

Plate jacking vizsgálatok Bátaapátiban

Kandi Előd

Mott MacDonald Magyarország Kft., elod.kandi@mottmac.com

Hersvik Dávid

Mott MacDonald Magyarország Kft., david.hersvik@mottmac.com

Lowson, Alex

Mott MacDonald Ltd., alex.lowson@mottmac.com

ÖSSZEFOGLALÁS: 2009. szeptember 8. és 20. között a Bátaapáti Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló területén a Keleti és Nyugati alapvágatokban, valamint a 7. Összekötő vágatban több mérési sorozatból álló „plate jacking” vizsgálatot végeztünk el az RHK Kft. – mint a magyarországi radioaktív hulladékok kezelésének és elhelyezésének felelőse – megbízásából. Annak érdekében, hogy minél kedvezőtlenebb kőzetkörnyezetről kapjunk valós információt, melyekről korábban nem áll rendelkezésre elegendő megfelelő mérési adat, a geotechnikai vágatdokumentáció alapján egy-egy mérési helyszínt választottunk ki III., IV. és V. kőzetosztályban. V. kőzetosztályban ezt megelőzően még semmilyen deformációs mérés nem történt. Ezek a mérések igen sikeresek voltak, meglehetősen pontos adatokat eredményeztek és a Bátaapáti NRHT projekthez értékes információt szolgáltatottak a kőzettömeg alakváltozási tulajdonságairól. Kalibrációs vizsgálat („back analysis”) módszerével javaslatokat adtunk a tervezéshez használt eddig használt elfogadott adatok optimalizálására. Ez volt az első „plate jacking” vizsgálat Magyarországon.

Kulcsszavak: plate jacking, extenzométer, alakváltozási modulus

1 BEVEZETÉS

A Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló (továbbiakban NRHT) a Paksi Atomerőműben keletkező radioaktív hulladék befogadását hivatott megoldani. Egy évtizedes előkészítő és kutatómunkát követően, a 2001-2003-as felszíni földtani kutatás zárójelentésére támaszkodva a Magyar Geológiai Szolgálat Dél-Dunántúli Területi Hivatala (MGSZ DDTH) földtanilag alkalmasnak minősítette a vizsgált területet és ezáltal a terület meghatározó földtani képződményét, a Mórággyi Gránit Formációt kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéklerakó létesítmény elhelyezésére (446/46/2003. számú határozat). 2005-ben a Mecsekérc Zrt. elkezdte a lejtősakna építését. Azóta teljes mértékben megépült a Mecsekérc Zrt és a Mott MacDonald által tervezett két lejtősakna, az alapvágatok, az ezek közti kapcsolatot biztosító összekötő vágatok, valamint a tárolói, illetve tárolóépítési szállítópályák, közel 4,5 km összhosszban. Kutatási célból és az építési monitoring rendszer részeként különböző in situ méréseket végeztek a tároló területén, úgy mint extenzométeres és konvergencia méréseket, magtűfúrásos és hidrorepszteszes feszültségméréseket és az alakváltozási modulus indirekt mérését nagyléptékű „plate jacking” vizsgálatokkal.

Jelen publikáció a „plate jacking” vizsgálat célját, kivitelezésének módját, valamint az általa szolgáltatott eredményeket mutatja be. Az eredmények részletes elemzése is közzétételre kerül majd a jövőben.

2 A VIZSGÁLATOK CÉLJA

Az ISRM ajánlások (Coulson, 1979) szavaival élve a „plate jacking” vizsgálat egy olyan nyomólemezes vizsgálat, melyet kisebb méretű vágatokban, illetve ezen célra létrehozott vizsgálati tárolókban végeznek a kőzettömeg alakváltozási modulusának meghatározására felszíni terhelés alkalmazásával. Egytengelyű feszítéses vizsgálatként is szokás említeni. A vizsgálat során két darab, közel 1 m átmérőjű felületet terhelnek meg egyidejűleg a vágatban keresztben elhelyezett sajtók segítségével, s eközben a kőzettest alakváltozásait mérik a terhelte felület mögötti fúrólyukakban elhelyezett extenzométerek segítségével. A ciklikusan növekvő terhelés módszerének köszönhetően a vizsgálat adatokat szolgáltat rugalmassági, alakváltozási és tehermentesítési rugalmassági modulus számításához. A kúszási tulajdonságokat az idő-elmozdulás diagramok alapján lehet meghatározni. Ezzel a vizsgálatokkal az anizotrópia hatásai is vizsgálhatók, mivel a feszítőszerkezet tengelyének, s

ezáltal a feszítésnek az iránya szabadon választható. Plate jacking vizsgálatokat talajfelszínen is lehet továbbá végezni (pl. Pound et al. 2003).

A Bátaapátiban végzett vizsgálat célja információ szolgáltatása volt a véglegesen megépítendő felszín alatti tárolókamrák tervezéséhez. Pontosabban, ezen mérési eredmények információt és visszaigazolást szolgáltatnak a kőzettömeg nemlineáris tulajdonságairól. További célja a kiviteli tervdokumentáció összeállítása során használt elfogadott tervezési adatok ellenőrzése és azok szükség esetén történő aktualizálása.

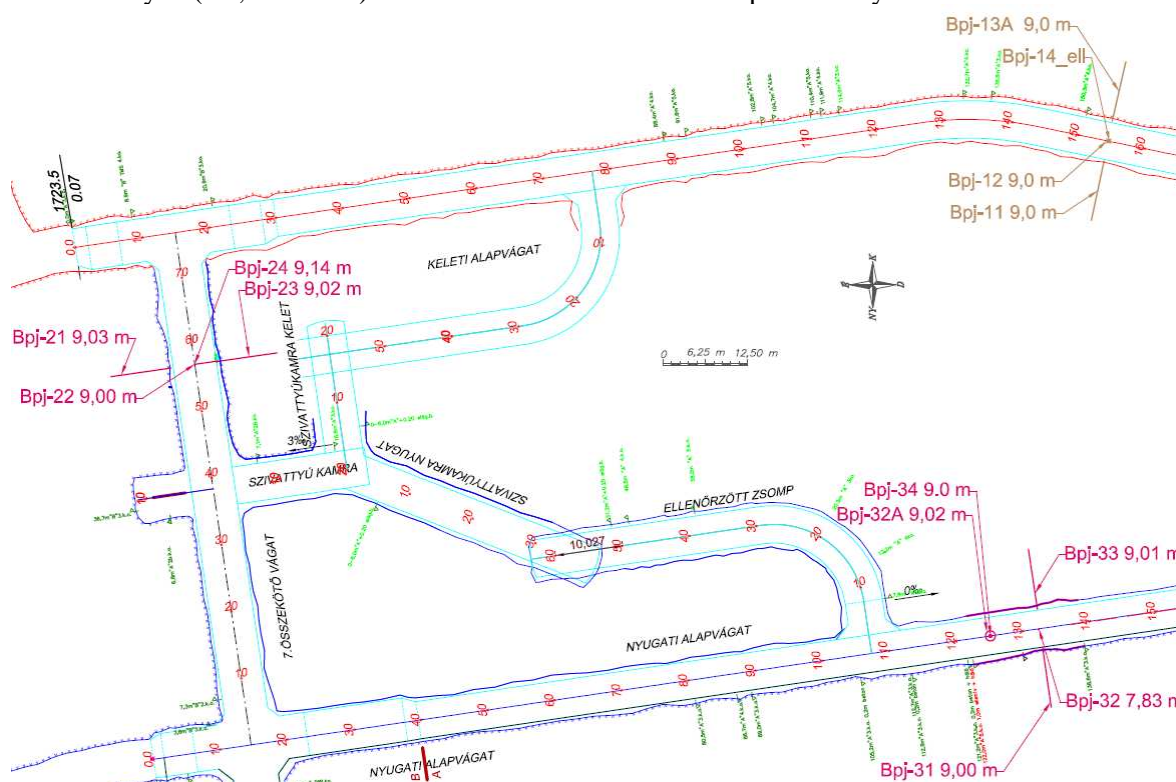
Míg ezen tulajdonságokat a III. és IV. kőzetosztályokra az ép kőzetmintákon végzett laboratóriumi vizsgálatokból, illetve az empirikus módon számított Hoek-Brown paramétereiből (Hoek és Brown, 1980) származtattuk, addig V. kőzetosztályra egyáltalán nem volt adat. A vizsgálatok a kőzettest becsült rugalmassági mutatóinak verifikálására vagy pontosítására szolgáltak III. és IV. kőzetosztályban, illetve az V. kőzetosztályban ez a vizsgálat az alakváltozás első közvetlen mérése volt. A kőzettest merevségének meghatározása a tervezés kulcsfontosságú részét képezi. Ezek a vizsgálatok olyan információkat nyújtanak, melyek segítik a tárolóterek vágatbiztosításának a lehető leggazdaságosabb módon történő tervezését, illetve igazolják, hogy az e tervek szerint kivitelezett vágatbiztosítással hosszú távú stabilitás érhető el.

Bár a technika mai állása szerinti számítási módszerek és ismeretek a kőzettömeg viselkedéséről sokat fejlődtek az ISRM ajánlások megalkotása óta, azok jelenleg is a nemzetközi gyakorlat alapját képezik.

A Mott MacDonald Limited (továbbiakban MM) jelentős tapasztalattal rendelkezik plate jacking vizsgálatok kivitelezése terén – például 2003-ban San Diegoban is végeztek ilyen vizsgálatot (ld. Pound et al. 2003). Ezért az ISRM ajánlásai mellett a MM szakembereinek tapasztalata és tudása képezték vizsgálati módszertanunk alapját.

3 A VIZSGÁLATOK HELYSZÍNE

A vizsgálatokat három különböző vágatban végeztük, úgy, hogy azok három különböző kőzetosztályba (III., IV. és V.) essenek. Az 1. ábrán láthatók a pontos helyszínek.



1. ábra. A vizsgálatok helyszíne

Az első vizsgálat (továbbiakban PJ-1) helyszíne a Keleti alapvágat 154,3 folyóméterében volt, jellemzően IV. kőzetosztályú kőzetkörnyezetben. A vágatdokumentációs jelentés alapján a vágathajtás során a vizsgált szelvényhez legközelebb eső fogásoknál – 153,6 fm-ben – 0,06, illetve – 155,3 fm-ben – 0,03 Q értékeket állapítottak meg. Ebben a szelvényben a hibrid kőzettípus az uralkodó, de északnyugat-délkelet irányítottságú aplit telérek is előfordulnak. Továbbá két töréses öv érinti a vágat nyugati oldalát.

A fúrólukak magmintáinak dokumentációja is megerősítette ezt, mivel a Bpj-11 és Bpj-12 fúrólukakból származó magminták erősen töredezetek voltak. A Bpj-11 fúrólukból származó minta nagy része erősen töredezett leukokrata slírekkel kontaminált monzonitból áll, míg a Bpj-13 fúrólukból származó magmintában a közepesen töredezett ritkaporfíros monzogranit az uralkodó kőzettípus. A Bpj-12 fúrólukból származó magminta szinte kizárólag közepesen töredezett ritkaporfíros monzogranitból áll. A Bpj-14 fúróluk magmintája ritkaporfíros monzogranitot, leukokrata slírekkel kontaminált monzonitot és aplitteléreket tartalmaz. A magminta aplit teléreket érintő mintegy harmada erősen töredezett.

A második vizsgálat (PJ-2) a 7. Összekötő vágat 57,0 folyóméterében, III. kőzetosztályú kőzetkörnyezetben zajlott. A geotechnikai vágatdokumentáció alapján a legközelebbi fogások Q értéke 0,92 az 56,3 fm-ben, illetve 0,79 az 58,4 fm-ben. Az egyetlen előforduló kőzettípus a szelvényben a ritkaporfíros monzogranit.

A fúrólukakból származó magminták dokumentációja ugyanezt mutatta ki, vagyis a szelvény teljes egészét a ritkaporfíros monzogranit teszi ki. A magminták alapján a kőzet a főte felett gyengén-közepesen, a vágat alatt, illetve mellett gyengén töredezett.

Az utolsó vizsgálat (PJ-3) V. kőzetosztályban történt. A gyenge kőzetminőségnek köszönhetően a Bpj-32 fúrólukat többször kellett injektálni a fúrás során, végül azonban így is beomlott. Mivel a fúróluk olyan nagy mennyiségű injektálóanyagot nyelt el, ami már megváltoztatta a környező kőzettömeg tulajdonságait, a szakemberek egy új fúróluk készítése mellett döntöttek egy másik szelvényben. Ennek következtében míg a vízszintes mérés a vágat 132,3 folyóméterében, addig a függőleges mérést a vágat 125,0 folyóméterében hajtottuk végre.

A vízszintes vizsgálat szelvénye nagyrészt ritkaporfíros monzogranitból áll, mind a vágatdokumentáció, mind pedig a fúrólukból származó magminták alapján, bár a vágat keleti felében a vágatdokumentáció szerint monzonit, a magminták szerint pedig kontaminált monzonit is megjelenik. A magminták alapján a kőzettest erősen töredezett, helyenként morzsalékos. A szelvényhez legközelebb eső fogások (131,7 fm és 133,0 fm) Q értéke <0,02 volt a vágatdokumentálás szerint.

A geológiai dokumentációk – vágatdokumentálás, illetve magminták – alapján a függőleges mérés szelvényében a meghatározó kőzet az erősen töredezett ritkaporfíros monzogranit. A vágatdokumentálás szerint a legközelebb eső fogás (125,0 fm) Q értéke 0,18 volt.

4 A VIZSGÁLAT MÓDJA

A „plate jacking” vizsgálat sikeres végrehajtásához elengedhetetlen a helyszín megfelelő előkészítése és a megfelelő felszerelés megválasztása.

A terület geotechnikai dokumentációja alapján megállapítható, hogy a kőzettest minősége még III. kőzetosztályban (PJ-2 szelvény) is annyira gyenge, hogy a vágatbiztosítás bármely elemének eltávolítása a vizsgálat során megengedhetetlen biztonsági kockázatot jelentene. Bár az ISRM ajánlások alig, vagy egyáltalán nem biztosított vizsgálati helyszínt javasolnak, ez gyakorlatilag II. osztályú vagy jobb minőségű kőzetre korlátozná a vizsgálatot, ahol amúgy is megfelelő az egyszerű, tapasztalati alapon meghatározott vágatbiztosítás.

A lőttbeton merevsége és a kőzethorgonyok hatása ismert és a numerikus modellezés során, valamint az eredmények értelmezésekor számításba vehető. Az előzetes elemzések szerint a vizsgálatokhoz felhasznált hidraulikus sajtó kapacitása megfelelő ahhoz, hogy a vágatbiztosítással együtt is mérhető elmozdulásokat hozzunk létre a kőzetben. Még az V. kőzetosztályba sorolt kőzettest is lényegesen merevebben viselkedik, mint a vágatbiztosítás.

A vágatkeresztmetszet folyamatos változása és a feszítőkeret elemeinek fix hossza miatt egy, a vágat vizsgált oldalai között a feszítőszerkezetnek megfelelő távolságot biztosító szerkezet közbeiktatására volt szükség. A betontuskók illesztő alátétként szolgálnak a hidraulikus feszítő tám és a vágatpalást között a mérési szelvények méreteitől függően különböző geometriai kialakítással. A vágatoldalokban, valamint a főte és talp között, páronként beépített, a betontuskók szerkezetébe ágyazott acél talplemezek biztosítják az egymással párhuzamos hézagmentes csatlakozást a hidraulikus feszítő tám alaplapjaival, valamint a hengereivel. A betontuskók továbbá magukban foglalják az extenzométer beépítéséhez szükséges műanyag központi béléscsővet és a szintén műanyag kábelkivezető béléscsővet.

Az ISRM ajánlások kör alapú betontuskókat javasolnak, azonban annak érdekében, hogy a sajtók által kifejtett terhelés minél egyenletesebben adódjon át a kőzetre, négyzet alapú betontuskókat terveztünk.

Mikor a betontuskók elérték a megfelelő szilárdságot, hozzá lehetett kezdeni a rajtuk keresztülhaladó fúrólukak fúrásának. Valamennyi 9,0 m talpmélységű fúrásba 9,0 m hosszúságú, 50 mm belső, illetve 54 mm külső átmérőjű központosított, „fenekelt” műanyag béléscsővet cementeztek a lyuk 8,5 méteréig a később telepítendő extenzométeres mérések biztosítására.

A fúrás párok tengelye a vágattengelyre merőleges síkban lett kitűzve, illetve a két fúrás páros merőleges egymásra. A főte-talpi fúrás párt a vágattengely síkjában függőlegesen hozták létre. Az oldalfali fúrás páros kezdőpontjai, illetve tengelye vízszintesen, körülbelül 1,3 m magasan a tervezett járószint felett lettek kijelölve.

Az elmozdulások mérésére az ISRM ajánlásoknak megfelelő Geokon 1300 A-9 jelű visszanyerhető extenzométert használtuk. Az egy fúrólukba beépített elmozdulásmérő rendszer 5 db extenzométerből, egy végankerből és az ezeket egymással összekötő üvegszálalás rúdból állt. Az extenzométereket rögzítő ankerek távolsága a végankertől sorrendben az alábbi volt: 4 m, 6 m, 7 m, 7,5 m és 8 m. Ez a rendszer jól illeszkedik az elmozdulások mértékéhez, hiszen a kőzet felszínéhez közel, a sűrűbben elhelyezett extenzométerek körül zajlanak le a nagyobb mozgások és attól távolodva, ahogy a feszültségek szétterjednek a kőzetben az elmozdulások mértéke egyre csökken.

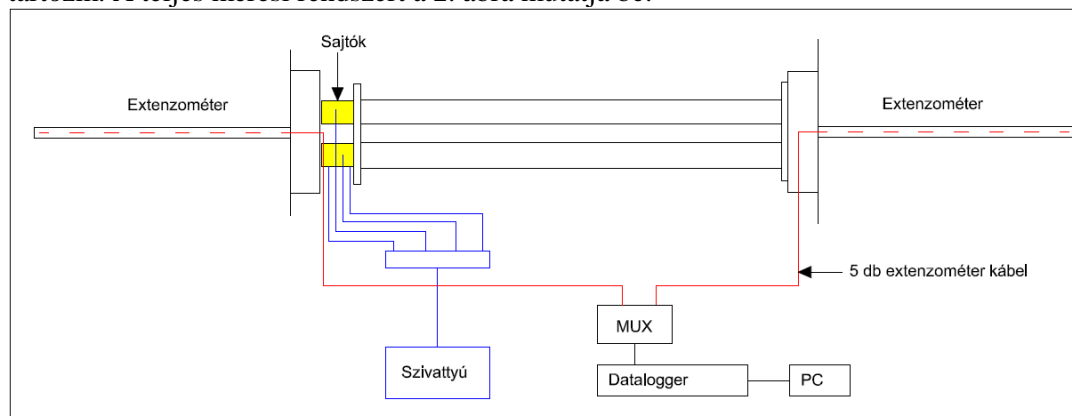
A vizsgálat első tényleges lépése az extenzométerek beépítése a fúrólukakba. Ennél a folyamatnál az összekötő rudakat óvatosan, nagy ívben meg kellett hajlítani, de ügyeltünk, hogy ne törjenek meg. A műszer elhelyezése után a pneumatikus csöveket a nyomáselosztóba, a jelátalakító kábeleket pedig a multiplexerbe kötöttük be.

Miután minden rögzítő anker nyomás alá került, elkezdődhetett a feszítő tám beépítése. A támat minden esetben a vizsgálat helyszínén, acélállványon szerelték össze megfelelő hosszúságúra. A feszítő szerkezet felépítése viszonylag egyszerű, hidraulikus sajtókból és egy feszítőkeretből állt, aminek el kellett férnie a főte- és talpboltozat, illetve a két oldalfal között. A hengeres sajtók alkalmazása mellett szól, hogy az esetenként alkalmazott lapos sajtókat („flat jacks”) nem többszöri használatra tervezték. Két vizsgálatához még felhasználhatók, többhöz azonban nem ajánlott, mivel a kőzet rossz minősége miatt a kőzetfelszínen keletkező deformációk és az acéltám deformációi együtt olyan mértékű deformációt okozna a sajtókban, hogy azok kettőnél több használat esetén tönkremennének.

A feszítő támat vízszintes vizsgálatához fentről lefelé mozgatva, függőleges vizsgálatához pedig szemből, vízszintesen mozgatva helyezték az acél talplemezek közé úgy, hogy a tám alaplemezen és az acél talplemezen lévő 100 mm átmérőjű furatba behelyezhető legyen a rögzítő csap, a feszítő hengerek pedig a másik talplemez központi furata körül szimmetrikusan helyezkedjenek el.

Az elhelyezés után a sajtókat az előre elkészített betontuskóhoz nyomtuk, de éppen csak annyira, hogy érintkezzenek. Ezután megvizsgáltuk, hogy ez milyen hatással van a leolvasásokra, majd addig vártunk, amíg a leolvasási értékek változatlanok lettek.

Mint már korábban említettük, az adatkábeleket az egyszerre több forrásból érkező jeleket kezelni képes multiplexerbe (ld. 2. ábrán MUX) kötöttük be, mely az adatokat az őket tároló dataloggerbe továbbítja. Az adatokat számítógépre továbbíthatjuk a Multilogger szoftver segítségével. Minden egyes extenzométer adatkábelének külön csatornát nyitottunk a szoftverben. A szoftvert a Geokon által szolgáltatott beállításokkal alkalmaztuk – ilyen például az úgynevezett „Linear Gage Factor” használata, amely megadja, hogy a leolvasásokban az egységnyi változás hány mm elmozduláshoz tartozik. A teljes mérési rendszert a 2. ábra mutatja be.



2. ábra. A mérési rendszer vázlata

A Bátaapátiban végzett „plate jacking” vizsgálatot az ISRM ajánlásai alapján az alábbiakban részletezett eljárás szerint hajtottuk végre:

- A terhelésre 6 lépésben került sor, 100 baros – pontosan 182,48 tonnás – terhelési lépcsőkkel, ami azt jelenti, hogy az egy lépésben a feszítőhengerekre jutó többletnyomás pontosan 100 bar. A hatodik lépésben a hengerekre jutó nyomást 550 barig növeltük, így a maximális összterhelés 1003,64 tonna volt. Ezen utolsó lépésben egyúttal az is vizsgálható volt, hogy a kőzet hogyan reagál az előzőekhez képest feleakkora terhelésnövekményre.
- A terhelés fenntartásának időtartama attól függött, hogy a zavart zónán – ami a várakozásoknak megfelelően 1-2 méter vastag volt – kívül milyen kúszási viselkedést figyeltünk meg a kőzetben. Az adott terhelést tehát minden egyes terhelési lépésben fenn kellett tartani mindaddig, amíg a kúszás – vagyis az utolsó mérési időintervallum során fellépő elmozdulás és a teljes addigi elmozdulás aránya – értéke 20 %/nap alá nem csökkent, de ez az időtartam nem lehetett rövidebb fél óránál.
- Az egyes terhelési lépések után a terhelést nullára csökkentettük, és kőzetet mindaddig tehermentesen hagytuk, amíg a kúszás értéke a 10 %/nap érték alá nem csökkent.
- A maximális terhelést mindaddig fenntartottuk, amíg a kúszási sebesség 5%/nap érték alá nem csökken.

Fontos megjegyezni, hogy az ISRM ajánlások az összes terhelési lépcső 1 napig történő fenntartását javasolják a képlékeny tulajdonságok megfigyelése céljából. Azonban az újabb, 1997-ben megjelent „Determination of in situ deformation modulus: New approaches for plate-loading tests” (Ünal, 1997) című dokumentum már tartalmazza a vizsgálat idejének lehetséges csökkentését. Továbbá a vizsgálatok így is kellő mennyiségű és megfelelő minőségű adatot szolgáltatottak, valamint a hosszabb mérésekkel sem jutottunk volna többletinformációhoz, ezért szükségtelennek tartottuk a mérések ilyen mértékű elnyújtását.

A tényleges mérés kezdete előtt a leolvasásoknak 15 percig konstansnak kell lenniük, ezzel bizonyítva, hogy bár a sajtók finoman a betontuskónak feszültek, erőt azonban még nem fejtenek ki rá. A leolvasások az alkalmazott teher és az elmozdulás-növekmények függvényében 10, 15, illetve 20 percenként történtek. Kisebb terheknél (közel 4-500 tonnáig) 10 percenkénti leolvasást alkalmaztunk, míg a maximális terhelésnél, ahol a kőzet deformációi hosszabb idő alatt zajlottak le a 20 percenkénti leolvasások voltak a jellemzők.

Jelentős hőmérsékletváltozás befolyásolhatta volna a mérési eredményeket, ezért a hőmérsékletet körülbelül 3 óránként ellenőriztük. Az ebből származó adatok alátámasztották a feltételezést, mely szerint a vágatokban a hőmérséklet állandónak tekinthető, így nem volt érzékelhető hatása az eredményekre.

A 3. és 4. ábrán látható a szerkezet függőleges, illetve vízszintes vizsgálat közben.



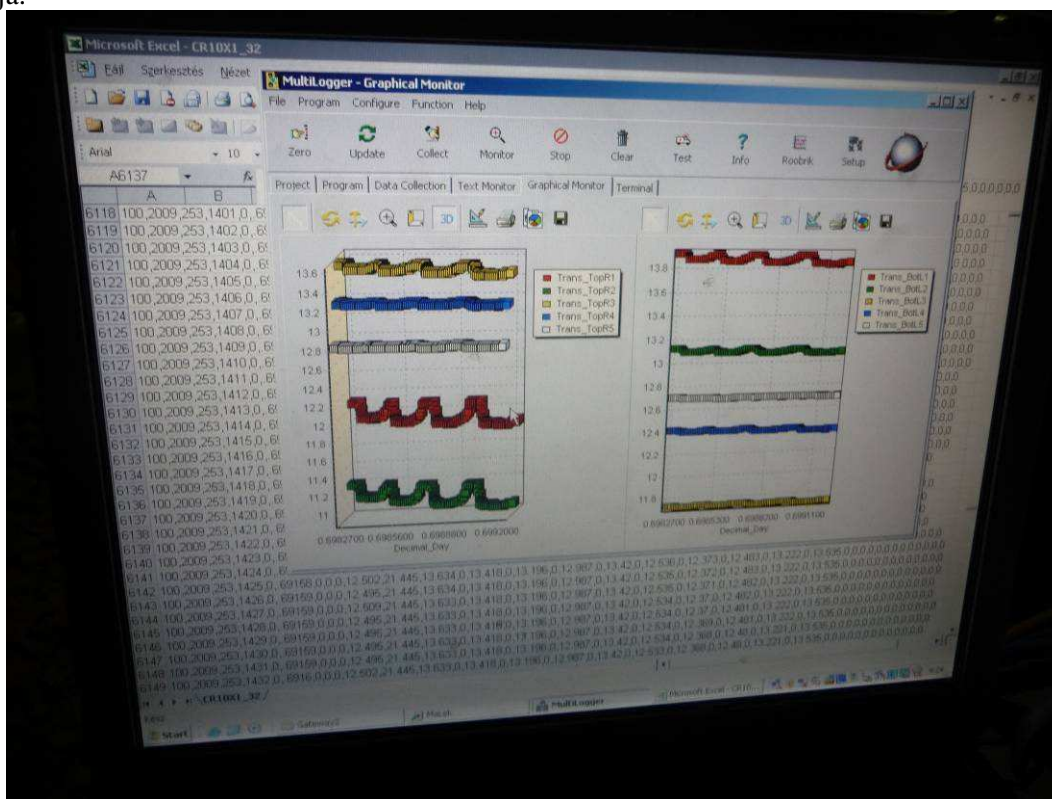
3. ábra. A fészítő szerkezet függőleges vizsgálat közben



4. ábra. A fészítő szerkezet vízszintes vizsgálat közben

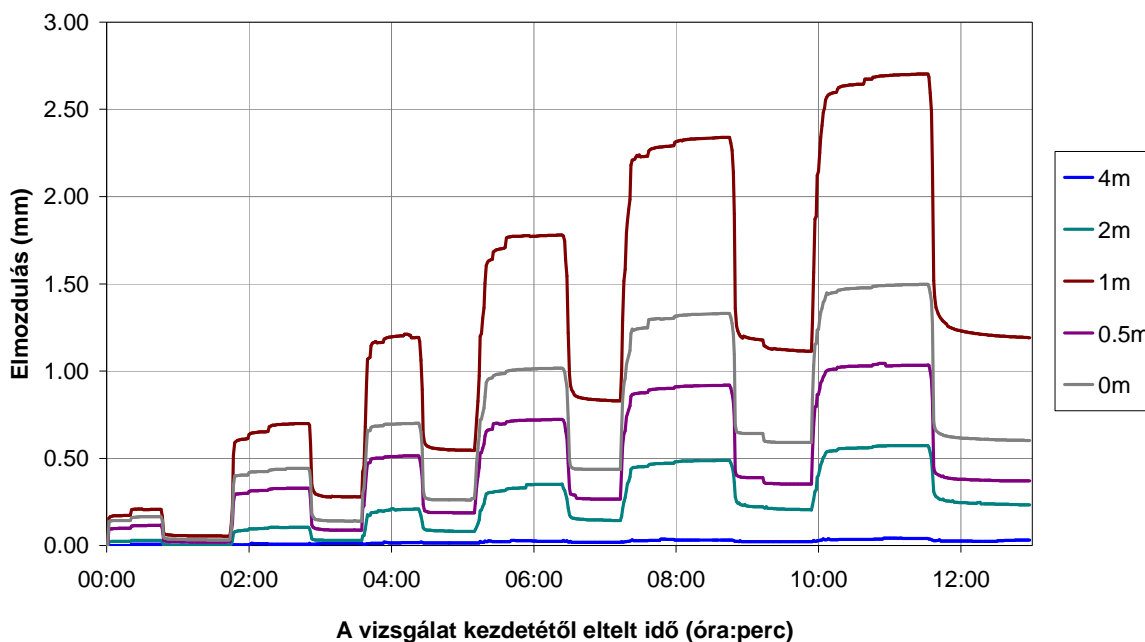
5 EREDMÉNYEK

Mint a 4. fejezetben is említettük, a leolvasások 10, 15, illetve 20 percenként történtek. A datalogger ennek ellenére úgy volt beállítva, hogy minden egyes percben rögzítsen és szolgáltatson mérési eredményeket az elmozdulásokról. Ezen adatokat elmentettük és szükség esetén hozzáférhetőek. Az 5. ábrán látható, amint a Multilogger szoftver a mérés közben az aktuális elmozdulás-idő diagramot mutatja.



5. ábra. Leolvasások grafikus megjelenítése mérés közben

Az eredmények gyors helyszíni vizsgálatoként letöltöttük, és táblázatos-diagramos formában feldolgoztuk azokat. A 6. ábra a IV. kőzetosztályban végrehajtott talpi mérés során megállapított elmozdulásokat mutatja be a vizsgálat során eltelt idő függvényében.

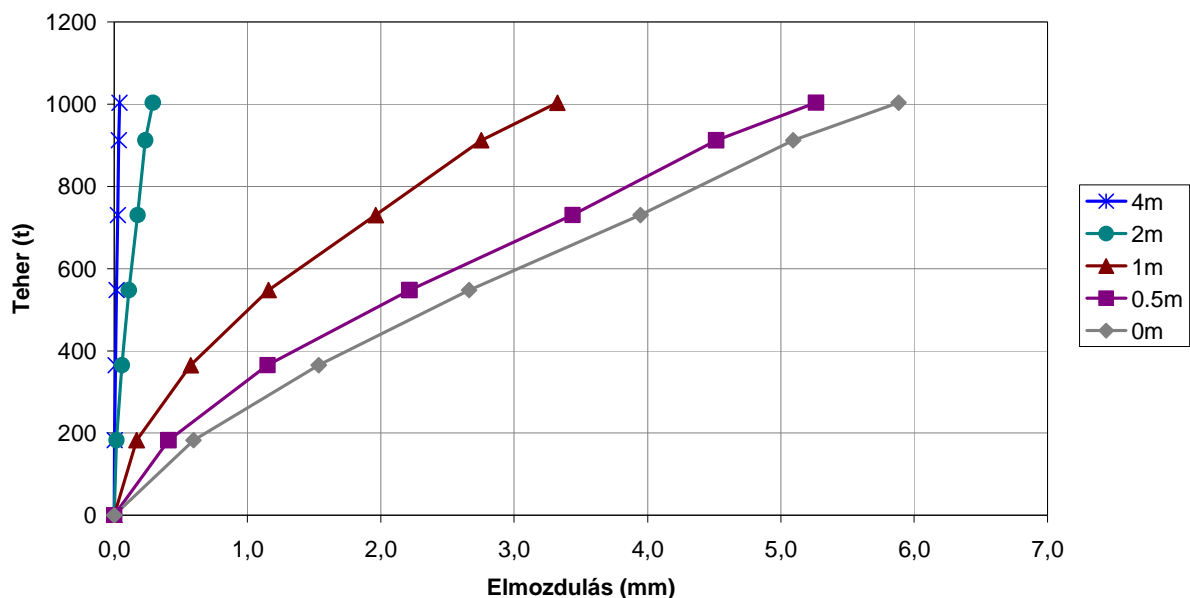


6. ábra. Talpi fúrólukból származó elmozdulás-idő diagram (IV. kőzetosztály)

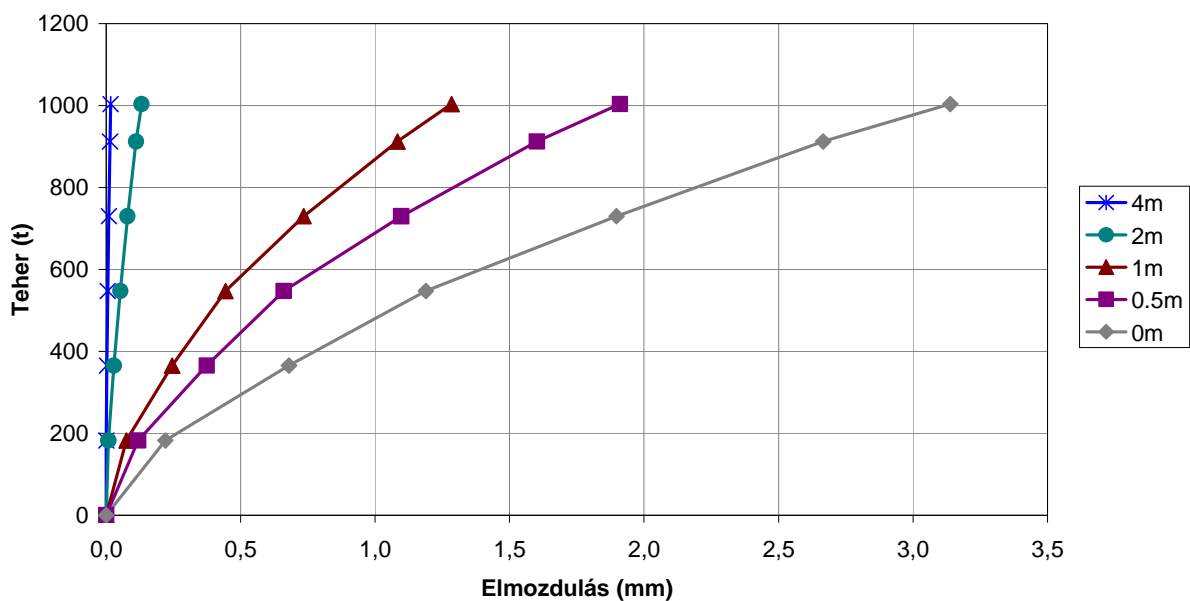
Ezen diagramok alakjából kiderül, hogy a vizsgálat során kapott eredmények alapvetően jónak tekinthetők-e. Továbbá előzetes információt nyújtanak a kőzettest tulajdonságairól – úgy mint, milyen

mély az EDZ valójában, megfelelnek-e az eredmények a fúrólukak magmintái által elképzeltnek, vagy hogy mennyiben befolyásolta a fúrólukak injektálása a kőzettest viselkedését. Mindent összevetve, ezek a diagramok alkalmasak a vizsgálat sikerességének, illetve a belőle nyert adatok hasznosságának megállapítására.

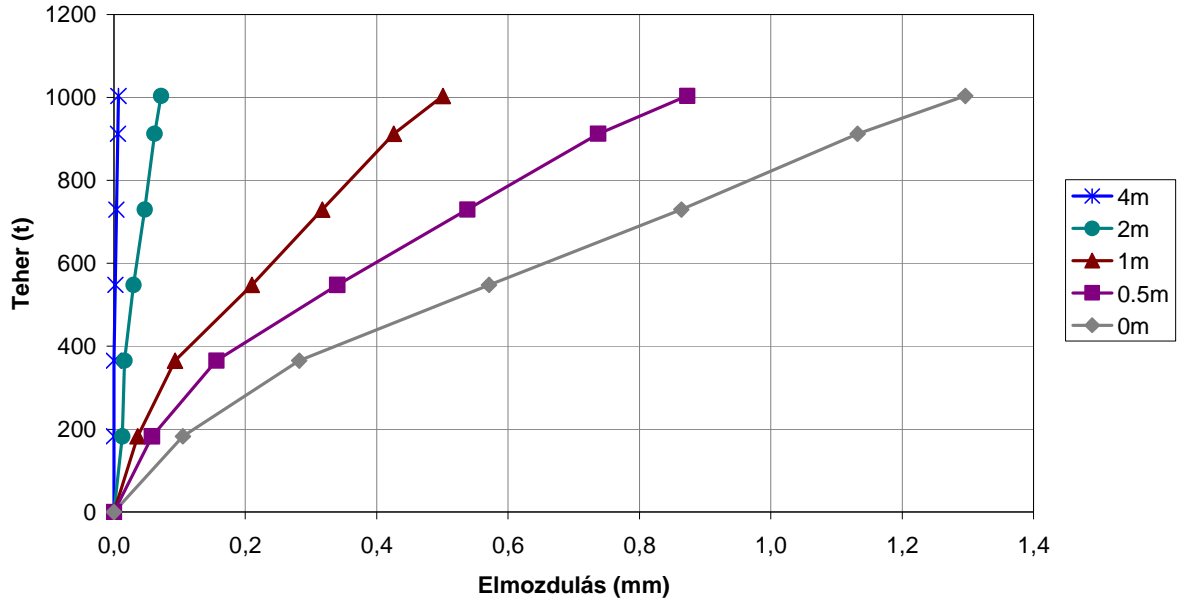
Amennyiben a nyert adatok megfelelőek, megkezdődhet az adatok feldolgozása. Az alakváltozási modulus megállapításához elsősorban az erő-elmozdulás diagramok vizsgálata szükséges. Erre példaképp szolgálnak a 7-10. ábrák, melyek az egyes tehernövekmények hatására a kőzetben létrejövő elmozdulásokat mutatják be.



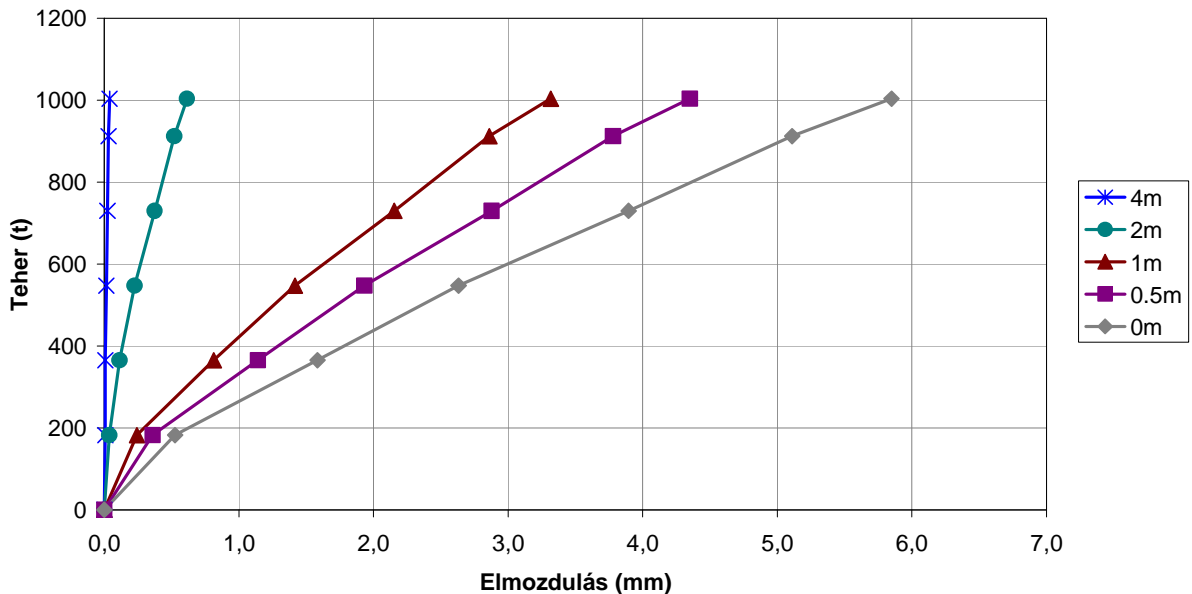
7. ábra. Erő-elmozdulás diagram a Bpj-11 fúrólukból származó eredmények alapján (IV. kőzetosztály; vágat nyugati oldala)



8. ábra. Erő-elmozdulás diagram a Bpj-12 fúrólukból származó eredmények alapján (IV. kőzetosztály; főte felett)



9. ábra. Erő-elmozdulás diagram a Bpj-13 fúrólukból származó eredmények alapján (IV. kőzetosztály; vágat kelti oldala)



10. ábra. Erő-elmozdulás diagram a Bpj-14 fúrólukból származó eredmények alapján (IV. kőzetosztály; talp alatt)

A III. és V. kőzetosztályban mért eredmények alapján készült erő-elmozdulás diagramok nagyon hasonló képet mutatnak az itt feltüntetettekhez, csupán az elmozdulások nagyságrendje tér el. Terjedelmi okokból eltekintünk ezen diagramok bemutatásától. Meg kell azonban jegyezzük, hogy az eredmények igazolták a kezdeti elvárásokat, azaz, hogy a kőzetosztály romlásával egyre nőnek az elmozdulások.

Általánosságban az elmozdulások a kőzetfelszíntől 1-2 méter mélységig jelentkeznek és 4 méter mélységben már gyakorlatilag csak elhanyagolhatóan kis mozgás tapasztalható.

A diagramokon a kőzet kétféle viselkedését lehet megfigyelni (ld. 7-10 ábrák). Az egyik, mikor az elmozdulások kicsik, s ekkor 200 és 400 tonna terhelés között a teher és az elmozdulás közti kapcsolat lineáris. Azonban nagy (pl. 2 mm-nél nagyobb) elmozdulásoknál ez a linearitás a teher növekedésével

egyre csökken, majd megszűnik, ami pedig arra utal, hogy a kőzetben nemlineáris, képlékeny elmozdulások alakulnak ki a terhelés hatására. A 400 tonnánál kisebb teherre adott kezdeti merev viselkedés valószínűleg inkább a betontuskókat jellemzi, mintsem a kőzetet. Ugyanakkor ez a kezdeti merev viselkedés akár a kőzettest kezdeti kohéziójának is lehet köszönhető, amit a lóttbetonból vagy az injektáló anyagból kiváló cement okoz.

Mindent összevetve úgy tűnik, hogy a vágat körül 1-2 méter mélységig kialakul egy további lokális hatás, ami csökkenti a kőzet látszólagos merevségét a 2-4 méter, vagy nagyobb mélységben levő kőzetekéhez képest. Ez lehet akár a képlékeny alakváltozást szenvedő kőzet környezetében kialakuló dilatancia vagy a tehermentesülés hatására elváló repedés-felületek (pl. szétnyílás). Mindkét jelenség bármilyen terhelés esetén további elmozdulásokat eredményez a rugalmas és dilatáció-mentes képlékeny alakváltozásokon túl, s így látszólagosan csökkenti a kőzet merevségét.

A vizsgálat eredményeinek részletes elemzéséhez a Boussinesq-féle megoldást és numerikus modellezést alkalmaztunk. Ezen részletes elemzést is meg fogjuk jelentetni a jövőben.

6 ÖSSZEFOGLALÁS

A Bátaapátiban végzett „plate jacking” vizsgálat célja információgyűjtés volt a leendő tároló területén található kőzet alakváltozási tulajdonságairól és a tervezési paraméterek érvényességének megállapításához. Hat vizsgálatot végeztünk három különböző kőzetosztályban és ebből öt sikeresen zárult. A vizsgálatok elvégzéséhez egy speciális feszítő szerkezet kellett tervezni és megépíteni a Bátaapátiban található egyedi körülményekhez igazítva.

Az eredmények igazolták, hogy a korábban megállapított tervezési paraméterek megfelelőek, valamint ezen túlmenően értékes új információt szolgáltatottak a kőzet viselkedéséről.

Végül, de nem utolsó sorban, ezen vizsgálatok rendkívüli jelentőségüket nem csak a belőlük nyert értékes információnak köszönhetik, de annak is, hogy ezek voltak az első Magyarországon elvégzett „plate jacking” vizsgálatok.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket nyilvánítják a vizsgálatot megrendelő RHK Kft. szakembereinek, akik nélkül ez a vizsgálat nem jöhetett volna létre. Köszönjük továbbá a Mecsekérc Zrt. és a Kőmérő Kft. szakembereinek segítségét, akik segítettek a vizsgálatok előkészítésében és kivitelezésében. Végül, de nem utolsó sorban köszönjük a vizsgálatok kivitelezése és az adatok feldolgozása során nyújtott segítségét a Mott MacDonald Magyarország Kft. szakembereinek, elsősorban Dr. Alun Thomas-nak, Pavlo Seredának, Váró Ágnesnek és Bicskei Dorottyának.

IRODALOMJEGYZÉK

- Coulson J.H. 1979. Suggested Methods for Determining In Situ Deformability of Rock. *Int. J. Rock Mech. Mining Sci. & Geomech. Abst.*, **16**(3): 195-214.
- Hoek E. & Brown E.T. 1980. *Underground excavations in rock*. Institution of Mining and Metallurgy, London, 536 p.
- Jakab A., Deák F., Kovács L., Maracsik Z., Máté K., Németh L., Rátkai O., András El, Szamos I., Szabadosné Sallay E. 2009. A Bátaapáti Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló feltáró vágatai térképészete 1. ütem. Vágatdokumentációs jelentés – "kishurok". *RHK belső jelentés 2009 június*, Pécs. RHK-K-040/09.
- Kandi E., Sereda P., Lowson A., Bicskei D. & Váró Á. 2010. Plate Jacking mérési jelentés, *RHK belső jelentés 2010 február*, Mott MacDonald Magyarország Kft., Budapest, RHK-K-204/09
- Pound C., Casson E., Thomas A., Powell D.B. 2003. Predicted and observed ground movements around a sprayed concrete lined tunnel in a dense conglomerate in San Diego *Underground Construction 2003*, London, pp 59-70.
- Ünal E. 1997. Determination of in situ Deformation Modulus: New Approaches for Plate-Loading Tests. *Int. J. Rock Mech. Mining Sci. & Geomech. Abst.* **34**(6): 897-915.