

Návrh certifikované metodiky pro vyhodnocování geomechanických vlastností hornin.

**Návrh je výsledkem řešení projektu Centrum kompetence efektivní a
ekologické těžby nerostných surovin TE02000029**

Prof. Ing. Vlastimil Hudeček, CSc.

Doc. Ing. Jindřich Šancer, Ph. D.

Ing. Václav Zubíček, Ph. D.

VŠB-TU Ostrava

2019

Obsah

1. Úvod	3
2. Metody založené na klasifikaci horského masívu	5
2.1 Metoda RQD	6
2.2 Metoda RMR.....	7
2.3 Bartonův Q Systém	11
2.4 Rock Mass Index (RMi)	13
3. Příklady aplikace geomechanické klasifikace při těžbě nerostných surovin	14
3.1 Možnosti dimenzování výztuže dlouhých důlních děl.....	14
3.2 Odhad chování masívu během ražby dlouhých důlních děl.....	17
3.3 Výpočet fyzikálně-mechanických vlastností masívu.....	19
3.4 Hoek-Brownova teorie mezních stavů	20
3.5 Hodnocení stability skalních stěn	20
4. Popis nově navrhované metodiky	23
4.1. Vstupní data – hodnotící kritéria.....	23
4.1.1 Pevnost vzorků hornin v jednoosém tlaku	25
4.1.2 Kusovitost vrtného jádra (RQD klasifikace)	29
4.1.3 Hodnocení diskontinuit	30
5. Popis aplikace MS Excel.....	36
6. Ekonomické aspekty	38

1. Úvod

Geomechanické vlastnosti hornin a horského masívu do značné míry ovlivňují volbu dobývací metody, technologii dobývání a vyztužování důlních děl. Z tohoto důvodu je velmi důležité správně vyhodnotit geomechanické vlastnosti hornin a masívu. Vzhledem ke skutečnosti, že v rámci ČR neexistuje jednotná metodika pro vyhodnocování těchto vlastností, je hlavním cílem metodiky zpracování postupu pro vyhodnocení geomechanických vlastností hornin ve vztahu k dobývání ložisek nerostných surovin.

Při zpracování této metodiky byl brán velký zřetel na zahraniční zkušenosti s vyhodnocováním geomechanických vlastností. Z rešeršních materiálů vyplynulo, že moderní pojetí geomechaniky je založeno nejen na laboratorním stanovování fyzikálně-mechanických vlastností hornin tvořících horninový masív, ale především na detailním popisu masívu jako celku.

Veškerá antropogenní činnost prováděná v podzemí se totiž odehrává v reálném horském masívu, který je na rozdíl od intaktních hornin (reprezentovaných laboratorním vzorkem) porušen systémy diskontinuit, bývá zvodnělý a případně zatížen dalšími ovlivňujícími činiteli (stav diskontinuit, napětí, teplota apod.). Všechny tyto ovlivňující činitele by měly být v rámci projekční činnosti zohledněny (např. přepočtem laboratorně zjištěných hodnot na hodnoty masívu – redukované pevnosti, moduly přetvárnosti apod.).

Z tohoto důvodu se v současné době v zahraničí hojně využívají metody hodnotící horský masív jako celek, nejen fyzikálně-mechanické vlastnosti hornin tvořící masív, jak tomu bylo v minulosti. Mezi nejpoužívanější metody hodnotící geomechanické vlastnosti horského masívu patří metody založené na tzv. geomechanické klasifikaci masívu (např. klasifikace RMR, Bartonův Q systém, RMI – Rock Mass Index, klasifikace GSI apod.) [1]. Výhodou těchto klasifikací je, že jsou poměrně hojně využívány, tudíž byly prakticky otestovány minimálně ve stovkách případů, a to jak pro návrh vhodné technologie ražení, resp. dobývání, tak i pro dimenzování různých druhů výztuže, horninových pilířů, či odhadu chování a stability důlních děl. Mimoto existuje celá řada odvozených vzorců, pomocí kterých lze vypočítat, respektive odhadnout fyzikálně-mechanické vlastnosti masívu nebo jeho částí (např. modul přetvárnosti,

redukovaná pevnost masívu, uhel vnitřního tření apod.) což jsou velmi důležitá vstupní data pro matematické modelování, které je rovněž hojně používáno při projektování důlních děl.

Z výše uvedených důvodů, je pro praktické použití v rámci ČR navržena v současné době asi nejrozšířenější klasifikace, a to geomechanická klasifikace RMR (Rock Mass Rating), která byla zpracována rovněž formou jednoduché softwarové aplikace v prostředí MS Excel. Nicméně v teoretické části této metodiky budou stručně představeny i jiné geomechanické klasifikace, které jsou v současné době rovněž rozšířené a používané. A to především z důvodu existence různých přepočtových vztahů, pomocí kterých lze hodnoty stanovené jinou klasifikací přepočítat na hodnotu RMR a naopak.

Z tohoto důvodu byly do navržené softwarové aplikace implementovány i další geomechanické klasifikace (Q Systém a R_{Mi} klasifikace), které pro své vyhodnocení využívají téměř totožná vstupní data, jako RMR klasifikace. Uživatel aplikace tedy může výsledky ze všech tří klasifikačních systémů navzájem porovnat a dle konkrétní praktické aplikace (návrh výztuže, odhad chování masívu, výpočet fyzikálně-mechanických vlastností masívu apod.) vybrat nejvhodnější z nich.

Vzhledem ke skutečnosti, že navržená softwarová aplikace využívá softwarového prostředí MS Excel, je možné ji v budoucnu jednoduše rozšířit o další klasifikační systémy, sloužící např. pro hodnocení stability skalních stěn.

2. Metody založené na klasifikaci horského masívu

U těchto metod se hodnotí horský masív (skalní stěna) jako celek a sledují se především činitelé způsobující oslabení masívu vedoucí k jeho možné instabilitě (např. diskontinuitami, vlivem zvodnění, trhací práci apod.). Výsledkem těchto metod je rozdělení horského masívu do určitých oblastí (tříd) s podobnými vlastnostmi, pro které lze na základě empirických zkušeností předpokládat míru porušení a navrhnout sanační opatření.

K tomu, aby tyto cíle byly dosaženy, je nutné, aby klasifikační systém splňoval tyto podmínky:

- a) Aby byl jednoduchý, snadno zapamatovatelný a pochopitelný,
- b) každý termín musí být jasný a použitá terminologie musí být široce akceptována příslušnými techniky,
- c) musí zahrnovat nejvýznamnější parametry horského masívu způsobující instabilitu,
- d) musí být založen na měřitelných parametrech, které lze rychle a levně stanovit příslušnými testy,
- e) musí být založen na hodnotícím systému, který umí vážit relativní důležitost klasifikačních parametrů,
- f) musí být funkční ve smyslu poskytování kvantitativních dat pro návrh vhodné výztuže a technologie ražení dlouhých důlních děl u hlubinného dobývání, resp. tvaru a výšky skalních stěn, případně pro návrh sanace nestabilních stěn u lomového dobývání.

Z historického rozboru (rešerše) rozvoje klasifikačních metod lze říci, že vývoj klasifikačních metod je spjat především s rozvojem tunelovacích metod. První klasifikační metody se začaly používat začátkem minulého století a je možné je charakterizovat jako klasifikace popisné. Tyto klasifikace rozdělují horský masív pouze na základě makropetrografického popisu a empirických zkušeností, aniž by blíže určovaly jeho fyzikální a mechanické vlastnosti. Typickým zástupcem popisných klasifikací je Protodjanokova klasifikace (1908).

Později byly vyvinuty tzv. indexové klasifikace, které hodnotí chování masívu na základě více parametrů, jenž se na instabilitě masívu podílí největší mírou. Největší rozmach

těchto klasifikačních metod probíhal v 70. – 80. letech 20. století a opět byly primárně navrhovány pro návrh výztuží tunelů, případně dlouhých důlních děl. Mezi nejznámější a celosvětově uznávané metody patří RQD (Rock Quality Designation, Deere et al, 1967), RSR (Rock Structure Rating – Wickham et al 1972), RMR (Rock Mass Rating Bieniawski 1972, 1989), Q systém (Barton et al 1974) GSI (Geological Strength Index, Hoek, 1994), RMi (Rock Mass index, Palmstrom, 1995).

Koncem 90. let minulého století byly navrženy rovněž první klasifikační systémy, které měly za cíl stanovit míru stability skalních stěn (lomové dobývání ložisek). Většina klasifikačních metod určených pro hodnocení stability skalních stěn vychází ze základní a celosvětově uznávané geomechanické klasifikační metody RMR, která jak již bylo zmíněno výše, je navržena spíše pro klasifikaci horského masivu z pohledu dimenzování výztuže při ražení tunelů, důlních chodeb atd. Metoda RMR v sobě obsahuje jako jedno z hodnotících kritérií hodnocení kvality vrtného jádra metodou RQD, což je možné považovat za samostatnou klasifikační metodu. Z tohoto důvodu bude klasifikace RQD stručně popsána níže, i když ve své podstatě přímo nebude navržena pro hodnocení geomechanických vlastností jako samostatná metoda.

2.1 Metoda RQD

Klasifikace podle indexu RQD (Rock Quality Designation) byla navržena Deerem v roce 1967. Kvantitativní ohodnocení horninového masivu se provádí pouze na základě hodnocení jádrových vrtů (o minimálním průměru 54,7 mm) získaných při geologickém průzkumu [1].

Index RQD (rozsah 0 až 100) je definován vztahem:

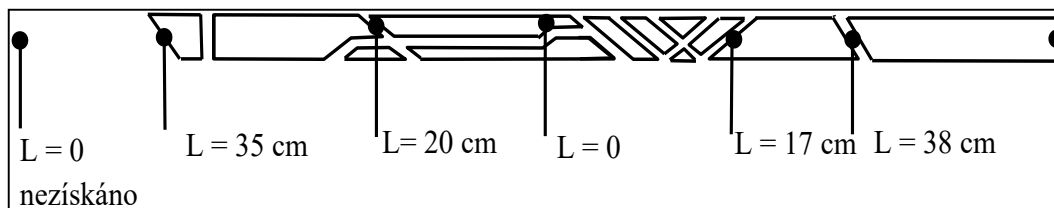
$$RQD = \frac{\sum l_{\geq 10}}{\sum l} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde $l_{\geq 10}$ je délka neporušených kusů vrtného jádra delších než 10 cm

l je celková délka vývrtu (cm)

Na obr. 1 je uvedena ukázka měření kousků vrtného jádra pro vyhodnocení metodou RQD. Výpočet RQD, dle tohoto obrázku je uveden níže:

$$RQD = \frac{\sum \text{jádra delší} > 10 \text{ cm}}{\text{celková délka vrtného jádra}} * 100\% = \frac{38+17+20+35}{200} * 100\% = 55\% \quad (2)$$



Obrázek 1 ukázka měření kousků vrtného jádra pro stanovení RQD [1]

Dle výsledné hodnoty RQD je možné masív rozdělit do následujících 5 tříd (viz tabulka 1.

Tabulka 1 Výsledné hodnocení klasifikace RQD

RQD (%)	0-25	25-50	50-75	75-90	90-100
stav horninového masívu	velmi špatný	špatný	Vyhovující	dobrý	velmi dobrý

2.2 Metoda 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} byla představena v roce 1973 a hodnotila 5 základních parametrů. Tato klasifikace byla později (1989) [1] 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 k důlnímu dílu resp. skalní stěně.

Při bodovém 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 2.

Tabulka 2 Bodové ohodnocení parametrů potřebných pro stanovení RMR [1]

RMR _{Basic} = \sum Hodnocení							
Parametr	Rozsah hodnot						
Pevnost v prostém tlaku	<250	250 – 100	100 – 50	50 – 25	< 25		
					25-5	5-1	<1
Hodnocení	15	12	7	4	2	1	0
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 diskontinuit	Velmi (drsňý) povrch	Mírně drsňý povrch	Mírně drsňý povrch	Hladké nebo plastická výplň <5mm	Hladké nebo plastická výplň >5mm		
	Není pravidelný	Separace <1mm	Separace <1mm	Separace 1-5mm	separace >5mm		
	neprůběžné neztvěralé	Mírně ztvěralé	Velmi ztvěralé stěny	průběžné	průběžné		
Hodnocení	30	25	20	10	0		
Zvodnění	Zcela suchá	Vlhká	Mokrá	kapající	Tečení		
Hodnocení	15	10	7	4	0		

Vzhledem ke skutečnosti, že stabilitu skalní stěny nejvíce ovlivňuje porušenost stěny (četnost a stav diskontinuit), je tomuto parametru dána nejvyšší váha (0-30 bodů). Častokrát bývá problematické spolehlivě ohodnotit stav diskontinuit, proto je vhodné použít doplňující tabulku 3. Výsledné bodové ohodnocení stavu diskontinuit se získá součtem bodů jednotlivých položek v tabulce 3. Měření jednotlivých vlastností diskontinuit se provádí dle metod popsaných v kapitole 4.

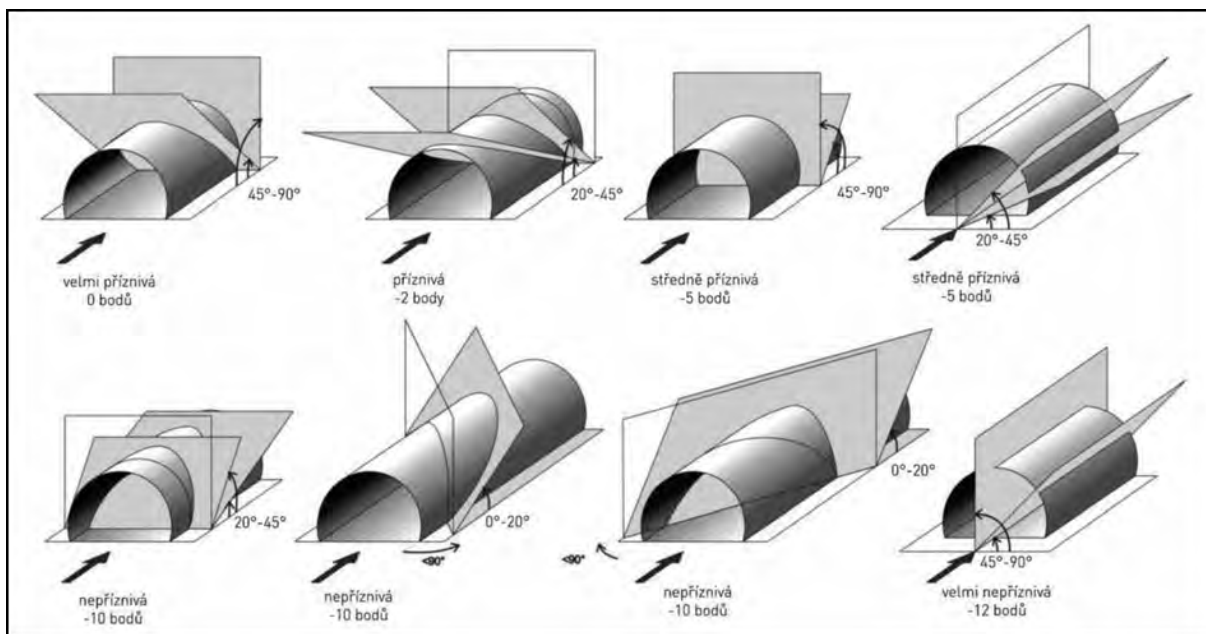
Tabulka 1 Hodnocení jednotlivých vlastností diskontinuit

Charakter ploch nespojitosti					
Stálost diskontinuity (délka)	<1m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m
Ohodnocení	6	4	2	1	0
Separace (štěrbinatost)	žádná	< 0,1 mm	0,1-1 mm	1 – 5 mm	> 5 mm
Ohodnocení	6	5	4	1	0
Drsnost	velmi hrubé	Hrubé	málo hrubé	hladké	uhlazené
Ohodnocení	6	5	3	1	0
Výplň (žlábkování)	žádná	tvrdá<5mm	tvrdá>5mm	měkká<5mm	měkká>5mm
Ohodnocení	6	4	2	2	0
Zvětrání	nezvětralé	Nepatrné	Průměrné	velké	zcela zvětralé
Ohodnocení	6	5	3	1	0

Postupem času se zjistilo, že pro stabilitu důlních děl a především lomových stěn je velmi důležitá orientace jednotlivých systémů diskontinuit v masívu vůči těmto důlním dílům a skalním stěnám. Nevhodná orientace důlních děl a lomových stěn v masívu může značně zvýšit jejich nestabilitu oproti vhodně orientovaným důlním dílům, i přesto že se jedná o tentýž horninový masív. Z tohoto důvodu Bieniawski (1989) doplnil do původní klasifikace RMR parametr (Orientace diskontinuit vůči důlnímu dílu, resp. skalní stěně). Tomuto parametru se přidělují záměrně záporné hodnoty bodů, protože nevhodná orientace důlního díla vůči masívu není přímo vlastnost masívu (nemění se jeho základní charakteristika). Nevhodná orientace důlního díla resp. jiného antropogenního zásahu do masívu, může jen zhoršit chování masívu z hlediska stability důlních děl a skalních stěn. Z tohoto důvodu jsou přidělovány záporné (oslabující) body z intervalu <0 - 12> platné pro dlouhá důlní díla a tunely (viz následující tabulky 4 a 5, resp. obr. 2), případně z intervalu <0 - 60> pro hodnocení stability skalních stěn viz následující tabulka 6.

Tabulka 4 Hodnocení vhodnosti orientace diskontinuit vůči dlouhým důlním dílům

Směr kolmý k ose díla				Směr rovnoběžný s osou díla		Úklon 0° - 20° bez ohledu na směr
Ražení po úklonu		Ražení proti úklonu				
Úklon 45 - 90°	Úklon 20 - 45°	Úklon 45 - 90°	Úklon 20 - 45°	Úklon 45 - 90°	Úklon 20 - 45°	
Velmi příznivé	Příznivé	Středně příznivé	Nepříznivé	Velmi Nepříznivé	Středně příznivé	Příznivé



Obr. 2 bodové hodnocení orientace diskontinuit vůči dlouhým důlním dílům

Tabulka 5 Bodové hodnocení orientace diskontinuit vůči dlouhým důlním dílům

Bodové hodnocení	Velmi příznivé	Příznivé	Středně příznivé	Nepříznivé	Velmi nepříznivé
Tunely a doly	0	-2	-5	-10	-12

Tabulka 2 Bodové hodnocení orientace diskontinuit vůči skalním stěnám

Obecný popis	Úklon hlavních diskontinuit (vzhledem ke stěně)	Odlučnost horniny		
		Lavicová	Blokovitá	Sloupcovitá
Velmi příznivý	<0	0	0	-5
Příznivý	<5°	0	-5	-25
Vyhovující	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

Na základě výsledného součtu bodů za jednotlivá hodnotící kritéria je možné zatřídit horský masív do jedné z 5 tříd:

- 0 – 20 bodů Velmi slabý (Very poor)
- 20 – 40 bodů Slabý (poor)
- 40 – 60 bodů Uspokojivý (Fair)
- 60 -80 bodů Dobrý (Good)
- 80 – 100 bodů Velmi dobrý (Very good)

2.3 Bartonův Q Systém

Převážně ve skandinávských zemích se pro geomechanickou klasifikaci hornin hojně používá Bartonův Q systém. Vzhledem ke skutečnosti, že tento klasifikační systém není uveden jako hlavní metoda této metodiky, bude zde popsán pouze stručnou formou. Nicméně tato klasifikace je součástí navržené softwarové aplikace. Detailně popsána klasifikace včetně bodového hodnocení jednotlivých parametrů je např. v literatuře [1,2]

Předmětnou klasifikaci vyvinul kolektiv autorů Barton, Lien a Lunde z Norského geotechnického institutu na základě hodnocení asi dvou set ražených důlních děl ve Skandinávii [1,2].

Q systém je založen na hodnocení těchto šesti parametrů:

- RQD,
- počet systémů diskontinuit,
- drsnost nejméně příznivých diskontinuit,
- změny kolem puklin a výplň diskontinuit,
- přítok vody,
- napěťové podmínky (SRF – Stress Reduction Factor).

Výsledné hodnocení stanovením kvality horského masívu Q se vypočte ze vztahu:

$$Q = \frac{RQD \cdot J_r \cdot J_w}{J_n \cdot J_a \cdot SRF} \quad (3)$$

kde RQD - Rock Quality Determination,

J_n - počet systémů diskontinuit,

J_r - číslo drsnosti puklin,

J_a - číslo vyjadřující změny kolem puklin,

J_w - číslo vyjadřující vliv zvodnění,

SRF - Stress reduction factor - redukce podle působícího napětí.

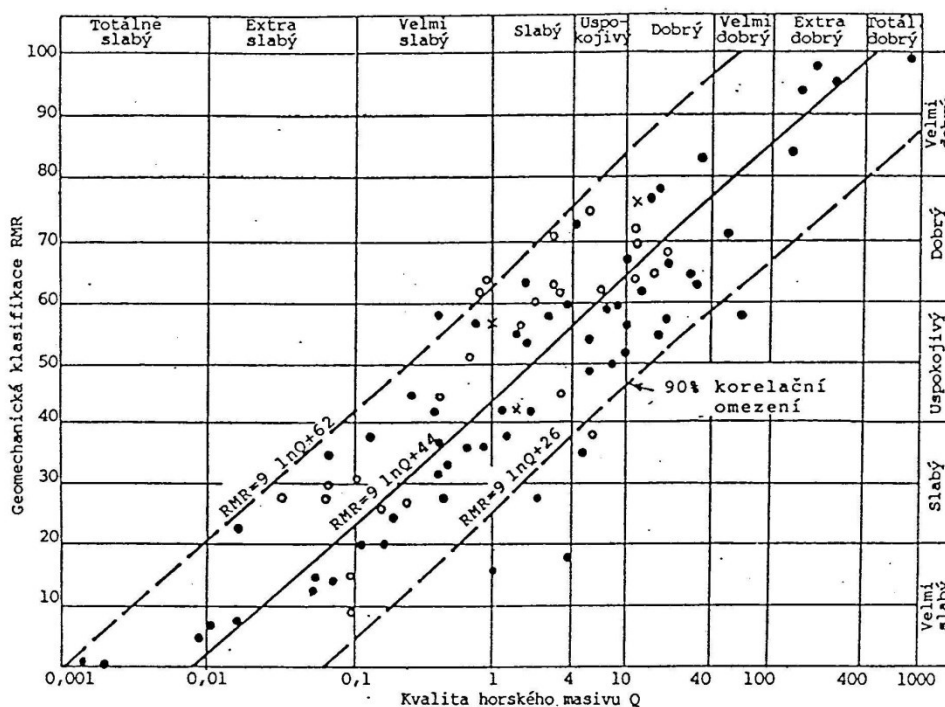
Kvalita hornin podle tohoto hodnocení je v rozmezí od $Q = 0,001$ do $Q = 1000$ na logaritmické stupnici.

Podle hodnoty Q je horský masiv rozdělen do 9 tříd - tabulka 7.

Tabulka 7 Zatřídění masívu dle Q systému

Třída horského masívu	Q
Výjimečně slabý (Exceptionally Poor)	0,001 - 0,01
Extrémně slabý (Extremely Poor)	0,01 - 0,1
Velmi slabý (Very Poor)	0,1 - 1
Slabý (Poor)	1 - 4
Uspokojivý (Fair)	4 - 10
Dobrá (Good)	10 - 40
Velmi dobrý (Very Good)	40 - 100
Extrémně dobrý (Extremely Good)	100 - 400
Výjimečně dobrý (Exceptionally Good)	400 - 1000

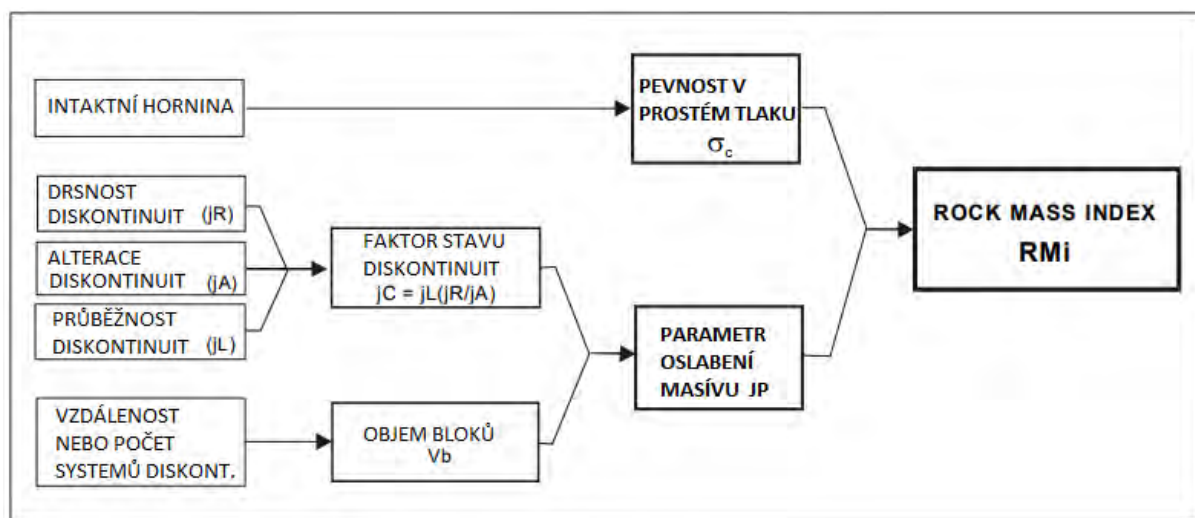
Hodnoty získané pomocí Q systému je možné pomocí přepočtových vztahů převést na RMR klasifikaci a naopak. Korelaci mezi systémy klasifikací RMR a Q zobrazuje obr. 3.



Obrázek 3. Korelace mezi systémy klasifikací RMR a Q [1]

2. 4 Rock Mass Index (RMI)

Tento klasifikační systém byl vyvinut Palmstromem v letech 1986-95 [3]. Tento systém v podstatě odhaduje snížení pevnosti masívu vlivem jeho rozpukání diskontinuitami. Stanoví se vynásobením pevnosti v prostém tlaku (zjištěné v laboratoři na neporušeném vzorku) a opravným koeficientem JP (Jointing Parameter - parametr oslabení masívu). Tento parametr se stanoví výpočtem z popisu masívu a vlastností diskontinuit stanovených přímo in situ viz obrázek 4.



Obrázek 4. Schéma stanovení hodnoty RMI [3]

3. Příklady aplikace geomechanické klasifikace při těžbě nerostných surovin

Po prostudování rešeršních materiálů budou níže představeny možnosti využití a aplikace výsledků geomechanické klasifikace při řešení různých geomechanických problémů souvisejících s dobýváním nerostných surovin.

3.1 Možnosti dimenzování výztuže dlouhých důlních děl

Klasifikační systémy byly primárně navrženy jako nástroj pro dimenzování výztuže dlouhých důlních děl a tunelů a z tohoto důvodu jsou v praxi pro tento účel hojně využívány. Ovlivňujícími parametry pro dimenzování výztuží jsou především stav a kvalita masívu (charakterizován geomechanickou klasifikací), rozměry důlního díla, napětí v horninovém masívu (pokud není hodnocen přímo v rámci geomechanické klasifikace masívu), důležitost (plánována životnost) důlního díla a tvar důlního díla.

Vzhledem ke skutečnosti, že pro hodnocení stavu a kvality horninového masívu je v praxi využíváno více klasifikačních metod, bylo navrženo i více metod pro dimenzování výztuže. Nicméně protože existují přepočtové vztahy, pomocí kterých je možné přepočítat hodnoty mezi jednotlivými klasifikačními systémy, je možné využít metodiky pro dimenzování výztuže původně navržené i pro jiné klasifikace.

Pro výpočet zatížení výztuže dle klasifikace RMR, lze např. použít následující vztah [4]:

$$P = \frac{100-RMR}{100} * \gamma * B = \gamma * h_t \quad (4)$$

Kde P je hodnota zatížení výztuže (MPa)

γ je objemová hmotnost kg.m^{-3}

B je šířka důlního díla (m)

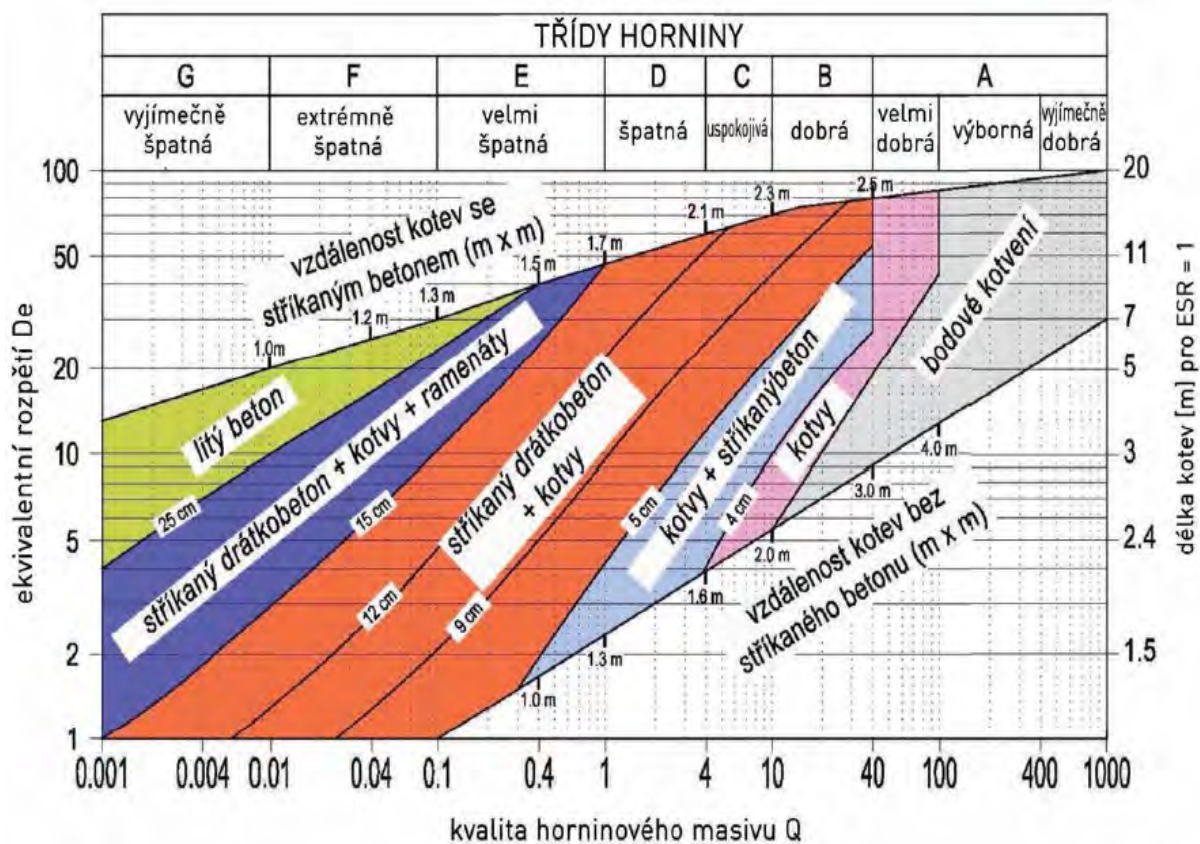
h_t je výška efektivního (porušeného) nadloží (m)

Pro 10 metrové tunely v masívu o primárním napětí nepřesahujícím 25 MPa je doporučována výztuž dle tabulky 8.

Tabulka 8 Návrh vhodné výztuže dle klasifikace RMR

Třída masívu	Způsob ražby (klasická - drill and blast)	Druh výztuže		
		Skalní kotvy (svorníky) (20 mm průměr, plně upínané)	Vrhaný (stříkaný) beton	Ocelová podpěrná
1. Velmi dobrý masív RMR: 81-100	Ražba na plný profil: 3m postup zabírky	Celkově není potřeba vyztužovat, krom občasných uvolněných bloků hornin pomocí kotev (svorníků).		
2. Dobrý masív RMR: 61-80	Ražba na plný profil: 1.0 - 1.5m postup zabírky; Kompletní výztuž max. 20 m od čelby	Lokální kotvy ve stropu, 3m dlouhé, rozteč 2.5m s občasným tahokovem resp. ocelovou sítí	Lokálně strop, tloušťka 50 mm	Žádná
3. Střední RMR: 41-60	Horizontální členění výrubu: 1.5 - 3m předstih kaloty; Zahájení budování výztuže po každém odstřelu; Kompletní výztuž max. 10 m od čelby	Systematické kotvení 4m dlouhé, rozteč 1.5 - 2m ve stropu a stěnách s ocelovou sítí ve stropu	50 - 100mm ve stropu, a 30mm na bocích	Žádná
4. Slabý RMR: 21-40	Horizontální členění výrubu: 1.0 - 1.5m předstih kaloty; Instalace výztuže souběžně s ražením, kompletní výztuž max. 10 m od čelby	Systematické kotvení 4 - 5m dlouhé, rozteč 1 - 1.5m paženo ocelovou sítí ve stropě i po bocích	100 - 150mm ve stropu a 100mm na bocích	Lehká výztuž s roztečí 1,5 m
5. Velmi slabý RMR < 21	Vertikální členění výrubu: 0.5 - 1.5m předstih kaloty; Instalace výztuže soupezně s ražením, kompletní výztuž stříkaným betonem ihned jak je	Systematické kotvení 5 - 6m dlouhé, rozteč 1 - 1.5m ve stropu i stěnách, paženo ocelovou sítí ve stropě i po bocích	150 - 200mm ve stropu, 150mm na bocích, a 50mm na čelbě	Střední až těžká výztuž s roztečí 0.75m s ocelovým případně hnaným pažením je-li vyžadováno.

Na obr. 5 je uveden příklad návrhu výztuže pro dlouhé důlní díla a tunely dle Bartonovy klasifikace Q systém. Ekvivalentní rozpětí důlního díla D_e se spočte z většího rozměru (resp. průměru) důlního díla a koeficientu ESR, který se podle důležitosti a využití důlního díla stanoví z následující tabulky 9:

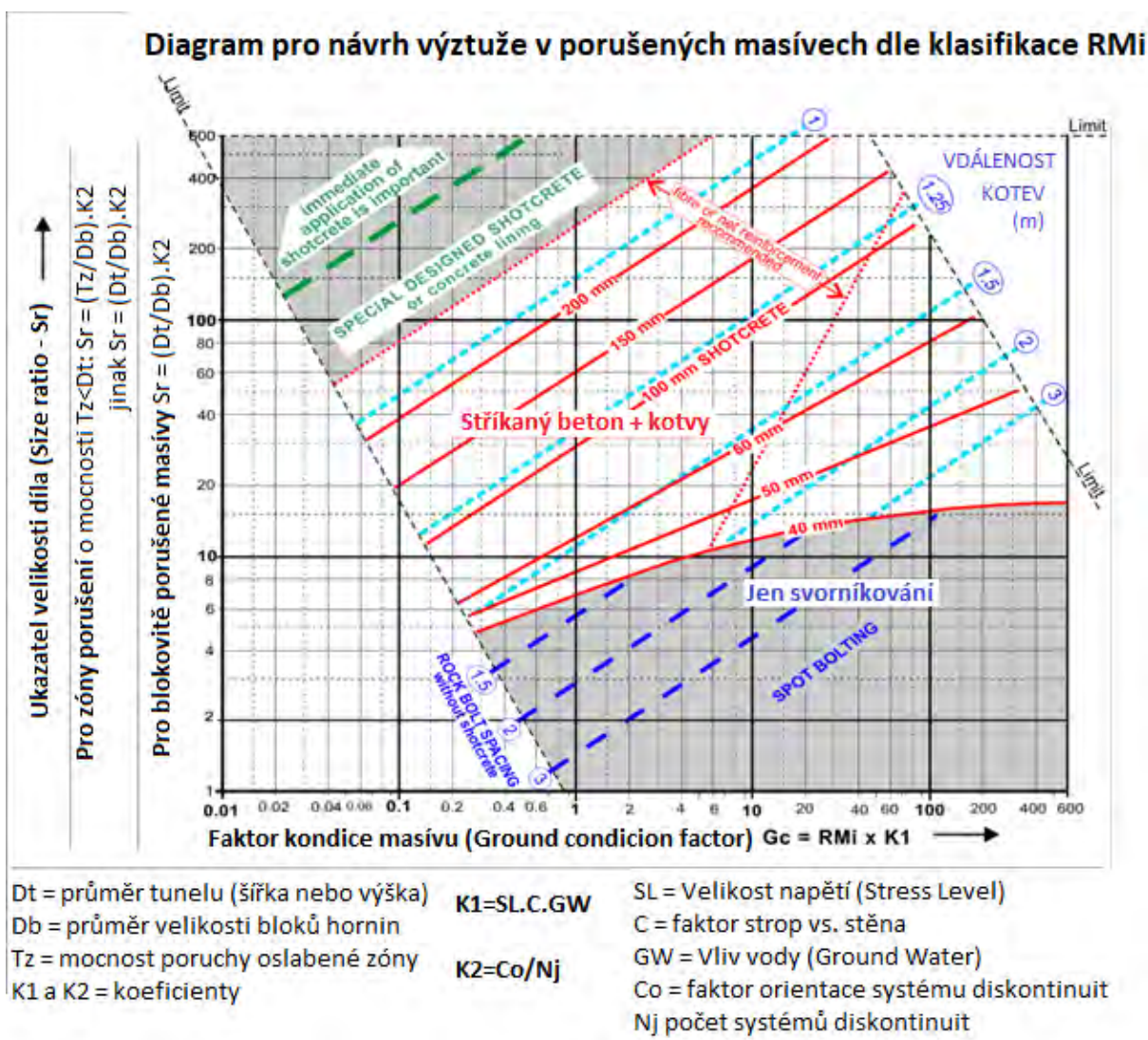


Obrázek 5 Návrh výztuže pomocí klasifikace Q Sytem

Tabulka 9 Hodnoty ESR

Kategorie výrubu		ESR
A	Dočasné důlní dílo	3-5
B	Trvalé důlní díla a překopy, komory, odvodňovací štoly	1,6-2
C	Skladovací prostory, menší dopravní tunely, kolektory	1,2-1,3
D	Podzemní elektrárny, větší dopravní tunely, bunkry civilní ochrany	0,9-1,1
E	Důležité podzemní objekty, např. stanice metra, podzemní haly, nukleární objekty apod.	0,5-0,8


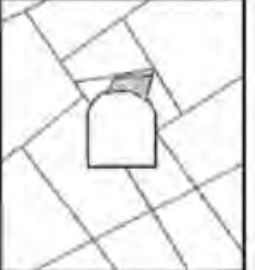
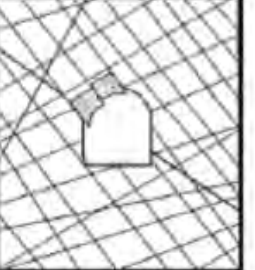

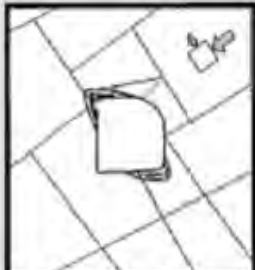
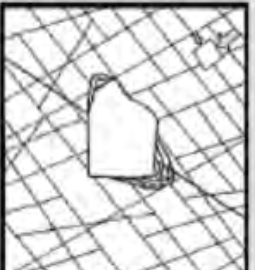


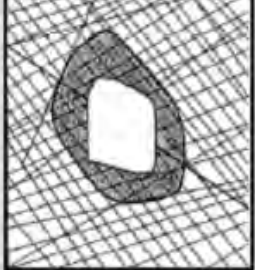
Obdobným způsobem lze navrhnout vhodnou výztuž dlouhých důlních děl a tunelů i dle metodiky RMI. Zde se pro návrh výztuže v porušených horninách používá diagram na obr. 6.



Obrázek 6. Návrh výztuže v porušených horninách dle RMi [3]

3.2 Odhad chování masívu během ražby dlouhých důlních děl

Na základě klasifikace horského masívu a znalosti primární napjatosti v masívu lze rovněž odhadnout pravděpodobné chování a deformace v okolí ražených důlních děl. Pro tento odhad je důležité porovnat poměr primárního napětí k pevnosti v prostém tlaku (σ_1/σ_c). Předpokládané chování pak lze dle Hoeka a Kaisera [5] odhadnout dle obrázku 7.

	Neporušený masiv ($RMR > 75$)	Mírně porušený masiv ($50 > RMR < 75$)	Silně porušený masiv ($RMR < 50$)
Nízké napětí in-situ ($\sigma_1 / \sigma_c < 0.15$)	 <p>Lineárně elastická odezva.</p>	 <p>Padání nebo sjždění bloků a rohů.</p>	 <p>Rozpadání bloků z povrchu výrubu.</p>
Střední napětí in-situ ($0.15 > \sigma_1 / \sigma_c < 0.4$)	 <p>Křehké porušení v blízkosti hranice výrubu.</p>	 <p>Místy křehké porušení neporušené horniny a pohyb bloků.</p>	 <p>Místy křehké porušení neporušené horniny a rozpadání podél disontinuit.</p>
Vysoké napětí in-situ ($\sigma_1 / \sigma_c > 0.4$)	 <p>Křehké porušení kolem výrubu.</p>	 <p>Místy křehké porušení neporušené horniny kolem výrubu a pohyb bloků.</p>	 <p>Bobtnavé a tlačivé horniny. Elasto-plastické kontinuum.</p>

Obrázek 7 Rozdílné chování masívu v závislosti na jeho porušení a primárním napětí

3.3 Výpočet fyzikálně-mechanických vlastností masívu

Na základě provedené geomechanické klasifikace je možné odhadnout fyzikálně-mechanické vlastnosti jednotlivých částí horského masívu, což jsou velmi důležité vstupní data pro matematické modelování. Ukázka výpočtu modulu přetvárnosti pomocí geomechanické klasifikace dle různých autorů je uvedena v tabulce 10.

Tabulka 10 Výpočet modulu přetvárnosti na základě klasifikace masívu

Vztah pro Edef [GPa]	Autor	Poznámka
2(RMR-50)	Cording a kol.	pro RMR > 50
1,7 (RQD-60)	Cording a kol.	
25 ln Q	Barton	
0,7 (RMR/100)2E	Barton	laboratorní hodnoty E
RMR/10+(RMR³/10⁵)	Hoek, Brown	
10^{(RMR-10)/40}	Serafim, Pareira	pro RMR < 50
0,5(RQD/100)²E	Bieniawski	laboratorní hodnoty E
0,07RQD+0,05σc+55Ei	Hönisch	
1000(σc/1000)^{0,5}10^{(GSI-10)/40}	Hoek, Brown	σc < 100 MPa
2RMR-100	Bieniawski	pro RMR > 50

Odvozeny byly rovněž vzorce pro výpočet redukované pevnosti masívu, dle [6] rovnice (5) a dle [7] rovnice (8).

$$\sigma_{cm} = 0,0016RMR^{25} \quad (5)$$

$$\sigma_{cm} = 5\gamma(Q \frac{\sigma_{ci}}{100})^{1/3} \quad (6)$$

Pro matematické modelování je rovněž důležité odhadnout úhel vnitřního tření a soudržnost (kohezi) masívu. I pro tyto vlastnosti byly různými autory odvozeny a empiricky ověřeny vztahy např. [7]:

$$\phi_m = 20 + 0,5RMR \quad (7)$$

$$c_m = \frac{\sigma_{cm}}{2} \frac{1 - \sin\phi_m}{\cos\phi_m} \quad (8)$$

3.4 Hoek-Brownova teorie mezních stavů

Tato hypotéza byla navržena pro odhad mezních napětí pro porušení horninového masívu a byla původně navázaná na klasifikaci RMR. Později byla modifikována (2002) a navázaná na klasifikaci GSI, přičemž vychází z analýzy stovek podzemních děl.

Základní empirický vztah stanovený na základě experimentálních měření in situ, který byl navržen pro málo až středně rozpukaný masív je:

$$\sigma_{1ef} = \sigma_{3ef} + \sigma_c \left(\frac{m_b \sigma_{3ef}}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (9)$$

kde: $\sigma_{1,ef}$ - větší hlavní napětí při porušení horniny,

$\sigma_{3,ef}$ - menší hlavní napětí při porušení horniny,

σ_c - pevnost horniny v prostém tlaku,

m_b, s - nelineární parametry závisující na vlastnostech horninového masívu,

a - parametr rozpukání horniny, 0,5 pro neporušenou horninu.

konstanty m a s lze pro porušený masív stanovit z tabulek např. na základě klasifikace RMR nebo vypočítat z GSI dle následujících vztahů:

$$m_b = m_i e^{\frac{GSI-100}{28-14D}} \quad (10)$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}} \quad (11)$$

3.5 Hodnocení stability skalních stěn

Klasifikační systémy jsou rovněž využívány pro hodnocení stability skalních stěn. Pravděpodobně nejpoužívanější je klasifikace SMR (Slope Mass Rating), což je klasifikace odvozená z původní klasifikace RMR [8]. Klasifikace SMR bodově ohodnocuje všechny důležité parametry horninového masívu, obdobně jako metoda RMR. Nicméně je u této metody navíc hodnocen vznik a typologie možných porušení skalní stěny, jako jsou například porušení

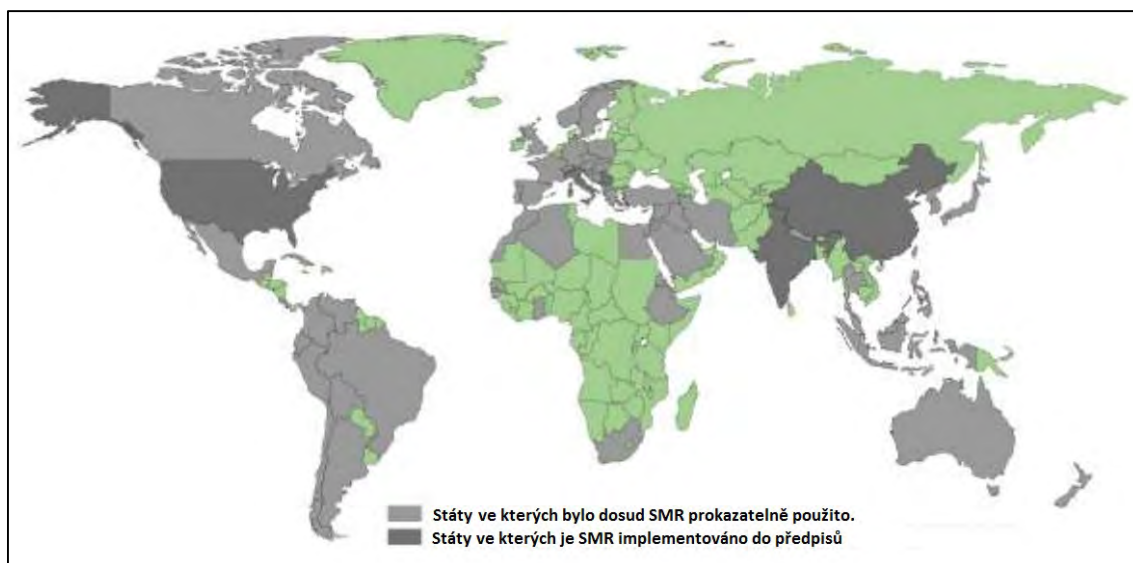
vzniklé následkem trhacích prací. Dále je propracovaněji hodnocen směr a úklon hlavních diskontinuit a jejich orientace vůči skalní stěně, než je tomu v klasifikaci RMR (po doplnění Bieniawskim).

Zatímco v zahraničí je tato metoda patrně nejpoužívanější klasifikační metodou viz obr. 8 [8], v České republice je tato metoda používána téměř sporadicky, především pro hodnocení silničních a železničních zářezů ve skalních horninách.

Stanovení hodnoty SMR se provádí podle následujícího vzorce:

$$SMR = RMR_B + (F1 * F2 * F3) + F4 \quad (12)$$

kde parametry F1 - F3 zohledňují vztahy mezi směrem úklonu (α) a úklonem diskontinuit (β) a hodnocené stěny. Parametr F4 závisí na způsobu vytvoření a stavu hodnocené stěny. Konkrétní bodové přiřazení parametrům F1 - F4 se provádí na základě vztahů uvedených v tabulce 11.



Obrázek 8 Rozšíření metody SMR ve světě [8]

Po přiřazení hodnot parametrům F1 až F4 se vypočte hodnota SMR dle vztahu 12. Výsledné slovní hodnocení skalní stěny dle metody SMR se provádí podle tabulky 13. Na základě této klasifikace lze hodnocenou stěnu zařadit do jedné z pěti kategorií, přičemž každá kategorie je stručně charakterizována. Vzhledem k dlouhodobému a poměrně častému používání této metody pro hodnocení stability skalních stěn v různých zemích světa, bylo možné provést i různé statistické vyhodnocení. Tyto statistiky pak mohou tvořit základ pro návrh vhodné

stabilizace svahů, případně mohou sloužit jako základ pro další metody hodnocení stability skalních stěn pomocí metod založených na analýze rizik a pravděpodobnosti.

Je nutné poznamenat, že někteří autoři původní metody SMR modifikovali, případně doplnili o další parametry (např. o hodnocení vlivu výšky svahu). Jako příklad je možné uvést CSMR (Chinese Slope Mass Rating) [8].

Aby mohla být metoda SMR implementována do softwaru, bylo nutné převést původně diskretní přiřazování bodů parametrům F1 až F3 do kontinuálních funkcí. Toto provedl kolektiv autorů, kteří následně vyvinuli sw SMRTool [9]. Parametry F1 až F4 jsou stanovovány přímo ze stereografické projekce (tektonogramu) a je přímo vyhodnocen mechanismus porušení (planární porušení, překlopení). Tento software je v současné době možné volně využívat jako open source software.

Další možností jak převést původně diskretní přiřazování parametrů F1 až F4 je použití Fuzzy logiky. Takto vznikl FSMR (Fuzzy Slope Mass Rating) systém, který byl implementován do softwaru a formou zpětných analýz odzkoušen v Iránských lomových provozech.

Tabulka 3 Výpočet a bodové hodnocení parametrů F1 až F4

		<i>velmi příznivé</i>	<i>příznivé</i>	<i>dobré</i>	<i>Nepříznivé</i>	<i>velmi nepříznivé</i>
<i>planární porušení</i>	$ \alpha_j - \alpha_s $					
<i>porušení překlopením</i>	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $	$>30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$<5^\circ$
<i>hodnota F1</i>		0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
$F1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_s)^2$						
	β_j	$<20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$>45^\circ$
<i>hodnota F1 planární porušení</i>		0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
<i>hodnota F1 porušení překlopením</i>		1,00				
$F2 = \text{tg}^2 \beta_j$						
<i>planární porušení</i>	$(\beta_j - \beta_s)$	$>10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
<i>porušení překlopením</i>	$(\beta_j + \beta_s)$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$>120^\circ$	-	-
<i>hodnota F3</i>		0	-6	-25	-50	-60
F4 parametr hodnotící narušení stěny dobývací metodou						
		<i>přírodní stěna</i>	<i>presplit</i>	<i>jemná trhací práce</i>	<i>dobře provedené trhací práce</i>	<i>špatně provedené trhací práce</i>
<i>hodnota F4</i>		+15	+10	+8	0	-8

Kde α_j - směr diskontinuity, α_s - směr sklonu stěny, β_j - úklon diskontinuity a β_s - sklon stěny

Tabulka 4 Výsledné slovní ohodnocení stability skalní stěny metodou SMR

SMR	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
stav horninového masívu	velmi špatný	špatný	vyhovující	dobrý	velmi dobrý
stabilita horninového masívu	zcela nestabilní	nestabilní	částečně stabilní	stabilní	zcela stabilní

4. Popis nově navrhované metodiky

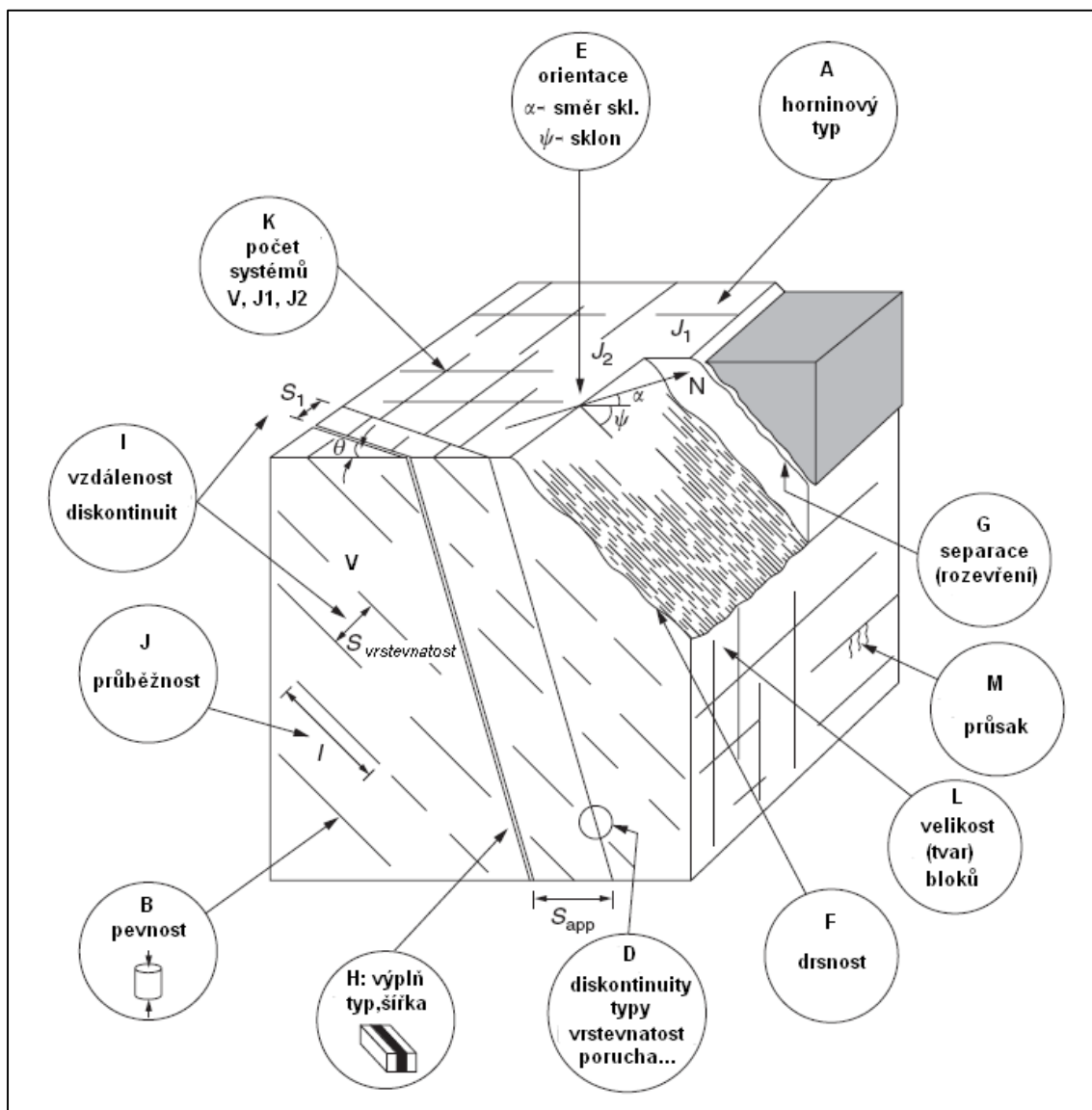
Z rešerše odborné literatury vyplynulo, že nejpoužívanějším nástrojem pro vyhodnocení geomechanických vlastností hornin je v současné době pravděpodobně klasifikace RMR. Předmětná klasifikace byla úspěšně ověřena v různých podmínkách i aplikacích (ražba tunelů, kolektorů, dlouhých důlních děl, podzemních staveb skalních/lomových stěn apod.), a to především v zahraničí.

Z těchto důvodů bylo rozhodnuto převzít a doporučit tuto klasifikaci pro hodnocení geomechanických vlastností v ČR. V současné době rovněž existují volně stažitelné softwarové aplikace pro klasifikaci a vyhodnocení geomechanických vlastností, dle výše popsanych klasifikací, tudíž samotné vyhodnocení naměřených dat je jednoduché a automatizované. I v rámci této metodiky byla vytvořena softwarová aplikace, pomocí které je možné toto vyhodnocení provést.

Pro správnost výsledků je však velmi důležité provést správné měření a vyhodnocení vstupních dat in situ. Z tohoto důvodu bude níže popsán postup pro měření a vyhodnocení vstupních dat.

4.1. Vstupní data – hodnotící kritéria

Většina klasifikačních metod je založena na hodnocení vlastností skalního masívu mající vliv na jeho oslabení a případnou instabilitu. Hodnocení vlastností horského masívu by mělo být prováděno přímo in situ. Základní vlastnosti, které charakterizují horský masív, jsou patrné z obr. 9.



Obrázek 9 Vlastnosti masívu stanovované in situ

Jak již bylo uvedeno výše, jednotlivá hodnotící kritéria pro klasifikaci RMR jsou následující:

- Pevnost vzorků hornin v jednoosém tlaku
- Kusovitost vrtného jádra (RQD klasifikace)
- Vzájemná vzdálenost diskontinuit
- Kvalita ploch diskontinuit

- Podmínky zvodnění masívu
- Orientace diskontinuit vzhledem k důlnímu dílu resp. skalní stěně.

Jednotlivým kritériím se přiřazuje bodové hodnocení dle tabulky 2 a výsledný součet (resp. jiný výpočet) bodů za jednotlivá kritéria dává hodnotu RMR (resp. hodnotu jiné klasifikace např. Q systém, RMi apod.).

4.1.1 Pevnost vzorků hornin v jednoosém tlaku

U většiny klasifikačních systémů je jedním ze základních hodnotících kritérií pevnost hornin v prostém tlaku. Ač se jedná o jednu z nejčastěji stanovovaných mechanických vlastností hornin, ne vždy jsou k dispozici výsledky z laboratorního stanovení. Navíc se jedná o vlastnost hornin, která se může v různých místech hodnocené skalní stěny měnit v závislosti na různých činitelích (např. alterace, blízkost tektoniky apod.). Z tohoto důvodu je vhodné alespoň orientačně stanovovat a ověřovat pevnost v prostém tlaku in situ. V současné době je možné pevnost v prostém tlaku s dostatečnou přesností stanovovat pomocí Schmidtova kladiva, případně polního lisu (Index pevnosti) nebo odhadem pomocí geologického kladívka. Nejčastěji se pro potřeby klasifikačních metod používá Schmidtova nárazového kladívka, případně odhad dle ČSN EN ISO 14689-1 (geologické kladivo).

Schmidtovo nárazové kladívko

Pro orientační stanovení tlakové pevnosti hornin hlavně v podmínkách in situ, slouží **Schmidtovo nárazové kladívko** (obr. 10). Schmidtovo kladivo bylo původně navrženo pro nedestruktivní stanovování pevnosti betonu, později se začalo používat i pro orientační stanovování pevnosti hornin. Tlaková pevnost se hodnotí podle výšky odrazu závaží, kterou ukáže stupnice nárazového kladívka. Výška odrazu závisí na energii pružiny Schmidtova nárazového kladívka a na orientaci měření. V současné době jsou k dispozici dva základní typy Schmidtových kladív, a to typu N (Normal, energie pružiny 2,207 J) a typu L (lehké – Light, energie pružiny 0,735 J). Pro měření pevnosti betonů se používá nejčastěji typ N, zatímco pro měření pevnosti hornin je spíše doporučován typ L, kterým lze za určitých podmínek (dostatečná fixace) stanovovat pevnost i na vrtných jádrech.

Schmidtovo nárazové kladívko bylo původně zkonstruováno pro zkoušky betonu a většinou přímo na něm jsou vyneseny grafy pro přepočítání zjištěné výšky odrazu na pevnost betonu. Tyto grafické závislosti jsou vymezeny pro různé polohy nárazového kladívka. Vzhledem k tomu, že pro horniny závislost výšky odrazu na pevnosti nemá tak jednoduchý průběh jako pro beton, bylo provedeno několik výzkumů pro určení této závislosti. V současné době je pro skalní horniny doporučována metodika ISRM [10]. Grafická závislost pevnosti hornin na odrazu, objemové hmotnosti (resp. tíze) a orientaci měření dle metodiky ISRM je uvedena na obr. 9. Tato metodika je navržena pro měření Schmidtovým kladivem typu L. Pokud používáme kladivo typu N, musí se provést korekce dle vztahu:

$$R_N = 1,0646 R_L + 6,3673 \quad (13)$$

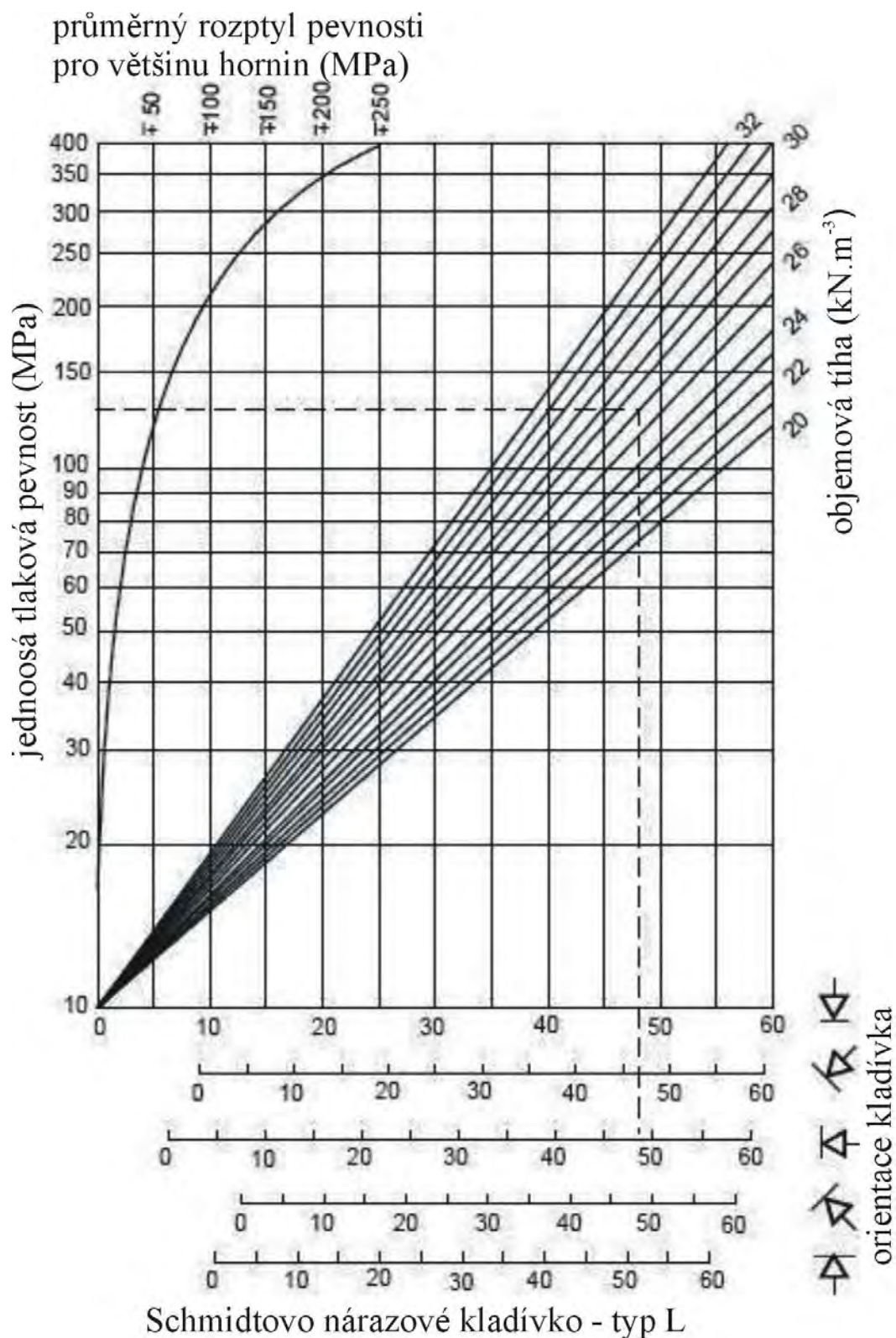
Při nedokonalém kontaktu úderníku s horninou může dojít ke zkreslení pouze k nižším hodnotám. Z tohoto důvodu se doporučuje provést zkoušku na jednom místě asi 10x a brát v úvahu maximální naměřenou hodnotu odrazu (případně stanovit průměr z těchto měření s vyřazením odlehlých hodnot). Pomocí grafu na obr. 11 stanovíme z hodnoty odrazu Schmidtového kladiva pevnost v prostém tlaku horniny, včetně odhadu nejistoty měření.

V současné době jsou na trhu moderní digitální Schmidtova kladiva (např. Proceq RockTest Silver), do kterých je možné přímo nahrát algoritmus převodu odrazu kladiva na pevnost v prostém tlaku hornin. Tyto kladiva v sobě obsahují i sklonoměr, tudíž je možné pomocí algoritmu přímo opravit i vliv orientace Schmidtového kladiva při měření. Kladiva disponují rovněž pamětí naměřených dat, ze kterých je možné naměřené údaje pomocí USB kabelu stáhnout do PC.

Z výše uvedeného popisu vyplývá, že Schmidtovo kladivo lze doporučit pro orientační stanovení pevnosti v prostém tlaku in situ, pro potřeby klasifikačních metod hodnotících stabilitu skalních stěn.



Obrázek 10 Shmidtovo kladivo Proceq Shmidt Silver L



Obrázek 11 Graf pro přepočítání odrazu Schmidtova kladívka na pevnost v prostém tlaku [10]

Polní stanovení pevnosti v tlaku dle ČSN EN ISO 14689-1

Orientační pevnost v prostém tlaku hornin se může stanovit in situ s použitím geologického kladiva dle následující tabulky 14.

Tabulka 5 Orientační stanovení pevnosti v prostém tlaku hornin pomocí geologického kladiva

Název	Popis	Pevnost V prostém tlaku MPa
Extrémně měkká*	Lze vytvořit rýhy nehtem.	menší než 1
Velmi měkká	Rozpad po jednom úderu geologickým kladívkem, může být odlupován kapesním nožem.	1 až 5
Měkká	Ztěžka odlupován kapesním nožem, vzniká mělká jamka po jednom úderu hrotem geologického kladívka.	5 až 25
Středně pevná	Nemůže být oškrabán nebo odlupován kapesním nožem, vzorek může být rozbit jedním silným úderem geologického kladívka.	25 až 50
Pevná	Pro rozbití vzorku je nutné více než jeden úder geologickým kladívkem.	50 až 100
Velmi pevná	Pro rozbití vzorku je nutné mnoho úderů geologickým kladívkem.	100 až 250
Extrémně pevná	Vzorek je po mnoha úderech geologickým kladívkem pouze otlučený.	více než 250

* Některé extrémně měkké horniny mohou být klasifikovány jako zeminy

4.1.2 Kusovitost vrtného jádra (RQD klasifikace)

Princip geomechanické klasifikace RQD byl popsán v samostatné kapitole 2.1. Vychází z hodnocení „kusovitosti“ vrtného jádra. Při praktickém hodnocení stability lomových stěn, však často vrtné jádro není k dispozici. Nicméně díky přístupnosti obnažené skalní stěny můžeme provádět měření přímo v masívu. V tomto případě může být měření provedeno vytyčením vertikální linie v hodnocené skalní stěně (fiktivní vrt) a odměřováním délek diskontinuitami oddělených kusů hornin. Výpočet RQD pak provedeme stejným způsobem jako v případě hodnocení jádrového vrtu. Druhou možností je stanovení RQD dle Palmströma [3], z následujícího vztahu:

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v \quad (14)$$

kde J_v je Volumetrický počet diskontinuit, tj. součet četnosti diskontinuit na m^3 .

4.1.3 Hodnocení diskontinuit

Horské masívy (skalní stěny) jsou zpravidla oslabeny přítomností diskontinuit (plochou nespojitosti), které je rozdělují na bloky neporušené (intaktní) horniny. Diskontinuitami rozumíme jakékoli rozdělení horského masivu bez ohledu na jejich vznik. Mezi plochy nespojitosti tedy patří vrstevní plochy, pukliny, praskliny, zlomy apod. Většina fyzikálně mechanických vlastností hornin (např. pevnosti, moduly přetvoření, objemová hmotnost, koeficient propustnosti apod.) se zpravidla stanovuje laboratorně na vzorcích připravených z intaktních (diskontinuitami neporušených) bloků hornin.

Z inženýrského hlediska však plochy nespojitosti značně zhoršují tyto fyzikálně-mechanické vlastnosti hornin. Průběžné, hladké, alterované, otevřené a vzhledem ke skalním stěnám i nevhodně orientované velké diskontinuity mají značný vliv na stabilitu podzemních děl či skalních stěn. Z tohoto důvodu je důležité znát jejich geometrické, mechanické ale i hydrologické vlastnosti.

Velice často je v horninách více systémů ploch nespojitosti, např. jeden hlavní systém, jenž dělí horninový masiv na velké bloky a podružný systém či systémy. U sedimentů jsou většinou hlavními plochami nespojitosti vrstevní plochy a tektonické poruchy. U jílových sedimentů bývá hlavní systém puklin rovnoběžný se směrem vrstevních ploch, podružné systémy jsou zpravidla tvořeny krátkými a hustými puklinami kolmými k vrstevním plochám.

Zaměření ploch diskontinuit

Při průzkumu ploch nespojitosti se používá pro jejich zaměrování geologický kompas, kterým nejčastěji měříme:

- směr roviny - úhel α , který svírá hlavní přímka dané roviny (průsečnice s vodorovnou rovinou) se směrem magnetického severu. Pohybuje se v rozmezí 0 - 360°.
- směr sklonu roviny - úhel α_f , který svírá ve směru klesání orientovaný půdorysný průmět spádové přímky dané roviny se směrem magnetického severu. Pohybuje se v rozmezí 0 - 360°.
- sklon roviny úhel β , který svírá spádová přímka dané rovin s rovinou horizontální, se zjišťuje inklinometrem (sklonoměrem). Pohybuje se v rozmezí 0 - 90°

Popis diskontinuit

Ze stabilitního hlediska plochy nespojitosti značně zhoršují mechanické vlastnosti horského masívu (např. propustnost, pevnost, přetvárnost apod). Z tohoto důvodu je nutné plochám nespojitostí věnovat velkou pozornost. Cílem je kvalitativně i kvantitativně popsat všechny diskontinuity oslabující horninový masív. Jelikož je skoro nemožné vzhledem ke složitosti a množství různých parametrů provést komplexní popis diskontinuitami porušeného masívu, používá se popis následujících parametrů zahrnující kvantitu i kvalitu ploch nespojitostí:

- Rozteč diskontinuit,
- Počet systémů diskontinuit,
- Stálost ploch nespojitostí,
- Velikost a tvar horninových bloků,
- Separace (otevřenost) ploch nespojitostí
- Drsnost ploch nespojitostí

Rozteč diskontinuit

Rozteč diskontinuit je definovaná jako průměrná vzdálenost diskontinuit hodnoceného systému na měřeném úseku. Měří se kolmo na jednotlivé systémy diskontinuit a je ji možné získat buďto přímým měřením odkrytých ploch horninového masívu (skalní stěny) in situ pomocí vhodného měřidla (např. nivelační lať), případně měřením vzdáleností diskontinuit na vrtném jádře, pokud byl vrt veden kolmo na směr hodnoceného systému diskontinuit. Rozteč diskontinuit lze rovněž odhadnout z měření velikosti a tvaru přirozených bloků kamene.

Počet systémů diskontinuit

Porušení a tím i mechanické vlastnosti horninového masívu jsou nejvíce ovlivněny počtem protínajících se systémů diskontinuit. Tyto systémy přímo určují míru deformací horninového masívu. Podle Bartona mohou být systémy ploch nespojitosti v libovolně blíže určené oblasti popsány následujícím způsobem [10]:

- pevný, masivní horninový masív s náhodně se vyskytujícími spárami
- jeden systém ploch nespojitosti
- jeden systém ploch nespojitosti a náhodně se vyskytující plochy diskontinuit

- dva systémy ploch nespojitosti
- dva systémy ploch nespojitosti a náhodně se vyskytující plochy diskontinuit
- tři systémy ploch nespojitosti
- tři systémy ploch nespojitosti a náhodně se vyskytující plochy diskontinuit
- čtyři a více systémy ploch nespojitosti
- rozdrčená hornina, měkké až zemité horniny.

Stálost (průběžnost) ploch nespojitostí

Stálost (průběžnost, někdy též persistence) plochy nespojitosti nám udává, zda-li se jedná o diskontinuitu průběžné (nepřetržitě), či ne. Tato vlastnost může být u méně obnažených stěn poměrně obtížněji určitelná z důvodu, že odkryté pukliny často zapadají do horninového masivu, a tudíž je nemožné odhadnout jejich stálost. Nicméně se předpokládá, že je možné délky formálních stop (tras) změřených pro každou soustavu ploch nespojitosti zařadit podle následující tabulky 15.

Tabulka 15 Klasifikace diskontinuit dle stálosti (průběžnosti) [10]

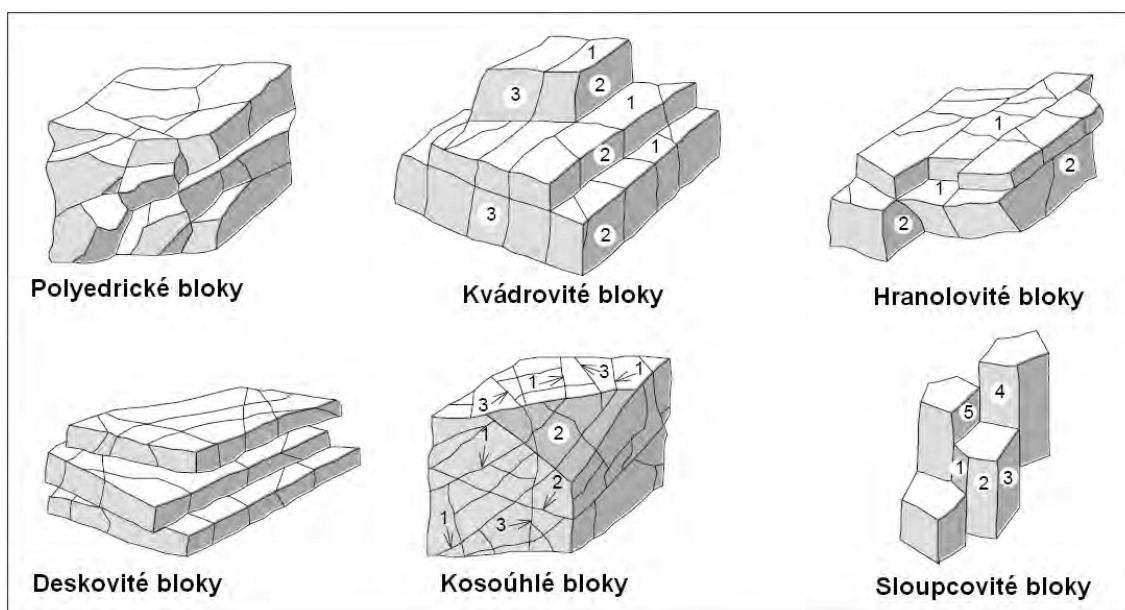
Stálost diskontinuity	Délka diskontinuity
Velmi malá stálost	pod 1 m
Malá stálost	1 - 3 m
Střední stálost	3 – 10 m
Velká stálost	10 – 20 m
Velmi velká stálost (průběžné)	nad 20 m

Velikost a tvar horninových bloků

Tvar horninových bloků by měl být vztažen ke vzdálenosti a počtu jednotlivých systémů diskontinuit. Dle tvaru bloku (viz obr. 12) můžeme skalní stěny rozdělit dle ČSN EN ISO 14689-1 do šesti kategorií:

- Polyedrické bloky - nepravidelné diskontinuity bez uspořádání do zřejmých systémů a malá stálost.
- Deskovité bloky – jeden převládající systém paralelních diskontinuit (1), např. vrstevnatost s dalšími neprůběžnými puklinami, tloušťka bloků je značně menší než délka nebo šířka

- Hranolovité bloky – dva převládající systémy diskontinuit (1 a 2), přibližně kolmé a paralelní s třetím nepravidelným systémem, tloušťka bloků je značně menší než délka nebo šířka.
- Kvádrovité bloky – tři převládající systémy diskontinuit (1, 2 a 3), přibližně kolmé, s občasou neprůběžnou puklinou, vytvářející kvádrovité bloky.
- Kosouhlé bloky - tři nebo více převládající, vzájemně kosé systémy puklin (1.2 a 3) tvořící kosouhlé, kvádrové bloky.
- Sloupcovité bloky - několik, většinou více než tři, systémů průběžných, paralelních puklin (1, 2, 3, 4, 5) často zkřížených neprůběžnými puklinami, délka je podstatně větší než jiné rozměry.



Obrázek 12 Klasifikace bloků hornin na základě měření systému diskontinuit

Rozevření (separace) ploch nespojitostí

Rozevření (separace) diskontinuit je definována jako svislá vzdálenost mezi dvěma plochami diskontinuit. Tato vlastnost je důležitá vzhledem k hodnocení celkové pevnosti a propustnosti horského masívu tvořícího skalní stěnu. Rozevřené pukliny mohou být částečně, či zcela vyplněné méně pevným materiálem, jenž ovlivňuje nejen pevnost celého masívu, ale i jeho propustnost. Pokud je puklina otevřená natolik, že je výplň dostatečně mocná, nejsou stěny

pukliny v přímém kontaktu. V tomto případě závisí pevnost plochy nespojitosti přímo na vlastnostech výplňového materiálu. Popis separace ploch diskontinuit je možný např. dle Bartona.

Tabulka 16 Klasifikace separace diskontinuit podle Bartona [10]

Označení	Popis	Šířka rozevření (mm)
Uzavřené	velmi těsné	<0,1
	Těsné	0,1-0,25
	z části otevřené	0,25-0,5
Rozevřené	Otevřené	0,5-2,5
	Mírně široké	2,5-10
	Široké	<10
Otevřené	Velmi široké	10-100
	Extrémně široké	100-1000
	Kaverny	<1000

Drsnost a tření na plochách nespojitostí

Velikost tření na styčných plochách diskontinuit bude do značné míry záviset na drsnosti ploch nespojitostí a jejich stavu. Popis vlastností povrchu plochy nespojitosti se vztahuje k drsnosti plochy, jejímu zvlnění a stavu samotné stěny pukliny. Drsnost a zvlnění plochy nespojitosti jsou úzce svázány s velikostí zkoumané oblasti (měřítkem) a vlivem na smykovou pevnost plochy nespojitosti.

Zvětšení drsnosti má za následek nárůst úhlu vnitřního tření podél povrchu pukliny. Tento vliv drsnosti se ztrácí či zmenšuje v případě, že plocha nespojitosti obsahuje výplňový materiál, jak je vidět z tabulky 17.

Častokrát je nemožné přesně stanovit hodnotu úhlu vnitřního tření. V takovýchto případech se musíme spokojit s tzv. směrnými hodnotami úhlu vnitřního tření, které byly orientačně stanoveny na základě různých výzkumů a pozorování v terénu. Příklad směrných hodnot úhlů tření pro různé typy spár podle [11] jsou uvedeny v tabulce 18.

Tabulka 17 Hodnoty tření v závislosti na separaci spár a typu případné výplně

Rozevření spár	Výplň spár			Spáry bez výplně
	jílovitá	hlinito-písčitá	limonitická	
> 3 mm	20 – 25° *	30°	-	30°
0,5 – 3 mm	25° - 28°	30°-33°	28°- 32°	32°- 35°
0 – 0,5 mm	30°	36°	35°	40°
0	-	-	-	45° (50°) **

* podle konzistence výplně měkká – pevná

** v pevných nezvětralých horninách

Tabulka 18 Typické rozsahy třecích úhlů pro různé horninové typy [11]

Zatřídění horniny	rozsah třecího úhlu	charakteristické horninové typy
Nízké tření	20 - 27°	Lupky, břidlice, mramory
Střední tření	27 – 34°	Pískovce, prachovce, křídly
Vysoké tření	34 – 40°	Basalty, granity, vápence

5. Popis aplikace MS Excel

Výše popsaná metodika byla zpracována rovněž formou jednoduché softwarové aplikace v prostředí MS Excel. Po zadání vstupních dat (zvýrazněno pozadím) ve správném formátu, se automaticky přiřadí pro jednotlivé hodnotící kritéria bodové ohodnocení. Pro každou klasifikační metodu (RMR, Q Systém i RMi), je na závěr proveden výpočet bodů za jednotlivé hodnocené kritéria, přičemž lze konstatovat, čím většího počtu bodů je dosaženo, tím stabilnější chování masívu se dá předpokládat.

Aplikace MS Excel byla záměrně vytvořena tak, aby bylo možné hodnotit několika výše uvedenými klasifikačními systémy a uživatel aplikace se rozhodl, jestli použije výsledky jen na základě doporučené metodiky RMR nebo jiné klasifikace (např. Q systém, RMi).

Na obr. č. 13 je zobrazen printscreen metodiky z aplikace MS Excel (příloha k této metodice), s vyznačením záložek. V záložce „Informace“ jsou uvedeny základní údaje o aplikaci a odkazy na zdrojovou literaturu, ze které bylo při tvorbě této aplikace čerpáno. Nejdůležitější záložkou je karta „Vstupní data“ kde uživatel aplikace musí vyplnit informace o hodnoceném masívu. Pro orientační vyhodnocení stačí zadat pouze některé vstupní data týkající se především stupně porušení masívu, nicméně pro dosažení přesnějších výsledků doporučujeme vyplnit pokud možno všechny vstupní data. Pro správné zadání vstupních dat slouží modře podbarvený text (náповěda), která lze zneviditelnit.

V kartě „Results“ je možné zkontrolovat výsledné zatřídění masívu dle jednotlivých klasifikačních systémů, konkrétně RMR, Q systém a RMi. Dále jsou zde některé vypočtené vlastnosti masívu, které byly přepočteny na základě klasifikace masívu a odvozených resp. empirických vztahů (viz rešerše literatury - kapitola 3.3).

Karta „Parameter tables“ je pouze orientační a jsou v ní uvedeny kompletní tabulky s bodovým ohodnocením jednotlivých parametrů platných pro jednotlivé klasifikační systémy (RMR, Q Systém a RMi). Tato karta může sloužit pro kontrolu aktuálnosti klasifikačních metod. Může se totiž stát, že v budoucnu bude některý z klasifikačních systémů revidován (např. některé parametry budou ohodnoceny jiným počtem bodů). Vzhledem ke skutečnosti, že všechny v softwarové aplikaci uvedené klasifikační systémy byly originálně publikovány v anglickém

jazyce, předpokládá se, že i revize budou publikovány v angličtině v některém z odborných časopisů. Aby se zachovala jednotnost vstupních dat v softwaru s originálním pojmenováním a názvoslovím, jsou v této kartě všechny parametry označeny a popsány v souladu s originálním označením – tedy v angličtině.

Karta RMR Support obsahuje tabulku, která může báňskému projektantovi sloužit jako vodítko pro správný výběr vhodné výztuže pro tunely, resp. dlouhé důlní díla na základě klasifikace RMR. Obdobně karty Q Support a RMi Support, slouží ke stejnému účelu jen na základě jiných klasifikačních systémů.

VSTUPNÍ DATA DŮLNÍHO DÍLA A VLASTNOSTÍ MASÍVU ve vztahu k RMR, Q and RMi geomechanickým klasifikačním systémům		Rock	Mass
Alespoň jedna hodnota v zelených řádcích musí být vyplněna			
Projekt:	Datum:		
Tunnel:	Lokalita:		
Hodnotil:	Pozn.:		
Hornina:			
<i>U označených parametrů S vložte symboly z nápovědy - modrý text, sleduj také ?</i>			
Vstupní parametry		Symbol a hodnot	
	Šířka nebo průměr důlního díla (Dt)		m
	Výška důlního díla (Wt)		m
A1	Pevnost v prostém tlaku (UCS nebo σ_c):		MPa
B1	Stupeň porušení masivu	RQD (Rock Quality Designation): Objem (velikost) bloků (Vb):	RQD = % Vb = m ³
B3	Počet diskontinuit na m ² (Jv):		disk./m ²
B4	Vzdálenost (rozteč) diskontinuit:		S
C1	Tvar bloků hornin ¹⁾ :		S
C2	Struktura porušení masivu	Systém diskontinuita = není, b=1 syst.; c=1 syst.+náhodný; d=2 syst.; e=2 syst.+náh.; f=3 syst.; g=3 syst.+náh.; i = porušen	S
C3	Orientace hl. systému		S
C4	diskontinuit:		S
D1	Drsnost		S
D2	diskontinuit		S
D3	Alterace poruch // stav		S
D4	Průběžnost:		S
D5	Separace:		S
E	Zaklínění nebo soudržnost masivu:		S
F	Přítoky podzemní vody do důlního díla:		S
G1	Stav napětí: (vstup pro Q a RMi)		S
G2	Projevy přitížení		S
H1	Zóny		S
H2	oslabení (poruchy, apod.)		S
H3			S
H4			S

INFORMACE A KOMEN
Doplňte vstupní symboly pro vstupní par:

Po vyplnění alespoň jednoho vstupu (zelené řádky) je možné provést ječ

Pro ostatní vstupní parametry pokud n hodnoty. Nicméně pokud jsou tyto hc dosáhnete tím mnohem přesnější výsl

Pro více informací o parametrech, se j

Pro vymazání všech vstupních parametrů

vložte 'x'

TT
- I
Je
pr

POZNÁMK
- v případě i
- v tunelech
Proto je v tař důlního díla),
měly být tyč

Ukaz na parametr tables

Symbol a hodnot

← vyplň symbol (S) nebo hodnotu

← VSTUP

¹⁾ Pro informaci: Byl použit výpočet Vb z Jv
Pozn.: Bobtnající horniny nejsou zahrnuty

Reference: A. Palmström, Q-RMR-RMi, version 3, RockMass AS, July 2018

INFORMACE INPUT DATA RESULTS Calculations Parameter tables RMR support Q support RMi support Rock properties

Počet systémů diskontinuit

Obr. 13 Prinscreen z aplikace MS Excel vyvinuté pro výběr vhodné dobývací metody

Poslední karta Rock Properties je opět orientační a slouží především pro stanovení koeficientu m , který je důležitý pro Hoek-Brownovu hypotézu mezních stavů (viz kapitola 3.4). Aplikaci je možné rozšířit i o jiné hodnocení (např. hodnocení stability skalních stěn SMR systémem, či dalšími informačními údaji (přidají se listy v prostředí MS Excel).

6. Ekonomické aspekty

Jak již bylo uvedeno výše, pomocí navržené metodiky je možné vyhodnotit geomechanické vlastnosti horninového masívu a navrhnout např. výztuž nebo rozměry důlního díla tak aby bylo stabilní, případně odhadnout geomechanické parametry masívu, pro složitější a sofistikovanější metody používané v geomechanice, např. pro numerické modelování.

Hlavním ekonomickým přínosem metodiky, je optimalizace výztuže důlních děl, a tím šetrnější a hospodárnější vydobytí nerostných surovin. Moderní pohled na hodnocení chování masívu jako celku (včetně diskontinuit) povede pravděpodobně i ke zvýšení bezpečnosti práce.

Reference:

[1] Hoek, E, Practical Rock Engineering. Rosicence. 2007 dostupné na:

<https://www.rocscience.com/learning/hoeks-corner/course-notes-books>

[2] Barton, N. and Grimstad, E. (2004): The Q-system following thirty years of development and application in tunneling projects. Proc. ISRM Symp. EUROCK 2004. Salzburg, Austria, 2004, pp. 15-18.

[3] Palmström A. (2000): Recent developments in rock support estimates by the RMi. Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology, Vol. 6, No. 1 May 2000, pp. 1 – 19.

[4] Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering rock mass classifications. New York: Wiley, ISBN 0-471-60172-1

[5] Kaiser, PK & Kim, BH 2008, 'Rock mechanics challenges in underground construction and mining', in Y Potvin, J Carter, A Dyskin & R Jeffery (eds), Proceedings of the First South

Hemisphere International Rock Mechanics Symposium, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 23–38.

[6] Aydan, O., Ulusay, R., and Tokashiki, N., 2014. A new rock mass quality rating system: rock mass quality rating (RMQR) and its application to the estimation of geomechanical characteristics of rock masses: *Rock Mechanics Rock Engineering*, v. 47, p. 1255-1276.

[7] Aydan, O., and Kawamoto, T., 2001. The stability assessment of a large underground opening at great depth. In: *Proceedings of the 17th international mining congress and exhibition of Turkey (IMCET 2001)*, Ankara, Turkey, June 2001

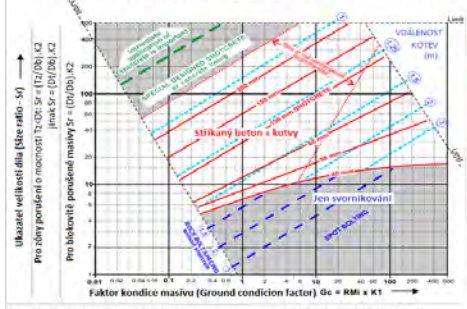
[8] Romana, M., Tomás, R., Serón, J.B. (2015). Slope Mass Rating (SMR) geomechanics classification: thirty years review. *ISRM Congress 2015 Proceedings - International Symposium on Rock Mechanics*, Quebec, Canada

[9] Riquelme, A., Tomás R., Abellán A.: SMRTool beta. A calculator for determining Slope Mass Rating (SMR). *Universitat de Alicante* 2014. Dostupné z WWW: <http://personal.ua.es/es/ariquelme/smrtool.html>

[10] ULUSAY, R., HUDSON, J. A. ed. :The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. Ankara: Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, 2007. ISBN 978-975-93675-4-1.

[11] PAVLÍK, J. Geotechnické způsoby určování stability skalních stěn. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1981.

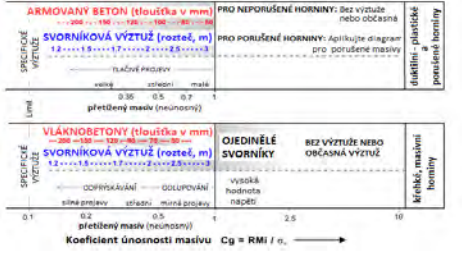
Diagram pro návrh výztuže v porušených masívech dle klasifikace RMI



Dt = průměr tunetu (šířka nebo výška) $K1$ -SL.C.GW SL = Velikost napětí (Stress Level)
 Db = průměr velikosti bloků hornin C = faktor sklop vs. stěna
 Tz = neznámá porucha oslabené zóny GW = Vliv vody (Ground Water)
 $K1$ a $K2$ = koeficienty $K2$ -Co/Nj Co = faktor orientace systému diskontinuit
 Nj počet systémů diskontinuit

Diagram pro návrh výztuže pomocí klasifikace RMI, v masívu v oblasti zvýšeného napětí
 Pozn. berte v úvahu, možnou nepřesnost měření napětového stavu in situ

Pro všechny partikulární materiály: Použijte diagram pro porušené masívy pro prvotní návrh výztuže



Příklad Pro masív tvořený křehkými neporušenými horninami při středně přetížení masívu, je navržena výztuž 90mm silná z vřhaného vláknobetonu a systematickou svorníkovou výztuží o rosteči 1.8m

PŘÍKLAD: Pro $Gc = 2$ a $Sr = 30$, je navržena výztuž z 80mm hrubé vrstvy drátobetonu (fibre reinforced shotcrete) a svorníků (rock bolts) instalovaných ve vzdálenosti 1.4m

INFORMACE pro uživatele

Tato softwarová aplikace kombinuje následující tři numerické, empirické geomechanické klasifikační systémy navržené především pro dimenzování výztuží důlních děl:

Q systém, vyvinutý Barton et al. V roce 1974 a následujících revizích a úpravách v 1993 and 2004.

- více informací o Q systému, - Grimstad E. and Barton N. (1995): Updating the Q-system for NMT. Proc. Int. Symp. on Sprayed Concrete, Fagernes, Norway 1993, Norwegian Concrete Association, Oslo, 20 p.

- Barton, N. and Grimstad, E. (2004): The Q-system following thirty years of development and application in tunneling projects. Proc. ISRM Symp. EUROCK 2004, Salzburg, Austria, 2004, pp. 15-18.

RMR (Rock Mass Rating), vyvinutá Bieniawskim roku 1976 a později revidováno a doplněno 1989.

- více informací o RMR systému z roku 1989, např. v Bieniawski Z.T. (1985): Engineering rock mass classifications. John Wiley & Sons, New York, 251 pp.

RMI Rock Mass Index vyvinuto Palmstromem roku 1995, částečně revidováno 2000.

- více informací o RMI systému - Palmström A. (2000): Recent developments in rock support estimates by the RMI. Journal of Rock Mechanics and Tunneling Technology, Vol. 6, No. 1 May 2000, pp. 1 – 19; také na www.rockmass.net

- Palmström A. (2009): Combining the RMR, Q and RMI classification systems. www.rockmass.net, 25p

V záložce **'INPUT DATA'**, se zadávají vstupní hodnoty resp. symboly parametrů, které jsou dále zpracovány a aplikovány do výše uvedených klasifikačních systémů (Q systém, RMR a RMI). Veškeré výpočty jsou provedeny v záložce **'Calculations'**. Protože všechny tři metody využívají více méně shodné vstupní parametry masívu, jsou vstupní data vzájemně porovnávána a tabulkově zpracována v záložce **'Parameters tables'**. U většiny parametrů, pokud nejsou vyplněny ve vstupním formuláři, jsou automaticky doplněny obvyklé hodnoty. Z tohoto důvodu je pro orientační zařazení masívu postačující vyplnit údaje pouze u několika parametrů (charakterizující stupeň porušení). Nicméně, čím více vstupních dat je vyplněno, tím lepší a přesnější bude následná klasifikace masívu a výsledky.

V záložce **'Parameters tables'**, jsou prezentovány tabulky a intervaly hodnot pro všechny vstupní parametry (tak jak byly uvedeny v originálních metodikách tj. v angličtině). Zde je možné upravit vstupní data nebo hodnoty pro větší parametry. Vstupní parametry a data ze záložky **'INPUT DATA'** jsou automaticky přesunuta do tabulek v záložce **'Parameter tables'**.

Hodnoty nebo bodové ohodnocení vstupních parametrů pro výpočet RMR, Q, a RMI jsou uvedeny v listu záložce **'RESULTS'**

Hodnota napětí v horninovém masívu nebo jeho ovlivnění (přítěžení) musí být odhadnuta a zadána v záložce **'INPUT DATA'** v souladu s uvedenými symboly v tabulce (modrá nápověda).

Pro správné vyplnění vstupních dat je v záložce **'INPUT DATA'** modrým textem zobrazena nápověda. Tato nápověda může být automaticky zrušena pomocí modře zbarvené buřky v záložce **'INPUT DATA'**.

POUŽÍVATEL TUTO APLIKACI S TOZVÁHUJÍ!

APLIKACE PŘEDPOKLÁDÁ ZNALOSTI V OBLASTI GEOLOGIE A GEOTECHNIKY. SPRÁVNÉ ZAMĚŘENÍ VSTUPNÍCH DAT A PARAMETRŮ IN SITU JE DŮLEŽITÉ K ZISKÁNÍ A VÝPOČTU VALIDNÍCH VÝSLEDKŮ!

Na některé případné nejasnosti a chyby v zadání vstupních parametrů, omezení a doplňující informace je upozorňováno automaticky zobrazeným modrým textem, ale mohou se vyskytovat další nejasnosti, které nebyly automaticky odhaleny.

Vzhledem ke skutečnosti, že v aplikaci se používá velké množství funkcí a výpočtů, mohou se zde vyskytovat chyby. Na veškeré nedostatky, případné chyby upozorněte prosím autory této aplikace.

Doufáme že tato aplikace bude pro Vás přínosná a užitečná.

Aplikace byla původně navržena A. Palmströmem, v listopadu 2012, upravena, doplněna a přeložena J. Šancerem v rámci projektu CEEMIR v listopadu 2019

VSTUPNÍ DATA DŮLNÍHO DÍLA A VLASTNOSTÍ MASÍVU ve vztahu k RMR, Q and RMI geomechanickým klasifikačním systémům		Rock	Mass
Alespoň jedna hodnota v zelených rádcích musí být vyplněna			
Projekt:	Datum:		
Tunnel:	Lokalita:		
Hodnota:	Pozn.:		
Hornina:			
<i>U označených parametru S vlozte symboly z nápovědy - modrý text; sleduj také 'Parametry'</i>			
Vstupní parametry			
V	Sířka nebo průměr důlního díla (D ₀)	(Sířka 10m je použita jako vstup)	
V	Výška důlního díla (W ₀)	(Výška díla 5m je použita jako vstup)	
A1	Pevnost v prostém tlaku (UCS nebo σ _c)	(UCS = 100MPa je použita jako vstup)	
B1	ROD (Rock Quality Designation):	ROD =	%
B2	Stupeň porušení masívu	Objem (velikost) bloků (V _b):	V _b = m ³
B3	Počet diskontinuit na m ³ (J _v):	J _v =	disk./m ³
B4	Vzdálenost (rozteč) diskontinuit:	(a = > 20m; b = 0.5 - 20m; c = 0.2 - 0.5m; d = 0.05 - 0.2m; e = 0.05m)	
C1	Struktura porušení masívu	[1=az, 2=az, 3=az, 4=az, 5=az, 6=az, 7=az, 8=az, 9=az, 10=az, 11=az, 12=az, 13=az, 14=az, 15=az, 16=az, 17=az, 18=az, 19=az, 20=az, 21=az, 22=az, 23=az, 24=az, 25=az, 26=az, 27=az, 28=az, 29=az, 30=az, 31=az, 32=az, 33=az, 34=az, 35=az, 36=az, 37=az, 38=az, 39=az, 40=az, 41=az, 42=az, 43=az, 44=az, 45=az, 46=az, 47=az, 48=az, 49=az, 50=az, 51=az, 52=az, 53=az, 54=az, 55=az, 56=az, 57=az, 58=az, 59=az, 60=az, 61=az, 62=az, 63=az, 64=az, 65=az, 66=az, 67=az, 68=az, 69=az, 70=az, 71=az, 72=az, 73=az, 74=az, 75=az, 76=az, 77=az, 78=az, 79=az, 80=az, 81=az, 82=az, 83=az, 84=az, 85=az, 86=az, 87=az, 88=az, 89=az, 90=az, 91=az, 92=az, 93=az, 94=az, 95=az, 96=az, 97=az, 98=az, 99=az, 100=az]	
C2	Systém diskontinuit:	(a = není; b = 1 syst.; c = 1 syst. + 1 syst.; d = 2 syst.; e = 2 syst.; f = 3 syst.; g = 3 syst.; h = 4 syst.; i = 4 syst.)	
C3	Orientace nř. systémů diskontinuit:	(a = velmi příznivé; b = příznivé; c = středně příznivé; d = nepříznivé; e = velmi nepříznivé)	
C4	Dranost:	(a = v drsné; b = drsné; c = slabě drsné; d = hladké; e = vyhlazené; f = zrcadlo; g = vyhlášené poruchy)	
D1	Zvlnění diskont.:	(a = neprůběžné; b = slabě zvlněné; c = středně zvlněné; d = slabě zvlněné; e = hladké; f = vyhlášené)	
D2	Nevyplněné:	(a = vyhojené; b = čerstvé; c = slabě alterace; d = alterace; e = psáčích prach; f = písečný; g = písečný; h = písečný; i = písečný; j = písečný; k = písečný; l = písečný; m = písečný; n = písečný; o = písečný; p = písečný; q = písečný; r = písečný; s = písečný; t = písečný; u = písečný; v = písečný; w = písečný; x = písečný; y = písečný; z = písečný)	
D3	Alterace poruch // sítě	(a = písek / prach; j = písečný; k = písečný; l = písečný; m = písečný; n = písečný; o = písečný; p = písečný; q = písečný; r = písečný; s = písečný; t = písečný; u = písečný; v = písečný; w = písečný; x = písečný; y = písečný; z = písečný)	
D4	Výplň > ca. 5mm:	(a = písek / prach; j = písečný; k = písečný; l = písečný; m = písečný; n = písečný; o = písečný; p = písečný; q = písečný; r = písečný; s = písečný; t = písečný; u = písečný; v = písečný; w = písečný; x = písečný; y = písečný; z = písečný)	
D5	Průhlednost:	(a = málo; b = málo; c = málo; d = málo; e = málo; f = málo; g = málo; h = málo; i = málo; j = málo; k = málo; l = málo; m = málo; n = málo; o = málo; p = málo; q = málo; r = málo; s = málo; t = málo; u = málo; v = málo; w = málo; x = málo; y = málo; z = málo)	
D6	Separace:	(a = bez; b = v masi (<0.1mm); c = málo (<0.1-0.5mm); d = málo (<0.5-2.5mm); e = středně (<2.5-10mm); f = v obrovské (>10mm))	
E	Zaklínění nebo soudržnost masívu:	(a = velmi málo; b = málo; c = málo; d = málo; e = málo; f = málo; g = málo; h = málo; i = málo; j = málo; k = málo; l = málo; m = málo; n = málo; o = málo; p = málo; q = málo; r = málo; s = málo; t = málo; u = málo; v = málo; w = málo; x = málo; y = málo; z = málo)	
F	Přítoky podzemní vody do důlního díla:	(a = suché; b = málo; c = málo; d = málo; e = málo; f = málo; g = málo; h = málo; i = málo; j = málo; k = málo; l = málo; m = málo; n = málo; o = málo; p = málo; q = málo; r = málo; s = málo; t = málo; u = málo; v = málo; w = málo; x = málo; y = málo; z = málo)	
G1	Stav napětí: (vstup pro Q a RMI)	(a = velmi malé napětí; b = malé napětí; c = střední napětí; d = vysoké napětí v masívu)	
G2	Projevy přížení	Křehké - Odprýskávání hornin nebo ofesy:	(a = odprýskávání; f = rázy; g = ofesy)
H1	Zóny ostřebení (poruchy, apod.)	Typ:	(a = slabě tuhá; b = slabě tuhá; c = slabě tuhá; d = slabě tuhá; e = slabě tuhá; f = slabě tuhá; g = slabě tuhá; h = slabě tuhá; i = slabě tuhá; j = slabě tuhá; k = slabě tuhá; l = slabě tuhá; m = slabě tuhá; n = slabě tuhá; o = slabě tuhá; p = slabě tuhá; q = slabě tuhá; r = slabě tuhá; s = slabě tuhá; t = slabě tuhá; u = slabě tuhá; v = slabě tuhá; w = slabě tuhá; x = slabě tuhá; y = slabě tuhá; z = slabě tuhá)
H2	Ostřebení (poruchy, apod.)	Moznost nebo sířka zóny (m):	(a = málo; b = málo; c = málo; d = málo; e = málo; f = málo; g = málo; h = málo; i = málo; j = málo; k = málo; l = málo; m = málo; n = málo; o = málo; p = málo; q = málo; r = málo; s = málo; t = málo; u = málo; v = málo; w = málo; x = málo; y = málo; z = málo)
H3	Ostřebení (poruchy, apod.)	Orientace zóny:	(a = velmi příznivé; b = příznivé; c = středně příznivé; d = nepříznivé; e = velmi nepříznivé)
H4	Ostřebení (poruchy, apod.)		

INFORMACE A KOMENTÁŘ
Doplňte vstupní symboly pro vstupní parametry dle nápovědy modře nebo dle listu 'Parameters tables'

Po vyplnění alespoň jednoho vstupního parametru v "Stupeň porušení masívu" (zelené rádky) je možné provést jednoduché vyhodnocení.

Pro ostatní vstupní parametry pokud nejsou zadány, jsou automaticky použity obvyklé¹⁾ hodnoty. Nicméně pokud jsou tyto hodnoty známy nebo je možné je určit, vyplňte je dosáhnete tím mnohem přesnější výsledky.

Pro více informací o parametrech, se přepněte do listu 'Parameter tables'.

Pro vyplnění všech vstupních parametru

vložte 'x'

Ti různých měření pro stanovení Stupně porušení masívu může být užito:
- ROD, V_b (Objem bloků) and J_v (počet diskontinuit na m³).
Ještě je zadána pouze jedna z nich, hodnoty ostatních parametru nutných pro klasifikaci masívu je vypočtena automaticky dle korelačních vztahů²⁾.

POZNÁMKA: V některých případech může voda snižovat stabilitu, například:

- v případě nevhodné orientace diskontinuit a vysokého tlaku podzemní vody
 - v tunelech kde přítoky vody mohou způsobovat např. změkčování jílovné výměně poruch.
- Proto je v takových případech často prováděno těsnění (např. formou injektáží okolí důlního díla). Ze zkušeností víme, že takové opatření zvyšuje stabilitu důlních děl. Proto by měly být tyto preventivní opatření při hodnocení přítoků do důlního díla zohledněny.

¹⁾ **Obvyklé hodnoty:**

- Tam kde neboli vstupní data zadány, jsou automaticky dočasně nečíslené se vektuální hodnotou parametru (vlna porušení masívu)
- Pro vzdálenost diskontinuit (vstup pro RMR), block diameter je použit jako průměrná vzdálenost diskontinuit.
- Počet systémů diskontinuit, J_v (or N_J v RMI systému) tyto hodnoty mohou být odvozeny z velikosti bloků (nebo ROD).

Počet systémů diskontinuit tedy může být orientačně stanoven na základě Tabulky C2 v 'Parameter tables'.

²⁾ **Různé výpočty pro stanovení Stupně porušení masívu:**

- ROD je získáváno z J_v (počet trhlin na m³) ze vztahu: ROD = 110 - 2.5J_v (pro J_v = 4 to 44)
- Velikost bloků (V_b) je stanováváno z J_v vypočtem z rovnice: V_b = 5J_v⁻¹
- kde β je koeficient tvaru bloku, viz záložka 'Parameter tables'.

¹⁾ Pro informaci: Byl použit výpočet V_b z J_v
Přímé: $V_b = 5 \cdot J_v^{-1}$
Indirect: $V_b = 5 \cdot J_v^{-1}$

Přehled zadaných vstupních dat a vypočtených výsledků:



Projekt:	Datum:
Tunnel:	Lokalita:
Hodnotil:	Pozn.:
Hornina:	

Vstupní parametry		Vstupní hodnoty a použité bodové ohodnocení			
		RMR 1989	Q 1993	RMi 2008	
Rozměry tunelu	Šířka chodby (m)	Šířka = 10	Šířka = 10	Dt = 10	
	Výška (m)	Stěna = 5	Stěna = 5	Wt = 5	
A. Hornina	A1 Pevnost v prostém tlaku neporušené (intaktní) horniny:	A1 = 12	-	$\sigma_c = 100$ MPa	
B. Stupeň porušení masívu	B1 Rock Quality Designation (RQD):	A2 = 20	RQD = 100	-	
	B2 Objem bloků:	-	-	Vb = ? m3	
	B3 Vzdálenost diskontinuit:	A3 = ?	-	-	
C. Struktura porušení	C1 Tvar bloků hornin:	-	-	$\beta = 36$	
	C2 Počet systémů diskontinuit:	-	Jn = 0,75	Nj = 6	
	C3 Orientace hlavního ve stropu: C4 sys. diskontinuit ve stěně:	B = -2	-	Co = 1	
		-	-	Co = 1	
D. Vlastnosti diskontinuit	D1 Drsnost:	A4c = 3	Jr = 1,75	js = 1,25	
	D2 Zvlnění:			-	jw = 1,4
	D3 Alterace diskont. výplň:	alterace:	A4e = 6	Ja = 1	jA = 1
		výplň:	A4d = 6		
	D4 Stálost (průběžnost) diskontinuit:	A4a = 2	-	jL = 1	
D5 Separace (rozevření) trhlin:	A4b = 4	-	-		
E. Zaklínění	E Soudržnost masívu:	-	-	IL = 1	
F. Podzemní voda	F Přítok podzemní vody:	A5 = 7	Jw = 1	GW = 1	
G. Napětí v masívu	G1 Velikost napětí:	-	SRF = 1	SL = 1	
	G2 Stress ratio//ground competency:	-		Cg = -	
H. Zóny oslabení	H1 Typ oslabené zóny:	-	-	-	
	H2 Mocnost nebo šířka zóny:	-	-	Tz = -	
	H3 Orientace ve stropu: H4 zóny ve stěně:	-	-	Co = -	
		-	-	Co = -	

Upozorňujeme, že bobtnavé horniny nejsou zahrnuty do hodnocení.

Chybí data 'Stupeň porušení masívu!'

RESULTS FROM CALCULATIONS (for conditions in tunnel or cavern)

		RMR	Q	RMi
Continuity of rockmass (related to tunnel) →		-	-	
Interlocking of rockmass structure →				
Rock mass quality (approx. strength, σ_{cm})		-	-	$\sigma_{cm} \approx$ RMi = ?
Ground quality (related to stability)	in roof	RMR = ?	Q = ?	Gc = ?
	in walls	RMR = ?	Q _{wall} =	Gc _{wall} = ?
Blockiness (related to block instability)	in roof	-	-	Sr =
	in walls	-	-	Sr _{wall} =
Weakness zone		-		
Rockmass stresses Potential stress problems →		-		
Limitations				

Sr = Size ratio (geometrical factor involving block diameter, tunnel span, plus number of joint sets and orientation of joints)

Gc = Ground condition factor

Cg = Competency of ground ($Cg = \sigma_{cm} / \sigma_{\theta} = RMi / \sigma_{\theta}$)

Reference: A. Palmström, Q-RMR-RMi, version 3, RockMass AS, July 2018

INTERIM CALCULATIONS

(Blue values and blue text can be adjusted)

Q-system			RMR system		
Parameter	Value	Comment	Parameter	Value	Comment
Rock quality designation	RQD used = 100	from RQD	Rock strength	$A_1 = 10$	
Number of joint sets	$J_n = 1$		RQD	$A_2 = 20$	
	$J_{used} = 1$	from RQD	Joint spacing ratio	$A_3 =$	
	$J_{used} = 1$	from RQD	$A_3 =$		
Joint roughness factor	$J_R = 1.4$	$R = 1.75$	Joint size factor	length A_{s1}	2
	$J_{used} = 1.75$		spacing A_{s2}	4	
Joint alteration factor	$J_A = 1$		joint unsmoothness	roughness A_{s3}	3
	$J_{used} = 1$		width	$A_{s4} =$	
Stress reduction factor	$SRF = 1$		width	$A_{s5} =$	
	$SRF_{used} = 1$		Alteration (100% weathering used)	$A_{s6} = 12$	
	$SRF_{used} = 1$		Joint orientation	$A_{s7} =$	
Q value	$Q_{used} =$		Limit of RMR:	$RMR = 7$	
	$Q_{used} =$				
Turnout data	$Q_{used} =$				
Limit of Q:	Depth = 10				
	Wall height = 10				

NOTE: blue values and blue text can be adjusted

RMI system			RMI calculations in weakness zones		
Parameter	Value	Comment	Parameter	Value	Comment
Rock strength	$R_{MI} = 100$ MPa		Zone width	$T_z =$	m
Joint roughness factor	$J_R = 1.4$	$R = 1.75$	Zone orientation	$CO_{MI} =$	roof
	$J_{used} = 1.75$		Ground conditions in zone	$GC_{MI} =$	roof
Joint alteration factor	$J_A = 1$		Roof condition	$GC_{MI} =$	roof
	$J_{used} = 1$		Wall condition	$GC_{MI} =$	roof
Joint size factor	$J_s = 1$		Size ratio zone	$SR_{MI} =$	roof
	$J_{used} = 1$		Zone width vs. turnout size	$T_z \cdot V_{MI} =$	roof
Block shape factor	$B_{MI} = 36$		Limit of RMI:		
	$B_{MI} = 36$				
Block volume	$V_{MI} = 7$				
	$V_{MI} = 7$				
Block diameter	$D_{MI} =$				
	$D_{MI} =$				
Jointing parameter	$J_{MI} =$				
	$J_{MI} =$				
Blockiness factor	$B_{MI} =$				
	$B_{MI} =$				
Interlocking/interpenetration	$I_{MI} =$				
	$I_{MI} =$				
Rock Mass Index	$RMI_{MI} = 7$				

2. RMI calculations in discontinuous ground		
Parameter	Value	Comment
Turnout span	$D_t = 10$	m
Wall height	$W_t = 5$	m
Rockiness continuity factor	$CF_{MI} =$	roof
Ground water	$GW =$	none
Stress level	$SL =$	1
Number of joint sets	$N_j =$	4
	$N_{used} =$	4
Joint orientation	$CO =$	roof
	$CO_{MI} =$	roof
Ground condition factor, Gc	$G_c =$	3
	$G_{cMI} =$	3
Size ratio	$SR_{MI} =$	1
	$SR_{MI} =$	1

CLASSIFICATIONS

Classification of RMR			
Parameter	Value		
RMR	100 - 80		
RMR	80 - 60		
RMR	60 - 40		
RMR	40 - 20		
RMR	20 - 0		
Classification of Q			
Q	100 - 10		
Q	10 - 1		
Q	1 - 0.1		
Q	0.1 - 0.01		
Q	0.01 - 0		
Classification of RMI			
RMI	100 - 50		
RMI	50 - 25		
RMI	25 - 10		
RMI	10 - 5		
RMI	5 - 1		
RMI	1 - 0.1		
RMI	0.1 - 0.01		
RMI	0.01 - 0		
Classification of ground condition factor (Gc)			
Gc	> 40		
Gc	40 - 10		
Gc	10 - 1		
Gc	1 - 0.1		
Gc	0.1 - 0.01		
Classification of Size Ratio (Sr)			
Sr	< 4		
Sr	4 - 10		
Sr	10 - 40		
Sr	40 - 100		
Sr	100 - 400		
Sr	> 400		
Classification of continuity (CF)			
CF	0 - 2		
CF	2 - 6		
CF	6 - 40		
CF	40 - 100		
CF	100 - 400		
CF	> 400		
Descriptive jointing classes			
CF = 0 - 2	Continuous / massive	massive / joint	massive or intact
CF = 2 - 6	Continuous / discontinuous	massive / jointy	massive or fractured
CF = 6 - 40	Discontinuous / blocky	blocky	jointed or fractured
CF = 40 - 100	Discontinuous / crustal	blocky / crustal	jointed or fractured
CF = 100 - 400	Discontinuous / particulate	blocky / particulate	jointed or fractured
CF = > 400	Discontinuous / particulate	blocky / particulate	jointed or fractured
weakness zone		intact zone	fault zone

NOTE: blue values and blue text can be adjusted





Correlations of the input parameters to Q, RMR and RMI

Values used in the spreadsheet are shown in blue; common values used are given in the green cells

NOTE: blue values can be adjusted

A ROCKS				RMR	Q	RMI
A1	Uniaxial compressive strength (UCS or σ_c) of intact rock		input	A1 =	-	$\sigma_c =$
Back	Soil	σ_c (MPa) < 1	use value (rating A1 is calculated)	0	Not included, except in $Q_c = Q \times \sigma_c / 100$	Input of the actual value of σ_c common value = 100
	Rock	Very low strength	1 - 5	1		
		Low strength	5 - 25	2		
		Moderate strength	25 - 50	4		
		Medium strength	50 - 100	7		
		High strength	100 - 250	12		
Very high strength	σ_c (MPa) > 250	15				

Input rating of UCS to RMR (A1) is automatically calculated from the UCS value given

B DEGREE OF JOINTING				RMR	Q	RMI
B1	Rock quality designation (RQD)		input	A2 =	RQD =	-
Back	Very good	RQD = 90 - 100	use value (rating A2 is calculated)	20	Actual RQD value (min RQD = 10)	Not included
	Good	75 - 90	17			
	Fair	50 - 75	13			
	Poor	25 - 50	8			
	Very poor	RQD < 25	5			

Input rating of RQD (A2) to RMR is automatically calculated from input or calculation of RQD

B2 Block size				RMR	Q	RMI
B3	Block volume (Vb)		input	-	-	Vb =
Back	Block volume (Vb)	use value	Not included	Not included	Not included	Actual value of Vb
	Vb may be calculated from $Vb = \beta \cdot J_v^{-3}$; A crude value of Vb may be found from $36 \cdot J_v^{-3}$ (β = block shape factor)					
B3 Density of joints				RMR	Q	RMI
B3	Volumetric joint count (Jv)		use value	Not included	Not included	Not included
Jv may be used instead of Vb and/or RQD						
B4 Joint spacing ¹⁾				RMR	Q	RMI
Back	Very large spacing	spacing (m) > 2	a	20	Not included	Not included
	Large spacing	0.6 - 2	b	15		
	Moderate spacing	0.2 - 0.6	c	10		
	Small spacing	0.06 - 0.2	d	8		
	Very small spacing	spacing (m) < 0.06	e	5		

Values of RQD and Vb will automatically be calculated.

When value for joint spacing (B3) is not given, it is automatically calculated from the block diameter (Db)

C JOINTING PATTERN				RMR	Q	RMI
C1	Block shape		input	-	-	$\beta =$ $\beta_{used} =$
Back	Cubical blocks (or compact blocks)	1 - 2	a	Not included	Not included	27-32
	Slightly long or flat blocks	2 - 5	b			32-50
	Moderately long or flat	5 - 12	c			50-100
	Very long or flat blocks	12 - 70	d			100-500
	Extremely long or flat blocks	> 70	e			>500

Estimated Jv, based on Vb, when input for C2 is n

BLOCK VOLUME (Vb) in m ³	Possible number of JOINT SETS
15 m ³ or more	No or few joints
5 - 15	1 joint set
1 - 5	1 joint set + random joints
0.1 - 1	2 joint sets
0.01 - 0.1	2 joint sets + random joints
0.001 - 0.01	3 joint sets
0.0001 - 0.001	3 joint sets + random joints
0.00001 - 1E-04	4 joint sets or more; heavily jointed

C2 Joint sets				RMR	Q	RMI
C3, C4	Orientation of main joint set (C3 in roof, C4 in walls)		input	B =	CO =	-
Back	No or few joints	a	Not included	0.75	6	Not included
	1 joint set	b		2	3	
	1 joint set + random joints	c		3	2	
	2 joint sets	d		4	1.5	
	2 joint sets + random joints	e		6	1.2	
3 joint sets	f	9	1			
3 joint sets + random joints	g	12	0.85			
4 joint sets or more; heavily jointed	h	15	0.6			
Crushed, earth-like	i	20	0.5			

TERM	In one WALL		In opposite WALL		In ROOF	
	strike (°)	dip (°)	strike (°)	dip (°)	strike (°)	dip (°)
Very favourable	> 70	all	> 70	all	> 60	> 60
Favourable	< 20	< 20	< 20	< 20	< 45 - 60	< 45 - 60
Fair	< 20	20 - 45	< 20	< 60	30 - 45	30 - 45
Unfavourable	20 - 70	< 45	20 - 70	all	15 - 30	15 - 30
Very unfavourable	< 20	45 - 90	-	-	< 15	< 15

D JOINT CHARACTERISTICS				RMR	Q ¹⁾	RMI
D1	Joint wall smoothness (small scale roughness)		input	A4c =	(js =)	js =
Back	Very rough or interlocking	a	Not included	6	2	2
	Rough or irregular	b		5	1.5	1.5
	Slightly rough	c		3	1.25	1.25
	Smooth	d		1	1	1
	Polished	e		0	0.75	0.75
	Slickensided	f		0	0.5	0.5
	For filled joints	g		0	1	1

D2 Joint plane undulation or waviness (large scale roughness)				RMR	Q ¹⁾	RMI
D3	Joint alteration or weathering		input	A4e =	Ja =	JA =
Back	Discontinuous joints	a	Not included	4	4	4
	Strongly undulating	b		2.5	2.5	
	Moderately undulating	c		2	2	
	Slightly undulating	d		1.4	1.4	
	Planar	e		1	1	
	For filled joints	f		1	1	

D3 Joint alteration or weathering				RMR	Q ¹⁾	RMI
D4	Joint length		input	A4a =	-	IL =
Back	Healed or welded joints	a	Not included	6	0.75	0.75
	Unweathered, fresh joint walls	b		6	1	1
	Slightly weathered joint walls (coloured, stained)	c		3	2	2
	Altered joint wall (no loose material)	d		0	4	4
	Highly weathered / Coating of friction materials (silt, sand, etc.)	e		1	3	3
	Decomposed / Coating of cohesive materials (clay, chlorite, etc.)	f		0	4	4
	Filled joints	-		0	-	-

Range of Ja and JA given in the Q and in the RMI systems

	wall contact or t < ca. 5mm		no wall contact	
	t < ca. 5mm	t > ca. 5mm	t < ca. 5mm	t > ca. 5mm
<--	4	8	-	-
<--	6	5 - 10	-	-
<--	8	12	-	-
<--	8 - 12	13 - 20	-	-

D4 Joint length				RMR	Q ¹⁾	RMI
D5	Joint separation or aperture (A)		input	A4b =	-	-
Back	Crack ¹⁾ (irregular break)	Length < -0.3m	a	8	Not included	5
	Parting (very short, thin joint)	< 1m	b	6		3
	Very short joint	0.3 - 1m	c	4		2
	Short joint	1 - 3m	d	4		1.5
	Medium joint	3 - 10m	e	2		1
	Long joint	10 - 30m ²⁾	f	1		0.75
	Filled joint, seam or shear ³⁾	> 10m	g	0		0.5

D5 Joint separation or aperture (A)				RMR	Q ¹⁾	RMI
Back	Very tight	None	a	6	Not included	Partly included in 'Interlocking of rockmass structure'
	Tight	A < 0.1mm	b	5		
	Moderately open	0.1 - 0.5mm	c	4		
	Open	0.5 - 1mm	d	1		

D5 Joint separation or aperture (A)				RMR	Q ¹⁾	RMI
Back	Very tight	None	a	6	Not included	Partly included in 'Interlocking of rockmass structure'
	Tight	A < 0.1mm	b	5		
	Moderately open	0.1 - 0.5mm	c	4		
	Open	0.5 - 1mm	d	1		

¹⁾ "Crack" has been introduced in this spreadsheet. ²⁾ Length 10 - 20 m is applied in the RMR. ³⁾ Used in cases where most joints in the location are filled

Back	5 - 10mm	e	0
	10 - 25mm		

E INTERLOCKING OF ROCKMASS STRUCTURE				
Compactness of rockmass	input	RMR	Q	RMI
Very tight structure	Undisturbed rock mass, well interlocked	a	-	IL = 1.3
Tight structure	Undisturbed rock mass with some joint sets	b	Partly included in 'Joint separation or aperture'	1
Disturbed / open	Folded / faulted with angular blocks	c	Not included	0.8
Poorly interlocked	Broken with angular and rounded blocks	d		0.5

The rating values are based on the GSI system

NOTE: Interlocking has been introduced in this spreadsheet based on its effects presented in the GSI system

F GROUND WATER						
Inflow to tunnel or cavern or	Water pressure (p _w) ¹⁾	input	RMR	Q	Gc (in RMI support)	
			A5 =	Jw =	GW =	
Dry	no water inflow	p _w < 1 kg/cm ²	a	15		
Damp			b	10	1	
Wet	inflow < 10 litres/min	1 - 2.5 kg/cm ²	c	7	0.66	
Dripping	10 - 25 litres/min	2.5 - 10 kg/cm ²	d	4	0.5	2.5
Gushing /outwashing	25 - 125 litres/min		e	0	0.3	5
Flowing, decaying	inflow > 125 litres/min	p _w > 10 kg/cm ²	f		0.15	Outside limit of RMI
Heavily flowing, without noticeable decay			g		0.08	Outside limit of RMI

Comments regarding GW in the Gc factor (in RMI support method)	
←	when the ground water has minor influence on stability
←	when the ground water has some influence on stability
←	when the ground water has significant influence on stability
←	0.1 - 0.2
←	0.05 - 1

NOTE: GW is related to groundwater's influence on rockmass stability. ¹⁾ Water pressure can be applied in the Q-system

G ROCK STRESSES (stresses around tunnel)				
G1 Stress level; stresses below rockmass strength	input	RMR	Q	Gc (in RMI support)
			SRF =	SL =
Stresses below rock mass strength (σ ₁ < σ _{cm})	Very low stress level (in portals)	a	2.5	0.1
	Low stress level	b	1	0.5
	Medium stress level	c	0.67	1
	High stress level	d		1.5
G2 Overstressing; stresses exceed rockmass strength			SRF =	Gc = RMI / σ ₁ =
Overstressing (σ ₁ > σ _{cm})	Moderate slabbing after >1 hr	e	25	0.75
	Slabbing and rock burst	f	100	0.4
massive, brittle rock	Heavy rock burst	g	300	0.25
	Mild squeezing	h	10	0.75
	Heavy squeezing	i	20	0.5

Assumed limits	Given in the Q-system		σ ₁ / σ ₂
σ ₁ / σ _{cm} *)	Range of SRF	σ ₁ / σ ₁	
< 0.02	1 - 2.5	> 200	0.01
0.02 - 0.5	1	200 - 10	0.3
0.5 - 0.7	0.5 - 2	10 - 5	0.5
0.7 - 1	5 - 50	5 - 3	0.65
1 - 1.7	50 - 200	3 - 2	1
> 1.7	200 - 400	< 2	< 1
1 - 5	5 - 10	*) in the Q system σ ₁ /r ₁ and σ ₁ /σ _{cm} are used	0.65
> 5	10 - 20		1

assumed values

Gc = competency of ground; σ₁ = tangential stresses around the opening; σ_{cm} = RMI = compressive strength of rock mass

Max LIMIT used = 20

H WEAKNESS ZONES *)				
H1 Type of weakness zone	input	RMR	Q	RMI
			SRF =	
Multiple weakness zones	any depth	j	10	
Single weakness zone	depth < 50m	k	5	
	depth > 50m	l	2.5	
Multiple shear zones	any depth	m	7.5	
Single shear zone	depth < 50m	n	5	
	depth > 50m	o	2.5	
Loose, open joints	any depth	p	5	
Heavily jointed ("sugar cube")	any depth	q	5	
H2 Size of the zone				Tz =
Thickness or width of the zone (Tz)	use value	Not included	Not included	Width of zone in m
H3 Orientation of zone related to excavation (H3 in roof; H4 in walls)				Coz =
Very favourable	a			1
Favourable	b			1
Fair	c			1.5
Unfavourable	d			2
Very unfavourable	e			3

TERM	In one WALL		In opposite WALL		In ROOF
	strike (°)	dip (°)	strike (°)	dip (°)	dip (°)
Very favourable	≥ 70	all	> 70	all	> 60
Favourable	< 20	< 20	< 20	< 20	45 - 60
Fair	< 20	20 - 45	< 20	< 60	30 - 45
Unfavourable	20 - 70	< 45	20 - 70	all	15 - 30
Very unfavourable	< 20	45 - 90	-	-	< 15

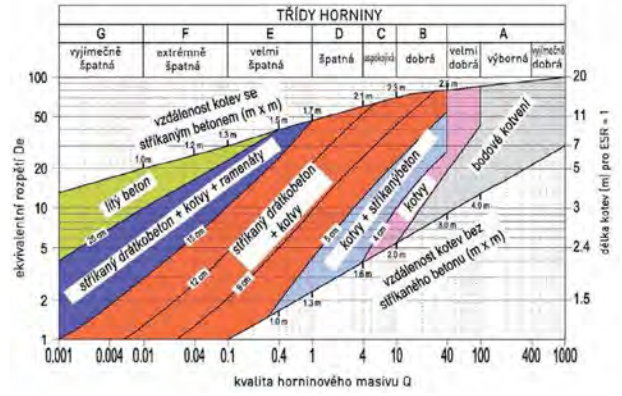
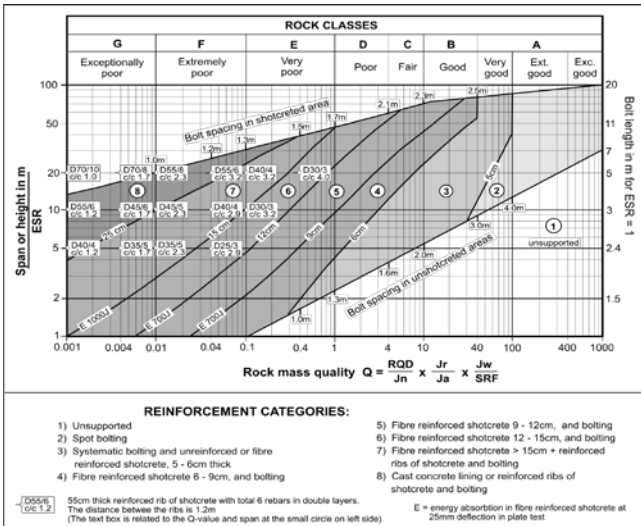
all strikes

*) Most weakness zones should be especially evaluated, together with the use of engineering judgement

Tabulka pro návrh výztuže dle klasifikace RMR (pro tunely o šířce 10m)

Třída masívu	Způsob ražby (klasická - drill and blast)	Druh výztuže		
		Skalní kotvy (svorníky) (20 mm průměr, plně upínané)	Vrhaný (stříkaný) beton	Ocelová podpěrná
1. Velmi dobrý masív RMR: 81-100	Ražba na plný profil: 3m postup zabírky	Celkově není potřeba vyztužovat, krom občasných uvolněných bloků hornin pomocí kotev (svorníků).		
2. Dobrý masív RMR: 61-80	Ražba na plný profil: 1.0 - 1.5m postup zabírky; Kompletní výztuž max. 20 m od čelby	Lokální kotvy ve stropu, 3m dlouhé, rozteč 2.5m s občasným tahokovem resp. ocelovou sítí	Lokálně strop, tloušťka 50 mm	Žádná
3. Střední RMR: 41-60	Horizontální členění výrubu: 1.5 - 3m předstih kaloty; Zahájení budování výztuže po každém odstřelu; Kompletní výztuž max. 10 m od čelby	Systematické kotvení 4m dlouhé, rozteč 1.5 - 2m ve stropu a stěnách s ocelovou sítí ve stropu	50 - 100mm ve stropu, a 30mm na bocích	Žádná
4. Slabý RMR: 21-40	Horizontální členění výrubu: 1.0 - 1.5m předstih kaloty; Instalace výztuže souběžně s ražením, kompletní výztuž max. 10 m od čelby	Systematické kotvení 4 - 5m dlouhé, rozteč 1 - 1.5m paženo ocelovou sítí ve stropě i po bocích	100 - 150mm ve stropu a 100mm na bocích	Lehká výztuž s roztečí 1,5 m
5. Velmi slabý RMR < 21	Vertikální členění výrubu: 0.5 - 1.5m předstih kaloty; Instalace výztuže souběžně s ražením, kompletní výztuž stříkaným betonem ihned jak je to možné.	Systematické kotvení 5 - 6m dlouhé, rozteč 1 - 1.5m ve stropu i stěnách, paženo ocelovou sítí ve stropě i po bocích	150 - 200mm ve stropu, 150mm na bocích, a 50mm na čelbě	Střední až těžká výztuž s roztečí 0.75m s ocelovým případně hnaným pažením je-li vyžadováno.

Q support diagram (ref.: www.ngi.no october 2012)



Vlastnosti vybraných hornin

PEVNOST V PROSTÉM TLAKU A HODNOTY m_i FACTORU V HOEK-BROWNOVĚ HYPOTÉZE PORUŠENÍ

HORNINOVÝ TYP		Jednoosá tlaková pevnost (MPa)	Hodnota factoru m_i	HORNINOVÝ TYP		Uniaxial compressive strength (MPa)	Hodnota factoru m_i
		low - average - high	(viz pozn.)			low - average - high	(viz pozn.)
SEDIMENTÁRNÍ HORNINY	Uhlí	16 - 21 - 26		METAMORFOVANÉ HORNINY	Amphibolite	75 - 125 - 250	31,2
	Jílovec	2 - 5 - 10	3,4		Amfibolitické ruly	95 - 160 - 230	(31)
	Slepenec	70 - 85 - 100	(20)		Ruly	95 - 160 - 230	(30)
	Koralová křída	3 - 10 - 18	7.2		Břidlice	35 - 70 - 105	
	Dolomit	60 - 100 - 300	10.1		Garnet mica schist	75 - 105 - 130	
	Vápenec	50 - 100 - 180	8.4		Granite gneiss	80 - 120 - 155	(30)
	Prachovec	45 - 95 - 145			Granulite	80 - 150 - 280	
	Fylit	36 - 95 - 172			Gneiss	80 - 130 - 185	29.2
	Pískovec	75 - 120 - 160	18.8		Gneiss granite	65 - 105 - 140	(30)
	Siltstone	10 - 80 - 180	9.6		Greenschist	65 - 75 - 85	
	Tuff	3 - 25 - 150			Greenstone	120 - 170 - 280	(20)
	VYVŘELÉ HORNINY	Andesite	75 - 140 - 300		18.9	Droba	100 - 120 - 145
Anorthosite		40 - 125 - 210		Mramor	60 - 130 - 230	9.3	
Basalt		100 - 165 - 355	(17)	Mica gneiss	55 - 80 - 100	(30)	
Diabase (dolerite)		227 - 280 - 319	15.2	Mica quartzite	45 - 85 - 125	(25)	
Diorite		100 - 140 - 190	(27)	Mica schist	20 - 80 - 170	(15)	
Gabro		190 - 240 - 285	25.8	Mylonite	65 - 90 - 120		
Granit		95 - 160 - 230	32.7	Fyllite	21 - 50 - 80	(13)	
Granodiorit		75 - 105 - 135	(20)	Křemičitý pískovec	70 - 120 - 175		
Monzonit		85 - 145 - 230	(30)	Quartzite	75 - 145 - 245	23.7	
Nephelin syenit		125 - 165 - 200		Quartzitic phyllite	45 - 100 - 155		
Norit		290 - 298 - 326	21.7	Serpentinit	65 - 135 - 200		
Pegmatit		39 - 50 - 62		Slate	120 - 190 - 300	11.4	
Rhyolit		- 85 ? -	(20)	Talc schist	45 - 65 - 90	(10)	
Syenit		75 - 150 - 230	(30)				
Ultrabasické horniny	80 - 160 - 360						
ZEMINY	Jíl kašovitý	0,025		ZEMINY	pevný jíl	0.1 - 0.25	
	Měkký jíl	0.025 - 0.05			velmi pevný jíl	0.25 - 0.5	
	jíl	0.05 - 0.1			tvrdý jíl	0.5 - 1	
			hlína, písek		0.0001 - 0.001		

Pozn1: The Hoek - Brown teorie mezních stavů

Pozn. 2: Hodnoty v závorkách byly převzaty

Pevnosti v prostém tlaku naměřené v Institutu SINTEF, Norsko