

ROZŠÍŘENÍ DISTRIBUOVANÉHO MĚŘICÍHO SYSTÉMU NA DOLE JERONÝM
O MĚŘENÍ VÝŠKY STROPU KOMORY K2 LASEROVÝM DÁLKOMĚREM
SUPPLEMENTATION OF DISTRIBUTED MEASURING SYSTEM IN JERONÝM
MINE WITH CEILING HEIGHT MEASUREMENT OF CHAMBER K2 WITH
LASER DISTANCE METER

Abstract

This contribution presents implementation of the laser distance meter Leica DistoTM4 to the distributed measuring system with continual data recording which is build-up in the medieval ore mine Jeroným. Principle of operation of Leica DISTO™ distance meter, block diagram of communication interface and mechanical design are briefly described. Laser distance meter is used for measurement of deformation of high inaccessible roof of chamber K2. First results of measurement are presented.

Key words: Jeroným Mine, geomechanical monitoring, laser distance meter.

Úvod

Pro posuzování stability důlního díla je nutno mimo jiné monitorovat dlouhodobě změny jeho rozměrů. V přístupných místech se v Dole Jeroným v části opuštěných důlních děl toto provádí opakovaným manuálním měřením vzdáleností fixovaných bodů nebo instalací konvergenčních měřidel napojených na monitorovací systém [1]. Takto se od roku 2002 4x ročně měří vzdálenosti mezi fixovanými body na vybraných stanovištích mechanickým měřidlem nebo na větší vzdálenosti laserovým dálkoměrem Leica DISTO™ [2]. V roce 2007 bylo „na kříži“ zahájeno kontinuální měření pomocí konvergenční stojky KK1 [3].

Vysoké stropy komor (několik metrů) jsou v Dole Jeroným zpravidla natolik nepřístupné a počva komor natolik nerovná, že bezpečná instalace klasických mechanických měřidel je prakticky nemožná. Opakované manuální měření přenosným laserovým dálkoměrem Leica DISTO™ nelze realizovat, neboť nelze opakovaně zaměřit na stropě komory přesně stejný bod. Laserový dálkoměr (LDM) lze pro měření změn výšky stropu komory použít je-li instalován na pevném stativu a zaměřen stále do stejného bodu. Je výhodné takto instalovaný LDM začlenit do distribuovaného řídicího a měřicího systému (DMS) a získat tak soubor „kontinuálně“ zaznamenávaných dat. K tomuto účelu lze použít některý z průmyslově vyráběných senzorů, jako např. např. ASTECH LDM41/42 nebo AccuRange 4000 Laser Rangefinder firmy Acuity Company (www.acuitylaser.com). Tento typ by pro implementaci do DMS na Dole Jeroným svými parametry optimálně vyhovoval, nevýhodou je však jeho vysoká cena. Na základě dobrých zkušeností s LDM Leica DISTO™ bylo rozhodnuto začlenit do DMS tento typ LDM. K tomu účelu bylo nutno vyvinout interface pro připojení k DMS, skříň a stativ pro montáž v dole a příslušný software. Jako místo k instalaci LDM byla zvolena komora K2, ve které je plánováno vyústění nově vyražené propojovací chodby se „Starými důlními díly“ 41] a z tohoto důvodu je její stabilita detailně posuzována. Instalace LDM byla provedena v květnu 2008.

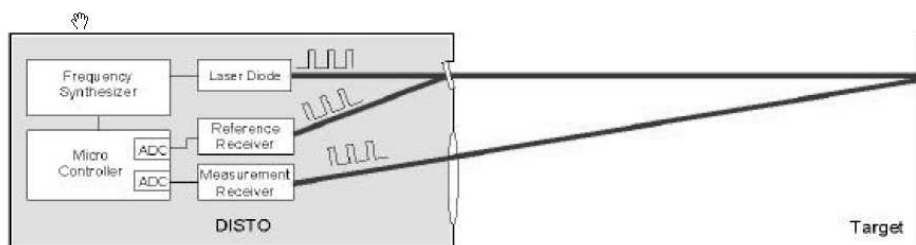
¹ Ing., CSc., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, Ostrava, knejzlik@ugn.cas.cz

² Ing., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, Ostrava, rambousky@ugn.cas.cz

Princip měření vzdálenosti laserovým interferenčním dálkoměrem Leica DISTO™

Měření vzdálenosti LDM Leica DISTO™ je založeno na měření fáze (www.leica-geosystems.com/cpd/en/support/lgs_4939.htm). Blokové schéma LDM je na Obr.1. Laserová dioda (Laser Diode) emituje světelné impulzy s definovanou opakovací frekvencí a délkou. Emitovaný paprsek se rozděluje na měřicí (Measuring Receiver) a referenční (Reference Receiver) trasu. Signály z přijímacích senzorů se elektronicky zpracovávají mikroprocesorem (Micro Controller) po digitalizaci v analogově-číslicových převodnících (ADC). Opakovací frekvenci impulzů určuje frekvenční syntezátor (Frequency Synthesier).

Měřicí paprsek je zpožděn vlivem konečné rychlosti šíření světla. Fázové zpoždění měřicího paprsku je úměrné vzdálenosti mezi přístrojem a bodem odrazu na měřené ploše (Target). Vestavěný mikroprocesor vypočítává fázové zpoždění měřicího paprsku v rozsahu 0 - 360° a z něj měřenou vzdálenost. Aby se vyloučilo chybné stanovení vzdálenosti při fázovém posuvu větším než 360°, používá se při měření proměnné opakovací frekvence impulzů. Nejprve se při nízké opakovací frekvenci přibližně stanoví měřená vzdálenost a tato se poté zpřesňuje. Princip interferometrického měření je podrobněji popsán v článcích [4] a [5].



Obr. 1 Blokové schéma LDM Leica DISTO™.

Prevzato z www.leica-geosystems.com/cpd/en/support/lgs_4939.htm

Výsledná přesnost měření vzdálenosti závisí na přesnosti a teplotní stabilitě krystalového oscilátoru, fázovém neklidu frekvenčního syntezátoru (jitter), přeslechu mezi referenční a měřicí trasou, poměru signálu k šumu v měřené trase a délce vzorkovacího intervalu, ve kterém mikroprocesor vypočítává z opakovaných měření průměrnou hodnotu měřené délky. Změna rychlosti šíření světla vlivem parametrů prostředí je oproti výše zmíněným vlivům zanedbatelná. Výslednou přesnost měření, která je u známých typů LDM přibližně stejná a činí cca ± 1.5 mm, ovlivňuje také kvalita odrazné plochy (drsnot a orientace plochy vůči světelnému paprsku). Pro nejpresnější měření se používají speciální odražeče (rovinné, koutové). Proto ji nelze plně vyjádřit jedinou hodnotou. Rozlišovací schopnost naměřené hodnoty vzdálenosti je určena programem v mikroprocesoru LDM.

Měření konvergence stropů vysokých komor pomocí LDM Leica Disto™

Při měření konvergence se vyhodnocuje změna vzdálenosti, proto chyba měření konvergence bude závislá především na dlouhodobé stabilitě a rozlišovací schopnosti údaje, nikoliv na základní přesnosti měření. Předpokládáme, že při konstantní teplotě

v Dole Jeroným bude dlouhodobá stabilita údaje dostatečná pro dosažení plánované přesnosti měření konvergence (změny vzdálenosti) cca 1 mm.

Pro LDM typu Leica DistoTM jsme se rozhodli mimo výše uvedené ekonomické důvody také proto, že model Leica DistoTM je současně v Dole Jeroným úspěšně používán pro manuální měření vzdálenosti v rámci čtvrtletních kampaní. Pro implementaci do DMS jsou vhodné modely Leica DistoTM A4 a Leica DistoTM A6, vybavené sériovými komunikačními rozhraními.

Leica DistoTM A4 je starší typ laserového dálkoměru, vybavený sériovým komunikačním rozhraním standardu RS232. Je napájen bapětím $U_d = 6\text{ V}$ ze 4 ks baterií rozměru R3 (AAA). Lze jej ovládat buď manuálně z klávesnice a naměřené hodnoty odečítat přímo z LCD displeje nebo použít sériové komunikační rozhraní a řízení funkce i odečet naměřených hodnot provádět pomocí PC. Komunikační protokol je podrobně popsán v [5]. K dispozici je také komerčně dostupná knihovna Disto Online Automatization Interface (www.elcovision.com). DistoTM A4 lze přes sériové rozhraní zapnout i vypnout. Leica DistoTM A4 má dva pracovní režimy:

- ☐ *Standardní* - Přesnost 3 mm, rozlišovací schopnost měření 1 mm. Ovládání přes klávesnici a sériové rozhraní. Výsledky měření jsou zobrazovány na LCD displeji.
- ☐ *Online* - Přesnost 3 mm, rozlišovací schopnost měření 0,1 mm. Ovládání jen přes sériové rozhraní, klávesnice. Na LCD jen indikace režimu „online“.

Leica DistoTM A6 je nejnovější typ laserového dálkoměru s komunikačním rozhraním Bluetooth. Komunikační protokol je prakticky stejný jako u Leica DistoTM A4, chybí však režim online a přístroj nelze pochopitelně přes Bluetooth zapnout. Tuto nevýhodu je možno při použití s externím napájením eliminovat tak, že se mechanicky zajistí trvalý stisk tlačítka „ON“. LDM Leica DistoTM A6 je napájen napětím $U_d = 3\text{ V}$ ze 2 ks baterií rozměru R3 (AA).

Začlenění LDM typu Leica DistoTM do DMS na Dole Jeroným

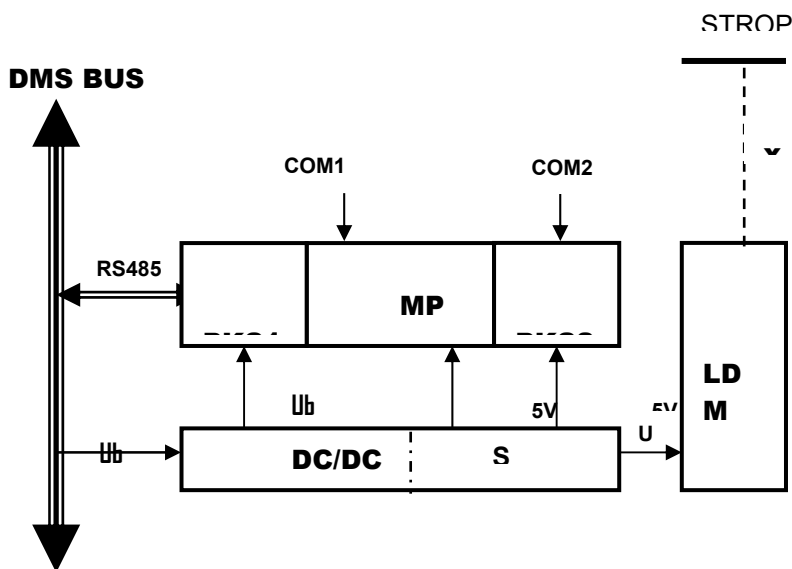
Princip DMS na Dole Jeroným je popsán např. v publikaci [3]. Pro začlenění LDM Leica DistoTM je použit interface podle Obr. 2, který zajišťuje tyto funkce:

- ☐ Překlad vybraných instrukcí a naměřených dat mezi protokoly Leica DistoTM a protokolem AiBus2,
- ☐ Napájení dálkoměru ze sběrnice DMS_BUS.

Jako překladač vybraných instrukcí a naměřených dat mezi protokoly Leica DistoTM a protokolem AiBus2 pracuje mikroprocesor MP. Je použit typ se 2 sériovými porty COM1 a COM2. Mezi sběrnici DMS_BUS a COM1 je zařazen převodník komunikačních standardů RS485/RS232 s automatickým přepínáním směru komunikace. Mezi COM2 a LDM je zapojen převodník komunikačních standardů, který je různý pro LDM Leica DistoTM A4 (TTL/RS232) a LDM Leica DistoTM A6 (TTL/Bluetooth).

Napájení všech obvodů zajišťuje konvertor DC/DC. Převodník komunikačních standardů PKS1 je napájen přímo napájecím napětím sběrnice DMS_BUS U_b . Mikroprocesor MP a převodník komunikačních standardů PKS2 jsou napájeny stabilizovaným napětím 5V. Pro LDM je vytvořen stabilizátor napětí U_d podle použitého typu (viz výše) s proudovým omezením. Do LDM jsou vloženy místo baterií NiMh

akumulátory příslušné velikosti. Ke krajním svorkám takto vytvořené baterie jsou připojeny přírodní vodiče od zdroje U_d v interface.



Obr. 2 Interface DMS_BUS / Leica Disto™

Definice protokolu AiBus-2 je podrobně popsána publikací [4]. Do byte ADR je standardně vložena buď univerzální adresa $ADR = 255$ (identifikace modulu nebo nastavování parametrů), nebo pracovní adresa modulu na sběrnici DMS (ADR_x , pro funkci v rámci DMS). Povel pro interface a Disto™ jsou zakódovány do bytů FN a PER (číslo periferie, měřený kanál). Byte příkaz/status C/S je ignorován, v poli dat D0 - D4 jsou v případě potřeby předávána data. Kontrolní součet je klasicky přenášen v bytech CRC0 a CRC1. Program pro mikroprocesor je napsán a v jazyku C v prostředí CVAVR a poté přeložen do assembleru. Do mikroprocesoru je naprogramován přes SPI.

Dálkoměry Disto™ se ovládají přes sériové rozhraní pomocí textových znaků (char), následovaných znakem CR (Carriage Return), případně CR LF. Komunikační protokol je podrobně popsán v příručce [5]. Povel pro režim online jsou v závorkách. Pro online komunikaci s Disto™ je k dispozici řada komerčně dostupných programů, např. objektově orientovaná knihovna Disto Automatization – viz www.elcovision.com a programy DISTO Transfer - viz www.leica/geosystems.com.

Po zapnutí mikroprocesoru se nejprve zapne LDM a poté se spustí základní programová smyčka, která čeká (20 ms) na zprávu protokolu AiBus2, která se přijme v přerušení. Souhlasí-li přijatá adresa ADR s přednastavenou adresou modulu ADR_x nebo je-li $ADR_x = 255$, zkontroluje se kontrolní součet CRC a je-li správný, provede se

příslušná instrukce. Pro ovládání přes DMS bus v režimu měření jsou v překladači implementovány jen vybrané povely:

Z AiBus-2:	Do Disto	Funkce:
ADRx, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1 Disto	a<CR> (A<CR>)	Zapni Disto
ADRx, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1	g<CR> (G<CR>)	Zmer x
ADRx, 0, 6, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1	v<CR>	Zmer Ub
ADRx, 0, 7, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1	o<CR>	Zapni laser
ADRx, 0, 8, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1	p<CR>	Vypni laser
ADRx, 0, 9, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1	b<CR>	Vypni Disto

V režimu měření přes DMS se do dálkoměru vysílají jen povely pro kanál 0 a 1 (Zapni DistoTM a změř vzdálenost x). Aby se zrychlila odezva LDM v DMS, ukládá se v paměti RAM mikroprocesoru poslední naměřená hodnota a ta se vysílá okamžitě po přijetí povelu k měření x jako aktuální hodnota. Poté provede LDM nové měření. Vyslaná hodnota je tedy „stará“ 1 vzorkovací interval.

Překlad zpráv, vysílaných z DistoTM do protokolu AiBus-2, je omezen jen na naměřené hodnoty a příznaky chyby - viz [5]. DistoTM vysílá zprávy o správně naměřených hodnotách a některých dalších konstantách jako textové řetězce o konstantní délce 15 znaků, zakončené <CR><LF>. Zprávy o chybách jsou zakódovány jako textové řetězce začínající znakem @ a následovaným číslem chyby.

Velikost naměřené hodnoty je ve verzi VI. programu omezena na rozsah unsigned integer, t.j. na 65535. To znamená, že v standardním režimu je rozsah měření 65,535 m, ale v režimu online jen 6,5535 m.

Formát odpovědi je: ADRx, 0, 1, 0, D0, D1, 0, 0, CRC0, CRC1,

kde D0 je nižší byte a D1 vyšší byte naměřené hodnoty (v rozsahu $0 \leq x \leq 65535$). D2=0 neboť znaménko mantisy nemá smysl, naměřená vzdálenost je vždy kladná. Takto omezený rozsah měření je pro použití v komoře K2 dostatečný. V případě potřeby lze naprogramovat plný rozsah měření s využitím bytů D2 a D3.

Chybová hlášení jsou zakódována do AiBus-2 jako hodnoty mantisy se záporným znaménkem (D2=1):

ADRx, 0, 1, 0, D0, D1, 1, 0, CRC0, CRC1,

kde D0 je nižší byte a D1 vyšší byte čísla chyby (v rozsahu $0 \leq x \leq 65535$). Znaménko chyby je vždy záporné.

Elektronické obvody interface jsou umístěny na desce plošných spojů. Jako PKS1 je použit konvertor UC485 (www.papouch.com). PKS2 je realizován integrovaným obvodem MAX232. Mikroprocesor je typu ATmega 162. Je vybaven rozhraním SPI (Serial Programming Interface) a pomocným obvodem, který pracuje jako monitor napájecího napětí mikroprocesoru.

Na desce plošných spojů jsou umístěny mikrospínače, které umožňují při instalaci LDM manuální zadání povelů:

- SW1: „LASER“ - zapne laser
 SW2: „DISTO OFF“ - vypne napájení dálkoměru
 SW3: „RESET“ - resetuje mikroprocesor

Mechanické provedení interface Interface DMS_BUS / Leica DistoTM 4

Pro testování v DMS na Dole Jeroným jsme použili LDM Leica DistoTM 4, neboť jeho ovládání přes rozhraní RS232 je jednodušší než přes Bluetooth u typu Leica DistoTM 6. Interface však byl vyvinut jako univerzální pro oba typy LDM. Pro Leica DistoTM 6 se nastavuje napájecí napětí $U_d = 3V$ a navíc se jako PKS2 instaluje komunikační převodník OEMSPA310i firmy ConnectBlue (www.connectblue.com). Leica DistoTM 6 nemá režim online, měří proto s rozlišovací schopností 1 mm.



Obr. 3 Interface pro DistoTM A4 s přenosem dat přes rozhraní RS232.

Mechanicky je laserový dálkoměr vestavěn do vodotěsné (IP55) skříně, opatřené vstupním konektorem, skleněným průzorem a tubusem pro ochranu proti kapající vodě. Sběrnice DMS je připojena přes 6-ti pólovou zásuvku BUCANEER – viz Obr. 3.

Instalace LDM na lokalitě

Krabice s interface a LDM DistoTM A4 je instalována na stativ, který je vyroben z upraveného držáku satelitní antény (provedení pro ploché střechy) – viz Obr. 4. Dálkoměr je instalován v krabici na základní desku, která je pevně mechanicky spojena s upraveným nastavitelným držákem původního parabolického zrcadla antény. Původní

držák paraboly je doplněn o 2 stavěcí šrouby, které slouží k jemnému zaměření dálkoměru při instalaci.



Obr. 4 Instalace LDM v komoře K2

Průzor pro laserové paprsky je zhotoven vybroušením z tabulového skla tloušťky 1 mm. Do skříně je vlepen zalévací hmotou Wepuran. Nad průzor je instalován tubus, který jej chrání před kapáním vody ze stropu. Konvergence proto měřit nelze ve vlhkém prostředí přesně svisle. S použitím jiných montážních prvků pro satelitní antény lze LDM zaměřit do libovolného směru. Zápis výrobního čísla a adresy DMS_BUS do interface se provádí programem Disto_Setup.

Při instalaci se používá pomocný program Disto_Test, který je umožňuje tyto operace:

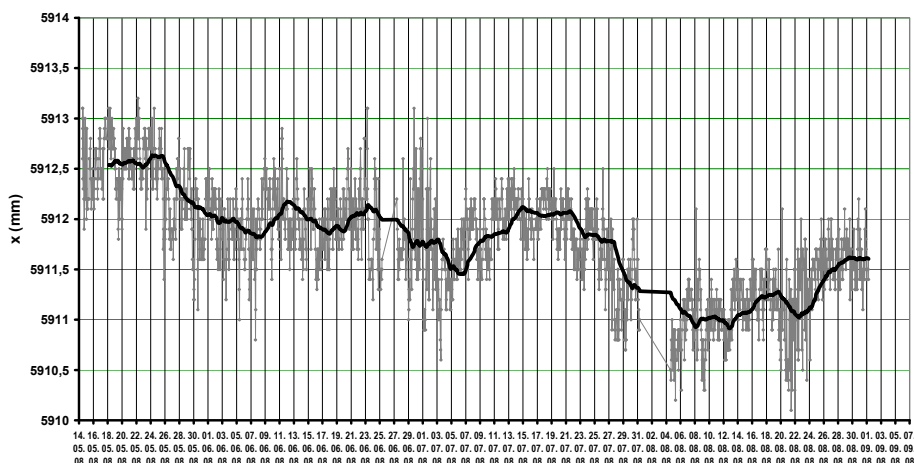
- ☐ Identifikaci interface, tj. přečtení výr. čísla a DMS_BUS z interface
- ☐ Zapnutí a vypnutí Disto
- ☐ Zapnutí a vypnutí laseru (pro zaměřování)
- ☐ Kontrolní měření vzdálenosti s výpisem hodnoty na displeji.

V konfiguraci DMS k 5.5.2008 je pro LDM nastavena adresa $ADR_x = 5$. LDM pracuje v režimu online, t.j. s rozlišovací schopností naměřené vzdálenosti 0.1 mm. Vzorkovací interval je 1 hodina.

Poznatky získané v experimentálním provozu

LDM byl experimentálně nainstalován v komoře K2 a uveden do provozu dne 5.5.2008. Na počvě bylo vybráno místo pro instalaci stativu s co nejméně porušenou horninou – viz Obr. 4. Pro upevnění horizontálních „noh“ stativu byly do horniny vysekány vodorovné drážky. Poté byly osazeny a zabetonovány do vyvrtaných děr upevňovací svorníky. Byl použit rychle tuhnoucí cement. Po 24 hodinách tuhnutí betonu kolem svorníků byl stativ přišroubován a horizontální „nohy“ přibetonovány klasickým betonem. Na stropě byla vybrána co nejrovnější ploška přibližně kolmá k směru dopadu měřicího paprsku. Laserový paprsek je odchýlen od svislice o cca 10°. Jeho přesné zaměření bude provedeno dodatečně. Vzhledem k výšce a nepřístupnosti stropu a nerovnosti počvy v komoře K2 jsme nebyli schopni do měřeného místa nainstalovat odražeč.

Na Obr. 5. jsou graficky znázorněny naměřené hodnoty výšky stropu z období 14.5.2008 – 1.9.2008. Šedě jsou vyznačeny okamžité hodnoty (Každý den ze 24 měření.) a černou silnou čarou klouzavý průměr z 96 hodnot (Průměr za 4 dny). V období 25.6.-27.6. a 31.7.-4.8.2008 byl DMS mimo provoz.



Obr. 5 Graf naměřených hodnot výšky stropu v komoře K2.

Rozptyl okamžitých hodnot v intervalu cca 1,5 mm je očekávaný, neboť LDM používá v režimu online krátký měřicí interval, a proto se uplatňuje jitter frekvenčního syntezátoru. Leží v intervalu zaručované přesnosti dálkoměru DistoTM A4. Rozptyl naměřených hodnot zvětšuje také drsnost a nerovnost povrchu v místě dopadu laserového paprsku. Fakt, že měřený povrch není v místě odrazu kolmý k laserovému paprsku zvyšuje vliv nestability jeho zaměření a vliv chvění stativu. Z Obr. 5 je patrné, že v datech se vyskytují úseky s vyšším (např. 29.6.-3.7.2008) a nižším (např. 6.7.-21.7.2008) rozptylem okamžitých hodnot. Klouzavý průměr vykazuje klesající tendenci (o 1,5 mm) se superponovaným šumem. Z krátké datové řady, kterou máme nyní k dispozici, nejsme dosud schopni stanovit zda jde pouze o chybový drift měřené hodnoty nebo lze pozorované fluktuace vysvětlit (např. slapovými účinky) nebo korelovat se změnou dalších parametrů, naměřených v rámci DMS (např. teplotou, změnou tenzoru napjatosti horninového masivu, hladinou důlních vod a pod.).

Očekáváme, že fluktuace hodnot a chyba měření se budoucně sníží nainstalováním speciálního odražeče v místě odrazu laserového paprsku od stropu.

Závěr

Instalace laserového měřiče výšky stropu v komoře K2 v Dole Jeroným a první výsledky zkušebního provozu v rámci distribuovaného měřicího systému prokázaly funkčnost navrženého technického řešení. Vznikla tak možnost kontinuálně monitorovat v dalších nepřístupných a nebezpečných místech důlního díla změny geometrických rozměrů (Např. v komoře K7).

Další výzkum bude zaměřen na analýzu získaných dat a na způsoby snížení chyb měření.

Poděkování

Tento výzkum je finančně podporován projektem No. 105/06/0068 Grantové agentury České republiky.

Literatura

- [1] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Kořínek, R., Kukutsch, R., Lednická, M. and Žůrek, P. (2008): Contribution to Experimental Geomechanical and Seismological Measurements in the Jeroným Mine. Acta Geodynamica et Geomaterialia, Vol. 5, No. 2(150), 213-223.
- [2] Žůrek, P., Kořínek, R., Michalčík, P., Štěpánková, H., Daněk, T., Kukutsch, R., Kaláb, Z., Knejzlík, J. a Lednická, M. (2005): Komplexní sledování geotechnických problémů lokality Čistá -- Důl Jeroným, období 2004-2005. Uhlí, Rudy, Geologický průzkum, ISSN 1210-7697, 9/2005, 31-34
- [3] Knejzlík, J. and Rambouský, Z. (2008): Recent Solution of the Distributed Control and Measurement System in the Jeroným Mine – Modular System. Acta Geodynamica et Geomaterialia, Vol. 5, No. 2(150), 205-212.
- [4] AiBus2 - specifikace komunikačního protokolu. www.tedia.cz/download/files/aibus2.pdf.
- [5] Leica DISTO™ pro /pro4a interface manual. www.leica-geosystems.com.

