

Építők figyelmébe

Kőzettest-osztályozási módszerek összefoglalása¹

A review: rock mass classification systems

VÁSÁRHELYI Balázs²

(3 ábra, 15 táblázat)

Tárgyszavak: kőzettest osztályozások: RQD, RMR, RSR, Q, GSI
Keywords: rock mass classifications: RQD, RSR, RMR, Q, GSI

Abstract

Nowadays, rock mass classification is one of the most developed fields of engineering geology and rock engineering. The goal of this paper is to summarise the recently applied classification systems and to consider theoretical backgrounds. These methods could be used for determining and calculating the applied safety system and the stress conditions. They can be used not only for tunnel construction but for slope stability as well. The other goal of this paper is to review the most important literatures dealing with this subject.

The following rock mass classification systems are shown: Rock Quality Designation (RQD) for borehole classification; here the integral-geometric method is also mentioned (which is widely used in Hungary); Rock Structure Rate (RSR) – used only in Anglo-Saxon countries; Rock Mass Rate (RMR) is one of the most popular classification systems which was developed for slopes and mines, as well; Q-system and one of the newest: Geological Strength Index (GSI).

Összefoglalás

Alagútépítésnél, sziklarézsük állékonyságának vizsgálatakor, illetve különböző mérnöki létesítmények kőzetkörnyezetben történő építésekor fontos, hogy ismerjük a kőzettest feszültségi viszonyait valamint a kőzettestek állékonyságát előre becsülhessük. Ezek megállapítására, inhomogenitásának folytán természetesen csak közelítő számításaink lehetnek. A kőzettest-osztályozási elméletek segítségével lehetőség van a szükséges biztosítások tervezésére. Ezen elméleteket a gyakorlati tapasztalatok alapján állították fel, és folyamatosan korrigálják, javítják azokat.

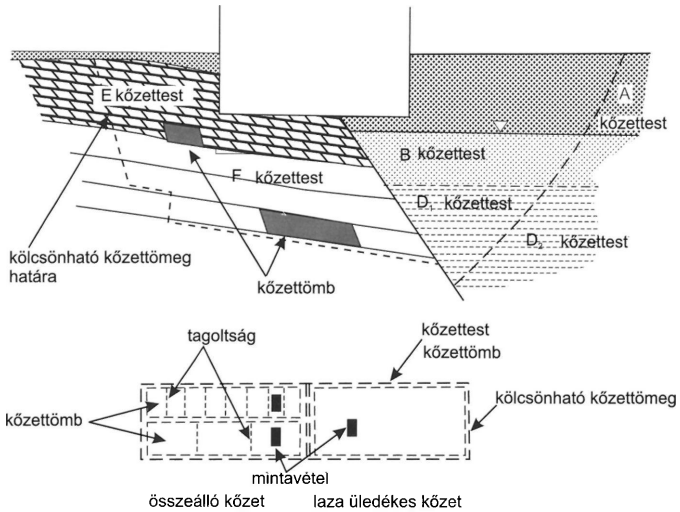
A cikk célja a jelenleg nemzetközileg használt jelentősebb kőzettest-osztályozási módok bemutatása. Nem akarjuk az elméleteket teljes mélységig ismertetni, viszont fontosnak tartjuk azok filozófiájának megismerését, hogy a hazai gyakorlatban is minél inkább elterjedhessenek.

Bevezetés

A kőzettest kőzettömbökből (más néven kőzetblokkokból) álló egység, melyeknél a kőzettömböket (melyek nem szükségszerűen ugyanolyan anyagi tulajdonságúak) kitöltött vagy kitöltetlen tagoltságok (diszlokációk) választják el egymástól (KERTÉSZ 1985; GÁLOS & KERTÉSZ 1989). Ennek illusztrálására mutatjuk

¹ Nemzetközi Alagútépítési Szövetség (ITA) Magyar Nemzeti Bizottságának (Egyesület a Földalatti Terek Hasznosítására) 2003. április 26-ai ülésén elhangzott előadás

² FŐMTERV Rt –Talajmechanikai Iroda, H-1024 Budapest, Lövház u. 37,
e-mail: b.vasarhelyi@fomterv.hu



1. ábra. Mérnökgeológiai modell elemei GÁLOS (1985) alapján

Fig. 1 The elements of the engineering geology model

be az 1. ábrát. Mérnöki szempontból általában másodlagos ezen tagolófelületek (diszlokációk, repedések) keletkezésének oka, ismerete azonban sok esetben támpontot adhat a későbbi számításhoz. Ahhoz, hogy mérnöki létesítményt tudjunk építeni a kőzettestbe, elsődlegesen a kőzettömbök (azaz tagolófelület nélküli kőzet) szilárdsági tulajdonságai, a tagolófelületek térbeli elhelyezkedése, méretei, iránya valamint kitöltöttsége, továbbá a víz léte, illetve nem léte fontos a tervező mérnökgeológusnak.

A felsorolt tényezők vizsgálatának szakirodalmá (nemcsak a nemzetközi, hanem a hazai is) igen jelentős, viszont a kőzettest osztályozási módszerek száma már könnyen behatárolható. Ez abból is adódik, hogy csak igen nagy számú megvalósított alagútépítési projekt után lehet hosszú távú következtetéseket levonni, melyeket a megalkotói a legtöbb esetben az idők folyamán tovább korrigálnak, pontosítanak. A különböző osztályozási rendszerek más és más tényezőt tekintenek hangsúlyosnak, egymásra hatásukat különbözőképpen tételezik fel, ezért a gyakorlatban általában egymással párhuzamosan használják azokat, mivel a kapott értékek egymással való összevetése is már sok esetben információhordozó.

A legelterjedtebb kőzettest-osztályozási módszereket az 1. táblázatban mutatjuk be BIENIAWSKI (1989) és HOEK (2000) feldolgozását felhasználva. Mivel a cikk célja főleg az építőmérnöki, azon belül is az alagútépítés irányából bemutatni a kőzettest osztályozási módszereket, ebből következően a bányászatban használt osztályozási módszerektől (melyek általában az itt bemutatottaknak adott irányú

1. táblázat. Ma is használatos főbb kőzettest osztályozási módszerek (HOEK 2000 alapján)
 Table 1 The main rock mass classification systems (after HOEK 2000)

Osztályozás neve	Szerző és időpont	Formája és típusa*	Főbb alkalmazás
Közetterhelés	TERZAGHI, 1946	f: leíró és viselkedést bemutató t: funkcionális	Acél megtámasztás tervezése alagutakhoz
Megállási idő	LAUFFER, 1958	f: leíró t: általános	Bemenő adat alagútépítéshez
Új Osztrák Alagútépítési Eljárás (NATM)	RABCEWITZ, PACHER & MÜLLER, 1958- 1964	f: leíró és viselkedést bemutató t: alagútépítési koncepció	Fejtési és tervezés különböző talajban
Kőzettest osztályozás kőzetmechanikai szempontból	COATES, 1964	f: leíró t: általános	Kőzetmechanikai bemenő adat
RQD*	DEERE, 1967	f: numerikus t: általános	Alapvető a fúrómagok vizsgálatánál; más osztályozások bemenő adata
Kiruna	HANSÁGI, 1986	f: numerikus t: funkcionális	Fúrómag értékelése
RSR*	WICKHAM et al. 1972	f: numerikus t: funkcionális	Az alagutak (acél) megtámasztásának számításához
RMR*	BIENIAWSKI, 1973	f: numerikus t: funkcionális	Alagútépítés, bányászat, sziklarészek, alapozások tervezéséhez
Q-módszer*	BARTON et al. 1974	f: numerikus t: funkcionális	Mélyépítési szerkezetek megtámasztásához
Integrálgeometriai*	ROLOFS & BEYERS, 1981	f: numerikus t: általános	Kőzettest osztályba sorolás
Alap geotechnikai leírás	ISRM 1981	f: leíró t: általános	Általános használatra
GSI*	HOEK et al. 1995	f: numerikus t: általános	Alagútépítés, sziklarészek
RMi	PALSTÖM, 1996	f: numerikus t: funkcionális	Alagútépítés

Formák (f):

Leíró: a bemenő adatok főleg leíró jellegűek

Numerikus: a bemenő adatok numerikus (számszerű) adatok az adott rendszer alapján

Viselkedést bemutató: a bemenő adat a kőzettest viselkedését adja meg az alagút környezetében

Típusok (t)

Általános: a rendszert általános leírásra fejlesztették ki

Funkcionális: a rendszer egy speciális alkalmazásra szolgál (pl: kőzet-megtámasztás)

a *-al jelzettek a cikkben bővebben bemutatva

továbbfejlesztései) eltekintünk. Az osztályok közül csak azokat mutatjuk be, melyek ma is használatban vannak.

Az első, mai értelemben vett mérnökgeológiai kőzettest-osztályozás RITTER (1879) nevéhez fűződik, aki az alagútépítésben szerzett gyakorlati tapasztalatait írta le, főleg a fejtéshez használt megtámasztás és a kőzet-környezet közötti kapcsolatot. Lényegében ez a szemlélet tekinthető a mérnökgeológiai kőzettest osztályozás alapjának.

A következő (már elméleti alapokon is nyugvó) jelentős kőzettest-osztályozási módszer TERZAGHI (1946) rendszere, melyet alagutak megtámasztásához fejlesztett ki. Módszerében az acélhálóra ható kőzetterhelés értékét próbálta megbecsülni, és így a megtámasztás nagyságára kívánt közelítő értékeket adni. Hét csoportot állított fel a kőzettestek osztályba sorolására: ép, rétegződött, mérsékelten tagolt, blokkos, töredezett, morzsolódott és duzzadó. Annak ellenére, hogy elméletének

nem volt jelentős gyakorlati visszhangja, gondolatmenete és kérdésfelvetése szinte napjainkig hat.

A megtámasztás nélkül megálló alagút átmérőjének (illetve fejtéshosszának) minősítésével történő kőzetosztályozást LAUFFER (1958) ajánlotta, mely később az új osztrák alagútépítési eljárás (NATM ill. NÖT) alapja is lett. LAUFFER (1958) eredeti meghatározásai az idők folyamán számtalanszor módosultak, melyek közül a legjelentősebb PACHER et al. (1974) nevéhez fűződik. A tartóssági időn alapuló eljárás lényege, hogy az alagút átmérőjének növekedésével csökken az az idő, amelyen belül a megtámasztás szükségessé válik (azaz például: egy kis átmérőjű alagútnál, ill. tároáknánál minimális megtámasztás is elégséges lehet, míg ugyanennél a kőzettestnél nagyobb átmérőjű alagút esetén már előállhat, hogy azonnali megtámasztás válik szükségessé).

A legtöbb sok tényezőt figyelembe vevő kőzettest-osztályozási módszert a mérnöki gyakorlatból (főleg alagútépítésből) fejlesztették ki, amelyekben a kőzettest mérnökgeológiai jellemzői szerepelnek. A különböző osztályozási rendszerek más-más paramétereket hangsúlyoznak.

Alábbiakban négy jelentősebb osztályozási módszert mutatunk be, melyeket napjainkban leggyakrabban használnak: RSR, RMR, GSI és Q módszert.

Ezek közül az RSR (Rock Structure Rate) módszer (mivel angolszász mértékegységekre dolgozták ki) európai használata nem jelentős. Az RMR (Rock Mass Rate) és a GSI (Geological Strength Index) módszer egymással megfeleltethetők, csak míg az előbbi inkább az előkészítés stádiumában használatos, az utóbbi a kivitelezés alatt, valamint a helyszíni gyors döntéseknél ad információt. A Q módszer rendszerében teljesen eltér az előzőektől, a hatások szuperpozíciója helyett azok szorzatával számol.

Az osztályozási módok előtt bemutatjuk az RQD (Rock Quality Designation) értéket is, mivel ez alapadata a későbbiekben bemutatásra kerülő osztályozási rendszereknek.

RQD (Rock Quality Designation) érték

Az RQD módszert DEERE vezette be 1964-ben, és ma már az egyik alapvető mérőszám a kőzettest tagoltságára vonatkozóan. Elméletüknél a fúrómagból (melynek átmérője minimálisan 54,7 mm, azaz 2,15 hüvelyk) kihozott minta elemzéséből indultak ki, és maga a mérőszám százalékban adja meg azon daraboknak az összhosszát, melyek hosszabbak, mint 100 mm (ill. az angolszász használatban 4 hüvelyk), azaz:

$$RQD = \frac{\sum h_{10}}{h_b - h_a} \cdot 100 \{ \% \}$$

Ahol $\sum h_{10}$: a 10 cm-nél hosszabb darabok teljes hossza, h_b és h_a pedig a vizsgált mélységköz.

Megjegyezendő, hogy a magyarországi gyakorlatban sokszor megadják az 5 cm-es egységnyi hosszakhoz tartozó RQD értéket is (GÁLOS & KERTÉSZ 1989), bár az ehhez kapcsolódó minősítési eljárás még nincs kidolgozva.

A gyakorlati megfigyelések alapján megállapították, hogy az RQD értékkel a következő megtartású kőzetet jelenti: 0–25: nagyon gyenge; 25–50: gyenge; 50–75: közepes 75–90: jó és 90–100: nagyon jó.

Abban az esetben, mikor nem áll rendelkezésünkre fúrómag, viszont a tagolt felület jól látható, az RQD értéke az egységterfogatra vonatkoztatott tagoltsági számból is kiszámítható PALMSTRÖM (1975 és 1982) ajánlása alapján:

$$RQD = 115 - 3,3 J_V$$

$$J_V = \sum 1/S_i$$

ahol S_i az azonos i diszkontinuitású csoportban a tagolófelületek egymástól mért távolságának az átlaga (m -ben). Hangsúlyozandó, hogy a fenti képlet csak agyagmentes kőzetre igaz, valamint nem használható abban az esetben, ha a távolság 1 méternél nagyobb.

Az RQD felszíni bevágásban történő meghatározásának lehetőségével részletesen foglalkozik még PRIEST & HUDSON (1976), kik a fenti képletet ellenőrizték angliai bevágásoknál. A képletet a kapott eredményeikkel pontosították:

$$RQD = 100 e^{-0,1\lambda}(0,1\lambda + 1)$$

Ahol λ az egy folyóméterre eső tagoltságok száma.

Az RQD a tagoltság irányától függő paraméter, azaz a fúrás iránya jelentősen befolyásolja annak értékét (pl. a fúrással párhuzamos tagoltságokat egyáltalán nem veszi – nem is veheti – figyelembe). A térfogati tagoltság értékének használatával az irányítottágtól való függés jelentősen csökkenthető.

Az RQD tényezővel alagutak megtámasztásának számítására is történtek kutatások. A kőzet szilárdságának figyelembevételével a következő szerzőktől jelentek meg jelentősebb cikkek: DEERE et al. (1967); CORDING & DEERE (1972); MERRITT (1972) illetve DEERE & DEERE (1988).

Napjainkban az RQD érték alapadata a jóval összetettebb kőzettest-osztályozási módszereknek.

RSR (Rock Structure Rating) módszer

Ezt a módszert a kőzettest minőségének meghatározására WICKHAM et al. (1972) vezette be. Az RSR osztályozást az angolszász mértékegységekre határozták meg, így az átvett táblázatok is ezt a mértékegységet használják. Európában, Észak-Amerikával ellentétben, ez a módszer nem terjedt el, így a megállapításait, leírásait nem is ültették át SI mértékrendszerbe.

Történetileg ezt az elméletet lőttbetonos megtámasztásra fejlesztették ki, de a gyakorlatban inkább a kis átmérőjű, acélhálóval erősített alagutaknál használják (pl.: feltáró akna méretezésénél). Ez az elmélet három, különböző csoportra osztja a kőzettestet (geológiai, geometriai és víz), és ezeknek az összegét veszi figyelembe. Mindhárom csoportot alcsoportokra osztja, és ezek alapján számszerűsíti az RSR értéket, mely a fentiek alapján:

$RSR = A + B + C$, melyek részletezve a következők:

1. *Paraméter A* (Geológia): a geológiai szerkezet becslése a következők alapján:
 - a. Kőzet eredete (magmás, üledékes, átalakult);
 - b. Kőzet szilárdsága (kemény, közepes, puha, töredezett);

- c. Geológiai szerkezete (ép, kissé-, közepesen, illetve erősen töredezett/gyúrt).
2. *Paraméter B* (Geometria): A diszkontinuitás iránya és nagysága az alagút fejtéséhez képest:
- Taglófelületek egymástól való távolsága;
 - Taglófelület elhelyezkedése (iránya és szöge);
 - Az alagút fejtésének az iránya.
3. *Paraméter C* (Talaj- ill. rétegvíz): A talajvíz folyásának hatása és a tagoltsági értékek:
- A mindenre kiterjedő kőzettest minősítés az A és a B kombinációjából;
 - Tagoltsági állapot (jó, elégséges, gyenge);
 - Vízbefolyás értéke (gallon / perc 100 láb hosszú alagút esetén).

WICKHAM et al. (1972) cikkét felhasználva a 2. 3. és 4. táblázatok mutatják be a fentebb leírt értékek meghatározásának lehetőségét (a maximális RSR érték 100). Tapasztalati úton meghatározott görbék segítségével így RSR és a tervezett

2. táblázat. RSR érték; A paraméter: általános geológia
Table 2 Rock Structure Rating: Parameter A: General area geology

	Alap-kőzettípusba sorolás				Geológiai szerkezet			
	kemény	közepes	puha	töredezett	kissé gyúrt vagy töredezett	közepesen gyúrt vagy töredezett	erősen gyúrt vagy töredezett	
	I	II	III	IV				
magmás üledékes átalakult	I	II	III	IV	ép			
I. típus					30	22	15	9
II. típus					27	20	13	8
III. típus					24	18	12	7
IV. típus					19	15	10	6

3. táblázat. RSR érték; B. paraméter: a tagoltság megjelenése és a kihajtás iránya
Table 3 Rock Structure Rating: Parameter B: Joint pattern, direction of drive

Átlag tagoltsági távolság	Csapásirány merőleges a tengelyre					Csapásirány párhuzamos a tengellyel		
	a kihajtás iránya					a kihajtás iránya		
	Mindkettő	Dőlésirányú		Dőlés iránnyal szemben		Bármely irányban		
	A fő tagoltsági dőlésszög					A fő tagoltsági dőlésszög		
	0°-20°	20°-50°	50°-90°	20°-50°	50°-90°	0°-20°	20°-50°	50°-90°
Nagyon közeli < 2 hüvely	9	11	13	10	12	9	9	7
Közeli 2 - 6 hüvely	13	16	19	15	17	14	14	11
Közepesen tagolt	23	24	28	19	22	23	23	19
6 - 12 hüvely								
Közepesen blokkosodott 1 - 2 láb	30	32	36	25	28	30	28	24
Szilárd blokkok 2 - 4 láb	36	38	40	33	35	36	24	28
Szilárd > 4 láb	40	43	45	37	40	40	38	34

4. táblázat. RSR érték: C paraméter: talajvíz és tagoltsági állapot
 Table 4 Rock Structure Rating: Parameter C: Groundwater, joint condition

Vizbefolyás az alagútba	A + B összege					
	13 – 44			45 – 75		
100 láb hosszon gallon/percben	Tagoltsági állapot ^b					
	jó	közepes	gyenge	jó	közepes	gyenge
Nincs	22	18	12	25	22	18
Csekély < 200 gallon/perc	19	15	9	23	19	14
Mérsékelt 200-1000 gallon/perc	15	22	7	21	16	12
Erős > 1000 gallon/perc	10	8	6	18	14	10

b: tagoltsági állapot: jó: szoros vagy cementálódott; közepes: kissé mállott vagy töredezett; gyenge: erősen mállott, töredezett vagy nyitott

alagútátmérő vagy fejtési hossz ismeretében lehetőség van az optimális megtámasztás kiválasztására.

RMR (Rock Mass Rate) módszer

Az RMR módszert (melyet számos esetben az angolszász irodalomban Geomechanikai Osztályozásnak is neveznek) BIENIAWSKI vezette be Dél-Afrikában 1976-ban, és azóta számos módosítása ismert. Az RMR módszer a kőzettest tulajdonságait szuperpozícionálja a mérnöki létesítményt is figyelembe véve (azaz egy alagút esetében a kihajtás irányával is számol). A következő hat tényezőt veszi figyelembe:

1. A kőzet egyirányú nyomószilárdsága;
2. RQD tényező;
3. A tagoltságok távolsága („sűrűsége”);
4. A tagoltságok állapota;
5. Réteg- és talajvizek;
6. A tagoltságok iránya.

Az RMR módszer alkalmazásához a kőzettestet olyan egységekre kell bontani, melyek szerkezeti tulajdonságai többé-kevésbé megegyeznek. (Itt elsősorban azonos kőzetekre kell gondolni, illetve azonos töredezettséggel, tagoltsággal rendelkező blokkokra). Általában ezeknek a szerkezetnek a határai egybeesnek a főbb geológiai változásokkal, azaz pl. a nyírási zónákkal, jelentősebb tagoltsági határral, kőzethatárral stb. A szerkezeti határok megállapítása után az RMR értékét az 5–6. táblázatok alapján lehet meghatározni.

A 7. táblázat az RMR értékhez tartozó osztályozási rendszert valamint az abból levonható következtetést mutatja be (BIENIAWSKI 1989). Ezt a táblázatot azóta finomították az optimális megtámasztási viszonyokat meghatározandó.

Az RMR ismeretében a helyszíni (in situ) defomációs modulus kiszámolásának lehetőségét SERAFIM & PEREIRA (1983) határozták meg. Ezt a kapcsolatot számos

$$E_m (GPa) = \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} 10^{(RMR-10)/40}$$

5. táblázat. RMR érték meghatározása (BIENIAWSKI, 1989)
Table 5 Determining the Rock Mass Rate

A. PARAMÉTEREK OSZTÁLYOZÁSA ÉRTÉKEIKKEL							
Paraméter		Értékeik					
1	Egyirányú nyomószil. (MPa)	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5 < 1
	Érték	15	12	7	4	2	1 0
2	RQD tényező (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	< 25	
	Érték	20	15	10	8	5	
3	Tagoltság távolsága (m)	> 2	0,6-2	0,2-0,6	0,06-0,2	< 0,06	
	Érték	20	15	10	8	5	
4	Tagoltság állapota (Izd. 6. táblázat)	Nagyon érdes, nem folytonos, üde felület	Kissé érdes, szeparáció < 1 mm, kissé mállott	Kissé érdes, szeparáció < 1 mm, nagyon mállott	Csúszós felület, v. 5 mm vtg. kitöltés v. 1-5 mm szeparáció. folytonos,	Puha kitöltés > 5 mm, vagy szeparáció > 5 mm, folytonos	
	Érték	30	25	20	10	0	
5	Talaj- Befolyás 10 m hosszon	nincs	< 10	10-25	25-125	> 125	
	Víz Viznyomás/ főfeszültség	0	< 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5	
	Érték	15	10	7	4	0	
B. TAGOLTSÁG IRÁNYÁTÓL FÜGGŐ TÉNYEZŐ (Izd. 6. táblázat)							
Dőlésiirány és szöge		Nagyon kedvező	Kedvező	Elégéses	Kedvezőtlen	Nagyon kedvezőtlen	
Értékek	Alagút & bánya	0	-2	-5	-10	-12	
	Alapozás	0	-2	-7	-15	-25	
	Sziklarézsű	0	-5	-25	-50		
C. TAGOLTSÁG OSZTÁLYOZÁSA							
Tagoltság hossza (m)		< 1	1-3	3-10	10-20	> 20	
Érték		6	4	2	1	0	
Szeparáció (elválás) (mm)		Nincs	< 0,1	0,1-1,0	1-5	> 5	
Érték		6	5	4	1	0	
Érdeség		Nagyon érdes	Érdes	Kissé érdes	Sima	Csúszós	
Érték		6	5	3	1	0	
Kitöltöttség		Nincs	Kemény, < 5 mm	Kemény, > 5 mm	Puha < 5 mm	Puha > 5 mm	
Érték		6	4	2	2	0	
Mállottság		Üde	Kissé	Közepesen	Nagyon	Szétmállott	
Érték		6	5	3	1	0	

elkészült műtárgy vizsgálatai után állították fel, és jó minőségű kőzetek esetén jól használható, viszont rosszabb kőzetminőség esetén a valóságnál jóval nagyobb deformációs modulus-értéket számíthatunk ki. Ezért az általuk felállított egyenlet 100 MPa-nál kisebb nyomószilárdság esetén a következő:

Az RMR módszer bányászati igényeknek megfelelően módosították (MRMR), ahol a BIENIAWSKI által meghatározott értékeken túl figyelembe veszik a robbantás hatására bekövetkezett feszültség-átrendeződéseket, helyszíni mérések eredményeit, valamint a mállottságot is. A teljesség igénye nélkül a következő szerzők foglalkoztak e témával: LAUBSCHER (1984), LAUBSCHER & PAGE (1990), LAUBSCHER & TAYLOR (1976), CUMMINGS et al. (1982), valamint KENDORSKI et al. (1983).

Fontos még megemlítenünk az RMR módszerből továbbfejlesztett SMR módszert (Slope Mass Rating) is. Ezt a módszert a sziklarézsűk állékonyságának

6. táblázat. RMR érték meghatározásához a tagoltság irányának figyelembevétele a 5. táblázat B pontjához (BIENIAWSKI 1989)

Table 6 Determining the RMR value – direction of the joints (Table 5, point B)

D. A TAGOLTSÁG DÖLÉSSZÖGÉNEK ÉS IRÁNYÁNAK HATÁSA AZ ALAGÚTRA			
A csapásirány merőleges az alagütegelyre		A csapásirány párhuzamos az alagütegellyel	
Kihajtás-dőlésszöggel megfelelően, dőlésszög: 45°–90°	Kihajtás-dőlésszöggel megfelelően, dőlésszög: 20°–45°	Dőlésszög: 45°–90°	Dőlésszög: 20°–45°
Nagyon kedvező	Kedvező	Nagyon kedvezőtlen	Elégséges
Kihajtás-dőlésszöggel szemben, dőlésszög: 45°–90°	Kihajtás-dőlésszöggel szemben, dőlésszög: 20°–45°	Dőlésszög 0–20° csapásiránytól függetlenül	
Elégséges	Kedvezőtlen	Elégséges	

7. táblázat. Az RMR érték osztályozása és értékelése

Table 7 Design parameters and properties of rock mass

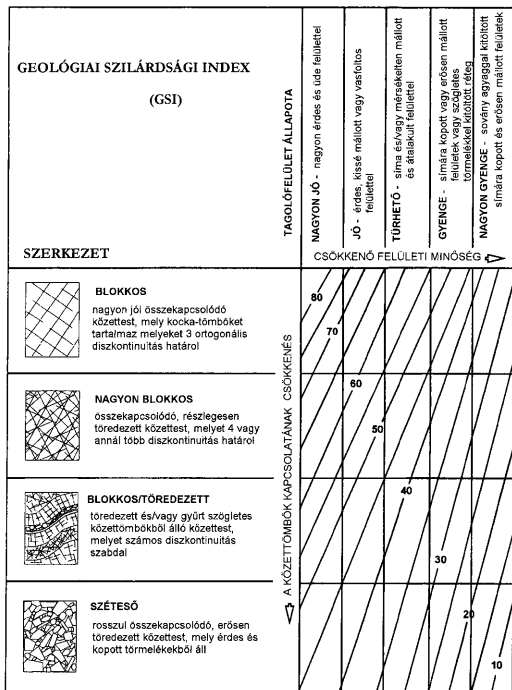
KÖZETTEST OSZTÁLYOZÁS A TELJES ÖSSZEGBŐL					
Érték	81–100	61–80	41–60	21–40	0–21
Osztályozás	I	II	III	IV	V
Leírás	Nagyon jó	jó	Elégséges	Gyenge	Nagyon gyenge
KÖZETTEST OSZTÁLY ÉRTÉKELÉSE					
Osztályozás	I	II	III	IV	V
Megtámasztás nélkül megáll (átlag átmérő)	20 év (15 m)	1 év (10 m)	1 hét (5 m)	10 óra (2,5 m)	30 perc (1 m)
Kohéziója (kPa)	> 400	300–400	200–300	100–200	< 100
Súrlódási szög (fok)	> 45	35–45	25–35	15–25	< 15

számítására dolgozta ki ROMANA (1993), a magyarországi bevezetése pedig VÁSÁRHELYI (2003a) nevéhez fűződik. Az elmélet lényege, hogy a meghatározott RMR értéket a tagolófelület és a sziklarézsú közötti térbeli elhelyezkedés ismeretében pontosítja, és az így kapott érték alapján becsüli meg a kőzettömbök (kőzettest) állékonyságát, valamint figyelembe veszi a sziklarézsún végzett beavatkozásokat is (a módosító tényező értéke 0 és 60 között változhat).

GSI (Geological Strength Index) érték

HOEK & BROWN (1980) a kőzettest határ-szilárdságának meghatározására ajánlották az empirikus úton meghatározott (laboratóriumi módon kimért) törési határgörbét (2. ábra). Az eredeti egyenletüket az idők folyamán továbbfejlesztették (HOEK 1983; HOEK & BROWN 1988; HOEK et al. 1992). (Az egyenletet és annak elméletét magyarul l.: VÁSÁRHELYI 2001). A törési kritérium a következő formájú:

$$\sigma_1^e = \sigma_3^e + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3^e}{\sigma_c} + s \right)^a$$



2. ábra. GSI érték meghatározása

Fig. 2 Determining the Geological Strength Index (GSI)

ahol σ_1 , σ_3 és σ_c a maximális, a minimális effektív feszültség a törési állapotban, valamint a kőzettömb egyirányú nyomószilárdsága; m_b a kőzettest ún. HOEK-BROWN állandója, s és a pedig kőzettesttől függő állandók. Ezen állandókat a GSI (Geological Strength Index – Geológiai Szilárdsági Index) segítségével lehet meghatározni (HOEK 1994; HOEK et al. 1995).

A jelenleg használatos rendszert mutatja be a 8. táblázat. A mátrix oszlopában a kőzettest tagoltsági viszonyai szerepelnek, azaz a kőzettestben lévő tagolófelületek sűrűsége. A mátrix sora tagolófelület állapotától függ. A GSI értéke ezek alapján 0 és 100 között változhat: 0 esetén kohézió nélküli – azaz szemcsés – talajt kapunk, ahol az elmélet nem használható. Amennyiben $GSI = 100$, azaz nincs tagolófelület, tehát a kőzettest és a kőzettömb ugyanaz. Ez az érték megegyezik az 1976-os BIENIAWSKI-féle RMR értékkel, így tervezésnél és kivitelezésnél a két elmélet kiegészíti egymást.

Ezek alapján az egyenlet kőzettesttől függő állandói a következők:

HOEK-BROWN állandó, mely figyelembe veszi a természetes tagoltsági rendszeren túl a kőzetkörnyezet fejtés hatására kialakult károsodás mértékét is:

$$m_b = m_{ep} \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

ahol m_{ep} a laboratóriumi vizsgálatokkal a kőzettömbre kapott HOEK-BROWN állandó (jelentősebb kőzetekre táblázat formájában megtalálható HOEK 2000 ill. VÁSÁRHELYI 2001), míg D a kőzetkörnyezet fejtés hatására bekövetkezett károsodás ($D = 0$: nincs, $D = 1$: teljes mértékű. Bővebben l.: VÁSÁRHELYI 2003b).

HOEK & BROWN (1997) a jó és a rossz kőzetminőség határát a $GSI = 25$ -nél határozták meg. Abban az esetben, ha jó minőségű a kőzettest a fejtési károsodást is figyelembe véve (HOEK et al. 2002):

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right), \text{ illetve } a = 0,5$$

Rossz minőségű kőzettest esetén ($GSI < 25$) a következő egyenletet javasolják: $s = 0$, illetve $a = 0,65 - GSI/200$

Az elméletet eredetileg jó minőségű kőzettestre határozták meg, de ma már kiterjesztették mállott, töredezett kőzettestekre is (pl: HOEK et al. 1992, 1998, MARINOS & HOEK 2000, 2001).

A HOEK-BROWN törési határállapot széles körben használatos alagutak környezetének feszültségszámításához, és a kapott eredmények felhasználásával a biztosítás megtervezéséhez. Mivel GSI elméletileg megfelel az RMR értéknek, így tervezéskor ez utóbbit szokták felhasználni a HOEK-BROWN egyenletnél, amit kivitelezéskor az itt bemutatottak alapján módosítanak. A két érték azonosságából következik, hogy az RMR módszernél bemutatott deformációs modulus számítására ugyan ezen képlettel itt is lehetőségünk van, továbbá a fentebb bemutatott egyenletek ott is használhatók ($GSI = RMR$).

Q index (Alagútépítési kőzetminősítő érték)

A Norvég Geotechnikai Intézet az addigi nagyszámú alagútépítési tapasztalatokat felhasználva BARTON vezetésével 1974-ben foglalta össze eredményeit (BARTON et al. 1974), és állította össze új kőzetminősítési osztályukat kifejezetten alagút-építésre. Az általuk megalkotott új rendszert a szakirodalom Q módszerként ismerteti. Azóta számos alagút építésénél használták ezt a módszert, melynek összefoglaló ismertetését is közreadták (BARTON 2000).

A Q módszer az RMR-rel ellentétben a hatásokat nem összegzi, hanem a tömbméret, a tömbök közötti nyírás szilárdság, valamint az aktív feszültség tényezőinek szorzatát számolja. A Q értéke logaritmikus skálán változik, minimális értéke 0,001, a maximális pedig 1000, azaz elméletileg kb. 300 000 különböző földtani kombinációt képviselhet. A Q értékének meghatározása a következő:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Ahol RQD a fentebb meghatározott érték, J_n a tagoltságok (repedéscsoportok) száma; J_r a tagoltság érdességének mérőszáma; J_a a tagoltság elmozdulási tényezője; J_w a tagoltságban megjelenő víz, továbbá SRF a feszültség redukáló tényező.

Az egyenlet különböző részei a következő értelemmel bírnak:

– RQD/J_n : a kőzettest szerkezetét reprezentálja (azaz a kőzettömb méretét). A két szélső értéke között 400-as érték van, azaz a maximális értéke 200 (100/0,5) és a minimális 0,5 (10/20). Mértékegysége: cm. Az RQD értékének meghatározását fentebb bemutattuk, míg a J_n értékét a 8. táblázat alapján lehet meghatározni.

– J_r/J_a : a tagoltság érdességét és töredezettségét, továbbá kitöltöttségét leíró tényező, és így a kőzettömbök közötti nyírószilárdságról ad információt. Ez az

8. táblázat. Q-módszer: a tagoltság mérőszámának meghatározása

Table 8 Q-system: Joint set number

TAGOLTSÁG	J_n
Ha a kőzet masszív, nincs repedés vagy csak kevés	0,5–10
Egy repedéscsoport	2
Egy repedéscsoport + véletlen törés	3
Két repedéscsoport	4
Két repedéscsoport + véletlen törés	6
Három repedéscsoport	9
Három repedéscsoport + véletlen törés	12
Négy vagy több repedéscsoport + véletlen törés	15
Töredezett kőzetre	20

érték az üde állapotú, nem kitöltött, érdes érintkező felületnél a legnagyobb, mivel ebben az esetben a maximális a nyírófeszültséghez a legnagyobb dilatáció tartozik, ami az alagútépítéshez a legszerencsésebb. Amikor agyagkitöltés található a tagoltságban, a nyírófeszültség jelentősen csökken. A J_r értékeit adjuk meg a 9. táblázatban, míg a 10. táblázatban a J_a lehetséges értékeit mutatjuk be.

– J_w/SRF : aktív feszültségérték paramétere két feszültségi értéket tartalmaz. A képletben szereplő két érték a következő:

– A J_w a mért víznyomási érték, mely fordítottan arányos tényezője a tagoltság nyírási szilárdságának, mivel az effektív feszültséget redukálja. A víz (ezen túlmenően) lágyulást, és agyagkitöltés esetén kimosódást is okozhat. A blokkok

9. táblázat. Q-módszer: a repedezettségi tényező meghatározása

Table 9 Q-system: Joint roughness number

REPEDÉSÉRDESSÉGI TÉNYEZŐ ^a	J_r
Nem folyamatos lépcsős repedés	4,0
Durva vagy rendszertelenül hullámos felület	3,0
Sima vagy egyenletesen hullámos felület	2–1,5
Durva vagy rendszertelen sík felület	1,5
Sima felület	1,0
Egyenletesen sík felület	0,5

a: J_r repedésérdességi tényező értéke abban az esetben, ha a felületek között nincs rés illetve a rés záródik a mozgások alatt. Amennyiben a tagoltság agyagos, homokos vagy töredezett anyaggal kitöltött, valamint mozgások alatt nem záródik, ez az érték: 1,0.

10. táblázat. Q-módszer: a tagoltság elmozdulási tényezőjének meghatározása
Table 10 Q-system: Joint alteration number

A TAGOLTSÁG ELMOZDULÁSI TÉNYEZŐJE			
<u>Zárt repedések esetén</u>			J_a
Összementálódott, kemény, nem lágyuló impermeabilis kitöltő anyagoknál (pl.: kvarc, epidot)			0,75
Csak felületbevonat képződött			1,5
Agyagásványokat nem tartalmazó kőzettörmelék esetén			2,0
Iszapos vagy agyagos rétegek esetén			3,0
Lágyuló v. kevésbé sűrűlő agyagrétegek (kaolinit, csillám, gipsz, grafit, stb.) esetén, max. 2 mm résvastagságnál			4,0
<u>Nyitott repedések esetén</u>			
10 cm-en belül záródnak mozgás alatt	J_a	Nem záródnak mozgás alatt	J_a
Homokszemeknél v. kőzettörmeléknel	4,0	Homokos vagy iszapos (nem lágyuló) agyagnál	5,0
Erősen konszolidált, nem lágyuló agyagásvány kitöltésnél (folyamatos 5 mm vastagságú)	6,0	Kőzettörmelékes kitöltésnél	6-8
Közepesen vagy kissé konszolidált agyagásványnál (folyamatos 5 mm vastagságú)	7,0	Agyagos törmelékkitöltésnél	8-12
Duzzadó agyagnál (folyamatos 5 mm vastagságú)	8-12	Agyagkitöltés esetén	10-20

közötti effektív feszültség kapcsolatában eme két tényezőnek a kombinálása szinte lehetetlen, mivel paradox módon a nagyobb effektív normálfeszültség a nagyobb nyírási szilárdság ellenére kevésbé stabil lehet, mint az alacsonyabb feszültségértékű. (l. 11. táblázat).

– Az SRF mérhető 1) a szabad teher a fejtésen keresztül a nyírási zónákban 2) a kőzet feszültsége az adott kőzetnek és 3) az összenyomódási teher a képlékeny nem szabad kőzeteknek. Ezt az értéket, mint egy összes feszültség paramétert kell figyelembe venni. Ezen értékeket adjuk közre a 12. táblázatban.

A repedés csoportok számát (J_n) gyakran befolyásolja a leveledés, a palásodás, a palás töredezettség vagy rétegzettség stb. A párhuzamos repedések egy

11. táblázat. Q-módszer: a repedés-víz redukciós tényező
Table 11 Q-system: Joint water reduction factor

REPEDÉS-VÍZ REDUKCIÓS TÉNYEZŐ	J_w
Száraz üreg vagy max. 5 l/perc vízszivárgás esetén	1,0
Mérsékelt vízbeáramlásnál, amely esetenként kimossa a kitöltő anyagot	0,66
Nagy mennyiségű vízfolyás, nagy nyomáson (0,25-1,0 MPa), amely nem zárt repedéseken vagy a réskitöltés kimosásával áll el	0,5-0,33
Nem csökkenő, nagy mennyiségű vízfolyás, nagy nyomáson (1,0 MPa)	0,2-0,05

12. táblázat. Q-módszer: a feszültségi redukciós tényező (SRF) értékei.
Table 12 Q-system: Stress reduction factor

FESZÜLTSGI REDUKCIÓS TÉNYEZŐ ^b	SRF
Gyengült zóna, agyagos v. kémiailag bontott kőzetekben (bármely mélységben)	10,0
Egyetlen gyengült zóna esetén, mely agyagot és kémiailag bontott kőzetet tartalmaz (mélység < 50 m)	5,0
Egyetlen gyengült zóna esetén, mely agyagot és kémiailag bontott kőzetet tartalmaz (mélység > 50 m)	2,5
Vetős zóna többszöri előfordulás esetén, szilárd kőzetekben (bármely mélységben)	7,5
Egyetlen gyengült agyagmentes zóna esetén (mélység < 50 m)	5,0
Egyetlen gyengült agyagmentes zóna esetén (mélység > 50 m)	2,5
Nyitott és erősen töredezett kőzet esetén (bármely mélységnél)	5,0

FESZÜLTSGI REDUKCIÓS TÉNYEZŐ ^c	SRF		
<i>Szilárd kőzetben kihajtott üreg esetén</i>			
	σ_2/σ_1	σ_1^*/σ_1	
Alacsony feszültségek, felszínközeli mélység	> 200	> 13	2,5
Közepes feszültség	200–10	13–0,66	1,0
Nagy feszültség, tömör szerkezetű kőzet	10–5	0,66–0,33	0,5–2
Közepes kőzetnyomás (szilárd kőzet)	5–2,5	0,33–0,16	5–10
Nagy kőzetnyomás (szilárd kőzet)	< 2,5	< 0,16	10–20
<i>Képlékeny kőzetben való kihajtás esetén</i>			
Közepes kőzetnyomás esetén			5–10
Nagy kőzetnyomás esetén			10–20

b: A felsorolt értékek 25–50 %-al csökkentendők, ha a gyengült zóna nem esik az üreg szelvényébe, hanem csak hatással van az üreg állékonyságára.

c: Ahol σ_c , σ_t és σ_v a kőzet nyomó- és húzószilárdsága, valamint az üreghyítás előtt a kőzettestben lévő függőleges feszültség.

része nem látszik, és csak esetenként jelenik meg a fúrómagon törés formájában, de a repedéscsoportok számának meghatározásához „véletlen törés”-ként figyelembe lehet venni.

A szerzők kitértek arra is, hogy mekkora átmérőjű, illetve magasságú üreget lehet kinyitni a Q érték ismeretében. Ehhez bevezették az egyenértékű dimenziót (D_e), mely a megnyitás dimenziója és a fejtés alatti megtámasztás minőségének (Excavation Support Ratio – ESR) a hányadosa, azaz:

$$D_e = \frac{\text{Fejtési hossz, átmérő vagy magasság (m)}}{\text{Megtámasztási érték (ESR)}}$$

A fejtés alatti megtámasztási érték természetesen függ a felvett biztonságtól is. Az ez alapján ajánlott ESR értékeket mutatja be a 13. táblázat BARTON et al. (1974) alapján.

13. táblázat. Q-módszer: megtámasztási érték (ESR) felvétele a biztonság alapján.

Table 13 Q-system: Excavation support ratio

Fejtési mód	ESR
Időleges bányászati megnyitás	3-5
Állandó bányamegnyitás, vizezető alagút vízeróműhöz (ide tartozik a nagynyomású csatornák is), tárók, vágatok és aknák nagy fejtésekhez.	1,6
Raktárhelyiségek, másodrendű közúti és vasúti alagutak, bevezető-utak, gépészeti alagutak.	1,3
Erőművek, főbb közúti és vasúti alagutak, polgári védelmi, útsatlakozások.	1,0
Földalatti nukleáris erőművek, vasútállomások, sport és tömegrendezvények helyei.	0,8

LOSET (1992), BARTON et al. (1980) továbbá GRIMSTAD & BARTON (1993) a Q módszert továbbfejlesztve adnak ajánlásokat a megfelelő biztosítás és fejtési hossz és felület megválasztásához. Osztályozási rendszerükben a következő kategóriákat állították fel, melyekhez megadják az optimális biztosítást is: I: 0,001–0,01: extrém gyenge; II: 0,01–0,04 : rendkívül gyenge; III: 0,04–0,4: nagyon gyenge; IV: 0,4–4: gyenge; V: 4–10: közepes; VI: 10–40: jó; VII: 40–100: nagyon jó; VIII: 100–400: rendkívül jó és IX: 400–1000: extrém jó.

Megjegyezendő még, hogy ez az alapja az ún. Norvég alagútépítési eljárásnak (NMT) is.

Integrálgeometriai módszer

BEYER & ROLOFS (1981) valószínűségi alapon állították integrálgeometriai módszerüket a kőzettest tagoltsági viszonyainak meghatározására. Ez a módszer nemzetközileg nem terjedt el, viszont Magyarországon használatos [házánkban GÁLOS (1985) vezette be]. A mérés lényege, hogy egy mérőháló segítségével határozzák meg az egységnyi térfogatban lévő tagolófelületek fajlagos értékét (t), és ennek értéke alapján történik a rendszerbe sorolás. A tagoltsági felület fajlagos értékének ismeretében kiszámolható a tagoltsági réstérfogat is:

$$n_r = \frac{V_r}{V} = t \bar{x}_0$$

ahol x_0 a tagoltság átlagos megnyílása.

14. táblázat. A kőzettest minősítése a tagoltsági mérőszám és a tagoltsági réstérfogat alapján
Table 14 Rock mass classification using the integralgeometric method (joint number and joint volumetric rate)

A kőzettest megnevezése	Tagoltsági felület fajlagos értéke (t) [m^{-1}]	Tagoltsági réstérfogat (n_r)
Ép	< 0,3	< 0,02
Kissé tagolt	0,3–3,0	0,02–0,04
Közepesen tagolt	3,0–20	0,04–0,1
Erősen tagolt	20–100	0,1–0,50
Töredezett	> 100	> 0,50

A kőzettömb nyomószilárdsága Mpa	Mértékadó tagoltságköz (m)					
	> 3	1	0,3	0,05	0,01	>
A tagoltság mértéke (m ⁻¹)						
	< 0,3	1	3	20	100	<
200...100	c > 0,2 MPa $\varphi > 40^\circ$	szilárd	c = 0,1...0,2 MPa			talajként kezelendő
100...50	közepes $\varphi = 30...40^\circ$	c = 10...100 kPa				
50...25	gyenge $\varphi = 20...30^\circ$			c < 10 kPa $\varphi < 20^\circ$		
25...10	igen gyenge					
< 10	talajként kezelendő					

3. ábra. Kőzettest osztályozása valamint súrlódási szöge és kohéziója (tájékoztató értékkel) KERTÉSZ (1985) összeállítása szerint

Fig. 3 Rock mass classification with the informative values of friction angle and cohesion according to KERTÉSZ (1985)

Ez alapján GALÓS & KERTÉSZ (1989) a Nemzetközi Mérnökgeológiai Szövetség ajánlásait figyelembe véve (IAEG 1981) osztályba sorolták a kőzettestet a fenti állandók ismeretében (14. táblázat). KERTÉSZ (1985) felhasználva BIENIAWSKI előbbiekből bemutatott kőzettest osztályozási elméletét, ajánlatot tett a tagoltság mértékének és a kőzettömb szilárdságának ismeretében a kőzettest kohéziójának és súrlódási szögének meghatározására (l. 3. ábra).

Adatgyűjtés és a különböző kőzettest-osztályozási módszerek összehasonlítása

A terepi vizsgálatoknál történő adatgyűjtésre, továbbá ezen adatok adminisztrálására először COATES (1964) tett javaslatot, melyet fokozatosan pontosítottak. A 15a. és 15b. táblázat a Nemzetközi Kőzetmechanikai Társaság ajánlása alapján összeállított űrlapokat adja közre (ISRM 1981). Ezek a táblázatok mindegyik bemutatott módszernél felhasználható. Az ISRM 1978-ban egységesítette a tagoltság és a szilárdságméréseket is (ISRM 1978a, b), hogy a szubjektív tényezőt minél inkább kiiktathassa.

Jelenleg a leginkább használatos kőzettest-osztályozási mód a BIENIAWSKI RMR módszere (1976, 1989), az ezzel egyenértékű, de a kivitelezés közben jobban meghatározható GSI (HOEK & BROWN 1980), valamint BARTON Q indexe (1974). Mindkét módszer egyesíti a geológiai, geometriai és tervezési/mérnöki paramétereket ahhoz, hogy kvantitatív értéket adhasson a kőzettest minőségéről. A legjelentősebb különbség az RMR és a Q között a különböző hatások súlyozásában van. Azaz míg az RMR a hatások szuperpozíciójával számol, addig a Q azok szorzatát veszi. Míg az RMR a laboratóriumi nyomószilárdságból számol, addig a Q a helyszíni (in situ) szilárdságot veszi figyelembe. Mindkettő számol a

15a. táblázat. Adatgyűjtési táblázat (ISRM 1981 alapján)
Table 15a Collecting the data according to ISRM 1981

Projekt neve: Helyszín: Készítette: Dátum	SZERKEZETI RÉGIÓ	KŐZET TÍPUSA ÉS EREDETE					
RQD TÉNYEZŐ FÚRÓMAGBÓL		TAGOLTSÁG ÁLLAPOTA					
Nagyon jó: 90-100 % Jó: 75-90 %... Közepes 50-75 %... Gyenge 25-50 % Nagyon gyenge < 25 %		Úde Kis mértékben mállott Közepesen mállott Nagyon mállott Teljesen mállott Talaj jellegű					
TALAJVÍZ		ÉP KŐZET SZILÁRDSÁGA					
Vízbefolyás 10 m hosszú alagút esetén VAGY víznyomás VAGY ÁLTALÁNOS ÁLLAPOT nedves, vízbefolyás, stb):	l/perc kPa (teljesen száraz,		Egyirányú Pont-				
		Nagyon nagy Nagy Közepes Elégséges Kicsi Nagyon kicsi Mért érték:	> 250 100-250 50-100 25-50 5-25 1-5	> 10 4-10 2-4 1-2 < 1			
A TAGOLTSÁGOK TÁVOLSÁGAI							
		1. csoport	2. csoport	3. csoport	4. csoport		
Nagyon távoli Távoli Közepesen Közeli Nagyon közeli	> 2 m 0,6-2 m 20-60 cm 6-20 cm < 6 cm						
<i>Megjegyzés: Ezen értékeket a helyszínen állapítjuk meg, nem a fúrómagból!</i>							
DŐLÉSIRÁNY ÉS DŐLÉSSZÖG							
		átlag	-tól	-ig	átlag	-tól	-ig
1. csoport	Dőlésirány				Dőlésszög:		
2. csoport	Dőlésirány				Dőlésszög:		
3. csoport	Dőlésirány				Dőlésszög:		
4. csoport	Dőlésirány				Dőlésszög:		
<i>Megjegyzés: Irányok a mágneses északtól értendők!</i>							

15b táblázat. Adatgyűjtési táblázat (ISRM 1981 alapján)
 Table 15b Collecting the data according to ISRM 1981

A TAGOLTSÁG ÁLLAPOTA					
POLYTONOSSÁGA:		1. csoport	2. csoport	3. csoport	4. csoport
Nagyon közeli	< 1 m	.....	.....	.....	.....
Közeli	1–3 m	.....	.....	.....	.....
Közepes	3–10 m	.....	.....	.....	.....
Messzi	10–20 m	.....	.....	.....	.....
Nagyon messzi	> 20 m	.....	.....	.....	.....
ELVÁLTSAGA:					
Zárt	< 0,1 mm	.....	.....	.....	.....
Közeli	0,1–0,5 mm	.....	.....	.....	.....
Kissé nyitott	0,5–2,5 mm	.....	.....	.....	.....
Nyitott	2,5–10 mm	.....	.....	.....	.....
Szélesen megnyílt	> 10 mm	.....	.....	.....	.....
FELÜLETI ÉRDESSÉGE:					
Nagyon érdes		.....	.....	.....	.....
Érdes		.....	.....	.....	.....
Kissé érdes		.....	.....	.....	.....
Sima		.....	.....	.....	.....
Csúszós		.....	.....	.....	.....
KITÖLTÖTTISÉGE:					
Típusa		.....	.....	.....	.....
Vastagsága		.....	.....	.....	.....
Egyirányú nyomószilárdság, MPa		.....	.....	.....	.....
Megjegyzés:		.....	.....	.....	.....
FŐBB TÖRÉSEK ÉS GYŰRŐDÉSEK					
A főbb törések és gyűrődések leírása, azok elhelyezkedésével, irányával és jellemzőikkel.					
ÁLTALÁNOS MEGJEGYZÉSEK ÉS TOVÁBBI ADATOK					

víz jelenlétével, és azzal, hogy ez befolyásolja a kőzet szilárdságát. BODONYI et al. (1986) megállapításai alapján az RMR tényezőnél sokkal nagyobb hatása van a szubjektív döntésnek, mint a Q tényezőnek.

Természetesen mindkét elméletnél felvetődik a kérdés a további kőzetmechanikai tényezők bevonására is, de a gyakorlati tapasztalatok azt mutatták, hogy a kívánt pontosságon már nem javítanak. Elmondható viszont, hogy a kemény kőzeteknél végzett fejtéseknél, főleg amennyiben az mélyen is történik, a kőzet mállottsága és a víz hatása általában nem jelentős és így elhanyagolható.

Számos kutató foglalkozott ezen módszerek egymással való megfeleltetésével. Az RMR és a Q tényezők közötti kapcsolatot először JETHWA et al. (1982) írta le. 111 alagútépítést elemezve a két tényező között a következő összefüggést állította fel:

$$\text{RMR} = 9 \ln Q + 44$$

Szénbányászati eredményeket analizálva ABAD et al. (1983) a következő összefüggést adja:

$$\text{RMR} = 10,5 \ln Q + 42$$

Alagutakat vizsgálva az RSR és az RMR tényezők közötti összefüggést RUTLEDGE & PRESTON (1978) állította fel a következő összefüggést:

$$\text{RSR} = 0,77 \text{RMR} + 12,4$$

Összefoglalásként elmondható, hogy a tervezés során célszerű mind az RMR, mind a Q módszerrel számolni, mivel a két tényező együttes ismerete ad kellő információt a megtámasztás megtervezéséhez. Fontos továbbá, hogy minden esetben számoljuk ki a minimális és a maximális értékeket, és az átlag értéket ezekből határozzuk meg. Így a megtámasztás tervezésénél a szélsőértékeket is figyelembe tudjuk venni.

Köszönetnyilvánítás:

A szerző köszönetet mond PAÁL Tamásnak a kézirat elkészítésekor tett észrevételeiért és annak gondos átnézéséért, valamint az OTKA T034603 támogatásáért is.

Irodalom – References

- ABAD, J., CELADA, B., CHACON, E., GUTIERREZ, V. & HIDALGO, E. 1983: Application of geomechanical classification to predict the convergence of coal mine galleries and to design their supports. – *Proc. 5th ISRM Cong. Melbourne*, 2, E15-E19.
- BARTON, N. R. 2000: TBM tunneling in jointed and faulted rock. – Balkema, 184 p.
- BARTON, N., LIEN, R. & LUNDE, J. 1974: Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. – *Rock Mechanics and Rock Engineering* 7, 183–236.
- BARTON, N., LOSET, F., LIEN, R. & LUNDE, J. 1980: Application of the Q-system in design decisions. – In: BERGMAN, M. (Ed.): *Subsurface Space* 2, 553–561.
- BEYER, F. & ROLOFS, F. 1981: Integralgeometrische Bestimmung geotechnisch wichtiger Kulfteigenschaften. – *Rock Mechanics* 14/1, 43–56.
- BIENIAWSKI, Z. T. 1976: Rock mass classification in rock engineering. – In: BIENIAWSKI, Z. T. (Ed.): *Exploration for rock engineering* 1, 97–106.
- BIENIAWSKI, Z. T. 1989: Engineering rock mass classification – Wiley 251 p.
- BODONYI J., HULLÁN S. & ILLÉS G. 1986: A kőzetöszlet tagoltságának kvantitatív meghatározása és a hazai alkalmazás néhány példája. – *Bányászati és Kohászati Lapok – Bányászat* 119/3, 159–166.

- COATES, D. F. 1964: Classification of rocks for rock mechanics. – *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 1, 421–429.
- CORDING, E. J. & DEERE, D. U. 1972: Rock tunnel supports and field measurements. – In: LANE, K.S. & GARFIELD, L. A. (Eds): *North American Rapid Excavation. Tunneling Conf. Chicago* 1, 601–622.
- CUMMINGS, R. A., KENDORSKI, F. S. & BIENIAWSKI, Z. T. 1982: Caving rock mass classification and support estimation. – In: US Bureau of Mines Contact Report #J0100103. Chicago: Engineers Int. Inc.
- DEERE, D. U. 1964: Technical description of rock cores for engineering purposes. – *Rock Mechanics and Engineering Geology* 1/1, 17–22.
- DEERE, D. U. & DEERE, D. W. 1988: The rock quality designation (RQD) index in practice. – In: KIRKALDIE, L. (Ed.): *Rock Classification System for Engineering Purposes ASTM No.* 984, 91–101.
- DEERE, D. U., HENDRON, A. J., PATTON, F. D. & CORDING, E. J. 1967: Design of surface and near surface construction in rock. – In: FAIRHURST, C. (Ed.): *Failure and Breakage of Rock* 237–302.
- GÁLOS M. 1985: A közettagoltság meghatározásának és ábrázolásának módszerei. – *Mélyépités-tudományi Szemle* 33/4, 171–176.
- GÁLOS M. & KERTÉSZ P. 1989: Mérnökgeológia. – Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest.
- GRIMSTAD, E. & BARTON, N. 1993: Updating the Q-System for NMT. – In: KOMPEN, R., OPSAHL, E. & BERG, M. (Eds.): *Int. Symp. Sprayed concrete – modern use of wet sprayed concrete for underground support*. Oslo.
- HANSÁGI, I. 1965: Numerical determination of mechanical properties of rock and of rock masses. – *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 2, 219–223.
- HANSÁGI I. 1986: Gyakorlati közetmechanika az ércbányászatban. – Műszaki Kk, 172 p.
- HOEK, E. 1983: Strength jointed rock masses. – 23. Rankine Lecture *Géotechnique* 33/3, 187–223.
- HOEK, E. 1994: Strength of rock and rock masses. – *ISRM New Journal* 2/2, 4–16.
- HOEK, E. 2000: Practical rock engineering – www.rocsience.com/roc/Hoek/Hoeknotes2000.htm
- HOEK, E. & BROWN, E. T. 1980: Underground excavations in rock. – London, Inst. Min. Metall. 527 p.
- HOEK, E. & BROWN, E. T. 1988: The Hoek-Brown failure criterion – a 1988 update. – In: CURRAN, (Ed.) *Proc. 15. Canadian Rock Mech. Symp. Toronto*, 31–38.
- HOEK, E. & BROWN, E. T. 1997: Practical estimates of rock mass strength. – *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abst.* 34/8, 1165–1186.
- HOEK, E., CARRANZA-TORRES, C. & CORKUM, B. 2002: Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition. *Proc. 5th North American Rock Mech. Conf. Toronto*, 267–271.
- HOEK, E., KAISER, P. K. & BAWDEN, W. F. 1995: Support underground excavations in hard rock. Balkema, Rotterdam, p. 232.
- HOEK, E., WOOD, D. & SHAH, S. 1992: A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses. – In: HUDSON, J. A. (Ed.): *Rock Characterisation, ISRM Symp. – Eurock'92*, 209–214.
- IAEG 1981: Commission on engineering geological mapping: Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. – *Bull. IAEG*, 24, 235–274.
- ISRM 1978a: Determining hardness and abrasiveness of rocks. – *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abst.* 15, 89–97.
- ISRM 1978b: Quantitative description of discontinuities in rock masses. – *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abst.* 15, 319–368.
- ISRM 1981: Suggested methods: rock characterization testing and monitoring. – BROWN, E.T. (Ed.). Pergamon Press, 211 p.
- JETHAWA, J. L., DUBE, A. K., SINGH, B. & MITHAL, R. S. 1982: Evaluation methods for tunnel support design in squeezing rock conditions. – *Proc. 4. Int. Cong. IAEG*. 5, 125–134.
- KENDORSKI, F., CUMMINGS, R., BIENIAWSKI, Z. T. & SKINNER, E. 1983: Rock mass classification for block caving mine drift support. – *Proc. 5. Int. Cong. ISRM, Melbourne*, B51–B63.
- KERTÉSZ P. 1985: Mérnökgeológia. – Mérnöki Kézikönyv 4, 103–132
- LAUBSCHER, D. H. 1984: Design aspects and effectiveness of support system in different mining conditions. – *Trans. Instn. Min. Metall.* 93, A70–A82.
- LAUBSCHER, D. H. & PAGE, C. H. 1990: The design of rock support in high stress or weak rock environments. – *Proc. 92. Can. Inst. Min. Metall. AGM, Ottawa*, # 91.
- LAUBSCHER, D. H. & TAYLOR, H.W. 1976: The importance of geomechanics classification of jointed rock masses in mining operations. – In: BIENIAWSKI, Z.T. (Ed.): *Exploration for Rock Engineering* 1, 119–128.
- LAUFFER, H. 1958: Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau. *Geol. – Bauwesen* 24/1, 46–51.
- LOSET, F. 1992: Support needs compared at the Svartisen Road Tunnel. – Tunnels and Tunneling, June.

- MARINOS, P. & HOEK, E. 2000: GSI: A geologically friendly for rock mass strength estimations. – In: ERVIN, M. C. (Ed.): *GeoEng 2000* Melbourne, CD-ROM.
- MARINOS, P. & HOEK, E. 2001: Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. – *Bulletin of Engineering Geology & Environment* 60/2, 85–92.
- MERRITT, A. H. 1972: Geologic prediction for underground excavations. – In: LANE, K.S. & GARFIELD, L. A. (Eds.): *North American Rapid Excavation/Tunneling Conf. Chicago* 1, 115–132.
- PACHER, F., RABCEWITZ, L. & GOLSER, J. 1974: Zum der seitigen Stand der Gebirgsklassifizierung in Stollen- und Tunnelbau. – *XXII. Geomech. Colloq. Salzburg*, 51–58.
- PALMSTRÖM, A. 1975: Characterizing the degree of jointing and rock mass quality. Berdal, Oslo.
- PALMSTRÖM, A. 1982: The volumetric joint count – a useful and simple measure of the degree of rock jointing. – In: *Proc. 4. Cong. Int. Assn. Engng. Geol. Delhi* 5, 221–228.
- PALMSTRÖM, A. 1996: Characterizing rock masses by the RMI for use in practical rock engineering – Part 1: The development of Rock Mass index (RMI). *Tunneling & Underground Space Technology* 11, 175–188.
- PALMSTRÖM, A. 1996: Characterizing rock masses by the RMI for use in practical rock engineering – Part 2: Some practical applications of the Rock Mass index (RMI). *Tunneling & Underground Space Technology* 11, 287–303.
- PRIEST, S. D. & HUDSON, J. A. 1976: Discontinuity spacing in rocks. – *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abst.* 13, 134–153.
- RITTER, W. 1879: *Die Statik der Tunnelgewölbe*. Springer (Berlin).
- ROMANA, M.R. 1993: A geomechanical classification for slopes: Slope Mass Rating. – In: HUDSON, J. A. (Ed.): *Comprehensive Rock Engineering*, Pergamon Press 3, 575–599.
- RUTLEDGE, J. C. & PRESTON, R. L. 1978: Experience with engineering classifications of rock. – *Proc. Int. Symp. Tunneling*, Tokyo, A1–A7.
- SERAFIM, J. L. & PEREIRA, J. P. 1983: Consideration of the geomechanical classification of Bieniawski. – In: *Int. Symp. Engineering Geology & Underground Constructions* 1/II, 33–44.
- TERZAGHI, K. 1946: Rock defects and loads on tunnel support. – In: PROCTOR, R. V. & WHITE, T. (Eds.): *Rock tunneling with steel supports*. 15–99.
- VÁSÁRHELYI B. 2001: Új eredmények a kőzet- és talajmechanikában: a HOEK-BROWN törési határállapot és a Geológiai Szilárdsági Index (GSI) bemutatása – *Közlekedési és Mélyépitéstudományi Szemle* 51/11, 424–431.
- VÁSÁRHELYI B. 2003a: Sziklarézsúk állékonyságának számítása SMR módszerrel – *Közlekedési és Mélyépitéstudományi Szemle* 53/4, 191–196.
- VÁSÁRHELYI B. 2003b: A módosított Hoek-Brown törési kritérium. – *Bányászati és Kohászati Lapok – Bányászat* 136/4, 276–283
- WICKHAM, G. E., TIEDEMANN, H. R. & SKINNER, E. H. 1972: Support determination based on geologic predictions. – In: *Conf. Rapid Excavation and Tunneling*, AIME, 43–64.
- Kézirat beérkezett: 2002. 05. 30.