A geológiai szilárdsági index alkalmazása budai márga kőzetkörnyezetre

Görög Péter BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék,gorog.peter@gmail.com

ÖSSZEFOGLALÁS: A budai márga kőzettest általában heterogén mészmárgából, márgából és agyagmárgából, illetve ezek mállott változataiból épül fel. Eddigi tapasztalataim szerint az általános homogén esetekre használható GSI táblázattal csak szélsőséges esetekben végezhető el a budai márga kőzettest osztályozása. Az athéni flis a budai márgához hasonlóan heterogén kőzettestet alkot. Az erre kidolgozott GSI táblázat a kőzettestek közötti különbségek miatt budai márgára még kevésbé használható eredményesen, mint a homogén esetre vonatkozó táblázat. Ezért a heterogén kőzettestre vonatkozó GSI táblázatot átdolgoztam, hogy a budai márga jellegzetességeihez igazodjon és ezáltal a budai márga kőzettestének osztályozása kényelmesebben elvégezhető. Mindemellett cikkemben általános esetekre grafikonokat dolgoztam ki a budai márga kőzettest nyírószilárdsági jellemzőinek egyszerű meghatározására a GSI érték és az egyirányú nyomószilárdság függvényében. Rövid, lényegre törő összefoglalás.

Kulcsszavak: kőzettömb, kőzettest, geológiai szilárdsági index, egyirányú nyomószilárdság, nyírószilárdság

1 A GSI MÓDSZERRŐL ÁLTALÁBAN

A Geológiai Szilárdsági Indexet (Geological Strength Index – GSI) Hoek (1994), illetve Hoek et al. (1995) azzal a céllal vezette be, hogy a különböző állapotban lévő kőzettesteket is osztályozni lehessen (magyarul ld. Vásárhelyi, 2001). A GSI bevezetését az indokolta, hogy rossz minőségű kőzetek kőzettestének leírására az eddigi módszerek nem voltak megfelelőek. Bieniawski 1973-ban vezette be a gyakorlatban jelenleg egyik legelterjedtebb módszert a Rock Mass Rating (RMR) módszert, amely a kőzettestet pontozásos módszerrel értékeli az egyes kőzettest jellemezőkre adható pontszámok összege 0 – 100 között változhat. Az RMR érték a gyakorlat alapján azonban 30 alatt nem adott jó eredményt, illetve a kis RMR értékekkel jellemezhető kőzettesteknél azok meghatározása nagyon nehéz volt. A GSI első változata bár gyengébb kőzettestek osztályozására is alkalmas, azonban inkább a jó állapotú kőzettestekre alkalmazták. A többi kőzettest osztályozási módszerrel szemben előnye, hogy az osztályozás független a kőzettömb szilárdságától.

A tagolt kőzettest szilárdsága függ az ép kőzet anyagtulajdonságaitól, a kőzettömbök elmozdíthatóságától, valamint azok kibillenthetőségétől is (azaz csúszási és elfordulási lehetőségétől). Ezt az elmozdíthatóságot befolyásolja mind a kőzettömb geometriai alakja, mind a határoló tagoló felületek minősége, azaz egy érdes tagoló felületekkel rendelkező kőzettest jóval nagyobb szilárdsággal rendelkezik, mint egy mállott tagoló felületekkel határolt és töredezett kőzettest. Ezen elvek figyelembe vételével szerkesztette meg Hoek et al. 1995 GSI meghatározására szolgáló táblázatos összefüggést (1. ábra). A táblázat sorai mutatják a kőzettest szerkezetét, azaz a tagoltságok távolságát, az első változatban négyféle szerkezetet különböztettek meg: blokkos, nagyon blokkos, töredezett és széteső. A táblázat oszlopai a tagoló felületek állapotát mutatják, ahol öt különböző állapot van megkülönböztetve: nagyon érdes, üde; érdes, kissé mállott; sima, mérsékelten mállott; simára kopott, erősen mállott; simára kopott, erősen mállott; agyaggal kitöltött. A meghatározási mód nagy előnye, hogy az egyes típusú kőzettest szerkezetek, vagy felületi állapotok között az átmenetet is figyelembe lehet venni. A GSI értéke mindezek alapján 0 és 100 között változhat. 0 érték esetén kohézió nélküli – azaz szemcsés – talajt mutat, ahol az elmélet nem használható. GSI = 100 esetén nincs tagoló felület, tehát a kőzettest és a kőzettömb ugyanaz. 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. & Hoek E. 2000, Marinos P. & Hoek E. 2001, Marinos P. et al. 2006, Marinos V. et al. 2005). Ezekben a GSI érték meghatározásakor felmerült problémákat, gyakorlati tapasztalatokat írják le. A GSI érték definíció szerint meghatározható az RMR értékből is, mivel GSI = RMR₁₉₇₆, vagy GSI=RMR₁₉₈₉-5 (Hoek & Brown 1997).

Az osztályozásban sem a víz hatását, sem a helyszíni feszültségviszonyokat nem veszik figyelembe, mivel azok külön bemenő adatként szerepelnek a számítási modellekben.



1. ábra. A GSI meghatározása és értéke jó minőségű kőzetekre (Hoek et al. 1995)

A gyakorlati tapasztalatok alapján sokszor kis szilárdságú kőzetek osztályozására is szükség volt, ezért a GSI meghatározását kiterjesztették rossz minőségű kőzettestekre is (Hoek et al. 1998). A módosított GSI táblázatot egy új sorral egészítették ki a rétegzett, nyírt szerkezetű kőzettestek sorával (2. ábra). Abban az esetben, ha a kőzetünk ebbe a sorba tartozik, legjobb esetben is csak a tűrhető állapotú tagoltság vehető figyelembe, azaz a GSI értéke nem lehet nagyobb 30-nál.



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

A módszer továbbfejlesztésével heterogén kőzettestre kifejlesztett osztályozás is elkészült (3. ábra). Ennek kidolgozásának alapjául a változatos litológiájú és fizikai tulajdonságokkal rendelkező athéni flis szolgált (Marinos & Hoek 2001).



3. ábra. Geológiai Szilárdsági Index (GSI) heterogén kőzettest esetén – példa flisre (Marinos & Hoek, 2001)

2 A GSI OSZTÁLYOZÁSI MÓD ALKALMAZÁSA BUDAI MÁRGA KŐZETTESTRE

A Budai Márga Formáció általában heterogén kőzettestnek számít, ugyanis a formációban megjelenik a közepesen szilárd mészmárgától az erősen mállott, sokszor laminált nagyon gyenge kőzetfizikai tulajdonságokkal bíró agyagmárgáig többféle állapotú és szilárdságú kőzetváltozat. Ezért nehéz általános javaslatot adni a GSI érték meghatározására budai márga kőzetkörnyezetben.

A GSI táblázat oszlopai a tagoló felületek állapotának jellemzésére szolgálnak a nagyon jótól a nagyon gyenge állapotú, puha agyaggal kitöltött tagoltságig. A budai márga a legtöbb esetben kissé laminált szerkezetű és agyagtartalma is jelentős, így a tagoltsági felületi tulajdonságok alapján nem kerülhet a legjobb osztályba. Törési felülete a legritkább esetben jellemezhető nagyon érdes felületként.

A GSI táblázat sorai a kőzettest szerkezetének jellemzésére szolgálnak az ép, tömörtől a vékonyan rétegzett, nyírt szerkezetig. Az általam eddig tanulmányozott feltárásokban tapasztalataim alapján minden típusú szerkezet előfordulhat budai márga kőzettest esetén. A tömör szerkezetre mutat példát a 4. ábra, amelyben néhol 1 m hosszú ép, folytonos magdarabok is előfordulnak. Az 5. ábra blokkos szerkezetű budai mészmárgát ábrázol a budai Várhegyről. A 6. ábra töredezett szerkezetű mészmárgát mutat felszíni feltárásban. A 7. ábra pedig széteső szerkezetű budai márgát mutat szintén a budai Várhegyről.



4. ábra. Tömör, blokkos szerkezetű mészmárga a Gellért-hegy É-i oldalán készült fúrásban



5. ábra. Közepesen szilárd mészmárga a budai Várhegyről



6. ábra. Töredezett szerkezetű márgafal a Hegyalja úton



7. ábra. Gyenge szilárdságú töredezett agyagmárga agyagos részekkel a budai Várhegyről

Telített kőzettest esetén a víz hatását a tagoltsági felületek rosszabb osztályba sorolásával vesszük figyelembe, amit a táblázatban jobbra való eltolással lehet ábrázolni, ugyanis víz hatására a tagoltsági felületek állapota romlik, így a GSI érték is csökken. Jó állapotú tömör vagy blokkos kőzettestek esetén a víz hatása a tagoltságok állapotára jóformán elhanyagolható. Nagyon blokkos és töredezett kőzettestek esetén ez a hatás szintén nem túl jelentős, azonban márga esetén különösen, ha agyagtartalma magasabb, a víz figyelembe vételére célszerű az egy oszloppal való eltolás. Széteső vagy laminált kőzettest esetén a törési felületek általában mállottabb agyagosabb jellegűek, ezért víz hatására ezek állapota sokkal kedvezőtlenebbé válik. A víz hatását ez esetben két oszloppal való eltolással lehet modellezni.

Budai márga esetében nagyon gyakoriak a vékony agyagréteg betelepülések, ami szintén nagymértékben rontja a kőzettest állapotát és a GSI értékét. A GSI érték meghatározásánál ezt szintén jobbra eltolással lehet figyelembe venni, ritka betelepülések esetén (kb. 10 m-enként) egy kategóriával célszerű a felületi tulajdonságokat rosszabbra felvenni. Sűrű betelepülések esetén (kb. 5 m-enként) a felületi tulajdonságokat, tapasztalataink alapján, nagyon gyenge, legjobb esetben gyenge állapotúnak célszerű felvenni.

Példaként néhány általam korábban vizsgált kőzettest osztályba sorolását és a GSI táblázatban való elhelyezését mutatom be. A 4. ábrán általában tömör néhány részen inkább blokkos szerkezetű budai mészmárgát mutatok, melynek a tagoltsági felületei általában érdesek néhány helyen simák. Ezek alapján a GSI értéke 65 - 75 között lehet (8. ábra "A" zóna). Az 5. ábrán bemutatott kőzettest szerkezete blokkos vagy nagyon blokkos lehet, tagoltsági felületei jó állapotúak így a GSI értéke 50 - 60 között mozog (8. ábra "B" zóna). A 6. ábra felszíni feltárásban mutat be töredezett szerkezetű mészmárgát melynek a tagoltsági felületei általában tűrhetőnek jellemezhető, sok helyen található mérsékelten mállott vasfoltos felület, illetve néhány helyen erősebben mállott felület is előfordul, amely inkább a gyenge kategóriába sorolható. Így a GSI értéke 35 - 40 között változik (8. ábra "C". zóna). A 7. ábrán bemutatott kőzettest szerkezete szétesőként jellemezhető, tagoltsági felületei általában a tűrhető, de néhány helyen a gyenge kategóriába sorolhatóak, így a GSI értéke 20 - 30 között lenne agyagbetelepülések nélkül (8. ábra "D" zóna). Figyelembe véve az agyagos jelleget és betelepülést a táblázatban jobbra csúszik a kőzettest értékelése és ez esetben inkább a nagyon gyenge kategória alkalmazása javasolt, így a kőzettest tényleges GSI értéke 10 - 15 között van (8. ábra "E" zóna).



8. ábra. A példának bemutatott budai márga kőzettestek elhelyezkedése a GSI táblázatban

A példákon keresztül igyekeztem a legjellemzőbb típusú budai márga kőzettestekre bemutatni a GSI érték meghatározását. A 8. ábrán lefedett területek összegzésével megállapítható, egy a budai márgára jellemző zóna a GSI táblázatban, amit a 9. ábrán tüntettem fel. A zóna elhelyezkedése alapján megfigyelhető, hogy minél töredezettebb egy kőzettest, általában annál kedvezőtlenebb a tagoltsági felületeinek állapota, ezért a budai márga esetében ez a zóna ferde elhelyezkedésű. Vízzel telített budai márga kőzettest esetén a GSI táblázatban jellemzett zóna jobbra tolódik, és még jobban elferdül, amit a 9. ábrán a nyilakkal szemléltettem, ugyanis a szerkezetileg egységesebb márgára kevésbé van hatással a víz, mint a töredezett, széteső szerkezetűre. Vékony agyagréteg betelepüléseknek a hatása az ábrán a vízéhez hasonlóan szemléltethető és hasonló elferdülést okoz. Ez azzal magyarázható, hogy a kedvező szerkezetű márgában ritkábbak az agyagos betelepülések, mint a töredezett és széteső szerkezetűnél.



9. ábra. A GSI táblázat budai márgára jellemző része

Tapasztalataim szerint a fenti táblázat alapján nem mindig határozható meg teljesen egyértelműen a GSI értéke budai márga esetén, ugyanis sok esetben a budai márga kőzettest heterogén: mészmárga, agyagmárga és ezek mállott változatai alkotják. Ilyen esetre próbáltam a Marinos és Hoek (2001) alapján az athéni flis (homokkő és iszapkő alkotja) példáján szerkesztett heterogén kőzettestre vonatkozó GSI táblázatot (3. ábra) alkalmazni, azonban ez sem illett igazán a budai márgára. Ezért 23 fúrás maganyagának és néhány felszíni feltárás tanulmányozása alapján, készítettem egy a budai márgára vonatkozó GSI táblázatot (10. ábra) felhasználva Marinos és Hoek (2001) elveit. A táblázatban azokat a zónákat emeltem ki, amelyek a 8. ábra alapján budai márga kőzettestnél jellemzően előfordulhatnak.

A 10. ábrán a sorokban a budai márga kőzettesetjének szerkezete és összetétele található, az oszlopokban pedig itt is a tagoltsági felületek jellemzői. A sorokban igyekeztem az összes lényeges budai márgára jellemző összetétel, szerkezet kombinációt feltüntetni. A táblázatban sötétítéssel és számozással tüntettem fel, hogy mely mezők vonatkoznak az egyes kőzettest típusokra.



10. ábra. A budai márga kőzettestre kidolgozott GSI táblázat

3 A BUDAI MÁRGA KŐZETTEST SZILÁRDSÁGI ÉRTÉKELÉSE

A GSI érték előző fejezetben ismertetett budai márgára történő adaptációja megkönnyíti a budai márga kőzettest értékelését. A Hoek-Brown törési kritérium felhasználásával (Hoek & Brown 1980), és a kőzettest GSI értékének, valamint a kőzettömb szilárdsági jellemzőinek ismeretében a kőzettest szilárdsági jellemzői meghatározhatóak. A budai márga kőzettömb fizikai jellemzőinek statisztikai eredményeinek (Görög 2006) felhasználásával grafikonokat dolgoztam ki a budai márga kőzettest szilárdsági paramétereinek egyszerű meghatározására a GSI érték és a kőzettömb egyirányú nyomószilárdságának függvényében.

A Hoek-Brown törési kritériumból számíthatók a sokkal szélesebb körben használt Mohr-Coulomb összefüggés paraméterei: a súrlódási szög és a kohézió Hoek et al. (2002) szerint. A grafikonok alapját a budai márga Hoek-Brown állandójának (m_{ep}) meghatározása biztosította, ami laboratóriumi vizsgálatokkal történt. A budai márga kőzettömbjén számos triaxiális vizsgálatot végeztem el és ezek alapján a budai márgára vonatkozó Hoek-Brown állandó $m_{ep} = 7,2$ -re adódott. A Mohr-Coulomb paraméterek értéke függ a kőzettestre ható oldalirányú feszültség (σ_3) nagyságától, amit a térfogatsűrűség és a mélység befolyásol. A budai márga térfogatsűrűségét az általam vizsgált és összegyűjtött adatok átlagértékének vettem fel (Görög 2006). A mélységet pedig igyekeztem úgy megválasztani, hogy a budai oldalon készülő legtöbb munkagödör határoláshoz, rézsűállékonyság számításhoz alkalmas legyen. Ezek alapján a táblázatok 20 m-es mélységig alkalmazhatóak.

A 11. ábrán mutatom be a GSI érték és a budai márga kőzettömbjének függvényében a budai márga kőzettest kohéziójának változását. Az ábrán jól megfigyelhető, hogy kohézió alapján a

márga a GSI = 50-es értékig nagyon gyenge kőzetként viselkedik (a kohéziója 1 MPa alatt van), és csak e fölött mondható jó szilárdságúnak. A GSI = 80 fölötti kohézió értékek már csupán elméletileg lehetségesek, ugyanis a 2. fejezet alapján a márga GSI értéke csaknem minden esetben ennél kevesebb.

A 12. ábrán a budai márga kőzettest súrlódási szögét tüntettem fel szintén a GSI érték és a kőzettömb egyirányú nyomószilárdságának függvényében. Az ábrán megfigyelhető, hogy kis nyomószilárdság esetén GSI = 60 – 70-es értékig, nagy nyomószilárdság esetén GSI = 50 – 60-as értékig növekszik a súrlódási szög, e felett csökken és GSI = 100 esetén pedig a nyomószilárdságtól majdnem függetlenül közel azonos lesz. Ennek oka a GSI és a Mohr-Coulomb összefüggés tulajdonságaiban rejlik. A GSI = 100 esetén már nem tagolt, hanem ép kőzettestről beszélünk, azaz szilárdsági tulajdonságai megegyeznek a kőzettömb laboratóriumban meghatározott szilárdságával. A kőzettömbre vonatkozó súrlódási szög értéke budai márga esetén tapasztalataim szerint nem mutat nagy szórást. A súrlódási szög csökkenése GSI > 50 esetén a Mohr-Coulomb kritérium természetéből adódik, ugyanis nagy kohézió esetén legtöbb esetben csökken a súrlódási szög. Együtt vizsgálva a súrlódási szög és kohézió grafikonját megfigyelhető, hogy a kohézió értéke ott kezd el növekedni nagymértékben, ahol a súrlódási szög csökken. Továbbá belátható az is, hogy alacsony GSI érték esetén a kőzettest tagoltabb volta miatt a súrlódásnak van nagyobb szerepe a kohézióval szemben. Természetesen nagyon rossz kőzettest esetén mind a súrlódási szög, mind a kohézió alacsony értékű.



11. ábra. A budai márga kőzettestjének kohéziója a GSI és a kőzettömb egyirányú nyomószilárdságának függvényében



12. ábra. A budai márga kőzettestjének súrlódási szöge a GSI és a kőzettömb egyirányú nyomószilárdságának függvényében

Számítógépes modell alkalmazása esetén a kőzettest alakváltozási modulusa is fontos bemenő adat, ezért megszerkesztettem a kőzettest alakváltozási modulusának grafikonját is (13. ábra). Az alakváltozási modulus értéke a GSI és a kőzettömb alakváltozási modulusának függvényében olvasható le. A grafikon szerkesztésének alapját itt Hoek és Diederichs (2006) összefüggése adta, mely segítségével a GSI érték és a kőzettömb rugalmassági modulusának ismeretében számítható a kőzettest alakváltozási modulusa. A budai márga esetére ezt az összefüggést célszerű lenne helyszíni mérésekkel igazolni, azonban helyszíni feszültség és alakváltozás mérések ritkán fordulnak elő a hazai gyakorlatban, így sajnos ennek elvégzésére nem volt lehetőségem.



13. ábra. A kőzettest alakváltozási modulusa a GSI és a kőzettömb alakváltozási modulusának függvényében

A fenti grafikonok megalkotásakor arra törekedtem, hogy olyan típusú budai márga kőzettestek esetén is használhatóak legyenek, amelyek kifejezetten gyenge állapotúak. Sok esetben ugyanis sem az általános kőzetmechanikai, sem a bevett 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 kiszúrni. A legtöbb ilyen esetben mérnöki szemléletre és tapasztalatra hagyatkozhatunk.

A GSI érték meghatározását ilyen rossz minőségű kőzettestekre is lehetséges a 2. fejezet megállapításai alapján, ezáltal a GSI érték ismeretében grafikonok alkalmazásához a kőzettömb egyirányú nyomószilárdságára van szükség. A kőzetünk annyira tagolt, hogy próbatestet nem tudunk kialakítani, ezért az egyirányú nyomószilárdságot sem tudjuk közvetlenül meghatározni. A pontszilárdság értéke szabálytalan és kisméretű kőzetdarabon is meghatározható és ez alapján következtethetünk az egyirányú nyomószilárdságra. A pontszilárdság és egyirányú nyomószilárdság közötti összefüggést laboratóriumi vizsgálatok alapján elkészítettem. A pontszilárdság alkalmazásának másik előnye, hogy megfelelő berendezéssel helyszíni körülmények között is meghatározható.

Magas agyagtartalmú kőzetek esetén a pontszilárdság értéke sem mindig határozható meg, ugyanis a kis szilárdságú kőzetbe belenyomódik a nyomófej, ezáltal vagy egyáltalán nem kapunk eredményt, vagy az nem alkalmas az egyirányú nyomószilárdság becslésére. Ilyen esetben csak tapasztalati úton becsülhetjük a nyomószilárdságot, amire Hoek et al. (1998) mutatott be példákat.

A súrlódási szög és a kohézió meghatározására készült grafikonok kis szilárdságtartományra módosított, illetve pontszilárdsággal bővített változatát a 14 – 15. ábrákon mutatom be.



14. ábra. Töredezett kőzettestek kohéziója a GSI és az egyirányú nyomószilárdság függvényében, feltüntetve a pontszilárdságot is



15. ábra. Töredezett kőzettestek súrlódási szöge a GSI és az egyirányú nyomószilárdság függvényében, feltüntetve a pontszilárdságot is

Meg kell jegyezni, hogy ez a módszer is főleg tapasztalati úton határozza meg a szilárdságot, azonban, a budai márgára történő adoptációkor megpróbáltam a tapasztalati módszereket rendszerbe foglalni és budai márga kőzetkörnyezetre egy általános gyakorlati megoldást felállítani.

4 SZABADON ÁLLÓ MÁRGAFAL MODELLEZÉSE

Az előzőekben meghatározott eredmények alapján elkészítettem egy szabadon álló márgafal modelljét Plaxis szoftver segítségével. A modell, bár valós adatokon alapszik, a minél jobb kiértékelhetőség érdekében sok szempontból le kellett egyszerűsítenem a valós problémához képest. A modellben teljesen homogén márgafalat vizsgáltam, azaz a valósághoz képest a felső vagy feltöltés eredetű, vagy mállott márgából álló részt márgával helyettesítettem. Erre azért volt szükség, mert a feltöltés eredetű rész és az üde márga között akkora szilárdságbeli különbség van, hogy a szoftver az állékonysági biztonság értékét csaknem minden esetben a felső réteg biztonságaként értelmezte volna, ami meghamisította volna a kitűzött feladat eredményét. A modellben általánosítást is végeztem, ugyanis az esettanulmányban a mészmárga nagyon jó szilárdságú, az átlagos nyomószilárdsága $\sigma_c = 70$ MPa, ezzel szemben én a budai márga statisztikai vizsgálatakor (Görög 2006) eredményül kapott $\sigma_c \approx 40$ MPa-os átlageredménnyel számoltam, hogy a kapott eredmények általánosabban felhasználhatóak legyenek.

A modell felépítése után különböző magasságú (H = 5 - 20 m) szabadon álló márgafal esetén határoztam meg az állékonysági biztonsági tényező értékét a márga kőzettest különböző állapotára, azaz különböző GSI értékeknél (GSI = 5 - 70). A kapott eredményekből egy grafikont dolgoztam ki (16. ábra), amely a különböző magasságú szabadon álló márgafal állékonysági biztonságát mutatja a GSI érték függvényében. A márgafal átlagos nyomószilárdságú kőzettömbökből épül fel. A grafikon elkészítésekor a modell futtatásaiból kapott eredményeket pontseregként ábrázoltam és a különböző GSI értékekhez tartozó pontokra görbét illesztettem.



16. ábra. Különböző magasságú szabadon álló márgafal állékonysági biztonsága a GSI érték függvényében

A mélység megválasztásakor 5 m-nél kisebb és 20 m-nél magasabb márgafallal nem foglalkoztam. Ugyanis 5 m-nél kisebb függőleges fal budai márgában ritkán jelent állékonysági problémát, 20 m-nél magasabb márgafalakra pedig az előző fejezetben kidolgozott elméletem már nem érvényes. A számításaimban nem foglalkoztam GSI > 70 értékekkel, ugyanis e feletti GSI érték ritkán fordul elő márgánál, illetve 20 m magas fal esetén már GSI = 70-nél is nagy biztonság adódott.

A 17. ábrán a 20 m magasságú falnál mutatom be a Plaxis szoftverrel meghatározott biztonsági tényezőket, különböző GSI értékek mellett.



17. ábra. 20 m magas fal esetén a biztonsági tényezők alakulása

A gyakorlatban csaknem minden esetben előfordul a márga felett valamilyen vékonyabb gyengébb szilárdságú réteg. Ilyen gyenge felső réteg esetén abban az esetben, ha szabadon álló falban gondolkodnak, rézsűsen célszerű kialakítani, és a grafikon alkalmazásánál a fal magasságban ezt is figyelembe kell venni. Példaképpen egy ~10–12 m mélységű munkagödör oldalfalát mutatom be, amely a Hegyalja úton készült. A felső gyengébb szilárdságú, esetleg talajként kezelhető részt cölöpfallal támasz-tották meg alatta a márga pedig önmagában áll (18. ábra).



18. ábra. A Hegyalja úton budai márgába készült munkagödör

A márgafal GSI értéke 35 - 40 közötti, ami azt jelenti, hogy a grafikonról leolvasva a fal állékonysági biztonsága n = 2,5 - 3,0 között van.

A grafikonnak alkalmazhatóságánál figyelembe kell venni a fal síkját, a rétegződést, valamint a tektonikai síkokat és ezek kedvezőtlen iránya esetén más és ennél részletesebb elemzés szükséges.

5 ÖSSZEGZÉS

Budapest környékén a budai márga az a képződmény, amellyel legtöbbet találkozhatunk, mint közepes szilárdságú kőzettel. A felszínközeli építkezésekkor is gyakran előfordul, így célszerű, a tagolt budai márga kőzettest vizsgálata, és erre vonatkozóan általános összefüggések felállítása, mint azt több külföldi kőzet esetén is elkészítettek pl.: athéni flis (Hoek et al. 1998), molasz (Hoek et al. 2005.).

A budai márga kőzetteste heterogén felépítésű, változatos összetételű, a kőzettömbjének szilárdsága is széles intervallumban mozoghat: mészmárga esetén 10 – 100 MPa között változik az egyirányú nyomószilárdsága (Görög 2006), agyagmárga esetén pedig 1 MPa körüli nyomószilárdság értékeket is mértünk. A geológiai szilárdsági index alkalmas jó állapotú és erősen töredezett, széteső kőzettestek osztályozására is, míg például a nagyon elterjedt RMR módszer erősen töredezett kőzetek esetén csak nehezen alkalmazható. A homogén kőzetekre készült GSI táblázattal csak akkor lehet jól osztályozni a budai márga kőzettestét, ha csak mészmárga vagy csak agyagmárga építi fel, bár jobbra való eltolással az agyagos betelepülések is figyelembe vehetőek, de ez egy kicsit nehézkes. A heterogén kőzettestekre athéni flis (Hoek et al. 1998) és molasz (Hoek et al. 2005) kőzetekre készített példák alapján budai márga kőzettestre adaptált táblázattal egyszerűbben meghatározható a budai márga kőzettest GSI értéke akkor is, ha a különböző típusú márgák rétegződtek egymásra.

A Hoek-Brown törési határállapot alapján a GSI érték és a kőzettömb egyirányú nyomószilárdságának és Hoek-Brown állandójának függvényében a kőzettest szilárdsági paraméterei számíthatóak (Hoek et al. 2002). Az általam készített grafikonok segítségével a kőzettest nyírószilárdsága egyszerűen meghatározható. A grafikonokat a hazai viszonyokra alakítottam ki, azaz ezek alapján egy átlagos mélygarázs (maximun 20 m mélységig) munkagödör falának számításához szükséges szilárdsági jellemzők egyszerűen meghatározhatóak. Sokszor van szükség egy munkagödör állékonyságának gyors becslésére, ehhez szintén grafikont készítettem, amelyből a biztonsági tényező értéke a munkagödör mélységének és a GSI érték függvényében becsülhető. Ezek grafikonok egyszerűbb esetekre használhatóak, azaz ha a rétegek dőlése a munkagödör állékonyságát tekintve kedvezőtlen irányú, akkor a szilárdsági jellemzők meghatározása ennél komolyabb megfontolásokat igényel.

6 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Cikkem elkészítéséhez sok segítséget kaptam dr. Kleb Bélától, dr. Török Ákostól és dr. Vásárhelyi Balázstól. A cikk lektorálásában, pontosításában nyújtott segítségéért köszönet illeti dr. Gálos Miklóst.

HIVATKOZÁSOK

- Bieniawski, Z.T. 1973. Engineering classification of jointed rock masses. *Trans. S.Afr. Inst. Civ. Eng.*, **15**: 335 344.
- Görög P. 2006. *A "puha" kőzet és "kemény" talaj problematikájának bemutatása a budai márga vizsgálata alapján*, In: Török Á. Vásárhelyi B. (szerk.) Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2006. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 59-72
- 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
- Hoek E., Brown E. T. 1980. Underground excavations in rock. Institution of Mining and Metallurgy, London, p 527
- Hoek E., Brown E.T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, **34**(8): 1165 1186.
- Hoek E., Carranza-Torres C. T., Corkum B. 2002. *Hoek-Brown failure criterion 2002 edition*. In: Proceedings of the fifth North American rock mechanics sympozium, Toronto, Canada, 1, 267 – 273.
- Hoek E., Diederichs M. S. 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, **43**: 203 215
- Marinos P., Hoek E. 2000. GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In: Proceedings of the GeoEng2000 Int. Conf. on Geotehnical & Geological Engng, 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
- Vásárhelyi B. 2001. Új eredmények a kőzet- és a talajmechanikában: a Hoek-Brown törési határállapot és a Geológiai Szilárdsági Index (GSI) bemutatása. *Közúti és Mélyépítési Szemle*, **51:** 424-431