

OVĚŘENÍ POUŽITELNOSTI PŘÍSTROJŮ PRO TESTOVÁNÍ BETONU PŘI HODNOCENÍ STAVU HORNINOVÝCH VRTNÝCH JADER ZE STŘEDOVĚKÉHO DOLU JERONÝM

Markéta Lednická¹

Abstract

Ultrasonic testing methods belong to nondestructive measurements with a wide variety of tools and methodologies. This contribution describes ultrasonic measurement on two drill cores from medieval Jeroným mine. Portable instrumentations TICO and PUNDIT plus were used for this experimental measurement in laboratory conditions. These apparatuses are developed for concrete testing. According obtained results, ultrasonic measurement is possible to use for evaluation of rock massif conditions, especially for quick and simple delimitation of faulted zones, for detecting anisotropy and fissure existence.

Abstrakt

Ultrazvuková měření patří mezi nedestruktivní metody zkoušení materiálů, přičemž jsou používány různé aparatury i metody měření. Tento příspěvek popisuje ultrazvukové měření na dvou vrtných jádrech ze středověkého dolu Jeroným. Pro laboratorní měření na jádrech byly použity přenosné ultrazvukové aparatury TICO a PUNDIT plus, které jsou výrobcem určeny pro zkoušení betonu. Z dosažených výsledků plyne, že ultrazvuková měření pomocí těchto přenosných aparatur lze použít pro hodnocení stavu horninového materiálu, především pro orientační a jednoduché vymezení porušených zón, pro detekci trhlin a zjišťování anizotropie.

Klíčová slova

nedestruktivní metody, ultrazvukové měření, vymezení porušených zón, detekce trhlin, anizotropie

1. Úvod

Podzemní konstrukce a důlní díla musí být během jejich životnosti řádně zabezpečeny z hlediska jejich stability. Geotechnický monitoring poskytuje nezbytné informace pro vypracování hodnocení stabilitních podmínek a přípravu matematického modelu pro napětí-deformační analýzu vybraných podzemních konstrukcí jako celku nebo jejich částí. Řešení monitoringu bývá v běžných podzemních konstrukcích rutinní záležitostí. Jiný přístup vyžadují konstrukce s extrémními podmínkami, např. prostředí s nebezpečím výbuchu, a též objekty historické. Důl Jeroným v Čisté, oblast Slavkovského lesa, okres Sokolov, je unikátní památkou hornické kultury od 15. až 16. století (např. Iványi, 2000, Suček a Tomíček, 2007). Důl byl v roce 2008 prohlášen „Národní kulturní památkou České republiky“. Tato památka doplňuje fond evropských montánních památek zejména v oblasti těžby a zpracování cínu za období druhé poloviny 16. století v části Starých důlních děl a za období téměř přes 400 let průzkumu a těžby v části Opuštěných důlních děl.

V Dole Jeroným lze na řadě míst pozorovat kombinaci rozpuštění masivu v povrchové vrstvě (degradace v důsledku převážně fyzikálních změn) a rozkládání horninových minerálů (degradace v důsledku převážně chemických změn). Na základě vizuální prohlídky povrchových vrstev hodnoceného masivu přímo v prostorách dolu byly dle EN ISO 14689–1 stanoveny kategorie zdravý masiv, masiv mírně zvětralý s přítomností malých puklin na povrchu a masiv slabě až silně zvětralý s velkým množstvím puklin nebo rozrušitelný rukou. Kategorie silně zvětraleho masivu se nachází nejčastěji v prostorách dobývaných pravděpodobně během druhé světové války pomocí trhacích prací a v místech blízko povrchu (hloubky okolo 10 – 15 m), kde jsou četné závaly a propady, které umožňují průsak dešťových vod a jejich přítok do důlního díla. Naopak u nejstarších ručních dobývek lze horninový masiv často zařadit do kategorie zdravý masiv. Tyto kategorie však nejsou vždy vizuálně stanovitelné, a proto je třeba ke zhodnocení stavu horninového masivu přistoupit i jiným způsobem. V tomto dole není možné realizovat destruktivní zkoušení horninového materiálu, neboť veškeré práce musí být prováděny bez poškození historických prostor. Toto je také základní požadavek na realizaci současného geomechanického monitoringu (např. Kaláb et al., 2006, 2008, Žůrek et al., 2008).

Nedestruktivních metod pro testování materiálů a prostředí se v geofyzice a geotechnice používá celá řada (např. McDowell et al., 2002, Barton, 2007). Do této skupiny patří také ultrazvuková měření, přičemž se dají v závislosti na použitém přístrojovém vybavení využít jak v terénních, tak v laboratorních podmínkách. Příspěvek dokumentuje ověření použitelnosti jednoduchých přístrojů pro testování betonu pro ultrazvukové prozařování horninového materiálu. Laboratorní testy byly realizovány na jádrech z vrtů z historických prostor dolu. V současné době se jedná o jediný odebraný horninový materiál z nejstarších částí Dolu Jeroným, který je k dispozici pro stanovení materiálových charakteristik. Ucelenější popis provedených laboratorních i terénních měření je uveden např. v Lednická 2009.

2. Lokalita odběru horninového materiálu

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 utuhlém 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.

Hlubinné dobývání cíno-wolframové rudy na lokalitě Dolu Jeroným započalo pravděpodobně v první polovině 16. století (příklad historického ručního dobývání je na obr. 1), 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 současné době Důl Jeroným pomalu prochází postupnou rekonstrukcí a připravuje se jeho zpřístupnění veřejnosti (Žůrek a Kořínek, 2003).

V jedné z největších a nejstarších komor, dnes přístupné svislou fárací jámou Jeroným, byly pro geomechanická měření vyvrtány v hloubce cca 25 m pod povrchem dva vodorovné vrty. Vrt u ústí fárací jámy do komory byl vyvrtán v místě zdravého horninového masivu s pozůstatky ruční dobývky. Druhý vrt byl vyvrtán v téže komoře u ústí chodby spojující horní a štolové patro. Horninový masiv v místě druhého vrtu byl do hloubky 10 cm značně rozpukaný. Získaný horninový materiál byl použit pro řadu laboratorních testů, mj. ověření použitelnosti přístrojů pro testování betonu při hodnocení stavu hornin. Ultrazvuková měření umožnila vybrat z vrtných jader reprezentativní vzorky pro další laboratorní zkoušení.

Laboratorní výsledky umožnily následně provést a vyhodnotit i řadu terénních ultrazvukových měření (Lednická 2009).

3. Metodika měření

Pro ultrazvukové prozařování vrtných jader byla použita ultrazvuková impulsová metoda. Ultrazvukové impulzy jsou opakovaně vysílány do zkoušeného materiálu a následně registrovány, přičemž se měří čas šíření těchto impulzů. Ze znalosti délky dráhy, po které se impulz šíří, můžeme dopočítat rychlost šíření ultrazvukových vln. U homogenních materiálů je rychlost stanovena přesně.

Horniny jsou však natolik nehomogenní materiál, že nelze jednoznačně určit dráhu procházející ultrazvukové vlny mezi vysílací a přijímací sondou. Pokud měříme čas průchodu ultrazvukové vlny mezi dvěma body, vyhodnocen je vždy nejkratší čas, přičemž nemusí jít o šíření vlny po co nejkratší dráze, ale po dráze, která umožňuje nejrychlejší průběh (puklina vyhojená minerálem s vyšší ultrazvukovou rychlostí než okolní hornina, atd.). Při vyhodnocování ultrazvukových měření v horninovém masivu je počítána ultrazvuková rychlost v (dále používán termín rychlost).

$$v = d/t, \quad (1)$$

kde je d ...vzdálenost mezi vysílacím a přijímacím senzorem [m],

t ...doba průchodu ultrazvukové vlny mezi vysílacím a přijímacím senzorem [s].

Metodika měření na vrtném jádře vycházela z předem stanoveného cíle – zjistit změny rychlostí podél vrtných jader. Proto nebyla analyzována absolutní přesnost měřené hodnoty, ale její změna. Přesnost stanovení rychlosti v laboratorních podmínkách byla 50 m/s. Důležitou částí měření bylo zajištění dokonalého styku měřících sond s povrchem horniny pro přenos ultrazvukových vln.



Obr. 1: Příklad ručního dobývání na stěnách komor Dolu Jeroným

Při kontaktu sondy s povrchem prozařovaného materiálu vzniká malá vzduchová mezera, která zapříčiní značné zkreslení času průchodu ultrazvukových impulzů (vznik odrazů vln na rozhraní), případně šíření ultrazvukových vln ze sondy do horniny vůbec neumožní. Při ultrazvukovém měření v laboratoři na opracovaných vzorcích s rovným povrchem lze využít vázací pastu (akustický vazebný prostředek, bývá součástí aparaturního vybavení). Při měření na hrubě opracovaném povrchu horniny nelze tuto vázací pastu použít z důvodu její nevhodné konzistence, proto byly vyzkoušeny další akustické vazebné prostředky – např. plastelína, silikon, Indulona, apod.

Pro zmenšení dotykové plochy mezi sondou a horninou byly použity kuželové nástavce z nerezové oceli, které mají na širší straně stejný průměr jako měřicí sondy aparatury – 50 mm a na druhé straně průměr pouze 10 mm (obr. 2). To umožnilo především efektivnější měření na nerovných horninových plochách při terénním měření a v laboratoři též zmenšení kroku měření při přímém prozařování podél jádra.

Tyto nástavce musí být zhotoveny tak, aby výrazně netlumily ultrazvukový signál nebo neovlivňovaly významně rezonanční frekvenci ultrazvukových měničů (rozladění systému). Vlastnosti nástavců byly ověřeny při laboratorním měření na kalibračním válečku. Měřené hodnoty času průchodu ultrazvukových vln je třeba při použití nástavců opravovat o čas průchodu vln nástavci, což se dá laboratorně velmi přesně změřit.



Obr. 2: Kuželové nástavce připevněné na měřicích sondách

4. Použité aparatury

Pro měření na jádře vrtu 1 byla použita přenosná měřicí aparatura **TICO firmy Proceq** (Švýcarsko), která je určena ke zkoušení betonu (detekce dutin, trhlin, zjišťování pevnosti betonu, modulu pružnosti, stejnoměrnosti zhutnění, apod.). Aparatura se skládá z vlastního indikačního přístroje a vysílače a přijímače ultrazvukových impulzů (obr. 3). Indikační přístroj je snadno ovladatelný, průběhový čas a další parametry jsou zobrazovány na digitálním displeji, k uložení naměřených dat slouží paměť přístroje (až 250 hodnot), které lze následně přenést na PC. Pro kalibraci přístroje je k dispozici kalibrační tyč (kovový váleček dané délky s přesně definovaným časem průchodu ultrazvukových vln). Napájení přístroje zajišťují tužkové baterie. Technické parametry aparatury TICO: rozsah měření 15 až 6550 μ s; rozlišení 0,1 μ s; velikost napěťového impulsu 1 kV (při třech impulzech za sekundu); teplotní rozsah pro měření -10°C až + 60°C ; frekvence vysílacího a přijímacího senzoru 54 kHz.

Pro měření na jádře vrtu 2 byla využita další přenosná ultrazvuková měřicí aparatura **PUNDIT plus firmy Mastrad** z Velké Británie (obr. 3). Tato aparatura umožňuje oproti aparatuře TICO kromě jiného měnit velikost napěťového impulsu (250 V; 500 V a 1200 V) a dále umožňuje tři způsoby generování výstupního signálu (kontinuální, zpožděný s nastavitelnou periodou opakování vysílaného impulsu a jednorázový). Napájení přístroje zajišťuje dobíjecí baterie. Opět nechybí záznam měřených parametrů do vnitřní paměti s možností následného přenosu do PC. Frekvence vysílacího a přijímacího senzoru je stejná jako u předešlé aparatury, tj. 54 kHz.

Měření na kalibračním válečku a vybraném vzorku jádra prokázalo, že výsledky odečetů časů průchodu ultrazvukových vln z obou aparatur jsou stejné. Jak již bylo výše zmíněno, měřicí aparatury TICO a PUNDIT plus jsou výrobci určeny pro ultrazvukovou impulsovou metodu na zkoušení betonu. V našem případě je tato metoda aplikována na jiný materiál – horninu. Z tohoto důvodu je jediným sledovaným parametrem doba průchodu ultrazvukové vlny, přičemž ze znalosti vzdálenosti středů vysílače a přijímače je počítána rychlost, viz vztah (1). Ostatní materiálové parametry, které jsou firemním softwarem vypočítány pro betony, nejsou uvažovány.



Obr. 3: Vlevo ultrazvukový přístroj TICO se zvukovými sondami 54kHz (Proseq, Švýcarsko); vpravo ultrazvukový přístroj PUNDIT plus se zvukovými sondami 54kHz (Mastrad, Velká Británie)

5. Vrtné jádro

Dva cca 3 metry dlouhé vodorovné vrty byly vyvrtány za účelem instalace kuželových sond pro kontinuální měření změn napjatosti masivu (Knejzlík a Rambouský, 2008). Obrázek 4 ukazuje vrtná jádra těsně po odvrtání a pohled do vrtů. Je vidět, že vrtná jádra jsou místy značně narušená systémem puklin různého charakteru. To mj. umožnilo vzájemně naorientovat jednotlivé části jader (další orientace byla prováděna s využitím lomných ploch vzniklých při vrtání).



Obr. 4: Vrtná jádra a pohled do vrtu – vlevo vrt 1, vpravo vrt 2

5.1 Laboratorní měření na jádře z vrtu 1

Vrtné jádro z vrtu 1 (obr. 5) bylo proměřeno pomocí aparatury TICO. Průměr vrtného jádra byl 70 mm, délka přibližně 2,6 m. V první části jádra je hornina celistvá, místy prostoupená vyhojenými puklinami. V druhé části vrtu je jádro značně rozpukané, pukliny procházejí různými směry a některé se vzájemně kříží. V jednom místě došlo během vrtání ke ztrátě části jádra, odvrtávaná hornina se rozpadla na drť.

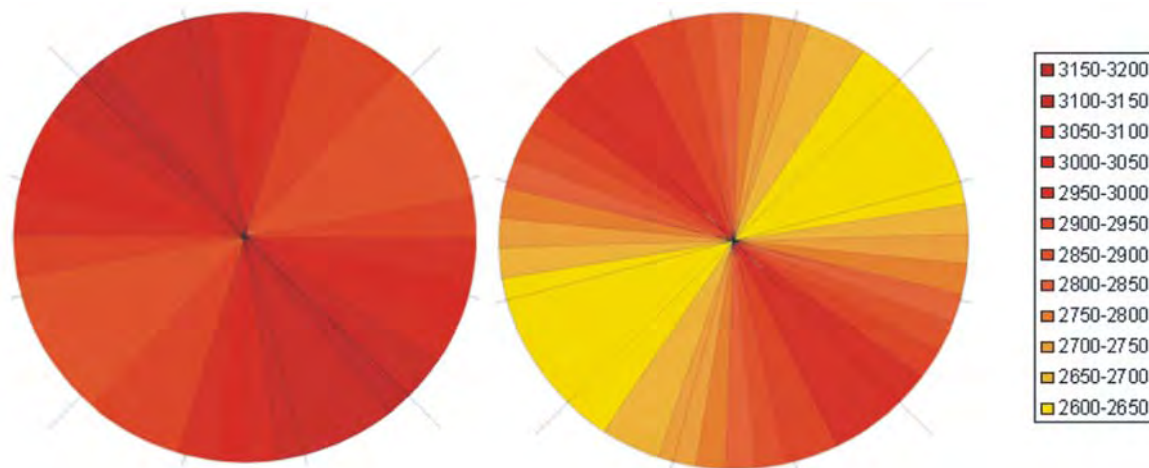


Obr. 5: Seskládané vrtné jádro vrtu 1 - začátek jádra je vlevo

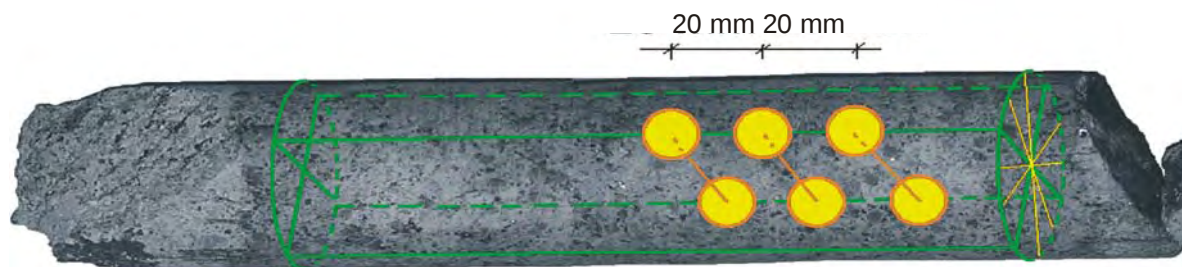
Měření se provádělo při protilehlé poloze sond – přímé měření, za použití Indulony jako akustického vazebného prostředku. Pro zlepšení přenosu signálu (rovná plocha sond vs. válcová plocha jádra) byly použity kovové kuželové nástavce. Na každém měřeném bodě bylo provedeno 10 měření, přičemž pro vyhodnocení rychlosti byl použit nejnižší naměřený čas (který představuje nejlepší kontakt nástavců a horniny). Při prvních měřeních na vrtném jádře se ukázalo, že hornina vykazuje určitou anizotropii v ploše kolmé na osu vrtu (dva příklady jsou na obr. 6). Maximální a minimální rychlosti se projevovaly nejčastěji ve směrech navzájem kolmých.

Na každé části jádra, kterou bylo možno proměřit, byly nejprve zjištěny na obou koncích směry maximálních a minimálních rychlostí (6 měřících míst po obvodu jádra), a poté bylo jádro proměřeno po celé délce ve dvou na sebe kolmých směrech odpovídajících zjištěným maximálním a minimálním rychlostem (schéma na obr. 7). Vzdálenost měřících míst při prozařování podél jádra byla 20 mm. Hodnoty rychlostí byly zpracovány do prostorového modelu pro názornější zobrazení výsledků měření (obr. 8), změna barevné škály odpovídá změnám rychlostí ultrazvukových vln.

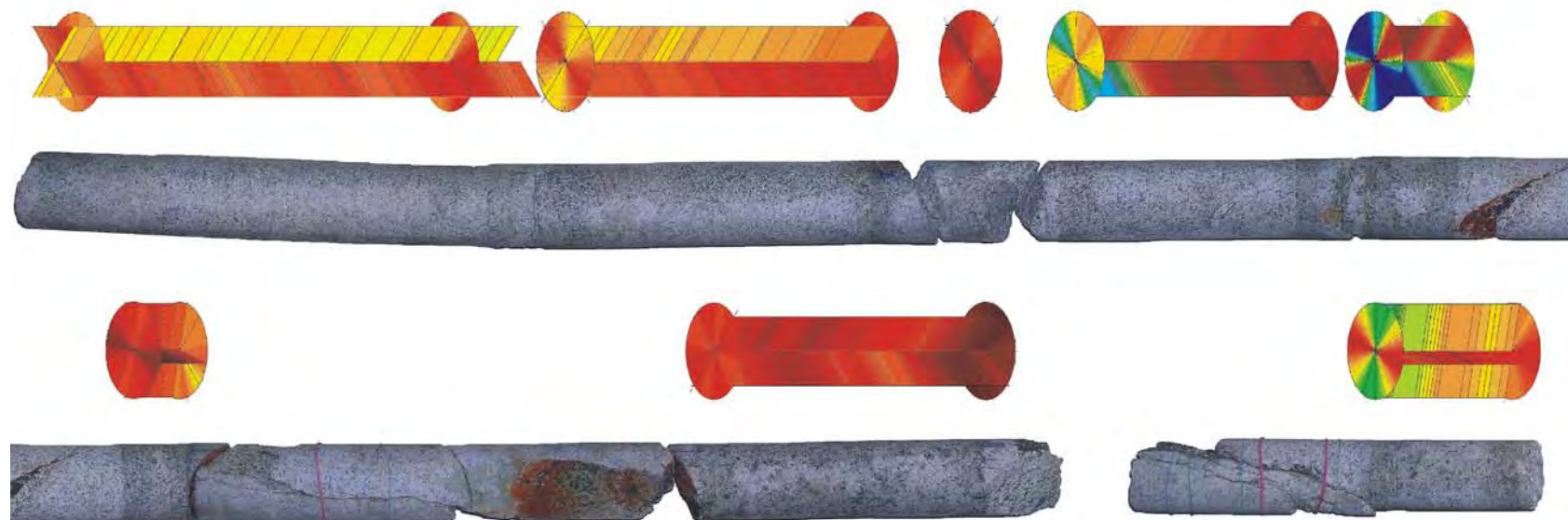
Hodnoty naměřených rychlostí u vrtného jádra vrtu 1 jsou v rozmezí 1500 – 3500 m/s, přičemž nižší hodnoty rychlostí odpovídají místům v okolí porušených zón. Velikosti rychlostí v neporušených částech jádra směrem do hloubky vrtu nepatrně narůstají. Na obr. 8 a 10 je pro vrt 1 vidět, že ve střední části jádra se směry maximálních a minimálních rychlostí mění, což je buď důsledek změny anizotropie, nebo přítomnost porušených zón.



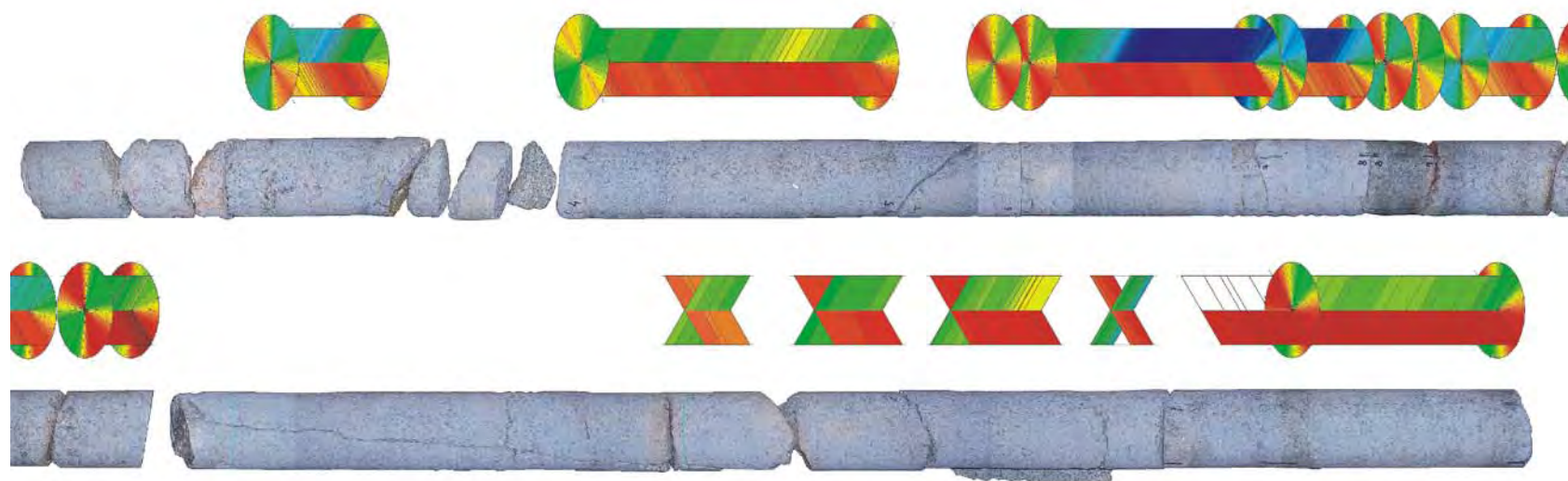
Obr. 6: Příklad rychlostí ultrazvukových vln naměřených po obvodu jádra (barevná škála zobrazuje rozsahy průběhových rychlostí ultrazvukových vln v m/s)



Obr. 7: Schema rozmístění měřících míst podél vrtného jádra

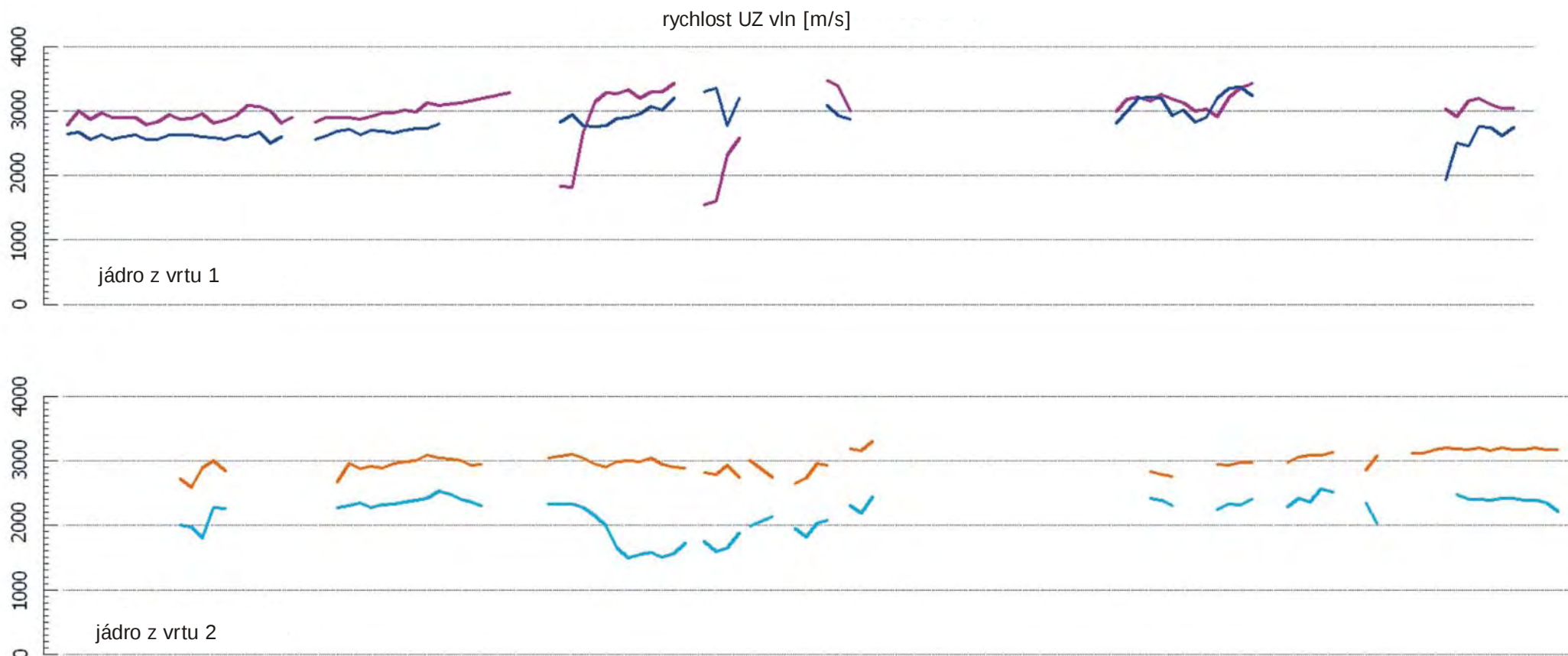


Obr. 8: Grafické znázornění rychlostí ultrazvukových vln podél vrtného jádra z vrtu 1.
Barevná škála zobrazuje rozsahy rychlostí ultrazvukových vln v m/s.



Obr. 9: Grafické znázornění rychlostí ultrazvukových vln podél vrtného jádra z vrtu 2.
Barevná škála zobrazuje rozsahy rychlostí ultrazvukových vln v m/s.

3450-3500	2400-2450
3400-3450	2350-2400
3350-3400	2300-2350
3300-3350	2250-2300
3250-3300	2200-2250
3200-3250	2150-2200
3150-3200	2100-2150
3100-3150	2050-2100
3050-3100	2000-2050
3000-3050	1950-2000
2950-3000	1900-1950
2900-2950	1850-1900
2850-2900	1800-1850
2800-2850	1750-1800
2750-2800	1700-1750
2700-2750	1650-1700
2650-2700	1600-1650
2600-2650	1550-1600
2550-2600	1500-1550
2500-2550	1450-1500
2450-2500	



Obr. 10: *Hodnoty rychlostí ultrazvukových vln (v m/s) podél vrtných jader z vrtu 1 a z vrtu 2 v prozařovaných směrech (růžová a oranžová barva odpovídá směru převládajících maximálních hodnot, světle a tmavě modrá barva odpovídá směru převládajících minimálních hodnot).*

5.2 Laboratorní měření na jádře z vrtu 2

Horninové jádro z vrtu 2 (obr. 11) bylo proměřeno pomocí aparatury PUNDIT plus. Průměr vrtného jádra byl opět 70 mm, délka přibližně 2,7 m. Až na zcela rozpuštěný začátek je většina první poloviny jádra celistvá, druhá polovina jádra je prostoupená několika puklinami příčnými a jednou podélnou puklinou, která prochází téměř celou druhou polovinou vrtného jádra.

Stejně jako u jádra vrtu 1 byly nejdříve na každém kuse jádra zjištěny směry maximálních a minimálních rychlostí a poté bylo jádro proměřeno po celé délce. Při měření byly použity opět kuželové nástavce pro zmenšení dotykových ploch, jako vazebný prostředek posloužila u celistvých částí jádra Indulona, u čtyř částí z míst procházející podélné pukliny byla k měření použita plastelína.



Obr. 11: Seskládané vrtné jádro vrtu 2 - začátek jádra je vlevo.

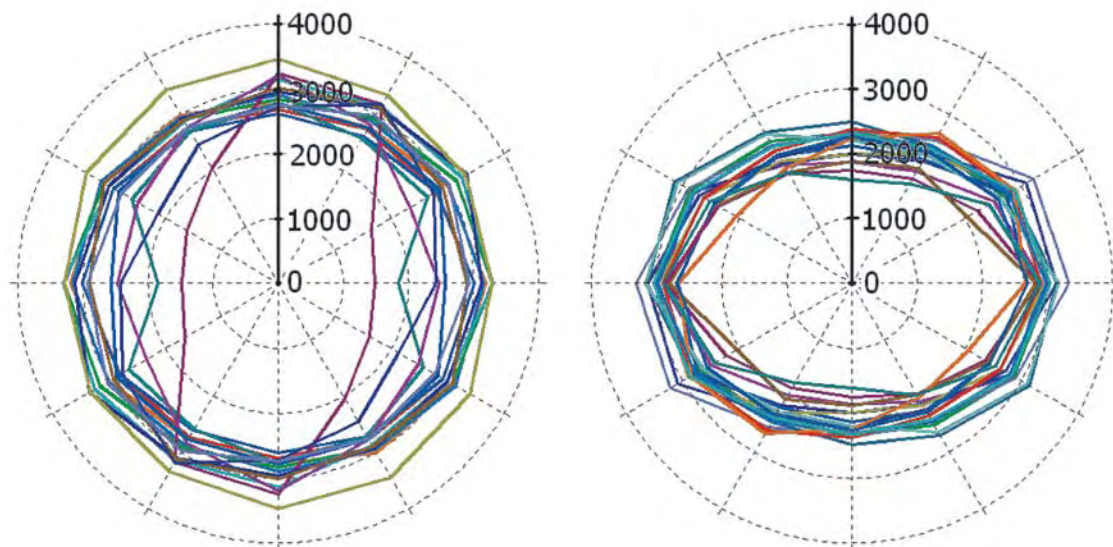
Hodnoty rychlostí u vrtného jádra vrtu 2 jsou v rozmezí 1500 – 3300 m/s. Směry maximálních a minimálních rychlostí (měřených ve směru kolmém na osu jádra) podél jádra se v proměřených částech nemění. S výjimkou úseku jádra komentovaného níže jsou hodnoty rychlostí podél jádra stabilní, nepatrně narůstají s hloubkou vrtu (obr. 9, 10, 12).

V okolí rozpukaných částí dochází opět k poklesu hodnot rychlostí, ovšem nejvýraznější pokles je naměřen v místě celistvého jádra v hloubce cca 1 – 1,2 m (měreno od začátku vrtného jádra), a to pouze ve směru minimálních rychlostí. Vrtné jádro je v těchto místech sice na povrchu hrbolaté (následek rezonance vrtné korunky), ale pokud by docházelo ke snížení rychlosti vlivem nerovností na povrchu jádra, muselo by se toto snížení projevit také ve směru maximálních rychlostí, k čemuž však nedochází. Proto je třeba toto místo považovat za místo s odlišnými fyzikálními vlastnostmi. Tato domněnka byla později potvrzena během přípravy vzorků z vybraných částí vrtného jádra, kdy došlo k destrukci horniny v místech nízkých rychlostí již během úpravy vzorků vrtáním.

6. Závěr

Pomocí nedestruktivní ultrazvukové impulsové metody byly laboratorně stanoveny hodnoty rychlostí ve vrtných jádrech pocházejících ze dvou vrtů z podzemních prostor historického Dolu Jeroným. Cílem úkolu bylo ověření použitelnosti jednoduché terénní ultrazvukové aparatury pro získání rychlé informace o změnách rychlostí. Provedená měření potvrdila použitelnost dvou terénních aparatur – TICO firmy Proceq a PUNDIT plus firmy Mastrad. Pro zlepšení kontaktu mezi měřicími sondami a povrchem horniny byly použity speciálně vyrobené kuželové kovové nástavce v kombinaci s vhodným akustickým vazebním prostředkem.

Na základě naměřených hodnot rychlostí ultrazvukových vln výše uvedenými aparaturami je možné detekovat podél jader oslabená místa v blízkosti rozpukaných částí a místa s odlišnými fyzikálními vlastnostmi, kde dochází k výraznému snížení rychlostí bez



Obr. 12: Hodnoty rychlostí v rovině kolmé na osu vrtu (vlevo je jádro z vrtu 1, vpravo jádro z vrtu 2). Rychlosti jsou uváděny v m/s, barvy představují kruhové měření po obvodu jádra v různých hloubkových úrovních.

zjevného výskytu trhlin nebo viditelných změn ve složení horninového materiálu. V rovině kolmé k ose vrtu vykazuje hornina u obou jader anizotropii, k výraznějším rozdílům rychlostí ve dvou na sebe kolmých směrech dochází u jádra z vrtu 2 (obr. 12).

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

Literatura

EN ISO 14689–1 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřídování hornin – Část 1: Pojmenování a popis.*

BARTON, N.: Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy. 1. st edition. London: *Taylor&Francis Group*, 2007. 721 p. ISBN 0–415-39441–4.

IVÁNYI, K.: Důl Jeroným – historie a možnost současného využívání. *Uhlí, Rudy, Geologický průzkum*, 2000, č. 11, s. 42–45. ISSN 1210–7697.

KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., KOŘÍNEK, R., KUKUTSCH, R., LEDNICKÁ, M., ŽŮREK, P.: Contribution to Experimental Geomechanical and Seismological Measurements in the Jeroným Mine. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 2008, vol. 5, no. 2(150), p. 213–223. ISSN 1214–9705.

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)*, 2006, p. 137–146. ISSN 0138–015X, ISBN-83-88765-67-1.

KNEJZLÍK, J., RAMBOUSKÝ, Z.: Recent Solution of the Distributed Control and Measurement System in the Jeroným Mine – Modular System. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 2008, vol. 5, no. 2(150), p. 205–212. ISSN 1214–9705.

LEDNICKÁ, M.: Využití ultrazvukového měření pro hodnocení degradace horninového materiálu – disertační práce. Ostrava: VŠB-TU Ostrava a Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., 2009. 95 s.

McDOWELL, P. W., ET AL.: *Geophysics in Engineering Investigations*. 1. st edition. London: Construction Industry Research and Information Association. 2002. 252 p. ISBN 0–86017-562–6.

SUČEK, P., TOMÍČEK, R.: *Důl Jeroným Čistá*. 1. vyd. Horní Slavkov: Nadace GA-RSL, 2007. 46 s.

ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, R.: Zpřístupnění středověkého Dolu Jeroným v České republice. *Acta Montanistica Slovaca*, 2003, roč. 8, č.2-3, s. 96–100. ISSN 1335–1788.

ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, R., KALÁB, Z., HRUBEŠOVÁ, E., KNEJZLÍK, J., DANĚK, T., KUKUTSCH, R., MICHALČÍK, P., LEDNICKÁ, M., RAMBOUSKÝ, Z.: Historický Důl Jeroným v Čistě. *Monografie*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava a Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., 2008. 82 s. ISBN 978–80-248–1757-6.

¹Autor:

Ing. Markéta Lednická, Ph.D. – 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, tel. 596 979 343, lednicka@ugn.cas.cz