

# TESTOVÁNÍ NEDESTRUKTIVNÍCH METOD MĚŘENÍ ZVĚTRÁNÍ HORNINOVÉHO MASIVU V DOLE JERONÝM

## TESTING OF NON-DESTRUCTIVE MEASUREMENT METHODS OF ROCK MASSIF WEATHERING IN THE JERONÝM MINE

*Markéta Lednická<sup>1</sup>, Zdeněk Kaláb<sup>2</sup>*

### **Abstrakt**

V příspěvku je popsáno využití vybraných nedestruktivních metod měření pro zpřesnění informace o stavu zvětrání horninového masivu v historickém Dole Jeroným. Vyzkoušeny byly tři metody: měření rychlosti šíření ultrazvukových vln, měření hodnoty odrazu Schmidtova nárazového kladívka a měření vrtného odporu. Výsledky provedených měření na vybraných plochách horninového masivu v důlním díle ukazují závislost rychlosti šíření ultrazvukových vln a odrazu Schmidtova nárazového kladívka na stanoveném stupni zvětrání horniny, přičemž hodnoty rychlosti a hodnoty odrazu klesají se vzrůstajícím stupněm zvětrání. Nově je zkoušeno měření vrtného odporu ke stanovení změn do hloubky 10 mm. V současné době představují provedená měření víceméně bodovou informaci o stavu horninového masivu v daném místě.

### **Abstrakt**

In the paper, the use of selected non-destructive testing methods for specifying information about the quality of rock massif weathering in the historic Jeroným Mine is described. Three methods have been tested, namely the measurement of the ultrasonic pulse velocity, the measurement the value of rebound Schmidt hammer and the measurement of the drilling resistance. The results of measurements on selected parts of the rock massif in the mine workings show the dependence of the ultrasonic pulse velocity and value of rebound Schmidt hammer on degree of weathering of rocks; while the values of velocity and rebound value are decreasing, degree of weathering increasing. Drilling resistance measurement is newly tested to determine the changes to a depth of 10 mm. Currently the realized measurements represent more or less the point information about the quality of the rock massif in the given location.

### **Klíčová slova**

*nedestruktivní měření, ultrazvuková pulzní rychlost, hodnota odrazu Schmidtova nárazového kladívka, vrtný odpor, zvětrávání*

### **Keywords**

*non-destructive measurements, ultrasonic pulse velocity, Schmidt hammer rebound value, drilling resistance, weathering*

# 1 Úvod

Středověký Důl Jeroným se nachází v katastru bývalé obce Čistá, okres Sokolov. Podrobnější popis této lokality spolu s výsledky dlouhodobého geomechanického monitoringu lze nalézt v řadě článků (Beran et al., 1995, Kaláb et al., 2006, Žurek et al., 2008, Kaláb et al., 2008, Knejzlík et al., 2011). Dlouhodobé působení větrané či nevětrané důlní atmosféry, jakož i protékající a stojatá voda v důlních prostorách způsobily zvětrání obnažených granitových hornin. Na horninový masiv působily a působí také další negativní faktory z hlediska stability důlních prostor, jako je např. v dnešní době zvýšená doprava na silnici č. II/210 (Kaláb et al., 2010), nebo vibrace vyvolané zemětřeseními z nedaleké oblasti Nového Kostela (Kaláb et al., 2011, Kaláb a Lednická, 2011, Lednická a Kaláb, 2013). Pro stabilitní posouzení a další studie spojené se zajištěním díla je nezbytná znalost vlastností horninového masivu. Podrobný výzkum vlastností hornin v Dole Jeroným je omezen z důvodu ochrany historických dobývek. V historicky cenných částech není možné provádět žádné zásahy a žádná destruktivní zkoušení. Toto vylučuje systematický odběr vzorků horninového masivu pro podrobná laboratorní měření. Odběr vzorků pro laboratorní testování dále znemožňuje charakter horninového masivu, který je v některých částech díla silně zvětraný. Jedním z možných přístupů ke stanovení parametrů hornin je nedestruktivní testování přímo v důlním díle, které lze provést plošně, ale poskytuje zpravidla pouze informaci o přípovrchové vrstvě masivu.

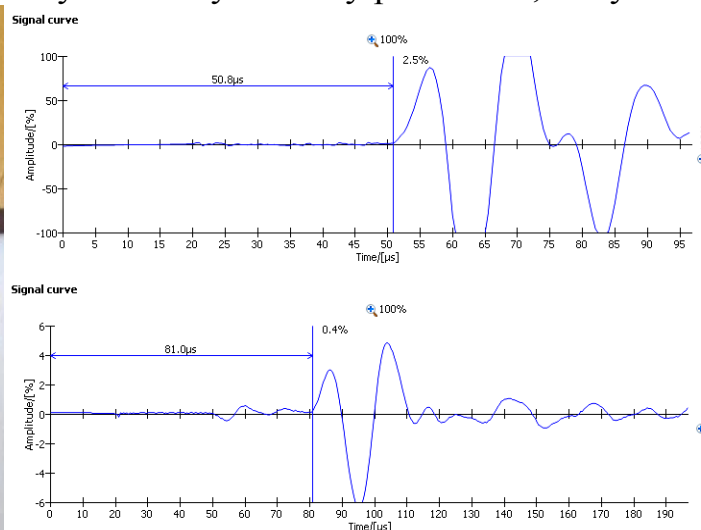
Laboratorním zkoumáním granitů při různém stupni zvětrání se zabývala řada autorů, např. Olona et al. (2010) a Gupta a Seshagiri Rao (1998). V našem článku jsou představeny informace o třech typech nedestruktivních metod měření, které byly testovány v diskutovaném dole. Jde o ultrazvuková měření, měření tlakové pevnosti Schmidovým kladívkem a měření vrtného odporu. Metodika měření prvních dvou metod byla testována již v minulém období (Lednická a Kaláb, 2012), testování měření vrtného odporu bylo zahájeno v letošním roce (jaro 2013).

## 2 Ultrazvukové měření

V laboratorních podmínkách je možno provádět přesná měření rychlostí šíření ultrazvukových vln na opracovaných vzorcích za definovaných podmínek. Stanovené rychlosti – UPV (ultrasonic pulse velocity) se dají korelovat s řadou parametrů hornin, jako je objemová hmotnost, pórovitost, vlhkost, pevnost, modul pružnosti, apod. (Vasconcelos et al. 2007, 2008, Nováková et al. 2011). V terénních podmínkách důlního díla však takto přesná ultrazvuková měření nelze provádět. Geometrie důlních děl umožňuje pouze použití nepřímého měření na plochách stěn a stropů důlních děl. Jen ojediněle je možné použít přímé měření na pilířích, u zdravé horniny až do mocnosti cca 1,0 m. Cílem našeho výzkumu bylo ověřit možnost využití měření tohoto typu pro rozlišení různých stupňů zvětrání povrchových vrstev horninového masivu v diskutovaném důlním díle.

K terénnímu měření v důlním díle byly postupně použity tři typy ultrazvukových aparatur – TICO firmy Proceq, Pundit Plus firmy Mastrad a Pundit Lab<sup>+</sup> firmy Proceq (obr. 1). První dvě aparatury byly vybaveny měřicími sondami o frekvenci 54 kHz, průměr dotykové plochy sond byl 50 mm. Aparatura TICO umožňovala pouze měření času průchodu ultrazvukových vln bez možnosti zobrazení vlnového obrazu. Během prvních měření v dole se navíc ukázalo, že zdrojový signál je poměrně slabý. Během měření ve zvětraných horninách

docházelo k jeho rychlému útlumu a aparatura nebyla schopna vyhodnotit průběhový čas. Následně byla terénní měření v dole prováděna pomocí aparatury Pundit Plus, která již umožnila nastavení silnějšího zdrojového signálu. Navíc k ní bylo možné připojit osciloskop pro záznam vlnového obrazu a následnou přesnější analýzu měřených dat a odečtení správného času průchodu ultrazvukových vln i ve zvětraných částech horninového masivu. Z řady provedených zkušebních měření v důlním díle Jeroným pomocí této aparatury vyplynula některá doporučení (např. Lednická, 2009). Jediný akustický vazebný prostředek, který umožnil měření, byla plastelína. Dotykovou plochu



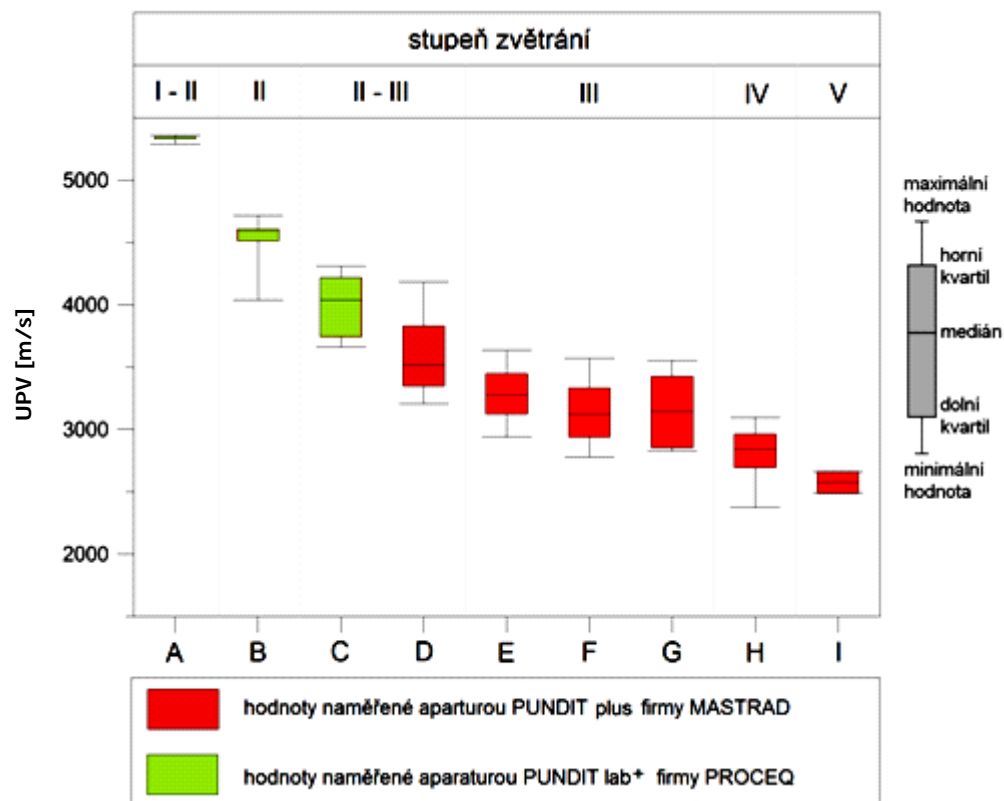
sond o průměru 50 mm bylo třeba zmenšit pro zajištění lepšího kontaktu sondy s nerovným povrchem horninového masivu. K tomu byly použity kovové kuželové nástavce na měřicí sondy, které měly průměr dotykové plochy 15 mm. Během UPV měření porušeného a zvětraného horninového masivu byla potvrzena nezbytnost zobrazení vlnových záznamů ultrazvukového signálu. Jenom z těchto záznamů je možné odečíst správný průběhový čas, neboť již při malých vzdálenostech sond dochází ve zvětraném masivu k velkému útlumu signálu a aparatura nedokáže rozeznat příchod první vlny.

**Obr.1 Ultrazvuková aparatura Pundit Lab<sup>+</sup> firmy Proceq se sadou měřících sond (foto: Lednická), vpravo výstup naměřeného vlnového záznamu v programu Punditlink – nahoře měření podélné vlny, dole měření příčné vlny**

Pro silně zvětrané části horninového masivu byl signál natolik utlumený, že měření průběhového času bylo možné vyhodnotit pouze na vzdálenost sond 0,1 m. Pro zdravější horniny se podařilo provést měření s rozstupem sond až do vzdálenosti 0,4 m, místy i 1 m. Během roku 2012 byl v rámci projektu ICT CZ.1.05/2.1.00/03.0082 (Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin) zakoupen nejnovější typ ultrazvukové aparatury firmy Proceq – Pundit Lab<sup>+</sup>. Tato aparatura již umožňuje měření průběhového času spolu se zobrazením vlnového záznamu jak na displeji přístroje, tak po propojení s počítačem v programu Punditlink. Po provedení měření lze s naměřenými daty a vlnovými záznamy v programu Punditlink dále pracovat. U aparatury jsou k dispozici měřicí sondy o kmitočtu 24 kHz, 54 kHz, 150 kHz a 250 kHz pro měření podélných vln a sondy o kmitočtu 250 kHz pro měření příčných vln. Navíc sondy o kmitočtu 150 kHz a 250 kHz mají průměr dotykové plochy 20 mm, což umožňuje v terénu lepší kontakt s horninou bez použití kuželových nástavců.

## 2.1 Výsledky měření

Měření UPV byla prováděna na vybraných plochách na několika místech v dole, převážně se jednalo o stěny chodeb a komor a plochy na stěnách opěrných pilířů. V příspěvku jsou uvedeny výsledky z nepřímého měření, nebylo prováděno



**Obr.2** Naměřené hodnoty rychlostí šíření ultrazvukových vln na vybraných plochách A–I, stupeň zvětrání označen I–V

prozařování masivu. Na každé ploše byl naměřen soubor několika hodnot. Vybrané plochy masivu v důlním díle Jeroným byly vizuálně zatříděny podle převzaté klasifikace určující stupeň zvětrání, kterou představili Hencher a Martin (např. in Vahed et al.,

**Tab. 1** Zatřídění měřených ploch podle stupně zvětrání

Měřené místo	Stupeň zvětrání	Popis
A	I – II	stěna menší komory, horninový materiál bez trhlin a neodbarvený, pouze se stopami po sazích, živce nerozložené
B	II	stěna částečně zaplavené chodby se zbytky po ručním dobývání, odbarvení na plochách diskontinuit, živce nerozložené
C	II – III	stěna částečně zaplavené chodby se zbytky po ručním dobývání, horninový materiál částečně odbarvený v povrchové vrstvě, živce nerozložené
D	II – III	stěna velké komory, patrně plocha diskontinuity, horninový materiál odbarvený na ploše
E	III	stěna velké komory se zbytky po vrtací práci, horninový materiál částečně odbarvený, ještě není drolivý
F	III	stěna velké komory, horninový materiál částečně odbarvený, ještě není drolivý, viditelné mikrotrhliny na povrchu, měření UPV realizováno ve směru rovnoběžném se směrem trhlin
G	III	stěna částečně zaplavené chodby, která byla proražena patrně během druhé světové války pomocí vrtacích a trhacích prací, horninový materiál je částečně odbarvený, ještě není drolivý,
H	IV	stěna částečně zaplavené chodby, která byla proražena patrně během druhé světové války pomocí vrtacích a trhacích prací, horninový materiál je zcela odbarvený, materiál se nedrolí, větší kusy horniny je možné rozbít rukou
I	V	stěna částečně zaplavené chodby, která byla proražena patrně během druhé světové války pomocí vrtacích a trhacích prací, horninový materiál je zcela odbarvený, zcela zvětraný, živce rozložené, textura je zachována

2009). Tato klasifikace stanovuje šest stupňů zvětrání granitů a dalších vulkanických hornin: I – zdravá hornina, II – slabě zvětraná hornina, III – středně zvětraná hornina, IV – silně zvětraná hornina, V – zcela zvětraná hornina a VI – rozložená hornina. Vizuální hodnocení vychází z barevných změn na povrchu horniny, stupně rozložení živců, nasákavosti, oddělitelnosti zrn horniny, apod. (viz Lednická a Kaláb, 2012). Podrobnější popis jednotlivých ploch je uveden v tab. 1. U některých částí důlního díla je vizuální posouzení komplikováno silným nánosem bláta a prachu na stěnách důlních děl, v nejstarších částech dolu jsou stěny a stropy pokryty sazemi, které jsou pozůstatkem po dobývací metodě sázení ohněm.

Na obr. 2 jsou zobrazeny výsledky pro devět vybraných ploch, které představují různý stupeň zvětrání. Měření byla provedena za použití jak aparatury Pundit Plus, tak Pundit Lab<sup>+</sup>. Výsledky každého měření na vybrané ploše jsou zobrazeny pomocí krabicových grafů a přiřazeny danému stupni zvětrání. Naměřené hodnoty UPV se pohybují v rozmezí od 2500 m.s<sup>-1</sup> po 5300 m.s<sup>-1</sup>. Zleva doprava narůstá stupeň zvětrání z hodnoty I-II na hodnotu V, přičemž hodnoty UPV klesají, což je v plném souladu s předpokladem. Přechod mezi jednotlivými stupni zvětrání není ostrý a přesně vizuálně definovatelný, naměřená data se proto vzájemně překrývají. Toto je také důsledek nehomogenity masivu, jeho stavu zvětrání a též pozvolným přechodem stupňů zvětrání.



**Obr.3 Vlevo: Schmidtovo kladívko typu N, vpravo: měření odrazu Schmidtovým kladívkem v Dole Jeroným (foto: Lednická)**

### **3 Měření hodnoty odrazu Schmidtovým kladívkem**

Pro orientační stanovení pevnosti betonů a hornin v tlaku slouží Schmidtovo nárazové kladívko (např. Aydin, 2009). Pevnost v tlaku se hodnotí podle výšky odrazu závaží, kterou ukáže stupnice nárazového kladívka. Schmidtových kladívek je několik typů, liší se velikostí energie nárazu pružiny. Pro naše měření bylo použito kladívko typu N, kterému odpovídá energie nárazu pružiny 2,207 Nm (obr. 3). Pevnost v tlaku se přepočítává z naměřené hodnoty odrazu na základě grafů udávaných výrobcem u příslušného typu kladívka. Do přepočtu je nutné zahrnout také korekci na polohu kladívka, tj. odklon osy kladívka během nárazu od vodorovné roviny. Přepočty výšky odrazu na pevnost v tlaku pro horniny však nelze realizovat bez laboratorních měření a kalibrace.

#### **3.1 Výsledky měření**

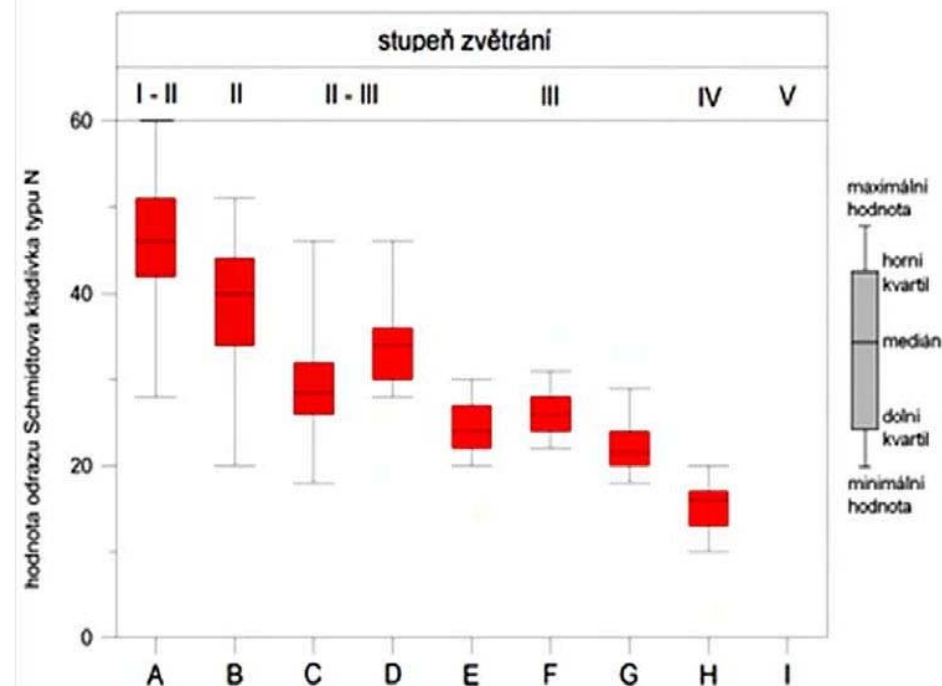
In situ měření Schmidtovým kladívkem probíhalo v Dole Jeroným na vybraných plochách zpravidla ve 20-ti bodech rovnoměrně rozmístěných po ploše. Na každém bodě bylo provedeno jedno měření. Plochy byly vybrány na základě vizuálního posouzení tak, aby horninový masiv vykazoval v celé měřené ploše stejný stupeň zvětrání. Velikost měřených ploch se pohybovala od 15 x 15 do 30 x 30 cm. Pro stanovení stupně zvětrání lze využít i jiný postup zkoušení, kdy se provádí například více měření na jednom bodě. Tento postup na

zkoumané lokalitě nebyl dosud hodnocen. Jak uvádí Aydin a Basu (2005) nebo Basu et al. (2009), během dvou po sobě následujících měření na jednom bodě dochází k rozdílu naměřené hodnoty odrazu vlivem destrukce povrchové vrstvy nárazem pružiny. Druhá z měřených hodnot vykazuje zpravidla nárůst hodnoty odrazu, přičemž rozdíl první a druhé měřené hodnoty vzrůstá se zvyšujícím se stupněm zvětrání.

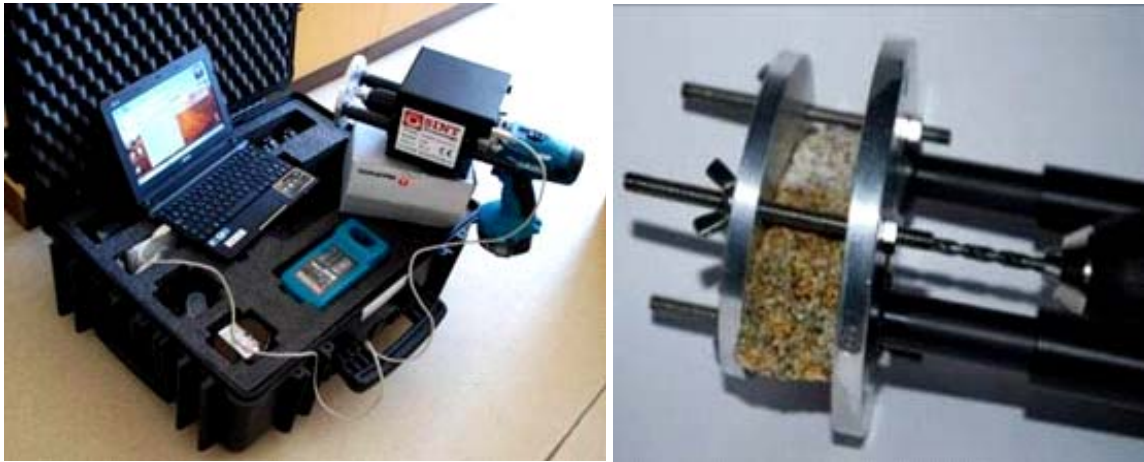
Závislost naměřených hodnot odrazu Schmidtova kladívka na vizuálně stanoveném stupni zvětrání na vybraných plochách je uvedena na obr. 4. Jedná se o stejné plochy, které byly prezentovány v kapitole ultrazvukových měření. Pro zobrazení naměřených hodnot odrazů bylo opět použito krabicových grafů. Maximální naměřené hodnoty dosahovaly 60 jednotek, nejnižší (ještě reálně) odečtené hodnoty byly 10 jednotek. Na silně zvětraných plochách (stupeň zvětrání V) již nebyly hodnoty odrazu měřitelné.

#### 4 Měření vrtného odporu

Měření vrtného odporu pomocí speciálních vrtáků malého průměru je technika, která se využívá především v oblasti diagnostiky, konzervování a restaurování kamene, dřeva a jiných stavebních materiálů. Především se uplatňuje pro stanovení hloubkového rozsahu navětraných a jinak porušených povrchových vrstev těchto materiálů a pro ověření úspěšnosti konzervačních technik. Jedná se o metodu semidestruktivní, tzn., že během měření dojde k nepatrnému porušení zkoumaného materiálu. Obvykle se jedná o vyvrtané otvory do hloubky řádově prvních cm a průměru řádově mm. První přístroj pro měření vrtného odporu v horninách byl použit již v roce 1908. Vývoj a použití této metody pro testování hornin je popsán v článku Pamplona et al. (2007). V současné době existují přístroje přenosné, které umožňují měření vrtného odporu jak na vzorcích v laboratoři, tak přímo v terénu na vybraných objektech a konstrukčních prvcích. V České republice se používá metoda měření vrtného odporu především pro diagnostiku dřevěných konstrukčních prvků – např. přístroj RESISTOFRAPH (Murínová, 2012), nebo pro zjišťování pevnostních vlastností cihelného zdiva a malt – tzv. Kučerova vrtačka. Kolektiv autorů Vavro et al., 2011 představil využití Kučerovy vrtačky také pro zkoušení přírodního kamene. O použití metody měření vrtného odporu při diagnostice historického stavebního kamene se dočteme např. v pracích Lehrberger a Gillhuber (2007), Rodrigues et al. (2002), Siedel et al. (2010) a například Felicetti (2005) popisuje využití měření vrtného odporu pro stanovení teplotního poškození povrchové vrstvy betonu.

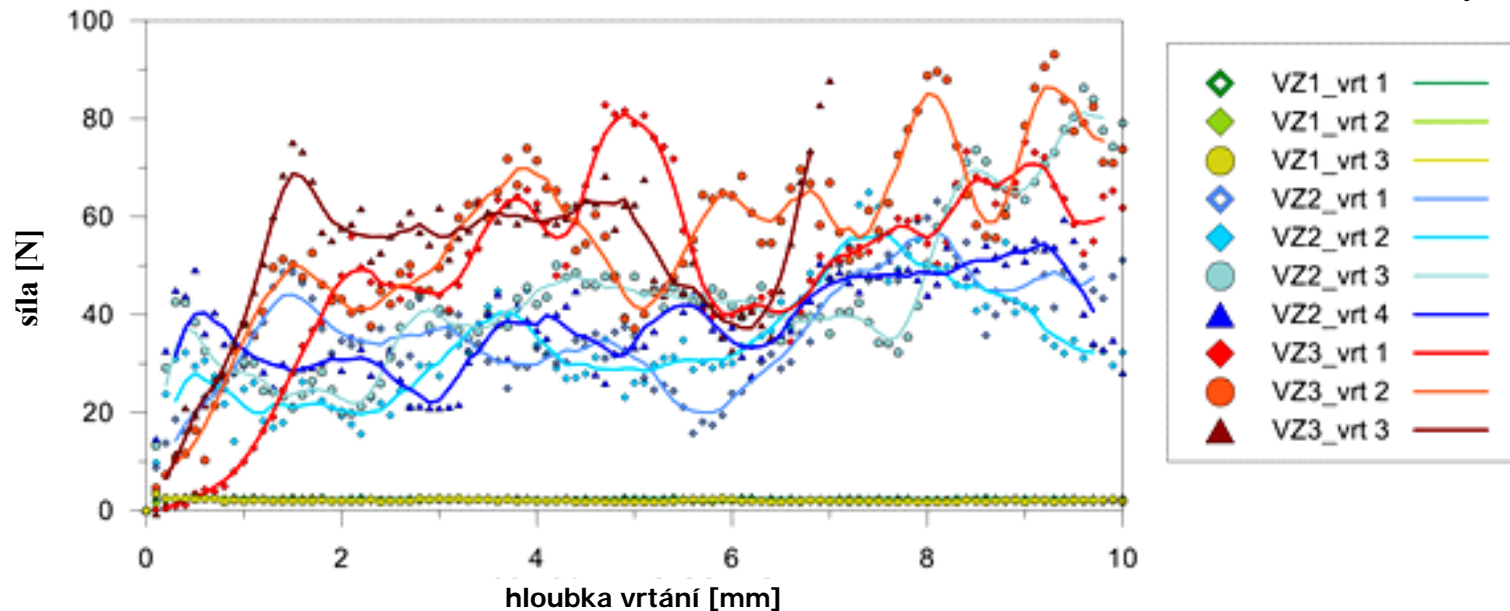


Obr.4 Naměřené hodnoty výšky odrazu Schmidtova kladívka typu N na vybraných plochách, stupeň zvětrání označen I – V



**Obr.5** Zařízení pro měření vrtného odporu DRSM-Cordless, vpravo detail upevnění vzorku při laboratorním měření (foto: Lednická)

Naší myšlenkou bylo otestování této metody pro hodnocení zvětvování horninového masivu v Dole Jeroným. V letošním roce bylo v rámci projektu ICT zakoupeno zařízení pro měření vrtného odporu hornin DRMS-Cordless (Drilling Resistance Measurement System), které bylo vyvinuto italskou firmou SINT (<http://www.sint-technology.com>) – obr. 5. Princip měření spočívá ve vrtání tenkých vrtů do zkoumaného materiálu, přičemž systém umožňuje kontinuální měření síly potřebné k udržení konstantní rychlosti posunu vrtáku za konstantních otáček vrtání. Tato síla se nazývá vrtný odpor. Otáčky vrtání a rychlost posunu vrtáku jsou volitelné a nastavují se podle zkoumaného materiálu. V závislosti na změně vlastností materiálu se mění hodnota měřené síly. Menší síla odpovídá



**Obr.6** Průběh síly při měření vrtného odporu pro vybrané vzorky v laboratorních podmínkách; měřenými hodnotami jsou proloženy křivky klouzavých průměrů

narušeným částem materiálu, materiálu s dutinami, trhlinami, zvětranými částmi, apod. Se zařízením DRMS se dodávají vrtáky o průměru 3 a 5 mm, které mají speciálně upravené zakončení pokryté vrstvičkou polykrystalického diamantu.

Výrobce udává tyto základní parametry systému DRMS – měřená síla (1 – 100 N), rychlost otáček (20 – 1000 ot.min<sup>-1</sup>), rychlost posunu vrtáku (0 – 80 mm.min<sup>-1</sup>) a hloubkový dosah vrtání (0 – 50 mm), přičemž poslední tři jmenované se nastavují v příslušném programu po propojení vrtacího zařízení s notebookem. Měření je možné průběžně sledovat v notebooku a naměřená data uložit v digitální formě do souboru spolu se všemi nastavenými parametry; později je možné s naměřenými daty dále pracovat.

Nedílnou součástí procesu vrtání je oprava naměřených hodnot na opotřebením vrtáku. K tomuto se používají kontrolní měření na referenčním vzorku, který je tvořen zpravidla homogenním, relativně snadno vrtatelným materiálem, např. keramikou. Příklad metody opravy naměřených hodnot na opotřebením vrtáku je popsán v článku (Rodrigues a Costa, 2004).

#### 4.1 Výsledky měření

System DRMS byl prozatím používán především v laboratorních podmínkách a zkušební měření byla provedena na řadě vzorků různých typů hornin, např. sádrovec, pískovec, granit, referenční keramický materiál. Bylo provedeno také první testovací měření v důlním díle, avšak měření vrtného odporu v důlních podmínkách je komplikovanější především na obsluhu přístroje a proto je potřeba ještě provést řadu dalších měření a stanovit vhodnou metodiku měření.

Na obr. 6 jsou vybrány výsledky provedených laboratorních měření za použití diamantového vrtáku (PKD) o průměru 5 mm. Všechna představená měření probíhala za stejného nastavení parametrů vrtání, tj. rychlost otáček 900 ot.min<sup>-1</sup>, rychlost posunu 5 mm.min<sup>-1</sup>

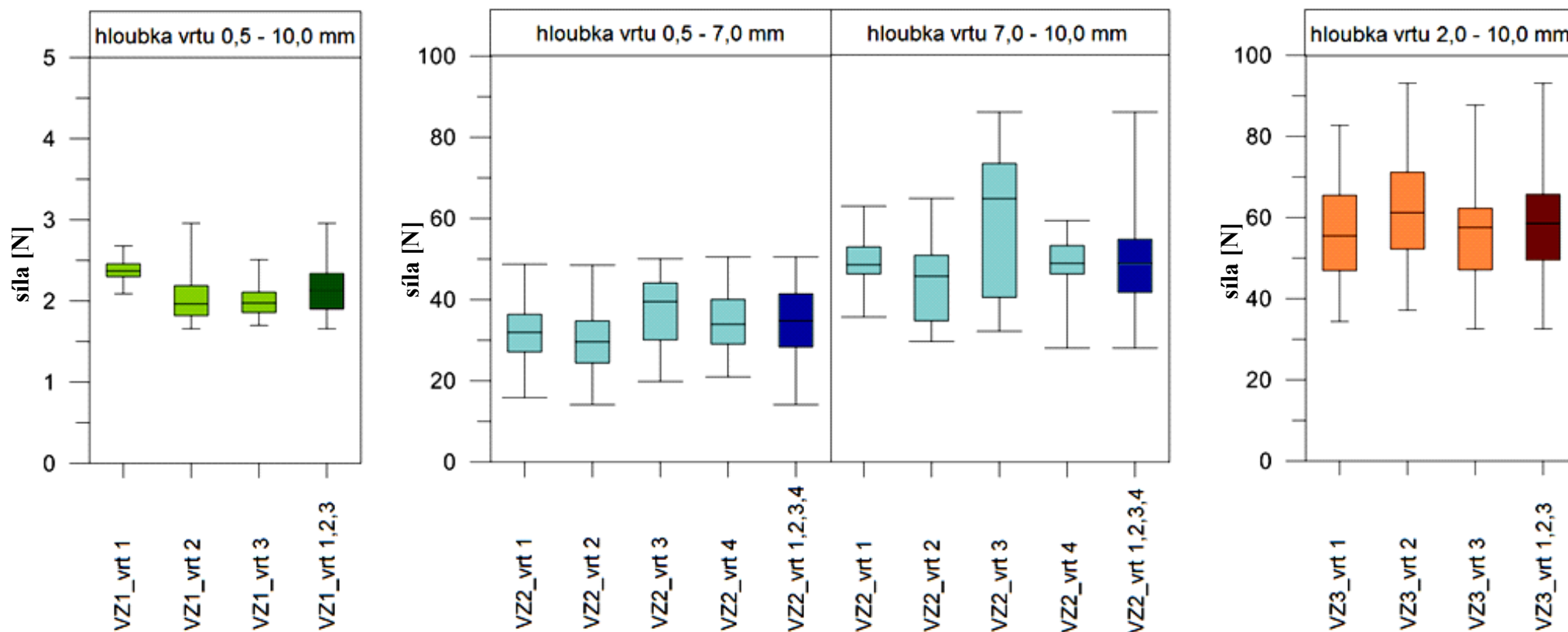


*Obr. 7 Odvrtaný vzorek VZ2 zvětrané žuly z lokality Dolu Jeroným*

a hloubka vrtání 10 mm. Jedná se o hodnoty naměřených sil pro vzorek sádrovce (VZ1) a dva vzorky žuly z lokality Dolu Jeroným (VZ2 a VZ3). Vzorek VZ3 (stupeň zvětrání II-III) pochází z vrtného jádra odebraného v jedné z komor (Lednická et al., 2011) a vzorek VZ2 (stupeň zvětrání IV-V) pochází z části silně zvětrané stěny jedné z chodeb na štolovém patře. Všechny vzorky byly v době laboratorního měření suché. Do vzorku VZ1 a VZ2 byly vyvrtány postupně čtyři vrty, do vzorku VZ3 tři vrty (obr. 7). Při vrtání třetího vrtu ve vzorku VZ3 došlo v hloubce 7 mm k překročení maximální přípustné síly 100 N a měření bylo automaticky ukončeno ještě před dosažením nastavené hloubky 10 mm. Vrták patrně navrtal křemenné zrno.

Měření vrtného odporu do hloubky obvykle vykazuje kolísání měřené síly kolem mediánu. Tento rozptyl lze přičíst v horninách nehomogenitě, tj. různým sedimentačním vrstvám,

různé zrnitosti a odolnosti, abrazivité, přítomnosti mikro-a makro-trhlin apod. Pro zhodnocení naměřených hodnot jsme zvolili následující postup. Z hodnot zobrazujících průběh naměřené síly v závislosti na hloubce vrtání se odstranila ta část dat, která odpovídala zavrtávání vrtáku do materiálu. U vzorků VZ1 a VZ2 se jedná o data z hloubky 0 až 0,5 mm, u vzorku VZ3 se jedná o data z hloubky 0 až 2,0 mm. Pro zbylou část dat z každého vrtu byla dopočítána hodnota mediánu, horní a dolní kvartil a maximální a minimální hodnota. Výsledky jsou zobrazeny v krabicových grafech na obr. 8, a to jak pro jednotlivé vrty, tak i pro soubor všech vrtů z daného horninového vzorku. Výsledný vrtný odpor je reprezentován hodnotou vypočítaného mediánu.



**Obr.8** Přehled naměřených hodnot vrtného odporu pro vybrané vzorky

U vzorku sádrovce jsou měřené hodnoty síly u všech čtyř vrtů totožné a s hloubkou návrtu se nemění. Vrtný odpor má hodnotu 2,1 N, rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou lehce přesahuje 1 N. U vzorků žuly je již na první pohled vidět, že rozptýl hodnot měřené síly je mnohem větší. Je to dáno složením horniny z různých minerálů o různých vlastnostech, přičemž každý minerál vykazuje jiný vrtný odpor. U vzorku VZ2 navíc dochází v hloubce 7 mm na všech křivkách k nepatrnému nárůstu měřené síly. Proto byla data z VZ2 rozdělena do dvou částí a ty byly vyhodnoceny zvlášť. Pro hloubku vrtání 0,5 až 7,0 mm vychází vrtný odpor 34 N, a pro hloubku 7,0 až

10 mm vychází vrtný odpor 49 N. Takovýto průběh může odpovídat většímu porušení zkoumaného horninového materiálu do hloubky 7 mm od povrchu. U vzorku VZ3 vychází vrtný odpor 58 N, rozptyl hodnot je opět vyšší.

## 5 Závěr

V příspěvku jsou představeny výsledky experimentálního zkoumání stupně zvětrání horninového masivu pomocí vybraných metod měření. Na příkladu historického důlního díla, ve kterém lze používat pouze nedestruktivní metody testování bez možnosti systematického odběru horninových vzorků, byla použita metoda ultrazvukového prozařování masivu, stanovení odrazu Schmidtova kladívka a měření vrtného odporu pomocí systému DRMS-Cordless. Vybrané plochy masivu v důlním díle Jeroným byly vizuálně zatříděny podle převzaté klasifikace (Hencher a Martin) a na těchto plochách byla provedena ultrazvuková měření a měření Schmidtovým kladívkem. Změřené rychlosti šíření ultrazvukových vln se pohybují od hodnoty  $5300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  pro téměř zdravou horninu až po hodnotu  $2500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  pro zcela zvětranou horninu. Nově byla v dole použita ultrazvuková aparatura Pundit Lab<sup>+</sup>, jejíž programové vybavení Punditlik umožňuje následné zpracování naměřených hodnot a též analýzu vlnového obrazu. Tím bylo dosaženo zpřesnění měřených hodnot rychlostí především ve zvětraných částech masivu. Hodnoty odrazu Schmidtova kladívka typu N byly proměřeny pro stejný soubor ploch a tyto hodnoty se pohybují od 60 jednotek pro téměř zdravou horninu až po 10 jednotek pro horninu silně zvětranou. Byla prokázána závislost rychlosti šíření ultrazvukových vln a hodnot odrazu Schmidtova kladívka na stanoveném stupni zvětrání horniny, přičemž hodnoty rychlosti a hodnoty odrazu klesají se vzrůstajícím stupněm zvětrání.

Měření vrtného odporu bylo doposud testováno v laboratoři na vzorcích žuly odebraných z Dolu Jeroným. Hodnoty vrtného odporu byly zatím měřeny pouze pro dané nastavené parametry vrtání u dvou vybraných vzorků s různým stupněm zvětrání. Výsledky ukázaly, že hodnota vrtného odporu klesá se vzrůstajícím stupněm zvětrání, avšak pro malý počet provedených měření nelze výsledek podrobněji interpretovat.

Z výsledků vyplývá, že představené metody nedestruktivního zkoumání stavu masivu jsou použitelné také v historickém důlním díle. Lze jimi získat dodatečné informace, které umožňují zpřesnit stupeň zvětrání hornin pro komplexní posuzování stability a numerické modelování.

## Poděkování

*Příspěvek byl zpracován za finanční podpory GAČR, projekt č. 105/09/0089 „Prognóza časoprostorových změn stability důlních prostor technické památky Důl Jeroným v Čisté“ a v rámci projektu ICT CZ.1.05/2.1.00/03.0082 (Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin) financovaného Evropskou unií a z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.*

## Literatura

- AYDIN, A. ISRM Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: Revised version. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2009, vol. 46, no. 3, s. 627–634.
- AYDIN, A., BASU, A. The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering Geology*, 2005, vol. 81, no. 1, s. 1–14.
- BASU, A., CELESTINO, T. B. AND BORTOLUCCI, A. A. Evaluation of rock mechanical behaviors under uniaxial compression with reference to assessed weathering grades. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2009, vol. 42, no. 1, s. 73-93.
- BERAN, P., JANGL, L., MAJER, J., SUČEK, P., OTFRIED, W. *1000 let hornictví cínu ve Slavkovském lese*, 1. vyd. Okresní muzeum Sokolov, 1995, 195 s.
- FELICETTI, R. The drilling-resistance test for the assessment of the thermal damage in concrete. *In the Proceedings of the Workshop, Fire Design of Concrete Structures: What now? What next?* Brescia (Italy): Starrylink, 2005, s. 241 – 248.
- GUPTA, A. S., SESHAGIRI RAO, K. Index properties of weathered rocks: inter-relationships and applicability. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1998, vol. 57, no. 2, 161-172.
- KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M.: 2011, Seismic loading of medieval Jeroným Mine during West Bohemia swarm in 2008. In: IDZIAK, A.F., DUBIEL, R. (Eds): *Geophysics in Mining and Environmental Protection. Ser. Geoplanet: Earth and Planetary Science*, Vol. 2, 2011, s. 21-29.
- KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., KOŘÍNEK, R., ŽŮREK, P. Cultural monument Jeroným Mine, Czech Republic – Contribution to the geomechanical stability assessment. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, 2006, M-29(395), s. 137-146.
- KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., KOŘÍNEK, R., KUKUTSCH, R., LEDNICKÁ, M., ŽŮREK, P. Contribution to experimental geomechanical and seismological measurement in the Jeroným mine. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 2008, vol. 5, no. 2 (150), s. 213-223.
- KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., LEDNICKÁ, M. Seismic loading of underground bridge above medieval mine. *Proceedings of the 11th International Conference Underground Constructions Prague*, 2010, Czech Tunelling Association ITA/AITES, s. 619-625.
- KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M., KNEJZLÍK, J. Měření a analýza vibrací v Dole Jeroným. *EGRSE - International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*, 2011, vol. 18, no. 1, s. 50-61.
- KNEJZLÍK, J., KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M., STAŠ, L. Investigation of the medieval Jeroným Mine stability: Present results from a distributed measurement network. In: IDZIAK, A.F., DUBIEL, R. (Eds): *Geophysics in Mining and Environmental Protection. Ser. Geoplanet: Earth and Planetary Science*, Vol. 2, 2011, s. 59-70.
- LEDNICKÁ, M. *Využití ultrazvukového měření pro hodnocení degradace horninového materiálu*. Disertační práce, VŠB – TU Ostrava a Ústav geoniky AVČR, v.v.i., 2009. 95 s.
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z.: Evaluation of granite weathering in the Jeroným Mine using non-destructive methods. *Acta Geodyn. Geomater.*, 2012, Vol. 9, No. 2(166), s. 211-220.
- 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., KONEČNÝ, P. Laboratorní studium horninových vzorků ze středověkého Dolu Jeroným. *EGRSE - International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*, 2011, vol. 18, no. 1, s. 99-108.
- LEHRBERGER, G., GILLHUBER, S. *Teplá – Trachyt*. 1st edition, München, Technische Universität München, 2007, 264 s.
- MURÍNOVÁ, T. Efektivní aplikace nedestruktivních diagnostických metod pro hodnocení dřevěných konstrukcí. *In the Ph.D. Workshop 2012 Proceedings*, Ostrava: Ústav geoniky, AVČR, v.v.i., 2012, s. 38 – 43.
- NOVÁKOVÁ, L., SOSNA, K., BROŽ, M., NAJSER, J., NOVÁK, P. Geomechanical parameters of the Podlesí granites and their relationship to seismic velocities. *Acta Geodyn. Geomater.*, 2011, vol. 8, no. 3, s. 353 – 369.

- OLONA, J., PULGAR, J. A., FERNÁNDEZ-VIEJO, G., LÓPEZ-FERNÁNDEZ, C., GONZÁLEZ-CORTINA, J. M. Weathering variations in a granitic massif and related geotechnical properties through seismic and electrical resistivity methods. *Near Surface Geophysics*, 2010, vol. 8, no. 6, s. 585 - 599.
- PAMPLONA, M., KOCHER, M., SNETHLAGE, R., BARROS, L.A. Drilling resistance: Overview and outlook. *Z. dt. Ges. Geowiss.* 2007, vol. 158/3, s. 665 – 676.
- RODRIGUES, J.D., COSTA, D. A new method for data correction in drill resistance tests for the effect of drill bit wear. *International Journal for Restoration*, 2004, vol. 10, no. 3, s. 1 – 18.
- RODRIGUES, J.D., PINTO, A.F., COSTA, D. R. Tracing of decay profiles and evaluation of stone treatments by means of microdrilling techniques. *Journal of Cultural Heritage*, 2002, vol. 3, no. 2, s. 117 – 125.
- SIEDEL, H., PFEFFERKORN, S., PLEHWE-LEISEN, E., LEISEN, H. Sandstone weathering in tropical climate: Results of low-destructive investigations at the temple of Angkor Wat, Cambodia. *Engineering Geology*, 2010, vol. 115, no. 3-4, s. 182 – 192.
- VASCONCELOS, G., LOURENCO, P. B., ALVES, C. S., A. AND PAMPLONA, J. Prediction of the mechanical properties of granites by ultrasonic pulse velocity and Schmidt hammer hardness. *North American Masonry Conference*, June 3-6 2007, St. Louis, Missouri, s. 980–991.
- VAHED, G., HUSAINI, O., BUJANG, K. H. A study of the weathering of the Seremban granite. *EJGE, Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2009, vol. 14, bundle D, s. 1-9.
- VASCONCELOS, G., LOURENCO, P. B., ALVES, C. A., S. AND PAMPLONA, J.: Ultrasonic evaluation of the physical and mechanical properties of granites. *Ultrasonics*, 2008, vol. 48, no. 5, s. 453 - 466.
- VAVRO, M., ŽÍDEK, L., VAVRO, L. Semidestruktivní stanovení pevnosti stavebního a dekoračního kamene na základě parametrů jeho vrtatelnosti. *In the Sborník k závěrečné konferenci projektu "Přeshraniční spolupráce vysokých škol v oblasti péče o kulturní památky a využití opuštěných průmyslových objektů"*, Ostrava: VŠB-TUO, 2011, s. 36 – 40.
- ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, R., KALÁB, Z., HRUBEŠOVÁ, E., KNEJZLÍK, J., DANĚK, T., KUKUTSCH, R., MICHALÍK, P., LEDNICKÁ, M., RAMBOUSKÝ, Z. *Historický Důl Jeroným v Čistě*. Monografie, VŠB – Technická univerzita Ostrava a Ústav geoniky AVČR, v.v.i. Ostrava, 2008, 82 s., ISBN 978-80-248-1757-6.

---

#### Autoři

<sup>1</sup> Ing. Markéta Lednická, Ph.D. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, lednicka@ugn.cas.cz

<sup>2</sup> prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, kalab@ugn.cas.cz