

KONTINUÁLNÍ GEOMECHANICKÝ MONITORING V DOLE JERONÝM

CONTINUAL GEOMECHANICAL MONITORING IN THE JERONÝM MINE

Markéta Lednická¹, Zdeněk Kaláb¹, Jaromír Knejzlík¹

Abstrakt

Pro sledování vybraných geomechanických a hydrogeologických parametrů v kontinuálním režimu je pro Důl Jeroným od roku 2006 vyvíjen distribuovaný měřicí systém. Článek poskytuje informaci o rozšíření tohoto systému v letech 2009–2010. Jednalo se především o rozšíření čidel pro měření pohybu horninových bloků podél puklin, změny úrovně hladin důlních vod a stanovení pH a elektrického odporu důlních vod. Dále jsou prezentovány vybrané výsledky z distribuovaného měřicího systému, a to z časových řad všech výše jmenovaných typů dat. Největší pozornost je věnována vodám v důlním díle. Z dosavadních dat můžeme oprávněně konstatovat, že důlní dílo jako celek je stabilní systém. Výsledky však naznačují, že hodnoty některých měřených parametrů nejsou zcela stabilní a je třeba věnovat jim zvýšenou pozornost.

Abstract

Distributed measurement network is developed for medieval Jeroným Mine from 2006 for monitoring of selected geomechanical and hydrogeological parameters in continuous regime. This paper describes information about supplementation of the network in 2009-2010. It was completed by sensors that can measure movements of rock blocks along cracks, fluctuations of mining water levels and determination of pH and electrical resistivity of mining water. Selected results of recorded data by the distributed measurement network are presented. The most attention is dedicated to water in underground spaces. It is possible to say according current data that historical underground spaces are stable as one system. However, it is possible to derive from the results that values of some measured parameters are not quite stable and it is necessary to give major attention to these ones.

Klíčová slova

Důl Jeroným, geomechanický monitoring, kolísání úrovně (fluktuace) důlní vody, fyzikální parametry důlní vody, pohyb podél puklin

1 Úvod

Historické důlní dílo Jeroným je představeno v úvodním článku tohoto časopisu. Idea vyvinout pro sledování vybraných geomechanických parametrů v důlním díle Jeroným distribuovaný měřicí systém (DMS) pochází z roku 2006. Jak je uvedeno v předchozích publikacích (např. Žurek et al., 2008, Kaláb, 2009), důvodem bylo nejen získat dosud odečítaná kvartální data v kontinuálním režimu, ale vyvinout unikátní systém s řadou různých čidel pro zpřesnění úvah o stabilitě důlního díla a též využít

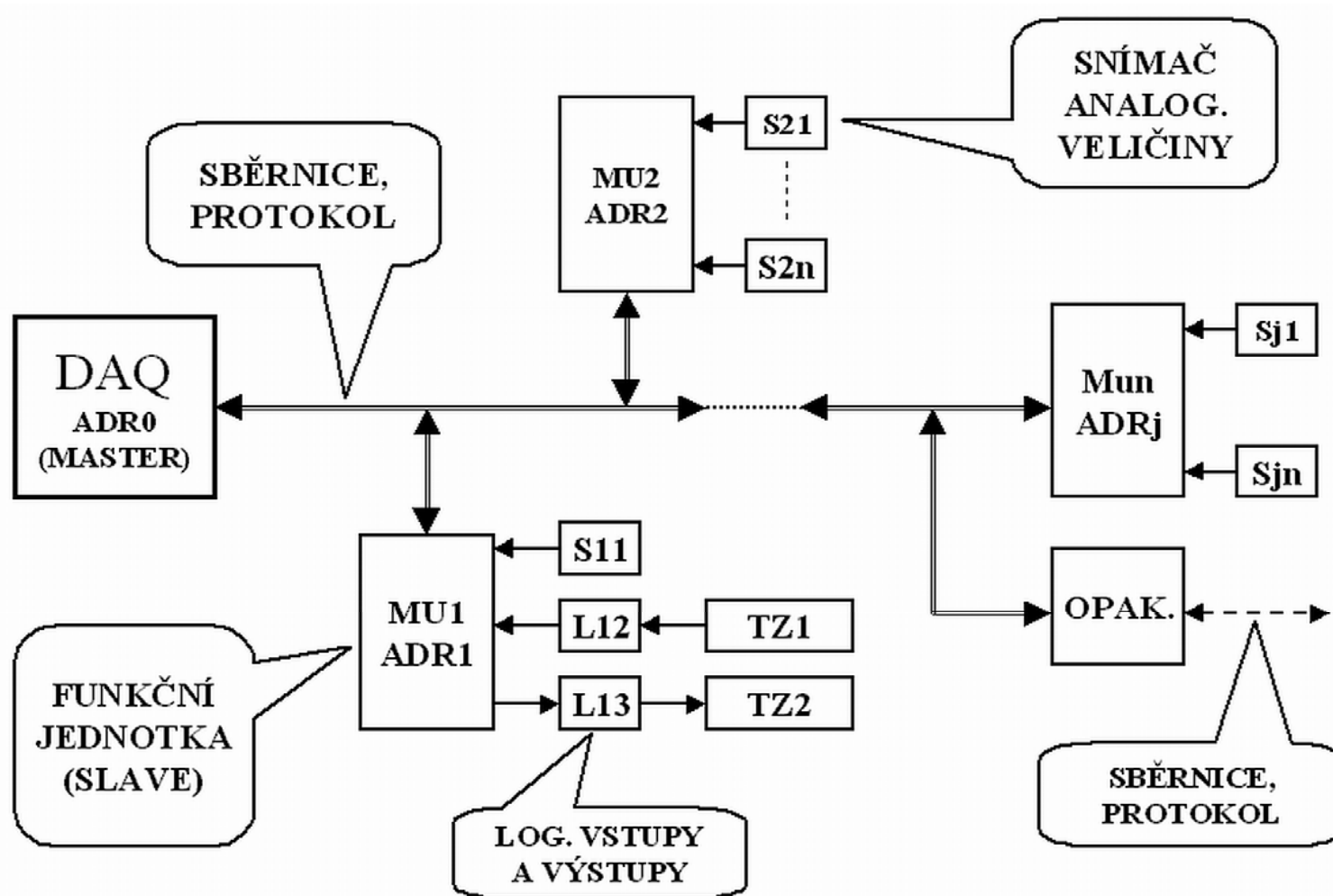
historických prostor pro vědecké účely. Detailní popis koncepce, postup vývoje a realizace distribuovaného měřicího systému, taktéž požadavky na DMS pro danou historickou lokalitu byly publikovány ve výzkumných zprávách a též publikacích (např. Knejzlík, 2006, Knejzlík a Rambouský, 2008). Přesnosti jednotlivých měřených parametrů DMS vychází z typu použitých čidel. S výjimkou měření teplot jsou měření relativní, což je ale dostačující pro detekci změny sledovaného parametru. Doba měření dat pomocí DMS je zatím poměrně krátká, a proto nelze z mnohých měřených časových řad dělat zásadní závěry. Významnější změny v měřených hodnotách je možno pozorovat pouze u kolísání hladiny důlních vod.

Obecné blokové schéma DMS je na obr. 1 (Knejzlík, 2006). Řídící jednotkou DMS je jednotka DAQ s adresou 0, jejíž funkce je implementována do jednodeskového PC v seizmické registrační stanici PCM3-MU. DAQ má postavení master, tj. vysílá ostatním adresovaným podřízeným (slave) jednotkám (MU1 ... MU_n) po sběrnici povely k vykonání určité činnosti. Na povel reaguje jen jednotka s příslušnou adresou a jeho provedení potvrdí. Sběrnici tvoří jakýkoliv duplexní komunikační kanál, např. drátová sběrnice (RS422, RS485, CAN), optický kabel, počítačová síť (LAN, Internet), modemové spojení apod. Sběrnici lze prodlužovat pomocí opakovačů (OPAK). Mezi jednotlivými typy komunikačních kanálů lze přecházet pomocí převodníků (např. RS232/RS485, USB/RS485, RS232/Internet).

Jako základ pro realizaci DMS byl zvolen stavebnicový systém funkčních jednotek MicroUnit firmy Tedia a.s. K měření analogových unifikovaných signálů jsou použity měřicí jednotky MU1211 a MU1213, které komunikují po metalické sběrnici standardu RS-485 zabezpečeným protokolem AiBus2. Rychlost přenosu dat po sběrnici byla zvolena 9600 bps (bitů za sekundu). Při této nízké rychlosti lze s kvalitním kabelem dosáhnout spolehlivé komunikace do vzdálenosti cca 500 m, což pro rozlohu sledovaného dolu plně vyhovuje. Řídící program pro záznam seizmických dat v aparatuře PCM3-MU (Knejzlík a Kaláb, 2002) byl doplněn o modul pro řízení DMS a záznam dat. Tento program umožňuje použití až na 254 adres. Pro experimentální provoz byl nastaven vzorkovací interval odečítání hodnot 1 hodina. Datum, čas a naměřené hodnoty jsou zapisovány do textových souborů, které se telemetricky (GSM síť) přenáší ke zpracování do ÚGN spolu se seizmickými záznamy. Postupné budování DMS, jednotlivých měřicích stanovišť a dílčí výsledky jsou průběžně publikovány, např. Knejzlík a Rambouský, 2008, Knejzlík et al., 2011.

2 Distribuovaný měřicí systém po roce 2008

Na jaře roku 2009 se systém DMS rozšířil o kontinuální sledování změny úrovně hladiny důlní vody na stanovišti KV5. Jedná se o vertikální komín spojující komoru K1 s dnes neznámými trvale zaplavenými prostory, nejspíše pod úrovní současného štolového patra. Kontinuální sledování hladiny důlní vody v tomto místě navázalo na kvartální monitorování, které potvrdilo významné změny úrovně hladiny v průběhu let 2006 – 2009. Významné změny hladiny na tomto stanovišti se potvrdily také opakovaným vyplavováním staré výdřevy ze zatopených neznámých částí dolu v době snížení hladiny pod úroveň ústí komínu do větších navazujících prostor. Kontinuální sledování na tomto novém stanovišti KV5 je nezbytné pro porovnání dynamiky změn úrovně hladiny v návaznosti na další monitorovaná stanoviště KV2 a KV3. Porovnání změn pravděpodobně umožní najít souvislost a případně rozvinout teorii o vzájemné propojenosti nebo naopak oddělení těchto tří zaplavených částí dolu. Otázkou je také, zda-li i na tomto stanovišti bude docházet k náhlému výraznému poklesu hladiny tak, jak se děje na stanovišti KV3 na štolovém patře (Kaláb a Lednická, 2009).



Obr. 1 Obecné blokové schéma distribuovaného měřicího systému (vlevo; Knejzlík, 2006), instalace měřicí ústředny ve vodotěsné skříni s jednotkou MU611 (slave – ADR1) a DC/DC konvertorem (vpravo nahoře), instalace seizmické registrační aparatury PCM3-MU (master – ADR0) v Dole Jeroným (vpravo dole)

Na podzim roku 2009 bylo v Dole Jeroným nainstalováno čidlo posunutí na silně rozpraskaném pilíři v komoře K42, měřicí místo je označeno KD5. Komora K42 je situována relativně mělce pod povrchem (odhad je do 10 m), do komory ústí dva závaly, mezi nimiž se nachází sledovaný rozpraskaný pilíř. Je pravděpodobné, že tyto závaly dosahují až k povrchu. Místy lze v komoře nalézt dokonce části prorůstajících kořenů stromů z povrchu. Horninový materiál v této komoře je v některých částech silně zvětralý. Ze stabilitního hlediska

představuje tato komora jedno z nejkritičtějších míst Dolu Jeroným, jehož ztráta stability by se mohla negativně projevit také v navazujících prostorech největší komory K1 a též na povrchu terénu.

V květnu roku 2010 bylo nainstalováno do komory K42 navíc čidlo měření teploty důlní atmosféry KT3, především pro účely případných teplotních korekcí při měření deformací na stanovišti KD5. Z dalších čidel byl v komoře K1 nainstalován v květnu 2010 strunový dilatometr pro měření pohybu na trhlině, měřicí stanoviště je označeno KS1. Součástí tohoto strunového čidla je také měření teploty KT5. K zařazení tohoto strunového čidla do DMS bylo nutno vyvinout speciální interface.

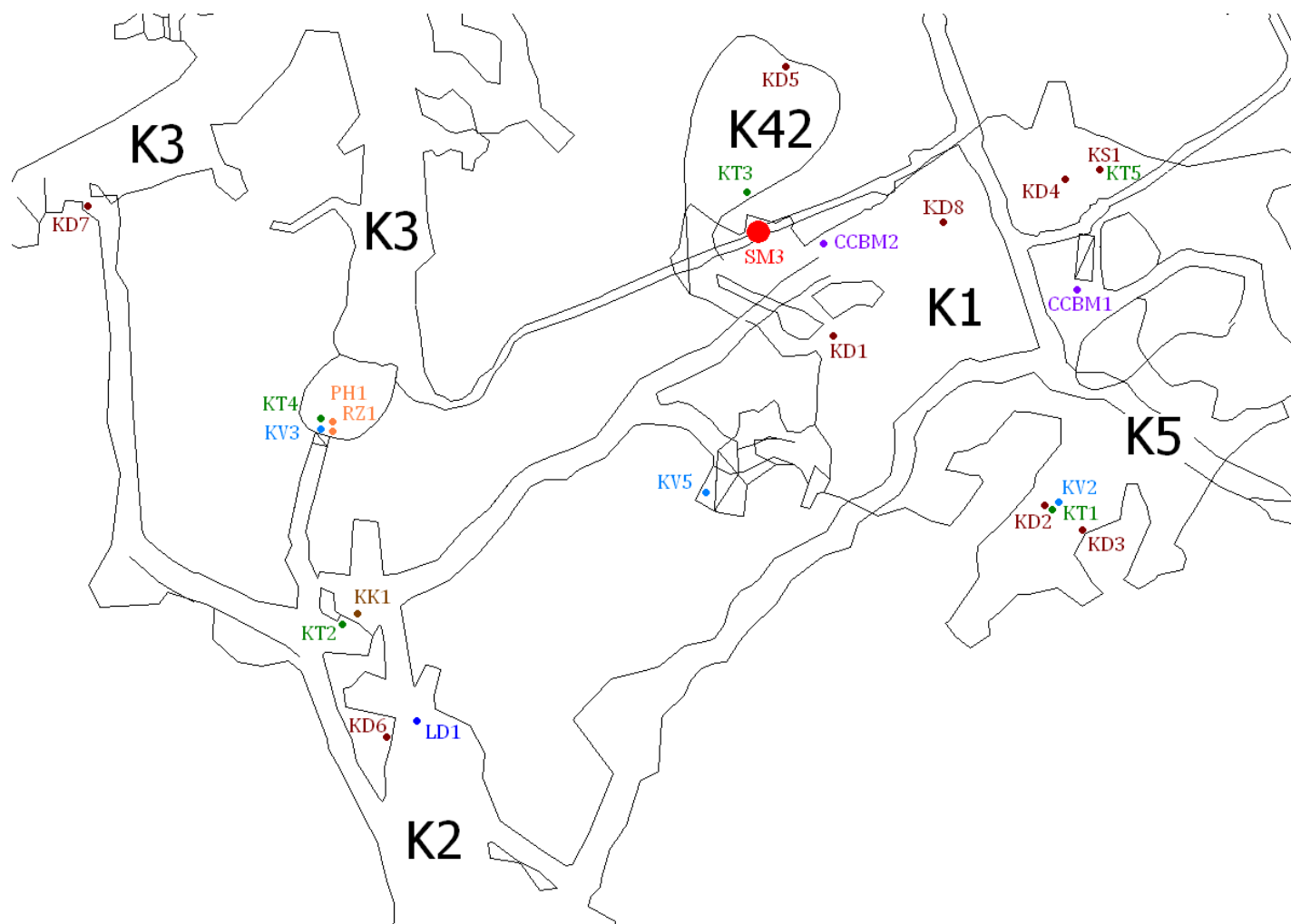
Na konci června 2010 byl systém DMS rozšířen o další induktivní čidla pro měření pohybu na trhlinách na třech stanovištích. Stanoviště KD8 rozšířilo počet monitorovaných míst v komoře K1, konkrétně jde o sledování soustavy vodorovných trhlin na stropě komory. Další dvě nová měřicí stanoviště se nacházejí na štolovém patře. Jedno je situováno v komoře K2, kde je monitorován pohyb na rozmezí mezi dvěma velkými bloky porušeného pilíře. Toto stanoviště je označeno KD6 a nachází se v blízkosti místa měření změn výšky stropu komory K2 pomocí laserového dálkoměru (LD1). Stanoviště KD7 se nachází na konci chodby spojující komoru K2 a komoru K3, v místě zatopené svislé šachtice. Jedná se o sledování pohybu na šikmé trhlině ve stěně nad touto zatopenou šachticí. Monitorování porušených míst na štolovém patře je důležité kromě jiného také z důvodu plánované ražby propojovací chodby mezi dnes oddělenými částmi Dolu Jeroným, neboť vyústění této propojovací chodby je plánováno do komory K2.

V květnu 2010 byly na stanovišti kontinuálního měření úrovně hladiny důlní vody KV3 nainstalovány zcela nové typy čidel, a to čidlo pro měření pH vody označené PH1 a čidlo pro měření elektrického odporu vody označené RZ1. Součástí těchto čidel je i měření teploty důlní vody KT4. Měření parametrů vody umožňuje zkoumat jejich změny v průběhu náhlých přítoků v době tání sněhu nebo přívalových dešťů nebo v době náhlých, zatím ne zcela vysvětlených, poklesů úrovně hladiny na štolovém patře.

V mapce na obr. 2 je naznačeno rozmístění všech současných čidel systému DMS v Dole Jeroným. Čidla DMS byla, s ohledem na dřívější majetkové rozdělení dolu na část Opuštěných (ODD) a Starých důlních děl, rozmístěna především v centrální části ODD. Největší počet měřicích stanovišť se nachází v komoře K1 a v jejích přilehlých částech K5 a K42. Další měřicí stanoviště jsou vybudována v komoře K2 a v přilehlých liniových dílech, která spojují komoru K2 s komorou K3. Na jaře 2011 se DMS skládal z těchto bodů:

- KV2, KV3, KV5 – kontinuální měření změny úrovně hladiny důlních vod (obr. 3);
- KD1, KD2, KD3, KD4, KD5, KD6, KD7, KD8 – kontinuální měření rozevírání (svírání) trhlin v horninovém masivu pomocí induktivních čidel;
- KS1 – kontinuální měření rozevírání (svírání) trhlin v horninovém masivu pomocí strunového čidla (obr. 3);
- KK1 – kontinuální měření svislé konvergence;
- LD1 – kontinuální měření změn výšky stropu komory K2 pomocí laserového dálkoměru;
- KT1, KT2, KT3, KT5 – kontinuální měření teploty důlní atmosféry;
- KT4 – kontinuální měření teploty důlní vody;
- PH1 – kontinuální měření pH důlní vody;
- RZ1 – kontinuální měření elektrického odporu důlní vody;

- CCBM1, CCBM2 – kontinuální měření změn tenzoru napjatosti horninového masivu pomocí kuželové sondy;
- SM3 – seismometry pro registraci seizmických jevů (spouštěná registrace).



Obr. 2 Schéma rozmístění jednotlivých čidel systému DMS v důlním díle

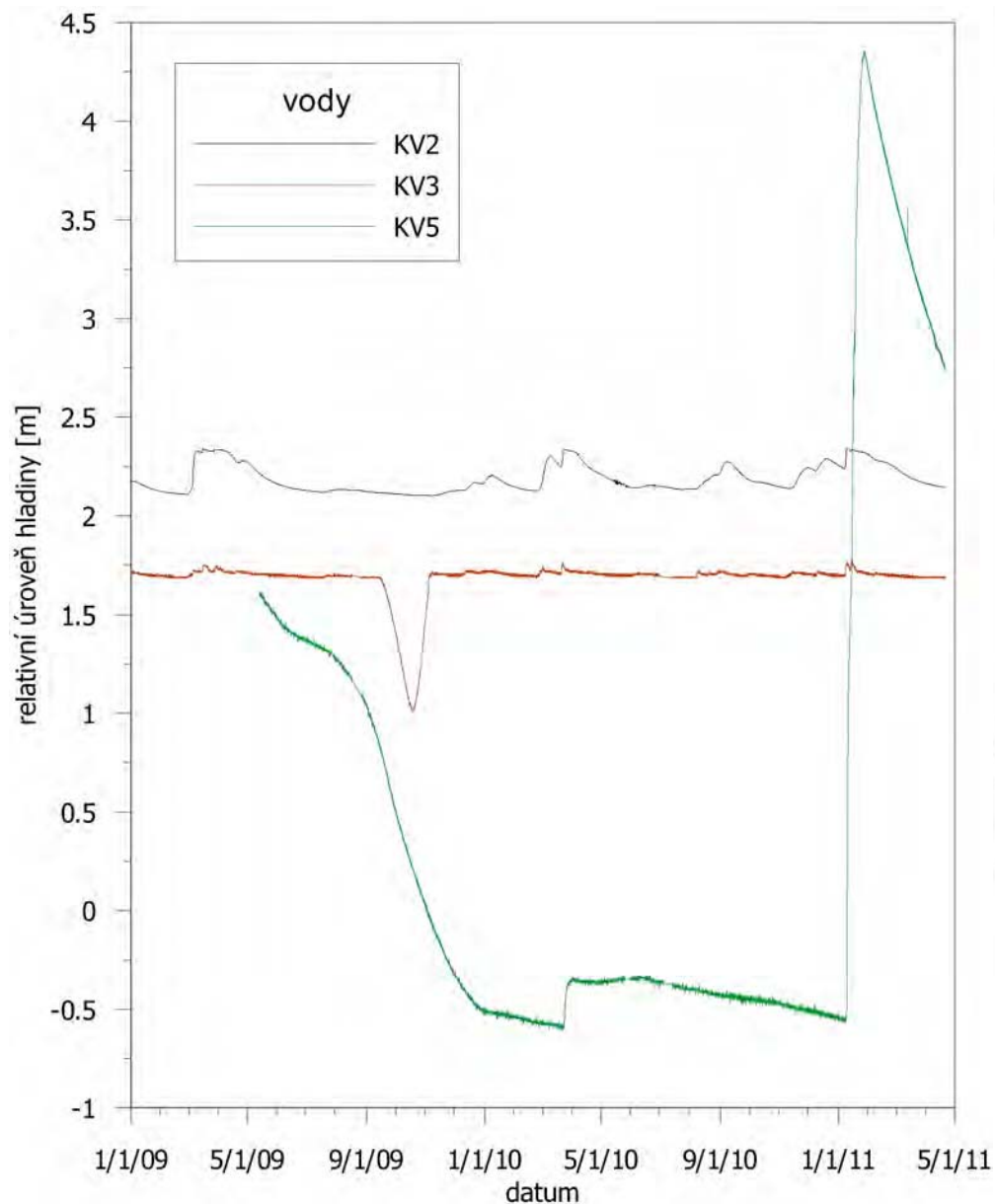


Obr. 3 Fotografie měřicích míst: měření změny úrovně hladiny důlní vody – KV5 (nahore) a měření rozvírání trhliny – KS1 (dole), foto: Lednická

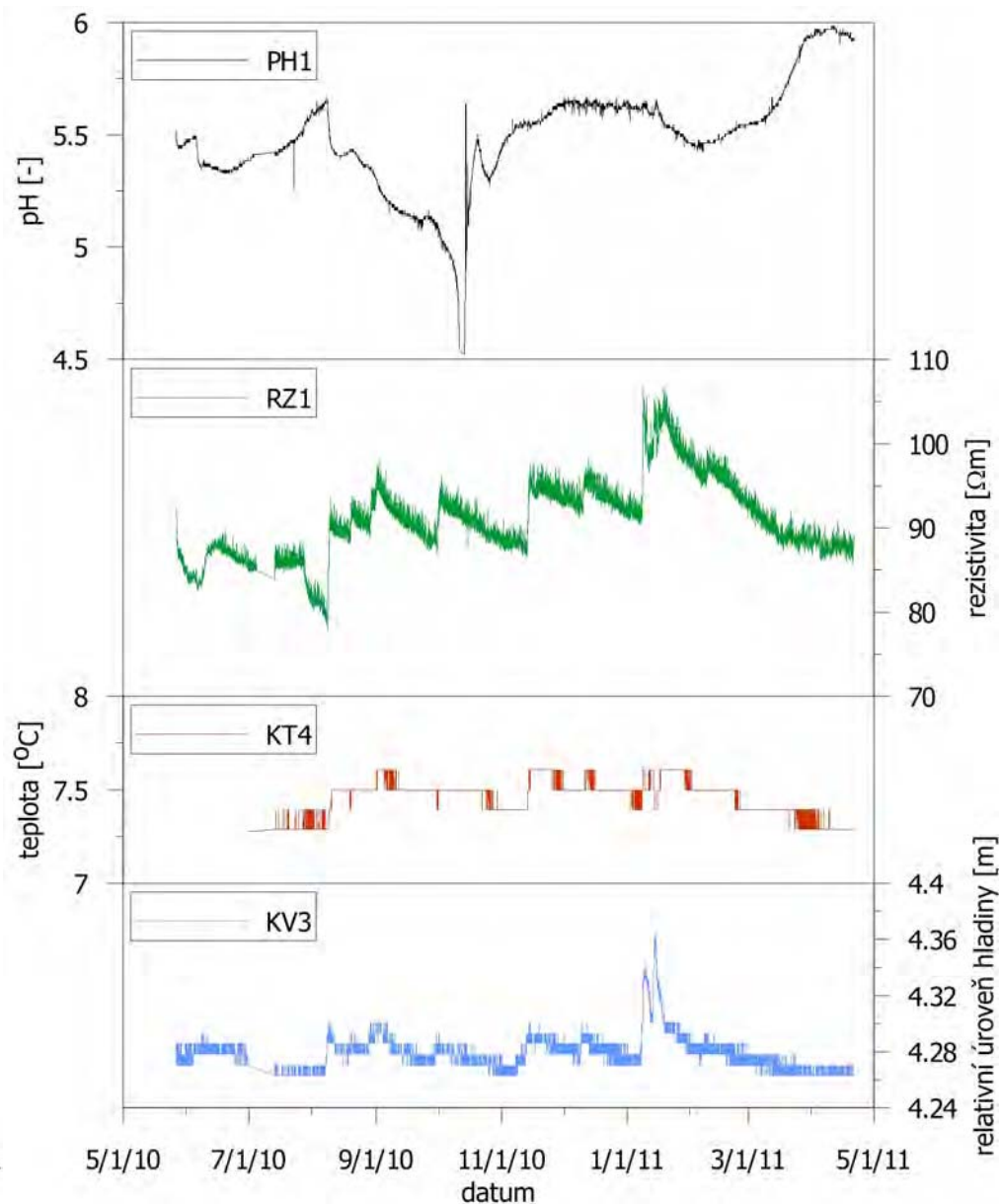
3 Vybrané výsledky měření

Vzhledem k tomu, že hlavním účelem příspěvku je popis zavedení distribuovaného měřicího systému, jsou diskutovány pouze některé výsledky, které dokumentují jeho vhodnost a funkčnost. Nejvýznamnější změny měřeného parametru lze pozorovat již od počátku budování systému DMS na stanovištích kontinuálního monitorování úrovní hladin důlních vod. Na obr. 4 je vidět vývoj změn úrovní hladin důlních vod od roku 2009 na všech třech měřených stanovištích pomocí DMS. V grafu jsou uvedeny relativní výšky hladiny. Nejmenší změny úrovně v současnosti probíhají na stanovišti KV2, v posledních dvou letech nepřesáhla změna úrovně hladiny 0,25 m. K nejvýznamnějšímu navýšení hladiny dochází pravidelně během jarního tání sněhu, další navýšení úrovně hladiny během roku odpovídá vysokým úhrnům srážek na povrchu. Úroveň hladiny na stanovišti KV2 v komoře K5 se nachází přibližně ve výšce 13 m nad úrovní štolového patra (odpovídá úrovni hladiny na stanovišti KV3). Odtokové cesty důlní vody ze zatopených částí komory K5 a s ní spojené komory K1 jsou zřejmě poměrně složité a vedou přes zatopené a pravděpodobně zavalené nižší části těchto komor. Na stanovišti KV3 je v průběhu celého roku trvalý přetok (přes komoru K2 do dědičné štoly), který v době tání sněhu a vydatných srážek reaguje navýšením hladiny až o 0,1 m. Občas však dojde na tomto stanovišti ke snížení hladiny pod úroveň štolového patra a následnému rychlému vystoupání opět na úroveň přetoku. K tomuto jevu došlo naposledy v druhé polovině září roku 2009, kdy hladina na stanovišti KV3 poklesla o téměř 0,7 m. Maximální zaznamenaný pokles pochází ještě z doby kvartálního měření z roku 2003, kdy byla zaznamenána hodnota poklesu hladiny téměř 3 metry (Kaláb, 2009). Vzhledem k tomu, že se jednalo o kvartální měření, mohl maximální pokles tehdy dosáhnout ve skutečnosti ještě vyšší hodnoty. Prozatímní sledování těchto poklesů hladin na štolovém patře zatím nepřinesla uspokojivé vysvětlení. Možné příčiny tohoto jevu byly shrnuty v článku Kalába a Lednické (2009). Při srovnání těchto zaznamenaných změn se změnami úrovní podzemních vod monitorovaných ve vrtech v blízkém i vzdálenějším okolí, lze nalézt jisté podobnosti v chování obou těchto skupin vod. Zatím však lze pouze doložit, že k zaznamenaným poklesům došlo vždy v období během srpna a září, k vystoupání došlo v období října a listopadu. U dat z kvartálního měření v roce 2003 toto nelze zcela přesně určit, k poklesu však došlo ve stejné části ročního období.

Nejvýznamnější změna úrovně hladiny byla zaznamenána na jaře 2011 na stanovišti KV5, a to vystoupání o celkem 5 metrů během poměrně krátkého období 20 – ti dnů (z hlediska změny objemu vod se však nejedná o příliš velké množství vody vzhledem k relativně malému průměru komínu ve srovnání s plošnými rozměry zatopených komor na ostatních dvou monitorovaných stanovištích). Během tohoto období došlo na povrchu k výraznému oteplení a následnému roztátí bohaté sněhové pokrývky na povrchu. Nárůst hladin se projevil na všech třech monitorovaných místech v dole. Otázkou bylo, kudy se plní stanoviště KV5 a proč tak rychle. Během návštěvy důlního díla v tomto období bylo zjištěno, že stanoviště KV5 je dotováno vodou z kumulace vod v komoře K1 a K5, kde po nárůstu této hladiny dochází po dosažení určité úrovně k přetoku důlní vody propojovacím komínem dolů do zatopených částí stanoviště KV5. Tímto zjištěním byla v podstatě stanovena současná maximální možná úroveň hladiny důlní vody v komoře K1 a K5, která odpovídá tomuto přetoku. V době, kdy na stanoviště KV5 nepřitéká žádná voda z komory K1, dochází k postupnému odtoku, který má prozatím konstantní rychlost. Další průběh křivky bude pravděpodobně odpovídat průběhu křivky v roce 2009, kdy začalo kontinuální měření také po naplnění komínu vodou během jarního tání. Během roku 2010 bylo vystoupání hladiny na stanovišti KV5 celkem nevýrazné, zřejmě z důvodu pouze krátkodobého přetoku důlních vod z komor K1 a K5.



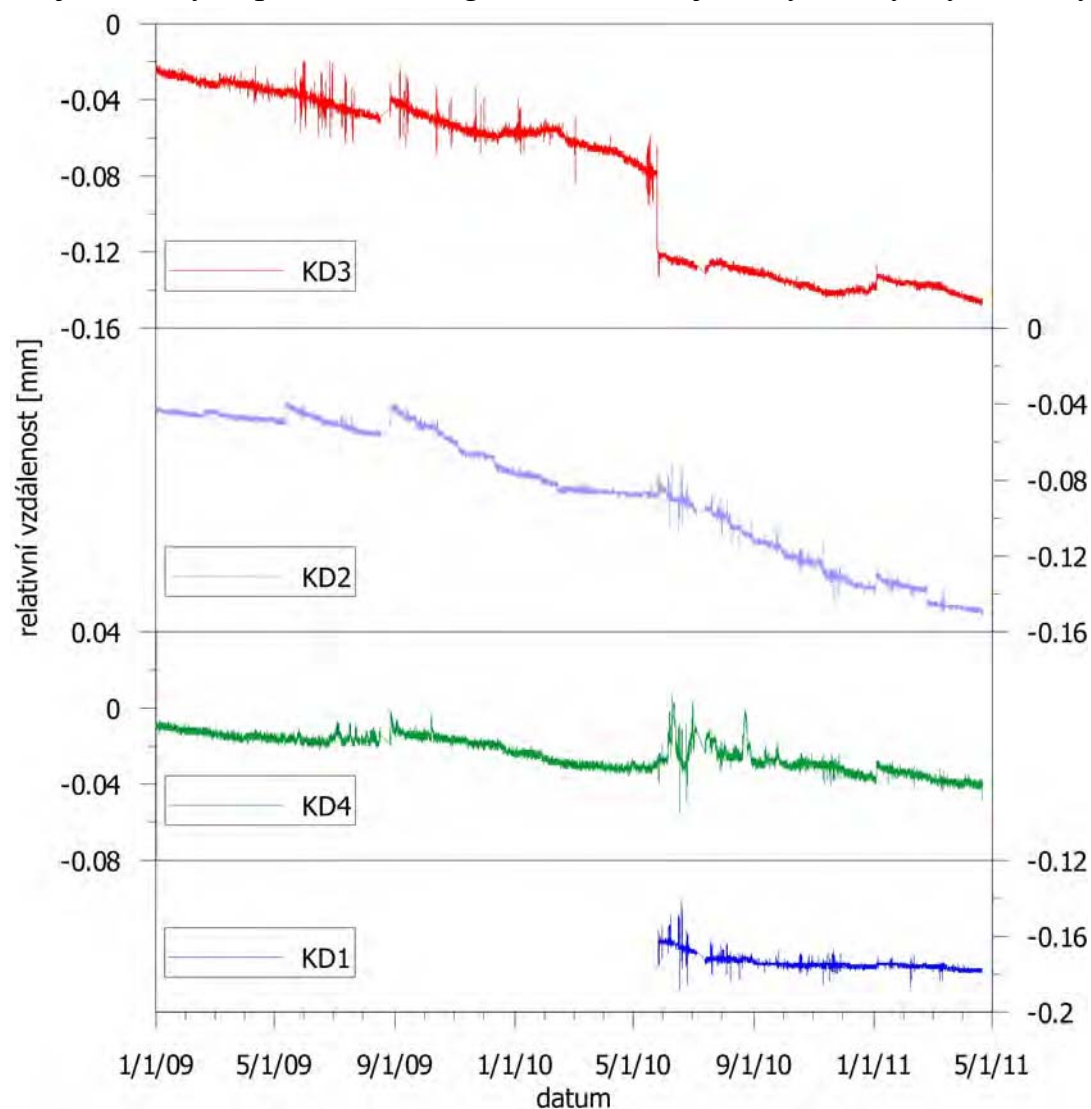
Obr. 4 Průběh změny úrovně hladiny důlních vod na stano-
vištích KV2, KV3 a KV5



Obr. 5 Graf měřených parametrů důlních vod v komoře K3

S monitorováním změn úrovní hladin důlních vod úzce souvisí také nově započaté monitorování pH a elektrického odporu těchto vod na stanovišti pod komorou K3 (PH1 a RZ1). Pro tato měření je k dispozici prozatím krátká časová řada výsledků, ale již v současné době můžeme v těchto datech najít určité návaznosti zaznamenaných změn jednotlivých parametrů. V grafu na obr. 5 jsou vyneseny čtyři křivky zobrazující vývoj hodnoty pH, elektrického odporu, teplotu důlní vody a změnu úrovně hladiny na tomto stanovišti (KV3). K rychlým změnám hodnot elektrického odporu dochází pravidelně v období vystoupání úrovně hladiny, což by mohlo odpovídat změně vlastností vod v důsledku přítoků vod povrchových. Spolu se změnou úrovně hladiny dochází také k nepatrným změnám teploty vody, tyto změny se však pohybují pouze v desetínách °C. Vývoj hodnot pH je poněkud komplikovanější, hodnotit lze až interval od listopadu 2010, neboť předtím bylo zařízení v experimentálním provozu a byly do něj činěny servisní zásahy. Hodnoty pH se pohybují pro dané období v rozmezí 5,5 – 6,0, což odpovídá slabě kyselému charakteru vod. V období před jarním táním při mírně zvýšeném přetoku byla hodnota pH ustálená v rozmezí 5,6 – 5,7. Po následném tání a nárůstu hladiny došlo k poklesu pH na hodnotu 5,45 a poté během poklesu hladiny až na minimální přetok vystoupila hodnota pH na 6,0. Velice zajímavým poznatkem bude zaznamenání charakteru hodnot pH a elektrického odporu během poklesů úrovní hladin pod úroveň štolového patra. Z dalších měření jsou zde ještě uvedena data z vybraných míst monitorování pohybů na trhlinách. V grafu na obr. 6 jsou vyneseny vývoje rozevírání (svírání) trhlin na stanovištích KD1 (pouze z nově instalovaného čidla na stejné pozici), KD2, KD3 a KD4. Protože se jedná o neupravená data, jsou v grafech místy vidět nesprávná čtení. Některé výrazné skoky v průběhu křivek jsou způsobeny zásahem do systému DMS, například červen 2010, na křivce KD4 se projevuje také vliv kolísání teploty.

Pomineme-li však tyto zmíněné detaily, z charakteru dlouhodobého vývoje měřených hodnot lze pozorovat



Obr. 6 Graf vývoje rozevírání (svírání) trhlin na stanovištích KD1, KD2, KD3 a KD4 (snižující se hodnota představuje rozevírání)

u některých měřených trhlin trend neustálého velmi pomalého rozevírání. Tento trend je dobře patrný na stanovištích KD2 a KD3. Jedná se o sledování trhlin na zbytkových pilířích v částečně zaplavené komoře K5, kde dochází k neperiodickým změnám úrovně hladiny vod a tím také ke změnám zatěžování a odlehčování těchto pilířů. V uvedeném sledovaném období od roku 2009 odpovídá změna relativního rozevření trhliny prvním desetínám milimetru. Naproti tomu na stanovištích KD3 a KD4, na kterých je sledován pohyb na vodorovných trhlínách zavěšených stropů, lze identifikovat pouze minimální změny relativní vzdálenosti v prvních setinách milimetrů, které spadají do oblasti nepřesnosti měření.

4 Závěr

V historickém Dole Jeroným je postupně od roku 2006 budován distribuovaný měřicí systém, který umožňuje kromě záznamů seizmických jevů také kontinuální monitoring vybraných geomechanických a dalších parametrů. V současné době tento systém monitoruje na vybraných stanovištích změny úrovně hladin důlních vod, pohyby na trhlínách v horninovém masivu, konvergence, změny tenzoru napjatosti masivu, teploty důlní vody i atmosféry, pH a elektrický odpor důlních vod. Většina informací z realizovaných měření je v různé míře využívána pro hodnocení stability tohoto historického důlního díla. Z dosavadních dat můžeme oprávněně konstatovat, že důlní dílo jako celek je stabilní systém. Geomechanické studie však naznačují, že některá místa jsou značně porušena a je nezbytné jim věnovat zvýšenou pozornost. To je realizováno jak při prohlídkách důlních prostor, tak i instalací čidel kontinuálního monitoringu.

Získaná data z DMS jsou také používána k detailním analýzám, a to jak dlouhodobých trendů v časových řadách, tak i změny jejich charakteru. Jako příklad uvádíme články, které se věnují analýze časové řady měření změn výšky stropu komory K2 pomocí laserového dálkoměru (např. Kaláb et al., 2010, Telesca et al., 2011). Změny v některých měřených parametrech již vyžadují geomechanickou analýzu.

V tomto článku jsou popsány výsledky vybraných měření, konkrétně změny úrovně hladin důlních vod od roku 2009, dále první získané výsledky měření pH a elektrického odporu a výsledky z měření pohybu na vybraných trhlínách. V rámci řešeného grantového projektu lze distribuovaný měřicí systém použít pro výzkum nových metod a metodik měření. Zde jde především o měření změn tenzoru napjatosti masivu pomocí kuželové sondy (článek Kaláb et al. v tomto časopise).

Poděkování

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

Literatura

- KALÁB Z. Geotechnická měření v historickém důlním díle. *Vědecké publikace fakulty stavební Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Edice Doktorské disertační, habilitační a inaugurační spisy*, 2009, VŠB-TU Ostrava, 45 s.
- KALÁB Z., LEDNICKÁ M. Možná vysvětlení snížení hladiny důlních vod na štolovém patře Dolu Jeroným. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava)*, Řada stavební, roč. IX, č.2/2009, p. 81–90.

- KALÁB Z., LEDNICKÁ M., KNEJZLÍK J., TELESKA L. First results from long-term monitoring of distance using a laser distance meter in shallow medieval mine. *Acta Geodyn. Geomater.*, 2010, Vol. 7, No. – 4 (160), p. 469–475.
- KNEJZLÍK J. Distribuovaný systém pro monitorování v Dole Jeroným v Čisté. *Sborník vědeckých prací VŠB-TUO, řada stavební*, 2006, roč. 6, č. 2, s. 181–187.
- KNEJZLÍK J., KALÁB Z. Seismic Recording Apparatus PCM3-EPC. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, 2002, M-24(340), p. 187–194.
- KNEJZLÍK J., RAMBOUSKÝ Z. Current Solution for Distributed Control and Measurement System in the Jeroným Mine – Modular System. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 2008, Vol. 5, No. 2(150), p..
- KNEJZLÍK J., KALÁB Z., LEDNICKÁ M., STAŠ, L. Investigation of the Medieval Jeroným Mine Stability: Present Results from a Distributed Measurement Network. *Geophysics in mining and environmental protection. Springer, Ser. Geoplanet: Earth and Planetary Sciences*, 2011, in print.
- TELESKA L., LOVALLO M., KALÁB Z., LEDNICKÁ M. Fluctuation analysis of the time dynamics of laser distance data measured in the medieval Jeroným Mine (Czech Republic), *Elsevier Editorial System, Physica A*, 2011, in print
- ŽŮREK P., KORÍNEK R., KALÁB Z., HRUBEŠOVÁ E., KNEJZLÍK J., DANĚK T., KUKUTSCH R., MICHALČÍK P., LEDNICKÁ M., RAMBOUSKÝ Z. Historický Důl Jeroným v Čisté. *Monografie. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava a Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., 2008, 82 s.*

Summary

Selected geomechanical parameters in medieval Jeroným Mine are observed using distributed measurement network (DMN). This continuous monitoring is continuation of quaternary observations. Development of the DMN has started in 2006 and description of new sensors realized in 2009-2010 is presented in this paper. Above all, several crack-meters were installed in different parts of the underground spaces to contribute to evaluation of mine stability. It is monitored normal conditions at present but we are waiting for significant construction works in underground spaces and on the surface. Next types of new sensors are used for measurement of mining water level fluctuations (location named KV5) and determination of pH and electrical resistivity of mining water (together with water level fluctuation on location KV3).

Selected results from the DMN are presented. The most significant changes are found in data from fluctuation of mining water level. Values of changes reached up to 5 m in small vertical gallery (KV5). Increasing of water level is closely connected with precipitations or snow melting. Sudden decreasing of mining water on lower adit level is not reliably explained but, perhaps, it is related to level of groundwater in broader surroundings. Therefore, physical parameters of mine water (pH and electrical resistivity) are monitored since last year. Duration of time series from the last described parameters is short and it is not possible to make serious analysis at this time. Significant changes especially in resistivity measurement are detected after sudden increasing of water level due strong rains.

Character of changes measured by crack-meters depends on type of monitored failure. Very small movements were documented on pillar in chamber K5 because its lower part is irregularly flooded. From the other hand, movements on pillars in the most critical points were not documented.

It is possible to say according current data that historical underground spaces are stable as one system. However, it is possible to derive from the results that values of some measured parameters are not quite stable and it is necessary to give major attention to these ones. Project sponsored by Czech Science Foundation enables that this medieval mine is also used as natural laboratory. Long term time

series of some measured parameters are used for basic research. For example, height of chamber signed K2 is measured using precise laser distance meter and measurement of rock massif stress changes is realized using cone probe with six pairs of strain-gauge sensors.

Figures:

Fig. 1 Common flow diagram of distributed measurement network (left: according Knejzlík, 2006); installation of central unit in waterproof case with Micro Unit MU611 (slave - ADR1) and DC/DC convertor (right above), seismic apparatuses PCM3-MU (master – ADR0) in underground chamber (right down)

Fig. 2 Plan of Jeroným Mine with location of individual sensors from distributed measurement network

Fig. 3 Photos (by Lednická) of measurement of mining water level fluctuation KV5 (above) and crack-meter KS1 (down)

Fig. 4 Results from monitoring of mining water level fluctuation – positions signed KV2, KV3 and KV5

Fig. 5 Graph of measured parameters of mining water in chamber signed K3

Fig. 6 Graph of movements along cracks – positions signed KD1, KD2, KD3 a KD4

¹ **Authors**

Ing. Markéta Lednická, Ph.D. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, lednicka@ugn.cas.cz

prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, kalab@ugn.cas.cz

Ing. Jaromír Knejzlík, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, knejzlik@ugn.cas.cz