

## KÖZETEK NYÍRÓSZILÁRDSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA BEMETSZETT PRÓBATESTEKEN

Gálos Miklós – Kövesdi Balázs

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, mgalos@freemail.hu

**Összefoglalás:** Kőzetek nyírószilárdságának meghatározására a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék Anyagvizsgáló laboratóriumának kőzetvizsgáló laborrészlegében, a törésmechanikai kutatások eredményeire alapozottan, új vizsgálati módszert dolgozunk ki. Henger alakú szabályos próbatesteken a tengelyre merőlegesen, egymáshoz képest eltolva, a próbatest tengelyéig készítettünk bemetszést. Az így előkészített próbatestek tengely irányú nyomóerő hatására, a bemetszések között, nyíró igénybevételre megy tönkre. Különböző kőzeteken végzett vizsgálatok eredményeit hasonlítottuk össze a kőzetmechanikai gyakorlatban használatos indirekt módszerrel számított nyírószilárdság értékeivel.

*Kulcsszavak:* kőzetmechanika, törési határfeltétel, nyírószilárdság

### 1. Bevezetés

Kőzetek szilárdsági tulajdonságainak ismerete mindig meghatározó szerepet játszott az építőmérnöki szerkezetek létrehozásában, alagutak építésénél, földalatti hulladéktárolók kialakításánál, a különböző kőzetkörnyezetben létrehozott szerkezetek tervezésénél, kivitelezésénél. Az összeálló kőzetkörnyezetben végzett geotechnikai munkánkat, a sziklamunkákat a kőzetmechanika alapozza meg. Ezeknél a létesítményeknél elengedhetetlen a kőzetek pontos anyagjellemzőinek ismerete a szakszerű és gazdaságos tervezéshez, illetve a pontos, de az adottságokhoz igazodó kivitelezéshez, valamint a szerkezetek rendeltetés szerinti üzemeltetéséhez.

Összeálló kőzetkörnyezetben végzett mérnöki munkák tapasztalatai azt mutatták, hogy a nagyon változatos tulajdonságokkal rendelkező kőzetek különböző helyeken eltérő módon viselkedhetnek. A tervezést, a szerkezetkialakítást nehezíti, hogy a helyszíni mintavételezéssel gyűjtött minták laboratóriumi vizsgálatai során nyert szilárdsági jellemzők csak a tagolatlan, azaz az ép kőzetre, a kőzettömbre jellemzőek. A tapasztalat azt mutatja, hogy a kőzetösszlet viselkedését a tagolt kőzetest tulajdonságai, továbbá az adott térségben a kőzetesteket érő földtani, vízföldtani, stb. hatások együttese határozzák meg. A kőzetesteket felépítő kőzettömbök tulajdonságait a kőzettömbből vett mintákon laboratóriumi vizsgálatokkal tudjuk meghatározni.

## 2. Laboratóriumi szilárdsági vizsgálatok

A közet nyomószilárdságának meghatározására legáltalánosabban elterjedt módszer a henger alakú próbatesten végzett vizsgálat, mivel a fűrőmagból a próbatest könnyen kialakítható, illetve a közettömbből laboratóriumban is ez a próbatest munkálható ki a legegyszerűbben. A henger alakú próbatestet lehetőleg 2:1 magasság : átmérő arányú legyen, a korábbi hazai szabványok is ezt az arányt írták elő. Az egyirányú nyomószilárdsági vizsgálat céljára kialakított henger alakú próbatestnél a mért érték a magasság:átmérő arányszám változására a legérzékenyebb. (Gálos-Kürti, 1986) Ennek az az oka, hogy a nyomófelületeknél a keresztirányú alakváltozás gátlásából adódóan zavart feszültségviszonyok jönnek létre. Kisebb magasságú próbatest esetén a zavart zónák túl közel vannak egymáshoz, ami miatt a valóságtól eltérő eredményt kaphatunk.

A nyomószilárdság mellett fontos közetjellemző a közetek húzószilárdsága, amelyet sokszor használunk. Laboratóriumi mérésnél ún. közvetett húzóvizsgálatot (más néven Brazil-vizsgálatot) henger alakú próbatesteken végzünk el. Az 1:1 átmérő:magasság arányú próbatestet két, szembelevő alkotója mentén, párhuzamos nyomólapok között terheljük úgy, hogy a nyomóterhelést folyamatosan növelve törésig fokozzuk. A próbatest a terhelő erő irányával megegyező átmérője mentén, a kialakuló húzó feszültség hatására szétszakad. (Vutukuri, et. al., 1974)

A közeteket minősítő anyagjellemzők meghatározása a közetmechanikai kutatások fontos területe. Napjainkban a laboratóriumi közetmechanikai kutatások figyelme egyre jobban a töréssel, tönkremenetellel kapcsolatos vizsgálatok felé fordult.

A közetek viselkedését leíró törésmechanikai anyagjellemzők meghatározása és az ezzel kapcsolatos vizsgálattechnikai kérdések jelentkeznek kutatási feladatként. Korábban és még ma is, a legfontosabb tulajdonságnak a közetek nyomószilárdságát tartottuk, illetve tartjuk. Ezért ezzel foglalkozunk a legtöbbet. Kisebb hangsúlyt fektettünk eddig a nyírószilárdság vizsgálatára. A nyomószilárdságot tekintjük a minősítő szilárdsági tulajdonságnak, pedig tudjuk, hogy különféle tartószerkezeteknél a húzó- és a nyírószilárdság a mértékadó, mert ez a jellemző a tönkremenetelüknél. Tehát ezek ismerete a méretezésnél is fontos lehet számunkra.

Munkánkban egy új mérési eljárást mutatunk be, mely az eddig indirekt módon számolt nyírószilárdság meghatározására alkalmas, illetve egy olyan mérési módszert ajánlunk használatra, mely nem csak kocka próbatesteken teszi lehetővé a nyírószilárdság mérését, hanem a magyar szabvány szerinti hengeres próbatesteken is. Ilyen típusú vizsgálatokat a hazánkban először a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék Anyagvizsgáló laboratóriumának közetvizsgáló laborrészlegében végeztünk.

A Tanszék közetvizsgáló laborrészlegében régóta végeztünk törésmechanikai vizsgálatokat. A feszültségintenzitási tényező kritikus értékének ( $K_{IIc}$ ) meghatározására két oldalról bevágott hengeres próbatesteket használtunk. Ezek a vizsgálatok adták az ötletet, miszerint a repedés terjedés ez esetben a nyírófeszültség hatására jön létre, hogy ezt a gondolatmenetet követve számoljuk a nyírószilárdságot.

### 3. Nyírószilárdság meghatározása bemetszett próbatesteken

Az építési kőanyagok szabványsorozatában előírt szabályos, 2:1 magasság-átmérő arányú, henger alakú próbatestet használhatjuk a nyírószilárdság meghatározására. Ez a próbatestet a feltáró fúrások maganyagából szeleteléssel is egyszerűen kialakítható. A nyírószilárdság meghatározására a próbatestet két oldalról, egymással szemben, egymáshoz képest eltolva, félig bemetszjük. Az egymással szembeni bemetszések helyei a próbatestet magasságának 1/3-1/3-1/3-adánán legyenek. Ez azért fontos, mert így tudjuk garantálni, hogy a kőzet a két bemetszés között nyírásra törjön el. Az 1. ábra erre mutat példát.

A bemetszett próbatestet terheljük forgástengelyével párhuzamosan. Így tudtuk kiküszöbölni azt a nehézséget, mely eddig megnehezítette a nyírószilárdsági vizsgálatokat, hogy a próbatestet nem tudtuk megfelelően rögzíteni. Javaslatunk szerint ugyanúgy kell elvégezni a mérést, mint a nyomószilárdsági vizsgálatnál, tehát könnyen befogható a próbatestet, nem kell külön gép hozzá, ugyanazzal a nyomóerőt biztosító berendezéssel végezhető, csak előtte a próbatesteket be kell metszenünk két oldalról. Az egyetlen nehézség, melyre nagyobb figyelmet kell fordítanunk, a bemetszések pontossága. Ezután a törőteher és a nyírt felület ismeretében a nyírószilárdságot a szilárdságtan általános képlete alapján tudjuk kiszámolni:

$$\tau = F/A \quad [\text{N/mm}^2]$$

ahol  $F$  a törőteher [N]  
 $A$  a nyírt felület [ $\text{mm}^2$ ]



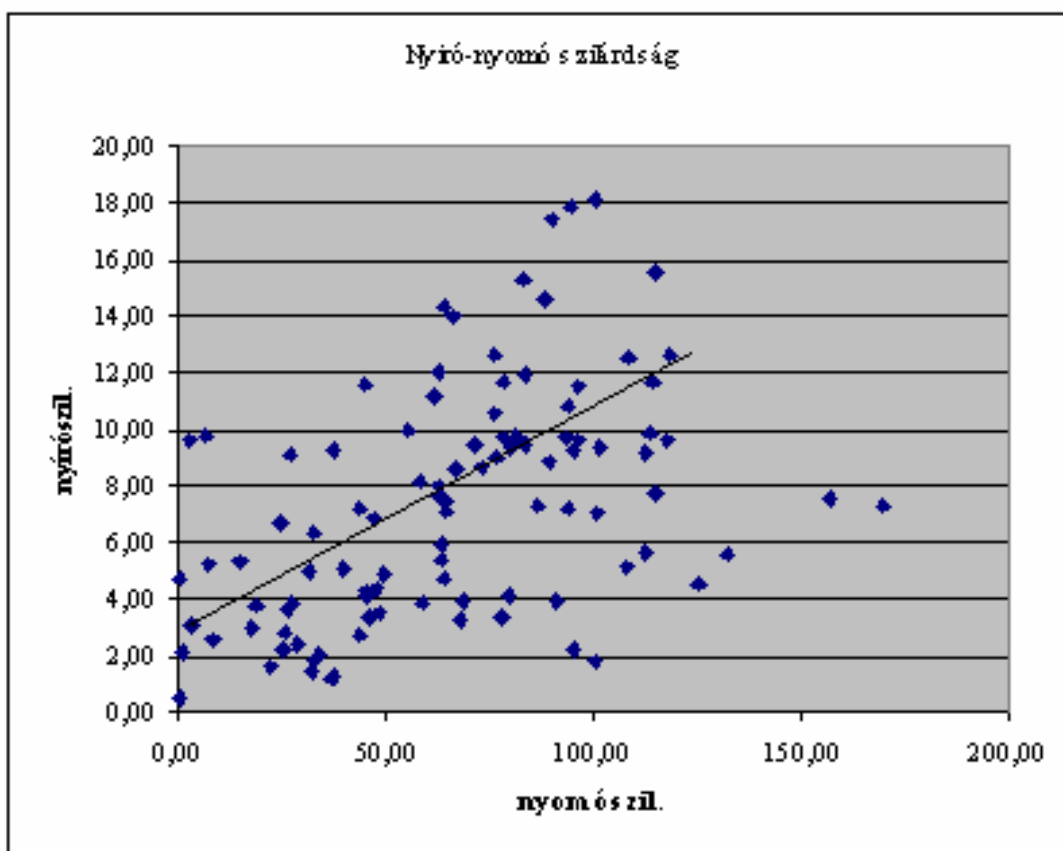
**1. ábra. Bemetszett próbatest nyíróvizsgálata (bal oldalt) és vizsgálat utáni durva mészkő és gránit próbatestek (jobb oldalt)**

A vizsgálatok során tapasztaltuk, hogy néha előfordul, hogy a kőzet szöveti tulajdonsága, anyagi hibái miatt rossz helyen törik el. Ez azért fordulhat elő, mert a kőzet nem homogén anyag. A terhelés hatására, ha a feszültségcsúcson nem az általunk végzett bemetszés csúcában alakul ki, hanem egy másik, helyen, ahol valami szöveti tökéletlenség (heterogenitás) miatt az anyagi folytonosság már korábban megszűnt, akkor az első repedés ott alakul ki és nagy valószínűséggel ott is folytatódik, rossz az irányítottsága, nem a nyírási felületnek megfelelő. Az így tönkrement próbatestet esetén a vizsgálat nem értékelhető.

Ezt a mérési eljárást használjuk Bábaapáti térségében a közepes aktivitású hulladék elhelyezésére szolgáló létesítmény kőzetmechanikai vizsgálatánál, és a kőzetkörnyezet viselkedésének szilárdsági megítélésénél egyéb kőzetmechanikai munkáinál is.

#### 4. Nyomó- és nyírószilárdság közötti összefüggés

Az egy helyről, azaz közel azonos mélységből vett próbatestek esetén volt lehetőségünk azt vizsgálni, hogy milyen összefüggés van a kőzetek nyomó- és nyírószilárdsága között. Munkánk során kigyűjtöttünk azokat az értékpárokat, melyekről jogosan feltételezhetjük, hogy azonos minőségű, állapotú és szerkezetűek voltak a kőzetek. Ezeknél azonos volt a testsűrűség és a longitudinális ultrahanghullám terjedési sebesség. A nyomószilárdsághoz tartozó nyírószilárdsági értékeket mutatja a 3. ábra.



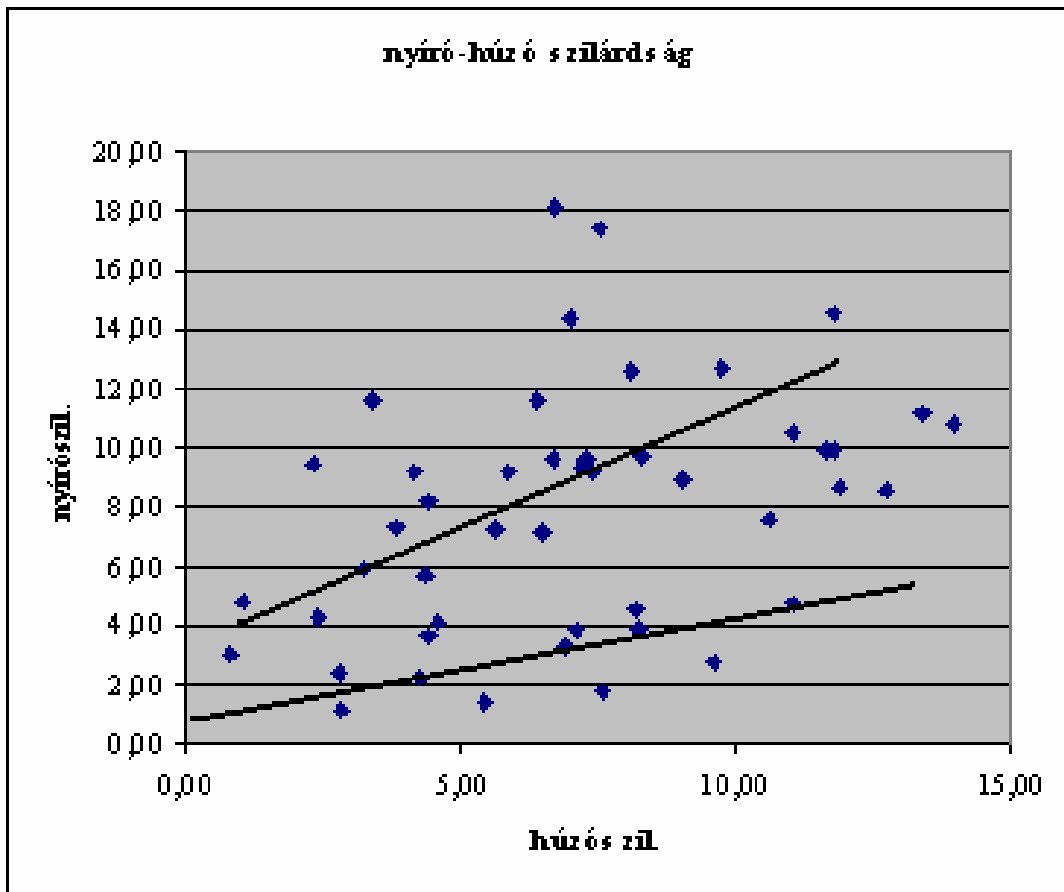
3. ábra. Összefüggés a nyomó- $(\sigma_c)$  és a nyírószilárdság  $(\tau)$  MPa-ban mért értékei között

Mint az a 3. ábráról is jól látható, elég nagy az összetartozó pontok szórása. Ennek oka a kőzetváltozatok szöveti tulajdonságainak különbözőségében keresendő. Célszerűnek látszik a pontfelhőben az azonos kőzettani kifejlődésű, azonos megtartási állapotú kőzetváltozatokra a regressziós összefüggéseket külön-külön kimunkálni. A kirajzolódó lineáris regresszió egyenlete:

$$\tau = 0,086 \sigma_c + 2,5$$

## 5. Húzó- és nyírószilárdság közötti összefüggés

A húzó- és nyírószilárdság közötti összefüggés, amelyet a 4. ábrán mutatunk be, jól szemlélteti, hogy mindkét szilárdsági érték nagyon érzékeny a kőzet szöveti tulajdonságainak változására. Mind a húzó-, mind pedig a nyíró igénybevétel tönkremenést létrehozó repedésképző.



4. ábra. Összefüggés a húzó- ( $\sigma_t$ ) és nyírószilárdság ( $\tau$ ) MPa-ban mért értékei között

Az összetartozó vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy nem egy, hanem két regressziós egyenes rajzolódott ki. Az egyiknél ugyanazon húzószilárdsághoz nagyobb, míg a másiknál kisebb  $\tau$  érték tartozik. Ez a kőzetek mállottsági fokával magyarázható.

A két összefüggés:

$$\tau = 2/6 \sigma_t + 1,0$$

$$\tau = 4/6 \sigma_t + 3,4$$

A mállottabb, rosszabb állapotú kőzeteknél az első összefüggés használható, míg épebb, üdőbb kőzeteknél a második.

## 6. Következtetések

A nyírószilárdság mérésére eddig nem volt szabvány szerinti, gyakorlott eljárás, mivel eddig csak kocka próbatesteken próbáltak nyíróvizsgálatot végrehajtani, ezek előállítása pedig meglehetősen bonyolult és nem anyagtakarékos. A nyírószilárdságot közelítően a húzó- és nyomószilárdságból, illetve a triaxiális vizsgálatokból határoztuk meg. Az új vizsgálati eljárással lehetőség nyílik ennek a szilárdsági értéknek a mérésére, ezáltal pontosabb és megbízhatóbb meghatározására. Ez a vizsgálati mód még rengeteg kutatási lehetőséget nyújt, meg lehet és kell nézni a mérethatast, valamint a szöveti irányítottság hatását, stb-t.

A szilárdsági értékek közötti összefüggés pedig arra használható, hogy egy kőzetten elvégzett mérésből következtetni tudunk másik szilárdsági tulajdonságra, anélkül, hogy annak megállapítására külön méréseket hajtottunk volna végre.

## Hivatkozások

- Gálos M., Kürti I. 1986. Építési kőanyagok egyirányú nyomószilárdságának minősítő jellege. *Építőanyag*, 9, 268-275.
- Vutukuri V.S., Lama R. D., Saluja G.S. 1974. *Handbook on mechanical properties of rocks. Volume I.* Trans. Tech. Publications, Clausthal