

DESETILETÍ GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU V DOLE JERONÝM

Decade of geotechnical monitoring in Jeroným Mine (Czech Republic)

1. Úvod

Středověké cínové hornictví lze dodnes obdivovat v podzemních prostorách Dolu Jeroným v Čisté, okr. Sokolov (např. Beran et al., 1995, Tvrdý et al., 2013). Jeho zpřístupnění veřejnosti (od podzimu roku 2013 je částí dolu veden prohlídkový okruh) předcházela řada historických, hornických a geotechnických studií, a to v obou dnes oddělených částech dolu. V části nazývané Opuštěná důlní díla (ODD) je od roku 2001 realizován geotechnický monitoring. Zpočátku zahrnoval kvartální vizuální odečty úrovně hladiny akumulovaných vod, sledování pohybu horninových bloků podél puklin (sádrové a skleněné terčíky) a konvergometrická měření v liniových i prostorových dílech. Monografie (Žůrek et al., 2008) a monotematické číslo časopisu EGRSE (International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment 1/2011) představily hlavní výsledky výzkumné práce realizované do roku 2010.

V obou výše uvedených souhrnných publikacích již byly představeny také první výsledky kontinuálního monitoringu vybraných geotechnických parametrů, který je realizován prostřednictvím distribuovaného měřicího systému (Knejzlík a Rambouský, 2008, Lednická et al., 2011). Kontinuální monitoring byl implementován do seizmického registračního systému, který byl zahájen v roce 2004 jako součást prací na realizaci rekonstrukce dědičné štoly Jeroným (Kaláb a Lednická, 2006). Koncepce, postup vývoje a realizace distribuovaného měřicího systému (DMS) byly představeny v odborné literatuře.

2. Distribuovaný měřicí systém

Distribuovaný měřicí systém (DMS) v Dole Jeroným v části ODD byl budován za podpory Grantové agentury ČR (2006-2008, 2009-2013) s cílem metodicky připravit monitorování potřebných parametrů pro posuzování stability důlního díla během razicích prací při úpravách dolu a pro následné trvalé monitorování kritických míst důlního díla během plánovaného provozu muzejní expozice v podzemí.

DMS je koncipován jako autonomní měřicí systém s telemetrickým přenosem dat, který pracuje v bezobslužném režimu. Jsou v něm převážně využity standardní měřicí jednotky MICROUNIT s komunikačním protokolem AiBus2 (Tedia a.s.). Speciální měřicí jednotka, komunikující stejným datovým protokolem, byla v rámci řešení projektu vyvinuta pro implementaci komerčních čidel pro geomechanická měření sil a deformací (např. Maihack a Geokon), která jsou založena na principu strunových tenzometrů. Dále byly vyvinuty měřicí jednotky pro laserové měření konvergence, pro měření fyzikálních parametrů důlních vod, sledování objemové radioaktivity radonu a pro dlouhodobé experimentální monitorování změn tenzoru napjatosti horninového masivu pomocí tenzometrických sond CCBM. Jednotlivá čidla, kabeláž a elektronické vybavení jsou ve vodotěsném provedení, významná je také ochrana systému proti účinkům blesků.

Na počátku roku 2014 DMS zahrnoval tato čidla: kontinuální měření změny úrovně hladiny důlních vod (3 měřená místa), kontinuální měření rozevírání (svírání) puklin v horninovém masivu (indukční a strunová čidla – 9 míst), měření svislého směru konvergence (mechanické a laserové čidlo – 2 místa), měření teploty důlní atmosféry (4 místa), měření teploty důlní vody (2 místa), měření fyzikálních parametrů vody (pH a zdánlivý měrný odpor – 2 místa), měření změn tenzoru napjatosti horninového masivu (2 místa), měření objemové radioaktivity radonu (1 místo) a spouštěné měření vibrací v důlním díle (třísložková registrace).

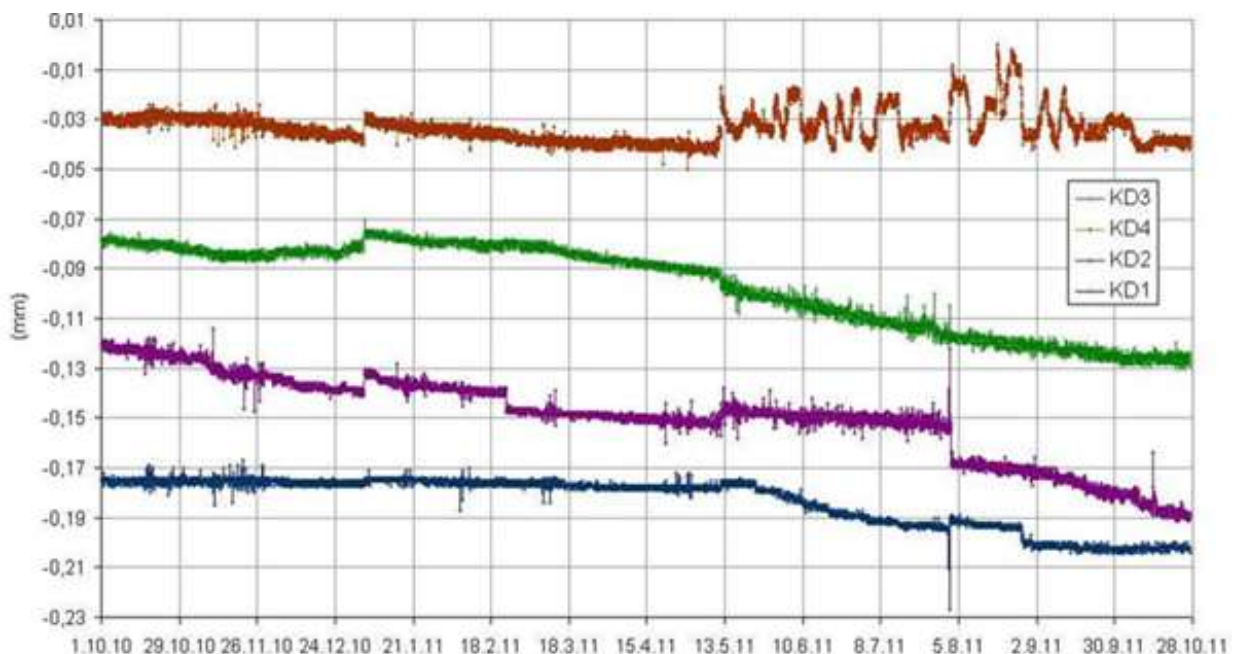
Stavebnicová koncepce DMS umožňuje jeho rozšiřování podle potřeby. Část systému je realizována coby užitiný vzor (přidělen 2010, č.z. 20486, Mechanický snímač konvergence). Protože nedošlo k projektovaným stavebním úpravám v části ODD (mělo být realizováno v garanci DIAMO, s.p. a Okresního muzea v Sokolově), nebylo realizováno plánované rozmístění čidel pro potřeby sledování stability rekonstruovaného důlního díla. Z tohoto hlediska je význam naměřených hodnot především metodický. Přesto však lze oprávněně tvrdit, že naměřená data poskytla řadu informací, které jsou zásadní pro posouzení stability podzemních prostor a zpřístupnění dolu veřejnosti.

3. Zásadní výsledky sledování puklin a hladiny důlních vod

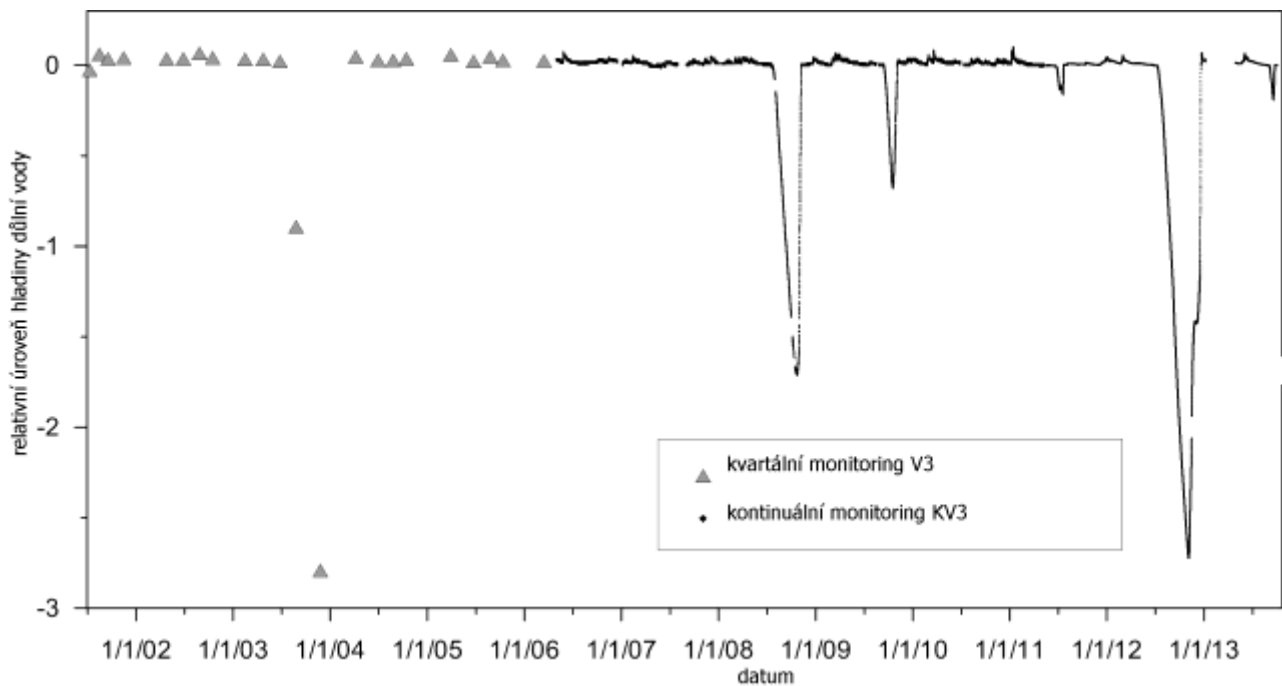
Kontinuální sledování rozevírání (svírání) puklin a sledování pohybu úrovně hladiny důlních vod patří k základním poznatkům pro správné hodnocení stability podzemních prostor. Na obrázku 1 jsou jako příklad vyneseny 4 křivky představující cca jednorozměrnou řadu monitorování vzájemných pohybů bloků podél puklin. Tato čidla jsou osazena v komoře K1, do níž ústí fárovací jáma. Změny měřených hodnot jsou zanedbatelné a pohybují se téměř na úrovni chyby. Na čidle s označením KD4, které se nachází na puklině v místě hlavního směru větracího proudu a je tudíž nejvíce ovlivňováno teplotou vzduchu procházejícího napříč dolem, jsou detekovatelné rychlé změny teplot po otevření dveří v dědičné štole a volném větrání podzemí. Stručně lze konstatovat, že žádné

měřené hodnoty nevykazují významné pohyby bloků masivu, i když na některých křivkách již lze pozorovat náznak změny vzájemné polohy bloků.

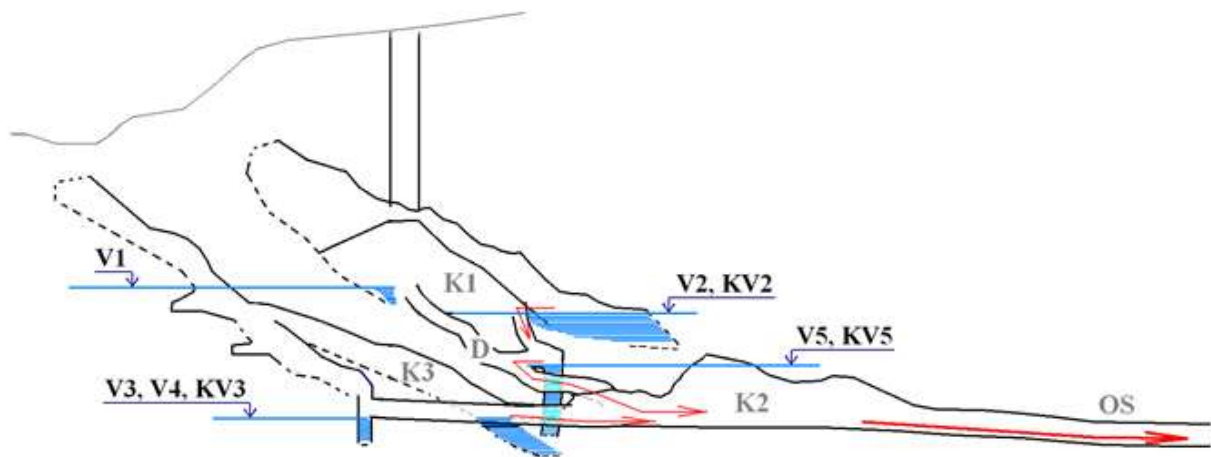
Na obrázku 2 je vynesena relativní úroveň hladiny důlní vody na stanovišti KV3, které se nachází na štolovém patře. Hladina se nachází na nejnižší hloubkové úrovni, z níž je možné gravitační odvodnění dolu (přes dědičnou štolu Jeroným). Křivka představuje prakticky celé sledované období, tj. 2001 - 2013. Na stanovišti KV3 lze pozorovat kolísání hladiny v rozmezí do 10 cm, přestože stanoviště má trvalý přetok do navazující chodby. Toto kolísání je následek vydatných dešťových srážek, případně tání sněhu. Navíc jsou dokladovány významné poklesy hladiny pod úroveň štolového patra, což podle posledních poznatků úzce souvisí s poklesem podzemních vod v okolí dolu (Lednická et al., 2012). Největší pokles, který dosáhl téměř 3 m, byl pozorován ještě v období kvartálního monitoringu v roce 2003. Další pokles s hodnotou cca 3 m byl registrován až v roce 2012. Na stanovišti KV2 v komoře K1 (horní patro) lze pozorovat kolísání hladiny v rozmezí cca 20 cm v důsledku meteorologických událostí. Na obrázku 3 je schematický řez důlním dílem, na kterém je znázorněn pohyb vod v důlním díle (není uvedena komunikace s podzemní vodou).



Obr. 1 Křivky monitorování vzájemných pohybů bloků podél puklin v komoře K1 v období 1.10.2010 – 31.10.2011



Obr. 2 Křivka relativní úrovně hladiny důlní vody (v metrech) na stanovišti KV3 v období 2001 – 2013



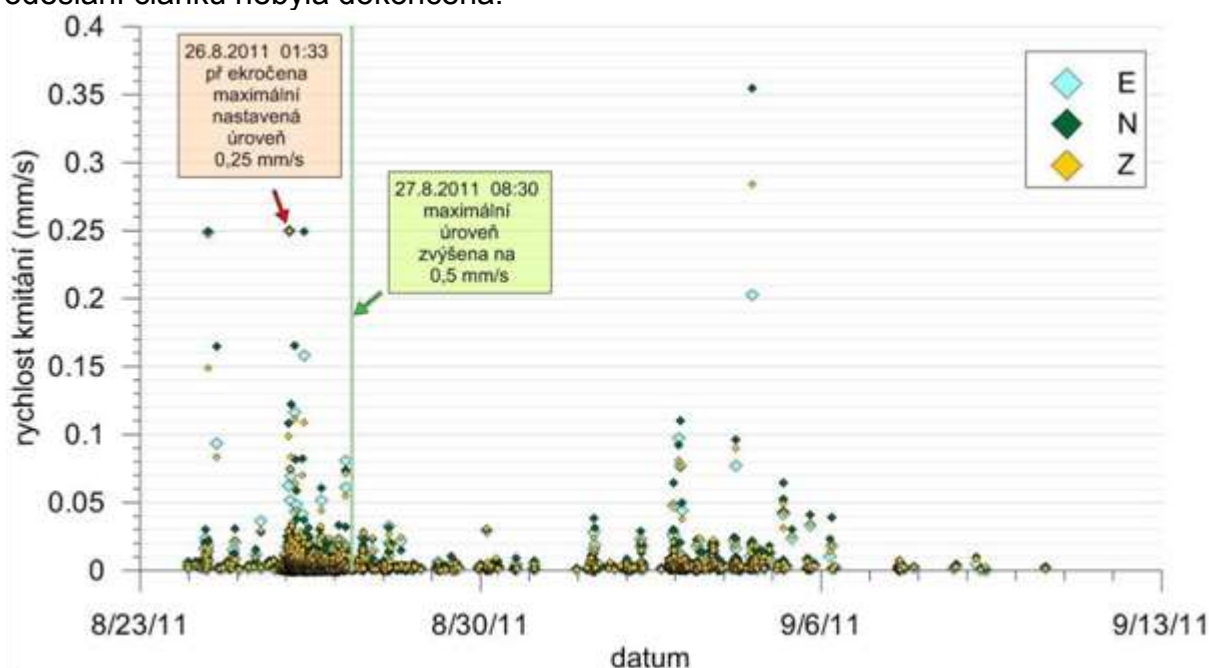
Obr. 3 Schematický řez důlním dílem, na kterém je znázorněn pohyb vod v důlním díle (není uvedena komunikace s podzemní vodou). K1 – K3 jsou komory, V1 – V4 a KV2, KV3 a KV5 jsou monitorované hladiny, D a OS jsou liniová díla (převzato z Lednická et al., 2012)

4. Seizmologický monitoring

Posouzení seizmického zatížení historických prostor Dolu Jeroným vychází ze seizmologického monitoringu vlastní aparaturou se spouštěným záznamem dat. Záznamy ze stanice JER1 (senzor umístěn v důlním díle) jsou rozdělovány do následujících typů:

technická seizmicita (vibrace vyvolané při odstřelu trhavin v nedalekých lomech - Krásno, Vítkov a další; vibrace vyvolané automobilovou dopravou na cestě nad důlním dílem); přirozená seizmicita (části vzdálených a velmi vzdálených intenzivních zemětřesení; regionální evropské seizmické jevy; mikrozemětřesení z kraslické oblasti). Po dobu rekonstrukce dědičné štoly byly ještě vyčleňovány projevy odstřelů při ražbě. Seizmologický monitoring umožňuje nejen průběžně sledovat možný negativní dopad vibrací na historické části dolu, ale především správně stanovit kritické hodnoty zatížení při provádění rekonstrukčních prací v dole a jeho okolí.

Nejvýznamnějším seizmickým zatížením Dolu Jeroným po dobu monitoringu byly seizmické roje v letech 2014, 2011 a 2008. Předposlední seizmický roj s ohniskou v okolí Nového Kostela začal 23. 8. 2011. Na seizmické stanici JER1 instalované v důlním díle bylo během hlavní části roje (od 23. 8. do 10. 9.) zaznamenáno téměř 1400 zemětřesení (obrázek 4). Do konce roku 2011 bylo potom zaznamenáno dalších 50 zemětřesení. V některých záznamech hlavní části roje bylo identifikováno až několik po sobě (přes sebe) následujících zemětřesení. Jeden z nejsilnějších projevů byl zaznamenán při zemětřesení dne 26. 8. 2011 v 01:33 LSEČ, podle GFÚ AVČR, v.v.i. Praha mělo toto zemětřesení lokální magnitudo 3,7. Maximální amplituda rychlosti kmitání pro tento jev přesáhla aktuálně nastavený rozsah registrace $0,25 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Poté byl rozsah registrace nastaven na $0,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ a byl zaregistrován další jev s maximální hodnotou rychlosti kmitání $0,35 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ (4. 9. 2011, 13:47 LSEČ, lokální magnitudo 3,3). V květnu 2014 začal intenzivní seizmický roj (maximální lokální magnitudo cca 4,5), interpretace těchto dat však v době odeslání článku nebyla dokončena.



Obr. 4 Přehled maximálních složkových amplitud rychlosti kmitání pro zaznamenaná zemětřesení z oblasti Nového Kostela na stanici JER1, období hlavní části roje od 23. 8. 2011 do 10. 9. 2011

Významným počinem z pohledu zatížení díla vibracemi je i sestavení závislosti očekávaného maximálního efektu těchto zemětřesení při prognózovaném maximálním magnitudu (podle historických dat z oblasti Nového Kostela). Analýza byla publikována Lednickou a Kalábem (2013). Analýza prokázala, že při zemětřesení s maximálním očekávaným lokálním magnitudem 5,0 nedojde k vyvolání takových vibrací, které by poškodily důlní dílo. Vizuální prohlídka díla po začátku roje v roce 2014 (po výše uvedeném zemětřesení s lokálním magnitudem 4,5) potvrdila výsledek analýzy: nebylo

objeveno nové poškození v důlním díle v důsledku daného zemětřesení. Zemětřesení nevyvolalo ani změny v měřených hodnotách z DMS.

5. Závěr

Desetiletí provozu distribuovaného měřicího systému prokázalo z technického hlediska správný přístup při jeho vývoji. K DMS lze připojit většinu známých komerčních čidel, k dané verzi celkem až 255 měřicích míst. Provoz DMS byl spolehlivý, výpadky registrace vznikly pouze po úderu blesku do blízkosti dolu (ochrana DMS byla poté upravena) a po přerušení dodávky proudu v důsledku vandalismu. Významným prvkem systému je i jeho správa prostřednictvím GSM sítě. Za zmínku stojí i skutečnost, že realizace DMS musela být provedena s minimálními finančními náklady a bez poškození historických částí díla.

Seizmické zatížení historických prostor Dolu Jeroným, které vychází z uvedeného seizmologického monitoringu, umožňuje nejen průběžně sledovat možný negativní dopad vibrací na historické části dolu, ale především správně stanovit kritické hodnoty zatížení při provádění rekonstrukčních prací v dole a jeho okolí. I nadále platí, že výsledky kontinuálního monitoringu patří k základním poznatkům pro správné hodnocení stability podzemních prostor (např. Lednická et al., 2011, Kukutsch et al., 2011). Získaná data umožňují nejen posoudit současný stav stability důlních prostor, ale výsledky významně přispějí také ke sledování stavu podzemních děl v době jejich předpokládaných úprav (především propojení komplexů starých a opuštěných důlních děl překopem). Již při rekonstrukci dědičné štoly se ukázal velký význam využití našich dat stavební firmou. Důlní dílo lze po analýze všech poznatků pokládat za stabilní, pro muzejní provoz bude nutné v některých kritických místech provést zajištění.

Poděkování

Příspěvek je zpracován s podporou na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace RVO: 68145535 a vychází z prací, které byly realizovány za 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. Okresní muzeum Sokolov, 1995, 195 s.
- KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. Interpretace seizmických záznamů trhacích prací prováděných ve štole Jeroným v Čisté. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, 155-160.
- KNEJZLÍK, J., RAMBOUSKÝ, Z. Current Solution for Distributed Control and Measurement System in the Jeroným Mine – Modular System. Acta Geodynamica et Geomaterialia. Vol. 5, No. 2(150), 2008, 205-212.
- KUKUTSCH, R., ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, R., DANĚK, T., HUDEČEK, V., MICHALČÍK, P., GRMELA, A. Monitoring geomechanické stability důlních prostor, léta 2001 – 2011. International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE), 2011, Vol. XVIII.1, s. 31-39.
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z. Vibration Effect of Earthquakes in Abandoned Medieval Mine. Acta Geod Geophys. 2013, Vol. 48, Issue 3, s. 221-234.
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J. Kontinuální geomechanický monitoring v Dole Jeroným. International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE), 2011, Vol. XVIII.1, s. 62-72.

- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J. Monitorování úrovně hladin akumulovaných vod v Dole Jeroným. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, 2012, Vol. XIX.2, s. 54-68.
- TVRDÝ, J., PETEREK, A., MANTEL, M. Tajemství nitra Země. Česko-Bavorský geopark, Muzeum Sokolov, 2013, 150 s.
- 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. 2008, VŠB – TU Ostrava a Ústav geoniky AVČR, v.v.i. Ostrava, 82 s.