

¹ VŠB-TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba;

² Geologické služby, s.r.o., Dukelská 1779, 430 01 Chomutov

KLASIFIKAČNÍ METODY PRO HODNOCENÍ STABILITY LOMOVÝCH STĚN V KAMENOLOMECH

1. Úvod

Posouzení stability skalních stěn a svahů v lomových provozech patří obvykle k velmi náročným geotechnickým problémům. Platná báňská legislativa vyžaduje projektovat a provozovat stabilní lomové stěny a závěrné svahy, nicméně v současné době neexistuje jednotná platná metodika pro návrh a hodnocení stability těchto skalních stěn.

Pro hodnocení stability skalních stěn se v současné době používá celá řada metod. Jedná se například o metody analytické (výpočetní metody mezní rovnováhy), metody matematického modelování, metody založené na analýze rizik a metody založené na klasifikaci horského masívu. Posledně jmenovaná skupina metod je v zahraničí pro hodnocení stability lomových stěn a závěrných svahů hojně využívána, zatím co v ČR jsou klasifikační metody pro hodnocení skalních stěn v kamenolomech spíše opomíjeny.

Cílem předloženého příspěvku je seznámit odbornou veřejnost s vybranými klasifikačními metodami navrženými pro hodnocení stability skalních stěn a poukázat na možnosti jejich aplikace v českých kamenolomech. Autory článku byly prakticky v různých podmínkách vyzkoušeny dvě klasifikační metody, konkrétně se jednalo o metodu RHR (Rockfall Hazard Rating) a SMR (Slope Mass Rating). Poznatky z praktického nasazení výše uvedených klasifikačních metod jsou rovněž shrnuty v předloženém příspěvku.

2. Stručná charakteristika klasifikačních metod pro hodnocení stability skalních stěn

Z historického pohledu se klasifikační metody začaly prvně používat pro hodnocení a popis horského masívu z hlediska výběru vhodné metody, technologie a výztuže při ražení tunelů. Ačkoliv první klasifikační metody založené především na empirických znalostech byly používány již začátkem minulého století (např. Protodjakonova klasifikace), největší rozvoj těchto metod v hornictví a podzemním stavitelství nastal v 70 až 80. letech minulého století. Patrně nejúspěšnější a dodnes respektovaná a používaná metoda v hornictví a při ražení tunelů je klasifikace RMR (Rock Mass Rating) [1].

Vzhledem ke skutečnosti, že se klasifikační metody úspěšně osvědčily při projektování tunelů a dlouhých důlních děl, začalo se brzy uvažovat o jejich upravení

a nasazení i pro řešení jiných geomechanických problémů, jako je např. posouzení stability skalních stěn.

Pravděpodobně první klasifikační metodou navrženou pro posouzení stability skalních stěn byla Bieniawskim upravená klasifikace RMR, kdy za nejvýznamnější parametr (nejvíce ovlivňující instabilitu skalních stěn) považoval orientaci diskontinuit vzhledem k posuzované stěně. Metoda RMR byla sice později doplněna či mírně upravena různými autory, nicméně tvoří základ většiny v současné době používaných klasifikačních metod navržených pro hodnocení stability skalních stěn.

2.1 Klasifikace RMR

Geomechanická klasifikace RMR zahrnuje komplexní hodnocení masívu. Představuje bodový systém, kdy jsou hodnoceny jednotlivé sledované parametry, jejichž výsledný součet vyjadřuje souhrnnou kvalitu horninového masívu. Původní geomechanická klasifikace RMR_{basic} hodnotila 5 základních parametrů. Tato klasifikace byla později (Bieniawskim) doplněna o 6. hodnotící parametr (orientace diskontinuit) a v této úpravě je hojně používána dodnes. Jednotlivé hodnocené vlastnosti jsou:

1. Pevnost vzorků hornin v jednoosém tlaku
2. Kusovitost vrtného jádra (RQD klasifikace)
3. Vzájemná vzdálenost diskontinuit
4. Kvalita ploch diskontinuit
5. Podmínky zvodnění masívu
6. Orientace diskontinuit vzhledem ke skalní stěně

Při hodnocení jednotlivých parametrů je brána v úvahu jejich důležitost pro nestabilitu masívu, a proto má každá z hodnocených vlastností jiný interval možného bodového ohodnocení a tudíž jinou váhu. Konkrétní hodnoty jsou patrné z tabulky 1.

Tabulka 1
RMR

Bodové ohodnocení parametrů potřebných pro stanovení

RMR _{Basic} = \sum Hodnocení							
Parametr	Rozsah hodnot						
Pevnost v prostém tlaku	<250	250 – 100	100 – 50	50 – 25	< 25		
Hodnocení	15	12	7	4	25-5	5-1	<1
Kvalita vrtného jádra RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
Hodnocení	20	17	13	8	3		
Vzdálenost trhlin	>2m	0.6-2m	200-600mm	60-200mm	<60mm		
Hodnocení	20	15	10	8	5		
Stav trhlin	Velmi (drsny) povrch	Mírně drsný povrch	Mírně drsný povrch	Hladké nebo plastická výplň <5mm	Hladké nebo plastická výplň >5mm		
	Není pravidelný	Separace <1mm	Separace <1mm	Separace 1-5mm	separace >5mm		
	neprůběžné nezvětralé	Mírně zvětralé	Velmi zvětralé stěny	Průběžné	Průběžné		
Hodnocení	30	25	20	10	0		
Zvodnění	Zcela suchá	Vlhká	Mokrá	Kapající	Tečení		
Hodnocení	15	10	7	4	0		

Bieniawskim doplněný parametr (Orientace diskontinuit) sice neoslabuje samotný horský masív, ale pro stabilitu skalních stěn má nejvyšší význam. Z tohoto důvodu jsou přidělovány body z intervalu <0, - 60> viz následující tabulka 2.

Tabulka 2 Orientace puklin

Obecný popis	Úklon hlavních diskontinuit (vzhledem ke stěně)	Odlučnost horniny		
		Lavicová	Blokovitá	Sloupcovitá
Velmi příznivý	<0	0	0	-5
Příznivý	<5°	0	-5	-25
Dobry	5°-10°	-5	-25	-50
Nepříznivý	10°-40°	-25	-50	-60
Velmi nepříznivý	>40°	-50	-60	-60

Poznámka: Zohlednit i lokální vývoj nevhodně orientovaných vrstev

2.2 Klasifikace SMR

Autor Romana v roce 1985 představil upravenou klasifikaci RMR, kterou nazval SMR (Slope Mass Rating) [2]. Jeho úprava spočívala v detailnějším postupu při přidělování bodů zohledňujícím orientaci diskontinuit vzhledem k hodnocené stěně. Toto hodnocení získal na základě vynásobení parametrů F1 – F3, jejichž výpočet je patrný

z následující tabulky č. 3. Dále doplnil parametr F4 zohledňující vliv metody, pomocí které byl svah vytvořen.

Tabulka 3 Výpočet SMR

SMR = RMR _B + (F ₁ x F ₂ x F ₃) + F ₄ (ROMANA, 1985)						
ADJUSTING FACTORS FOR JOINTS (F ₁ , F ₂ , F ₃)	α_j = SMĚR DISKONTINUIT α_s = SMĚR SVAHU		β_j = ÚKLON DISKONTINUIT β_s = ÚKLON SVAHU			
	VELMI PŘÍZNIVÉ	PŘÍZNIVÉ	USPOKOJIVÉ	NEPŘÍZNIVÉ	VELMI NEPŘÍZNIVÉ	
PLANÁRNÍ PŘEKLOF HODNOTA F1 VZTAH	$ \alpha_j - \alpha_s =$	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ =$	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
$F_1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_s)^2$						
HODNOTA F2 PLANÁRNÍ PŘEKLOPENÍ VZTAH	$ \beta_j =$	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j$						
PLANÁRNÍ PŘEKLOPENÍ HODNOTA F3 VZTAH	$\beta_j - \beta_s =$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< (-10^\circ)$
	$\beta_j + \beta_s =$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	-	-
		0	-6	-25	-50	-60
F_3						
NARUŠENÍ STĚNY DOBÝVACÍ METODOU HODNOTA F4	F4 = EMPIRICKÉ HODNOTY ZÁVISLÉ NA METODĚ DOBÝVÁNÍ					
	PŘÍRODNÍ SVAH	ŠTÍPANÍ	JEMNÁ TP	TP NEBO MECHANICKÉ	CLONOVÝ ODSTŘEL	
	+15	+10	+8	0	-8	

Klasifikační metoda SMR je v zahraničí hojně využívána pro hodnocení skalních stěn v kamenolomech [2,3]. Na základě této metody lze hodnocenou skalní stěnu zatřídit do pěti tříd podle její předpokládané stability, předpokládat možné porušení a navrhnout nutné stabilizační opatření. Jednotlivé třídy jsou patrné z tabulky č. 4.

Tabulka 4 Zatřídění svahu dle SMR

SMR	0 – 20		20 – 40		40 – 60		60 – 80		80 – 100	
	Vb	Va	IVb	IVa	IIIb	IIIa	IIb	IIa	Ib	Ia
Popis	Velmi špatný		Špatný		Normální		Dobry		Velmi dobrý	
Stabilita	Zcela nestabilní		Nestabilní		Částečně stabilní		Stabilní		Zcela stabilní	
Porušení	Velké smykové podobné zeminovému		Smykové nebo velké klínové		Určité trhliny, mnohé klíny		Některé bloky		Žádné	
Opatření	Nutno odtěžit		Nutná korekční		Výztuž		Přestavba skalní stěny		Žádná	

2.3 Klasifikace RHR

Klasifikace RHR (Rockfall Hazard Rating) byla navržena pro posouzení stability lomových stěn malých a středních kamenolomů ve Velké Británii [4]. Výhodou

klasifikační metody RHR je skutečnost, že hodnotí nejen potenciální nebezpečí nestability skalní stěny nebo její části, ale rovněž riziko (míru ohrožení osob a strojů pohybujících se pod stěnou), které by mohlo nastat v důsledku její nestability. Ač tato metoda opět vychází z RMR je mnohem propracovanější.

Pro správnou aplikaci metody je nutné si definovat pojmy nebezpečí a riziko:

Nebezpečí (z ang. Hazard) je možné definovat jako potenciál vzniku nežádoucího jevu, jehož příčina tkví ve vlastnostech horninového masívu, parametrech stěny a ve způsobu dobývání. Jinými slovy je to pravděpodobnost toho, že svah bude nestabilní.

Riziko (z ang. Risk) je v tomto případě definováno jako nebezpečí, které vede k ohrožení zdraví osob, případně poškození těžebních a dopravních mechanismů. Riziko je vedle míry "nebezpečí" dáno dobou (expozicí), po kterou se osoby nebo mechanismy v blízkosti stěny pohybují. Výsledná hodnota rizika pro lomovou stěnu udává míru pravděpodobnosti, že v důsledku nestability stěny dojde k ohrožení zdraví osob, případně poškození těžebních a dopravních mechanismů.

Stanovení nebezpečí (hazardu) se provádí podle následujícího vzorce [4]:

$$RHR = (100 - RMR) \cdot (\text{hodnocení dobývací metody}) \cdot (\text{výška stěny} / 2) \cdot (\text{hodnocení sklonu stěny})$$

Kde hodnota RMR je vypočtena dle metodiky modifikované Bieniawskim a stručně popsane výše.

Parametr hodnotící vliv dobývací metody a stupeň navětrání hornin se stanoví z tabulky č.5. Ta se skládá ze dvou částí. V první části se hodnotí vliv použité dobývací metody, je-li horský masív narušen častými trhacími pracemi velkého rozsahu, nebo naopak je téměř nenarušen dobýváním (např. při řezání pilou). Druhá část zohledňuje celkové porušení vlivem ostatních činitelů (např. navětráním nebo špatně provedenou trhací práci – vznik převisů apod.). Celkové bodové hodnocení tohoto parametru se získá součtem bodů z obou částí tabulky č.5.

Tabulka 5 Parametr hodnotící dobývací metodu a stav skalní stěny

Provedení těžby	Hodnocení
Řezání/rozrušení pomocí klínu	1
Těžba bloků po vlastních diskontinuitách	2
Pre split - hladký výlom	3
Přírodní stěna	4
Trhací práce - malého rozsahu	5
Trhací práce - středního rozsahu	6
Trhací práce - velkého rozsahu	7
Další poškození svahu - zvětráváním nebo špatným odstřelem (vzniklými převisy)	0-3

Parametr zohledňující výšku svahu se stanoví jednoduchým způsobem – výška

svahu (řezu, etáže) stanovená v metrech se podělí 2. V případě víceetážových kamenolomů se RHR stanovuje pro každou etáž zvlášť a následně se podle zvláštní metodiky stanoví tzv. kumulativní RHR, což je hodnocení nebezpečí pádu horniny z vyšších etáží před patu nejnižší hodnocené etáže.

Poslední parametr v klasifikační metodě RHR hodnotí sklon svahu. Zde se za nejnejpříznivější bere sklon svahu od 50° do 70°, kdy hrozí odskakování uvolněných bloků hornin od stěny a jejich následné přeskočení bermy i ochranného valu a pád pod následující etáž. Bodové hodnocení pro jednotlivé sklony skalní stěny je uvedeno v tabulce č. 6.

Tabulka 6 Hodnocení sklonu svahu

Sklon svahu	Popis	Hodnocení
>80°	Volný pád	1
70°-80°	Odsakování	2
55°-70°	Odsakování	3
45°-55°	Odsakování	2
<45°	Valení	1

Stupeň **nebezpečí** se stanoví dosazením hodnot z tabulek do výše uvedeného vzorce. Výsledné bodové hodnocení je možné převést na slovní podle tabulky č. 7.

Tabulka 7 Výsledné ohodnocení nebezpečí skalní stěny

<100	Bezvýznamné
100-1,000	Nízké
1,000-10,000	Střední
>10,000	Vysoké

Stanovení kumulativního nebezpečí u víceetážové stěny (kumulativní RHR)

V případě, že se lomová stěna skládá z více etáží, nebo se v ní nachází několik lávek hornin s odlišnou petrografickou charakteristikou nebo odlišnými fyzikálně mechanickými vlastnostmi, je v první fázi stanovena hodnota RHR pro jednotlivé etáže, resp. lávky. Následně je vypočítána kumulativní RHR, platná pro celou stěnu podle vzorce :

$$RHR_{kum} = RHR_1 \cdot \check{s}_1 \cdot v_1 + RHR_2 \cdot \check{s}_2 \cdot v_2 + \dots + RHR_n \cdot \check{s}_n \cdot v_n$$

Kde \check{s}_{1-n} je parametr odvozený ze šířky bermy a v_{1-n} parametr odvozený z výšky ochranného valu na okraji etáže pro etáže nebo lávky 1 až n. Parametry \check{s} a v se stanoví dle tabulky 8.

Tabulka 8 Zohlednění šířky bermy a výšky ochranného valu

šířka lavice (m)	parametr \check{s}	výška ochranného valu (m)	parametr v
< 1	1	<0,1	1
1 - 3	0,5	0,1 - 0,5	1
3 - 6	0,1	0,5 - 1,5	0,5
6 - 9	0,05	1,5 - 2	0,1
> 9	0,01	> 2	0,05

V případě, že chceme stanovit **riziko** ohrožení osob a techniky, pak se výsledná číselná hodnota nebezpečí (RHR) vynásobí koeficientem hodnotícím expozicí lidí a techniky pod hodnocenou skalní stěnou. Výsledné ohodnocení rizika je poté možné stanovit z tabulky č. 10.

Koeficient hodnotící expozici lidí se stanoví jako podíl expozice osob (v hodinách) k celkovému počtu hodin za hodnocené období. Hodnocené období je vztaženo k možnému výskytu ohrožených objektů v předmětné oblasti a může být vztaženo jako průměrná hodnota za den (24 hod), týden (168 hod) atd. V lokalitách s omezeným přístupem lidí se hodnocené období vztahuje jen na dobu (v hod), kdy se na dané lokalitě mohou vyskytovat lidé (např. pracovní doba).

Příklad stanovení koeficientu je patrný z tabulky č. 9. V této tabulce je pro názornost uveden výpočet koeficientu expozice osob na kamenolomu s pracovní dobou 10 hod. V případě pohybu osob v ohrožené oblasti po celou pracovní dobu je koeficient expozice osob roven 1, v případě jednohodinové expozice za směnu je 0,1, za pracovní týden 0,02 atd.

Z daného příkladu je patrné že v lokalitách s minimálním pohybem lidí se riziko ohrožení těchto lidí rapidně snižuje.

Tabulka 9 Stanovení koeficientu expozice osob

Expozice (hod)	Hodnocené období:	Celkový počet hodin za hodnocené období (hod)	Koeficient
1	Hodina	1	1
1	Den (10 pracovních hodin)	10	0,1
1	Týden (5 pracovních dnů)	50	0,02
1	Měsíc (20 pracovních dnů)	200	0,005
1	Rok (250 pracovních dnů)	2500	0,0004

Tabulka 10 Výsledné hodnocení rizika stěny

<10	Bezvýznamné
10-100	Nízké
100-1000	Střední
>1000	Vysoké

3. Praktická aplikace klasifikačních metod in situ

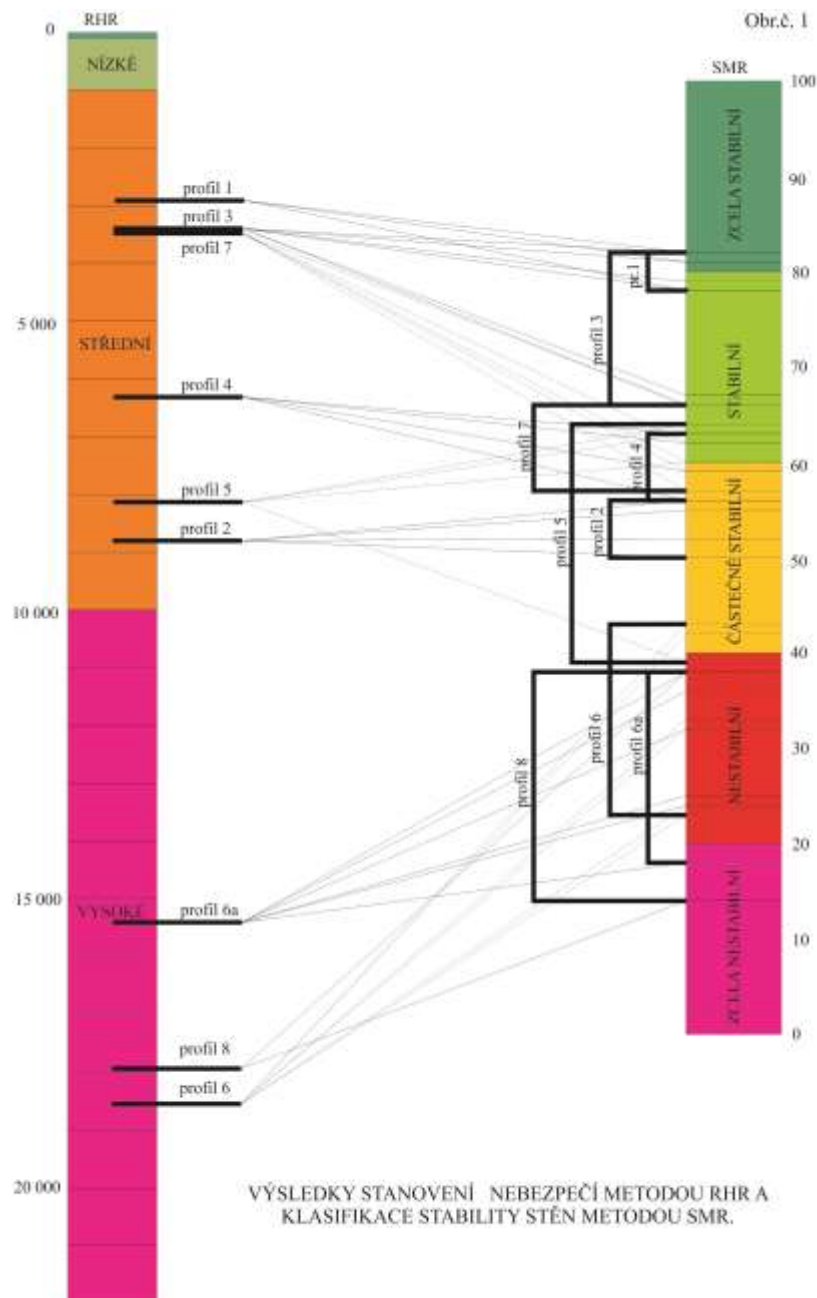
Výše zmíněné metody byly prakticky odzkoušeny v reálných podmínkách činných kamenolomů. Konkrétně se jednalo o níže uvedených 9 kamenolomů:

- Řeporyje – vápenec
- Bílčice – čedič
- Bohučovice – moravská droba
- Horní Žleb – moravská droba
- Deštná – granit
- Kaplice – granodiorit
- Litice – granit, ruly
- Mokrá – vápenec
- Godula - pískovec

V každém hodnoceném kamenolomu bylo vytýčeno a vyhodnoceno několik profilů, tak aby byly zastiženy pokud možno všechny charakteristické oblasti kamenolomu, které by mohly mít vliv na stabilitu skalních stěn. Všechny tyto profily byly hodnoceny metodou SMR a RHR a výsledky následně porovnávány. Příklad vyhodnocení jednoho z kamenolomů je patrný z obrázku č. 1. U klasifikace SMR bylo provedeno hodnocení orientace diskontinuit (parametry F1-4) pro všechny zastižené diskontinuity (nejen pro nejméně příznivou), proto jsou na obrázku zobrazeny intervaly hodnot.

Z obrázku je patrné, že obě metody spolu korelují, nicméně metoda RHR má přísněji nastaveny hranice jednotlivých tříd. Poměrně velký vliv u metody RHR mělo hodnocení výšky lomových stěn, které v podmínkách českých kamenolomů často dosahují maximální legislativně povolené výšky 25 m, což často zařazuje tyto stěny do středního nebo vysokého stupně nebezpečí.

Praktické nasazení výše zmíněných metod v různých kamenolomech ČR potvrdilo, že lze tyto metody s úspěchem aplikovat v lomových provozech, jako metody vhodné pro stanovení nebezpečí resp. rizika, ale i pro návrh optimální výšky a sklonu lomových stěn i optimálního směru postupu porubní fronty.



Obrázek 1 Příklad vyhodnocení kamenolomu metodou RHR a SMR

4. Závěr

Z předloženého článku, kde byly stručnou formou představeny klasifikační metody navržené pro hodnocení skalních stěn, je patrné, že hodnocené metody jsou pro tento účel vhodné a použitelné. Samotné hodnocení je poměrně jednoduché, nevyžaduje provádění časově a finančně náročných laboratorních měření, která často z důvodů velmi náročného odběru reprezentativního vzorku nepřinášejí objektivní výsledky. Výjimkou je stanovení tlakové pevnosti hornin, které však může být orientačně stanoveno in situ (např. pomocí Schmidtova nárazového kladívka). Pokud není k dispozici jádrový vrt, bývá parametr RQD stanovován pomocí zaměření všech systémů diskontinuit a výpočtu podle Palströma, který je v české literatuře uveden např. v [5].

Hlavní výhodou metody RHR oproti ostatním běžně užívaným metodikám je skutečnost, že hodnotí riziko ohrožení osob a technologie, což je v souladu s požadavky paragrafu 36, odstavce 1, vyhlášky ČBÚ č. 26/1989 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

Výše zmíněné metody byly prakticky aplikovány při hodnocení skalních stěn a závěrných svahů na konkrétních kamenolomech v ČR. Z praktického nasazení těchto metod přímo v kamenolomech je patrné, že tyto metody lze s úspěchem aplikovat pro hodnocení skalních stěn v kamenolomech provozovaných v České Republice.

Literatura

- [1] Bieniawski Z.T. (1989): Engineering Rock Mass Clasifications. Willey, New York.
- [2] Romana, M., Serón, J.B., Montalar, E. (2003): SMR geomechanics clasification: Aplication, experience and validation. ISMR 2003-Technology roadmap for rock mechanics, South Africian Institute of Mining and Metalurgy
- [3] Vlčko, J. a kol.: Využitie metódy SMR (Slope Mass Rating) při inžinierskogeologickom hodnotení stability skalnej steny kameňolomu Srdce. Geotechnika 1/2010, ISSN 1211-913X
- [4] Walton, G. ae al. (2004): Secure and Sustainable Final Slopes for SME Aggregate Quarries. Evenlode Books, Oxford, March 2004, ISBN 0897766882.
- [5] Olišar, P: Aplikace klasifikace rizika Rockfall Hazard Rating Systém při posuzování stability skalních stěn na lokalitě Strnady ve středních Čechách. Geotechnika 3/2009, ISSN 1211-913X.