

Autor: Ing. Radim Lex

URGP: Odborné články

RECENZE:
prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.

Analýza původních důlních děl a způsob výběru hlubinné dobývací metody ložiska vysokopro- centních vápenců Kamenný vrch

Abstrakt:

Hlavním cílem průzkumu je ověření možnosti hlubinné těžby vhodnými moderními dobývacími metodami a technologiemi pro těžbu vysokoprocentních vápenců na lokalitě Kamenný Vrch s minimálními dopady na životní prostředí.

Pro ložisko vysokoprocentních vápenců Kamenný Vrch byl proveden hydrogeologický a geologický průzkum

v letech 2015–2016, jehož cílem bylo zjistit kvalitu, uložení a stav zásob ložiska. Rovněž provedeno ověření těžby ložiska povrchovým způsobem, byl proveden přepočítání zásob ložiska, výpočet skrývkových a výklizových hmot a vytvořen model povrchové těžby otvirkou ložiska jámovým lomem.

Hlavním důvodem ověření hlubinných dobývacích metod je skutečnost, že v okolí ložiska Kamenný Vrch se nachází historická podzemní důlní díla, pomocí kterých se ložiska v okolí Mořiny těžila hlubinným způsobem do 50. let 20. století. Cílem je nalézt vhodnou dobývací metodu, která bude odpovídat geomechanickým parametrům horninového masivu a zároveň bude nejvíce šetrná k životnímu prostředí dané lokality, protože ložisko Kamenný Vrch se nachází v chráněné krajinné oblasti Český kras.

Pro vhodný výběr dobývací metody je však nesmírně důležité znát geotechnický stav důlního díla zejména jeho stabilitu pro využití těchto důlních děl pro moderní způsoby těžby hlubinným způsobem. Cílem projektu je ověření stability v minulosti používaných důlních chodeb pro přístup k ložisku Kamenný Vrch. Zároveň byla provedena podrobná geologická pasportizace důlních chodeb. Výsledky provedených měření budou následně sloužit k výběru vhodné dobývací metody.

Klíčová slova: geotechnický průzkum, hlubinná těžba vápenců, konvergenční měření, geomechanický monitoring, přídolské vápence, geologie ložiska, Schmidtovo kladívko, stabilita horninového masivu, metody hlubinné těžby.



ANALYSIS OF THE ORIGINAL MINING WORKS AND METHOD OF SELECTING THE DEEP MINING METHOD OF THE HIGH PERCENTAGE LIMESTONE KAMENNÝ VRCH

Abstract:

The main goal of the research is to examine the possibility of deep mining by suitable modern mining methods and technologies for the extraction of high percentage limestone in the Kamenný Vrch locality with minimal impact on the environment.

A hydrogeological and geological survey were carried out for the Kamenný Vrch deposit with a high percentage of limestone in 2015–2016, the aim of which was to determine the quality, deposition, and condition of the reserves of the deposit. An examination of mining by the surface mining method was also carried out, the reserves of the deposit were recalculated, the spoil and clearance materials were calculated, and the surface mining model was created by opening the deposit with a pit quarry.

The main reason for examining deep mining methods is the fact that in the vicinity of the Kamenný Vrch deposit there are historical underground mining works, which were used to deep mine the deposits in the vicinity of Mořina until the 1950s. The aim is to find a suitable mining method that will correspond to the geomechanical parameters of the rock massif and at the same time will be the most environmentally friendly for the locality, as the Kamenný Vrch deposit is located in the protected landscape area of the Bohemian Karst.

However, for the appropriate selection of a mining method, it is extremely important to know the geotechnical condition of the mining works, most importantly its stability for the use of these mining works for modern methods of deep mining. The aim of the project is to examine the stability of mining tunnels used in the past for access to the Kamenný Vrch deposit. At the same time, a detailed geological survey of the mine tunnels was carried out. The results of the measurements will then be used to select a suitable mining method.



MATERIÁLY A METODY

Samotná práce byla rozdělena do několika fází. V rekognoskaci terénu byl proveden inženýrskogeologickým průzkum štol. Obsahem bylo provedení podrobné geologické pasportizace chodby včetně zjištění tektonických poruch a krasových jevů nacházející se důlních štolách a okolí ložiska Kamenný Vrch.

Pro zjištění geomechanických vlastností horninového masivu bylo provedeno nivelační měření důlního díla, konvergenční měření ve vybraných druzích horninového masivu. Rovněž bylo provedeno stanovení pevnosti v tlaku pomocí Schmidtova kladívka.

Výzkum dále pokračoval zhodnocením měření pomocí metody Rock Mass Rating a Rock Substance Strength důležité pro stanovení stability důlních chodeb a ověření možností variant hlubinné těžby vysokoprocenčních vápenců.

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM DŮLNÍ CHODBY

Geologická pasportizace důlní chodby

Při provádění inženýrskogeologické dokumentace byly pořízeny fotografické snímky jednotlivých druhů vápenců, kterými prochází samotné důlní dílo. Dále byl kladen důraz na petrografické složení a stupeň zvětrání přítomných hornin, strukturní prvky hornin a přítomnost vody. Dále byla provedena měření diskontinuit, popsán charakter ploch, zjištěná orientace, směr puklin, včetně stanovení přítoků podzemních vod v jednotlivých horninách.

Provedený inženýrskogeologický průzkum měl za cíl vyšetřit následující tematické okruhy: geologickou skladbu celého historického důlního

díla pro ověření využití těchto děl v souvislosti s volbou vhodné varianty hlubinné těžby, hydrogeologické poměry, včetně očekávaných přítoků podzemní vody do díla a šachet, geotechnické vlastnosti hornin, případnou agresivitu podzemních vod na historické betonové výztuže.

Všechny druhy vápenců a ostatních hornin byly jako vzorky o hmotnosti 10 kg odebrány z masivu a zaslány k dalšímu zpracování do laboratoře pro zjištění chemismu a mechanických vlastností hornin.

Součástí inženýrskogeologického průzkumu byla i kompletní pasportizace důlního díla zejména stanovení směrů a úklonů jednotlivých vrstev vápenců, k čemuž byl používán geologický kompas od společnosti Freiberg. Dále byli měřené diskontinuity, jejich charakter a vzdálenost, orientace a směr puklin v jednotlivých vápencích a ostatních horninách, charakteristika přítoků podzemních vod. Byla měřená celková délka chodby od počátku štol k ložisku Kamenný Vrch a činí 1051,5 m. Šířka chodeb v místech bez výztuže se pohybovala v rozmezí 3,1 – 3,6 m. Výška byla 2,3 m. Tam, kde se vykytovala betonová výztuž, docházelo ke zmenšování profilu na šířku 2,6 m a výšku 2,1 m.

V místech významných jílových poruch a splazů byla využívána zejména betonová výztuž zvaná Neubauer. Byly zde objeveny i pozůstatky dřevěné dveřeje. V úseku 648,1 m – 705,4 m se vyskytují méně stabilní horniny jako je diabas, vápenné tufy a vápenné břidlice. Obecně lze říct, že přítok důlní vody je minimální, vyskytuje se pouze v oblasti výskytu vápenných břidlic a tufů, jinak jsou důlní chodby vlhké.

Tektonika ložiska a širšího okolí

Pasportizací chodeb byla rovněž provedená celková rekognoskace území spojená s rešerší dříve provedených geologických průzkumů vrstev vápenců v oblasti Mořiny úzce souvisící se stavbou celé střední části barrandienské pánve a jeho nejbližšího okolí [1]. Byla provedena rekognoskace v již vytěžených oblastech Lom Východ – Velká Amerika, Lom u Kozolup a lom Školka. V těchto lokalitách byl provedeno ověření stavu jednotlivých vrstev vápenců střední části barrandienské pánve. Výsledkem bylo ověření dříve provedených geologických průzkumů z 50. let 20. století.

Krasové jevy

Při ověřování tektoniky střední části barrandienské pánve byly rovněž monitorovány krasové jevy. Při monitoringu krasových jevů bylo důležité zejména ověření zkrasování vápenců v místech budoucího ložiska Kamenný Vrch a zároveň v místech, kde prochází historické důlní chodby. Byla provedená rešerše historických materiálů souvisejících s těžbou – geologických map a geologických průzkumů. Zjištěné krasové jevy mohou negativním vlivem ovlivnit stabilitu současných důlních chodeb a dále do značné míry může ovlivnit vlastní těžbu ložiska hlubinným způsobem.

Geomechanický monitoring důlního díla

Geomechanický monitoring historického důlního díla byl zahájen v říjnu 2020. Součástí byla podrobná pasportizace celého důlního díla v úseku vstupu do důlního díla až k ložisku Kamenný Vrch včetně zmapování důlního díla k vytěženému lomu Východ – Velká Amerika. Při provádění pasportizace byla doku-

mentace a vyhodnocování zjištěných informací o horninovém prostředí se zatříděním do patřičných geotechnických tříd. Toto zatřídění bude dále důležité pro stanovení vhodné dobývací metody.

Konvergenční měření

V důlním díle byly stanoveny 3 místa pro provedení konvergenčního měření. Konvergenční profily byly pětibodové, měřeny byly konvergenčními pásmy firmy Geokon, model 1600.

Každý extenzometr se skládal z měřicího pásma z invarové oceli opatřeného 5 cm penetrací, navijáku pásma, číselníkového úchylkoměru s přesností na setiny milimetru, nastavovacího šroubu, pružiny napínající pásmo a dvou háčků, které slouží k připojení ke stabilizovaným bodům a dále opatřený siloměrem, který zajišťoval konstantní napnutí pásma, a mikrometrem, který zabezpečoval odečítání délky s přesností 0,05 mm [2]. Měřené profily byly instalovány ve vápencích řeporyjských, svrchních koněpruských a dále v diabasových tufech. Teplota v důlních chodbách byla konstantní po celou dobu měření a činila 4,7°C. Měření probíhalo kontinuálně v období od října 2020 do března 2021. Odečet byl prováděn fyzicky ze všech tří mikrometrů v týdenní periodě každý pátek. Vynechán byl odečet měření v druhé polovině prosince.

Stanovení pevnosti v tlaku

Pro zjištění kvality horniny a betonové výztuže byla využita i nedestruktivní metoda pomocí Schmidova tvrdoměru. Na jejím základě je možné vyhodnotit, zda je hornina nebo beton rovnoměrný [3] a [4]. Na základě korelace mezi tvrdostí a pevností horniny nebo betonu lze stanovit pevnost horniny a betonu v tlaku s nezaručenou pevností f_{be} [5].

Během provádění geologického po-

pisu důlního díla dále probíhalo měření pomocí Schmidova kládívka – tvrdoměru typu N fy. Proceq (výrobní číslo 148623). Tvrdoměr se používá pro nedestruktivní určení pevnosti tlaku u hornin a konstrukčních materiálů. Při zkoušce se úderník opírá o zkoušené místo tlakem na přístroj se napíná tažná pružina. Po natažení pružiny do výchozí polohy je automaticky vymrštěn beran a dopadne na razník. Při nastalém rázu se energie pohybu beranu projeví jednak vtiskem razníku do povrchu testovaného materiálu a jednak odrazem beranu zpět. Velikost odrazu závisí na tvrdosti zkoušeného materiálu. Před provedením vlastní zkoušky bylo každé zkušební místo vybroušeno. Důvodem bylo odstranění vrchních částí horniny/betonu, která mohla být ovlivněna určitým stupněm koroze.

Zkouška probíhala v jednotlivých druzích vápenců a ostatních průvodních horninách. U vápenců řeporyjských bylo měření uskutečněno ve staničení 394,6 m, u loděnických vápenců při staničení 406,7 m. Dále probíhalo měření ve vápencích sliveneckých (431,5 m) a svrchních koněpruských (476,2 m). Zároveň byla provedená zkouška na betonových výztužích Neubauer v úseku 523,1 m a 639,7 m. Zkouška pokračovala ve vápenných břidlicích (686,2 m) a v diabasu (702,8 m). Poslední část měření zkoušek probíhala u spodních koněpruských vápenců ve staničení 719,6 m, kotýských vápenců v úseku 739,5 m a vápenců přídolských v úseku 802,4m. V každém místě byl tvrdoměr použit pětkrát pro zajištění snížení nepřesnosti měření.

Z naměřených výsledků byl proveden průměr míry odrazu. Dle [5] byl proveden výpočet mezi průměrem míry odrazu a f_{be} , což je pevnost v tlaku

s nezaručenou pevností. Hodnota f_{be} byla dále upravená o koeficienty stáří a vlhkosti důlního díla.

V průběhu prováděných měření byly rovněž odebrány vzorky pro stanovení pevnosti v tlaku [6] u vybraných druhů hornin v laboratorních podmínkách.

Metodika výběru dobývací metody pro těžbu vysokoprocentních vápenců hlubinným způsobem

Dalším cílem pak bylo stanovení vhodné dobývací metody vycházející z provedených metod RMR (Rock Mass Rating) a RSS (Rock Substance Strength) pro geomechanickou klasifikaci hornin.

Geomechanická klasifikace hornin – metoda Rock Mass Rating(RMR)

V rámci ložiska Kamenný Vrch byla provedená geomechanická analýza RMR (Rock Mass Rating), která měla za cíl ověřit celkovou stabilitu důlního díla pro jejich následné využití v rámci připravovaného projektu hlubinné těžby vysokoprocentních vápenců. V průběhu prováděné pasportizace byly zjišťované důležité vlastnosti horninového masivu, jež jsou uvedené v tabulce č. 4.

Metoda RMR (Rock Mass Rating) jde o metodiku, která hodnotí masiv připravovaný k těžbě jako celek. Metoda RMR oceňuje kvalitu horninového masivu pomocí šesti parametrů s využitím indexu RQD (Rock Quality Designation). Jedná se o jednoparametrovou, směrově závislou klasifikaci hodnotící horninový masiv vycházející z porušenosti vrtného jádra. Dalším parametrem metody RMR je stanovení indexu pevnosti při bodovém zatížení představující pevnost v prostém tlaku. Z provedených laboratorních zkoušek vycházejí hodnoty prostého tlaku uvedené v tabulce 4. Třetím a čtvrtým parametrem ovliv-

ňující metodu RMR je rozteč diskontinuit a podmínky diskontinuit.

Pátým parametrem metody RMR je podzemní voda, jež se hodnotí dle 3 kritérií, a to podle přítoku důlní vody na 10 m důlního díla v litrech na 1 m, dále poměrem tlaku puklinové vody k maximálnímu hlavnímu napětí a v poslední řadě celkovými podmínkami v důlním díle. Posledním parametrem je orientace puklinových systémů v důlním díle, která se posuzuje v důlním díle dle jeho orientaci. Předpokládá se, že směry působících reziduálních napětí a směry os jednotlivých komponent tenzorů napětí jsou zhruba pod úhlem 45° k puklinovým plochám [7].

Pro výsledné hodnocení se sečtou bodová hodnocení jednotlivých parametrů a následně dojde k přiřazení kvality horninového masivu. Horninový masiv se dělí do 5 kategorií – velmi nestabilní, stabilní, dostatečně stabilní, nestabilní, velmi nestabilní.

Geomechanická klasifikace hornin – metoda Rock Substance Strength (RSS)

Metoda RSS je založená na dalším důležitým geomechanickém parametru ovlivňující celkovou stabilitu důlních děl. Jedná se o podíl pevnosti v tlaku horniny k nejvyšší složce primárního napětí v dané hloubce. V rámci posouzení ložiska může docházet k rozdílným hodnotám mezi průvodními horninami a horninami

tvořící vlastní ložisko. Proto jsou parametry této metody zadávány zvlášť pro vlastní ložisko, nadloží ložiska a podloží ložiska. Na základě zjištěných hodnot dochází k zařídění hornin do 4 kategorií, jež mohou být rozdělené na velmi měkké – méně než 5, měkké – 5–10, střední - 10–15, a velmi pevné – více než 15 [8].

nám určují konečné pořadí nejvhodnější dobývací metody pro dané ložisko.

Prvním krokem je klasifikace tvaru ložiska, vlastností mechaniky hornin v ložisku a doprovodných hornin. Součet jednotlivých hodnot této metody představuje volbu vhodné dobývací metody. Získané hodnoty pak

Stanovení vhodné dobývací metody dle Nicolase

Nicholas Algorithm		Mining Method Ranking	
Shape	Equidimensional		
Plunge	Flat	Sublevel Stoping	39
Thickness	Thick	Open Pit	36
Grade	Low	Cut and Fill	26
Depth	100-600m	Sublevel Caving	26
RMR Ore	Strong	Block Caving	25
RMR Hanging Wall	Strong	Top Slicing	20
RMR Footwall	Strong	Square Set	5
RSS Ore	Moderate	Room and Pillar	-23
RSS Hanging Wall	Moderate	Shrinkage Stoping	-73
RSS Footwall	Moderate	Longwall	-79

Obrázek 1: Nastavení programu dle parametru ložiska s následným výběrem dobývacích metod dle Nicolase

Jde o kvantitativní nástroj pro výběr vhodné dobývací metody vyvinutý Nicholasem (1981), který používá jednotlivé numerické hodnoty pro výběr nejvhodnější metody těžby. Metoda se zabývá zejména charakteristikou horninového masivu, ložiska, okolních hornin, výpočtu RQD (Rock Quality Designation) pro stanovení RSS. Stanovením jednotlivých hodnot pak dostáváme výsledky, které

vyjadřují vhodnou dobývací metodu k charakteristice ložiska [9].

VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V následující kapitolách jsou publikované dílčí výsledky provedeného průzkumu pro ověření stability důlních chodeb a výběru vhodné dobývací metody.

Tabulka 1: Fyzikální a mechanické vlastnosti jednotlivých druhů hornin severního překopu k ložisku Kamenný Vrch

Označení vzorku	Datum odběru	Stanovení (% hm. suš.)					
		CaCO ₃	MgCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO
č.1- kotýské vápence, 480 m	25.03.2021	96,79	1,44	1,06	0,24	0,19	0,041
č.2- kotýské vápence s rohovci, 470 m	25.03.2021	74,71	1,53	22,62	0,43	0,39	0,018
č.3- kotýské vápence s rohovci, 448 m	25.03.2021	89,36	2,72	5,51	1,06	0,79	0,054
č.4 - přídolské (budňanské) vápence, 420 m	25.03.2021	88,97	1,40	8,02	0,74	0,47	0,025
č.5 - přídolské (budňanské) vápence, 360 m	25.03.2021	62,59	34,79	0,50	0,49	0,95	0,079
č.6- diabasy, 316 m	25.03.2021	4,17	12,22	*	12,37	2,28	0,010
č.7 - vápnité břidlice, 290 m	25.03.2021	15,02	18,24	*	10,88	2,54	0,077
č.8 - diabasové tufy, 220 m	25.03.2021	25,87	17,61	*	8,25	2,69	0,123

Fyzikální a mechanické vlastnosti jednotlivých druhů vápence štoly "severní překop" k ložisku Kamenný Vrch

Vápenková surovina (faciální typ vápence)	Vápenková surovina (Zkratka)	Objemová hmotnost (g/cm ³)	Pórovitost (%)	Nasákavost (%)	Hutnost (%)
Zlíchovské	ZL	2,73	0,68	0,71	97,46
Řeporyjské	ŘP	2,76	0,77	0,67	97,92
Loděnické	LD	2,74	0,84	0,52	98,33
Slivenecké	SL	2,71	0,89	0,47	98,57
Svrchní koněpruské	SVK	2,70	0,99	0,35	98,76
Spodní koněpruské	SPK	2,69	1,12	0,29	99,01
Přídolské	PD	2,74	0,71	0,74	98,21
Kotýské	KT	2,75	0,86	0,55	98,43
Diabas	DB	2,78	0,66	0,88	96,69
Diabasové tufy	DBT	1,82	N	N	N
Vápenné břidlice	VBD	1,78	N	N	N

Tabulka 2: Chemismus jednotlivých druhů hornin severního překopu k ložisku Kamenný Vrch

*používanou metodou nelze stanovit SiO₂ ani orientačně

Výsledky inženýrskogeologického průzkumu ložiska

Geologická pasportizace důlní chodby

V tabulkách 1 a 2 jsou uvedené laboratorně zjištěné mechanické, základní fyzikální vlastnosti hornin a chemismus hornin. Byla provedena chemická analýza, která měla ověřit zejména CaCO₃ pro eventuální využití suroviny do procesu odsiřování hnědouhelných elektráren. Další naměřené výsledky jsou uvedené v tabulce 4 a odrážejí stav přítoku důlních vod, orientaci a stav, charakter ploch diskontinuit.

Významným zjištěním v průběhu provádění geologické pasportizace byla skutečnost, že došlo k dopřesnění vápenců v závěru důlní chodby v úseku staničení mezi 735,8 m a 814,0 m. Vápence nacházející se v této části důlní chodby byly v minulosti pokládány v historických zdrojích jako vápence kotýské. Jde však o vápence přídolské, které jsou součástí přídolského souvrství. Jde o nejvyšší jednotky siluru (stupeň přídolí). Vápence přídolské jsou černošedé deskovité bituminózní vápence s hojnými vložkami tmavých vápni-

tých břidlic obsahující četné vápenkové konkrece. Jde o vápence kalového vývoje obsahující okolo 70 % CaCO₃ a značné množství nerozpustné jílovité a křemité příměsi, zastoupené v 10-25 %. Jde o surovinu vhodnou pro výrobu hydraulického vápna a přírodních cementů.

Přídolské souvrství je vyvinuto ve formě tmavě šedých, jemnozrnných bituminózních vápenců, které se rytmicky střídají s vložkami černošedých vápnitých břidlic. Horniny obsahují zvýšený podíl organického uhlíku a vtroušený pyrit, což spolu s ochuzeným bentosem svědčí o méně příznivých životních podmínkách v hlubším, anoxickém prostředí. Charakteristickým znakem je hojný výskyt nejstarších zbytků suchozemské flóry [10].

Tektonika ložiska a širšího okolí

Masivní vápence ložiskových pruhů odolávaly více orogenetickým tlakům než jejich zpravidla tenké lavicovité a břidličnaté podloží nebo zejména nadloží. Jsou proto daleko méně zvrásněny a tektonické linie jsou v nich jasněji vyznačeny a podle nich vzniklé kry a pohyby přesněji ohraničeny. Strukturní pruh antiklinály ameriky je zde mohutně rozevřen.

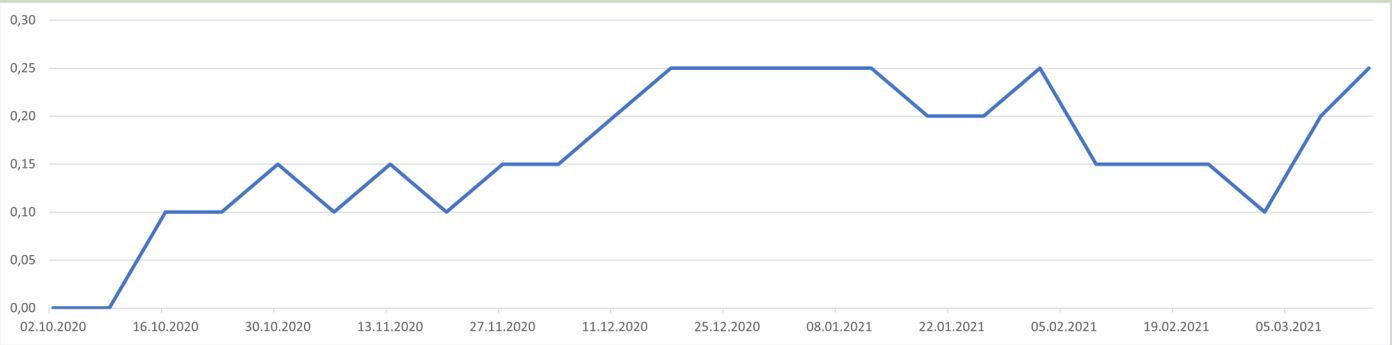
Oba ložiskové pruhy v křídlech antiklinály jsou příkře ukloněny (Kamenný Vrch 70–75°, Mořina Východ a Mořina Západ 50–75°). Severní pruh má celkem klidné uložení. Jižní ložiskový pruh zejména v části ložiska Mořina Východ je detailně provrásněn vlivem severní větve kódského přesmyku, který se tu intenzivně uplatnil směrným přesunutím budňanského souvrství až k ložiskovému nadloží. Jádro antiklinály je tu tedy přesunuto přes podvrásněné nebo překocené vápence lochkovské a koněpruské a tvoří tak v severní stěně lomu Mořina Východ pro těžbu nepřijatelné nepravé nadloží. Ložisko se tu z překocené polohy čel vrstev pod přesmykovou plochou ohýbá do mírného úklonu (20° J) nad úrovní 315 m. n. m. a pak upadá opět příkře (60-70°) k jihu. Kromě této mohutné směrné poruchy s mírným úklonem se v oblasti ložiska Mořina Západ uplatňuje i jižní větev kódského přesmyku. Na ložisku Kamenný Vrch se vliv hlavních směrných poruch neuplatnil. Naopak se zde projevuje vliv příčných poruch. Došlo zde k většímu odhozu zvláště u severní – jižní poruchy. Z četných výchozů a odkryvů bylo možné vystihnout podrobnou stavbu pokračování ložiskového pruhu Kamenný Vrch až k ložisku Velká Hora.

Význačně důležité příčné poruchy jsou většinou příkře ukloněné, zpravidla k východu a došlo u nich k horizontálním pohybům, spojeným s pohybem vertikálním a k vzájemnému mírnému vychýlení ker ve směru i úklonu.

Krasové jevy

Na dislokacích, puklinách a vrstevních spárách, jimiž proniká povrchová voda do hloubky, vznikaly v obou vápenkových pruzích rozpouštěním

Graf 1: Průběh odchylky konvergenčního měření v řeporyjských vápencích ve staničení 147,9 m (mm)

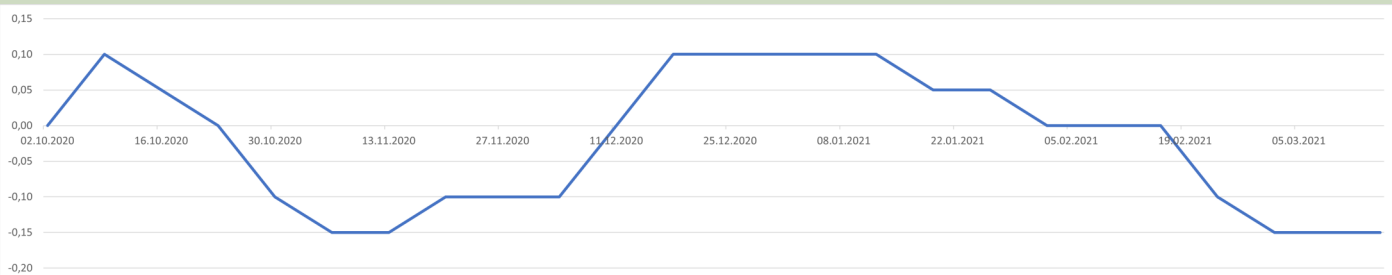


vápenců krasové jevy. Dají se snadno zjistit na povrchu, v stávajících lozích při těžbě jako menší krasové závrtky, komíny, dutiny, vyplněné většinou červenohnědou jílovitou hmotou, vápencovými závaly a pískem. Silnější krasování zejména na poru-

šené ložisko Kamenný Vrch nebylo před účinky vod chráněno svým rovněž příkře ukloněným nadložím. Krasování postihlo především vrstvy na přechodu ložiska do nadloží, ale nevyhnulo se ani jemně zrnitým podložním vápencům kotýskými.

ni uskutečněné v diabasových tufech prokázalo větší odchylku naměřených hodnot, která se pohybovala v rozmezí 0,00 – 0,45 mm. Odchylka však neprokazuje nestabilitu měřené úseku a všechny úseky jsou z hlediska provádění další činnosti bezpečné.

Graf 2: Průběh odchylky konvergenčního měření v koněpruských vápencích ve staničení 582,4 m (mm)



chách a v poruchových pásmech bylo ověřeno na povrchu i v hloubce v jednotlivých blocích ložiska Kamenný Vrch. Jde zejména o závrtové i plošně rozsáhlejší sníženiny v terénu i dutiny zastížené vrty, které dokazují, že tu došlo k přes poměrně malou mocnost ložiskových vápenců hlavně při ústupu terciárního moře ke ztrátě vyššího procenta ložiskové hmoty (krystalických vápenců). Příkře uklo-

Výsledky geomechanického monitoringu důlního díla

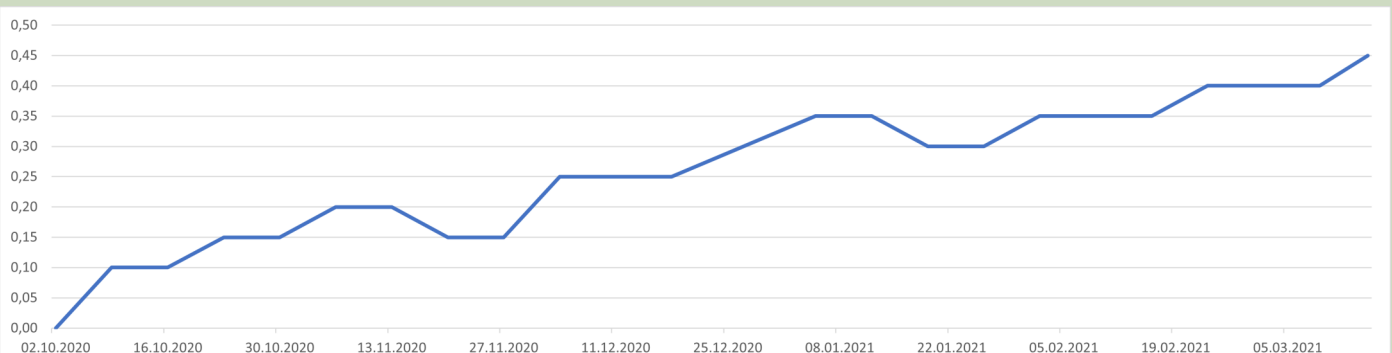
Konvergenční měření

Ve vápencích řeporyjských se odchylka měření pohybovala od 0,00 do 0,25 mm, u vápenců svrchních koněpruských pak byla naměřená odchylka od 0,00 do 0,10 resp. -0,15 mm. Měření ve vápencích řeporyjských a svrchních koněpruských prokazuje stabilitu těchto vrstev vápenců. Měření neprokázalo žádné významné odchylky naměřených hodnot. Měře-

Stanovení pevnosti v tlaku

Všechny údery byly vedeny vodorovně. Při provedeném měření pomocí Schmidtova tvrdoměru typu N byla zjištěná poměrně velká pevnost v tlaku s nezaručenou pevností u všech druhů hornin. Největší byla prokázána u svrchních koněpruských vápencích, spodních koněpruských vápencích, v kompaktních polohách diabasů a dále u přídolských vápenců. Zkoušky provedené na betonové výztuži prokázaly rovněž vysoké pev-

Graf 3: Průběh odchylky konvergenčního měření v diabasových tufech ve staničení 755,8 m (mm)



nosti v tlaku s nezaručenou pevností. Laboratorní zkoušky následně potvrdily výsledky měření provedených Schmidtovým tvrdoměrem. Korelační koeficient mezi hodnotami zjištěné nedestruktivním zkoušením a hodnotami pevnosti v tlaku v laboratoři při destruktivní metodě je 2,5.

Naopak nebylo možné provést měření u vápenných břidlic a tufů. Provedené pokusy pomocí Schmidtova tvrdoměru neprokázaly měřitelné hodnoty.

Výsledky výběru vhodné dobývací metody pro hlubinnou způsob těžby

Výsledky provedené metodu Rock Mass Rating (RMR)

Na ložisku Kamenný Vrch byla provedená analýza horninového masivu dle metody RMR ve všech druzích vápenců i přechodových partií. Z měření je zřejmé, že vápence a další horniny se v parametrech výrazně odlišují. Celkově lze však konstatovat, že dle provedené metody RMR je masiv, kterým prochází důlní díla, stabilní. Určitá nestabilita se projevuje v části kódského přesmyku, kde se průvodní horniny – diabas, diabasové tufy a vápenné břidlice - naměřenými výsledky dostaly do skupiny III – dostatečně stabilní.

Po strukturální stránce jsou vrstvy vápenců v důlní chodbě do ložiska Kamenný Vrch charakteristické průměrným směrem a sklonem vrstev asi 60/70 (W). Větší variabilitu přitom vykazuje sklon vrstev, který v rámci hodnoceného úseku severního křídla antiklinály ameriky kolísá v rozmezí cca 20° jak ve vertikálním směru (ve svrchních částech ložiska se jeví sklon vrstev nižší asi 60° - 70°, než v částech hlubších asi 70° - 80), tak ve směru horizontálním (ve východní části ložiska se jeví průměrný sklon vrstev vyšší cca 70°, než v západní cca 65°). Zároveň je zde charakteristické výrazné uplatnění

Tabulka 3: Stanovení pevnosti tlaku odrazovým tvrdoměrem – Schmidtovým kladívkem typu N

Stanovení pevnosti v tlaku odrazovým tvrdoměrem - Schmidtovým kladívkem

	Číslo úderu	Míra odrazu (MPa)	Průměr míry odrazu (MPa)	fbe (MPa)	Stáří 0,9 fbe	Vlhkost 1,0 fbe	fbe s nezaručenou pevností
Zlíchovské vápence (172,5 m)	1	38	38,2	37	33,3	37	35,15
	2	39					
	3	37					
	4	36					
	5	41					
Řeporyjské vápence (394,6 m)	6	35	36	33	29,7	33	31,35
	7	37					
	8	39					
	9	33					
	10	36					
Loděnické vápence (406,7 m)	11	37	34,8	32	28,8	32	30,4
	12	31					
	13	32					
	14	35					
	15	39					
Slivenecké vápence (431,5 m)	16	38	36,4	33	29,7	33	31,35
	17	34					
	18	35					
	19	37					
	20	38					
Svrchní koněpruské (472,6 m)	21	39	40,2	41	36,9	41	38,95
	22	41					
	23	40					
	24	38					
	25	43					
Betonová výztuž (523,1 m)	26	41	43,8	48	43,2	48	45,6
	27	43					
	28	45					
	29	43					
	30	47					
Betonová výztuž (639,7 m)	31	42	38,8	39	35,1	39	37,05
	32	39					
	33	40					
	34	38					
	35	35					
Diabas (702,8 m)	36	47	47,6	55	49,5	55	52,25
	37	49					
	38	47					
	39	46					
	40	49					
Organodetrické vápence (715,4 m)	41	38	36,8	35	31,5	35	33,25
	42	36					
	43	37					
	44	34					
	45	39					
Spodní koněpruské vápence (719,6 m)	46	43	42,2	44	39,6	44	41,8
	47	42					
	48	45					
	49	40					
	50	41					
Kotýské vápence (739,5 m)	51	35	33,2	28	25,2	28	26,6
	52	32					
	53	33					
	54	34					
	55	32					
Přídolské vápence (802,4 m)	56	44	40,8	42	37,8	42	39,9
	57	38					
	58	39					
	59	41					
	60	42					

příčné tektoniky reprezentované systémem převážně strmě ukloněných zlomů směru S-J a SZ-JV, kterými je pruh vápenců pražského souvrství rozčleněn do řady vzájemně posunutých ker. Velikost vzájemného posunu jednotlivých ker však není příliš výrazná (obvykle činí první metry, max. 25 m). Z celkového pohledu je nejvýrazněji tektonicky postižena západní třetina ložiska Kamenný Vrch, která také vykazují nejvýrazněj-

ší krasové postižení. Naměřené hodnoty jsou součástí tabulky, která zobrazuje výsledky měřených hodnot, na základě, kterých bylo stanoveno, jak jsou vápence stabilní.

Výsledky metody RSS s využitím výběru vhodné dobývací metody dle Nicolase

Pro metodu Rock Substance Strength je charakteristické, že dochází k analýze nadloží, podloží i vlastního

ložiska. Protože v případě důlní chodby k ložisku se jedná o vápence s poměrně stejnou horninovou charakteristikou, bylo v případě metody RSS zohledňovány stejné parametry pro nadloží, podloží i vlastní ložisko. Při stanovení hodnot se vycházelo z měření získaných při geologické pasportizaci a následně použité i při RMR. Kódký přesmyk s nižšími hodnotami hodnot nebyl zcela zohledňován, protože z celkové délky důlní chodby 1051,5 m je jeho délka pouze 78,2 m. To je 7,44 % celkové délky chodby. Pro metodu RSS byly tedy hodnoty pro nadloží, ložisko a podloží naměřeny na úrovni 12-13 bodů. Jde tedy o horniny středně pevné, což potvrzuje i hodnoty získané analýzou RMR.

Výběr vhodné dobývací metody dle Nicolase

Pro projekt ložiska vápence Kamenný Vrch byla použita aplikace ViMine18 [11] vyvinutou School of Mineral and Energy Resources Engineering, The University of New South Wales. Do používaného softwaru byly postupně vloženy jednotlivé položky geometrie ložiska. Tvar ložiska byl vybrán jako nepravidelný vzhledem rozměrům ložiska (šířka ložiska 200 m, mocnost ložiska – více než 100 m, délka ložiska 1600 m). Celkový úklon ložiska je 15° ve směru východ – západ. Zvolená byla proto varianta s nízkým celkovým úklonem ložiska. Tloušťka ložiska byla vybrána ve variantě tloušťky ložiska mezi 100-600 m. Protože je zde předpoklad, že vápenec požadovaného charakteru je i v hloubce přesahující 100 m.

V rámci ložiska Kamenný Vrch bylo dosahováno takřka podobných hodnot, protože se jedná o ložisko vápence, kde se jednotlivé vrstvy ložis-

Tabulka 4: Klasifikace jednotlivých typů vápenců dle metody RMR

Klasifikace jednotlivých typů vápenců v horninovém masívu dle klasifikace RMR						
Parametr			Naměřené hodnoty			
			Zlíchovské vápence	Řeporyjské vápence	Loděnické vápence	Slivenecké vápence
1	Pevnost hornin	index pevnosti vtláčné bodové	38 MPa	37 MPa	35 MPa	36 MPa
		pevnost v prostém tlaku	96 MPa	92 MPa	88 MPa	90 MPa
	Počet bodů		7	7	7	7
2	Kvalita jádra		95%	90%	95%	90%
	Počet bodů		20	20	20	20
3	Vzdálenost ploch nespojitosti		300 - 400 mm	200 - 350 mm	1000 - 1500 mm	600 - 900 mm
	Počet bodů		10	10	15	15
4	Charakter plochy		velmi drsné, neoddě-	velmi drsné, neoddě-	velmi drsné, neoddě-	velmi drsné, neodděle-
	Počet bodů		30	30	30	30
5	Podzemní vody	průtok/10m	0,0 l/min	0,1 l/min	0,0 l/min	0,0 l/min
		koef. napětí puklinové vody	0,0	0,0	0,0	0,0
		všeobecné podmínky	suché	vlhké	suché	suché
	Počet bodů		15	10	15	15
6	Orientace, směr puklin, plochy		velmi příznivé	velmi příznivé	velmi příznivé	velmi příznivé
	Počet bodů		0	0	0	0
Celkový počet			82	77	87	87
	Třída		I.	II.	I.	I.
	Popis kvality horninového masívu		velmi stabilní	stabilní	velmi stabilní	velmi stabilní

Parametr			Naměřené hodnoty			
			Svrchní koněpruské vápence	Diabas - I.	Diabasové tufy - I.	Vápenné břidlice
1	Pevnost hornin	index pevnosti vtláčné bodové	40 MPa	48 MPa	5 MPa	4 MPa
		pevnost v prostém tlaku	101 MPa	121 MPa	12 MPa	11 MPa
	Počet bodů		12	12	2	2
2	Kvalita jádra		90%	80%	75%	60%
	Počet bodů		20	17	17	13
3	Vzdálenost ploch nespojitosti		600 - 800 mm	700 - 900 mm	70 - 120 mm	70 - 100 mm
	Počet bodů		15	15	8	8
4	Charakter plochy		velmi drsné, neoddě-	lehce drsné, nízko	lehce drsné, vysoce	lehce drsné, vysoce
	Počet bodů		30	25	20	20
5	Podzemní vody	průtok/10m	0,1 l/min	0,1 l/min	0,5 l/min	10,0 l/min
		koef. napětí puklinové vody	0,0	0,0	0,1	0,2
		všeobecné podmínky	vlhké	vlhké	vlhké	mokrě
	Počet bodů		10	10	10	7
6	Orientace, směr puklin, plochy		velmi příznivé	střední	střední	střední
	Počet bodů		0	-5	-5	-5
Celkový počet			87	74	52	45
	Třída		I.	II.	III.	III.
	Popis kvality horninového masívu		velmi stabilní	stabilní	dostatečně stabilní	dostatečně stabilní

Tabulka 4 - pokračování: Klasifikace jednotlivých typů vápenců dle metody RMR

Parametr			Naměřené hodnoty			
			Diabasové tufy - II.	Diabas - II.	Organodentrický vápenec	Spodní koněpruské vápence
1	Pevnost hornin	index pevnosti v tlačné bodové	5 MPa	48 MPa	36 MPa	42 MPa
		pevnost v prostém tlaku	13 MPa	121 MPa	91 MPa	105 MPa
	Počet bodů		2	12	7	12
2	Kvalita jádra		65%	80%	65%	95%
	Počet bodů		13	17	13	20
3	Vzdálenost ploch nespojitosti		200 - 350 mm	550 - 750 mm	100 - 150 mm	900 - 1600 mm
	Počet bodů		10	10	8	15
4	Charakter plochy		velmi drsné, neod-	lehce drsné, nízk	velmi drsné, neodděl-	velmi drsné, neodděl-
	Počet bodů		30	25	30	30
5	Podzemní vody	průtok/10m	2,0 l/min	1,0 l/min	1,0 l/min	0,0 l/min
		koef. napětí puklinové vody	0,1	0,0	0,0	0,0
		všeobecné podmínky	vlhké	vlhké	vlhké	suché
	Počet bodů		10	10	10	15
6	Orientace, směr puklin, plochy		střední	střední	střední	velmi příznivá
	Počet bodů		-5	-5	-5	0
Celkový počet			60	69	63	92
	Třída		II.	II.	II.	I.
	Popis kvality horninového masivu		stabilní	stabilní	stabilní	velmi stabilní

Parametr			Naměřené hodnoty		
			Přídolské vápence	Kotýské vápence - I.	Kotýské vápence - II.
1	Pevnost hornin	index pevnosti v tlačné bodové	41 MPa	32 MPa	32 MPa
		pevnost v prostém tlaku	102 MPa	81 MPa	81 MPa
	Počet bodů		12	7	7
2	Kvalita jádra		75%	80%	90%
	Počet bodů		17	17	20
3	Vzdálenost ploch nespojitosti		100 - 150 mm	100 - 200 mm	300 - 550 mm
	Počet bodů		8	8	10
4	Charakter plochy		lehce drsné, nízk	velmi drsné, neodděl-	velmi drsné, neodděl-
	Počet bodů		25	30	30
5	Podzemní vody	průtok/10m	0,5 l/min	0,0 l/min	0,0 l/min
		koef. napětí puklinové vody	0,0	0,0	0,0
		všeobecné podmínky	vlhké	suché	suché
	Počet bodů		10	15	15
6	Orientace, směr puklin, plochy		velmi příznivá	střední	střední
	Počet bodů		-5	-5	-5
Celkový počet			67	72	77
	Třída		II.	II.	I.
	Popis kvality horninového masivu		stabilní	stabilní	velmi stabilní

ka liší zejména v chemismu. Je zřejmé, že z hlediska stávajících přístupových důlních děl jsou nižší hodnoty u průvodních hornin procházející nikodským přesmykem, jež tvořen diabasem, tufy a vápennými břidlicemi. Očekává se, že v rámci navrhované metody dobývání budou stávající chodby využívány i v pokračující těžbě.

Po provedení zadaných hodnot a s ohledem na skutečnost, že předpo-

kládáme využití varianty, která bude co možná nejméně narušovat krajinný ráz chráněné krajinné oblasti Český kras, lze dle metodiky podle Nicolase vyhodnotit jako nejlepší varianty hlubinné těžby metodu Sublevel Stopping a metodu Cut and Fill Stopping.

Metodu dle Nicolase (obrázek č. 1) lze ještě kontrolně ověřit jednoduchou metodou dle Hartmanna [12], která je velmi rychlá a jednoduchá.

Postupuje se v podstatě dle předem daného schématu, které strukturu stromu, na jehož konci je uvedena nejhodnější dobývací metoda pro hodnocenou lokalitu. V prvním kroku se hodnotí hloubka uložení. Zde je nutné se rozhodnout a vyhodnotit, zdali se má jednat o povrchové nebo hlubinné dobývání. I když se v našem případě jedná o poměrně mělce uložené ložisko, je nutno zvolit hlubinný způsobu exploatace ložiska vzhledem k umístění ložiska v CHKO Český kras.

Poté se hodnotí pevnost dobývané suroviny a průvodních hornin ve vztahu k samonosnosti masivu, a zda se budou vydobyté prostory ponechávat volné bez výztuže, budou vyztužovat či se nechají zavalit. Vzhledem k požadavku na bez poklesovou metodu dobývání a poměrně malé pevnosti dobývané suroviny byla zvolena varianta s vyztužováním. Následuje krok, kde se zohledňují úložní poměry ložiska (tvar, sklon, mocnost a rozměr). Zde byly vzhledem k poměrně vysoké variabilitě úložních poměrů a strmému charakteru ložiska zvolen následující parametry – variabilní tvar, vysoký úklon a malá mocnost. Dle tohoto schématu byla doporučena za vhodnou dobývací metodu metoda komorování v lávkách se základkou (Cut and Fill Stopping).

ZÁVĚR

Z hlediska provedených měření a samotného výzkumu lze říct, že mezi nejvýznamnější výsledky patří dopřesnění geologické charakteristiky jednotlivých druhů vápenců – vápenců přídolských, které nebyly v historických pramenech zmiňovány. Tím dochází k dopřesnění charakteristiky i širšího okolí ložiska lomu Východ a následně i Kamenný Vrch.

Přídolské vápence lze využít nejen pro stavební účely, ale zejména pro výrobu hydraulického vápna nebo jako korekční surovinu při výrobě cementářských surovin. Tím se zlepšuje ekonomická bilance projektu hlubinné těžby vápenců. Bude nutné provést další hlubší geologický průzkum, který by měl být podpořený vrtvy z povrchu pro dopřesnění umístění přídolských vápenců.

V průběhu pasportizace byla odhalena poměrně vysoká stabilita důlního díla. Stabilní jsou nejen jednotlivé druhy vápenců, ale i betonová výztuž, jež zde byla instalována v období od 20. do 50. let 20. století. Dokazuje to výbornou kvalitu používaných betonových směsí. Provedené konvergenční měření neukázalo významnou nestabilitu důlních děl. Pro další připravované práce bude nutné provést další činnosti geomechanického monitoringu, které by měly zahrnovat:

- pasportizaci objektů dotčených případnou těžbou,
- přesné nivelační měření deformací nadzemních objektů,
- 3D trigonometrické měření nadzemních objektů,
- měření akustických a dynamických účinků trhacích prací,
- měření napětí na kontaktu horniny a případné výztuže důlního díla.

Překvapivým výsledkem bylo nestabilní chování vápenných břidlic a tufů v laboratorních podmínkách, kde po provedení vysušení došlo k absolutnímu rozpadu hornin. Stabilita úseku kódského přesmyku byla méně stabilní, nicméně po provedení zajištění pomocí výztuží lze tuto část používat, což dokládají výsledky provedené RMR analýzy.

Výsledkem provedeného výzkumu bylo ověření využití starých důlních děl pro eventuální hlubinnou těžbu. Protože důlní díla nebyla pro těžbu využívána takřka 70 let, bylo nutné provést podrobnou pasportizaci důlního díla včetně ověření stability důlních děl. Podrobná geologická pasportizace prokázala výskyt přídolských vápenců, které v historických průzkumech k ložisku Kamenný Vrch nebyly zmiňovány. Byla provedená kompletní analýza sklonů vrstev jednotlivých druhů hornin, včetně ověření přítoku důlních vod do podzemí. Výsledky měření prokázaly poměrně vysokou stabilitu důlních chodeb, a to i v místech kódského přesmyku, kde se vyskytují horniny s poměrně nízkou pevností v tlaku.

Provedené konvergenční měření neprokázalo významný pohyb a deformaci důlních chodeb. Vyšší deformace byla zaznamenána v diabasových tufech, které jsou však v bezpečných hodnotách. Byla provedená nedestruktivní analýza pomocí Schmidova tvrdoměru ve všech horninách,

kterými prochází severní překop od ústí k samotnému ložisku. Naměřené hodnoty potvrdily výsledky laboratorních zkoušek. Hodnoty hornin nacházející se v kódsském přesmyku nebylo možné Schmidovým tvrdoměrem změřit. Veškeré hodnoty ostatních hornin jsou bezpečné a potvrzují stabilitu chodeb dle metody Rock Mass Rating.

Na základě výsledků stability horninového masivu byly navrženy varianty vhodné dobývací metody hlubinným způsobem. Ty zohledňují charakter a chování stávajících důlních chodeb, celkový tvar a uložení ložiska. Pro výběr vhodné dobývací metody byla použita analýza dle Nicolase s výběrem dvou dobývacích metod, a to mezipatrové komorování (sublevel stoping) a výstupkové lávkování na zakládku (cut and fill stoping). Pro ověření správnosti výběru vhodné dobývací metody, byla proveden kontrolní výběr metody dle Hartmana. Ten navržené varianty potvrdil.

Provedený výzkum bude dále sloužit jako podklad pro upřesnění správné dobývací metody s ohledem na stav a kvalitu důlních chodeb. Dále z něj bude čerpáno pro vlastní návržení způsobu ražení důlních chodeb a dobývání ložiska. Je však nutné tyto prvotní podklady před realizací vlastní hlubinné těžby doplnit o další měření v důlním díle a dále na povrchu.

Literatura:

- [1] Chlupáč I., Brzobohatý R. Kovanda J. Stráník Z.: Geologická minulost České republiky, strana 276-282, 2002,
[2] Rozsypal A.: Kontrolní sledování a rizika v geotechnice, strana 76-79, 2001
[3] ČSN EN 12504-2: Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem, strana 7-8, 2013
[4] ČSN 732011: Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí, strana 14-15, 2012
[5] ČSN 731373: Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu, strana 11-12, 2011
[6] ČSN EN 1926: Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení pevnosti v prostém tlaku, strana 14-15, 2007
[7] Darling P.: SME Mining Engineering Handbook, Third Edition SME, page 360, 2011
[8] Darling P.: SME Mining Engineering Handbook, Third Edition SME, page 371-372, 2011
[9] Nicolas, D.E.: Method selection – A numerical approach. In Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mines, page 134-139, 1981
[10] Svoboda J.: Encyklopedický slovník geologických věd, 1. svazek, strana 515-516, 1983
[11] Online:
<https://www.unsw.edu.au/engineering/minerals-and-energy-resources-engineering/our-research-merc/facilities/vimine-unsws-innovative-mine-planning>
[12] Hartman, H.L.: Introductory Mining Engineering, New York, page 187-193, 1987

Ing. Bc. Radim Lex

**LOMY MOŘINA, spol. s r.o.,
/VŠB-TU Ostrava, Czech Republic**



Narozen v roce 1979 v Opavě, vystudoval v roce 2004 magisterské studium v oboru Využívání zdrojů stavebních nerostných surovin na Hornicko-geologické fakultě Vysoké školy báňské – Technické univerzitě v Ostravě, v roce 2010 dokončil bakalářské studium oboru Inženýrská geodézie opět na Hornicko-geologické fakultě – Vysoké školy báňské – Technické univerzity v Ostravě. Od roku 2004 pracuje jako vedoucí kamenolomu Pohled u Havlíčkova Brodu, od roku 2014 do roku 2017 pracuje jako vedoucí dvou provozů – Pohled a dále Bílý Kámen u Jihlavy. Od roku 2018 pracuje jako jednatel ve společnosti LOMY MOŘINA, spol. s r.o., jež se zabývá těžbou vysokoprocentních vápenců pro od-síření elektráren v rámci Skupiny ČEZ.