

Gránitos kőzetkörnyezetben hő hatására bekövetkező kőzetfizikai változások

Heat stress related rock mechanical changes in granitic rocks

Török Anita

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, torokanita88@gmail.com

Török Ákos

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, torokakos@mail.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: A kőzeteket érő külső hatások közül a hőmérséklet növekedésének kőzetfizikai paraméterekre gyakorolt hatását mutatja be a cikk a Bátaapátiból származó, a tipikustól ásványi összetételtől eltérő, kissé átalakult gránitos kőzetek példáján. A laboratóriumi mérési eredmények összhangban vannak más, külföldi gránitokon végzett hasonló vizsgálatok eredményeivel: a hőmérséklet emelkedésével a rugalmassági modulus, az egyirányú nyomószilárdság és a húzószilárdság csökkenése tapasztalható. A hőterhelés hatására a kezdeti hőmérséklettartományban (200-300°C-ig) a szilárdsági paraméterek nagyobb részben nőttek.

Kulcsszavak: gránit, hőhatás, kőzetfizikai jellemzők, vágatállékonyság

ABSTRACT:

The paper provides information the temperature increase of external influences on rocks effect of petrophysical properties on atypical mineral composition, slightly evolved granitic rocks from Bátaapáti. Laboratory test results are consistent with the results of similar tests of other foreign granites: as temperature increases the Young modulus, the uniaxial compressive strength and the tensile strength decrease can be observed. Result of the heat load in the initial range of temperatures (200-300 ° C), the strength parameters are mainly grown.

Keywords: granite, thermal behaviour, petrophysical properties, tunnel stability

1 BEVEZETÉS

A természetes állapotban levő kőzetet számos külső hatás érheti, melyek közül a hőmérséklet-növekedéssel és annak a kőzetre gyakorolt hatásaival foglalkozik jelen cikk. A természetes állapotú befogadó kőzet hőmérsékletemelkedését több tényező is okozhatja, így például radioaktív hulladék felszín alatti elhelyezése, vagy egy alagútban keletkező tüzeset.

A radioaktív hulladékok elhelyezésének ma legelfogadottabb és legbiztonságosabb módja a mélygeológiai elhelyezés. Számos ország ma is vizsgálatokat végez annak érdekében, hogy a legmegfelelőbb tulajdonságokkal rendelkező befogadó kőzetet megtalálja. A radioaktív hulladékok geológiai elhelyezésére – a számos kutatás alapján - alkalmasnak bizonyulnak az agyagos, üledékes kőzetek, a sókőzetek (Langer 1999), a száraz tufás kőzetek, valamint a kemény, kristályos kőzetek (Török 2012). Magyarországon több éves kutatás és építés folytán, Bátaapátiban 2008-ban átadták a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladék tárolására szolgáló Nemzeti Radioaktív hulladék-tárolót (NRHT). Az NRHT-t kemény, kristályos kőzetben, pontosabban gránitos környezetben alakították ki. A térség gránitos kőzetei jellegzetesek: a monzogranitos kőzetekben zárt testeket alkotva jelennek meg monzonitos kőzetek (1. ábra), valamint a betelepülések határán hibrid zóna alakult ki.

A befogadó kőzet hőmérsékletének-növekedését okozó jelenségek közül kiemelhetők az alagúttüzek. Az alagutakban keletkező tüzeket legnagyobb számban valamely műszaki hiba, vagy hibák okozzák, csak az esetek kis százalékában vezethető vissza emberi gondatlanságra. A - keletkezés okától függetlenül kialakult – tűz azon túl, hogy az alagút belsejében levő levegő hőmérsékletét drasztikusan megemeli, nagy hőterhelést jelent az alagútfalazat és ezáltal a befogadó kőzet számára. Ezért a befogadó kőzet tulajdonságainak hő hatására bekövetkező változását nem csak érdemes, hanem szükséges is vizsgálni.



1. ábra. Tipikus, Bataapátiból származó gránit (Typical granite from Bataapati)

2 A VIZSGÁLT KÖZET

A geológiai környezetbe elhelyezett radioaktív hulladék-tárolók tervezésekor, amennyiben azokban nem zárható ki a hőtermelő hulladékok elhelyezése sem, fontos figyelembe venni a hulladék által termelt hő hatását. A Bataapati NRHT esetében azonban más a helyzet: az itt elhelyezni tervezett kis és közepes aktivitású hulladékok hőtermelése deklaráltnan elhanyagolható. Így ebben a vonatkozásban nem is lenne értelme megvizsgálni a Mórági Gránit Formációt alkotó kőzetváltozatok stabilitásának alakulását a hőmérsékletváltozás függvényében. Azt azonban a gondos tervezés ellenére sem lehet teljes mértékben kizárni, hogy a befogadó kőzetet egy havária esemény (tűz) következtében érheti jelentős hőmennyiség. Egy ilyen esetben az intakt granitoid kőzetváltozatok szilárdságszökkenése minden bizonnyal szintén elhanyagolható lenne, tekintettel a granitoid kőzetek kialakulásának körülményeire. Azon területeken viszont, ahol a tektonikai események és az azokat követő fizikai és kémiai mállási folyamatok miatt ásványos összetételében és geotechnikai adottságaiban is teljesen átalakult kőzetváltozatokat tárnak fel az NRHT vágatai, lehet érdemi statikai módosító hatása egy ilyen havária eseménynek. A jelen cikkben ezért egy ilyen, agyagos, vetőbreccsás, többé-kevésbé elmállott gránit tömböket is tartalmazó, az NRHT tárolókamrái szempontjából is kiemelt fontosságú törésrendszer, az ún. Patrik-törés kőzetanyagának ilyen vizsgálatai kerültek elvégzésre.



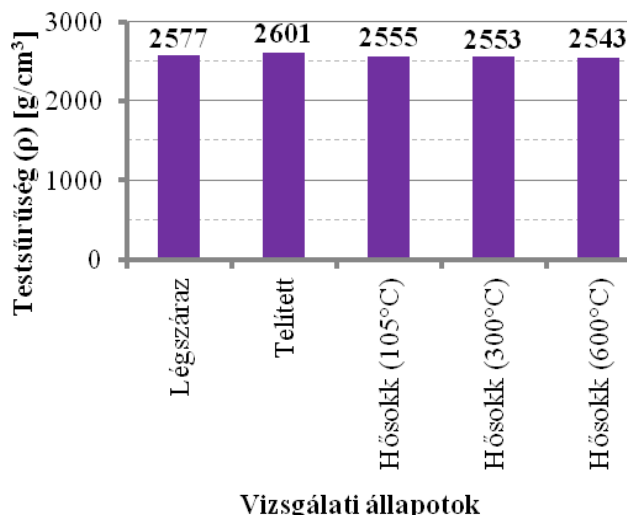
2. ábra. A vizsgált kőzet származási helye és szövete (The fabric and the location of analyzed rock)

A vizsgálatokat a Mórági rög területén elhelyezkedő Bataapátiból származó, rózsaszínes, finom kristályos szövetű, kissé porfiros jellegű grániton hajtottuk végre (2. ábra). A gránit hőmérséklet-növekedés hatására bekövetkező viselkedésének és kőzetfizikai paramétereinek változásának megfigyelésére, 22 °C (légszáraz állapotban normál hőmérséklet), 105 °C, 300 °C és 600 °C hőmérsékletnek kitettük ki a mintákat, valamint a víztelítés hatását is vizsgáltuk. A rendelkezésünkre álló, ebből a kőzetből már 3 évvel korábban elkészített, hengeres magminták és egy nyitott területen tárolt kőzettömb segítségével további információkhoz juthattunk az időjárás kőzetfizikai paraméterekre gyakorolt hatásairól. A roncsolásmentes vizsgálatok közül az ultrahang terjedési sebességre, testsűrűségre vonatkozót, míg a szilárdsági vizsgálatok közül az egyirányú nyomószilárdság és a közvetett húzószilárdság mérését végeztük el a grániton (Török et al. 2013).

3 LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYE ÉS ÉRTÉKELÉSE

3.1 Testsűrűség

Az öt állapot függvényében ábrázolva az egyes próbatestek testsűrűségének átlagát, megállapítható a víztelítés és a hőszokk hatásának csekélyisége. A hő hatására kismértékű ($< 1,5\%$) testsűrűség-csökkenés, míg telítés hatására kismértékű ($< 1\%$) testsűrűség növekedés tapasztalható a légszáraz állapothoz képest (3. ábra).



3. ábra. A testsűrűség a vizsgálati állapotok függvényében (*The bulk density at different test conditions*)

A próbatestek testsűrűségét alapvetően nem befolyásolja, hogy azok légszáraz állapotban vannak, vagy bármilyen hőmérsékletű hőszokkot alkalmazunk rajtuk. A telített állapot testsűrűségének kismértékű emelkedése azt mutatja, hogy a vizsgált közet nagyon kicsi közlekedő porozitással rendelkezik.

3.2 Ultrahang terjedési sebesség

A roncsolásmentes vizsgálatok közül elvégzett ultrahangterjedéses vizsgálat eredményei a teljes mintacsoportra vonatkozóan nagy szórást mutatott. Az 1:1 és a 2:1 magasság:átmérő arányú minták testsűrűségének és az azokban terjedő ultrahang sebességének szórása közel megegyezik (az eltérés kisebb, mint 0,01). Ez a kicsi eltérés azt jelzi, hogy az időjárás pár éves közetre gyakorolt hatása elhanyagolható.

Megállapítható, hogy az 1:1 arányú minták esetében a testsűrűség változása csak kis mértékben befolyásolja a mintákban haladó ultrahang terjedési sebességét. Ezzel szemben a 2:1 arányú próbatestek csoportjánál a testsűrűség kismértékű változása már lényegesen nagyobb terjedési sebességet eredményez (4. ábra). A jelenség magyarázataként az szolgálhat, hogy a nagyobb mintákban nagyobb valószínűséggel fordulnak elő anyagi folytonossági hibák, melyekben a lassabban terjed az ultrahang.

Az ultrahang terjedési sebessége jelentős mértékben függ a próbatestek vizsgálati állapotától. A légszáraz állapothoz viszonyítva a telített állapotban a terjedési sebesség 20%-kal megnő, melynek oka, hogy a repedéseket kitöltő vízben nagyobb sebességgel képes haladni a hanghullám, mint a levegőben. A 105°C-kal hőszokkolt mintákon még (6%-kal) gyorsabban halad át a hullám a légszáraz állapothoz képest, azonban megfigyelhető az a tendencia, hogy minél magasabb hőszokk éri a mintát, annál kisebb abban az ultrahang terjedési sebessége (5. ábra).

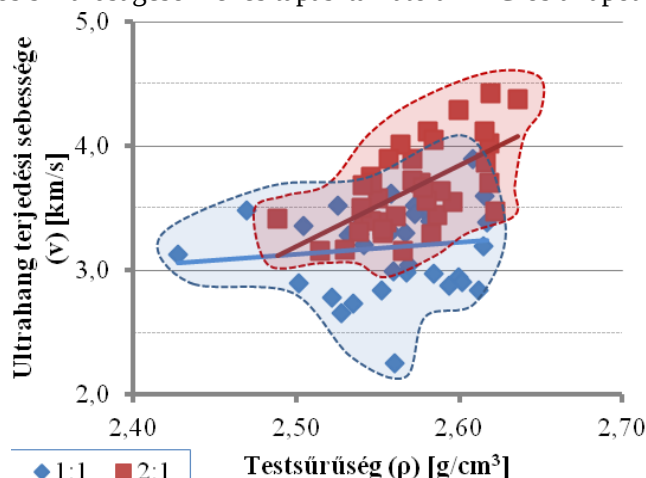
3.3 Egyirányú nyomószilárdság

A vizsgálatok alapján a gránit nyomószilárdsága légszáraz állapotban lényegesen a várt érték alatt maradt: annak mintegy felét-harmadát mértük. A mért értékek szabványos méretű és arányú próbatestekre való átszámításával az 5 cm átmérőjű mintákon átlagosan 44,3 MPa, míg a 3,6 cm átmérőjűeken 54,1 MPa szilárdságot kaptunk.

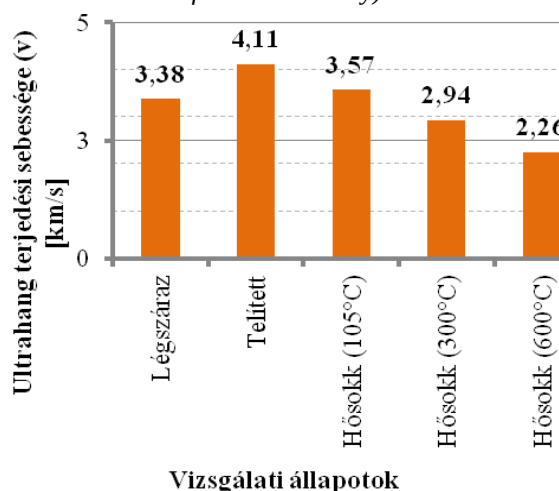
A különböző átmérőjű minták szilárdsági eredményeinek eltérését okozhatja a mérőhatás jelensége. A nagyobb mintákban nagyobb valószínűséggel fordulnak elő anyag- és folytonossági hibák, melyek csökkentik a minta szilárdságát. Azonban a nagyobb mintákban az ultrahang közel 10%-kal gyorsabban terjed. Ebből arra lehet következtetni, hogy a nagyobb minták kevesebb anyaghibával

rendelkeznek, mint a kisebb átmérőjűek. A mérőhatás mellett jelen esetben nagyobb szerepet játszhat az időjárás hatása, hiszen a 3,6 cm átmérőjű próbatestek a természeti erők által munkált kőzettömbből származtak.

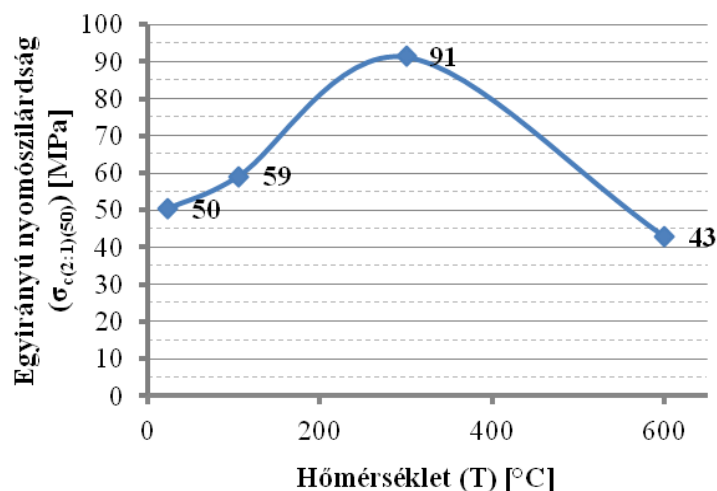
A hőmérséklet hatására az egyirányú nyomószilárdság a várt trendet követi (6. ábra). A kezdeti hőmérséklettartományban (~300°C-ig) a nyomószilárdság 80%-kal megnőtt, majd magasabb, 600°C-os hőmérsékleten 15%-os szilárdságcsökkenés tapasztalható a 22°C-os állapothoz képest.



4. ábra. Az ultrahang terjedési sebessége a testsűrűség függvényében (*The ultrasonic pulse velocity as a function of the bulk density*)



5. ábra. Az ultrahang terjedési sebessége a vizsgálati állapotokban (*The ultrasonic pulse velocity in the test conditions*)

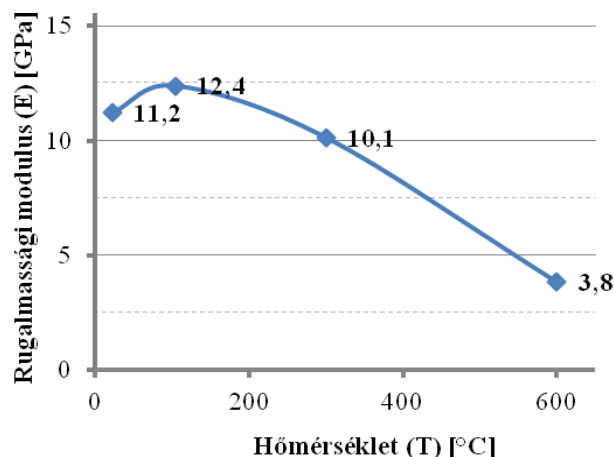


6. ábra. A mért egyirányú nyomószilárdság hőmérsékletfüggése (*The measured uniaxial compressive strength vs. temperature*)

3.4 Rugalmassági modulus

Az egyirányú nyomószilárdság vizsgálata során mért axiális és laterális alakváltozások segítségével meghatározható a rugalmassági modulus és Poisson-tényező.

Több külföldi vizsgálat kimutatta, hogy $\sim 300^\circ\text{C}$ -ig a kőzetek rugalmassági modulusa változatos trendet követ, de ezen hőmérséklet fölött drasztikus csökkenés tapasztalható gránitok esetében (Dwivedi et al. 2008). A vizsgált minták alapján, a Bátaapátiból származó gránit rugalmassági modulusa 105°C -ig 10%-os növekedést mutat, majd 600°C -ig 65%-os csökkenés következik be (7. ábra). A Bátaapátiból származó gránit rugalmassági modulusa légszáraz állapotban 11,21 GPa-ra adódott.

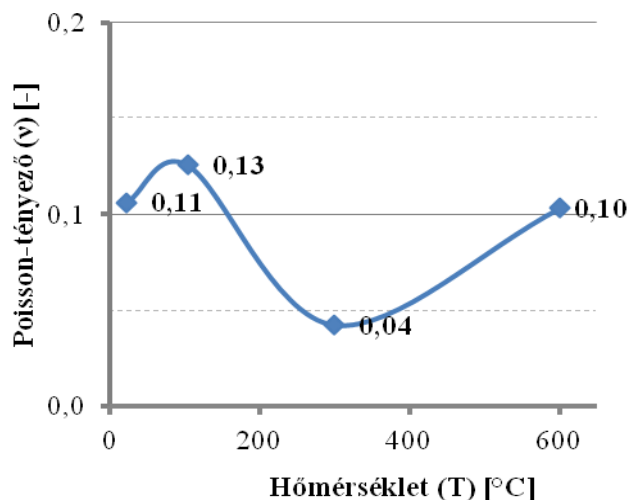


7. ábra. A Bátaapátiból származó gránit rugalmassági modulusának hőmérsékletfüggése (*The Young modulus of the granite from Bátaapáti vs. temperature*)

3.5 Poisson-tényező

A rugalmassági modulushoz hasonlóan a Poisson-tényező hőmérséklettől való függését is több kutató vizsgálta. Általánosságban a gránit típusától függ, hogy a hőmérséklet emelkedésével a tényező értéke nő, vagy csökken. Több külföldi gránit mutat csökkenő tendenciát, de a csökkenés mértéke a gránit típusától függ (Heuze 1983).

A bátaapáti gránit Poisson-tényezője 105°C -ig 18%-ot nő majd, 600°C -hoz érve visszaesik a légszáraz állapothoz tartozó értékre. A két említett hőmérséklet között értéke jelentősen (60%-kal) lecsökken (8. ábra). A Bátaapátiból származó gránit Poisson-tényezője légszáraz állapotban 0,11.



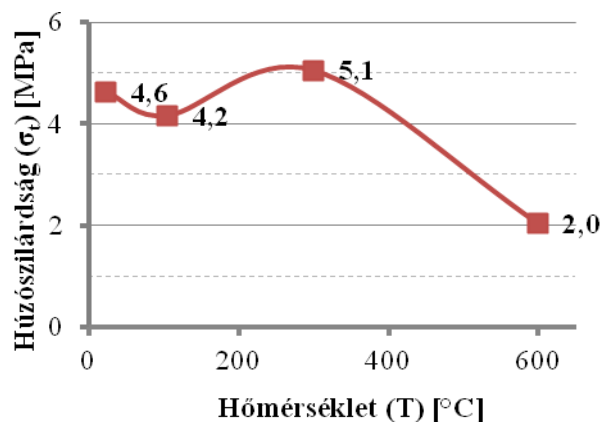
8. ábra. A Bátaapátiból származó gránit Poisson-tényezőjének hőmérsékletfüggése (*The Poisson ratio of the granite from Bátaapáti vs. temperature*)

3.6 Húzószilárdság

A vizsgálat eredményei (9. ábra) a várt trendet követik: a kezdeti szakaszban, 105°C -os hőhatásig enyhe csökkenés, majd 300°C -os hőssokkig enyhe növekedés figyelhető meg a húzószilárdság értékében. A 600°C -kal hőssokkolt minták húzószilárdsága már 56%-kal kisebbek, mint a

kontrollcsoporté, ezáltal ez az állapot rendelkezik a legkisebb szilárdsággal. A telített minták mintegy 30%-kal kisebb húzószilárdsági eredményekkel rendelkeznek, mint a légszáraz állapotúak.

A tapasztalat szerint a húzószilárdság a nyomószilárdság értékének $\frac{1}{10}$ -e körül van, és ez az arány jelen esetben is fenn áll. Ettől csupán a 300°C-on melegített minták eredményeinek aránya ($\frac{1}{18}$) és a 600°C-os minták aránya ($\frac{1}{21}$) tér el jelentősen. A közetire vonatkozó Brinke-féle szám 10,9-re adódott, mely átlagosnak tekinthető.



9. ábra. A Bataapátiból származó gránit húzószilárdságának hőmérsékletfüggése (*The tensile strength of the granite from Bataapáti vs. temperature*)

4 AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Korábbi külföldi kutatók által több gránittípuson elvégzett vizsgálatok eredményeivel összhangban vannak a Patrik-törésből származó, kissé mállott, agyagos kőzetén végzett vizsgálatok eredményei. A hőmérséklet emelkedésével a rugalmassági modulus, az egyirányú nyomószilárdság és a húzószilárdság csökkenése volt tapasztalható. Ezen paraméterek összhangban vannak más típusú gránitok által mutatott változásokkal (Dwivedi et al. 2008). A hőterhelés hatására a kezdeti hőmérséklettartományban (200-300°C-ig) a szilárdsági paraméterek nagyobb részben nőttek. A nyomószilárdság értékében nagyobb mértékű változás következett be, mint a húzószilárdságban. A hő emelkedésével ellentétes hatást váltott ki a víztelítés, hiszen a légszáraz állapothoz képest valamennyi szilárdsági paraméter csökkent.

Míg a mérési eredmények jól követik a várt trendeket, az egyes közetfizikai paraméterek nagyságának elmaradása a gránitra jellemző értékektől a kőzet ásványos összetételével és szövetével magyarázható.

Más összetételű gránitminták vizsgálatával pontosítható lenne a hőhatás szöveti és ásványos összetételtől függő mértéke. Ezáltal megállapítható lenne a magasabb hőmérsékleti tartományokban (300°C felett) az a hőmérsékleti határ, amely felett a szilárdság csökkenése bekövetkezik. Továbbá a gránithoz hasonlóan - más kőzetek ilyen jellegű vizsgálata is indokolt lehet.

Megállapítható, hogy egy vágatban bekövetkező havária eset (tűz) során keletkező hő hatására a befogadó kőzet tulajdonságai, szilárdsági jellemzői megváltoznak, jellemzően romlanak.

5 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A laboratóriumi munkánk során nyújtott segítségért köszönettel tartozunk Emszt Gyulának, Pálinkás Bálintnak, Gál Emesének, Hajdú Xéniának és Vattai Alinának. Továbbá köszönettel tartozunk Dr. Görög Péternek és Dr. Lublőy Évának a kutatás során nyújtott hasznos tanácsokért.

6 IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- Dwivedi, R.D., Goel, R.K., Prasad, V.V.R., Sinha, A. 2008. Thermo-mechanical properties of Indian and other granites.: *Int. J. Rock Mech. Mining Scie*, **45**(3): 303-315.
- Heuze, F. E. 1983. High-temperature Mechanical, Physical and Thermal Properties of Granitic Rocks - A review. *Int. J. Rock Mech. Mining Scie. & Geomech. Abstracts*, **20**(1): 3-10.
- Langer, M., 1999. Principles of geomechanical safety assessment for radioactive waste disposal in salt structures. *Engng Geology*, **52**, 257-269.
- Török A., Görög P., Török Á. 2012: *Hő hatására bekövetkező közetfizikai változások gránitos kőzetkörnyezetben*. 3. Kézdi Konferencia, Nagy L., Takács A. (szerk.), BME Geotechnikai Tsz, 49-62.
- Török Á. 2012. Radioaktív hulladékok elhelyezésének lehetőségei. *Kőzetmechanika és kőzetkörnyezet szerepe a radioaktív hulladéklerakók kialakításánál*, Török Á., Görög P. (szerk.), TERC Kft., Budapest, 5-15.