se projevuje v různé míře i u jiných hornin. Pro aplikaci metody CCBM v Dole Jeroným to znamená, že i malé změny vlhkosti horninového masivu ovlivňují měřené hodnoty více než možné změny tenzoru napjatosti. To je závažný poznatek i pro použití sond CCBM na jiných lokalitách. Vždy před jejich použitím bude nutno posoudit vlhkost horninového masivu a její možné změny v průběhu monitoringu. Je nutno laboratorně proměřit závislost dilatace horniny na její vlhkosti z místa plánované instalace sond a posoudit použitelnost této metody měření.

Stejně se tento vliv projevuje u metody měření napěťového stavu horninového masivu metodou odlehčeného jádra v kuželové geometrii CCBO, neboť vyvrtání vrtu i obvrtávání jádra se sondou se provádí s vodním výplachem a vlhkost masivu a vylomeného jádra se sondou CCBO je proto ovlivněna. Je nutno upozornit, že dilatace horniny vyvolaná vlhkostí má obecně vliv na všechny mechanické (např. metoda odlehčení vrtného jádra ing. Mužika) i tenzometrické (např. Doorstopper) metody měření napětí horninového masivu, založené na deformaci vrtu. Aby bylo možno parazitní vlivy vlhkosti různých hornin na přesnost měření sondami CCBO a CCBM kvantifikovat, byl v současné době v ÚGN AVČR, v.v.i., zahájen rozsáhlý laboratorní výzkum tohoto fenoménu u různých typů hornin. Zároveň je testována dlouhodobá stálost objemu a nasákavost zalévacích hmot.

Poděkování

Príspevek byl zpracován za finanční podpory GAČR, projekt č. 105/09/0089 „Prognóza časoprostorových změn stability důlních prostor technické památky Důl Jeroným v Čisté“

Literatura

- FOJTEK, A., KNEJZLÍK, J., NOVOTNÝ, I. Metoda měření teplotní délkové roztažnosti tuhých látek. *Sbor. věd. prací VŠB Ostrava, řada hor. geol.*, roč. XXIX, č. 1, 1990, p. 9–20.
- HEUZE, F. E. High-temperature mechanical, physical and thermal properties of granitic rock – a review. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr.*, vol. 20, No. 1, 1983, p. 3–10.
- KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. Seismic loading of medieval Jeroným Mine during West Bohemia swarm in 2008. In IDZIAK, A. F., DUBIEL, R. – editors: *Geophysics in Mining and Environmental Protection*. Ser. Geoplanet: Earth and Planetary Science, © Springer-Verlag Berlin, Vol. 2, 2011, p. 21–30. ISSN 2190–5193, DOI 10.1007/978-3-642-19097-1. <http://www.springerlink.com/content/978-3-642-19097-1#section=917403&page=9&locus=81>
- KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., KORÍNEK, R., KUKUTSCH, R., LEDNICKÁ, M., ŽŮREK, P. Contribution to experimental geomechanical and seismological measurements in the Jeroným Mine. *Acta Geodyn. et Geomat.*, Vol. 5, No. 2(150), 2008, p. 213–223, ISSN 1214-9705.
- KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., RAMBOUSKÝ, Z. Dlouhodobý monitoring změn tenzoru napjatosti v masivu. Long Term Monitoring of the Stress Tensor Changes in Rock Massif. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, 2011, Vol. XVIII. 1, p. 73–82. CD-ROM ISSN 1803-1447. http://www.caag.cz/egrse/2011-1/clanek_08.pdf
- KANG, S. S. Measurements and interpretation of stress history of limestone deposit. A dissertation for Degree of Doctor of Philosophy, Kumamoto, 2000, Kumamoto University, MS.
- KNEJZLÍK, J., RAMBOUSKÝ, Z., SOUČEK, K., STAŠ, L. Second generation of conical strain gauge probe for stress measurement in rock massif. *Acta Geodyn. et Geomat.*, Vol. 5, No. 3 (151), 2008, p. 1–9, ISSN 1214-9705.
- KNEJZLÍK, J., KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M., STAŠ, L. Investigation of the medieval Jeroným Mine stability: Present results from a distributed measurement network. In Idziak, A.F., Dubiel, R. – editors: *Geophysics in Mining and Environmental Protection*. Ser. Geoplanet: Earth and Planetary Science, 2011, Vol. 2, p. 59–70. © Springer-Verlag Berlin. ISSN 2190-5193, DOI 10.1007/978-3-642-19097-1. <http://www.springerlink.com/content/978-3-642-19097-1#section=917403&page=9&locus=81>
- KWAŚNIEWSKI, M., RODRÍGUEZ-OITABÉN, P. Effect of water on the deformability of rocks under uniaxial compression. In Vrkljan (ed): *Rock Engineering in Difficult Ground Conditions – Soft Rocks and Karst*, © 2010 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-80481-3
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z. Vibration effect of earthquakes in abandoned medieval mine. *Acta Geod Geophys.* DOI 10.1007/s40328-013-0018-4, 2013.
- NAKAMURA, N., OHKUBO, R., OBARA, Y., KANG, S. S., SUGAWARA, K., KANEKO, K. Rock stress measurement for limestone open pit mine. In: *Proc. of 5th Int. Symp. on Field Measurements in Geomechanics*, Singapore, Rotterdam: Balkema, 1999, p. 375–380.

- STAŠ, L., KNEJZLÍK, J., RAMBOUSKÝ, Z. Conical strain gauge probe for stress measurements. In Konečný, P. (ed): *Eurock 2005 – Impact of Human Activity on the Geological Environment*, London: Balkema, 2005a, p. 587-592, ISBN 04 1538 042 1.
- STAŠ, L., KNEJZLÍK, J., RAMBOUSKÝ, Z. Měření tenzoru napjatosti horninového masivu pomocí kuželové sondy. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební*, roč. V, č. 2, 2005b, p. 179-191, ISSN 1213-1962.
- VAVRO, M., KONEČNÝ, P. *Vliv teploty a tlaku na vlastnosti hornin*. Zpráva k „Smlouvě o dílo č. 424/22/10, Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava, 2002. MS.

Autoři

- ¹ Ing. Jaromír Knejzlík, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, knejzlik@ugn.cas.cz
- ² prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, kalab@ugn.cas.cz
- ³ Ing. Markéta Lednická, Ph.D. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, lednicka@ugn.cas.cz
- ⁴ Ing. Zdeněk Rambouský – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, rambousk@ugn.cas.cz