

# A Bátaapátiban tervezett radioaktív hulladéklerakó vágatrendszerének deformációjának mérnökgeológiai vizsgálata és modellezése

Mészáros Eszter

Kőmérő Kft., Pécs, eszter.mesz@yahoo.com

Török Ákos

BME, Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tsz., torokakos@mail.bme.hu

**ÖSSZEFOGLALÁS:** Radioaktív hulladéktároló biztonságát a kőzetkörnyezet viselkedése és annak tagoltsági viszonyai, repedezettsége döntően befolyásolja. A Bátaapáti térségében található granitoid kőzetkörnyezet természetes állapota mellett az EDZ (Excavation Disturbed Zone), azaz a jövesztés által megzavart zóna viselkedésének megértése, a kőzetkörnyezetben végbemenő deformációs folyamatok bemutatása a jelen cikk célja, koncentrálna a 7. összekötő vágat és a Kishurok (a lejtősaknák folytatásaként kialakítandó vágatok és a közbezárt kiszolgáló létesítmények) Keleti alapvágat térségére. A deformációs folyamatok értelmezéséhez a térségbe telepített műszerek mérési eredményei, valamint az ezek felhasználásával készült modell szolgált. A helyszíni mérések és a modell eredményeinek összevetésével az előzetes tervezési paraméterek helyességére és a modell felhasználhatóságára vonatkozó következtetéseket vontunk le. A téma feldolgozása elsősorban a beruházás kapcsán készült, a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. engedélyezésével rendelkezésünkre bocsátott dokumentumok felhasználásával készült. A mérési és a modellezéshez szükséges adatokat, valamint a modellezéshez használt szoftvert a beruházásban tervezőként és tanácsadóként résztvevő Mott MacDonald Magyarország Kft. (MMM) biztosította.

*Kulcsszavak:* Bátaapáti, deformáció mérés, végeselemes modellezés

## 1 BEVEZETÉS

A Tolna megyei Bátaapáti község térségében épül Magyarország első felszín alatti radioaktív hulladéktárolója, ami a paksi atomerőmű működése során termelődött és termelőző kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére szolgál majd. A tervezés és kivitelezés során a szakemberek komplex geológiai, geotechnikai és hidrogeológiai feladat megoldásával állnak szemben, mivel a radioaktív hulladékok tárolóinak bonyolult követelményrendszert kell kielégíteniük.

A hulladéklerakó tárolóterét két lejtősaknával közelítik meg. A lejtősaknák kihajtása során folyamatos vizsgálatokat és méréseket végeznek a kőzetkörnyezet állapotának, a vágathajtás hatására végbemenő reakciójának megismerésére. Ezekhez a geotechnikai dokumentálások, helyszíni deformációvizsgálatok és a kőzetek laborvizsgálatainak eredményei nyújtanak információkat. A cél- az alapvágatok biztonságának ellenőrzésén túl- a kőzetkörnyezet minél alaposabb megismerése, ezáltal a tárolóter optimális elhelyezésének megtalálása és a tervezéshez szükséges adatok minél pontosabb biztosítása a helyes mérnökgeológiai modell felépítéséhez.

Az eredményes kalibrálás biztosítja, hogy a tervezés további szakaszaiban felhasználhatóak legyenek a modellezési eredmények, így elősegítve a Bátaapáti Nemzeti Radioaktív Hulladéktároló kiviteli terveinek optimalizálását.

## 2 RADIOAKTÍV HULLADÉK ELHELYEZÉSRŐL HAZÁNKBAN

A 19. század végén a röntgensugárzás, majd a 20. század elején a radioaktivitás felfedezése a fizikusok mellett lázba hozta az orvosi társadalmat is, felhasználásuk gyorsan terjedt az orvostudomány terü-

letén. Ekkor azonban még nem fordítottak gondot a sugárvédelemre. A radioaktív hulladékok gyűjtése 1945-ben kezdődött meg az Országos Onkológiai Intézet területén.

A tudomány továbbfejlődésével 1959-ben megépült a Budapest Reaktor, amely a legfőbb nukleáris hulladéktermelőnké vált, így a sugárzó hulladékokat oda szállították és ott tárolták két éven át. 1960-ban ugyanis üzembe lépett az első, radioaktív hulladéktárolás céljára épült létesítmény, a Solymári Kísérleti Izotóptemető. Később, a bővítés lehetőségére irányuló kutatások során azonban a szakemberek úgy döntöttek, hogy a terjeszkedő főváros közelsége és a talaj vízzárásának elégtelensége miatt nem üzemeltetik tovább a tárolót.

Az Országos Atomenergia Bizottság megbízásából új nukleáris hulladéktárolót kezdtek építeni Püspökszilágyiban, ami 1976 végére készült el, így a Solymári Kísérleti Izotóptemetőt felszámolták. Úgy tűnt, a 3540 m<sup>3</sup> tárolókapacitású Püspökszilágyi hulladéklerakóval hosszú időre megoldódott a hulladékkezelés problémája, hiszen a radioaktív anyagok kibővült felhasználása mellett (pl. mezőgazdaság, ipar, élelmiszeripar, orvosi eszközök és műszerek gyártása, régészet) az éves szinten előálló kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék mintegy 10-30m<sup>3</sup> re volt tehető Magyarországon.

A Paksi atomerőmű 1982-es üzemelépésével azonban az országban keletkező kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok mennyisége megsokszorozódott. Elhelyezésük, más megoldás nem lévén, a Püspökszilágyi tárolóban kezdődött meg, ám az nem volt bővíthető olyan mértékben, hogy az erőmű teljes élettartama alatt fogadhassa a hulladékot, valamint a nagy közúti távolság is ezen megoldás ellen szólt. Az önálló tároló építésére tett kísérletek 1990-ben Ófalu nemleges válaszával megbuktak. Eközben lakossági tiltakozások miatt 3 évig szüneteltetni kellett a hulladékok szállítását Püspökszilágyiba, így az erőmű helyzete tovább nehezedett.



**1. ábra:** Mezőföld és környéke, a hulladéklerakás céljára kiválasztott helyszínek (www1 nyomán)

Időközben felismerték, hogy a radioaktív hulladékok elhelyezésének kérdése nem csak az atomerőmű, hanem az egész ország ügye. Így 1993-ban megalakult a Tárcaközi Célprojekt (későbbi nevén Nemzeti Projekt), amelynek keretén belül vizsgálták a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésének lehetőségeit. Kiválasztották Diósberényt, Németskért, Udvarit (felszíni lösz), és Bábaapáti-Mórággy térségét. (1. ábra) A Nemzeti Célprogram Irányító Testület 1996 végén a földtani kutatások, a biztonsági elemzések és a lakossági fogadtatás figyelembevételével hozott döntésében kimondta, hogy felszín alatti telephely továbbkutatását javasolja a Mórággyi Komplexum gránitjában, Bábaapáti térségében. Ezt követően a területen megindultak a részletes földtani vizsgálatok, a telephely alkalmas és potenciális területének kijelölése, majd annak részletes kutatási programja (felszíni és felszín alatti kutatás).

### 3 HELYSZÍN ÉS A GRANITOID KÖZETEK JELLEMZÉSE

A radioaktív hulladékok elhelyezésére szolgáló létesítményeknek előírt földtani követelményeknek kell megfelelni, melyeket Fábíán et al (2006) és Szűcs et al (2004-2007) részletesen bemutat a kapcsolódó jogszabályokkal együtt. Ennek megfelelően vizsgálni kell a terület geomorfológiai, földtani-tektonikai, vízföldtani viszonyait és a geológiáját, melyekről az alábbiakban rövid összefoglalót adunk.

#### 3.1 Geomorfológia

A bábaapáti telephely földrajzilag a Geresdi-dombsághoz, földtanilag a Mórággyi-röghöz tartozik, azok ÉK-i részén terül el.

A területet mély, meredek falú völgyek sűrű hálózata, tört vagy kettősen tört lejtők jellemzik.

A lejtők formálását a csuszamlások és vízmosások végzik. Vízfolyásokkal rendelkező és szárazvölgyek egyaránt találhatóak a területen. A felületi erózió a lejtőkön csekély az erdős borítás miatt, egye-

dül a lejtők alsó meredek sávjában, a völgyoldalak mentén intenzív. A vonalas erózió, a völgyfők hátrálása, a barázdák és árkok mélyülése által viszont erőteljesen pusztulnak a lejtők Balla (2008) szerint.

### 3.2 Földtan-tektonika

A Mórággyi-rög fő tömegét alkotó paleozoos gránitképződményeket Mórággyi Gránit Formáció néven jegyzik. Az eredeti magmás test méretei ismeretlenek, de a jelenlegi felszínen látható 7x18 km-es kiterjedésnél jóval nagyobb lehetett. Balla (2004) szerint a Mórággyi Gránit Formáció valószínűleg az alpi gyűrődés következtében allochton helyzetben települ.

A gránitkőzetek a 270-280 m magas dombtetők alatt mintegy 220-230 m mélységben vannak, feletük a Tengelici Vörösagyag Formáció települ, amelyet a felszín felé tovább haladva fokozatos átmenettel a Paksi Löss formáció vált fel.

A Mórággyi Gránit Formáció magmás képződményeit sűrűn szövik át repedések, amelyek a repedés-kitöltés anyagától függően jelentősen befolyásolhatják a kőzet hidraulikai és kőzetmechanikai tulajdonságait.

Az alaphegység felszínén kb. 1,2 km<sup>2</sup>-es kiterjedésű monzonitos test körvonalazódik a telephely körzetében. A monzonitos test a Mecsekalja övvel párhuzamos ÉK-DNY-i irányú megnyúltságot mutat.

Balla (2004) írja, hogy a töréses övek a földtani felépítés és vízföldtani jelleg szempontjából a telephely legkritikusabb elemei, sokaságuk és változatosságuk pedig nehézzé teszi értékelésüket.

A kőzettelérek két típusának (a Mórággyi Gránit Formáció leukokrata telérei és a kréta korú Rozsdásserpenyői Formáció trachiandezit telérei) uralkodó iránya Balla (2004) alapján egyaránt ÉK-DNY-i, vagyis a kőzettani határok, a palásság és a töréses övek fő irányát követi.

A telephelyen és szorosabb környezetében nem ismernek az utolsó 800 000 évben kiújult törést. A telephelyen 100 000 évnél fiatalabb elmozdulás kizárható.

### 3.3 Vízföldtan

A telephelyen és környékén a talajvízszint 20-70 m mélységben, többnyire a mállott gránitban van, éves ingadozása 1-2 m. Az üde gránitba a beszivárgott víznek csak 4-5 százaléka jut el, ami 1,0-1,2 mm/év értéket jelent. Az üde gránitból a völgyek alatti mállott zónába feláramló vizek a mállott zóna ottani vízforgalmának legfeljebb 5-6 százalékát teszik ki.

A vizsgálatok alapján úgy tűnik, hogy a több 100 méter kiterjedésű fő vízvezető elemekhez kiterjedt háttérrepedés-hálózat kapcsolódik Balla (2004) alapján.

A térbeli áramlási potenciálkép meglehetősen változatos. A telephelyi mélyfúrásokban általában a mélységgel csökkennek a potenciálszintek, ami lefelé irányuló áramlást jelez, de megjelentek már felfelé irányuló áramlási komponensek is.

A fúrások döntő részét 5-20 m-es lépcsőkkel elválasztott, közel állandó potenciálú szakaszok jellemzik, amelyek több tíz métertől 100-150 m hosszúságig terjedhetnek. A potenciállépcsőket torlasztó-szigetelő zónák (erősen bontott, agyagosodott töréses övek) okozzák.

A fő vízvezető elemek átteresztő képessége  $8 \times 10^{-6}$  és  $2 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s között alakul, ami két és fél nagyságrenddel nagyobb a repedezett gránit átlagos vízvezető képességénél.

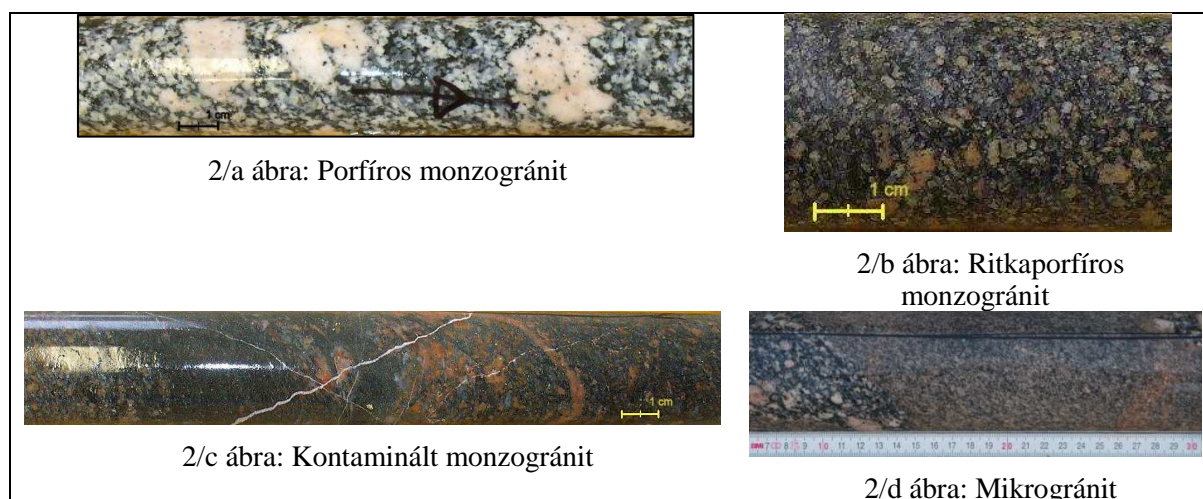
### 3.4 Kőzettani jellemzők

A Mórággyi Gránit Formációt alkotó granitoidtest felzikus és mafikus olvadékból képződött, kőzetei Király és társai (2008) szerint 4 csoportra oszthatók. A felzikus olvadékból létrejött kőzete a monzogránitos kőzetcsoport (1), míg a mafikus olvadékból a monzonitos kőzetcsoport (2) kristályosodott ki. A kétféle olvadék keveredéséből, egymásra hatásából jöttek létre az átmeneti, hibrid kőzetcsoportok (3). Későmágyas testként jelennek meg a leukokrata testek, szegregációk, és telérek (4). Ezen kívül megjelennek hidrotermális erek és elváltozások, alkálivulkanit telérek, továbbá metahomokkő, de ezeket nem a Mórággyi Gránit Formáció részeként jegyzik.

Az egyes kőzetek makroszkópos tulajdonságait részletesen Király et al. (2008) írják le. Ezt felhasználva készítettünk egy összefoglaló táblázatot az (1)-(2) kőzetcsoportok bemutatására (1. táblázat). Az 2/a-d. számú ábrák a helyszínen mélyített fúrások magmintáiból mutatnak be néhány kőzetfajtát tipikus példákkal.

**1. táblázat:** A monzogranitos és monzonitos kőzetcsoportok (Balla 2004 és Balla et al. 2008, Király et al. 2008 nyomán) főbb tulajdonságai a makroszkópos leírások alapján

Kőzetcsoportok		Monzogranitos kőzetcsoport		Monzonitos kőzetcsoport		
		Porfíros	Ritkaporfíros	Finom-	Apró-	Közép-
Tulajdonságok		monzogranit		szemcsés		
Szín		világosszürke, szürke, de mállás, kőzetbontás hatására vörösesbarna vagy barnásszürke	világosszürke, szürke, de oxidációs folyamatok hatására gyakran vörösesbarna, barnásszürke	fekete, sötétszürke, gyakran zöldes árnyalatú	sötétszürke, zöldesszürke, banásszürke	sötétszürke, szürke, gyakran zöldes árnyalattal
Mikrolin megakristályok	mérete	14-45 mm	20-50 mm	-	-	-
	menynysége	5-27 %	nem haladja meg az 5%-ot (így különböztetik meg a porfíros monzogranittól)	-	-	-
Szövet		legelterjedtebb változatai közép- és durvaszemcsések, szövetük porfíros hipidiomorf,	leggyakrabban közép-szemcsés, hipidiomorf	finom-, porfíros xenomorf-hipidiomorf szemcsés	apró-, hipidiomorf-vagy xenomorf szemcsés	közép-, hipidiomorf-xenomorf szemcsés
Szerkezet		ált. irányított szerkezetű	ált. irányított palás szerkezetű	irányított szerkezetű	-	-
Kvarctartalom		10-25 %, többnyire finomszemcsés	átlagosan 12 %, néhol eléri a 25 %-ot is	-	-	-
Színesásvány tartalom		20-40 %; többnyire biotit, néhol amfibol	20-40 %; többnyire biotit, néhol amfibol	biotit: átlagosan 38%; amfibol: 14%;	amfibol és biotit 30-50% között	amfibol, biotit 30-50%, fennmaradó % xenomorf, esetleg földpát, kvarc



**2. ábra:** Néhány jellemző kőzetfajta megjelenése a fúrásmagokban (Király et al. 2008)

## 4 VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

### 4.1 Geotechnikai vizsgálatok

A közetkörnyezet megismerésére, geotechnikai adatok gyűjtésére felszíni fúrásokat mélyítenek, illetve felszín alatti vizsgálatokat végeznek. A felszín alatti vizsgálatok részei az előfúrások, szondafúrások (az előfúrás nélküli vágatszszakaszokon) és a vájvég-dokumentáció. A fotódokumentálás a kőzet-

törmelékek kiszállítása után történik meg, majd a löttbeton biztosítás felhordása után lehetőség nyílik a homlok közvetlen vizsgálatára, így a tagoltságok megnyíltságának, felületi jellemzőinek (érdesség, mállottság), a kitöltések anyagának és vastagságának meghatározására, melyhez útmutatóul szolgál Gálos és Vásárhelyi (2006), valamint Gálos és Kertész (2007). A tagoló felületek érdességét Barton-fésűvel határozzák meg, a kőzetek és a repedéskitöltő anyagok pontosabb vizsgálatához pedig szükség esetén mintákat vesznek.

A geotechnikai vájvég-dokumentáláshoz 2006-tól a 3G Software & Measurement által fejlesztett JointMetriX<sup>3D</sup> nevű vágatszkenner alkalmazták Bábaapátiban amiről Deák és Molnos (2007) ír. E modern rendszer előnyei közé tartozik a gyors, nagy mennyiségű adatgyűjtés mellett az objektivitás a dokumentálás során, valamint az elérhetetlen, például omlásveszélyes területekről való, szintén részletes adatszolgáltatás.

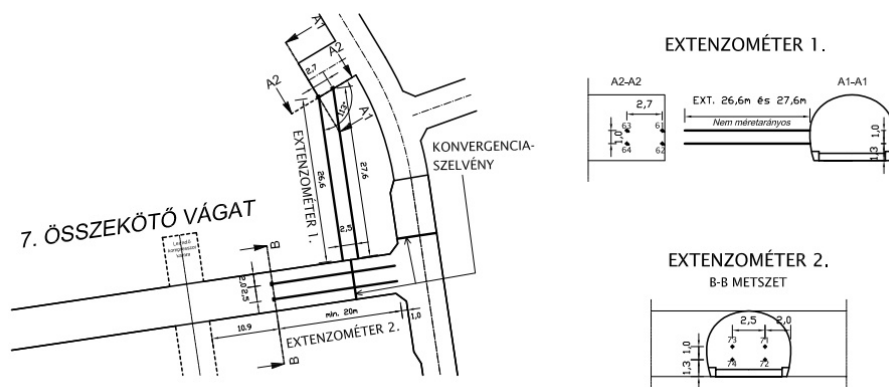
Mivel vájvég-dokumentálás esetén sokkal nagyobb szelvény adott, mint az előfúrások átmérője, nagyobb mennyiségű adat gyűjthető a kőzetekről és törésrendszerekről. Így az ezekből kapott eredmények alapján felülbírálnak az előfúrásokból kapott értékek, amennyiben azok különböznek.

#### 4.2 Deformáció mérés

A vágat előrehaladásával párhuzamosan végbemenő deformációs mozgások leírásához a kőzetköpeny radiális irányú elmozdulásainak mérésére szolgáló eszközöket, nevezetesen konvergencia-mérő szelvényeket és extenzométereket telepítenek Bábaapátiban, melyekről részletes leírást ad Balla (2008) és Kovács (2008a, 2008b).

A cikkben vizsgált Ext-6 jelzésű extenzométerek a 7. összekötő vágat jövesztésének, az Ext-7 jelzésű extenzométerek a Kishurok Keleti vágatának jövesztése hatására létrejövő elmozdulásokat mérik a vágatfal környezetében. A műszereket a vizsgált vágatokon kívül eső területekről mélyített lyukakban helyezték el olyan módon, hogy az utolsó anker a jövesztett vágat falához közel essen. A telepítési rajz a 3. ábrán látható.

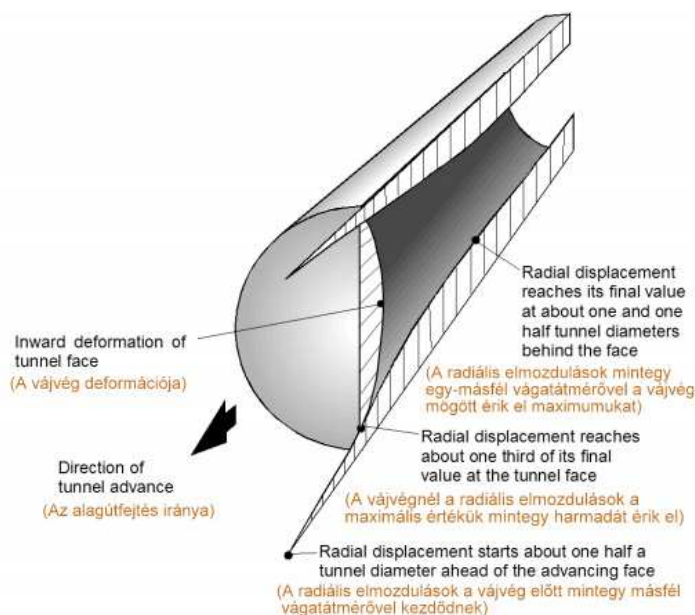
Ez a telepítési mód lehetővé teszi, hogy a mérési szelvény előtti jövesztések hatását is mérjék. A vágatból mélyített extenzométerek csak a mérési szelvényt magába foglaló jövesztést követő robbantások hatásaira végbemenő elmozdulásokat mérik, a mérési szelvényben azonban már korábban is történtek deformációk a megelőző robbantások és a tengely menti feszültségátrendeződések hatására. A feszültségek ugyanis átboltozódnak, a szelvény deformációjának alakulásában nagy szerepe van a homlok megtámasztó hatásának.



**3. ábra:** Bábaapáti Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló Kiviteli Terv 1. ütem, Extenzométer, konvergencia szelvény telepítési rajz, Mott MacDonald Magyarország Kft. nyomán.

A 4. ábra egy kör alakú, gömb feszültségterben lévő alagút él menti deformációját mutatja egy vájvégállásnál. Az ábrán látható és olvasható, hogy a homlok előtt körülbelül másfél vágatátmérőnyi távolságban kezdődnek a deformációk és a homlok mögött egy-másfél vágatátmérőnyi távolságban érik el a maximumukat. Egy szelvény hatásábrája, azaz a vizsgált keresztmetszetben végbemenő deformációk alakulása a vájvég előrehaladásának függvényében az ábrán látható elmozdulásfüggvény kiegészítőjének felel meg. Azaz a deformációk a szelvény elérése előtt körülbelül 1,5 vágatátmérőnyi távolságban kezdődnek és a szelvényen körülbelül másfél vágatátmérőnyi távolságban túlhaladva érik el maximumukat. Így a homlok közvetlen környezetében a deformációk 70 százaléka megy végbe. A további 30 százaléka már a biztosított keresztmetszeten történik, vagyis a teherviselésben már a biztosítás is részt vesz.

Visszatérve az Ext-6 és Ext-7 jelű mérési szelvényekhez, az elrendezésükből adódóan lehetőség lesz a relaxáció mértékének megismerésére. Ez a helyes modellfelépítés szempontjából különösen fontos.



**4. ábra:** Kőzetben fejtett alagút deformáció jelenségének mintája (Hoek, 2000)

## 5 SZOFTVERES FELDOLGOZÁS MÓDSZERTANA

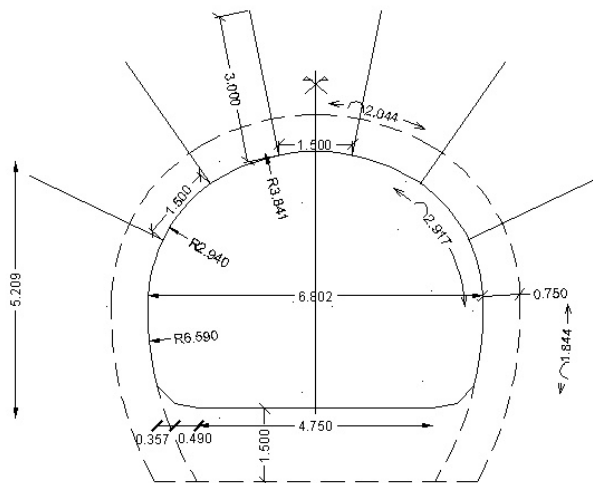
A modellezés a Rocscience Phase<sup>2</sup> nevű végeelemes szoftverrel készült. A modell felépítése során az alábbi egyszerűsítő feltevésekkel és közelítő eljárásokkal élünk:

- Amíg a homloknak megtámasztó hatása van, egy 3 dimenziós (térbeli) jelenségről kell beszélnünk, a 2 dimenziós (síkbeli) modellezés csak annak megszűnte után helyes. A program segédlete ennek feloldására a jövesztett, de még nem biztosított szelvény esetén a szelvény belsejében „puhított talaj” (softened soil) alkalmazását javasolja. A talaj megtámasztása szimulálja a homlok megtámasztó hatását. Ennek mértéke az elemzett extenzométeres adatok alapján vehető fel. A puhított talaj Young modulusának megváltoztatása mellett a vājvég közvetlen közelében és a vājvég távoli helyzetében keletkező elmozdulások arányának, és az extenzométerek által mért értékek arányának összevetésével.
- A robbantás hatására a kőzetek az alagút környezetében roncsolódnak. Ennek figyelembevételére különböző kőzetparamétereket alkalmaztunk az EDZ zóna határán belül és kívül, (5. ábra) a Hoek-Brown paraméterek közt szereplő D (damage index) változtatásával.
- A löttbeton falazatnak még azelőtt részt kell vennie a teherviselésben, minthogy végszilárdságát elérné, ezért a Mott MacDonald Magyarország Kft. szakemberei a modellezések során nem a 28 napos korhoz tartozó Young modulussal számolnak, hanem két vāgatbiztosítási szakasz között eltelt időt veszik alapul.

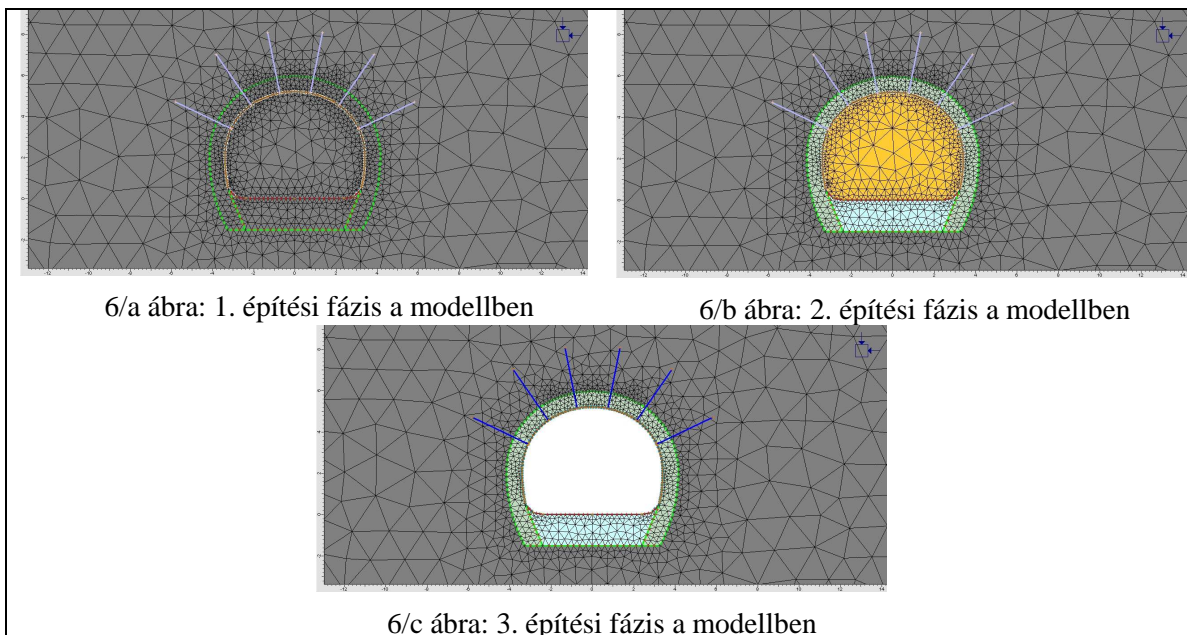
A modellben tehát 3 építési fázis van:

- Kezdeti állapot, ami még a vāgathajtás által érintetlen, nyugalmi állapotot jeleníti meg;
- Közvetlen a vāgathajtás utáni állapot, ami a szelvény jövesztése után a még biztosítatlan szelvény deformációját jeleníti meg;

Végző állapot, (6. ábra) amikor a vāgatbiztosítás – löttbeton és kőzethorgonyok – már be van építve, és a vājvégnek már nincs alátámasztó hatása.



5. ábra: A szelvény méretei, az EDZ (szaggatott) és a közzethorgonyok geometriája



6/a ábra: 1. építési fázis a modellben

6/b ábra: 2. építési fázis a modellben

6/c ábra: 3. építési fázis a modellben

6. ábra: Építési fázisok a modellben

A bemenő adatok közé tartozó Hoek-Brown paraméterek számítása a Q érték alapján történik, az alsó határérték figyelembevételével.

2. táblázat: A Bátaapátiban alkalmazott II-B. és III. kőzetosztályok a Q tényező alapján

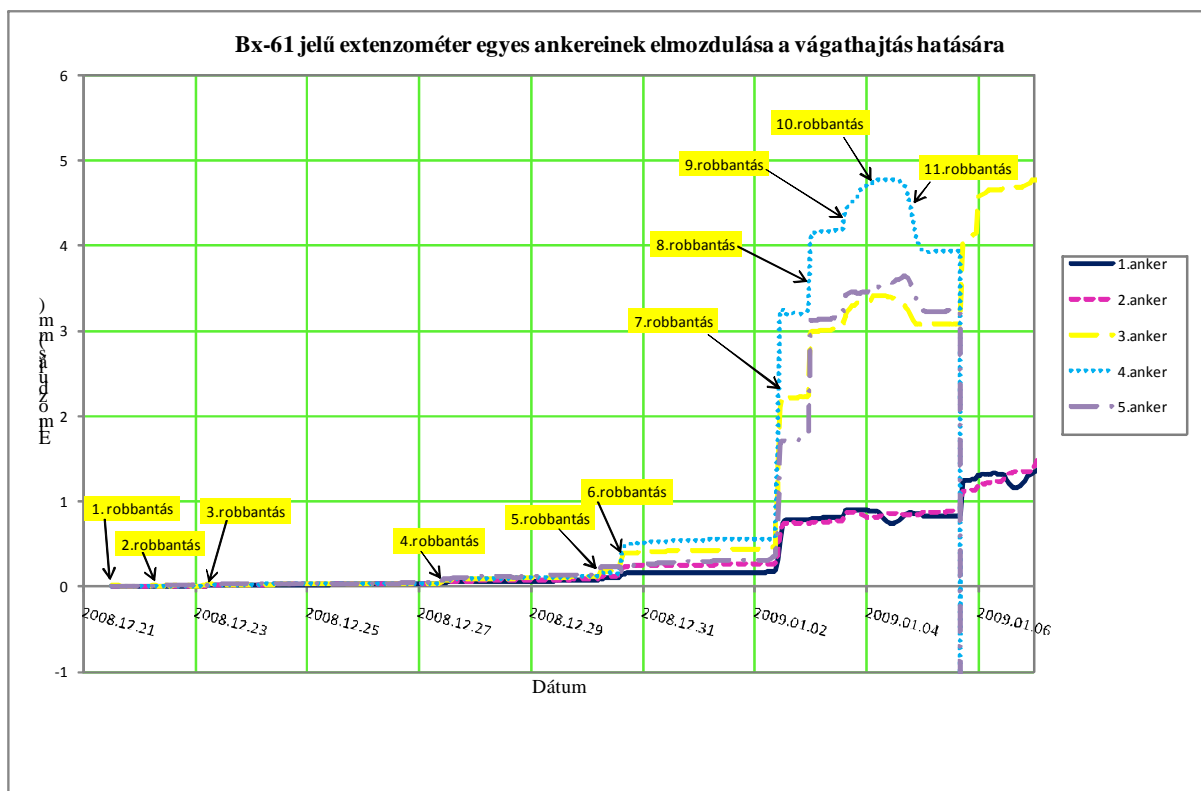
Kőzetosztály	Kőzetjellemzők	Q-érték
II-B.	Tömbös 0,2-0,6m, kissé bontott/mállott	4-1
III.	Kistömbös, blokkos < 0,2 m, közepesen mállott/bontott	1-0,10

A modellezett terület a III. kőzetosztályba tartozik, így az értékeléshez két modell készült, a II-B. és III. kőzetosztályhoz tartozó paraméterekkel. Az adatokat akkor tekinthetők helyesnek, ha a helyszínen mért értékek a két modellből kiolvasott elmozdulásértékek közé esnek.

## 6 EREDMÉNYEK

Az extenzométerek ankereinek elmozdulásait és a mérési időpontokat tartalmazó nyers adatfájlok feldolgozásában nagy segítséget nyújtott Kovács (2008a) tanulmányozása.

A mérési eredményeket az idő függvényében ábrázolva egyértelműen azonosíthatók robbantásokhoz köthető elmozduláslépcsők. Ez azt igazolja, hogy a telepített műszerek alkalmasak a deformáció mérésére. A diagramokról leolvasható, (7. ábra) hogy a kőzetkörnyezet legintenzívebb reakciója a mérési szelvényt elérő és 2-3 követő robbantás esetén mérhető, majd fokozatosan csökken. Az alábbi ábrán a mérési szelvényt magába foglaló jövesztés a 7. robbantás hatására történik meg.



**7. ábra:** Bx-61 jelű extenzométer egyes ankereinek elmozdulása a vágathajtás hatására

Az egyes extenzométerek ankereinek elmozdulását a vájvég és a mérési szelvény relatív távolságának függvényében is ábrázoltuk. Ezek diszkrét pontokból álló diagramok, ahol az egyes pontokat a robbantások közti mérési szakaszok átlaga adja. A pontokra görbített vonalat illesztve előáll a szelvény deformációjának alakulása.

A diagramokról leolvasható, hogy az elmozdulások az elméleti értéknek megfelelően egy-másfél vágatátmérővel (6-9 m) előbb érzetik hatásukat a mérési szelvényben.

Az elmozdulások hosszú távú alakulásával kapcsolatban a legjobb méréssorozatot az Ext-7 jelű extenzométerek szolgáltatatták, az Ext-6 jelű esetén a vájvég csak 4,6 illetve 7,6 m-re került a mérési szelvényektől, továbbá valószínűleg a kihajtott Keleti alapvágat is befolyásolja a deformációk alakulását.

A Bx-71 (8. ábra) illetve Bx-72 jelű extenzométerek esetén látható, hogy az elmozdulások a mérési szelvénytől mintegy 10-12 m-re elérik a maximumukat, illetve változásuk minimális. A mérési szelvénytől kb. 1 m távolságban a teljes elmozdulások mintegy 50-60 százalékát mutatják a diagramok. Ez némileg alacsonyabb a várt 70 százalékos relaxációnál.

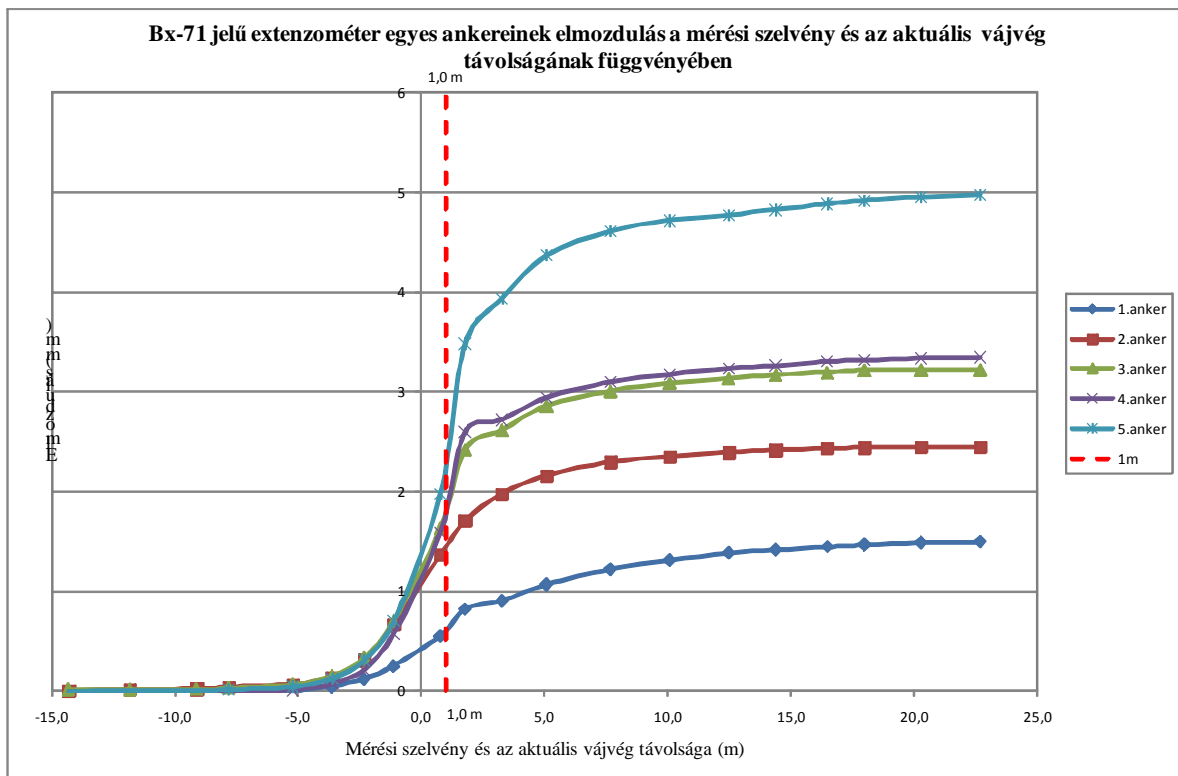
A modellből kapott eredményeket (9. ábra) a helyszínen mért értékeket is ábrázoló diagramokon mutatjuk be.

Az extenzométerek esetében a diagramokon az egyes ankerek elmozdulásai szerepelnek azok vágatfaltól mért távolságának függvényében. A 2. és 3. építési fázis modelleredményeit ábrázoltuk, és a

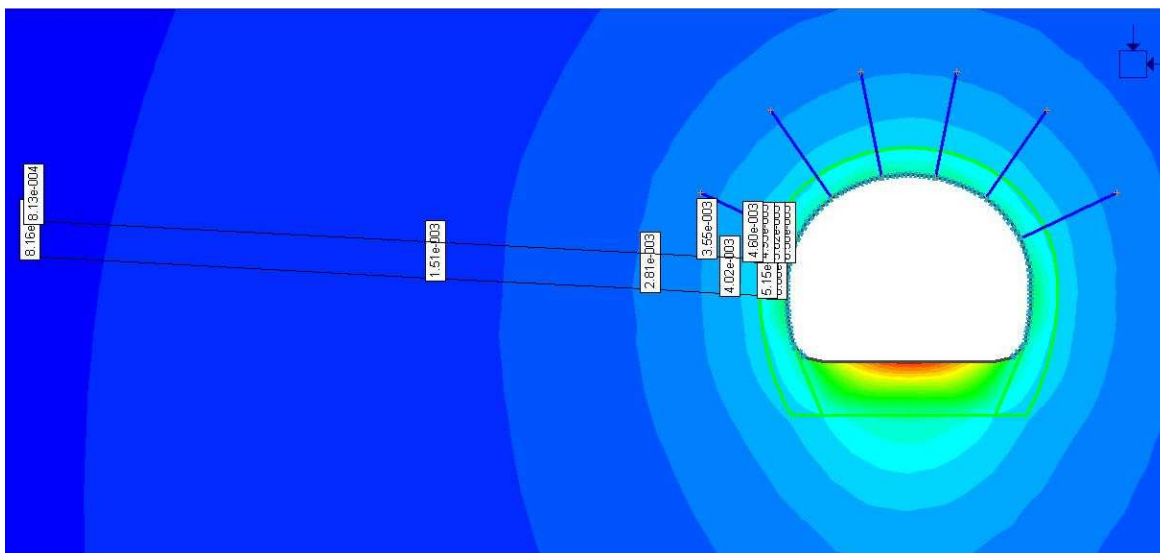
**8. ábra:** Bx-61 jelű extenzométer egyes ankereinek elmozdulása a vágathajtás hatására mért értékeket is ennek megfelelően olvastuk ki az adatfájlból.

A diagramokon látható, (10. ábra) hogy az 5. és 4. ankerek mért elmozdulás értékei a II-B. és a III. kőzetosztályhoz tartozó modellek elmozdulás értékei közé esnek. Az ábrákon látszik, hogy a helyszínen mért elmozdulások nem minden esetben követik a modellbeli elmozdulások alakulását. Ezen esetekben elképzelhető, hogy a kőzetkörnyezet belsejében már más kőzetviszonyok uralkodnak, mint amit a vájvég alapján dokumentáltak, és ezáltal más elmozdulások jöttek létre.

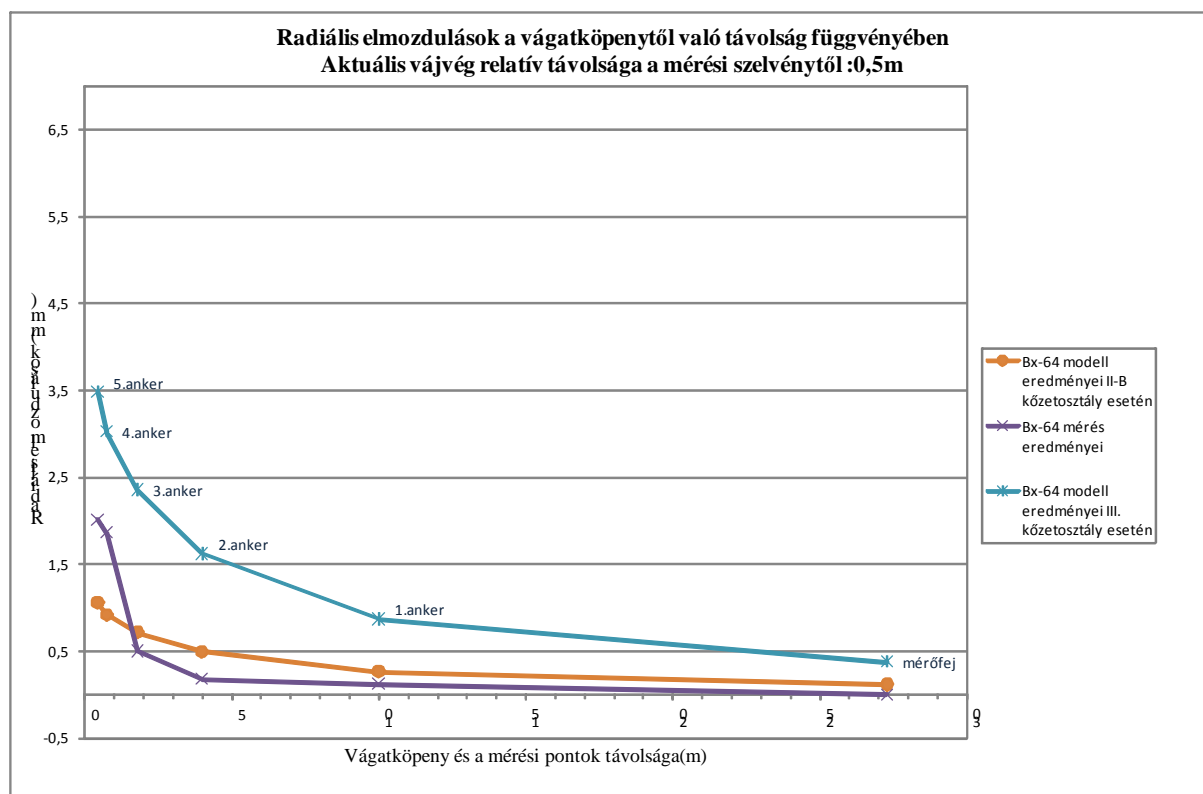




8. ábra: Bx-71 jelű extenzométer egyes ankereinek elmozdulása a mérési szelvény és az aktuális vājvég távolságának függvényében



9. ábra: A 7. extenzométer ankerei elmozdulásának leolvasása a III. kőzetosztályhoz tartozó modellből a 3. fázisban, az extenzométerek egyes ankereinek koordinátáiban



**10. ábra:** Radiális elmozdulások a vágatköpenytől való távolság függvényében

A modellből kapott eredmények a mérőfej esetén nem 0-át adnak. A II-B. kőzetosztály esetén ez az érték csekély, de a III. kőzetosztály esetén már jelentősebb, 0,5 mm körüli, azaz az elmozdulások kiterjedése nagyban függ a kőzetosztálytól.

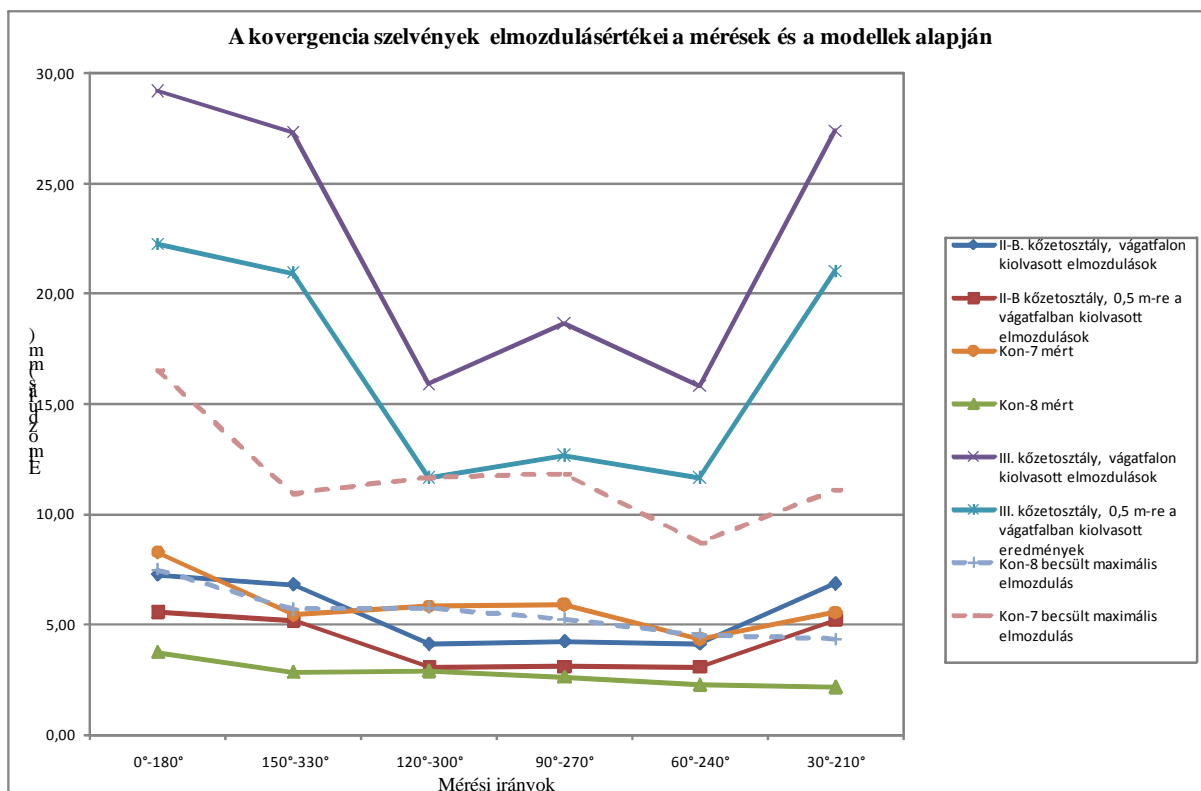
A konvergencia-mérő szelvények eredményeinek értékelését megnehezíti, hogy a mért értékek az egy irányhoz tartozó két szemközti csap együttes elmozdulását adják meg, azok eloszlására nem kapunk információt. Figyelembe véve az extenzométerek értékelt adatait, azaz azt feltételezve, hogy a telepítés előtt a szelvény teljes deformációjának mintegy 50-60 százaléka végbemegy, a 3. és 4. irány mért értékeit ennek megfelelően felszorozva (ezek feleltethetők meg az extenzométerek mért irányainak) egy becsült elmozdulást kapunk.

A konvergencia-mérő szelvény esetén az értékek ábrázolása a mért irányok alapján történik. Itt csak a 3. fázisból leolvasott elmozdulásokat ábrázoltuk, mivel a konvergencia-szelvényeknél nincsen a 2. fázisnak megfeleltethető mért érték.

Az eredmények leolvasása a szelvény mentén, illetve a szelvényen kívül, 0,5 m mélyen a kőzetkörnyezetben történt, mivel a mérőcsapokat 0,5 m mély lyukakba installálják, így nem a köpeny mentén, hanem attól 0,5 m-re mérik a mozgásokat.

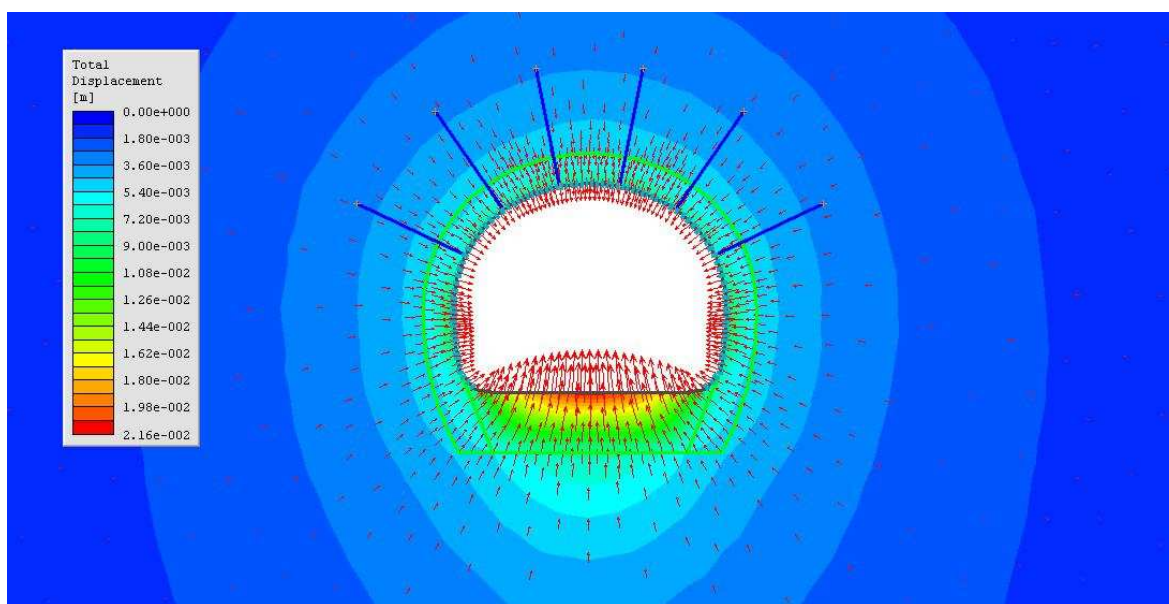
A Kon-7 jelű konvergencia-mérés esetén a mért értékek alapján becsült teljes elmozdulások a modellek eredményei közé esnek, és a 3. irány kivételével jól követik a modellből kapott diagramok alakulását.

A Kon-8 jelű konvergencia szelvényt csak 1,1 m-re telepítették a vágóvégtől, így ott a robbantások hatása kisebb deformációkat okoz, és az elmozdulások jelentős része már lejátszódott. A modelledmények alapján (14. ábra) az is valószínűsíthető, hogy a csapok szilárdabb kőzetben települtek, mert az elmozdulásokat ábrázoló diagram hasonlóan alakul, mint a jobb kőzetparaméterekkel rendelkező II-B. kőzetosztály esetén.



**11. ábra:** A konvergencia szelvények elmozdulásértékei a helyszíni mérések és a modellek alapján

A modellből kapott elmozdulás alakból leolvasható, (15. ábra) hogy a talpon viszonylag nagymértékű felboltozódás megy végbe.



**12. ábra:** Teljes elmozdulások a III. kőzetosztályhoz tartozó modellből a III. fázisban

## 7 KÖVETKEZTETÉSEK

A vágatfal közelében az egyes ankerok mért elmozdulásai a modellből kapott eredmények közé esnek, azaz a felvett közetparaméterek a kőzetkörnyezetet jól jellemzik, a kiindulási feltételeink és közetparamétereink helyesnek bizonyultak.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a Phase<sup>2</sup> szoftver alkalmas a vágatdeformáció modellezésére a vágatfal környezetében, az elmozdulások terjedésére a kőzetben viszont nem ad egyértelműen a valóságot hűen tükröző információt. Ez a kőzetben lévő blokkok, repedésrendszerek jelenlétével indokolható. A felszín alatti kutatás során nyert adatok alapján egyértelműen következik, hogy a Mórággyi Gránit tagolt, repedezett kőzet. Mivel a Phase<sup>2</sup> vége-selemes program, a modellben egy foly-

tonos anyagot kellett definiálnunk, aminek anyagtulajdonságaiban ugyan szerepel a törések jelenléte (a Q értékek számításával), de a valóságban azok elhelyezkedése és kitöltöttsége is jelentős befolyással lehet az elmozdulások továbbterjedésére.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönjük a segítséget a Mott MacDonald Magyarország Kft. dolgozóinak, és külön köszönet illeti Kandi Elődöt, Nyíregyházi Tamást és dr. Alun Thomast a modellezés során nyújtott segítségükért. Köszönjük Deák Ferencnek és Kovács Lászlónak (Kömérő Kft.) a rendkívül hasznos szakmai tanácsokat. A Mecsekérc Zrt. vezetősége, Berta József, biztosította a helyszíni bejárások feltételeit, és hálaadás vagyunk a cég dolgozóinak helyszíni segítségért is. Köszönjük Buday Gábornak, a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht. tudományos és műszaki igazgatójának, hogy megadta az engedélyt a projekt során készült dokumentumokból történő adatgyűjtésre és azok felhasználására.

## IRODALOM

- Balla Z. 2004: *General characteristics of the Bataapáti (Üveghuta) Site (South-western Hungary). (A Bataapáti (Üveghutai)-telephely általános jellemzése.)*-A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003., Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 73-91.
- Balla Z., Császár G., Földvári M., Gulácsi Z., Gyalog L., Horváth I., Kaiser M., Király E., Koloszar L., Koroknai B., Magyar Á., Maros Gy., Marsi I., Musitz B., Rálich E., Rotárné Sz. Á., Szócs T., Tóth Gy., Berta J., Csapó Á., Csurgó G., Gorjánác Z., Hámos G., Hogyor Z., Jakab A., Molnár I., Ország J., Szimoncsics G., Szamos I., Szabéni G., Szűcs I., Turger Z., Várhegyi A., Benedek K., Molnár P., Szegő I., Tungli Gy., Madarasi A., Mártonné Sz. E., Prónay Zs., Tildy P., Szongoth G., Gacsályi M., Moskó K., Kovács L., Mónus P., Vásárhelyi B. 2008: *A felszín alatti földtani kutatás zárójelentése*, 1.kötet- Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, RHK Kht., Paks, RHK-K-082/08, 1.-58., 132.-154., 251.-262., 635.-655.
- Deák F., Molnár I., 2007: *Vágatszkennerek (JointMetriX3D) alkalmazása a Bataapáti kutatóvágatok geotechnikai dokumentálása során*, In: Török Á., Vásárhelyi B. (szerk.): *Mérnökgeológia-Közetmechanika Konferencia, 2007*, Műegyetem kiadó, Budapest, 11-18.
- Fábián M., Bakainé Papp K., Kovács L., Bogár J., Böthi Z., Brandmüller I., dr. Buócz Z., Dankó Gy., Eördögh Zs., Keszerice V., Molnár I., Molnár P., Szabéni G., Viczencz O., dr. Vásárhelyi B., Mátrai Cs., 2006: *Egyeztetett koncepcióterv*, - Kézirat, RHK Kht, Paks, RHK-K-126/06, 1-75.
- Gálos M., Vásárhelyi B., 2006: *Kőzettestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban*, Műegyetem kiadó, Budapest, 1-144.
- Gálos M., Kertész P., 2007: *Mérnökgeológia*, Műegyetem Kiadó, Budapest, 49-74.
- Hoek E., 2000: *Rock Engineering*, Course Notes, Chapter 12.1-12.3
- Király E., Gulácsi Z., Koroknai B., 2008: *A Mórággyi gránit formáció integrált értékelése*- Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, RHK Kht., Paks, RHK-K-010/08, 1-46.
- Kovács L., 2008a: *Értékelő jelentés az Ext-1, Ext-2, Ext-3 és Ext-4 jelű extenzométeres szelvények mérési eredményeiről*, Pécs, 1-138.
- Kovács L., 2008b: *Gyorsjelentés a KON-6 jelű konvergenciamérő szelvény installálásáról, méréséről és előzetes eredményeiről*, Pécs, 1-35.
- Szűcs I., Berta J., Csicsák J., Hámos G.; Balla Z., Gyalog L., Horváth I., Maros Gy., Rotárné Szalkai Á., Tóth Gy., Turczi G.; Molnár P., Szegő I.; Bérci K., Takács T.; Vértesy L., Törös E.; Szongoth G. ; Kovács L.; Gondár K. , 2004: *A felszín alatti földtani kutatás terve, Bataapáti (Üveghuta), 2004–2007*- Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Bataatom Kft, Budapest, BA-03-196A, 1-381.
- www1: *Kis és közepes aktivitású atomerőművi hulladék elhelyezésének megalapozása*. Elérhető az interneten: <http://www.atomeromu.hu/kornyezet/uveghuta.htm> , 2009. május 6.
- www2: *A radioaktív hulladékkezelés története Magyarországon*. Elérhető az interneten: <http://www.rhk.hu/ismeret/radiomo/tortenelem.htm> , 2009. május 6.