

NÁRODNÍ KULTURNÍ PAMÁTKA – DŮL JERONÝM: SHRUTÍ POZNATKŮ DO ROKU 2008

NATIONAL CULTURE SIGHT – THE JERONÝM MINE: SUMMARY OF FINDINGS TILL 2008

*Zdeněk Kaláb¹, Markéta Lednická², Petr Žůrek³, Robert Kořínek⁴, Eva Hruběšová⁵, Jaromír Knejzlík⁶,
Tomáš Daněk⁷, Radovan Kukutsch⁸, Petr Michalčík⁹, Zdeněk Rambouský¹⁰*

Abstrakt

Tento příspěvek popisuje poznatky zkoumání historického Dolu Jeroným zjištěné do roku 2008. Hlavní část článku tvoří výsledky získané při řešení projektu GAČR v letech 2006-2008. Z hlediska hodnocení výstupů celého projektu lze za nejvýznamnější považovat:

- realizaci rešeršních studií zaměřených na geografickou a geologickou situaci dolu, geofyzikální charakteristiku oblasti a též na historii vzniku důlních prostor;
- geologický a geomechanický monitoring v důlním díle, včetně sledování seizmického zatížení důlního díla;
- vyvinutí a realizaci distribuovaného měřicího systému pro kontinuální sledování vybraných parametrů;
- matematické modelování napěťo-deformačního stavu vybrané komory;
- interpretaci naměřených dat s důrazem na stanovení kritických míst v důlním díle.

Abstract

This contribution describes knowledge about historical Jeroným Mine untill 2008. Results obtained during solution of project sponsored by the Czech Science Foudation (2006-2008) are the main part of this paper. The most significant results of the project were:

- Update of historical knowledge, geographical and geological setting of mine, geophysical pattern of area and genesis of underground spaces;
- Geological and geomechanical monitoring in underground spaces, including evaluation of seismic loading of mine;
- Design and construction of distributed measurement network for continuous observation of selected parameters;
- Mathematical modelling of stress-strain conditions of selected spatial working;
- Interpretation of measured data with emphasis on determination of critical parts in underground spaces.

Klíčová slova

Důl Jeroným v Čisté, literární rešerše, geomechanický monitoring

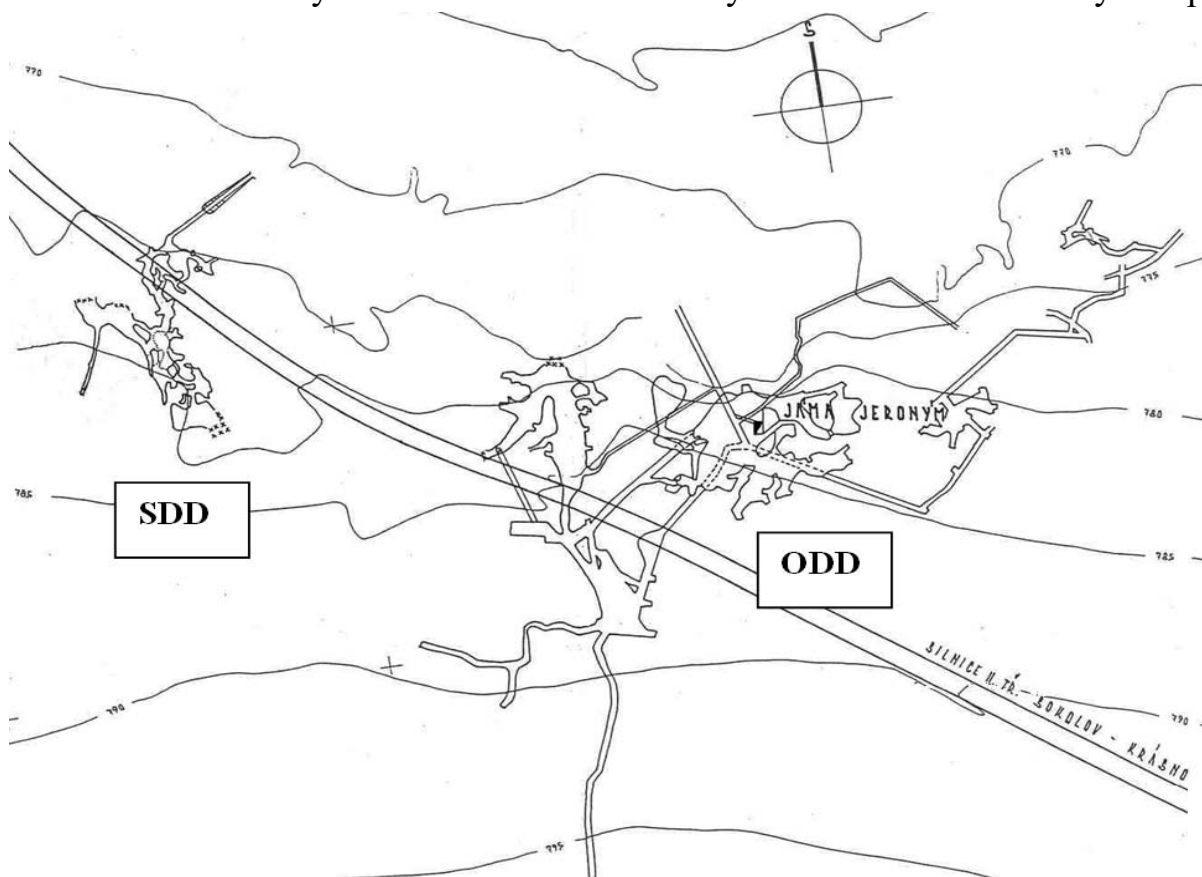
1 Úvod

Důl Jeroným je rozsáhlé důlní dílo, které vznikalo od středověku. Nachází se v oblasti Slavkovského lesa, cca 5 km západním směrem od obce Krásno v okrese Sokolov v Karlovarském kraji. Po získání statutu Národní kulturní památky v roce 2008 byla posléze správa celého dolu převedena pod Karlovarský kraj (Muzeum v Sokolově). Konečným cílem činností Karlovarského kraje (správce celého areálu) v této lokalitě je nejen zpřístupnění dolu, ale především vybudování Hornického skanzenu – Středověký Důl Jeroným (např. Žůrek a Kořínek 2003, Kukutsch et al., 2010). Zachování původních dobývek ve velké části podzemních prostor je paradoxně následek poměrně chudého cínového zrudnění v této lokalitě a též nalezení bohatších ložisek v nedalekém okolí (především Huberův a Schnödův peň). Samostatné důlní dílo Jeroným bylo představeno v řadě publikací, např. Beran et al. 1995, Kaláb et al. 2006, Žůrek et al. 2008).

Hlubinné dobývání cíno-wolframové rudy na lokalitě Dolu Jeroným započalo pravděpodobně v první polovině 16. století, kdy král

Ferdinand I. propůjčuje Čisté horní právo a privilegia královského města. Rozvoj dobývání byl sice rychlý, ale netrval dlouho. Během následujících století doly postupně upadaly a docházelo jen ke sporadickým těžbám. Během druhé světové války a po ní byly na části ložiska prováděny průzkumné práce, avšak z důvodů nereálného zahájení většího rozsahu těžby byly zastaveny.

V současnosti důlní podzemní prostory tvoří dvě oddělené části nazvané Stará důlní díla (SDD) a Opuštěná důlní díla (ODD) – obr. 1. Tato památka doplňuje významným způsobem fond evropských hornických památek. V části SDD jde o dobývání cínového ložiska v období druhé poloviny 16. století, v ODD nacházíme téměř 400letou historii průzkumných a dobývacích prací. Důlní dokumentace byla zcela zničena při požáru města Čistá v roce 1772, proto je dnes složité dohledat nejstarší důlní historii tohoto díla. Stejně tak je obtížné udělat si představu o rozsahu nejstarších dobývek, neboť jde o rozsáhlý nepravidelný komplex komor a chodeb, z nichž velká část je nepřístupná z důvodu četných závalů, případně se jedná o prostory v současné době zaplavené důlní vodou.



Obr. 1 Schéma lokalizace Starých důlních děl (SDD) a Opuštěných důlních děl (ODD) Dolu Jeroným s vyznačením silnice Sokolov-Krásno (podle Iványi, 2001)

Jak vyplývá i z názvu tohoto příspěvku, cílem je shrnout poznatky o důlním díle do roku 2008. Text článku vychází z rozboru, který byl zpracován jako výsledek řešení grantu GAČR 105/06/0068 „Výzkum faktorů ovlivňujících stabilitu středověkého Dolu Jeroným v Čisté“. Řešení probíhalo v letech 2006–2008 v části ODD (kapitoly 2 – 7). Protože v té době byla ODD a SDD ve správě různých organizací (Diamo, s. p. resp. Ministerstvo životního prostředí ČR), prováděná činnost na nich byla různá, a proto jsou mnohé poznatky popsány odděleně, ačkoliv část se prolíná. Nyní je správcem celého dolu Karlovarský kraj. Obrázková dokumentace jednotlivých kapitol není v tomto článku uvedena, protože by se opakovala v následujících článcích v tomto monotematickém čísle časopisu.

2 Rešeršní studie zaměřené na geografickou a geologickou situaci dolu, geofyzikální charakteristiku oblasti a též na historii vzniku důlních prostor

Řada rešeršních studií s různým zaměřením, a to montánně-historickým i geovědním, byla realizována v souvislosti s přípravou vyhlášení Dolu Jeroným za Národní kulturní památku. V současnosti neexistuje souhrnné dílo o lokalitě Čistá. Jedním z důvodů je jistě i zmíněný požár z roku 1772, při němž došlo ke zničení většiny nejstarší písemné dokumentace. Dále jde o nedávnou pohnutou historii města Čistá, které se stalo po druhé světové válce součástí vojenského újezdu. Soustředěním informací o těžebních metodách v minulosti a hlavně známých historických dokladů (historických map a náčrtků) bylo možno alespoň částečně zrekonstruovat historii královského horního města Čistá a Dolu Jeroným. Pro historické doly, pro něž není zachována úplná dokumentace, je velmi složité získat např. i informace o rozsahu důlního díla – zvláště o existujících zavalených, částečně zavalených či volných prostorech, které nejsou v přítomnosti známy a dostupné.

Rešeršní práce poskytly informaci o prostorovém rozložení známých vydobytých prostor. Vezmeme-li v úvahu rozložení pinek a dalších povrchových projevů, můžeme odhadnout pravděpodobné umístění dalších neznámých prostor. S tím úzce souvisí i využití informací o detailní geologické stavbě, protože ruda se nachází jen v alterované části granitoidního tělesa.

Slavkovský les náleží geologicky k sasko-durynské oblasti variského orogenního pásma. Zájmové území západně od Čisté, ve kterém je lokalizováno ložisko Dolu Jeroným, je tvořeno metamorfovanými horninami jádra Slavkovského krystalinika a variskými granitoidy krušnohorského plutonu. Metamorfovaný komplex je tvořen převážně biotitickými pararulami, které bývají různě intenzivně migmatitizovány a při intruzi granitů i granitizovány. Z hlediska výskytu zrudnění jsou však mnohem důležitější variské granitoidní horniny masivu Krudum, který náleží k mladšímu intruzivnímu komplexu. Ložisko Jeroným vzniklo působením mineralizačních roztoků v již utuhlé hornině masivu Krudum, jako postmagmatické ložisko metasomatického typu s podřízenou rolí žilných formací. Na ložisku je Sn – W zrudnění vázáno na dva typy formací: křemenné žíly s kasiteritem a wolframitem a impregnace kasiteritu a wolframitu v alterovaných granitech.

Pro okolí Dolu Jeroným byla provedena analýza regionálních fyzikálních polí a nad důlními prostory bylo provedeno povrchové geofyzikální měření vybranými průzkumnými metodami. Regionální fyzikální pole plně odráží geologickou stavbu celé oblasti, tj. kontakt dvou megabloků (krušnohorského a tepelsko-barrandienského) a jeho tektoniku. Nejzajímavější informace poskytly mapy tíhového, geomagnetického a radiometrického pole. Avšak v bezprostředním okolí zájmové lokality, tj. oblast 5x5 km, jsou fyzikální pole víceméně

monotónní. Povrchové průzkumné geofyzikální měření, zvláště geoelektrická metoda, poskytlo hrubou informaci o přípovrchové stavbě masivu. Anomálie, které nebyly ověřovány, mohou reprezentovat změny ve stavbě masivu, zavalené nebo volné neznámé prostory. Dobré poznání geologické a tektonické stavby masivu a postupu vydobyví prostor je také nezbytným podkladem pro realizaci efektivního monitorování geomechanických a geotechnických parametrů. [1, 2, 10, 16, 19, 20, 28]

3 Geologický a geomechanický monitoring v důlním díle, včetně sledování seizmického zatížení důlního díla

Geologický a geomechanický monitoring v části ODD, včetně sledování seizmického zatížení důlního díla, byl započat v rámci spolupráce s Diamem s. p. v období před zahájením projektu GAČR. Jednalo se o kvartální odečty konvergenčí v dlouhých dílech i v komorách, sledování relativních změn úrovně hladiny důlních vod a o kontrolu pohybu bloků hornin podél puklin. Tento monitoring ukázal, že důlní dílo je jako celek stabilní, avšak že v něm existují místa kritická. Tato místa je nutné v budoucnu dále sledovat, protože jejich další poškození či destrukce může vyvolat stabilitní problémy větších celků.

Nejmenší změny vykazovaly výsledky měření konvergenčí dlouhých důlních děl a komor (celkem 21 bodů). Přímoú vazbu na posouzení stability mají sledování pohybů bloků hornin podél puklin pomocí skleněných nebo sádrových terčíků (celkem 11 bodů). Za dobu sledování (od roku 2002) je dokladován dynamický vývoj disjunktní tektoniky především v horní komoře (K1) na zbytkových pilířích. Významným faktorem negativně ovlivňujícím stabilitu důlních prostor je kolísání hladiny důlních vod (celkem 4 měřená místa). Tento měřený parametr byl analyzován ve vztahu ke klimatickým podmínkám na povrchu. Byla dokladována časová období, v nichž tání sněhu a deště vyvolávaly zvýšení hladin. Jsou však i časové úseky, v nichž tato závislost není vůbec zřejmá. Jedním z dosud nevysvětlených jevů je opakovaný významný pokles hladiny důlních vod na štolovém patře v roce 2003 a 2008 (až 3 m pod úroveň dědičné štolý v K2, která je jediným známým odvodněním všech důlních prostor).

Úvodní úvahy o seizmickém zatížení Dolu Jeroným ukázaly, že je třeba vzít do úvahy jak přirozenou, tak i technickou seizmicitu. Seizmologický monitoring byl spuštěn po zahájení rekonstrukce dědičné štolý s používáním trhacích prací jako jedné z metod ražby. Tři seizmometry SM-3 v geografickém uspořádání byly nainstalovány na betonovém pilíři v důlním díle. Ten byl vybudován v menší prostoru navazující na komoru K1. Registrační aparatura typu PCM3-EPC, která byla vyvinuta na ÚGN, slouží nejen jako řídicí jednotka pro seizmologický monitoring a záznam dat, ale též umožňuje dálkové řízení procesů v aparatuře a telemetrický přenos dat do interpretačního centra v Ostravě.

Nepřetržitý monitoring seizmického zatížení důlního díla Jeroným a dobrá komunikace s realizátory rekonstrukce štolý způsobily, že dílo nebylo po dobu výstavby vystaveno většímu seizmickému zatížení ve srovnání s dosavadním zatížením. Celkem bylo zaznamenáno a interpretováno téměř 500 záznamů projevů trhacích prací z rekonstrukce dědičné štolý (vzdálenost senzorů a místa odstřelu se pohybovaly v rozmezí 300 – 50 m). Největší zaznamenaná složková amplituda rychlosti kmitání po odstřelu trhavin v dědičné štolě dosáhla na měřeném bodě hodnoty $0,16 \text{ mm.s}^{-1}$ (10. 1. 2006).

Důlní dílo Jeroným se nachází 30 km jihovýchodně od kraslické zemětřesné oblasti. Po vzniku zemětřesného roje v roce 2008 významně vzrostl počet zaznamenaných seizmických jevů i seizmické zatížení důlního díla. Celkem bylo v období 6. 10. až 10. 11. 2008 zaznamenáno 446 zemětřesení z kraslické oblasti. Provedeme-li srovnání stávající maximální složkové hodnoty rychlosti kmitání při nejintenzivnějším zemětřesení (jev ze 14. 10. v 21:00), tj. hodnota $0,396 \text{ mm.s}^{-1}$, se zatížením během rekonstrukce dědičné štoly, byla na měřeném bodě překročena tato hodnota cca 4krát. Při kvartálních měření na podzim 2008 (16. 10.) nebylo při zběžné vizuální prohlídce důlních prostor zjištěno poškození následkem vibrací vyvolaných kraslickými zemětřeseními (tj. větší opady, rozevření sledovaných puklin, praskání pilířů, ...). [1, 3, 4, 7, 12, 16, 18, 23, 29, 30, 32, 34]

4 Vyvinutí a realizace distribuovaného měřicího systému

Kvartální odečety geomechanických parametrů jsou postačující při posuzování ustáleného stavu. Tento interval je však příliš dlouhý v případě, že některá měřená hodnota vykazuje změny, neboť z takových dat nelze posuzovat dynamiku detekované změny. Proto byl od roku 2006 v rámci grantu GAČR v ODD realizován záměr vybudování automatického distribuovaného měřicího systému (DMS).

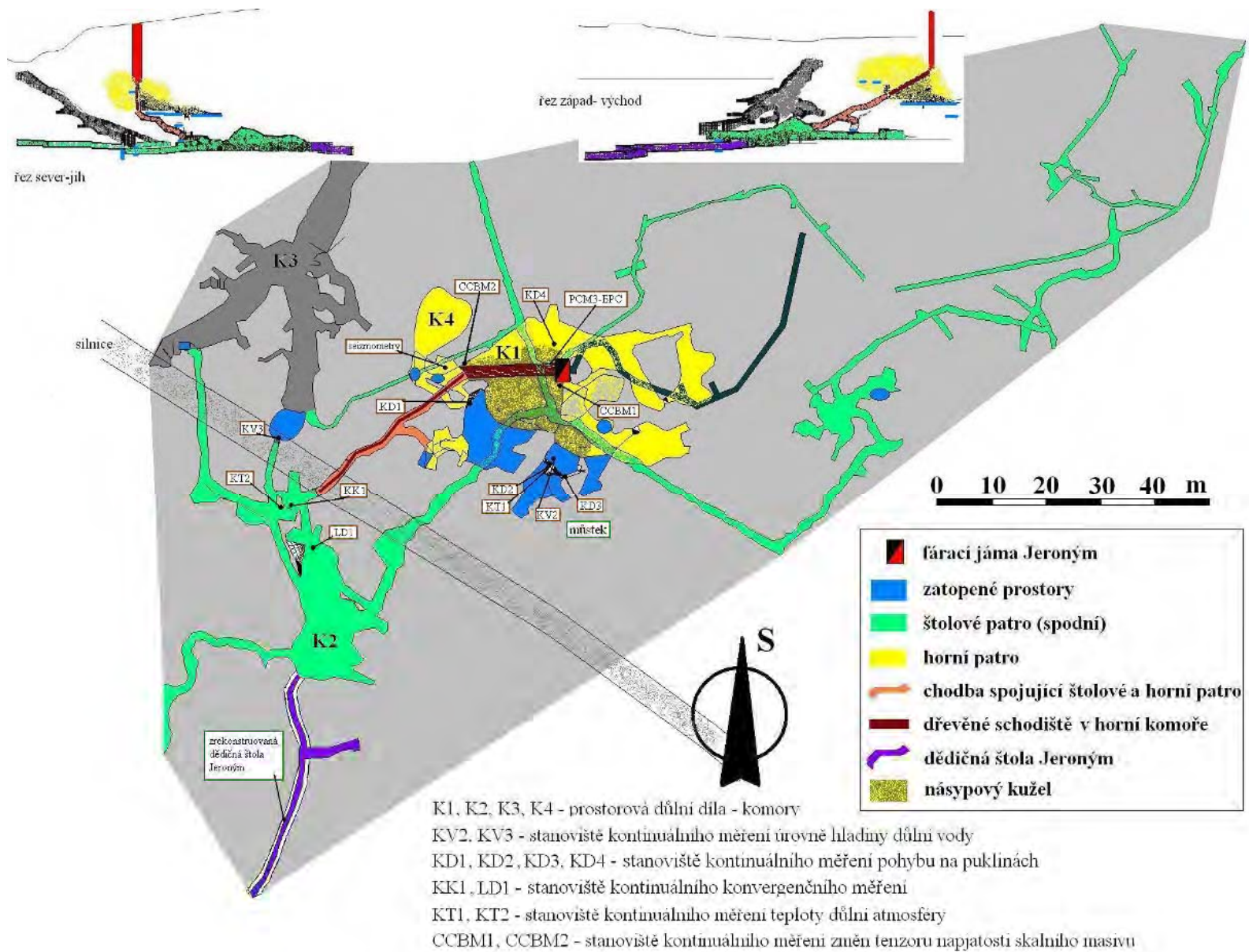
Jako základ pro realizaci DMS byl zvolen stavebnicový systém funkčních jednotek MicroUnit firmy Tedia a.s. (www.tedia.cz). K měření analogových unifikovaných signálů jsou použity měřicí jednotky MU611a MU1211, které komunikují po metalické sběrnici standardu RS-485 zabezpečeným protokolem AIBus2. Rychlost 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. Sběrnici RS-485 lze v případě nutnosti posílit a prodloužit opakovači.

Řídící program pro záznam seizmických dat v aparatuře PCM3-EPC byl doplněn o modul pro řízení DMS a záznam dat. V současné době program umožňuje použití maximálně 10 adres s možností rozšíření až na 254 adres. V době, kdy není spuštěn záznam seizmických dat, dekóduje jednodeskové PC v aparatuře jen časovou informaci (DCF 77,5 kHz). V tomto režimu je k dispozici volný strojový čas. Ten je využit pro funkci řídicí jednotky v DMS.

Monitorovací body zřízené do pololetí roku 2007 se nachází v komoře K1 a její blízkosti (KV2, KD1 a KD2) a v blízkosti komory K2 (KV3, KK1). V komoře K1 a její blízkosti byla v listopadu 2007 instalována další čidla (KD3, KD4, KT1, CCBM1 a CCBM2), poblíž komory K2 bylo nainstalováno čidlo KT2. V komoře K2 byl v květnu 2008 instalován laserový měřič vzdálenosti (LD1) k měření deformace stropu. Pro experimentální provoz byl nastaven vzorkovací interval 1 hodina. Datum, čas a naměřené hodnoty jsou zapisovány do textových souborů, které se telemetricky (GSM sítí) přenáší ke zpracování do ÚGN spolu se seizmickými záznamy. Na obr. 2 je schéma rozmístění jednotlivých čidel DMS v roce 2008.

DMS nebyl budován s požadavkem co nejvyšší přesnosti měření ale podle požadavku sledovat změny v masivu při úpravách důlních prostor, jako byla rekonstrukce dědičné štoly nebo plánovaná realizace propojovací štoly mezi dnes oddělenými částmi ODD a SDD. Jedná se o velmi významné zásahy, které by mohly vyvolat významné změny měřených parametrů a nestabilitu některých částí důlního díla.

[1, 5, 7, 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 25, 26, 31, 33]



Obr. 2 Schéma rozmístění jednotlivých čidel DMS v roce 2008

5 Matematické modelování napět'o-deformačního stavu komory K2

Úkoly matematického modelování dolu Jeroným lze rozdělit do tří dílčích cílů:

- ověřit současné stabilitní poměry díla;
- určit optimální lokalizaci pro rozmístění monitorovacích stanovišť;
- prognózovat stabilitní vývoj díla v souvislosti s budoucími uvažovanými stavebními úpravami (změny tvaru důlních prostor, ražba spojovací chodby, změna vodních poměrů) a s postupnou degradací horninového prostředí.

Za účelem efektivního modelování bylo nutno rozdělit celý složitý komplex chodeb a kaveren na liniová a prostorová díla a přijmout určitá tvarová zjednodušení. Realizovaný model vycházel z měřické dokumentace detailního zaměření komory K2 v ODD. Dle pořízené dokumentace má komora realizovaném řezu délku cca 30 m, šířka i výška jsou značně proměnlivé – výška od cca 2 m do 10 m, maximální šířka cca 15 m, výška masivu v nadloží komory se pohybuje v rozmezí cca 44–51 m, do komory ústí v různých výškových úrovních celkem 5 chodeb.

Celkem bylo programovým systémem Plaxis 2D modelováno a následně analyzováno 6 příčných řezů. Materiálové charakteristiky horninového prostředí zadávané do modelu odpovídaly průměrným hodnotám objemové hmotnosti, pevnosti v prostém tlaku, pevnosti v příčném tahu, Youngova modulu pružnosti a Poissonově číslu, které byly získány vlastními laboratorními zkouškami na horninovém materiálu z dolu. V každém z uvažovaných řezů byly vyhodnoceny posuny, napětí, čerpání pevnosti a stupeň stability (využita metoda redukce pevnostních charakteristik „phi-c“ reduction). Hodnoty maximálních celkových posunů, lokalizovaných nad stropem komory, vykazují v závislosti na analyzovaném řezu hodnoty řádově 0,3-1,7 mm, napětí jsou koncentrována především do bočních částí průřezu, speciálně do přechodových oblastí mezi dnem komory a bočními stěnami a do oblastí ostrých výstupků. Stupeň stability, stanovovaný jako podíl skutečné smykové pevnosti a smykové pevnosti potřebné k zachování stavu neporušenosti, ukazuje ve všech analyzovaných řezech dostatečně vysoké hodnoty (v rozmezí 2,4 – 48).

Výsledky této etapy matematického modelování i přes jistá zmiňovaná zjednodušení přijatá v rámci řešení (rovinný 2D model, kontinuální metoda modelování) nasvědčují dostatečné stabilitě současného stavu komory K2, což potvrzují i výsledky dosud prováděného monitoringu konverencí. Ve vztahu ke geomechanickému monitoringu výsledky této části modelové analýzy rovněž poskytují informace o optimálním rozmístění monitorovacích stanovišť pro sledování vývoje maximálních napět'ových a přetvárných poměrů v zájmové oblasti. [1, 8, 9, 14, 18]

6 Interpretace naměřených dat s důrazem na stanovení kritických míst v důlním díle

Geomechanická a geologická měření jsou v Dole Jeroným, části ODD, realizována jako kvartální, což je minimální hustota měření, aby bylo možno spolehlivě detekovat kritické stavy v horninovém masivu. Ale ani tato četnost měření neumožňuje posoudit dynamiku ve změnách měřených parametrů. Proto jsou vybraná kritická místa sledována distribuovaným systémem, který provádí odečety sledovaných parametrů každou hodinu. Vzdálený přístup do systému (prostřednictvím modemu) umožňuje i na dálku měnit parametry

monitoringu, včetně časového intervalu. Zabezpečení detailních měření umožňuje sledovat vývoj stabilitní situace vybraných míst, a to nejen v podzemí, ale i případný dopad na povrch (dovrchní díla nejsou více než 10 m pod povrchem).

Měřené profily nevykazují doposud žádné změny konvergence, nepatrné odchylky jsou v mezích chyb měření. Stručně můžeme konstatovat, a to i s přihlédnutím k ostatním měřením (geologický monitoring, sledování kolísání hladiny důlních vod a nivelační měření), že důlní dílo jako celek můžeme považovat za stabilní. Existují však kritická místa, kterým je věnována zvýšená pozornost, a jsou v současné době podrobněji analyzována. Zde patří například porušené opěrné pilíře (např. pilíře v komoře K1 a oblast tzv. Můstku), zatřesené horninové bloky na stropěch (především komora K1), stropy s odpadávající horninou v malé hloubce pod povrchem (komory K3 a K4), atd. Tato kritická místa jsou předmětem našeho zvýšeného zájmu a jsou na nich rozmísťována čidla distribuovaného měřicího systému. Dále byla vytipována místa pro monitorování pomocí DMS s ohledem na plánované stavební úpravy v důlních prostorech, avšak tato nebyla osazena, neboť k zahájení úprav nedošlo v době řešení projektu.

Výzkum stability historického důlního díla umožnil vymezit následující nejzávažnější faktory (označení důlních prostor a čidel podle obr. 2):

- hydrogeologický režim důlních vod, včetně neznalosti všech cest pro odvodnění podzemních prostor;
- přirozená seizmicita (zdrojová oblast v okolí Kraslic a Nového Kostela) a technická seizmicita (trhací práce v povrchových lomech, doprava na komunikaci nad důlním dílem);
- stávající i probíhající deformace důlního pole (rozsáhlá zaboření stropů – např. vrcholová část komor K3 a K4, propad během rekonstrukčních prací při obnově štoly Jeroným);
- neznalost horninového masivu mezi částí ODD a SDD (možná existence volných prostor nebo zavalených důlních děl).

Základním podkladem pro stanovení stability důlních prostor budou v dalším výzkumu výsledky geomechanického, geologického (kvartální odečety, vybraná místa i kontinuální sledování) a seizmologického monitoringu. [1, 6, 15, 19, 21, 27, 34]

7 Seznam publikací a zpráv citovaných v kapitole 2 – 6.

- [1] Žůrek, P., Kořínek, R., Kaláb, Z., Hruběšová, E., Knejzlík, J., Daněk, T., Kukutsch, R., Michalík, P., Lednická, M. a Rambouský, Z. (2008): Historický Důl Jeroným v Čisté. Monografie, VŠB – Technická univerzita Ostrava a Ústav geoniky AVČR, v.v.i. Ostrava, ISBN 978–80-248–1757-6, 82 stran.
- [2] Kaláb, Z. (2008): Seizmická měření v geotechnice. Monografie. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, ISBN 978–80-248–1796-5, 125 stran.
- [3] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Kořínek, R. and Žůrek, P. (2006): Cultural Monument Jeroným Mine, Czech Republic – Contribution to the Geomechanical Stability Assessment. Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-29 (395), ISSN 0138-015X, 137-145.
- [4] Kaláb, Z. a Lednická, M. (2006): Interpretace seizmických záznamů trhacích prací prováděných ve štolě Jeroným v Čisté. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, ISSN 1213–1962, ISBN 80–248–1187–1, 155–160.
- [5] Knejzlík, J. (2006): Distribuovaný systém pro monitorování v Dole Jeroným v Čisté. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, ISSN 1213–1962, ISBN 80–248–11871, 181-187.

- [6] Kukutsch, R., Daněk, T., Michalčík, P., Žůrek, P. a Kořínek, R. (2006): Poznámky ke stabilitě kritických míst – Důl Jeroným, Čistá. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, ISSN 1213–1962, ISBN 80–248–1187–1, 197–204.
- [7] Kaláb, Z., Lednická, M. a Kukutsch, R. (2007): Důlní vody na lokalitě Čistá, Důl Jeroným. Uhlí-Rudy-Geologický průzkum, č. 5/2007, ISSN 1210–7697, 31–35.
- [8] Hrubešová, E., Kaláb, Z., Kořínek, R. and Žůrek, P. (2007): Geotechnical Monitoring and Mathematical Modelling in Medieval Mine Jeroným (Czech Republic). *Górnictwo i Geoinżynieria*, Vol. 31, Zeszyt 3, ISSN 1732-6702, 183-190.
- [9] Hrubešová, E., Kaláb, Z., Kořínek, R. a Žůrek P. (2007): Dílčí výsledky modelové analýzy stabilitní a napěťo-deformační situace komory Dolu Jeroným. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VII, č.2/2007, ISSN 1213–1962, ISBN 978 –80–248–1616–6, 91–98.
- [10] Kaláb, Z. a Müller, K. (2007): Geofyzikální charakteristika širšího okolí Dolu Jeroným. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VII, č.2/2007, ISSN 1213–1962, ISBN 978 –80–248–1616–6, 213–223.
- [11] Lednická, M. a Kukutsch, R. (2007): Sledování pohybů hladiny důlních vod v historickém důlním díle Jeroným. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VII, č.2/2007, ISSN 1213–1962, ISBN 978 –80–248–1616–6, 159–164.
- [12] 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), ISSN 1214–9705, 213–223.
- [13] Knejzlík, J. and Rambouský, Z. (2008): //Current Solution for Distributed Control and Measurement System in the Jeroným Mine – Modular System. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 5, No. 2(150), ISSN 1214–9705, 205–212.
- [14] Kaláb, Z., Hrubešová, E. and Lednická, M. (2008): Mining History and Present State of Medieval Mine Jeroným. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Ser. Górnictwo*, Z. 283, Nr. 1781, PL ISSN 0372–9508, Gliwice, 61–70.
- [15] Kukutsch, R. (2008): Critical Places at Locality Čistá, Mine Jeroným and Their Possible Development. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Ser. Górnictwo*, Z. 286, Nr. 1798, ISSN 0372–9508, Gliwice, 441–450.
- [16] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Kořínek, R. a Žůrek, P. (2006): Historická důlní díla jako přírodní experimentální laboratoře. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2006, CD, příspěvek T3.
- [17] Hrubešová, E., Kořínek, R., Lednická, M., Luňáčková, B. a Doležal, M. (2006): Koncepce tvorby matematického modelu napětí v masívu pro Důl Jeroným. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2006, CD, příspěvek T6.
- [18] Žůrek, P., Michalčík, P., Kukutsch, R., Kořínek, R. a Daněk, T. (2006): Analýza stabilitních poměrů Dolu Jeroným v Čisté během obnovy dědičné štoly. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2006, CD, příspěvek T7.
- [19] Kaláb, Z., Lednická, M. a Kukutsch, R. (2007): Důl Jeroným v historických mapách a schématech. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2007, CD, příspěvek T6.
- [20] Kaláb, Z. a Lednická, M. (2007): Ověření použitelnosti aparatury TICO pro ultrazvukové měření v historickém důlním díle. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2007, CD, příspěvek T4.
- [21] Kukutsch, R., Lednická, M., Kořínek, R. a Žůrek, P. (2007): Důlní vody v historickém Dole Jeroným v Čisté. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2007, CD.
- [22] Kaláb, Z., Hrubešová, E., Knejzlík, J., Kořínek, R., Kukutsch, R., Lednická, M. and Žůrek, P. (2008): Mine Water Movement in Shallow Medieval Mine Jeroným (Czech Republic). In: Rapantová, N. and Hrkal, Z. (Eds): *Mine Water and the Environment. Proceedings of 10th International Mine Water Association Congress*. Karlovy Vary. VŠB-Technical University of Ostrava, ISBN 978–80-248–1767-5, 19–22; full paper at CD, No. 37, 11 pages.

- [23] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Kukutsch, R., Lednická, M., Kořínek, R. a Žůrek, P. (2008): Průběžné výsledky geomechanických měření v Dole Jeroným v Čisté. Zborník Geotechnika 2008 – Konštrukcie, technologie a monitoring. ORGWARE, Vysoké Tatry – Podbanské, Slovensko, ISBN 978–80-248–1850-4, 377–382.
- [24] Hrubešová, E., Kořínek, R. (2008): Dílčí výsledky numerické analýzy stabilitní situace prostorového díla Dolu Jeroným. Zborník Geotechnika 2008 – Konštrukcie, technologie a monitoring. ORGWARE, Vysoké Tatry – Podbanské, Slovensko, ISBN 978–80–248–1850–4, 371–376.
- [25] Kaláb, Z., Knejzlík, J. and Lednická, M. (2008): Seismic Station with Geomechanical Network in Medieval Mine. Proceedings of European Seismological Commission ESC2008, 31st General Assembly, CD – Short Papers electronic volume, 167–174
- [26] Kaláb, Z. a Knejzlík, J. (2008): Nové prvky distribuovaného měřicího systému ve středověkém Dole Jeroným v Čisté. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2008, CD, příspěvek T3.
- [27] Kukutsch, R., Stolárik, M. (2008): Povrchové útvary na lokalitě Čistá, Důl Jeroným po ukončení báňské činnosti. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2008, CD, příspěvek, T7.
- [28] Kukutsch, R., Bernard, J., Kořínek, R., Žůrek, P., Kaláb, Z. a Lednická, M. (2008): Novodobá historie Dolu Jeroným – zajištění Dolu Jeroným v datech. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2008, CD, příspěvek T8.
- [29] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Lednická, M. a Rambouský, Z. (2006): Hodnocení seizmologického monitoringu a projekt distribuovaného měřicího systému v Dole Jeroným v Čisté. Výzkumná zpráva z experimentálního měření, Ústav geoniky AVČR, Ostrava, 14 stran.
- [30] Žůrek, P., Kořínek, R., Slivka, V., Daněk, T., Štěpánková, H., Doležal, M., Kaláb, Z., Knejzlík, J., Lednická, M. a Kukutsch, R. (2006): Sledování geomechanické stability kulturní památky Jeroným v Čisté, okr. Sokolov. Oponovaná zpráva k řešení HS, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 28 stran.
- [31] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Lednická, M., Rambouský, Z., Dombková, A. a Makovský, J. (2007): Distribuovaný řídicí a měřicí systém a seizmické zatížení v roce 2007 historického dolu Jeroným v Čisté. Oponovaná výzkumná zpráva, Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava, 31 stran.
- [32] Žůrek, P., Kořínek, R., Slivka, V., Michalčík, P., Daněk, T., Štěpánková, H., Doležal, M., Kaláb, Z., Knejzlík, J., Lednická, M. a Kukutsch, R. (2007): Sledování geomechanické stability kulturní památky Důl Jeroným v Čisté, okr. Sokolov. Oponovaná zpráva k řešení HS, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 33 stran.
- [33] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Kukutsch, R., Lednická, M., Rambouský, Z., Dombková, A., Makovský, J. (2008): Seizmické zatížení historického díla Dolu Jeroným v Čisté v roce 2008 a distribuovaný měřicí systém. Výzkumná zpráva, Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava, 27 stran.
- [34] Žůrek, P., Kořínek, R., Slivka, V., Michalčík, P., Daněk, T., Štěpánková, H., Doležal, M., Kaláb, Z., Knejzlík, J., Kukutsch, R., Lednická, M. (2008): Sledování geomechanické stability kulturní památky Důl Jeroným v Čisté okr. Sokolov. Oponovaná závěrečná zpráva k řešení HS 5005006, 39 str.

8 Aktivity prováděné v části Stará důlní díla

V roce 1994 zaslala Nadace Georgia Agricoli (region Slavkovský les), oznámení na MŽP ČR o nálezů podzemních prostor (nazvané SDD) u Dolu Jeroným. Díky aktivitě Nadace a vstřícnosti MŽP ČR byly v letech 1994 – 1998 realizovány dvě etapy zajišťovacích prací v této části dolu (podle Iványi, 2001). Náplň jednotlivých etap byla následující:

I. etapa:

- Zajištění původního vstupu do SDD (šachtice). Ústí šachtice bylo opatřeno ocelovou mříží, která umožňuje vlet netopýrů do podzemí;
- Vybudován nový vstup do SDD opatřený ocelovou mříží;
- Vybudována základní geodetická síť a zhotovena základní měřická dokumentace;

- Vyhlobení tří šachtic a ražba rozrážek k ověření rozsahu SDD pod silnicí č. 210 (Sokolov-Prameny) nebo v bezprostředním okolí silnice;
- Vrtný průzkum z povrchu silnice k získání vzorků pro zpracování geotechnického posudku;
- Geodetická sledování poklesu silnice ve vymezeném úseku;
- Laboratorní práce;

II. etapa

- Detailní geofyzikální průzkum stavu nadloží SDD, zmapování plošného rozsahu SDD pod komunikací, určení pevných bloků hornin pro možnost ukotvení stabilizujících prvků;
- Zpracování projektové dokumentace, stavební povolení, výběrová řízení;
- Realizace prací pro definitivní zajištění komunikace;
- Zpracování závěrečné zprávy „Zajištění SDD Čistá – II. etapa“.

V SDD byla po dobu provádění stavebních a zajišťovacích úprav podzemí (2004–2009) sledována dlouhodobá stabilita SDD a silnice II/210 nad důlním dílem. Prováděna byla opakovaná geodetická měření, konvergenční měření a měření extenzometrů, dilatometrů a deformometrů. Kontrolní měření se prováděla 1 x ročně, na aktivních pracovištích 1 x měsíčně.

9 Závěr

Až 400 let stará hornická památka Důl Jeroným v Čisté patří mezi evropské unikáty, neboť dokladuje tradiční dobývání cínové rudy. Lokalita se nachází v tzv. lázeňském trojúhelníku Karlovarského kraje (Karlovy Vary – Mariánské Lázně – Františkovy Lázně) a je součástí Česko-bavorského geoparku (www.geopark.cz). Zpřístupnění podzemních prostor Dolu Jeroným v Čisté a zabezpečení povrchu nad podzemními prostory je podmíněno stabilitou těchto důlních děl. K tomu je nezbytný geologický, geomechanický a geodetický monitoring a sledování seizmického zatížení této lokality. V tomto má výhradní postavení realizace opakovaných odečetů, případně kontinuálních měření vybraných parametrů pomocí distribuovaného měřicího systému a interpretace naměřených dat. Konečným cílem činností Karlovarského kraje (správce celého areálu) v této lokalitě je nejen zpřístupnění dolu, ale především vybudování Hornického skanzenu – Středověký Důl Jeroným.

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

BERAN, P., JANGL, L., MAJER, J., SUČEK, P., OTFRIED, W. 1000 let hornictví cínu ve Slavkovském lese, 1. vyd. Okresní muzeum Sokolov, 1995.

- IVÁNYI, K. Kulturní památka Důl Jeroným v Čisté – Stav zajišťovacích prací, *Sborník konference HPVT 2001, CD-ROM*, 2001.
- KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., KOŘÍNEK, R., ŽŮREK, P.: Cultural Monument Jeroným Mine, Czech Republic – Contribution to the Geomechanical Stability Assessment. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-29(395)*, p. 137-146. ISSN 0138-015X, ISBN-83-88765-67-1, 2006.
- KUKUTSCH, R., ŽŮREK, P., TOMÍČEK, R. Důl Jeroným v Čisté – minulost, současnost, budoucnost. *Urbanismus a územní rozvoj, roč.XIII, č. 2/2010, s. 63-69*, 2010.
- ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, R.: Zpřístupnění středověkého Dolu Jeroným v České republice. *Acta Montanistica Slovaca, roč. 8, č. 2–3, s. 96–100. ISSN 1335–178*, 2003.
- ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, 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., 82 s. ISBN 978–80-248–1757-6*. 2008.

Summary

The Jeroným Mine is a National Cultural Heritage Site of the Czech Republic located at Čistá in the Sokolov Region. At present, the whole system of mine workings (cavities) is divided into two separate parts, one called the Old Mine Workings (denoted OMW below) and the other the Abandoned Mine Workings (denoted AMW below). All medieval mining methods (rock breakings) is possible to document here, e.g. hand-made spaces using hammers of various dimensions and so-called bits, work done with fire (fire setting) and/or blasting from 1774. The Jeroným Mine site forms part of the European Mining Heritage Network. The OMW are specifically related to the extraction and processing of tin during the second half of the 16th century. The AMW however, were created during the period of more than 400 years of exploration and extraction that took place afterwards. Underground spaces in the Jeroným Mine represent very complicated structure. It is possible to divide this structure into two main parts: flooded workings below drainage level and workings partly or fully available to the people (above the drainage adit).

This contribution describes knowledge about historical Jeroným mine in 2008. Results obtained during solution of project sponsored by the Czech Science Foudation (2006-2008) are the main part of this paper. These results cover geological and geophysical study of the Jeroným Mine and surroundings, principle of geological and geomechanical observing, continuous monitoring of selected parameters and concept of numerical modelling. Wide summary of references (see chap. 7) are included because it is not possible to present all results in detail.

Research of this medieval mine enabled to specify following factors that most significantly affect stability of underground spaces and surface above them:

- Current deformation of the surface above undermined area (depressions, surface formations);
- Cracking and weathering of rock massif, especially residual pillars in chambers;
- Hydro-geological mode of mine waters, including unknown channels for dewatering;
- Natural seismicity (source area near Kraslice) and technical seismicity (blasting operations in quarries, traffic on road above mine spaces);

• Ignorance of rock massif between parts ODD and SDD (likely availability of underground spaces – filled and/or void spaces). Results from geomechanical, geological, geodetic (quarterly measured data, selected points also continuous measurements) and seismological monitoring are basic information for evaluation of stability of underground spaces.

The Jeroným mine is now used as an experimental laboratory for evaluation of new instrumentation and methods to detect rock deformation and seismic load. Current obtained results from the measurements described above show that the mine workings are a stable complex (the most critical part were stabilized). This is very important finding. Thanks to this fact, it is possible to continue in preparation of this monument for opening it to the public. However, it was also documented several critical parts in the mine. Establishment of mine-geological museum in this place is right solution that enables to present methods of tin ore exploitation in Slavkovský les Mts. and simultaneously in Europe from the 16th century.

Figures:

Fig. 1 Sketch of location of Old Mine Workings (OMW) and Abandoned Mine Workings (AMW) of Jeroným Mine; road from Krásno to Sokolov is marked (according to Iványi, 2001).

Fig. 2 Sketch of Jeroným Mine with sensors included into distributed measurement network in the AMW in 2008

¹ prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, též VŠB-TU Ostrava, FAST, L. Poděšť 1875, 708 33 Ostrava-Poruba, kalab@ugn.cas.cz

² Ing. Markéta Lednická, Ph.D. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, lednicka@ugn.cas.cz

³ Doc. Ing. Petr Žůrek, CSc., VŠB-TU Ostrava, HGF, 17. listopadu 17, 708 33 Ostrava-Poruba, petr.zurek@vsb.cz

⁴ Doc. Ing. Robert Kořínek, CSc., VŠB-TU Ostrava, FAST, L. Poděšť 1875, 708 33 Ostrava-Poruba, robert.korinek@vsb.cz

⁵ Doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, FAST, L. Poděšť 1875, 708 33 Ostrava-Poruba, eva.hrubesova@vsb.cz

⁶ Ing. Jaromír Knejzlík, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, knejzlik@ugn.cas.cz

⁷ Ing. Tomáš Daněk, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, HGF, 17. listopadu 17, 708 33 Ostrava-Poruba, tomas.danek@vsb.cz

⁸ Ing. Radovan Kukutsch, Ph.D. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, kukutsch@ugn.cas.cz

⁹ Ing. Petr Michalčík, VŠB-TU Ostrava, HGF, 17. listopadu 17, 708 33 Ostrava-Poruba, petr.michalcik@vsb.cz

¹⁰ Ing. Zdeněk Rambouský – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, rambousk@ugn.cas.cz