

A „PUHA” KŐZET ÉS „KEMÉNY” TALAJ PROBLEMATIKÁJÁNAK BEMUTATÁSA A BUDAI MÁRGA VIZSGÁLATA ALAPJÁN

Görög Péter

BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, görög.peter@gmail.com

Összefoglalás: A puha (szilárd) kőzet és kemény talaj problematikája általában az átmeneti típusú, vagy mállott kőzetek esetén merül fel. A márgák a kőzet és talaj közötti átmenetet jelentik, így kiválóan alkalmas ennek a problémának bemutatására. Vannak olyan típusai, amelyek kemény kőzetként és olyanok, amelyek talajként viselkednek. Ezekben az esetekben vagy kőzetmechanikai, vagy talajmechanikai vizsgálatokat végzünk el. A probléma akkor vetődik fel, ha a vizsgált márga egyértelműen egyik csoportba sem sorolható be; ilyenkor elképzelhető, hogy sem az általános talajmechanikai sem a kőzetmechanikai vizsgálatok nem alkalmasak fizikai paramétereinek számszerűsítésére. Ekkor közelítő és tapasztalati úton lehet becsülni mechanikai tulajdonságait. Cikkemben bemutatom a márga mindhárom típusát, jellemzőit és egy módszert, amivel tapasztalati úton lehet meghatározni olyan kőzetek fizikai paramétereit, amelyek a „se nem kőzet se nem talaj” kategóriába tartoznak.

Kulcsszavak: kőzettömb, kőzettest, geológiai szilárdsági index, korreláció, egyirányú nyomószilárdság, rugalmassági modulus

1. A márga előfordulási típusai

A márga átmeneti jellegű kőzet a törmelékes üledékes és a vegyi üledékes kőzetek között. Mészke és agyag keveréke, a felépítő anyagok százalékos arányában a geológiában különböző elnevezést kapott (1. táblázat), és ennek függvényében különbözően is viselkedik.

CaCO ₃ [%]	Agyag [%]	Kőzetnév
80-60	20-40	Méשמárga
60-40	40-60	Márga
40-20	60-80	Agyagmárga

1. táblázat. A márga csoportosítása mész és agyagtartalom alapján

A méשמárga (1. ábra) általában kemény kőzetként jelentkezik, így vizsgálatakor a kőzetmechanikai módszerek alkalmazhatóak. A márga (2. ábra) inkább a kemény kőzetek közé sorolható, sokszor vékonyan laminált szerkezetű, amelyek mentén kisebb erőhatásra is elválí. A laminált szerkezete miatt nagyon nehéz, sokszor lehetetlen próbatestet kialakítani belőle, ezért kőzetmechanikai vizsgálata nem lehetséges. Mindemellert talajmechanikai vizsgálata is csak nehezen oldható meg, ugyanis zavartalan mintát általában nem lehet kiszűni belőle, továbbá ha sikerül is meghatározni a plasztikus indexet vagy szemeloszlási görbét (legtöbb esetben víz hatására szétmállí), ezen eredmények alapján nem határozható meg biztonsággal fizikai paramétereit. Sokszor ugyanis nem plasztikus, azaz inkább kemény kőzetként

jellemezhető anyagokon elvégezhető a plasztikus index meghatározása (vízzel való kezelés, lereszelés segítségével), de az abból szabványok alapján nyerhető fizikai paraméterek nagy valószínűséggel nem jellemzik megfelelőképpen a vizsgált kőzetet. Az agyagmárga (3. ábra) és a mállott márga a legtöbb esetben az agyaghoz áll közelebb, bár sokszor megfigyelhető benne a vékony laminált szerkezet, vizsgálata talajmechanikai módszerekkel végezhető.



1. ábra. Mész márga



2. ábra. Márga



3. ábra. Agyag márga

A három márgatípus között nem húzható éles határ, hogy milyen vizsgálati módszer alkalmazható rá az a fúrásakor, vagy a kőzetminták szemrevételezésével dönthető el egyértelműen.

2. A márga mint szilárd kőzet

A mészmárga minden esetben a szilárd kőzetek közé tartozik (4. ábra), és sok esetben ide sorolható a márga is.



4. ábra. Mészmárga a budai Várhegyről

A laboratóriumban a kőzettömb vizsgálata végezhető el (tömegösszetélteli vizsgálatok, egyirányú nyomóvizsgálat, közvetett (brazil) húzóvizsgálat, triaxiális vizsgálat). A Mérnökgeológiai Tanszéki Csoport laboratóriumában készült a Rácz fürdő (BME 2004, 2005), a Várkert Kioszk (BME 2003) környékén készült fúrások és a budai Vár (Harsányi 1995), Tábor utca (BME 1995, 1996), Úri u. (BME 1993) és a Déli pályaudvar (Formann 1998) környékén készült feltárások maganyagának vizsgálta. A vizsgálatok eredményeit statisztikailag értékeltem, és ebből próbáltam következtetni a szilárd márga általános tulajdonságaira. A statisztikai értékeléshez több mint 900 db adatot gyűjtöttem össze, melyek átlag értékeit a 2. táblázatban foglaltam össze.

Adattípus	Darabszám	Átlag	Szórás	Medián
ρ_0 [kg/m ³]	86	2468	83	2487
ρ_w [kg/m ³]	40	2555	47	2558
V_0 [V%]	27	0,63	0,40	0,44
V_f [V%]	19	8,68	3,33	8,12
σ_{c0} [Mpa]	90	43,41	21,77	38,97
σ_{cw} [Mpa]	43	30,70	14,74	30,70
σ_{t0} [Mpa]	89	3,81	2,04	3,68
σ_{tw} [Mpa]	47	3,16	1,67	2,87
B_0	84	13,32	6,20	2,87
B_w	41	10,77	4,77	10,77
τ_0 [Mpa]	53	5,43	2,43	5,10
τ_w [Mpa]	11	5,22	1,92	5,22
Φ_0 [°]	53	47,33	10,04	46,09
Φ_w [°]	11	34,88	13,75	36,40
E_0 [Mpa]	71	6872	4159	5746
E_w [Mpa]	37	5849	4188	5849
ν_0	61	0,22	0,10	0,22
ν_w	25	0,25	0,08	0,23
n [%]	17	2,85	0,26	2,84

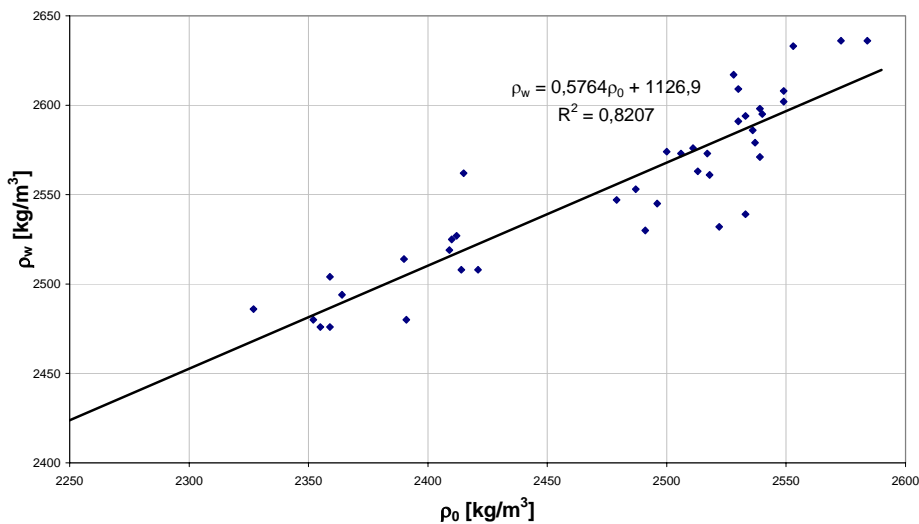
2. táblázat. A budai márga kőzefizikai jellemzőinek átlagértékei

Az egyes közetfizikai jellemzők között megpróbáltam korrelációs kapcsolatot keresni. A vizsgált budai mészmárga általában homogénnek volt tekinthető, a rugalmassági modulus esetében azonban ezt nem lehetett igazolni. A rugalmassági modulus értékek szórása mind a légszáraz mind a vízzel telített állapotban nagyon nagyra adódott, több mint 4000 MPa volt (2. táblázat).

A testsűrűség légszáraz és telített állapota közötti összefüggést az 5. ábra mutatja. A pontokra lineáris egyenest illesztve a korrelációs együttható értéke $R^2 = 0,821$, az egyenes egyenlete:

$$\rho_w = 0,5764 \rho_0 + 1126,9.$$

Ez alapján a budai mészmárga légszáraz és vízzel telített testsűrűsége között erős kapcsolatot feltételezhetünk. Abban az esetben, ha a vizsgált minták teljesen homogének és azonos vízfelvételűek lennének a pontoknak egy egyenesre kellene esniük, melynek egyenlete függ a kőzetalkotó ásványoktól és az effektív porozitástól.



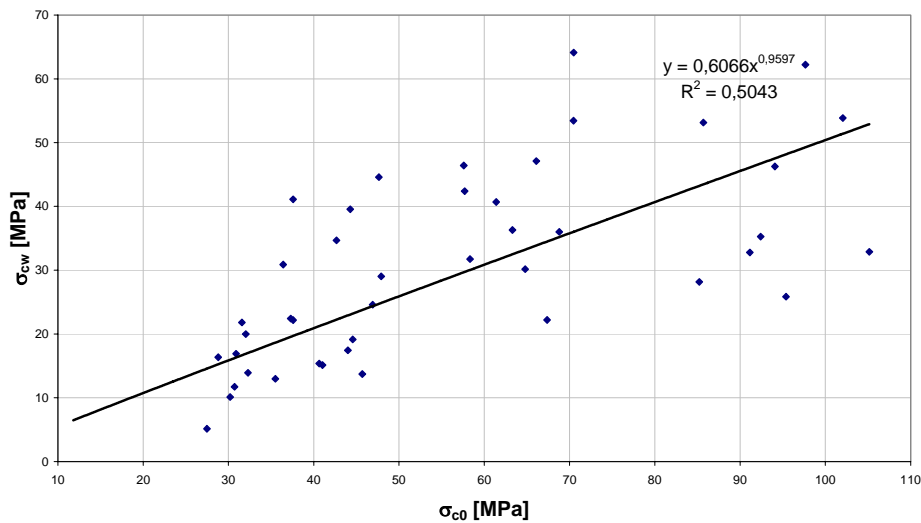
5. ábra. Összefüggés a testsűrűség légszáraz és telített értékei között

A 6. ábrán az egyirányú nyomószilárdság légszáraz és vízzel telített állapota közötti összefüggés látható. Ez esetben legjobb közelítést hatvány függvény alkalmazásával kaptam, a korrelációs együttható értéke $R^2=0,504$ lett. Ez nem jelent megbízható kapcsolatot a két érték között, ami már a pontok elhelyezkedéséből is látható. A budai mészmárga esetében a gyenge korreláció azt mutatja, hogy az egyirányú nyomószilárdság alakulására a márga belső szerkezetének nagyobb hatása van mint a víztartalom változásának, ugyanis kicsi a porozitása (4. táblázat) így csak kevés víz felvételére képes.

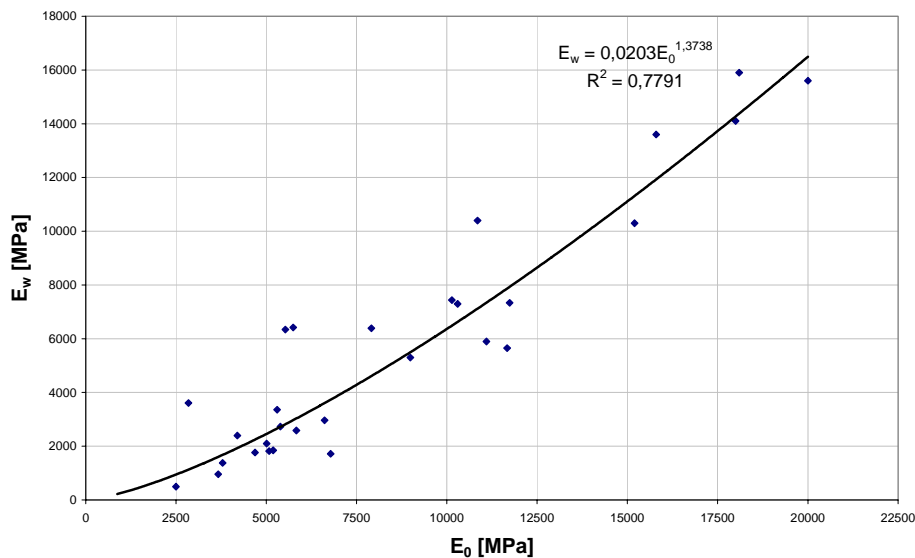
A rugalmassági modulus légszáraz és vízzel telített állapota közötti összefüggést mutatja a 7. ábra. Ez esetben a legjobb közelítést szintén hatvány függvény alkalmazásával kaptam, a korrelációs együttható értéke $R^2 = 0,779$, a függvény egyenlete:

$$E_w = 0,0203 E_0^{1,3738}.$$

A rugalmassági modulus légszáraz és vízzel telített értékei között elmondható, hogy jó kapcsolat van a budai mészmárga esetében.



6. ábra. Összefüggés az egyirányú nyomószilárdság légszáraz és telített értékei között



7. ábra. Összefüggés a rugalmassági modulus légszáraz és telített értékei között

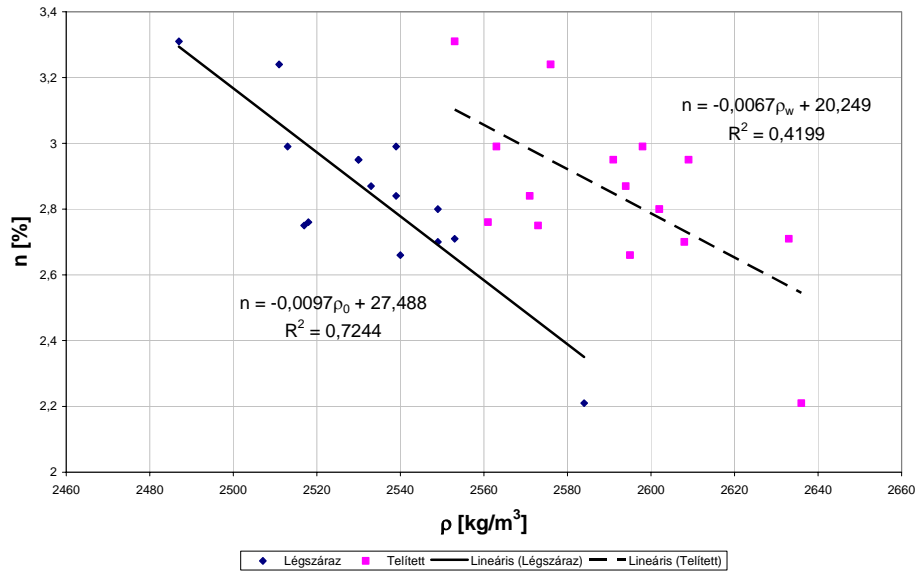
A porozitást összevettem a sűrűséggel légszáraz és vízzel telített állapotban is (8. ábra). Légszáraz állapotban erős kapcsolat mutatható ki, különösen akkor, ha figyelembe vesszük, hogy a porozitás nagyon kis terjedelmű (1,1 %) és ugyanígy az itt figyelembe vett testsűrűségek legkisebb és legnagyobb értéke között is csak 100 kg/m^3 a különbség. Ezáltal a mért eredmények kis különbsége is nagy eltérést mutat az ábrán. A korreláció értéke $R^2=0,724$, a lineáris egyenes egyenlete:

$$n = 0,0097\rho_0 + 27,488.$$

Vízzel telített állapotban gyenge a kapcsolat, a korreláció értéke $R^2=0,420$, a közelítő egyenes egyenlete:

$$n = 0,0067\rho_0 + 20,249.$$

A gyenge kapcsolat oka egyrészt a fentebb említett kis terjedelem, valamint a próbatestek különböző mértékű telítődésével magyarázható. Mivel kevés porozitásérték állt rendelkezésemre az összefüggés megalkotásához, így az korlátozott érvényességű, további porozitás – testsűrűség értékpárok meghatározásával az összefüggést pontosítani lehetne.



8. ábra. Összefüggés a testsűrűség és porozitás értékei között légszáraz és telített állapotban

A rugalmassági modulus és a testsűrűség értéke közötti összefüggést mutatja a 9. ábra légszáraz és vízzel telített állapotban. Légszáraz állapotban elfogadható ($R^2 = 0,576$), vízzel telített állapotban pedig jó ($R^2=0,776$) a kettő közötti kapcsolat. Exponenciális közelítést alkalmazva a görbe egyenlete légszáraz állapotban:

$$E_0 = 0,0029 e^{0,0058\rho_0},$$

és vízzel telített állapotban:

$$E_w = 9 \times 10^{-15} e^{0,0158\rho_w}.$$

Megvizsgáltam az egyirányú nyomószilárdság és a rugalmassági modulus közötti kapcsolatot is légszáraz és vízzel telített állapotban (10. ábra). Mindkét esetben jó összefüggést kaptam az értékpárok között, légszáraz állapotban $R^2 = 0,689$ adódott és a görbe egyenlete:

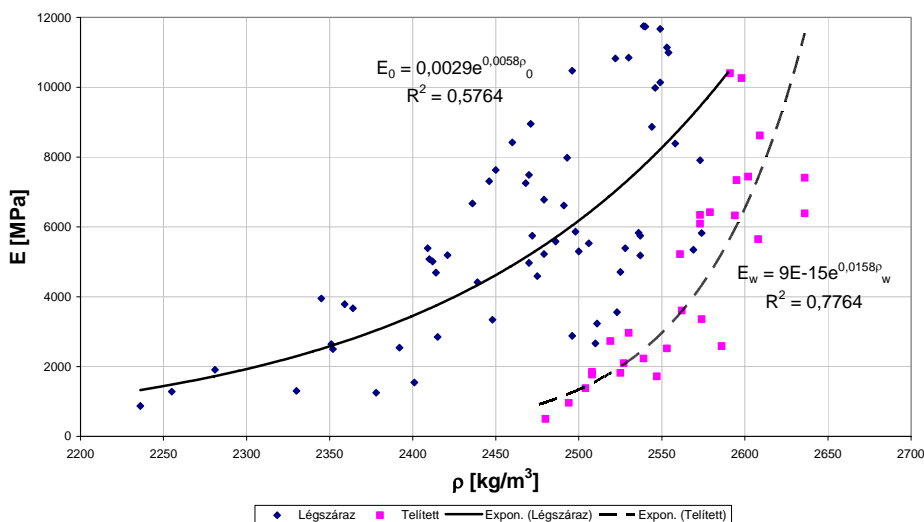
$$E_0 = 36,445\sigma_{c0}^{1,41},$$

vízzel telített állapotban $R^2=0,723$ adódott, a görbe egyenlete:

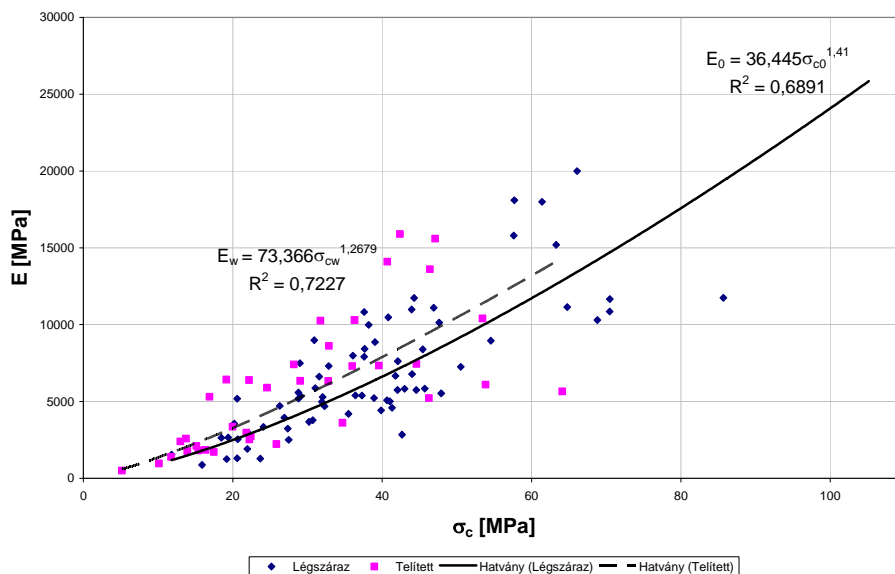
$$E_w = 73,366\sigma_{cw}^{1,2679}.$$

A korreláció értéke és a két görbe között alig van különbség, a két pontthalmaz is csaknem teljesen egybeesik, ezáltal a víztartalom változásának alig van hatása a

nyomószilárdság és a rugalmassági modulus kapcsolatára, ennek oka a porozitás kis terjedelme.



9. ábra. Összefüggés a rugalmassági modulus és testsűrűség értékei között légszáraz és telített állapotban



10. ábra. Összefüggés az egyirányú nyomószilárdság és a rugalmassági modulus értékei között légszáraz és telített állapotban

A laboratóriumban a kőzetömb szilárdságát tudjuk meghatározni. Konkrét mérnöki problémák megoldásához általában ismerni kell a kőzettest fizikai paramétereit. Az irodalomban számos kőzetosztályozási módszer található, melyek segítségével gyakorlati vagy empirikus összefüggések által a kőzetömb szilárdsági értékeiből a kőzettest fizikai paramétereit számolhatók. A 4 fejezetben a kőzetosztályozási módszerek közül a geológiai szilárdsági indexet (GSI) mutatom be.

3. A márga, mint „talaj”

A mállott márga, az agyagmárga legtöbb esetben plasztikus tulajdonságokkal rendelkezik (11. ábra), vizsgálata talajmechanikai módszerekkel történhet. Plasztikus indexe meghatározható, illetve nyírószilárdsági vizsgálatokhoz zavartalan minta szűrhető ki belőle. A budai agyagok fizikai tulajdonságait statisztikai alapon Paál Tamás vizsgálata (Paál 1974, 1975, 1976), vizsgálatában a kiscelli agyag mellett a budai márga mállott agyagos felső rétege is szerepelt. Jelen cikkben nem térek ki vizsgálati eredményeinek ismertetésére.



11. ábra. Agyagmárga a budai Várhegyről

4. Ha a márga „se nem kőzet se nem talaj”

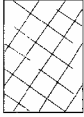



Sok esetben sem a kőzetmechanikai sem a talajmechanikai módszerek nem alkalmasak a márga fizikai jellemzésére. Előfordul, hogy próbatest kialakításához már túl puha és töredezett, plasztikus vizsgálathoz pedig még túl kemény, valamint zavartalan mintát sem lehet belőle kiszűrni. Erre mutat példát a 12. ábra.



12. ábra. Széteső márga a Budai várhegyről

Ilyen esetben csak mérnöki szemléletre és tapasztalatra hagyatkozhatunk. Annak érdekében, hogy ennél azért egyértelműbb legyen az ilyen kőzetek tulajdonságainak meghatározása, Hoek és Marinos egy kemény (szikla jellegű) kőzetek osztályozására kifejlesztett módszert alkalmassá tett gyenge szilárdságú kőzetek osztályozására is. Ez az osztályozási módszer a GSI (Geológiai Szilárdsági Index), meghatározása terepi megfigyelések vagy fúrómagok kiértékelése után táblázatos módszerrel történik

(Vásárhelyi 2001). Mindemellett meghatározható az RMR értékből is – a GSI értéke megegyezik az 1976-os RMR alapértékkel. A 13. ábrán mutatom be a meghatározását szikla jellegű kőzetekre.







GEOLÓGIAI SZILÁRDSÁGI INDEX (GSI)		TAGOLÓFELÜLET ÁLLAPOTA	
SZERKEZET		CSÖKKENŐ FELÜLETI MINŐSÉG	
	BLOKKOS - nagyon jól összekapcsolódó ép kőzettest, mely kocka-tömböket tartalmaz melyeket 3 orthogonális diszkontinuitás szabdal	80	NAGYON JÓ, Nagyon érdes és üde felülettel.
	NAGYON BLOKKOS - összekapcsolódó, részlegesen töredezett kőzettest, melyet 4 vagy annál több diszkontinuitás szabdalja	70	JÓ, Érdes kissé mállott vagy vasfoltos felülettel.
	BLOKKOS/TÖREDEZETT - töredezett és/vagy gyűrt szögletes kőzettömbökből álló kőzettest, melyet számos diszkontinuitás szabdal	60	TÜRHEŐ, Sima és/vagy mérsékeltlen mállott és átalakult felülettel.
	SZÉTESŐ - rosszul összekapcsolódó, erősen töredezett kőzettest, mely érdes és kopott törmelésekből áll	50	GYENGE, Simára kopott v. erősen mállott felületek v. szögletes törmelékkel kitöltött réteg
		40	NAGYON GYENGE, Sovány agyaggal kitöltött simára kopott és erősen mállott felületek
		30	
		20	
		10	

13. ábra. A GSI meghatározása és értéke jó minőségű kőzetekre (Hoek és Brown 1994, Vásárhelyi 2001 nyomán)

A táblázat soraiban láthatjuk a kőzettest szerkezetét az éptől az erősen töredezettig, az oszlopok pedig a (tagoló) felületek állapotát az érdestől a nagyon mállott esetleg agyagosig. A GSI érték meghatározásához nem elég a táblázatot ismerni, megalkotása óta számos cikk foglalkozik az érték alkalmazhatóságával különböző kőzettestekre (legfontosabbak: Hoek et al. 1998, 2005, Marinos P. és Hoek E. 2001, Marinos P. et al. 2005, Marinos V. et al. 2005). Ezekben a GSI érték meghatározásakor felmerült problémákat, gyakorlati tapasztalatokat írják le.

Az 14. ábra mutatja a GSI érték kiterjesztését gyenge kőzetekre. A táblázat kapott egy újabb sort, ami a vékonyan laminált, nyírt kőzettestre vonatkozik. Abban az esetben, ha a kőzet ebbe a sorba tartozik, legjobb esetben is csak a tűrhető állapotú tagoltság vehető figyelembe, azaz a GSI értéke nem lehet nagyobb 25-30-nál.

A példának bemutatott márga esetében a GSI érték 10-15 között lehet. A gyenge kőzet vagy kemény talaj szilárdságának meghatározásához, azonban nem elég a GSI érték szükség van az ép kőzet egyirányú nyomószilárdságára és Hoek-Brown állandójára.

GEOLOGIAI SZILÁRDSÁGI INDEX (GSI) MEGHATÁROZÁSA		TAGOLÓFELÜLET ÁLLAPOTA			
SZERKEZET		CSÖKKENŐ FELÜLETI MINŐSÉG →			
	ÉP VAGY TÖMÖR-ép próbatestek, vagy tömör kőzettest néhány ritkán elhelyezkedő diszkontinuitással	90	80	N/A	N/A
	BLOKKOS - nagyon jól összekapcsolódó ép kőzettest, mely kocka-tömböket tartalmaz, melyeket három orthogonális diszkontinuitás szabdal	70	60		
	NAGYON BLOKKOS - összekapcsolódó, részlegesen töredezett kőzettest, melyet négy vagy annál több diszkontinuitás szabdal	50	40		
	BLOKKOS / TÖREDEZETT / REPEDEZETT - szögletes kötőanyagból álló gyűrű kőzettest, melyet számos egymást keresztező diszkontinuitás szabdal. Folytonos vagy palás rétegződés.	30	20		
	SZÉTESŐ -rosszul összekapcsolódó, erősen töredezett kőzettest, mely érdes és kopott törmelékéből áll				
	RÉTEGZETT/NYÍRT -blokkosság hiánya a sűrű töredezett palás rétegződés vagy nyírási felületek miatt	N/A	N/A		10

14. ábra. A GSI meghatározása kiegészítve a gyenge szilárdságú kőzetekre (Marinos P. és Hoek E. 2000)

A GSI érték csupán alapja egy rendszernek, melynek segítségével meg lehet határozni kőzettestek szilárdsági paramétereit. A GSI értéken kívül a kőzettest szilárdsági értékeléséhez szükség van a kőzettömb egyirányú nyomószilárdságára és az ún. Hoek-Brown együttható értékére. Az egyirányú nyomószilárdság szokásos kőzeteknél könnyen meghatározható, az m_{ep} együttható értékét triaxiális vizsgálatokból lehet megállapítani. A GSI érték a kőzet egyirányú nyomószilárdsága és a Hoek-Brown állandója ismeretében a Hoek-Brown törési kritériummal meghatározható a kőzettest rugalmassági modulusa, kohéziója és súrlódási szöge.

Hoek-Brown törési kritérium (Hoek és Brown 1980):

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

Ahol, σ_1 és σ_3 a minimális és maximális feszültség törési állapotban; σ_c a kőzettömb egyirányú nyomófeszültsége; m_b a kőzettest Hoek-Brown állandója; s és a a kőzettestől függő állandók.

A kőzettestre vonatkozó m_b Hoek-Brown állandó számítható az ép kőzet (kőzettömb) $m_{ép}$ Hoek-Brown állandója és a GSI érték ismeretében:

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

Az s és a állandók meghatározása szintén a GSI érték alapján történik:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right)$$

$$a = 0,5$$

Rossz minőségű kőzettest esetén ($GSI < 25$):

$$s = 0,$$

$$a = 0,65 - GSI/200.$$

Az egyirányú nyomószilárdság nem határozható meg, ha a kőzet annyira töredezett, hogy próbatest kialakítása nem lehetséges. Ez esetben elégséges az is, ha a kőzettestnek pontterheléssel meg tudjuk határozni a szilárdságát, azonban ha agyagos jellegű a vizsgált kőzet, akkor a pontterheléssel sem tudunk valós értéket meghatározni, így csak a 3. táblázat alapján becsléssel, tapasztalati úton tudjuk meghatározni a szilárdságot.

Egyirányú nyomószilárdság (MPa)	Terepi megfigyelés	Példák
> 250	Geológus kalapáccsal csak forgácsolható	üde bazalt, diabáz, gneisz, gránit, kvarcit
100-250	A geológus kalapács sok ütésével lehet darabot nyerni belőle	amfibolit, homokkő, bazalt, gabbró, granodiorit, mészkő, márvány, riolit
50-100	A geológus kalapáccsal több mint egy ütés kell ahhoz, hogy letörjünk egy darabot	mészkő, márvány, fillit, pala, homokkő
25-50	A geológus kalapács egy ütésével darab letörhető; késsel nem sérthető	agyagkő, iszapkő, pala, szén, beton
5-25	Késsel nehezen héjazható, geológus kalapáccsal egy pontban a felszínen sebezhető	kréta, kősó, hamuzsír (kálium karbonát)
1-5	Késsel héjazható, geológus kalapács erős ütésétől szétporlad	nagyon mállott kőzetek
0,25-1	Tüvel megsérthető, karcolható	kemény töredezett agyag

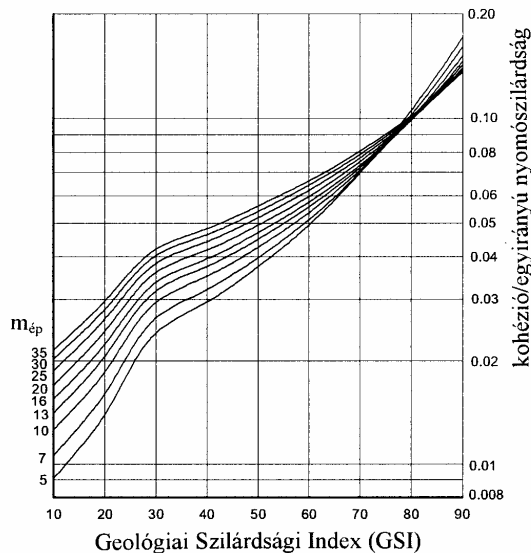
3. táblázat. Az egyirányú nyomószilárdság meghatározása becsléssel tapasztalati úton (Hoek et al, 1998)

A kőzettömb Hoek-Brown állandója sem határozható meg méréssel, ugyanis triaxiális vizsgálatot sem lehet a kőzeten végezni, ezért ennek meghatározása is korábbi tapasztalatok alapján táblázatos úton történhet (4. táblázat).

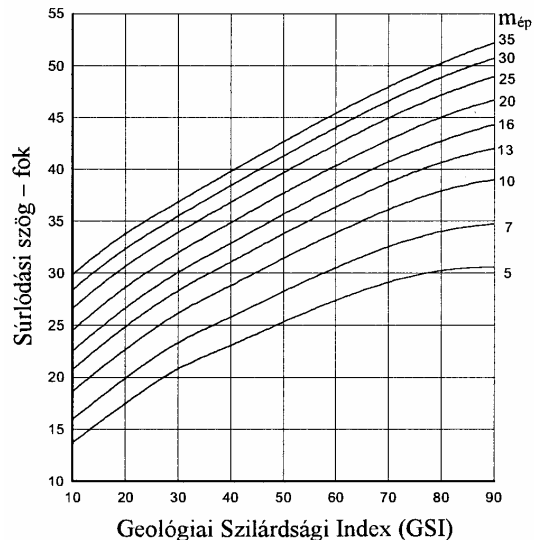
Üledékes kőzetek	$m_{\text{ép}}$	Magmás kőzetek	$m_{\text{ép}}$	Átalakult kőzetek	$m_{\text{ép}}$
agyagkő	3,4	Andezit	18,9	amfibolit	31,2
anhidrit	13,2	Bazalt	17	amfibolitos gneisz	31
szén	8-21	Dácit	17	csillámpala	4-8
breccsa	20	Diabáz	15,2	kvarcit	23,7
dolomit	10,1	Diorit	27	talk pala	10
gipszkő	16	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		

4. táblázat. Különböző kőzetek kőzettömbre vonatkozó Hoek-Brown állandója ($m_{\text{ép}}$)

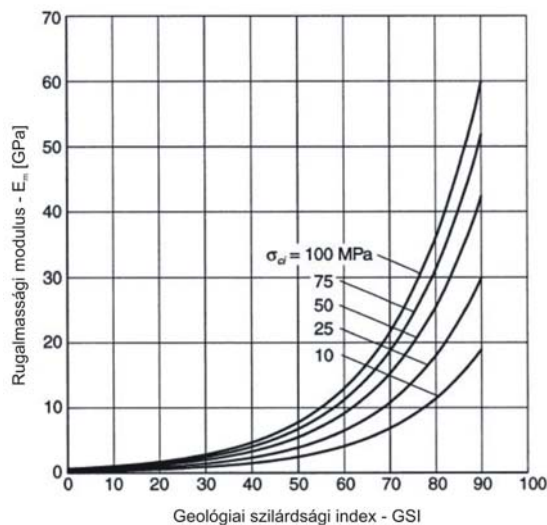
Ezek alapján már meg lehet határozni a márga kőzetest szilárdsági jellemzőit. A hasonlóan gyenge Athéni agyagpala formációnál szerzett tapasztalatok alapján grafikonokat készítettek a kőzetest szilárdsági paramétereinek meghatározására (Hoek et al. 1998) (15 – 17. ábra). Ezek a grafikonok más hasonlóan gyenge kőzetekhez is alkalmazhatóak, de ez esetben is ismernünk kell a kőzet Hoek-Brown állandóját ($m_{\text{ép}}$), vagy a egyirányú nyomószilárdságát (σ_c).



15. ábra. A kőzetest kohéziójának és a kőzettömb egyirányú nyomószilárdságának hányadosa a GSI érték és a Hoek-Brown állandó függvényében (Hoek et al. 1998)



16. ábra. A kőzetest súrlódási szöge a GSI érték és a Hoek-Brown állandó függvényében (Hoek et al. 1998)



17. ábra. A kőzettest rugalmassági modulusa a GSI érték és a kőzettömb egyirányú nyomószilárdsága függvényében (Hoek et al. 1998)

Meg kell jegyezni, hogy ez a módszer is főleg tapasztalati úton határozza meg a szilárdságot, előnye azonban, hogy megpróbálja a tapasztalati módszereket rendszerbe foglalni és az ilyen típusú kőzetekre egy általános gyakorlati megoldást felállítani. Mint minden tapasztalaton alapuló megoldást, ezt is lehet tökéletesíteni, javítani esetleg márga jellegű kőzetkörnyezetre adaptációt készíteni.

5. Következtetések

A márga változatos tulajdonságokkal rendelkező kőzet, abban az esetben, ha egyértelműen szilártnak, vagy ha egyértelműen agyagnak tekinthető fizikai vizsgálata a bevett kőzet- vagy talajmechanikai módszerekkel megoldható. A geológiai szilárdsági index alkalmazásával a szilárdságának becslése jó közelítéssel megoldható akkor is, ha márga olyan gyenge szilárdságú, hogy próbatest nem alakítható ki belőle, annál azonban nagyobb a szilárdsága, hogy talajmechanikai vizsgálathoz zavartalan mintát lehessen belőle kiszűrni.

Köszönetnyilvánítás

Cikkem elkészítéséhez sok segítséget kaptam dr. Kleb Bélától és dr. Vásárhelyi Balázstól.

Hivatkozások

- BME 1993. *Szakértői értékelés a Budapest I. ker. Uri u. 6. számú lakóépület mélypincéjének kőzetmechanikai viszonyairól*, Mérnökgeológiai szakvélemény
- BME 1995., 1996 *A budai Várhegy barlang- és pincerendszerével kapcsolatos veszély-elhárítási munkák megalapozását szolgáló tanulmányok készítése I., II.*, Mérnökgeológiai szakvélemény
- BME 2003. *A budai Várkert Kioszk területén mélyített fúrások geológiai és kőzetfizikai vizsgálata*, Mérnökgeológiai szakvélemény
- BME 2004. *A Rác fürdő mellett létesítendő mélygarázs területének mérnökgeológiai, hidrogeológiai és kőzetfizikai értékelése a lemélyített fúrások alapján*, Mérnökgeológiai szakvélemény
- BME 2005. *A Rác fürdő mellett létesítendő sikló területének mérnökgeológiai és kőzetmechanikai értékelése*, Mérnökgeológiai szakvélemény
- Formann Z. 1998. *Biztosító horgonyzás építésföldtani kérdései budai márga kőzetösszletben*, Diplomamunka
- Harsányi Zs. 1995. *A budai Várhegyen létesítendő 500 gépkocsis parkológarázs építésföldtani és építéskivitelezési vizsgálata*. Diplomamunka
- Hoek E., Marinos P., Benissi M. 1998. Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the athens Schist Formation. *Bull. Engng Geol. Env.*, **57**: 151-160
- Hoek E, Marinos P.G., Marinos V.P. 2005. Characterisation and engineering properties of tectonically undisturbed, but lithologically varied sedimentary rock masses. *Int. J. Rock Mech. Mining Sci.*, **42**: 277-285
- Marinos P., Hoek E. 2000. *GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. In: Proceedings of the GeoEng2000 Melbourne, Technomic publishers, Lanchester, pp 1422-1446
- Marinos P., Hoek E. 2000. Estimating the geotechnical properties of heterogenous rock masses such as flysch. *Bull. Engng Geol. Env.*, **60**: 85-92
- Marinos P., Hoek E., Marinos V. 2005. Variability of the engineering properties of rock masses quantified by the geological strength index: the case of ophiolites with special emphasis on tunneling. *Bull. Engng Geol. Env.*, **65**: 129-142
- Marinos V., Marinos P., Hoek E. 2005. The geological strength index: applications and limitations. *Bull. Engng Geol. Env.*, **64**: 55-65
- Paál T. 1974. Talajfizikai jellemzők eloszlás-vizsgálata. *Mélyépítéstud. Sz.*, **24**: 379-387
- Paál T. 1975. Regresszió analízis talajfizikai adattömegek esetén. *Mélyépítéstud. Sz.* **25**: 22-30
- Paál T. 1976. A budai agyagok mérnökgeológiai összehasonlítása matematikai statisztikai alapon. *Földtani Közöny*, **106**, 229-256
- Vásárhelyi B. 2001. Új eredmények a kőzet- és a talajmechanikában: a Hoek-Brown törési határállapot és a Geológiai Szilárdsági Index (GSI) bemutatása. *Közúti és Mélyépít. Sz.*, **51**: 424-431