

OTKA 48645
ZÁRÓJELENTÉSE

**KŐZETESTEK MECHANIKAI ÁLLANDÓINAK VÁLTOZÁSA A
KŐZET ÁLLAPOTÁNAK ÉS TAGOLTSÁGI RENDSZERÉNEK
FÜGGVÉNYÉBEN**

Vásárhelyi Balázs, PhD.

okleveles építőmérnök

BME Építőmérnöki Kar Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszék

Budapest, 2008. február 21.

1. Bevezetés

Közetkörnyezetben végzett mérnöki munkák során az előkészítéstől a tervezésen és a kivitelezésen keresztül a földtani környezet és a mérnöki alkotás szoros kölcsönhatásban van. A mérnök feladata, hogy a létesítmény és a közetkörnyezet közötti kölcsönhatást, a kölcsönhatás elemeinek ismeretében, lehetőleg a részletkérdésekre is tekintettel, sikeresen kezelje. Ehhez az szükséges, hogy mind a létesítmény, mind pedig a közetkörnyezet anyagi (fizikai – ezen belül elsősorban mechanikai – és vegyi) tulajdonságait jól ismerje.

Az összeálló közetben végzett mérnöki munkák a mérnökgeológiának és a geotechnikának külön szakterületét képezik (angolul erre külön kifejezés is van: rock engineering). Gyűjtőnéven a különböző összeálló közetkörnyezetben végzett munkákat sziklamunka megnevezéssel használjuk. Ide sorolhatjuk mindazokat a mérnöki feladatokat, amelyeket a nagyszelvényű földalatti létesítmények kialakításával, az alagutak építésével, alapozással, a hulladékártólok környezeti hatásának elemzésével, a kis-, közepes- és nagy aktivitású nukleáris hulladékok ideiglenes- és végleges lerakóinak elhelyezésével, valamint a természetes- és mesterségesen kialakított sziklarézsűk állékonyságával kapcsolatosan kell elvégezni a közetkörnyezet adottságainak figyelembe vételével.

A mérnöki munka, a földtani szemlélet léptéke szerint ugyan csak kis területre kiterjedően, de változást hoz létre a földkéreg egyensúlyi állapotában. A mérnök beavatkozik abba az egyensúlyi állapotba, amelyet a földtani, geológiai folyamatok alakítottak ki. A létesítmény tervezésénél a már kialakult feszültségi állapotok megváltozásával, az erők átrendeződését figyelembe kell venni, továbbá vegyi jellegű változások is felléphetnek.

A feszültségek hatására létrejövő alakváltozások tehát a közetösszlet anyagi tulajdonságaitól függenek, amelyeket a szilárdságtanban megfogalmazott anyagtvörvényekkel törekszünk leírni. Természetes állapotban, illetve mesterségesen létrehozott helyzetben a közetösszlet saját tömegéből adódó, vagy egyéb, például tektonikai, szeizmikus, duzzadási, vagy más erőhatásra kialakuló részleges, vagy a teljes közettömegre kiható tönkremenetel szintén a közetösszlet anyagi tulajdonságainak függvénye.

A közetkörnyezet anyagi tulajdonságainak megismerése és azoknak, a mérnöki munka számára kezelhető formába rendezése a mérnökgeológia feladata. Ebben a szemléletben a közetkörnyezet építőanyag, amelyben, illetve amelyből a mérnöki szerkezetek készülnek.

A földtani környezet és a mérnöki létesítmény kölcsönhatásának kezelését a közetkörnyezet célnak megfelelő ismerete alapozza meg. Az ismeretek megszerzésének módszereit a mérnökgeológia tárgyalja. A nyert eredményeket a közetmechanika a saját szemléleti rendjében használja.

Az első, mai értelemben vett mérnökgeológiai közettest-osztályozás Ritter (1879) nevéhez fűződik, aki az alagútépítésben szerzett gyakorlati tapasztalatait írta le, főleg a biztosítás tervezéséhez. Lényegében ez a szemlélet tekinthető a mérnökgeológiai közettest osztályozás alapjának.

A mérnöki munkák során tett megfigyelések alapozták meg a különböző közettest osztályozási módszereket. Egy-egy módszer szerinti osztályba soroláskor vigyázni kell arra, hogy miben eltérő, vagy miben hasonló a kapott eredmény a többi vizsgált esetenél tapasztaltakkal. Természetesen a különböző osztályozási rendszerek más-más paramétereket hangsúlyoznak. A javaslatot tevő tapasztalatait, szemlélete tükröződik az osztályozási mód szerinti számítási, besorolási összefüggésében. Ebből adódik, hogy ma már lehetőleg minél több osztályozási móddal vizsgáljuk meg a tervezett műtárgy közetkörnyezetét, mivel mindegyik más-más tulajdonságot tekint fontosnak, más-más tényező hatását emeli ki, így a kapott eredmény segíthet a pontosabb modellalkotásban.

Az elmúlt 50 évben az osztályozási rendszerek jelentős fejlődésen mentek keresztül, melyre kihatással voltak az újabb alagútépítési technológiák, valamint a számítástechnika (numerikus módszerek) fejlődése. Jelentősen segítették ezt a mérnöki tudományt még az építési anyagtudományok új kutatási eredményei – itt elsősorban a löttbeton technológia rohamos fejlődésére, az alagútfúró gépek (TBM) térhódítására, valamint a robbantásos fejtési módokban bekövetkezett változásokra kell gondolni. Fontos viszont tudnunk, hogy a kőzettest osztályozások szélsőséges állapotokban gyakorlatilag használhatatlanok. Ilyen helyzetek például, amikor a tönkremenetel oka a robbantás vagy a különleges természeti hatásra bekövetkezett mállás, valamint rendkívüli viszonyok közötti területeken, úgymint szélsőségesen hideg területek (pl. sarkkörön túli régiókban), tenger alatt, stb. való tevékenység. Ezekben a helyzetekben a bemutatott kőzettest osztályozási módok félrevezethetik a tervezőt.

A legtöbb sok-paraméteres kőzettest-osztályozási módszert az építőmérnöki gyakorlatból (főleg alagútépítésből) fejlesztették ki, amelyekben a kőzettest mérnökgeológiai jellemzői szerepelnek. A különböző osztályozási rendszerek más-más paramétereket hangsúlyoznak. Természetesen, mint minden módszer, ezek is csak közelíteni tudják a valóságot, segítséget nyújthatnak a tervezéshez, de nem mindenhatóak – minden munkának megvan a maga specialitása, amire külön figyelni kell, ami eltér az átlagostól, vagy akár a megszokottól. Még azt is tapasztalhatjuk, hogy az egyes módszerek ellentétes eredményeket adhatnak. Mégis fontos a kőzettest osztályozások ismerete a kőzetkörnyezetben való építkezés szempontjából, mivel az itt tárgyalt módszerek segítenek:

- a geológusok, a mérnökök, a beruházók, a tervezők, a kivitelezők közötti jobb párbeszédben;
- a mérnöki megfigyelések rendszerezésében, ahol a tapasztalat és az elmélet által levont következtetéseket hasznosíthatjuk;
- a kőzet kvantitatív tulajdonságának leírásában;
- és nem utolsósorban a megszerzett újabb tapasztalatok rendszerezésében, az eddigi ismeretanyagunkkal való összehasonlításban.

2. A kutatás háttere, célja és módszere

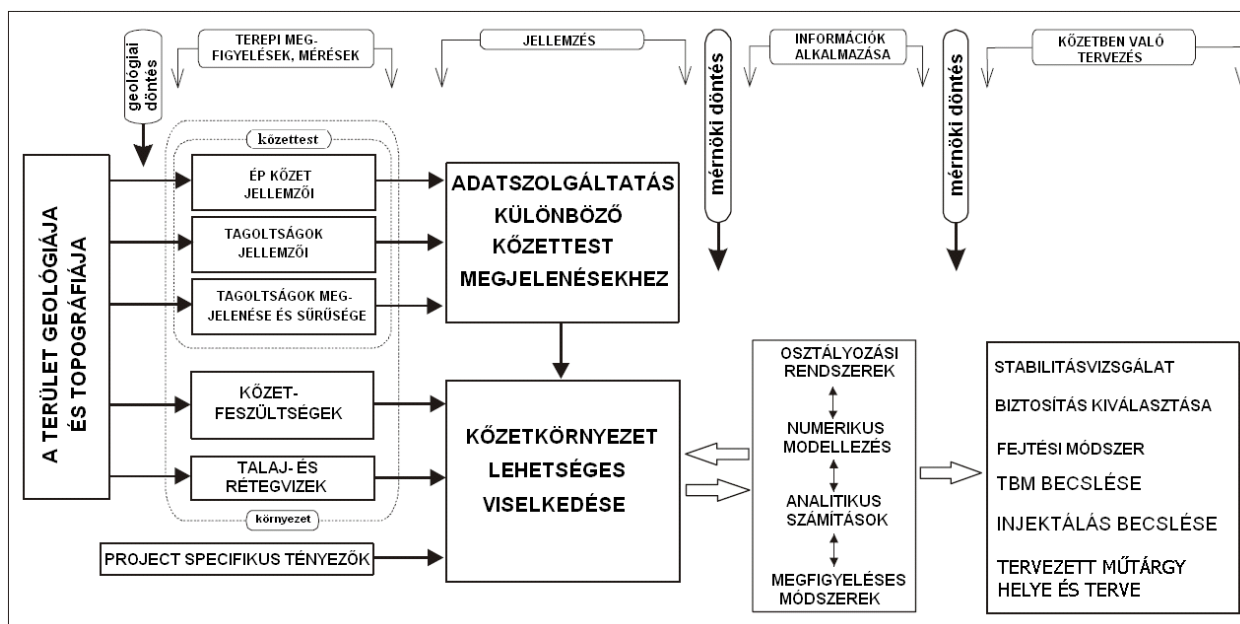
2.1. Kőzettestek osztályozása – elmélete és gyakorlata

A kőzetkörnyezet viselkedésének számításba vételezéséhez, a kőzetmechanikai szükséges általánosításokat az 1. ábrán bemutatott folyamatábra szemlélteti. Az osztályozás bemenő adatai egyrészt a mérnökgeológiai viszonyok (tagoltságok rendszere, távolsága, kitöltöttsége, stb.), a hidrogeológiai viszonyok, helyi feszültségviszonyok, valamint a projekt specifikus tényezői (azaz a tervezett kihajtás iránya, módja, stb.) Ezek alapján történik a kőzettest jellemzése és osztályba sorolása. A kapott értékek felhasználható mind analitikus, mind numerikus modellezés bemenő adataiként, valamint ezek komplex vizsgálata alapján a szükséges biztosítási és fejtési módok megválasztására is.

Mint minden kvalitatív módszernél, a kőzettest-osztályozásoknál is két érték közé kell a mércét felállítani: a kitűnő minőségű, ép, szálban álló nagy szilárdságú kőzet és a leggyengébb, mállott, teljesen széttöredezett kőzet (talaj) között. A több dimenziós problémát (mely a kőzettömbök mállottságától kezdve a tagolófelületek állapotán át a víz jelenlétén keresztül számos elemet foglal magában) egy dimenzióra kell redukálni, mely értéket a tervezett alagút-ürszelvényvel és jövesztési-móddal összevetve becsüljük meg a szükséges biztosítás módját és mértékét. Természetesen a ma használatos osztályozási módszerek használhatóak mind nagyon jó, mind nagyon rossz állapotú kőzettestre,

ugyanakkor a megbízhatóságuk általában a közepes tulajdonságú kőzetekre terjed ki – ennek oka, hogy a nagyon rossz minőségű kőzetkörnyezetben épített alagutak már talajmechanikai elmélettel méretezhetők, míg a legjobb minőségű kőzettestnél általában semmilyen biztosítási módra nincs szükség. Éppen ezért kell kihangsúlyozni, hogy egy osztályozási mód nem tartalmaz(hat) minden szóba jöhető paramétert, ezek együttes használata elengedhetetlen.

Az osztályozásnál mindig egy zavartalan zónát kell vizsgálnunk, mely a felszín alatt található, és csak korlátozott számú információ áll rendelkezésünkre. Ebből adódóan fokozott óvatossággal kell az információkat kezelni: el kell kerülni azt, hogy ugyan azt az értéket többször is beszámítsuk, ugyanakkor az elhanyagolásnál is ügyelni kell.

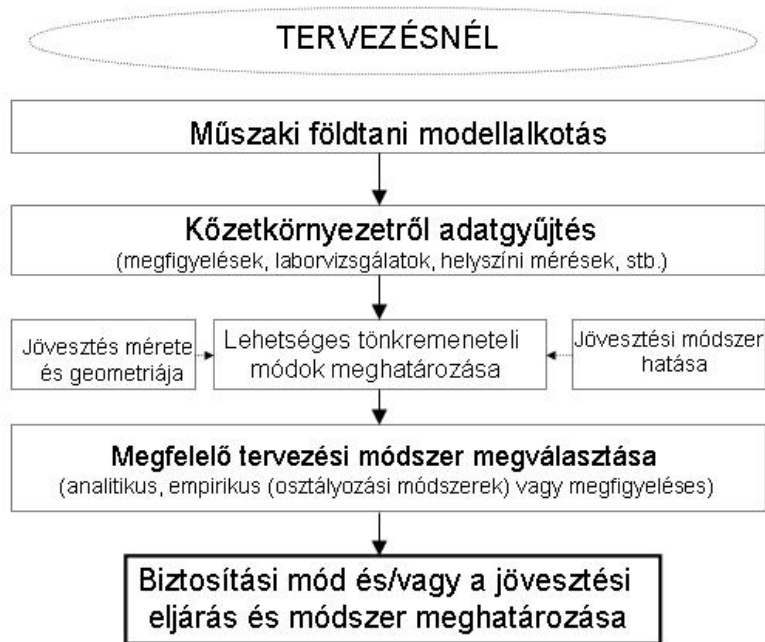


1 ábra: Megfigyelések, mérések és osztályozások alkalmazása a kőzetmechanikában

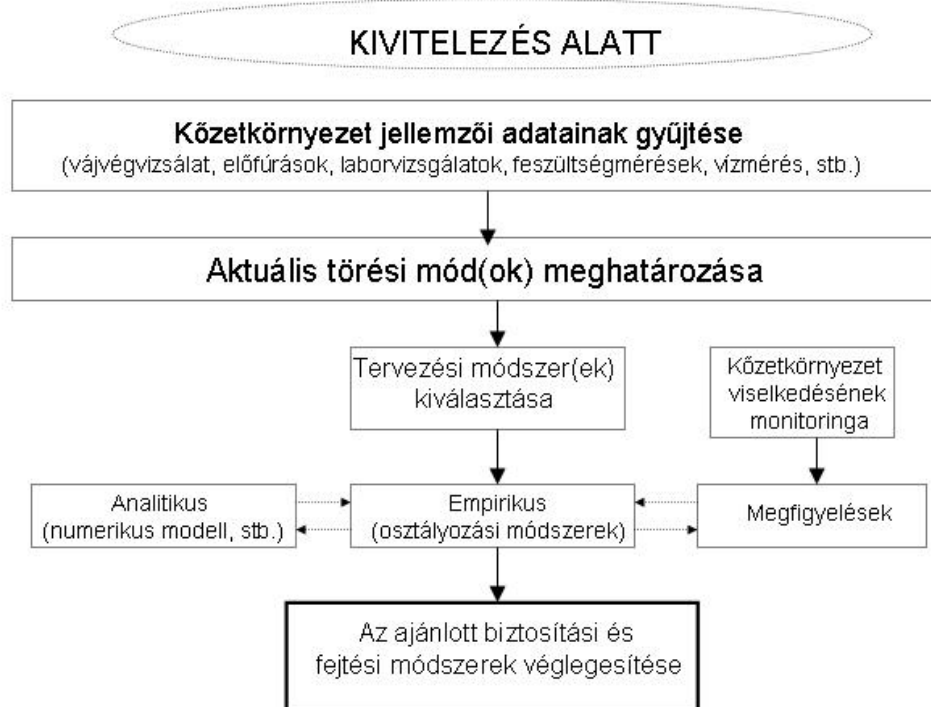
2.2. Osztályozás alkalmazása tervezésnél és kivitelezésnél

A mérnöki tervezés során empirikus, numerikus, illetve analitikus számolások és megfigyeléses felfogásmódok váltakoznak. Az empirikus felfogás, mely a kőzettest osztályozásán alapul, manapság az egyik legnépszerűbb, valószínűleg azért is, mert alapvető célja az egyszerűsítés és képes a bizonytalanságok kezelésére is, valamint a geológiai és geotechnikai bizonytalanságokat effektív fel lehet tárni a jellemző osztályozással. Az empirikus felfogással készített alagútépítési terv folyamatábráját mutatja a 2. ábra.

A kivitelezés feltáró szakaszában mind a kihajtásoknál, az üregeknél, kapcsolódásoknál és egyéb fontosabb helyeknél folyamatosan kell mérni a kőzettest viselkedését. Felhasználva a feltáró szakasz eredményeit, a bemenő adatok korrekciójával újra számolva kell a tervezést végrehajtani. Természetesen a kivitelezés alatt is folyamatosan kell az elméleti eredményeket a valós feszültségviszonyokkal, elmozdulásokkal együtt ellenőrizni, állandóan újraszámolva és így lépésről lépésre finomítani kell az addig használt paramétereket. Ezen mérések ismeretében folyamatosan korrigálni kell az eredményeket, visszszámolni az addigiakat. Ennek folyamatábráját mutatjuk be a 3. ábrán.

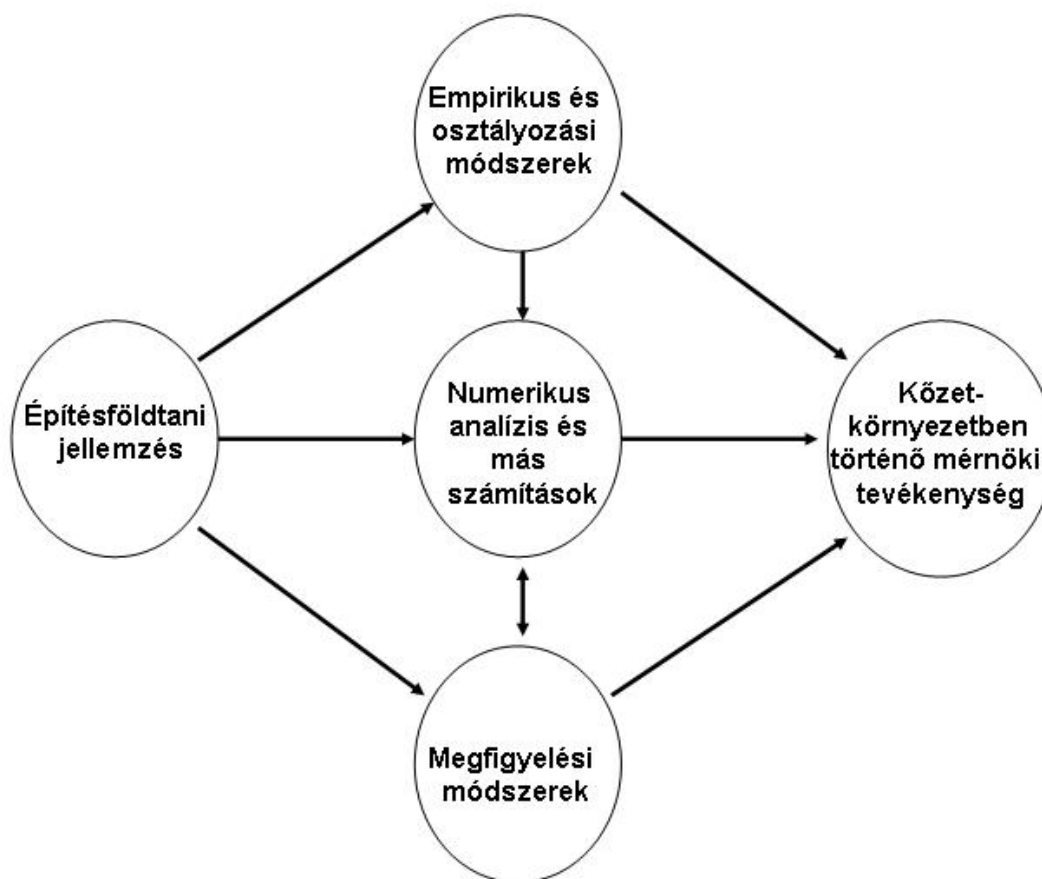


2. ábra: Az empirikus (közvettest osztályozást figyelembe vevő) tervezési mód folyamatábrája



3 ábra: Az empirikus (közvettest osztályozáson) alapuló kivitelezés folyamatábrája

A 4. ábra azokat a főbb lépéseket foglalja össze, melyeket a kőzetkörnyezetben történő mérnöki tervezésnél figyelembe kell venni. Természetesen különböző építésföldtani viszonyok között a bemutatott folyamatábrán súlyponti eltolódások lehetnek, pl. blokkos kőzetkörnyezetben az empirikus módszer válhat uralkodóvá, míg duzzadó kőzetkörnyezet esetén a megfigyelés jelentősége nőhet meg.



4. ábra: Főbb lépések a kőzetkörnyezetben történő mérnöki tevékenység során

2.2. Geológiai szilárdsági index és a Hoek-Brown törési határállapot

A Geológiai Szilárdsági Indexet (Geological Strength Index – GSI) Evert Hoek 1994-ben vezette be azzal a céllal, hogy a különböző geológiai állapotban lévő kőzettesteket leírassák. Ezen érték bevezetését az indokolta, hogy rossz minőségű kőzetek leírására az eddigi kőzettest-osztályozási módszerek (pl. RMR, Q) nem voltak megfelelőek – az RMR érték a gyakorlat alapján 30 alatt nem adott jó eredményt, illetve kis tartományban meghatározása nagyon nehéz volt. Mind az RMR, mind a Q tényezőnél az RQD érték bemenő adatként szerepel, ami azt eredményezi, hogy nagyon töredezett kőzettest esetén 0-t kell felvenni, míg a helyszíni tapasztalatok alapján jóval jobb szilárdsági tulajdonsággal rendelkeztek.

Ismeretes, hogy a tagolt kőzettest szilárdsága függ az ép kőzet anyagtulajdonságaitól, továbbá a kőzettömbök csúszási és elfordulási lehetőségétől. Ezt a szabadsági fokot befolyásolja mind a kőzettömb geometriai alakja, mind a határoló tagoló felületek minősége,

azaz egy tiszta, érdes tagoló felületekkel rendelkező kőzettest jóval nagyobb szilárdsággal rendelkezik, mint amelynek határoló tagoló felületei mállottak és töredezték.

Ebből kiindulva szerkesztették meg az 5. ábrát, ahol a mátrix oszlopában a kőzettest tagoltsági viszonyai szerepelnek, azaz az, hogy milyen sűrűséggel vannak a tagoló felületek a kőzettestben. A tagoló felület állapotától függ a mátrix sora. A GSI értéke ezek alapján 0 és 100 között változhat: 0 esetén kohézió nélküli – azaz szemcsés – talajt kapunk, ahol az elmélet nem használható. GSI = 100 esetén nincs tagoló felület, tehát a kőzettest és a kőzettömb ugyanaz. Az osztályozásban sem a talajvizet, sem a helyszíni feszültségviszonyokat nem veszik figyelembe, mivel azok külön bemenő adatként szerepelnek a számítási modellekben. Heterogén kőzettest esetén (pl. flis) a GSI értéke a 6. ábra alapján határozható meg.

A klasszikus kőzettest-osztályozások célja minden esetben a kőzetkörnyezetben készített műtárgy (legtöbb esetben alagút) biztosítási viszonyainak, valamint fejtési (jövesztési) paramétereinek meghatározása. A GSI módszer nem alkalmas közvetlenül ezen paraméterek meghatározására, e mutató csupán a kőzettestek litológiai, szerkezeti jellegének és a felület töredezettségi állapotának megfigyelésére vonatkozik, meghatározása a természetes feltárások, útbevágások vagy alagutak frontjainak kialakításakor feltáruló kőzettestek vizsgálatával lehetséges. Az így kapott számértékek a töredezettség gyakoriságával és az irányítottságukkal állnak kapcsolatban, helyszínen ezek jól megfigyelhetők.

Ismert, hogy a GSI osztályozási mutató azon feltételezésen alapul, hogy izotrópként viselkedő kőzettestben véletlenszerűen jelenik meg az adott irányokat mutató töredezettség. Tulajdonképpen a kőzettest viselkedése független az alkalmazott terhelési irányoktól. Ebből következik, hogy a GSI rendszer alkalmazása a markánsan meghatározható domináns szerkezeti vonalakkal, törésekkel és tektonikai síkokkal jellemzett kőzettesteknél nem javasolt.

A Hoek-Brown törési kritériumot, valamint a GSI mérőszámot gondos megfigyelések alapján kell meghatározni, azon kőzettesteknél, ahol a kőzettestek törése nem az anizotrópiájuk miatt következik be. Példának tekinthetünk egy olyan lejtőt, ahol a domináns szerkezeti vonalak (diszkontinuitások) miatt kialakuló törések horpadást vagy süllyedést eredményeznek.

- Anizotrópia figyelembe vétele

Ezen kőzettest osztályozási rendszerénél a kőzettestek izotróp jellege a meghatározó. Itt leginkább a törések, tektonikai síkok iránya a döntő. Kritériumként szerepel az, hogy a törések az adott vizsgált kőzetszakaszon ne kövessenek egy jellegzetes irányt, azaz ne legyen olyan jellegzetes orientációjuk, amely kettő vagy három töredezettség kombinációjából adódik. Ha a törésnél a kőzettest nyírószilárdsága helyett a tagoltság nyírószilárdsága hat, abban az esetben a GSI-t figyelmen kívül kell hagyni, azaz vetőzónában a GSI nem alkalmazható. A GSI érték számításánál viszont figyelmen kívül hagyható a jól definiált fő diszkontinuitás.

- Tagoltságok megjelenése, kitöltöttség esetén

Egy kőzettest szilárdsági és alakváltozási jellege az ép kőzet egyes darabjainak egymással érintkező felületének típusától és annak jellegétől függ. A kőzettest tulajdonságokat jelentősen befolyásolják azok a diszkontinuitási, tagoló felületek, amelyek az egyes kőzetcsoportokat szétválasztják. A GSI táblázat gyenge és nagyon gyenge kategóriával jelzett oszlopa alapján határozhatjuk meg a kitöltő anyaggal jellemzett tagoló felületekkel átvárt

kőzettesteket. Amennyiben a tagoló felületekben gyakori a kitöltő anyag és a kitöltés vastag (több, mint néhány cm) vagy a tagoló felületként értelmezhető nyírási zóna agyagos repedéskitöltést tartalmaz, akkor a heterogén kőzettestekre vonatkozó GSI táblázatot ajánlott alkalmazni.

- Víz figyelembe vétele

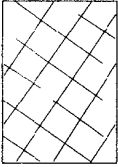
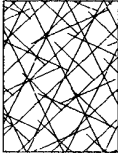

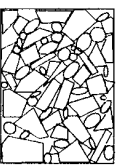
A GSI érték meghatározásánál mindenképpen figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a víz jelenléte jelentősen csökkenti a kőzettestek nyírószilárdságát. A nedvesség megjelenhet a tagoló felületekben a töredezett zónákban és a repedéskitöltő anyagokban is. Leginkább az erősen töredezett gyenge és nagyon gyenge kőzettestre igaz az a megállapítás, hogy nedvesség jelenlétében a GSI érték jelentősen csökken, azaz balról jobbra tolódik el, ahogy azt a 6. ábra is mutatja.

- Mállás figyelembe vétele







A mállott kőzeteknél a fent említett trendhez hasonló figyelhetünk meg, azaz ugyanazon kőzet üde és mállott változatára vonatkozó GSI értékek az ábrán eltolódást mutatnak, a mállott kőzettestek jobb oldali mezőkben helyezkednek el. Mállás során az eredetileg még ép kőzetalkotókat is érheti elváltozás (pl. gránit földpát kristályait), amit a mechanikai modellalkotásnál veszünk figyelembe. Azon mállásos folyamatoknál, ahol a mállás már a kőzettest szerkezeti elemeit is elérte és mélyebb mállott zónát eredményezett, az adott kőzet már olyan talajnak tekintendő, ahol a GSI rendszer nem alkalmazható.

- Kis szilárdságú kőzetek



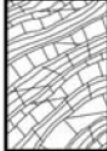

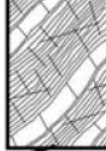
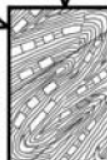
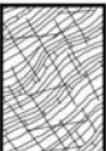
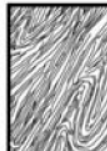
A kevésbé tektonizált kőzetkörnyezetben megjelenő kis szilárdságú kőzetek, mint a márga, az agyagos kőzetek, az aleurolit, valamint a gyenge minőségű homokkő tekinthető ilyenek. Ezek kevés diszkontinuitással jellemezhető egyszerű tagoltságú rendszerű kőzetek. Amennyiben jól rétegzettek és ezért réteglapokkal tagoltak, ezek a réteglapok jól definiálható diszkontinuitási felületként nem értelmezhetőek. Osztályozásuknál a „blokkos” és a „masszív” kőzettestekre jellemző GSI értékkel számolunk. A diszkontinuitás, még ha csak korlátozott mértékben is van jelen, akkor sem lehet a nagyon gyenge (általában gyenge vagy nagyon gyenge) besorolásnál jobb, így a GSI 40-60 közötti értéket vehet fel.

<p style="text-align: center;">GEOLOGIAI SZILÁRDSÁGI INDEX (GSI)</p> <p style="text-align: center;">SZERKEZET</p>		<p style="text-align: center;">TAGOLÓFELÜLET ÁLLAPOTA</p> <p style="text-align: center;">NAGYON JÓ, Nagyon érdes és üde felülettel,</p> <p style="text-align: center;">JÓ, Érdes kissé mállott vagy vasfoltos felülettel.</p> <p style="text-align: center;">TÜRHETŐ, Sima és/vagy mérsékeltén mállott és átalakult felülettel.</p> <p style="text-align: center;">GYENGE, Símára kopott v. erősen mállott felületek v. szögletes törmelékkel kitöltött réteg</p> <p style="text-align: center;">NAGYON GYENGE, Sovány agyaggal kitöltött símára kopott és erősen mállott felületek</p>
<p style="text-align: center;">A KŐZETTÖMBÖK KAPCSOLATÁNAK CSÖKKENÉSE</p>		<p style="text-align: center;">CSÖKKENŐ FELÜLETI MINŐSÉG</p>
 <p>BLOKKOS - nagyon jól összekapcsolódó ép kőzettest, mely kocka-tömböket tartalmaz melyeket 3 orthogonális diszkontinuitás szabdal</p>	80	70
 <p>NAGYON BLOKKOS - összekapcsolódó, részlegesen töredezett kőzettest, melyet 4 vagy annál több diszkontinuitás szabdalja</p>	60	50
 <p>BLOKKOS/TÖREDEZETT - töredezett és/vagy gyűrt szögletes kőzettömbökből álló kőzettest, melyet számos diszkontinuitás szabdal</p>	40	30
 <p>SZÉTESŐ - rosszúl összekapcsolódó, erősen töredezett kőzettest, mely érdes és kopott törmelékekből áll</p>	20	10

5. ábra. A Geológiai Szilárdsági Index (GSI) meghatározása és értékei

<p style="text-align: center;">GEOLÓGIAI SZILÁRDSÁGI INDEX (GSI) MEGHATÁROZÁSA</p>		TAGOLÓFELÜLET ÁLLAPOTA				
		NAGYON JÓ - nagyon érdes és üde felülettel	JÓ - érdes kissé mállott vagy vasfoltos felülettel	TÜRHETŐ - sima és mérsékelten mállott és átalakult felülettel	GYENGE - simára kopott, erősen mállott felületek vagy szögletes törmelékkel kitöltött réteg	NAGYON GYENGE - puha agyaggal kitöltött simára kopott és erősen mállott felületek
SZERKEZET		CSÖKKENŐ FELÜLETI MINŐSÉG →				
	ÉP VAGY TÖMÖR-ép próbatestek, vagy tömör kőzettest néhány ritkán elhelyezkedő diszkontinuitással	90			N/A	N/A
	BLOKKOS - nagyon jól összekapcsolódó ép kőzettest, mely kocka-tömböket tartalmaz, melyeket három orthogonális diszkontinuitás szabdal	80	70			
	NAGYON BLOKKOS - összekapcsolódó, részlegesen töredezett kőzettest, melyet négy vagy annál több diszkontinuitás szabdal		60			
	BLOKKOS / TÖREDEZETT / REPEDEZETT - szögletes kőtömbökből álló gyűrt kőzettest, melyet számos egymást keresztező diszkontinuitás szabdal. Folytonos vagy palás rétegződés.			50		
	SZÉTESŐ -rosszul összekapcsolódó, erősen töredezett kőzettest, mely érdes és kopott törmelékből áll				40	
	RÉTEGZETT/NYÍRT -blokkosság hiánya a sűrű töredezett palás rétegződés vagy nyírási felületek miatt					30
						20
		N/A	N/A			10

6. ábra. A GSI meghatározása kiegészítve a gyenge szilárdságú kőzetekre

GSI meghatározása heterogén kőzetest esetén		TAGOLTSÁGI FELÜLET ÁLLAPOTA	
a nyílak a fő tektonikai hatásra bekövetkező alakváltozást jelölik		NAGYON JÓ, nagyon érdes és tide felülettel	JÓ, érdes, kissé mállott felülettel
ÖSSZETÉTEL ÉS SZERKEZET		TÜRHEŐ síma, mérsékeltén mállott és átalakult felülettel	GYENGE nagyon síma, helyileg csúszós felületek törmelékekkel kitöltve
		NAGYON GYENGE, nagyon síma vagy nagyon mállott felület puha agyaggal kitöltve	
	A. Vastagon települt, nagyon tömbös homokkő.	70	A
	B. Homokkő vékony iszapkő rétegekkel	50	B
	C. Homokkő és iszapkő azonos mértékben	40	C
	D. Iszapkő vagy iszapkő homokkő rétegekkel		D
	E. Gyenge iszapkő vagy agyagos pala homokkő rétegekkel		E
C, D, E és G - többékevésbe az ábrának megfelelően gyűrtek. A tektonikai deformáció hatására töredezik és folytonossága megszakad - lásd F. és H.			
	F. Tektonikusan deformált, erősen hajlítot/töredezett, deformálódott agyagpala v. iszapkő töredezett és deformált homokkő rétegekkel, majden kaotikus szerkezettel.	30	F
	G. Zavartalan iszap- v. agyag-pala esetlegesen kevés nagyon vékony homokkő rétegekkel		G
	H. Tektonikusan deformált iszap vagy agyagpala kaotikus szerkezettel és agyaglencsékkel. A homokkő-rétegek kis darabokra estek szét.	10	H

7. ábra: Geológiai Szilárdsági Index (GSI) heterogén kőzetest esetén – példa flisre

Hoek és Brown 1980-ban vezetett be empirikus úton kiszámolt törési határfeltételt rideg kőzetekre, melyeket napjainkban már átmeneti kőzetekre (puha kőzetekre – kemény talajokra) is használnak. Az egyenlet általános alakban az alábbi:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^a, \quad (1)$$

ahol σ_1 , σ_3 és σ_c a maximális és a minimális fő feszültség a törési állapotban és a kőzettömbnek az egyirányú nyomószilárdsága, m_b a kőzettest Hoek-Brown állandója, s és a a kőzettest feltöredezettségétől függő állandók. Az (1.) egyenlet két esetben használható:

- ép kőzeteknél (azaz kőzettömböknél); valamint
- jelentősen tagolt kőzettestnél (ekkor a vizsgált kőzettesten belül a tagoló felületek száma minimálisan 3).

Kőzettömb esetén a (2) képlet a következő egyszerűbb alakban írható le:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(m_{ép} \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + 1 \right)^{0,5}. \quad (2)$$

A fenti összefüggésből következik, hogy a törés állapotában fellépő főfeszültségek közötti összefüggés az egyirányú nyomószilárdságtól (σ_c) és a Hoek-Brown állandótól ($m_{ép}$) függ.

Az ép kőzet Hoek-Brown állandójának meghatározása triaxiális kísérletekkel történik. Hoek és Brown (1980) a következő összefüggést adja az egyirányú nyomószilárdság (σ_c) függvényében az általuk bevezetett állandók és a főfeszültségek (σ_1 ; σ_3) között:

$$(\sigma_3 - \sigma_1)/2 = m \sigma_c \sigma_3 + \sigma_c. \quad (3)$$

Az m állandót különböző környezeti nyomáson végzett vizsgálatokkal lehet pontosan meghatározni.

Az 1. táblázat a gyakran előforduló fontosabb kőzetek Hoek-Brown állandóját ($m_{ép}$) adja meg. Ezek az értékek nagyban függenek a kőzet mállottsági viszonyától is: ugyan annak a kőzetnek üde állapotban Hoek-Brown állandója akár kétszerese is lehet, mint mállott állapotban. Természetesen e táblázatok adatai nem pótolják a laboratóriumi vizsgálatokat, melyekkel a fenti állandók pontosabban meghatározhatók.

A Geológiai Szilárdsági Index (GSI) ismeretében lehetőség van az ép kőzetre meghatározott Hoek-Brown állandó ($m_{ép}$) átszámítására a kőzettestre (m_b). Az átszámolást a Q tényező ismeretében is megadjuk:

$$m_b = m_{ép} \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right) = 0,135 m_{ép} (Q)^{1/3}. \quad (4)$$

Jó minőségű kőzettest esetén, ha $GSI > 25$:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right) = 0,002 Q, \quad (5)$$

$$a = 0,5. \quad (6)$$

Nagyon rossz minőségű kőzettest esetén ($GSI < 25$):

$$s = 0, \quad (7)$$

$$a = 0,65 - GSI/200, \quad (8)$$

Abban az esetben, ha a jövesztés hatását is figyelembe akarjuk venni, akkor a fejtés, illetve robbantás hatására bekövetkező kőzettest károsodás mértékét is meg kell becsülni. Bevezették a D értéket, amely az úgynevezett „károsodást” mutatja. Értéke 0 és 1 között vehető fel:

$D = 0$: semmilyen károsodás nem történt,

$D = 1$: nagy mértékű a károsodás.

A D érték felvételére néhány példát mutatunk be a 2. táblázatban. A károsodás mértékét is figyelembe véve a (4.29.) és (4.30.) egyenleteket az alábbi formában kell használni:






$$m_b = m_{ép} \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right), \quad (9)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right). \quad (10)$$

1. táblázat. Jelentősebb kőzetek $m_{ép}$ Hoek-Brown anyagállandói

Üledékes kőzetek	$m_{ép}$	Magmás kőzetek	$m_{ép}$	Átalakult kőzetek	$m_{ép}$
Agyagkő	3,4	andezit	18,9	Amfibolit	31,2
Anhidrit	13,2	bazalt	17	amfibolitos gneisz	31
Szén	8-21	dácit	17	Csillámpala	4-8
Breccsa	20	diabáz	15,2	kvarcit	23,7
Dolomit	10,1	diorit	27	talk pala	10
Gipszkő	16	gabbró	25,8	fillit	13
Grauwacke	18	gránit	32,7	gneisz	29-31
Homokkő	19	granodiorit	20	márvány	9,3
Iszapkő	9,6	monzonit	30	milonit	6
Konglomerátum	22	norit	21,7	mika pala	15
Krétakő	7,2	obszidián	19	zöldpala	20
Mészkő (mikrites)	8,4	riolit	20		
Mészkő (pátitos)	10	szienit	30		
		tufa	15		

2. táblázat. A kőzettest plusz töredezettségének (károsodásának) változása fejtés-robbantás hatására

A kőzettest megjelenése	A kőzettest jellemző leírása	Ajánlott D érték
	<p>Nagyon jó minőségű kontrollált robbantás vagy alagútfúró géppel (TBM) történő fúrás eredményeként az alagút körüli kőzettest minimális károsodása.</p>	<p>$D = 0$</p>
	<p>Rossz minőségű kőzettestben (nincs robbantás) gépi vagy kézi fejtés eredményeként a környező kőzettest minimális károsodása. Duzzadás esetén, amikor a talp karakteresen megemelkedik, károsodás jelentkezhet, hacsak időleges megtámasztást nem alkalmazunk.</p>	<p>$D = 0$</p> <p>$D = 0,5$ Nincs első megtámasztás</p>
	<p>Kemény kőzetben nagyon rossz minőségű robbantás számos lokális károsodást okozhat, mely akár 2-3 m mélységű is lehet a környező kőzettestben.</p>	<p>$D = 0,8$</p>
	<p>Sziklarézsű robbantása: a kép bal oldalán jól koordinált, míg a jobb oldalán rosszul kontrollált robbantás eredménye látható.</p>	<p>$D = 0,7$ Jó minőségű robbantás</p> <p>$D = 1,0$ Rossz minőségű robbantás</p>
	<p>Nagy nyíltszíni bányáknál robbantásos fejtés hatására bekövetkező károsodás, melynél a fejtés következtében bekövetkezett terheléscsökkenést is figyelembe kell venni. Néhány puhább kőzet esetén, hasítással történő fejtésnél a károsodás mértéke csökkenthető.</p>	<p>$D = 1,0$ Robbantásos fejtés esetén</p> <p>$D = 0,7$ Mechanikai fejtés esetén</p>

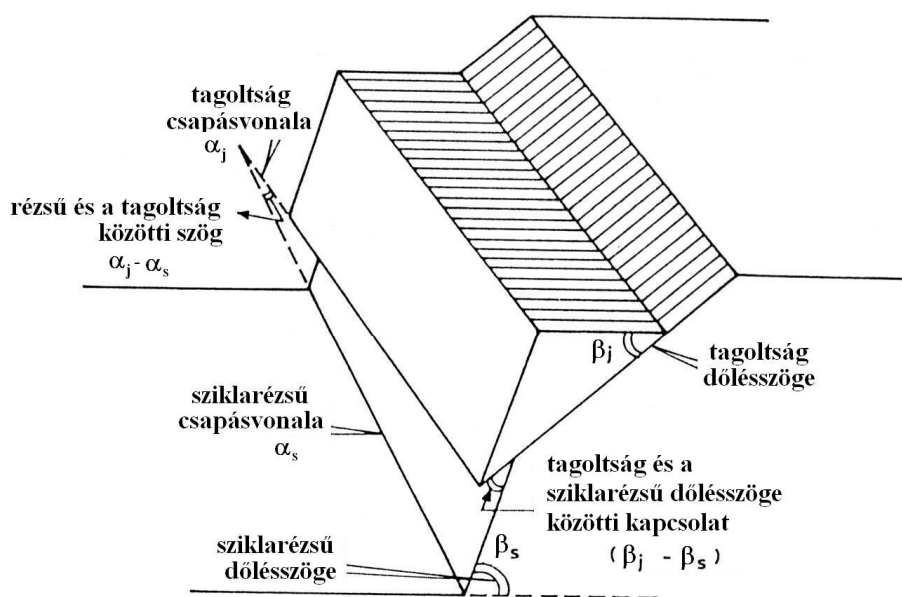
2.3. Sziklarézsúk állékonyságának vizsgálata

A mérnökgeológiában használatos RMR_{alap} értéke nem tartalmazza a kőzettest tagoltságának és az alagút fejtés irányának geometriai viszonyait. Ennek a tényezőnek ismeretében lehetőség van a sziklarézsúk állékonyságának számítására is. Ezt a módszert Romana fejlesztette ki, és SMR-nek (Slope Mass Rate) nevezte el.

Kiszámításánál négy különböző módosító tényezőt vesz figyelembe:

$$SMR = RMR_{alap} + (F_1 F_2 F_3) + F_4. \quad (11)$$

Az egyenletben az F_1 , F_2 és F_3 a tagoltság-sziklarézsú közötti geometriai viszonyoktól függő tényezők, míg az F_4 az emberi beavatkozástól függ. A 8. ábra a módosító tényezőknél felhasznált geometriai viszonyokat mutatja be.



8. ábra. Csúszási törés esetén a mérendő csapásirány és dőlésszögek

F_1 a sziklarézsú és a tagoltság csapásirányától függő tényező. Amennyiben egymással párhuzamosak, ez az érték 1,00, míg a minimális értéke 0,15 amikor a csapásirányok között bezárt szög több mint 30° , azaz a törés lehetősége igen kicsi. E két érték között a következő összefüggéssel lehet közelítőleg az értéket kiszámolni:

$$F_1 = (1 - \sin A)^2, \quad (12)$$

ahol A a tagoltság és a sziklarézsú csapásiránya közötti szög fokban.

F_2 tényező a tagoltság dőlésszögétől függ, azaz ez a tényező a nyírási szilárdsági valószínűségi érték. Amennyiben a dőlésszög 45° -nál nagyobb, akkor az értéke 1,00, míg 20° -nál kisebb dőlésszög esetén 0,15. E két érték között a következő összefüggéssel lehet kiszámítani a tényező értékét:

$$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j, \quad (13)$$

ahol β_j a tagoltság dőlésszöge. Csúszási tönkremenetel esetén F_2 értéke 1,00.

F₃ a sziklarézsű és a tagoltság dőlésszögétől függő tényező. Kétféle tönkremeneteli állapotot különböztethetünk itt meg: a „csúszási”, illetve a „kibillenő” tönkremenetelt.

- Csúszási tönkremeneteli állapotban **F₃** a sziklarézsűnek a tagoltságból nézve vett meredekségétől függő valószínűség. Elfogadható akkor, ha a tagoltság párhuzamos a sziklarézsűvel, míg ha a sziklarézsű dőlésszöge 10°-nál nagyobb, mint a sziklarézsűé, kedvezőtlen állapotról beszélünk.
- A kibillenési tönkremeneteli mód: a mállott és a lecsökkent nyírószilárdságú (5° körüli sűrűlódási szöggel) sziklarézsűnek növekszik meg a tönkremenetel esélye. Ebben az esetben kedvezőtlen illetve nagyon kedvezőtlen állapotról nem beszélhetünk.

A fenti tényezőket foglalja össze a 3. táblázat.

F₄ a sziklarézsű emberi beavatkozásától függő tényező. A tényező felvételénél a következő megfontolásokból indultak ki (lásd 4. táblázat):

- a természetes sziklarézsű a legstabilabb, a hosszú idejű erózió és a rátelepülő mechanikai védelem (pl.: vegetáció, kergesedés, stb.) okból kifolyólag: $F_4 = +15$.
- hasadás előtti állapot szintén növeli a sziklarézsű állékonyságát: $F_4 = +10$.
- egyenletes robbantás esetén szintén nő a sziklarézsű stabilitása: $F_4 = +8$.
- normál robbantás esetén nem változik a sziklarézsű stabilitása: $F_4 = 0$.
- mechanikai bányászat esetén (általában hasítással, sokszor előkészítő robbantással), mikor a sziklarézsű síkját nehéz meghatározni. Ebben az esetben általában sem nem nő, sem nem csökken a sziklarézsű stabilitása: $F_4 = 0$.
- rosszul koordinált robbantás esetén $F_4 = -8$.

A fentiek szerint meghatározott SMR érték alapján az osztályozást az 5. táblázat mutatja. A kapott érték alapján fogalmat alkothatunk a szükséges beavatkozás nagyságáról és a sziklarézsű biztonsági tényezőjéről, valamint az esetleges tönkremenetel módjáról. A 6. táblázatban az ajánlott beavatkozási, megtámasztási módokat foglaltuk össze. Ki kell hangsúlyozni, hogy a meghatározott SMR érték, illetve az ez alapján történő osztályba sorolás, valamint a megtámasztás tervezése csak az állapotfelvétel idejére vonatkozik. A sziklarézsűk időjárásnak jelentősen ki vannak téve, ezért a méréseket el kell végezni mind a fejtés utáni üde közettestnél, majd később, az esetlegesen mállott állapotú közettesten is. Számos esetben a fejtés utáni stabil, jó minőségű közettest instabillá válik néhány éven belül. Ugyancsak fontos a felvétel ideje, így télen és tavasszal, amikor sok csapadék esik, rosszabb közettest-minőséget mérhetünk, mint nyáron. Ezért a vizsgálatnál mindig a lehető legrosszabb állapotot kell figyelembe venni.

3. táblázat. A módosító tényezők jelzőszáma a közettömb várható csúszása, illetve kibillenése esetén

<i>Csúszási tönkremenetel</i>	nagyon kedvező	kedvező	megfelelő	kedvezőtlen	nagyon kedvezőtlen
$\alpha_i - \alpha_s$	> 30°	30-20°	20-10°	10-5°	< 5°
F₁	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
β_i	< 20°	20-30°	30-35°	35-45°	> 45°
F₂	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
$\beta_j - \beta_s$	> 10°	10-0°	0°	0° - -10°	< -10°
F₃	0	0	-25	-50	-60

Kibillenési tönkremenetel					
$(\alpha_j - \alpha_s) - 180^\circ$	$> 30^\circ$	$30-20^\circ$	$20-10^\circ$	$10-5^\circ$	$< 5^\circ$
F_1	<i>0,15</i>	<i>0,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,85</i>	<i>1,00</i>
F_2	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	$110 - 120^\circ$	$> 120^\circ$	-	-
F_3	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>-25</i>	-	-

α_j : a tagoltság dőlésiránya; α_s : a sziklarézsű dőlésiránya; β_j : a tagoltság dőlésszöge; β_s : a sziklarézsű dőlésszöge

4. táblázat. F_4 értéke különböző fejtési módok esetén SMR tényező számításához

Fejtési módszer	F_4 érték
<i>természetes rézsű</i>	+14
<i>hasítás-előtti</i>	+10
<i>jól kontrollált robbantás</i>	+8
<i>normál robbantás vagy mechanikai fejtés</i>	0
<i>rosszul kontrollált robbantás</i>	-8

5. táblázat. Az állékonyság (tönkremenetel) és a meghatározott SMR érték közötti kapcsolat

SMR	Osztály	Leírás	Állékonyság	Tönkremenetel	Biztonsági tényező
81 – 100	I	Nagyon jó	Teljes mértékben stabil	Nincs	10
61 – 80	II	Jó	Stabil	Néhány tömb	5
41 – 60	III	Megfelelő	Részlegesen stabil	Néhány tagoló felület v. sok hasadék	2,5
21 – 40	IV	Rossz	Instabil	Csúszás v. nagy hasadék	1,6
0 – 20	V	Nagyon rossz	Teljes mértékben instabil	Nagy csúszás v. talajszerű	1,1

6. táblázat. Ajánlott megtámasztási módok a különböző SMR osztályokhoz

SMR érték	SMR osztály	Ajánlott biztosítási mód
91-100	Ia	Nem kell megtámasztás
81-90	Ib	Nem kell megtámasztani, helyenkénti leválasztások
71-80	IIa	Pontszerű kőzetcsavarozás
61-70	IIb	Pontszerű vagy rendszeres kőzetcsavarozás
51-60	IIIa	Pontszerű vagy rendszeres kőzetcsavarozás, helyenkénti löttbetonozás
41-50	IIIb	Rendszeres kőzetcsavarozás/horgonyzás, rendszeres löttbetonozás, előfalazás és/vagy betonozás
31-40	IVa	Kihorgonyzás, rendszeres löttbetonozás, előfalazás és/vagy betonozás (vagy újrafejtés), drénezés
21-30	IVb	Kihorgonyzás, rendszeres löttbetonozás, előfalazás és/vagy betonozás, újrafejtés), mély drénezés
11-20	V	Súly- vagy hátrahorgonyzott támfal, újrafejtés

3. Új tudományos eredmények

A kőzettest mechanikai tulajdonságai függenek a kőzettömb mechanikai tulajdonságaitól, valamint a tagoltságok állapotától, rendszerétől. Célunk annak a vizsgálata, hogy a tagolatlan (ép) kőzet mechanikai paraméterei hogyan változnak víz hatására. Ezen változások ismeretében lehetőség van a kőzettest mechanikai viselkedésének modellezésére is.

Ezért a kutatási eredmények két részből állnak:

- Ép kőzet mechanikai tulajdonságainak változásai vízzel való telítés hatására
- Tagoltsági viszonyok vizsgálata és értékelése.

I. Vízzel való telítés hatása a kőzet mechanikai állandóira

1. TÉZIS

Vízzel való telítés hatására a mérések szerint a kőzet nyomószilárdsága csökken – sok esetben akár 1 %-os víztartalom is jelentős csökkenést eredményezhet. Az egyirányú nyomószilárdság és a víztartalom között az alábbi exponenciális összefüggés adható meg:

$$\sigma_c(w) = ae^{-bw} + c, \quad (T1)$$

ahol $\sigma_c(w)$ az egyirányú nyomószilárdság (MPa), w a víztartalom (%), valamint a , b és c anyagállandók. Egyértelmű, hogy abban az esetben, ha a víztartalom 0 %, $\sigma_{c0} = a + c$, illetve teljesen telített állapotban $\sigma_{ctel} = c$. A b dimenzió nélküli anyagállandó, és a víz telítésére való érzékenységet mutatja.

A „ b ” az effektív porozitás ismeretében meghatározható:

$$b = \frac{6.0259}{n_{eff}}, \quad (T2)$$

ahol n_{eff} az effektív porozitás.

2. TÉZIS

Vízzel való telítés hatására a kőzet rugalmassági modulusának (E) és a nyomószilárdságának (σ_c) hányadosa nem változik, azaz:

$$E = MR \sigma_c, \quad (T3)$$

ahol MR anyagfüggő állandó, melynek értéke független a vízzel való telítés mértékétől.

3. TÉZIS

Az ép kőzet mechanikai anyagállandó (σ) és sűrűsége (ρ) között exponenciális kapcsolat adható meg:

$$\sigma = k \exp(z\rho), \quad (T4)$$

ahol k és z közöttől függő anyagállandók, melyek értékei függenek a vízzel való telítés mértékétől.

II. Tagoltsági viszonyok értékelése

4. TÉZIS

A mérnökgeológiai gyakorlatban előírt és alkalmazott RQD tényező mellett a C tényező használata javasolt mind nagyon töredezett, mind nagyon jó minőségű fúróminták értékelésénél. A C tényező ezen tartományokban jobban mutatja a kőzettest töredezettségét. Általános esetben az

$$RQD = 175.75 C + 2 (\%) \quad (T5)$$

összefüggés adható meg a két tagoltsági mérőszám között.

4. Az eredmények hasznosítása

A kapott eredményeket főleg alagút, metró, illetve mélyépítési létesítmények építéseknél lehet felhasználni (a hasznosításokról készített fontosabb publikációk: [1, 21, 24, 49, 51]). A megadott egyenletek felhasználásával lehetőség nyílik a műtárgy környezetében lévő kőzettest mechanikai paramétereinek pontosabb meghatározására. A megadott egyenletek segítségével lehetséges a járat esetleges felhagyása után a későbbi mechanikai tulajdonságának modellezése is.

5. Publikációk

Jelen publikációs lista csak az OTKA 48645 sz. kutatáshoz kapcsolódó, azon időszak alatt kiadott, ill. kiadás alatt lévő publikációkat tartalmazza.

5.1. Könyvrészletek

Török Á.; Vásárhelyi B. (2007): *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2007* konferencia. (szerk.). p. 332

Török Á.; Vásárhelyi B. (2006): *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2006* konferencia. (szerk.). p. 268

Gálos M.; Vásárhelyi B. (2006): *Kőzettestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban*. Műegyetemi Kiadó, p. 144

Kertész P.; Vásárhelyi B. (2006): *Kontinuitás, homogenitás és az anyagmodell*. In.: Asszonyi Cs. (szerk). *Izotróp kontinuumok anyagtörvénye*. Műegyetemi Kiadó, 11-24

5.2 Külföldön megjelent idegen nyelvű folyóiratcikkek

Török, Á.; Vásárhelyi, B. (2007): Dependence of physical properties on the water content and textural properties of Hungarian travertine. *Engng. Geol.* (bírálat alatt) (IF₂₀₀₅ = 1,040)

- Deli, Á. Gálos, M. Ván, P. Vásárhelyi, B. (2007): A laboratory method for determining the dissipated energy. *Bull. Engng. Geol. & Env.* nyilvántartási száma:1030, kiadás alatt
- Vásárhelyi, B.; Ván, P. (2006): Influence of water content on the strength of rock. *Engng. Geol.* **84**(1-2): 70-74. (IF₂₀₀₅ = 1,040)
- Vásárhelyi, B. (2005): Statistical analysis of the influence of water content on the strength of the Miocene limestone *Rock Mech. Rock Engng.* **38**(1): 69-76. (IF = 0,500)

5.3 Magyarországon megjelent idegen nyelvű folyóiratcikkek

- Vásárhelyi B. Váró Á. Kovács L. (2007): Analyzing the fissuration of the boreholes and comparing the different methods. *Cent. Eu. Geol.* **50**(4).
- Vásárhelyi, B.; Ván, P. (2006): Shearing tests with continuously increasing normal stress. *Periodica Polytechnica – Ser. Civil Engng.* **50**(2): 171-180.
- Vásárhelyi, B. (2006): Review article: Analyzing the crack coalescence in brittle rock material. *Acta Geod. Geoph. Hung.* **41**(2): 181-198.
- Vásárhelyi, B.; Gálos, M. (2004): How the water saturation influence the mechanical properties of the volcanic tuffs. *Periodica Polytechnica – Ser. Civil Engng.* **47**(1): 65-72.

5.4 Magyar nyelvű folyóiratcikkek

- Görög P.; Vámos M.; Török Á. Vásárhelyi B. (2007): A geológiai szilárdsági index (GSI) magyarországi alkalmazási lehetősége. *Földtani Közlöny*, (bírálat alatt)
- Kovács L.; Vásárhelyi B. (2007): Kőzettest osztályozások alkalmazása a mélyépítésben. *BKL-Bányászat* **140**(3): 17-19.
- Vásárhelyi B. (2006): Magyarországi tufák szilárdsági változásai víz hatására, *Hidrológiai Közlöny*, **86**(5): 21-24
- Deák F.; Molnos I.; Kovács L.; Vásárhelyi B. (2006): Bábaapáti radioaktív hulladékártoló építése - Geotechnikai váгатdokumentálás. *Mélyépítés* **4**(17): 7-13.
- Gálos M.; Vásárhelyi B. (2005): Mechanikai viselkedés az RQD-érték ismeretében. *Mélyépítés* **3**(2): 18-22.
- Vásárhelyi B. (2005): A kőzettest értékelése RMi (Kőzettest index) alapján. *BKL-Bányászat*, **138**(6): 20-24.

5.5 Konferenciák, kiadványok

5.5.1 Előzetesen véleményezett konferencia-előadás és kiadvány anyagok

- Ván, P.; Vásárhelyi, B. (2007): *Sensitivity analysis of the Hoek-Diederichs rock mass modulus estimating formula*. In: Proc. 11. ISRM Cong. Lisboa, Balkema.
- Váró, Á.; Kovács, L.; Vásárhelyi, B. (2007): *Comparing the RQD and the C values*. In: Proc. 11. ISRM Cong. Lisboa, Balkema.
- Romana, M.; Vásárhelyi, B. (2007): *A discussion on the decrease of unconfined compressive strength between saturated and dry rock samples*. Proc. 11. ISRM Cong. Lisboa, Balkema
- Vásárhelyi B.; Ván P. (2006): *Víztartalom hatása a kőzetek szilárdságára*. In.: Török Á.; Vásárhelyi B. (szerk). *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2006*, Műegyetemi Kiadó, 245-252.
- Kovács L.; Vásárhelyi B. (2006): *RQD és C tényezők összehasonlítása az Üveghutai fúrások alapján*. In.: Török Á.; Vásárhelyi B. (szerk). *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2006*, Műegyetemi Kiadó, 139-144.

Vásárhelyi, B.; Ván, P. (2006): *Analyzing the influence of the water saturation on the strength of sandstones*. In: Proc. Eurock 2006, Liege, (ed: van Cotthem, A.; Charlier, R.; Thimus, J-F; Tshibangu, J-P), Balkema, 169-173.

5.5.2 Előzetesen nem véleményezett konferencia-, előadás- és kiadványanyagok:

Deák F; Molnos I; Kovács L; Vásárhelyi B. (2006): *Geotechnikai váгатdokumentálás Bábaapáti Kutatóvágatban*. In: 8. Székelyföldi Geológus Találkozó, Csíkszereda, 43-48.

Kovács L; Vásárhelyi B. (2006): *A kőzettest osztályozások alkalmazása alagútépítéseknel*. In: Alagútépítési napok, Pécs, 93-97.

Deák F; Molnos I; Kovács L; Vásárhelyi B. (2006): *Geotechnikai váгатdokumentálás bábaapáti kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéktároló építésében*. In: Alagútépítési napok, Pécs, 99-103.