

Néhány gondolat a geológus és az építő mérnök közötti párbeszédéről

Some thoughts on the dialogue between geologist and civil engineer

Dr. VÁSÁRHELYI Balázs

BME, Építőmérnöki Kar, Geotechnikai és Mérnökgeológiai Tsz., 1117 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
vasarhelyi.balazs@emk.bme.hu

Abstract

The goal of this article is to analyze the role of the geologist in the engineer's design in the rock environment. The two professions have different approaches to problem solving, and consequently in many cases the two professions 'talk' past each other. The geologist thinks in a different time scale, approaches geological questions differently, which the engineer cannot deal with, but at the same time does not get answers to the questions that are essential for the design. The engineering geological model is presented and through an example, the difference between the two disciplines are shown, as well.

Keywords: engineering geology, geology, geotechnics, mechanics, engineering geological model

Kulcsszavak: mérnökgeológia, földtan, geotechnika, mechanika, mérnökgeológiai modell

1. Geológus-mérnök kapcsolata

A cikk célja a geológusok szerepének elemzése a mérnökök (jelen esetben az építőmérnököt értve ez alatt) közegetben való tervezésénél. A két szakma problémamegoldása eltérő, ebből következően sok esetben a két szakma „elbeszél” egymás mellett. A geológus más időléptékben gondolkodik, eltérően közelíti meg a geológiai kérdéseket, mellyel a mérnök nem tud mit kezdeni, ugyanakkor nem kap választ azokra a kérdésekre, ami elengedhetetlen a tervezéshez. Alapgondolata a cikknek: „a kutató a létezőt vizsgálja, míg a mérnök a nem létezőt alkotja meg”. Azaz: a geológus a létezőt vizsgálja, elemzi, vonja le következtetéseit, míg a mérnök ebben a közegben szeretne újat alkotni.

A közegetben való mérnöki tervezésnél elengedhetetlenül fontos a geológussal való együttműködés. A közegetben végzett mérnöki munkáink során az előkészítéstől a tervezésen és a kivitelezésen keresztül a földtani közeget és a mérnöki alkotás szoros kölcsönhatásban van. A mérnök feladata, hogy a létesítmény és a közeget közötti kölcsönhatást, a kölcsönhatás elemeinek ismeretében, lehetőleg a részletkérdésekre is tekintettel, sikeresen kezelje. Ehhez az szükséges, hogy mind a létesítmény, mind pedig a közeget anyagi (fizikai – ezen belül elsősorban mechanikai – és vegyi) tulajdonságait jól ismerje.

A közegetben végzett mérnöki munkák a mérnöki szakmán belül is önálló ágat képviselnek. Ilyen feladatok megoldásánál cél:

- a különböző szelvényű föld alatti létesítmények kialakítása,
- az alagutak építése,
- építmények alapozása,
- a kis-, közepes- és nagy aktivitású nukleáris hulladékok ideiglenes- és végleges lerakóinak elhelyezésével,
- valamint a természetes- és mesterségesen kialakított sziklarézsűk állékonysága.

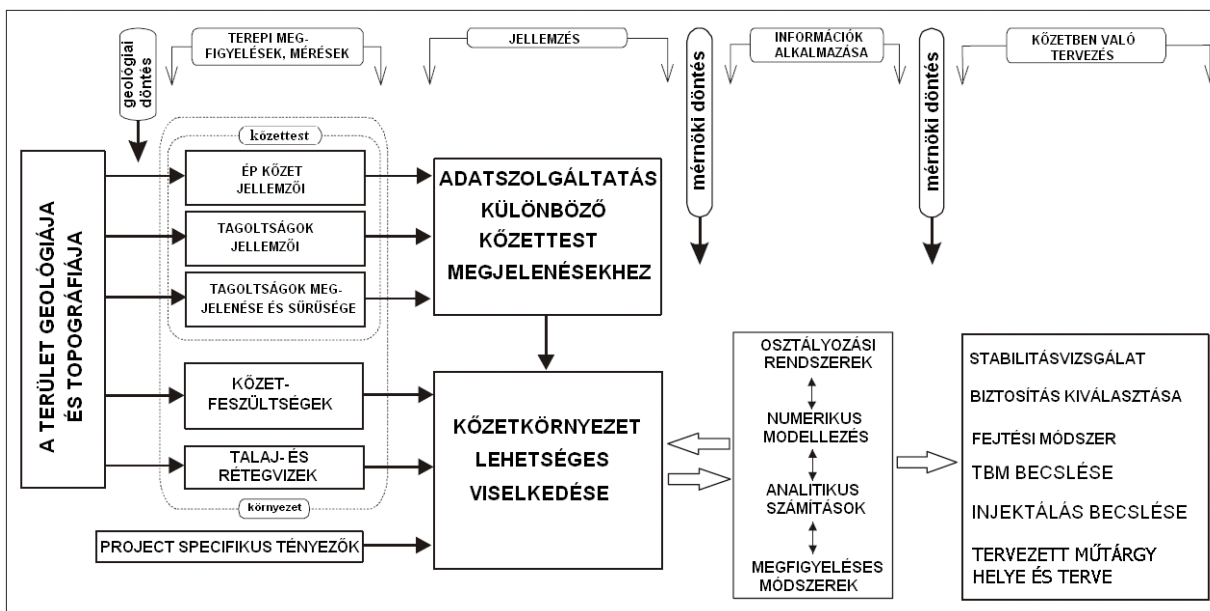
A mérnöki munka változást hoz létre földkéreg egyensúlyi állapotában. A földtani szemlélet léptéke szerint ugyan csak kis területre kiterjedően, a mérnök beavatkozik abba az egyensúlyi állapotba, amelyet a földtani, geológiai folyamatok alakítottak ki. A létesítmény tervezésénél és kivitelezésénél a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

A feszültségek hatására létrejövő alakváltozások tehát a közeget anyagi tulajdonságaitól függenek, amelyeket a szilárdságtanban megfogalmazott anyagtörvényekkel törekszünk leírni. Természetes állapotban, illetve mesterségesen létrehozott helyzetben a közeget saját tömegéből adódó, vagy egyéb, például

tektonikai, szeizmikus, duzzadási, vagy más erőhatásra kialakuló részleges, vagy a teljes közettömegre kiható tönkremenetel, szintén a kőzetösszlet anyagi tulajdonságainak függvénye.

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

A földtani környezet és a mérnöki létesítmény kölcsönhatásának kezelését a kőzetkörnyezet célnak megfelelő ismerete alapozza meg. Az ismeretek megszerzésének módszereit a mérnökgeológia tárgyalja. A nyert eredményeket a kőzetmechanika a saját szemléleti rendjében használja. A kőzetkörnyezet viselkedésének számításba vételezéséhez a kőzetmechanika a szükséges általánosításokat 1. ábrán bemutatott folyamat eredményeként kimunkált kőzettest-osztályozással teszi meg (megjegyezzük: a táblázat talajok esetén is kisebb korrekciókkal alkalmazható). Látható, hogy az egyes feladatok megfogalmazása, megoldási módszerének megválasztása, döntések meghozatala megköveteli a különböző szakterületek együttes kezelését.



1. ábra. Megfigyelések, mérések és osztályozások alkalmazása a kőzetmechanikában (Stille & Palmström, 2003; Kovács & Vásárhelyi, 2007)

2. Mérnökgeológiai modellalkotás

A mérnökgeológia, mint tudományág a kőzetekben (értve alatta a talajokat is), illetve az azokban kialakított mérnöki létesítmények egymásra hatását, mechanikai viselkedését elemzi. A valós kőzet azonban – természetéből adódóan – sokkal komplexebb, mint általában a mérnöki gyakorlatban alkalmazott anyagok. Ebből következően a tervezés alatt álló létesítmény (mely lehet mind a kőzeten, mind kőzetben) és a kőzetkörnyezet valós viselkedésének előrejelzése, tehát a megfelelő modellezés a mérnökök számára számos kérdést vet fel. Erre vezethető vissza a mérnökgeológiai/geotechnikai problémák többsége is (Léber & Vásárhelyi, 2011).

A geotechnikai tervezés során négy jól elkülöníthető, egymással azonban összefüggő szempontrendszer definiálható:

- kőzet/talajrétegződés – a talajvízviszonyok figyelembevételével;
- a kőzet/talaj viselkedése – mérések, megfigyelések;
- a kőzet/talaj várható viselkedésének meghatározása – megfelelő modellek alkalmazásával;
- empirikus (tapasztalati) eljárások – döntés, értékelés a jól megválasztott tapasztalatok alapján.

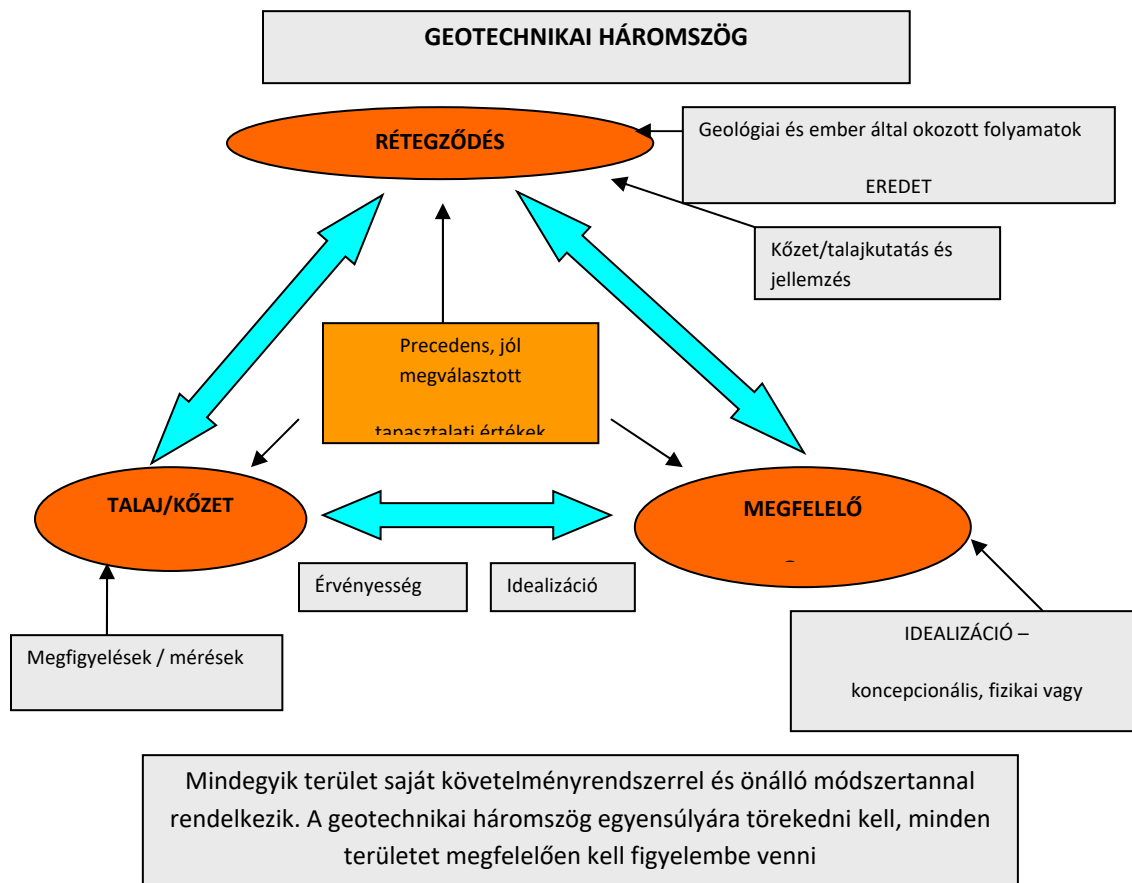
A rétegszelvény a kutatás legfontosabb eredménye, amely szemlélteti a geológiai folyamatok eredményét, az emberi beavatkozás hatását és a talajvízviszonyokat is tartalmazza. A kőzet/talaj viselkedésének megfigyelése, mérése magába foglalja a laboratóriumi és helyszíni mérések eredményét.

A kőzetösszetétel megfelelő modellezése egy olyan idealizációs folyamat, amely a valós világ ismereteit gyűjti össze, egyszerűsíti le, majd rendezi egy olyan modellbe, amely alkalmas a vizsgált probléma elemzésére és lehetőséget ad a kapott eredmények felülvizsgálatára. A modellezési folyamat az eredmények érvényesítésével, ellenőrzésével zárul, amely akár egy iterációs folyamattá is alakulhat.

Egy olyan komplex és változó összetételű anyag esetében, mint a kőzet, a tapasztalati értékek és eljárások alkalmazása elkerülhetetlen. A mérnökök számos tervezési és kivitelezési eljárásban tapasztalati értékek alkalmazására kényszerülnek. A modellezéssel kapcsolatosan lényeges hangsúlyoznunk ezen tapasztalati értékek, valamint az egyszerűsítések helyességének fontosságát. A 2. ábrán bemutatott geotechnikai háromszög nagy segítséget nyújthat ebben, ugyanis tiszta képet ad a geotechnikai gyakorlat három alapterületéről és a közöttük lévő kapcsolatáról. Az ábra szerkesztésének személye és pontos ideje a nemzetközi szakirodalom alapján nem megadható. (Lásd ebben a témakörben még: Morgenstern, 2000, Knill, 2003 és Burlan, 2007).

A diagramban az első három fent említett szempont alkotja a háromszög három csúcsát. A diagram egyszerűen alakítható a geotechnikai tervezési követelmények sémájára. Mindegyik jelzett terület rendelkezik saját módszertannal, illetve követelményrendszerrel, amelyeknek minden körülmények között teljesülniük kell, valamint törekedni kell ezen egységek egyensúlyára is.

A geológiai modell felépítéséhez szükséges adatok gyűjtése, értelmezése és alkalmazása a geológiai-mérnöki funkció séma közepén helyezkedik el. A geotechnikai modellek előkészítésének az eredményesség érdekében követni kell a geotechnikai háromszög felépítését.

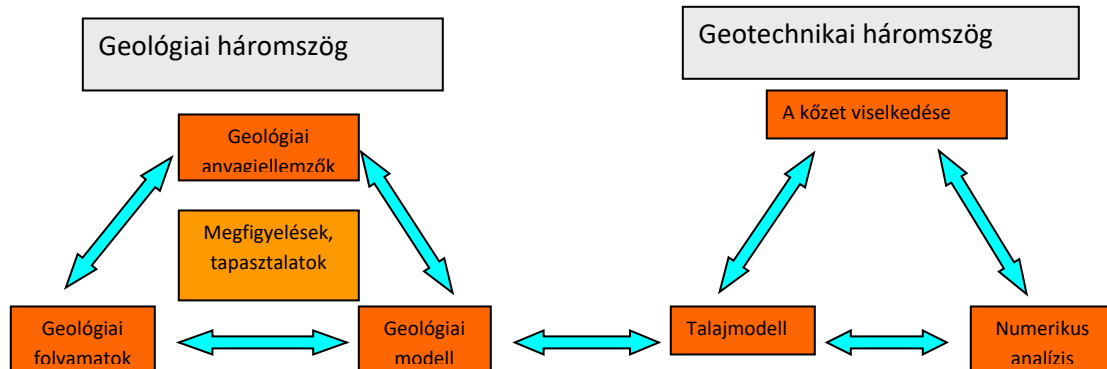


2. ábra. A geotechnikai háromszög és elemei

Egy, a geotechnikai háromszöghöz hasonló diagramba rendezhető az anyagjellemzők, a kőzet viselkedése és a modell egysége, amelyek a mérnökgeológiai háromszöget határozzák meg. A háromszög belsejében a helyesen megválasztott megfigyelési, tapasztalati értékek, benyomások helyezkednek el.

A mérnökgeológiai háromszög általánosabb területet fed le, mint a geotechnikai háromszög. A két diagram közti kapcsolatot a 3. ábra mutatja (Knill 2003 alapján).

A mérnökgeológiai modell önmagában nem alkalmazható a mérnöki gyakorlatban, mert nem határozza meg egyértelműen a tervezéshez szükséges mérnöki feltételeket. Éppen ezért elengedhetetlenül szükséges, hogy a tervezési paramétereket egy újabb mérnöki elemzés részeként egy kőzetmodellbe építsük be. A kőzetmodellt azután hozzá kell igazítani a geotechnikai háromszög által meghatározott rendszerhez, amelyet aztán közvetlenül alkalmazhatunk egy matematikai vagy fizikai modell részeként, hogy a folyamat végén a mérnöki következtetéseket levonhassuk.



3. ábra. A mérnökgeológiai és geotechnikai háromszög közötti kapcsolat (Knill, 2003)

A mérnökgeológiai modelltől a kőzetmodellen át, a geotechnikai modellig vezető folyamat során elkerülhetetlen az egyszerűsítések alkalmazása annak érdekében, hogy a kiválasztott matematikai vagy fizikai modell a vizsgált problémát pontosan leírja. Az egyik modelltől a másikba történő átalakítás során feltétlenül meg kell bizonyosodnunk arról, hogy az aktuális feltételek olyan pontosan lefedik a végső analízist, amennyire csak lehetséges. Nagyon fontos megbizonyosodnunk arról, hogy a különálló egységek követelményrendszere érvényesül, hogy azokat megfelelő egyensúllyal vettük figyelembe és a különböző egységek közti kapcsolati folyamatok megfelelőek-e.

3. Geológus és mérnök közötti gondolkodásbeli különbségek

A szerkezet-földtanos geológus és a mérnökgeológus problémához való megközelítését az alábbi táblázatban foglaltuk össze. Amint az jól érzékelhető, léptékbeli eltérések vannak a két szakma között – míg a geológus évezredekben (sok esetben évmilliókban) számol, a mérnöki tervezés gondolkodása maximálisan száz évben van.

Szerkezet földtani probléma	Mérnökgeológiai probléma
A természeti folyamatok magyarázata melynek hatására a jelenleg megfigyelhető geológiai szerkezet létrejött	A múltbeli mérnöki eredményeinek elemzése: sikerek és kudarcok értékelése
Természeti katasztrófák előrejelzése (pl: vulkánkitörések, földrengések, sziklacsúszások)	A kőzettest mechanikai hatásának meghatározása a mérnöki létesítmény építése esetén

A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a mérnök – ellentétben a geológussal – minden esetben a problémákat matematikailag leírható (és megoldható) feladatként fogja fel. A kőzetkörnyezetben való mérnöki tervezés során számos esetben nem találkozik az elmélet és a valóság – erre mutatunk be egy példát a következő fejezetben.

4. In situ feszültségek – elmélet és a valóság

Végezetül példaként a mérnöki gondolkodás és a valóság közötti eltérést az in situ feszültségen keresztül mutatjuk be. Ezen példa alapján jól látható a mérnöki gondolkodásmód, melynek célja egyenletek segítségével a folyamatok leírása, és az ettől eltérő valóság viszonya.

A kőzetkörnyezetben való mérnöki tervezésnél elengedhetetlenül fontos a főfeszültségek pontos ismerete. Elméleti megfontolásokból, lineárisan rugalmas anyagmodellt feltételezve a függőleges irányú feszültség (σ_v) és a vízszintes irányú feszültség (σ_h) hányadosa kiszámítható (Vásárhelyi, 2016)

- kőzetek esetén a Poisson tényező (ϑ) ismeretében:

$$\frac{\sigma_h}{\sigma_v} = \frac{\vartheta}{1 - \vartheta}$$

- talajok esetén a belső súrlódási szög (φ) ismeretében:

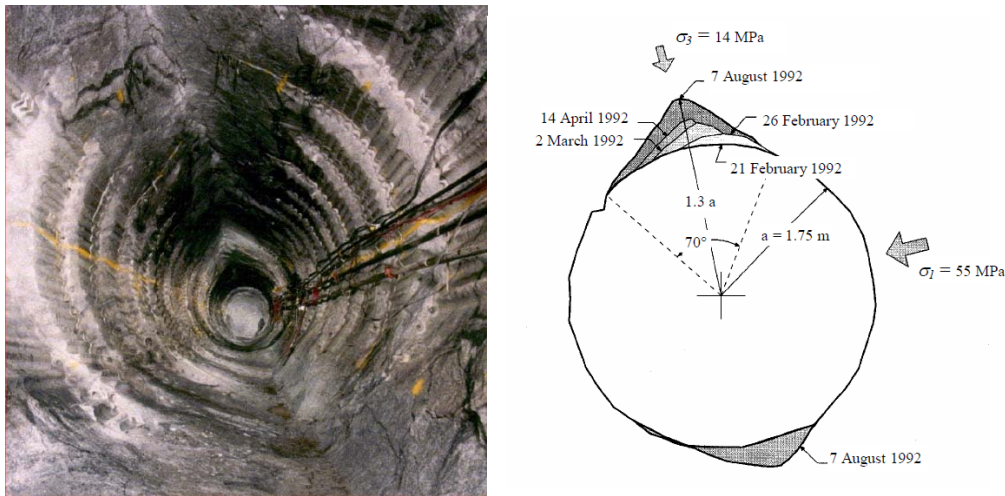
$$\frac{\sigma_h}{\sigma_v} = 1 - \sin\varphi$$

Mindkét egyenlet esetén kijelenthető, hogy a vízszintes irányú feszültség kisebb, mint a függőleges irányú feszültség.

A nagyszámú is situ mérések azt mutatták, hogy a függőleges irányú feszültség a kőzet térfogatsúlyának ismeretében – összhangban az elméleti megfontolásokkal – kiszámítható, azaz a mélységgel lefele haladva lineárisan növekszik.

Kanadai földalatti kutatólabor vizsgálatának eredményét mutatja be a 4. ábra. A jó minőségű, tagoltatlan gránit sziklában fúrt 3,5 m átmérőjű szabályos kör szelvényű járat, mely nem volt biztosítva, néhány hónapon belül alakváltozott, és egy „szilvamag” alakot vett fel. Mivel a kőzet mechanikai paraméterei ismertek voltak, vissza lehetett számolni a főfeszültségeket. Mind az analitikus, mind pedig a numerikus számítások azt mutatták ki, hogy

- a függőleges irányú feszültség megfelelt az elméletileg feltételezett értéknek, azaz a kőzet sűrűségének és a járat helyzetének ismeretében pontosan kiszámolható volt
- A vízszintes irányú feszültség közel négyszer akkor volt, mint a függőleges irányú feszültség, azaz a fentebb bemutatott elméletek nem igazak!

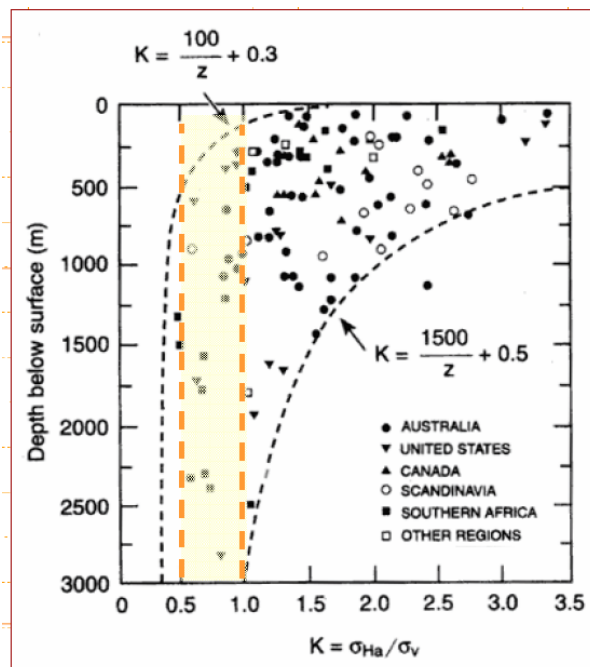


4. ábra: 3,5 m átmérőjű biztosítatlan alagút alakváltozása

Az, hogy nem egyedi esetről van szó, az 5. ábra mutatja be: számos nemzetközi mérést feldolgozva kimutatható, hogy a legtöbb esetben a vízszintes irányú feszültség nagyobb, mint a függőleges irányú feszültség. Ez geológiai okokkal magyarázható:

- területet eróziója
- a tektonikai hatások
- a kőzet anizotrópiája, valamint
- a tagoltságok közelében fellépő helyi hatások okozzák.

A fenti eseményeket, hatásokat a geológusnak mint adatszolgáltatónak kell a mérnöknek megadnia, hogy megfelelően tudjon a kőzetkörnyezetben mérnöki létesítményt terveznie.



5. ábra: A vízszintes és függőleges feszültségek hányadosa in situ mérések alapján

5. Összefoglalás

A mérnökgeológia tudományága újnak mondható – nincs még 100 éves. A különböző problémákra az elméletek nem minden esetben megfelelőek. Prof. Kézdi Árpád, a BME világhírű geotechnika professzora az MTA székfoglaló beszédét az alábbi sorokkal zárta, melyek most is érvényesek:

„Végigtekintve az elmondottakon, megállapíthatjuk, hogy számos új elv érvényesülését, illetve jelentkezését figyelhetjük meg a geotechnikában, s hogy az elvek alkalmazásához új módszerek is állnak rendelkezésre. Az új elveket és módszereket pedig alkalmazni kell, hogy hívek maradjunk hivatásunkhoz, hívek maradjunk alapelveinkhez.

Fegyvertárunkból már számos régi elvet és módszert kiselejteztünk, s a most elmondottak sem tartanak igényt örök érvényre. Új elvek, új módszerek fognak jönni, s azok kedvéért, ha meggyőződünk használhatóságukról, a ma újakat is ki fogjuk selejtezni. Mert ez az a terület, ahol a hűtlenség nem bűn, hanem egyenesen kötelesség.”

Felhasznált irodalom

- Burland J. 2007: Terzaghi: Back to the future. *Bull. Engng. Geol. Env.* **66**(1): 29-33.
 Knill J. 2003: Core values: the first Hans-Cloos lecture. *Bull. Engng. Geol. Env.* **62**(1): 1-34.
 Kovács L.; Vásárhelyi B. 2007: Kőzettest osztályozások alkalmazása a mélyépítésben. *BKL-Bányászat* **140**(3): 17-19.
 Léber T.; Vásárhelyi B. 2011: Mélyépítési mérnökgeológiai modellalkotások és modellezési lehetőségek összefoglalása. *Építés és Építészettudomány.* **39**(1-2): 63-88.
 Morgenstern N.R. 2000: *Common Ground*. Proc. Int. Conf. Geotech. Geol. Engng, Technomic, 1:1-30.
 Stille H., Palmström A. 2003: Classification as a tool in rock engineering. *Tun. Undergr. Space Techn.* **18**: 331-345.
 Vásárhelyi B. (2016): A alkalmazott kőzetmechanika alapjai. Hanken kiadó.