A rendezvény támogatói:

MECSEKÉRC Zrt.

KŐMÉRŐ

Geo-Log

Geológus Kft.

Golder Associates

Szervezők:

MAGYARHONI FÖLDTANI TÁRSULAT
MENTE ET MALLEO
1848

2013-2016

BAF kutatás

BAF *kutatás*

2013-2016

BAF KUTATÁS

szakmai előadói nap

kiadványa

Szervezők:

Magyarhoni Földtani Társulat Dél-Dunántúli Területi Szervezete

MTA Pécsi Akadémiai Bizottság X. sz. Föld- és Környezettudományok Szakbizottság
Földtani és Bányászati Munkabizottsága

Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.

Helyszín:

PAB Székház
(7624 Pécs, Jurisics Miklós u. 44. I. emeleti nagy előadó)

A rendezvény támogatói:

Mecsekérc Zrt.

Kőmérő Kft.

Geo-Log Kft.

Geológus Kft..

Golder Associates (Magyarország) Zrt.

ISBN 978-963-8221-60-5

Szerkesztette:

Dályay Virág, Hámos Gábor

Borítóterv:

Dályay Virág

Címlapfotó:

Barna Imre

Nyomda:

Molnár Nyomda és Kiadó Kft.
(7622 Pécs, Légszeszgyár u. 28.)

A kötetben közölt cikkekért a szerzők vállalják a szakmai felelősséget.

BAF kutatás
szakmai előadói nap
programja

08.30-9.30	**Regisztráció**	
9.30-9.35	**Köszöntő** Köszöntőt mond: Hámos Gábor Magyarhoni Földtani Társulat Dél-Dunántúli Területi Szervezet Elnök MTA PAB X. sz. Föld- és Környezettudományok Szakbizottság Földtani és Bányászati Munkabizottsága Elnök	
I.: A Bodai Agyagkő Formáció kutatásához kapcsolódó újabb kutatási tevékenység és eredményei Levezető elnök: Hámos Gábor		
9.35–9.55	Tungli Gy., Molnár P. (RHK Kft.)	A Bodai Agyagkő Formáció földtani kutatása
9.55–10.25	Máthé Z. (MECSEKÉRC Zrt.)	A Bodai Agyagkő Formáció képződési környezete
10.25–10.40	Halmai Á., Halász A. (PTE)	A mélység színei – BAF fúrómagok színének kvantitatív vizsgálata
10.40–11.00	Majoros Gy., Menyhei L. (MECSEKÉRC Zrt.)	A Mecsek és környékének szerkezete, földtani ismereteink megkísérelt integrált értelmezése tükrében
11.00–11.15	Konrád Gy. (Geológus Kft.), Sebe K. (PTE), Budai T. (MFGI)	A Bodai Agyagkő kutatási területének földtani térképezési munkái (1995-2016)
11.15–11.35	**Kávészünet**	
II.: A BAF-2 és BAF-1, -1A fúrások dokumentálási és vizsgálati eredményei Levezető elnök: Földing Gábor		
11.35–11.50	Vágó Z., (MECSEKÉRC Zrt.), Szegő I. (RHK Kft.)	A BAF-2 és BAF-1, -1A magfúrások műszaki kivitelezése
11.50–12.15	Konrád Gy. (Geológus Kft.), Halász A., Sebe K. (PTE), Bernáth Gy., Gärtner D. (Geo-Log Kft.), Hámos G., Sámson M., Máthé Z., Óbert V. (MECSEKÉRC Zrt.), Benei B. (BIOCENTRUM Kft.), Magyar L. (TIMÓ Bt.)	A BAF-1, -1A és a BAF-2 fúrás földtani eredményei
12.15–12.40	Somodi G., Kovács L. (Kőmérő Kft.)	A BAF-2 fúrás jellemzése a fúrómagokon végzett kőzettestosztályozás és kőzetmechanikai laboratóriumi eredmények alapján
12.40–13.00	Fedor F. (Geochem Kft.), Máthé Z. (MECSEKÉRC Zrt.), Koroncz P., Ács P. (Geochem Kft.)	A BAF-2 és BAF-1, -1A fúrások kőzetanyagán végzett geokémiai, ásványtani és kőzetfizikai laboratóriumi vizsgálati mérések eredményei
13.00–14.00	**Ebédszünet**	

III.: A BAF-2 és BAF-1, -1A fúrások lyukgeofizikai, hidrogeológiai vizsgálatai Levezető elnök: Molnár Péter		
14.00–14.25	Bernáth Gy., Gärtner D. (Geo-Log Kft.), Zilahi-Sebess L. (MFGI), Hámos G. (MECSEKÉRC Zrt.)	Mélyfúrásgeofizikai eredmények a BAF 2014. évi kutatásából
	Mázik J. (MECSEKÉRC Zrt.)	A VSP mérések eredményei, tapasztalatai a BAF-2 fúrásban
14.25–14.45	Andrássy M., Darvas K., Korpai F. (Golder Zrt.)	A BAF–2 és BAF–1, –1A fúrások pakkeres hidraulikai vizsgálatai
14.45–14.55	Korpai F., Andrássy M., Dankó Gy., Darvas K. (Golder Zrt.)	A BAF-2 fúrás többpakkeres rendszere
14.55–15.05	Dankó Gy., Farkas M. P., Korpai F. (Golder Zrt.)	A BAF-2 fúrás hidrorepesztés vizsgálatai
15.05–15.15	Földing G., Máthé Z., Mészáros A. (MECSEKÉRC Zrt.)	BAF-2 és BAF-1, -1A fúrások vízmintavételi, vízvizsgálati eredményei
15.15–15.30	**Kávészünet**	
IV.: A BAF kutatási terület földtani-szerkezeti, vízföldtani vizsgálatai Levezető elnök: Máthé Zoltán		
15.30–15.45	Földessy J., Nádasi J. (Miskolci Egyetem), Máthé Z. (MECSEKÉRC Zrt.)	Hidrotermális ujjlenyomatok a Bodai Agyagkő Formáció kőzetein
15.45–16.05	Vértesy L., Füsi B., Gulyás Á., Kiss J., Sőrés L., Zilahi-Sebess L. (MFGI), Konrád Gy., Sebe K. (Mérce Bt), Hámos G. (MECSEKÉRC Zrt.)	A B-3 árkolás szakmai előkészítése
16.05–16.20	Hámos G., Benő D., Dályay V., Nadrai J., Sámson M., Szabó R., Szamos I. (MECSEKÉRC Zrt.), Konrád Gy., Benei B., Halász A., Sebe K. (Mérce Bt.)	Tektonikai stabilitás vizsgálat kutatóárokkal a BAF elterjedési területén
16.20–16.40	Csurgó G. (MECSEKÉRC Zrt.), Szabó Zs. (Golder Zrt.)	BAF vízföldtani reambuláció 2015 – BAF kutatás, I. felszíni kutatási fázis, 2. szakasz
16.40–17.00	**Molnár Péter (RHK Kft.)**	**Zárszó/Jövőkép**

A Bodai Agyagkő Formáció földtani kutatása

Geological investigation of the Boda Claystone Formation

TUNGLI GYULA[1], MOLNÁR PÉTER[1]

[1]*Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.*
tungli.gyula@rhk.hu, molnar.peter@rhk.hu

Abstract

Public Limited Company for Radioactive Waste Disposal (PURAM) is responsible for site selection and evaluation of a deep geological repository intended for the final disposal of high level radioactive waste and spent nuclear fuel. The recent stage of the geological investigation programme has started in 2013. The main objective is to clarify whether the Boda Claystone Formation is a suitable host rock for the implementation of a safe geological disposal facility at a depth of 500–1000 metres.

In this presentation main goals, tasks and methods of the recent investigation stage are outlined together with a short summary of the already performed jobs. Scientific results of the geological research programme will be expounded in the next presentations.

Összefoglaló

A Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. (RHK) egyik feladata a hazai nagy aktivitású radioaktív hulladékok és a kiégett nukleáris fűtőanyag végleges elhelyezését biztosító mélységi geológiai tároló telephelyének kijelölése és vizsgálata. A Nyugat-Mecsekben az 1990-as évek óta folyó földtani kutatás újabb szakasza 2013-ban indult. A vizsgálatok célja annak tisztázása, hogy a Bodai Agyagkő Formáció képződményeiben 500–1000 m mélységben biztonságosan megvalósítható-e egy mélységi geológiai tároló.

Az előadás bemutatja a jelen kutatási szakasz konkrét céljait, a kutatás feladatait, módszereit, és az elvégzett munkákat. A kutatás eddigi eredményeiről az ülés további szakmai előadásai adnak számot.

Kulcsszavak: Nyugat-Mecsek, Bodai Agyagkő Formáció, földtani kutatás, radioaktívhulladék-tároló

Bevezetés

A Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. (RHK) egyik feladata a hazai nagy aktivitású radioaktív hulladékok és a kiégett nukleáris fűtőanyag végleges elhelyezését biztosító mélységi geológiai tároló telephelyének kijelölése és vizsgálata. Már 1983-ban felmerült, hogy a nyugat-mecseki uránércbányászat kapcsán alaposabban megismert Bodai Agyagkő Formáció (BAF) alkalmas lehet egy radioaktívhulladék-tároló befogadására. Azóta hosszabb megszakításokkal, változó intenzitással folyik a potenciális befogadó képződmény, illetve elterjedési területének földtani kutatása. A vizsgálatok célja annak tisztázása, hogy a BAF képződményeiben 500–1000 m mélységben biztonságosan megvalósítható-e egy mélységi geológiai tároló.

A jelenleg folyó, 2013-ban indult kutatási fázis keretében számos új eredmény született, amelyek korábban még nem kerültek a szakmai nyilvánosság elé. Első alkalommal a mostani előadóülés ad átfogó képet a kutatás eddigi eredményeiről.

1. Kutatási előzmények

Az 1990-es években több kutatási program zajlott a tároló telephelyének kiválasztása, illetve a tárolót befogadó képződmény jellemzése céljából. Ezek a vizsgálatok nem minden esetben követték a

fokozatos megismerés elvét, hanem az aktuális helyzethez (pl. az uránbánya üregrendszere által nyújtott megismerési lehetőséghez) igazodtak.

Az első kutatás, amely kifejezetten a BAF vizsgálatára irányult, a Mecseki Ércbányászati Vállalat finanszírozásában zajlott, 1989–1995. között (**Alfa-projekt**). Az uránbányából mintegy ezer méteres mélységben kihajtott vágatrendszerrel közelítették meg, illetve tárták fel a BAF-ot. A felszínről mélyített 2 db 1200 m-es fúrásban és számos rövidebb felszíni és felszín alatti fúrásban vizsgálták a képződmény tulajdonságait.

A földtani kutatás 1996–98. között a Paksi Atomerőmű finanszírozásában, a kanadai AECL közreműködésével, az ún. **Rövid távú program** keretében folytatódott. Az uránbányából kihajtott vágattal 430 m hosszan haladtak a BAF képződményeiben. Összesen 5 260 fm felszíni és 2 300 fm bányabeli fúrás létesült, komplex helyszíni és laboratóriumi vizsgálatokat végeztek, mintegy 25 km^2 területen folyt külszíni földtani térképezés és vízföldtani felvételezés. A kutatás nem tárt fel olyan körülményt, amely kizárná egy mélységi geológiai tároló létesítését, és megerősítette a képződmény potenciális alkalmasságát. Megállapították, hogy a BAF geometriai méretei, izolációs tulajdonságai és geotechnikai jellemzői nemzetközi összehasonlításban is megfelelőek, mindenképpen érdemesek a továbbkutatásra. Igazolódott a formáció rétegtani egyveretűsége, a nyugat-mecseki kifejlődések rétegtani-kőzettani hasonlósága, a szintek követhetősége. Megállapították, hogy a Nyugat-Mecsekben, Boda térségében mintegy 30-35 km^2 területű és legalább 500–600 m vastagságú térrész áll rendelkezésre a tároló optimális helyszínének a kijelöléséhez.

Az uránbánya bezárásával 1998-ban megszűnt a nagy mélységben történő közvetlen hozzáférés és kutatás lehetősége. Az ekkor alakult RHK újragondolta a tároló kialakítására irányuló elképzeléseket, és 1999–2000-ben az ország teljes területére kiterjedő formáció-minősítő kutatást végeztetett, a mélységi geológiai tároló befogadására potenciálisan alkalmas földtani képződmények számbavételére és rangsorolására. Az országos szűrés eredményei alapján a BAF bizonyult a legígéretesebb befogadó kőzetnek.

A nyugat-mecseki környezeti monitoring rendszer kialakítása már a Rövid távú program keretében megkezdődött, de első jelentős fejlesztésére 2000-ben, az uránipari rekultivációs program keretében került sor. A rendszer elsősorban hidrogeológiai célokat szolgál: fő elemei a megfigyelőkutak, vízhozammérő szelvények, meteorológiai állomások, valamint a rendszeres vízmintavételi pontok. A 2004-től folytatódó földtani kutatás keretében a monitoring rendszer új hidrogeológiai megfigyelő pontokkal bővült, továbbá radiometriai mérőállomás, GPS geodéziai mérőhálózat és mikrorengés-figyelő szeizmotektonikai mérőhálózat létesült.

A 2003–2008. közötti időszakra az RHK egy felszíni, majd egy felszín alatti kutatási fázisból álló, intenzív és nagy ívű kutatási programot irányzott elő a tároló létesítésére alkalmas telephely és egy új felszín alatti kutatólaboratórium helyszínének kijelölésére a BAF-ban. A kutatási terv [1] a 62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet alapján készült. A kutatás 2004-ben megindult, azonban már a következő évben – pénzügyi forrás hiányában – le is állt. A térségben ezt követően csak a BAF környezetének megfigyelésére irányuló monitoring rendszer működött tovább.

A 2005-ös hirtelen leállás nyomán egy sor megkezdett terepi tevékenység félbeszakadt, az adatok, információk összegzése, értékelése csak részlegesen történt meg. Időközben lejárt a kutatási engedély határideje, ezért az RHK 2010 tavaszán nyilatkozott az engedélyező bányahatóságnak, hogy a kutatási fázis tervezett munkái csak részben valósultak meg, a programot nem sikerült lezárni, és a megszerzett adatok nem teljes körűsége miatt kutatási zárójelentés nem készíthető. Az RHK álláspontja ugyanakkor nem változott a tekintetben, hogy a hazai nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezésére szolgáló mélységi geológiai tároló első számú potenciális befogadó összlete a BAF.

2. A 2013-ban indult új kutatási szakasz célja

Jóllehet Magyarország a mélységi geológiai tároló építésének megkezdését csak 2055-től, előtte a felszín alatti kutatólaboratórium megépítését csak 2030-tól irányozta elő, az RHK úgy értékelte, hogy a földtani kutatás feladatainak nagysága, egyedisége, időigénye, az esetleges alternatív megoldások értékelése szükségessé teszi a kutatási tevékenység mielőbbi megkezdését, illetve folytatását. Ezen álláspontnak megfelelően az RHK a BAF földtani kutatási programjának mielőbbi folytatását irányozta elő.

Az RHK 2012-ben egy új földtani kutatási tervet [2] állított össze, mely a 2013–2018. között esedékes feladatokat tartalmazta. A 2013-ban indult kutatási szakasz általános célja információgyűjtés és adatszolgáltatás a helyszínminősítéshez és a következő kutatási fázis célterületének kijelöléséhez. Három konkrét célt határoztunk meg:

- a területrangsorolást megalapozó biztonsági értékeléshez szükséges földtani adatok, információk összegyűjtése;
- a tároló létesítése szempontjából hátrányos tényezők, kizárási kritériumok értékelése és kiszűrése;
- a potenciális befogadó képződmény jellemzése.

Általános céljait tekintve a 2013-ban indult 2. kutatási szakasz a 2005-ben félbeszakadt 1. szakasz folytatása és befejezése, azonban a korábbinál szűkebb konkrét célok elérését tűztük ki. Az új szakasz mind a tervezett feladatok, mind az eredmények és értékelések felhasználása terén szorosan illeszkedik a korábbi munkákhoz, ezért a 2004–2005. évi kutatási tevékenységet a jelen kutatás közvetlen előzményének tekintjük. A kutatási terv azzal számolt, hogy a jelen kutatás zárójelentése a tíz évvel ezelőtt zajlott és a most folyó kutatás során összegyűjtött földtani adatokat és információkat együttesen fogja tartalmazni és értékelni.

Az új kutatási terv [2] összeállítása előtt áttekintettük a 2004–2005-ben elvégzett tevékenységeket. Külső szakértők közreműködésével felülvizsgáltuk az 1. szakasz során alkalmazott terepi kutatási módszerek és metodika eredményességét, áttekintettük az elvégzett elemzéseket és kiértékeléseket és összegeztük a tapasztalatokat [3] [4].

A 2013-ban indult új kutatási szakasz földtani kutatási tervét az RHK Stratégiai és Mérnöki Irodájának (SMI) munkatársai állították össze. A kutatás engedélyeztetését, valamint a földtani kutatás szakmai irányítását és a kutatási zárójelentés elkészítését is az RHK jórészt saját erőforrásaira támaszkodva, szakértői közreműködéssel biztosítja. A földtani kutatás tervét a Pécsi Bányakapitányság 2013. május 28-án fogadta el. A kutatási engedély 2017. január 31-ig szól.

Az engedély alapján a földtani kutatás kivitelezésére az RHK 2013-ban két közbeszerzési pályázatot folytatott le, majd az év végén a szerződéseket is megkötötte: a földtani kutatás végrehajtásáról szóló vállalkozási szerződést a Mecsekérc Zrt. és a Közgép Zrt. közös ajánlattevőkkel, a kutatólétesítmények kivitelezésének műszaki felügyeletéről szóló megbízási szerződést pedig a Bátkontroll Kft.-vel. A kivitelezés feszes ütemezéssel számolt. A terepi munkákat mintegy négy év alatt kellett volna elvégezni, majd az értékelő és összegző munkákat követően a zárójelentés benyújtásának tervezett időpontja 2018 közepe.

A szerződésben előirányzottnál jóval korlátozottabb finanszírozási lehetőségek miatt a terepi munkák a tervezettnél lassabban haladnak. 2016 közepéig a munkáknak csak kb. 15%-át végeztük el, és 2017-ben sem várható számottevő előrehaladás. A földtani kutatás megindítása óta jelentősen megváltozott a jogi szabályozás is: a 62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet helyett 2014 közepétől a tároló létesítmény telephelyének vizsgálatát és értékelését a 155/2014. (VI. 30.) Korm. rendelet szabályozza. A változás valóban jelentős mértékű, a szabályozás minden elemében tetten érhető. Az új kormányrendelet telephelyenként kidolgozandó kutatási keretprogramok készítését írja elő, és az egyes kutatási fázisok tervei is ehhez illeszkednek. Megváltozott az engedélyező hatóság is: a kutatási terveket és zárójelentéseket az Országos Atomenergia Hivatalhoz kell benyújtani jóváhagyásra.

3. A kutatás feladatai és módszerei

A kutatási tervben a kutatási feladatokat és módszereket az IKIM-rendelet szerinti földtani vizsgálati szempontokhoz rendelve határoztuk meg. Öt kutatási feladatcsoportot definiáltunk: geomorfológiai kockázatok értékelése, földtani térmodell kialakítása, a vízföldtani viszonyok jellemzése, geodinamikai folyamatok értékelése, a befogadó kőzet jellemzése. Az egyes feladatcsoportokon belül konkrét feladatokat jelöltünk ki. Meghatároztuk ezek célját (területrangsorolás, kizáró szűrés, ill. a befogadó képződmény jellemzése), térbeli kiterjedését (a kutatási terület, DK-Dunántúl vagy a teljes Pannon-medence), és az értékelés időtávját (rövid távú – a tároló üzemeltetésének időszaka, középtávú – 100 000 évig terjedő, vagy hosszú távú – földtani időléptékű).

A kutatási feladatokhoz kutatási módszereket rendeltünk. Hat jelentősebb módszercsoportot különítettünk el: 1.) kutatási létesítmények (mély- és sekélyfúrások, kutatóárok) kialakítása, 2.) helyszíni geofizikai, geotechnikai és hidraulikai mérések, 3.) dokumentálás, mintavételek és laboratóriumi vizsgálatok, 4.) területi geomorfológiai, geofizikai és vízföldtani vizsgálatok, 5.) terepi vizsgálatok nélküli adatgyűjtés és értékelés valamint 6.) földtani-vízföldtani monitoring. A kutatás tervezett feladatait és módszereit összefoglalóan az 1. táblázat mutatja be.

Nagy aktivitású radioaktív hulladékok esetén a mélységi geológiai tároló lezárása utáni időszakban a földtani környezetnek önmagában kell biztosítania a hosszú távú sugárvédelmi követelmények teljesülését (földtani gát). A tervezett tároló szempontjából a földtani gátat elsősorban a befogadó kőzet, a BAF képződményei alkotják, amelyek a radioizotópok terjedését gátló, kedvező ásvány-kőzettani és geokémiai tulajdonságokkal, továbbá rossz vízvezető képességgel rendelkeznek. A földtani gátnak a biztonsági értékelésben számba vett, millió éves időtávlatban meg kell őriznie a kedvező izolációs tulajdonságait. Ezért az elhelyezési mélység meghatározásakor figyelembe kell venni a terület felszínfejlődési és geodinamikai folyamatait is.

A földtani gát károsodásának megelőzése érdekében a jelen kutatást úgy terveztük, hogy a kutatólétesítmények – elsősorban a mélyfúrások – lehetőleg ne érintsék közvetlenül a tároló kialakítására alkalmasnak látszó térrészben a befogadó kőzetet, ne nyissanak új, mesterséges áramlási pályákat. Ezért előzetesen meghatároztuk azt az ún. „potenciális elhelyezési zónát”, amelyben a jelenlegi ismeretek alapján a majdani tároló kialakítható. A potenciális elhelyezési zóna kijelölésekor az alábbi szempontokat vettük figyelembe:

- A rendelkezésre álló adatok szerint a terület kiemelkedésének sebessége legfeljebb néhány tized milliméter évente, amellyel nagyjából lépést tart a lepusztulás (erózió) mértéke. Mivel a tároló izolációját millió éves időtávlatban kell garantálni, így a tárolót a jelenlegi felszín alatt legalább 500 m-rel célszerű kialakítani. Az elhelyezendő kiégett fűtőelemek hőtermelése, és a létesítmény kialakításával kapcsolatos gazdaságossági megfontolásból viszont a tárolót nem érdemes 900 m-nél mélyebben megépíteni (1. ábra).
- A nyugat-mecseki antiklinálisban a BAF rétegsorának felső 50 m-es, ill. alsó kb. 100 m vastag átmeneti zónája repedezettebb, kevésbé kedvező a tároló kialakítása szempontjából. A Goricai blokkban a BAF teljes kifejlődése és az átmeneti zóna is vékonyabb.
- A tároló biztonsága szempontjából kockázatot jelent a mecseki uránbányászat felhagyott üregrendszere, ezért célszerű a fejtési térségektől legalább 1 km-es védőtávolságot tartani.

A fenti szempontok alapján a felszínen kijelöltük azt a mintegy 37 km^2-es területet, ahol az előzetes ismeretek szerint lehetséges a tároló kialakítása (2. ábra). A kutatás során a földtani gát védelmét úgy biztosítjuk, hogy a BAF területi jellemzésére tervezett ún. alapfúrásokat az elhelyezési zóna peremeire telepítettük. A fúrások helyét úgy jelöltük ki, hogy a BAF változékonyságát mind az elterjedés csapása mentén, mind az egyes fúrások között, a formáció dőlése mentén jellemezni tudjuk. További szempont volt, hogy az alapfúrások minél közelebb kerüljenek a kutatás 1. szakaszában, illetve a jelen szakaszban tervezett reflexiós szeizmikus szelvények nyomvonalához, segítsék azok értelmezését.

A potenciális elhelyezési zóna Ny-i szélének közelében mélyülő alapfúrások helyszínét úgy terveztük, hogy a BAF-ot minél nagyobb vastagságban harántolják, mélységüket pedig úgy határoztuk meg, hogy legalább 100 m-t belefúrjanak a BAF alatt települő Cserdi Formáció homokköveibe. Tervezett mélységük 400-900 m. A potenciális elhelyezési zóna D-i és K-i szélén – a korábbi kivitelezési tapasztalatok figyelembe vételével – fúráspárok kialakítását tervezzük. Közülük a kisebb mélységű a BAF közvetlen fedőjét alkotó Kővágószőlősi Homokkő Formáció képződményeit és a fedőszint helyzetét tárja föl, és mintegy 50 m-t mélyül a BAF kőzeteibe. Tervezett maximális mélységük 650-850 m. A fúráspárok mélyebb tagja a fedőképződményekben teljes szelvénnyel halad, majd 20-50 m-rel a BAF fedőszintjének elérése előtt magfúrásra vált, és így harántolja a teljes BAF-ot, 20-50 m-re mélyülve a fekü kőzeteibe. E fúrások mélysége várhatóan 1300-1600 m lesz.

A jelen kutatási szakaszban 3 db, 400-700 m mély szerkezetkutató fúrás lemélyítését is terveztük. Ezek célja a potenciális elhelyezési zónát harántoló két legfontosabb tektonikai szerkezet – a nyugat-mecseki boltozatot két részre tagoló Boda–Büdöskúti-árok, valamint a Goricai blokkot délről határoló Hetvehely–Magyarszék szerkezeti öv – mélységbeli harántolása és jellemzése. E fúrások lehetővé teszik a vizsgált szerkezetek térbeli helyzetének pontosítását, vastagságuk, tektonikai jellegük, és a mélységi vizekre gyakorolt hidraulikai hatásuk vizsgálatát. A tervezett kutatólétesítmények közé tartozik még 2 db 100 m mélységű geotechnikai célú fúrás, valamint egy kutatóárok Cserdi térségében, a Boda–Büdöskúti-árok menti szerkezeti mozgások korának pontosítására.

A tervezett tároló létesítmény hosszú távú radiológiai biztonságának megítéléséhez nemcsak a BAF szűkebb elterjedési területének, hanem a tároló tágabb földtani környezetének részletes megismerése is szükséges – különösen a felszín alatti vízáramlási rendszer értékelése céljából. A tervben kijelöltük a földtani kutatás 86,7 km^2 kiterjedésű területét (2. ábra). A kutatási területre esik a jelen kutatási fázisban tervezett összes kutatólétesítmény, továbbá a tervezett szeizmikus szelvények nyomvonalának túlnyomó része. Az RHK kezdeményezte, hogy a lehatárolt térrészt érintő bármely nyersanyagkutatási vagy egyéb, a bányatörvény hatálya alá tartozó tevékenység engedélyezési eljárása során a bányakapitányság vonja be érintett ügyfélként az RHK-t, ezúton érvényesítve a földtani gát védelmére vonatkozó jogszabályi követelményeket.

4. Az elvégzett munkák

A tervezett 11 db 400 és 1 600 m közötti mélyfúrásból a potenciális elhelyezési zóna D-i peremén 2014-ben lemélyült a BAF-2 (913,6 m), valamint a BAF-1 és -1A (474,6 m) alapfúrás. E fúrásokban helyszíni geofizikai, hidraulikai és geotechnikai vizsgálatokra és mélységi vízmintavételekre került sor. Megtörtént a fúrómagok földtani-tektonikai dokumentálása és mintázása. A mintákon komplex ásvány-kőzettani, geotechnikai és kőzetfizikai laboratóriumi vizsgálatokat végeztek. 2015-ben a BAF-2 fúrás mintáin megkezdtük a hosszú időt igénylő transzportvizsgálatokat, amelyek 2016 őszére befejeződnek. A BAF-2 fúrásban megjelenő piritesedés és ércindikációk miatt speciális mintázást és vizsgálatot folytattunk a képződmény nyersanyag-perspektíváinak tisztázására.

A szűkös pénzügyi keretek miatt 2015 óta nem tudtunk új kutatófúrást indítani. Így nem készült el még a BAF-1 fúrás 1300 m mély párja, azonban – a fedőképződmények erős tektonizáltsága ellenére – e mélyfúrást továbbra is az eredetileg tervezett helyen szándékozunk lemélyíteni. Előre léptünk ugyanakkor az engedélyezési folyamatban. Az RHK megszerezte további két mélyfúrás (BAF-3, BAF-3A) építési engedélyét, és folyamatban van a BAF-4 mélyfúrás engedélyezése is. A szükséges pénzügyi forrás rendelkezésre állása esetén a további fúrások mélyítését azonnal meg lehet kezdeni.

2015 őszén megkezdődött és 2016 június közepén befejeződött a mintegy 700 m hosszúságú, 2–6 m mélységű B-3 kutatóárok kialakítása és vizsgálata Cserdi mellett. A kutatóárok célja Boda-Büdöskúti szerkezeti öv neotektonikai mozgásának vizsgálata volt a felső-pannon és negyedidőszaki üledékek települési viszonyai alapján. Létesítéséhez külön építéshatósági engedélyezési eljárást folytattunk le. Helyét és nyomvonalát a 2014-ben lefolytatott területi geofizikai előkészítő mérések és

mérnökgeofizikai szondázások eredményei alapján a kutatási tervben szereplőhöz képest jelentősen módosítottuk.

Az egyes kutatólétesítményekhez kapcsolódó helyszíni vizsgálatokon kívül a kutatási terület egészét vagy egy részét lefedő terepi felmérésekre is sor került. A 2004-ben a Goricai-blokk térségében megindított vízföldtani reambulációt 2015-ben kiterjesztettük a teljes kutatási területre, így a nyugat-mecseki boltozat területére is. A Goricai-blokk szintén 2004-ben megkezdett földtani térképezését 2015-16-ban kiegészítettük a Hetvehely–Magyarszék szerkezeti öv környezetének térképezésével. 2016-ban megkezdtük a területi geomorfológiai vizsgálatokat, amelyek célja a tároló felszíni létesítményeinek telepítésével kapcsolatos geomorfológiai kockázatok térképének megszerkesztése, valamint a vertikális kéregmozgás értékelése a Ny-Mecsekre és környezetére kiterjedően.

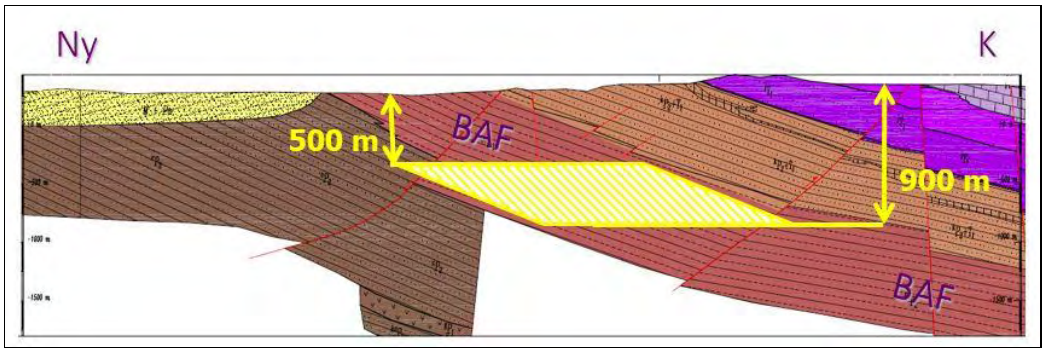
Számos önálló értékelő munkát is elindítottunk. 2015-16-ban elkészült a Dél-Dunántúl pretercier aljzatának új szerkezeti térképe. Beszereztük a kutatási terület tágabb környezetét lefedő archív műholdradar felvételeket, és az állandó szórópontú radar-interferometria (PSInSAR) módszer alkalmazásával 2016-ban értékeljük a felszín deformációs folyamatait. 2016-17-ben sor kerül a BAF kutatási területének környezetében több mint egy évtizede működő komplex (hidrometeorológiai, vízföldtani, környezeti, geodinamikai és szeizmotektonikai) monitoring rendszer adatainak értékelésére.

A kutatás során kialakított minden egyes létesítményről, területi felmérésről és értékelő munkáról önálló összefoglaló-értékelő jelentésben számolunk be. A kutatási zárójelentés megalapozására integrált szakterületi értékelő jelentések készülnek. A kutatás eddigi eredményeiről az ülés további szakmai előadásai adnak számot.

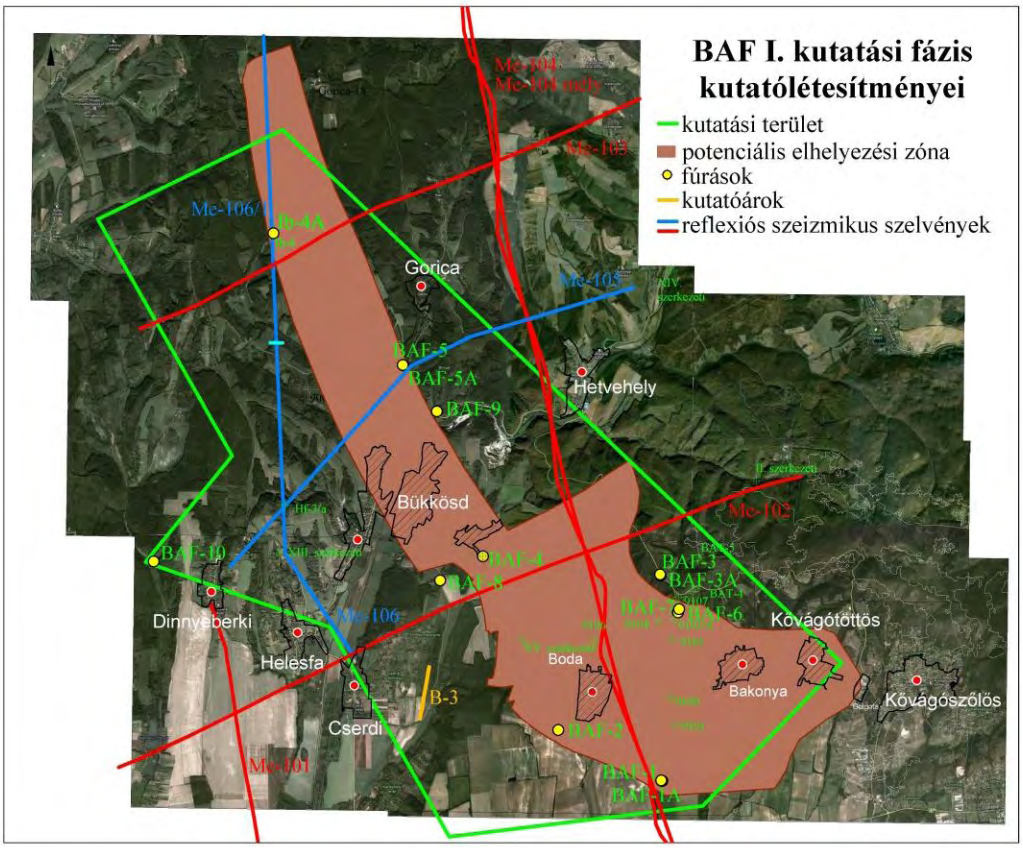
1. táblázat: A tervezett kutatási feladatok és módszerek

Kutatási feladat, feladatcsoport	*Cél**	*Lép-ték**	*Idő-távl**	*Kutatási módszer*				
				kutatólétesítmény	*területi vizsgálat*	*mintavétel, labor*	*helyszíni mérés*	*adatgyűjtés, értékelés*
Geomorfológiai kockázatok								
félmennyiségi kockázatbecslés	TR, KSz	L	R					terepmodell és földtani térkép feldolg., monitoring adatok értékelése
geomorfológiai kockázati térkép szerkesztése	TR, KSz	L	R		terepbejárás, kiegészítő felvételezés			korábbi térképek, archív és új légi- és űrfelvételek feldolg.
Földtani térmodell kialakítása:								
települési viszonyok meghatározása	TR, KSz	L	K, H	mélyfúrások	reflexiós szeizmikus szelvények	őslénytani vizsg.	VSP mérések	archív fúrási adatok, szeizmikus szelv., geofiz. felvételek és földt. térkép feldolg.
földtani objektumok általános jellemzése	TR, KSz, B	L, Á	R, K, H	földtani és tektonikai magdokumentálás		ásvány-kőzettani, szedimentológiai, kőzetfizikai és geokémiai vizsg.	komplex mélyfúrás-geofizika	változékonyság, tendenciák, bizonytalanság ért., geomatematika
földtani alkalmas-ságot kizáró kritéri-umok értékelése	KSz	L, Á	R, K, H					archív és új kutatási adatok célirányos értékelése
felszínfejlődési folyamatok modellezése	TR	L, Á, R	K, H					4D numerikus modellezés
Vízföldtani viszonyok jellemzése:								
vízháztartás vizsgálata	TR	L, Á	R, K, H		vízföldtani reambuláció		vízföldtani és hidrometeorológiai monitoring	monitoring adatok értékelése, klíma-fejlődési szcenáriók származtatása
képződmények és szerkezetek vízföldtani szerepe	TR, KSz, B	L, Á	K, H	mélyfúrások, földtani és tektonikai magdokumentálás	vízföldtani reambuláció	kőzetfizikai (permeab., porozitás) vizsgálata	komplex mélyfúrás-geofizika, áramlás-vizsg., pakkeres hidr. vizsgálatok	monitoring adatok értékelése
talajvízszint, hidrau-likus potenciálszint	TR, KSz	L	R, K, H	mélyfúrások	vízföldtani reambuláció		pakkeres hidr. vizsgálatok, vízföldtani monit.	monitoring adatok értékelése, térkép-szerk., inverz modell
vízkémiai viszonyok	KSz, B	L	R, K, H		vízföldtani reambuláció	vízmintavétel, vízgeokémiai vizsg.		monitoring adatok értékelése, archív adatok feldolgozása, geomatematika
Geodinamikai folyamatok								
szeizmológiai értékelés	KSz	Á, R	R, K				mikroszeizmológiai monitoring	monitoring adatok értékelése, archív adatok feldolgozása
neotektonikai folya-matok vizsgálata	TR, KSz, B	L, Á, R	K, H	szerkezetkutató és geotechnikai célú fúrások, B-3 kutatóárok, doku.	geoelektromos mérések, mérnök-geofizikai szond.		helyszíni kőzetfeszültség-vizsgálat	szeiz. monitoring adatok értékelése
vertikális kéregmoz-gás értékelése	KSz	Á, R	K, H	kézi feltárások	terepbejárás, morfotektonikai vizsgálatok	szedimentológiai, őslénytani és geokronológiai vizsg.	GPS mozgásvizsgálati monitoring	terepmodell, földtani és geomorf. térkép ért., műholdradar interferometria feld.
földtani fejlődés-történeti prognózis	KSz	Á, R	H					földtani adatok integrált értékelése, szcenáriók szárm.
A befogadó kőzet jellemzése:								
laboratóriumi vizsgálatok	TR, KSz, B	L	R, K, H			ásvány-kőzettani, kőzetmechanikai, kőzetfiz., termikus és transzportvizsg.		változékonyság, tendenciák, bizonytalanság ért., geomatematika

*Jelmagyarázat:
Kutatási cél: TR – terület-rangsorolás; KSz – kizáró szűrés; B – befogadó kőzet jellemzése.
Értékelés léptéke: L – lokális, a kutatási területre kiterjedő; Á – átfogó, a DK-Dunántúlra kiterjedő; R – regionális, a Pannon-medencére kiterjedő.
Értékelés időtávja: R – rövid távú, a tároló üzemeltetési időszaka; K – középtávú, 100.000 évig terjedő; H – hosszú távú, földtani távlatú.



1. ábra: A potenciális elhelyezési zóna mélység szerinti lehatárolása



2. ábra: A tervezett kutatólétesítmények, a potenciális elhelyezési zóna és a kutatási terület elhelyezkedése

Irodalom

[1] Kovács L. (szerk.) és 97 szerzőtársa (2004): Kutatási terv a BAF minősítését célzó Középtávú Program 1 kutatási fázisához (2004-2006). – Kézirat, MECSEKÉRC Rt.; Pécs, BAF04–H.1.9/1.

[2] Tungli Gy., Molnár P., Nagy Z., Török P. (2013): A Bodai Agyagkő Formáció földtani kutatása. Kutatási terv, I. felszíni kutatási fázis 2. szakasz. – Kézirat, RHK Kft., Paks, RHK-N-005/12.

[3] Földessy J., Fodor B., Szebényi G. (2012): Helyzetelemző értékelés. BAF I. felszíni kutatási fázis 1. szakasz, 2004-2005. – Kézirat, RHK Kft.; Paks, RHK-N-003/12.

[4] Füst A., Hatvani I. G., Müller P., Paál G. (2012): A BAF I. felszíni kutatási fázis keretében végzett tevékenységek módszertani értékelése (elemző tanulmány). – Kézirat, RHK Kft.; Paks, RHK-N-004/12.

A Bodai Agyagkő Formáció (BAF) képződési környezete

Depositional environment of the Boda Claystone Formation (BCF)

MÁTHÉ ZOLTÁN[1]

[1]*MECSEKÉRC Zrt., mathezoltan@mecsekerc.hu*

Abstract

Two distribution areas of BCF are known in the Western Mecsek Mountains: 1. perianticlinal structure of the W Mecsek Mountains; 2. so called Gorica Block. On the basis of numerous and complex mineralogical investigations, dominant minerals of the BCF are clay minerals (illite and/or muscovite, chlorite), authigenic albite, quartz (detrital component), carbonate minerals (calcite and dolomite) and hematite. In the Gorica Block, additionally, the BCF contains abundant analcime but authigenic K-feldspar is absent. Five rock types of BCF can be defined based on mineralogical and textural considerations: albitic claystone (in perianticlinal structure of the W Mecsek Mountains), albite- and analcime-bearing claystone (in Gorica Block), albitolite (authigenic albite content >50 wt %, this rock type is absent in Gorica Block), siltstone, dolomite and sandstone. BCF was deposited in a saline, shallow-water lacustrine environment (playa mudflat, playa lake) in a hydrologically closed basin under semi-arid to arid climatic conditions. Based on mineralogical paragenesis (halite is absent) and textural features the Gorica lake was less saline. Whereas, the perianticlinal facies was much saline, which the repeated evaporite layers prove.

Összefoglaló

A Ny-Mecsekben a BAF-nak két elterjedési területe ismert: 1. a Ny-Mecseki Antiklinális és 2. a Goricai Blokk. A nagyszámú és komplex ásványtani vizsgálatok alapján a BAF meghatározó ásványai az antiklinális területén: agyagásványok (illit/muszkovit, klorit), autigén albit, kvarc (törmelékes alkotó), karbonátok (kalcit, dolomit) és hematit. Ezzel szemben a Goricai Blokkban a BAF nagymennyiségű analcimot tartalmaz a fenti ásványokon kívül, és hiányzik az autigén K-földpát. Az ásványtani és szöveti megfontolások alapján a BAF öt kőzettípusa definiálható: albitos agyagkő (Ny-Mecseki Antiklinális), albit- és analcim-tartalmú agyagkő (Goricai Blokk), albitolit (autigén albittartalom >50 %; hiányzik a Goricai Blokkban), „igazi aleurolit”, dolomit (alárendelt a Goricai blokkban) és homokkő. A BAF kontinens belseji zárt, lefolyástalan medencében, sós, sekélytavi környezetben (playa-iszapsíkság, playa-tó) halmozódott fel szemiarid–arid klímán. Az ásványos összetétel alapján (kősó hiány) a goricai tó kevésbé sós volt. Ezzel szemben az antiklinálisi kifejlődés jóval sósabb volt, amit az ismétlődő evaporit rétegek bizonyítanak.

Kulcsszavak: Bodai Agyagkő Formáció, Mecsek-hegység, Goricai blokk, analcim, autigén albit, képződési környezet

Bevezető

A Bodai Agyagkő Formáció (BAF) az 1989 óta több fázisban zajló kutatási fázisok vizsgálati eredményei alapján potenciális befogadó képződménye a magyarországi nagyaktivitású radioaktív hulladékok mélygeológiai tárolójának. A Mecseki Ércbányászati Vállalat (MÉV; Előzetes Kutatási Program 1989–92), Paksi Atomerőmű Zrt. (Rövidtávú Kutatási Program 1995–98), majd az RHK. Kft. (Középtávú Kutatási Program 2004–2008, 2014-2018) finanszírozásában megvalósuló kutatási programok keretébenben számos mélyfúrás, földalatti kutató vágat és az abból indított fúrások tárták fel a formációt. A Ny-Mecsek területén a kb. 150 km^2-es elterjedési területe a földtani, szerkezeti viszonyok alapján két egységre bontható: 1. a Nyugat-Mecseki Antiklinális (vagy Bodai Blokk; itt jelenik meg a felszínen mintegy 15 km^2-es területen), 2. Goricai Blokk (csak mélyfúrásokból ismert). Az elvégzett nagyszámú és sokrétű ásvány-kőzettani, geokémiai, szöveti vizsgálat eredménye lehetővé tette a BAF ásványos összetételének, kőzettani (a formációt felépítő kőzettípusok elkülönítése) és

geokémiai jellegének, képződési környezetének a részletes leírását. Mindezek mellett ezen eredményekből számos fontos következtetés vonható le a terület ősföldrajzi, őséghajlati viszonyaira is.

1. A BAF ásvány-kőzettani jellegei

Az uralkodóan vörösbarna színű, mélyfúrások alapján a Bodai Blokk területén 700–900 m vastag, ezzel szemben a Goricai Blokkban kb. 300-350 m vastagságú, képződményben makroszkóposan agyagkő, aleurolit, homokkő és dolomit kőzettípusok különíthetőek el az agyagkő dominanciájával. Az eddigi ismereteink szerint egy vagy két (BAT-4, Delta-9, BAF–2 jelű fúrás) vékony, reduktív (sötétszürke, feketés szürke) agyagkő közbetelepülést tartalmaz. A BAF két elterjedési területén az alapvetően megegyező ásványos összetétel, kőzettani és geokémiai jelleg, szöveti jellegzetességek utalnak a képződési környezetre, a meglévő különbségek viszont egyértelműen mutatják a két kifejlődés képződési környezetében lévő eltéréseket.

1.1. Nyugat-Mecseki Antiklinális területe

Az ásványos összetétel meghatározó ásványai: agyagásványok, (uralkodó az illit-muszkovit, mellette nagyobb mennyiségben megjelenik a klorit, melynek eloszlása területenként, illetve időben is változó, bizonyos rétegekben dúsul, másokban hiányzik), autigén albit, törmelékes kvarc; karbonátok (általában dolomit és kalcit együttesen van jelen, azonban a dolomit önálló rétegeket is alkot), hematit [1][2][3]. Ezen uralkodó fázisok mellett megjelenő komponensek: szmektit (kis mennyiségben szinte mindig jelen van), klorit–szmektit kevert szerkezetű agyagásvány (tektonikai és a felszíni mállott zónákra jellemző), káliföldpát (törmelékes és autigén képződésű), egyéb törmelékes ásványok (leggyakrabban plagioklász, rutil, muszkovit, biotit, Fe-Ti-oxidok, apatit, cirkon), barit, anhidrit, pirit [1][2][3]. A közbetelepülő reduktív rétegek piritesek és szervesanyag-tartalmúak. Az antiklinális területén az uralkodó ásványfázisok mennyiségi arányai (1. táblázat), szöveti, szerkezeti, szedimentológiai bélyegek alapján a formációt az alábbi kőzettípusok alkotják: albitos („albit fészkes”) agyagkő, albitolit (50 %-ot meghaladó autigén albittartalom), „igazi” aleurolit, dolomit és homokkő közbetelepülések [1][2][3].

1. táblázat: Az antiklinálisi kifejlődés (Bodai Blokk) kőzettípusainak jellemző ásványos összetétele

Kőzettípus	*Agyagásványok (tömeg %)*	*Autigén albit (tömeg %)*	*Kvarc (tömeg %)*	*Karbonát (tömeg %)*	*Hematit (tömeg %)*
Albitos agyagkő	20-50	20-50	5-10	~10	7-10
Albitolit	<25	>50	<10	10	5-6
„Igazi ” aleurolit	~10	>35	>25	~10	5
Dolomit közbetelepülések	10	30-40	5	35-50	5
Homokkő	5-nyom	25-40 (földpát)	20-30	5-20	5-nyom

1.2. Goricai Blokk területe

A Goricai Blokk területén néhány archív fúrás (pl. Gorica–5, 7, 10, 18; ezek csak néhány 10 m-ben harántolták, és már nem áll rendelkezésre a maganyaguk), illetve a 2004–2005-ben mélyült Ib–4 jelű fúrás tárta fel a BAF-ot. Az Ib–4 fúrás által harántolt 210 m-es BAF szakasz mintáin elvégzett ásványtani vizsgálatok döntően az antiklinálisi elterjedéshez hasonló ásványos összetételt jeleznek: agyagásványok (uralkodó az illit-muszkovit, mellette nagyobb mennyiségben megjelenik a klorit), albit (csaknem teljes mennyisége autigén eredetű, kvarc (törmelékes alkotó); karbonátok, hematit [3]. Az antiklinálishoz viszonyítva lényeges eltérés az analcimnak a jelenléte, az autigén K-földpátnak a hiánya, valamint a dolomitnak az antiklinálisi kifejlődéshez viszonyítva jóval kisebb mennyisége. Az analcim aránya a formáción belül lefelé haladva először növekszik (eléri a 20 %-ot), majd az alsó homokkő és aleurolit rétegek uralta fekvő felőli átmeneti szakaszon eltűnik. Az autigén albit mennyisége a formáción belül lefelé haladva növekszik, az alsó homokkő és aleurolit rétegek uralta fekvő felőli átmeneti szakaszon erősen megnövekszik. A goricai blokki kifejlődésben uralkodó az

analcimos, albitos („analcim–albit fészkes”) agyagkő, gyakoribbá válik a homokkő és aleurolit, eltűnik az albitolit, és a dolomit közbetelepülések is alárendeltek [3].

2. Szöveti jellemzés

A két kifejlődési területen a formáció két legjellegzetesebb és legfeltűnőbb ásványa az albit (Bodai és Goricai Blokk), illetve az analcim (Goricai blokk).

A Bodai Blokk (Ny-Mecseki Antiklinális) területén az albit megjelenési formái a következők:

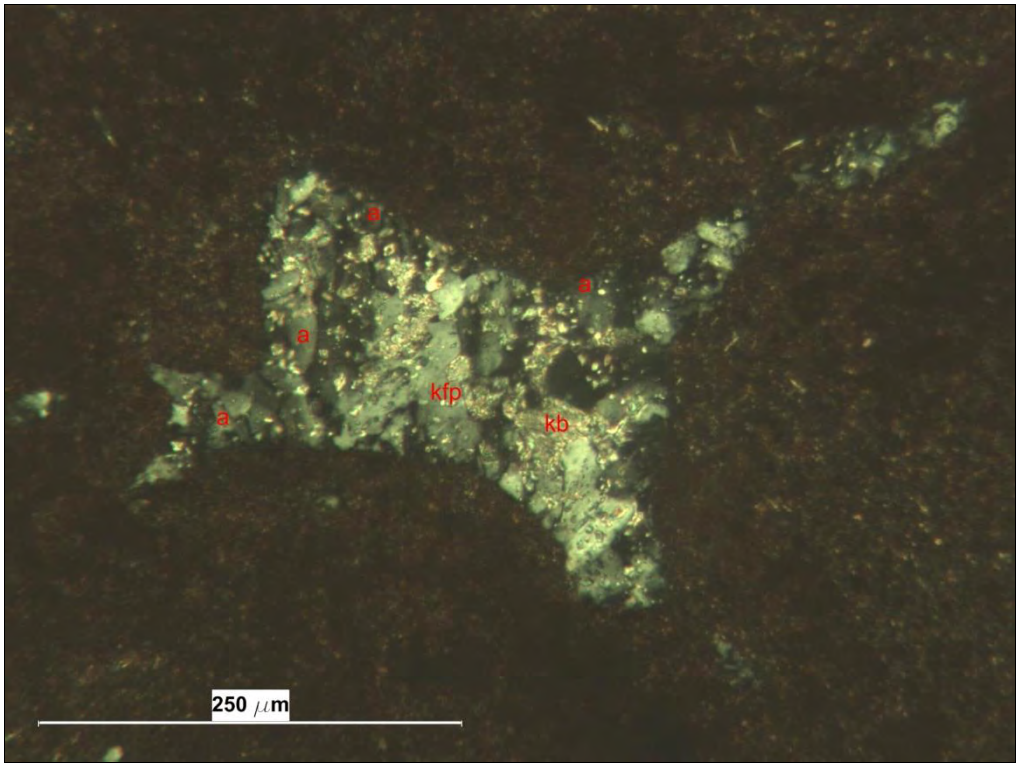
- „albitos fészkek”, melyekben a léces, táblás, poliszintetikusan ikres albit kristályok karbonáttal (kalcit, dolomit), néha barittal társulnak. Általában az „albitos fészkek”-ben fordul elő az autigén K-földpát is;
- kötőanyagként, átitatódásként való megjelenés, mindegyik kőzettípusban jelen van, azonban egyedüli megjelenési forma az „igazi” aleurolitban, csaknem kizárólagos az albitolitban és a dolomitban;
- korábbi evaporitásványokat (kősó, gipsz, anhidrit) helyettesítő albit, melyhez karbonát társul;
- anhidrit dominanciájú változó vastagságú érkitöltésekhez társuló albit, mely mindig a kőzet és az anhidrit ér között alkot egy vékony sávot.

A Goricai Blokk területén az analcim két megjelenési formában figyelhető meg:

- „analcimos fészkek”, melyekben az analcim önállóan közel szabályos alakú kristályokban vagy kristálycsoportokban jelenik meg, leggyakoribb társ ásványa a karbonát;
- az alapanyag kötőanyagként, átitatódásként való megjelenés.

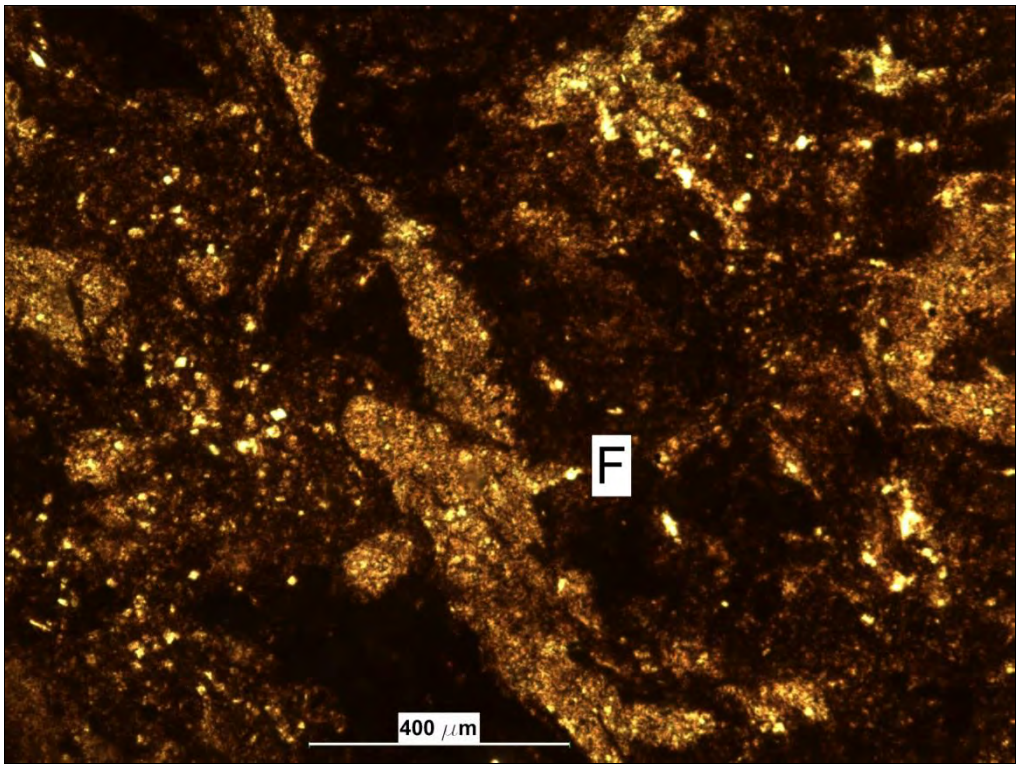
Az „albitos fészkek” (albitos póruskitöltések) jellegzetes alakja–metszete – „hopper halite” metszetek – (csillag, torzult csillag; négyzet, torzult négyzet, háromszög, „V” alak) egyértelműen utal arra, hogy ezek eredetileg kősókristályok (*displacive halite*), illetve kristálycsoportok voltak (1. ábra) [3] [4]. A jelenlegi ásványos összetételük alapján dolomitként meghatározható közbetelepülések vékonycsiszolatos vizsgálata alapján a rétegeket felépítő dolomitkristályok jellegzetes nyereg, csillag, torzult csillag alakja szintén „hopper halite” metszetekként értelmezhető, ami arra utal, hogy ezen rétegek eredetileg részben kősó rétegekként, kősó kérgekként képződhettek [3] [4]. A kősó kiválására utaló szöveti bizonyítékok mellett számos mintában felismerhetőek, különösen gyakoriak az albitolit rétegekben, az eredetileg gipsz- vagy anhidritkristályok, kristálycsoportok pszeudomorfózái, melyek az elektronmikroszonda vizsgálatok szerint most albit és karbonát ásványegyüttesből állnak (uralkodó karbonát a kalcit). Ezek eredetileg gipsz vagy anhidrit rétegként, kéregként vagy gumókként csapódtak ki, majd a diagenezis során albittal és karbonáttal cementálódtak, illetve helyettesítődtek (2. ábra) [3] [4]. Az ásványos összetétel és a szöveti jellegzetességek egyértelműen bizonyítják, hogy a jelenlegi ásványos összetétel és kőzettípusok többlépcsős összetett diagenetikus folyamatok eredménye.

Ezzel ellentétben a Goricai Blokk területén az analcimos póruskitöltések („analcimos fészkek”) alakjai-metszetei nem mutatják a fentebb leírt oly jellegzetes „hopper halite” metszeteket (3. ábra). A goricai kifejlődésben a dolomit rétegek csak a felső, fedő felőli átmeneti zónára korlátozódnak, és a rétegeket alkotó kristályok alakja sem azonosítható kősó kristályok utáni alakokkal, és nem jelennek meg az albit és karbonát ásványegyüttesből álló gipsz és anhidrit utáni pszeudomorfózák [3].



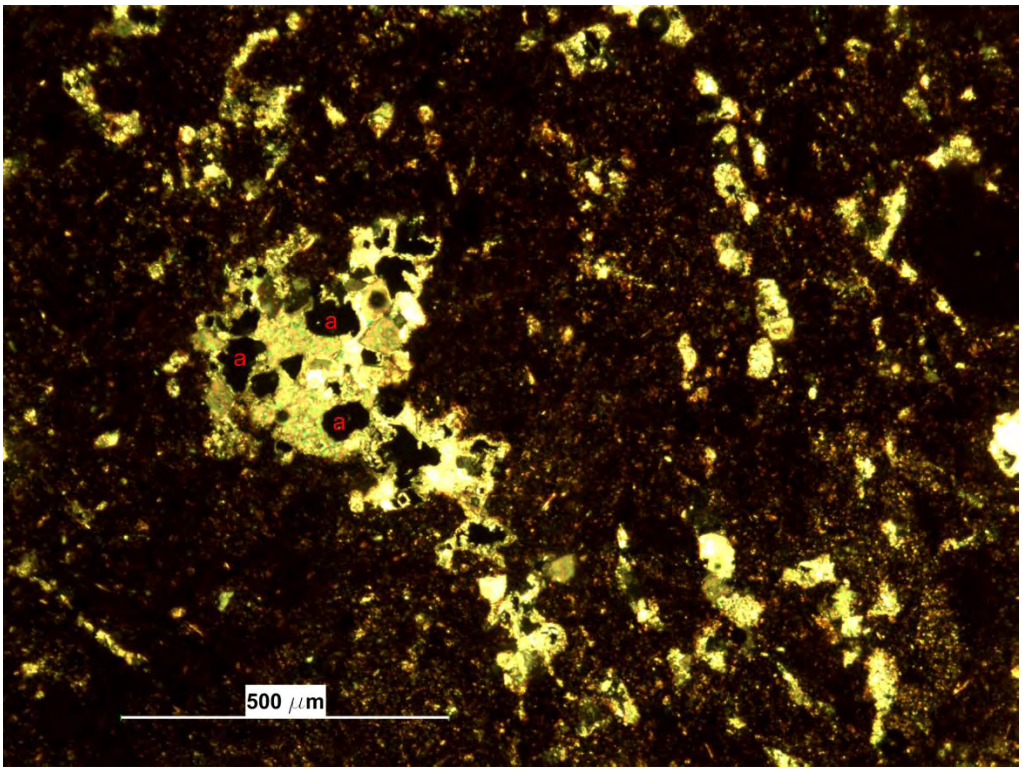
1. ábra: Jellegzetes „Hopper halit” utáni pkarbonáttal és földpátokkal kitöltött pszeudomorfóza jellegzetes torzult csillag alakú metszete póruskitöltéses agyagkőben (BAF-2 számú fúrás 188,97-189,21 m; +N)

a: albit kristályok; kfp: K-földpát; kb: karbonát



2. ábra: Albitból és karbonátból álló gipsz kristályok utáni pszeudomorfózák albitolitban (Delta-3 számú fúrás 69,4 m; 1N)

F: a gipsz jellegzetes fecskefarok iker kristálya utáni pszeudomorfóza

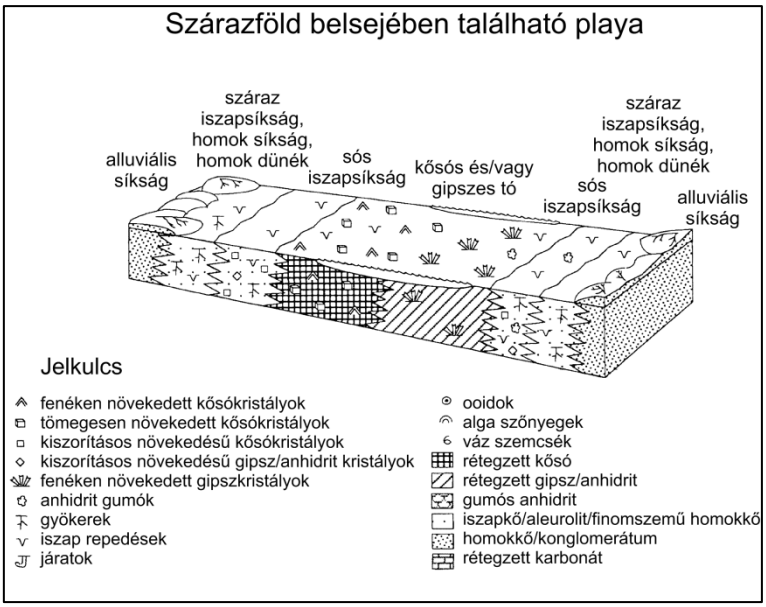


3. ábra: Analcim kristályokat tartalmazó póruskitöltés („analcimos fészek”). A pátos karbonát kristályok között helyezkednek el az analcim kristályok (Ib-4 számú fúrás 584,0 m, +N)

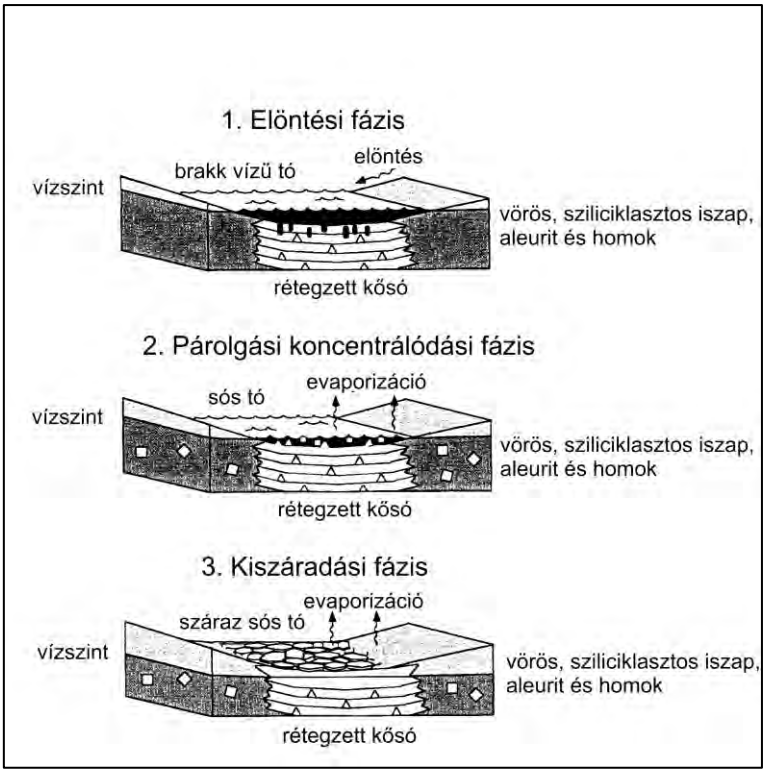
a: analcim kristályok

3. Képződési környezet, éghajlat

Az ásványos összetétel és a szöveti jellemzők egyértelműen bizonyítják, hogy a formáció kontinens belseji, zárt, lefolyástalan, változó kiterjedésű, sekélyvizű sós tavat tartalmazó medencében halmozódott fel; sós tó-sós iszapsíkság-száraz iszapsíkság-alluviális síkság üledékképződési rendszer üledék összlete. Egy ilyen szárazföld belseji playanak a keresztmetszetét mutatja a 4. ábra [5]. A medence legmélyebb részén helyezkedik el a kősós és/vagy gipszes tó, mely a kiterjedése és a kémiai jellege a csapadék mennyiségének függvényében változik. A tavat a tó központi részétől kifelé haladva sós iszapsíkság, majd száraz iszapsíkság, homok síkság, homok dűnék öve veszi körül. A medencét körülölelő hegységi övezet előterében helyezkedik el az alluviális síkság. Lowenstein és Hardy (1985) [5] a playa fejlődésében három egymáshoz szorosan kapcsolódó és egymást követő felhalmozódási vagy fejlődési szakaszt különít el (5. ábra). Az első fázis (fejlődési szakasz) az ***„elöntési fázis”***, mely során a vízutánpótlás révén a tó mélyül, felszíne kiterjed és elönti a korábban kiszáradt sós iszapsíkságot, valamint a beáramló víz mennyiségétől függően a száraz iszapsíkságot. A tó vize ekkor a jelentős mennyiségű édesvíz utánpótlás következtében brakkvízzé hígul. A kiterjedt, kevésbé sós tóvíz feloldja a korábban képződött kősó rétegeket, kérgeket, illetve az iszapsíkság finomszemű üledékeiben képződött „kiszorításos” (displacive) kősó kristályokat, kristályhalmazokat. Ekkor képződnek a visszaoldódásos evaporit felszínek. Ehhez a fázishoz kötődnek a sziliciklasztos üledékeknek a felhalmozódásai, agyagok, aleuritok, homokok a tóban, illetve a partvidékén.



4. ábra: Sóstó és az őt körülvevő playa sikság keresztmetszeti szelvénye [5]



5. ábra: Sóstó és az őt körülvevő playa sikság rendszer fejlődési fázisai

A második fázis a ***„párolgási koncentrálódási fázis”***. A jelentős párolgás következtében (az elpárolgott víz mennyisége meghaladja a víz utánpótlódásának mértékét, ennek következtében a tó fokozatosan visszahúzódik és/vagy a tó víze egyre töményebb lesz. A sós iszapsíkságon a kapilláris rendszeren felemelkedő talajvizek szintén egyre töményebbé válnak, és a kősóra való telítettség mértékének elérésekor kiválnak a laza iszap pórusaiban a jellegzetes kiszorításos növekedésű „Hopper halite” kristályok, illetve a felszíneken kősó és szulfát kérgek képződnek. Az összehúzódó és egyre sósabb vízű tóban képződnek a rétegzett kősó rétegek.

A harmadik fázis a ***„kiszáradási periódus”***, melynek során a tó kiszárad, az aljzatára lerakódott finomszemcsés iszap szárazra kerül, kialakul a mélyre hatoló repedésrendszer. Az iszapsíkságon ekkor

még képződhetnek kősó kiválások az iszap pórusaiban. A következő, nedvesebb éghajlati perióduskor ismét megemelkedik a tó vizszintje, területe kiterjed, vagyis a tó az első fejlődési szakaszába kerül, majd a folyamat ismétlődik, vagyis a fent vázolt fejlődési szakaszok periódikusan ismétlődnek.

A középső-permre kialakult zárt lefolyástalan medence alaphegységi környezetét granitoidok és metamorfitok, illetve az alsó-perm korú Gyűrűfűi Riolit Formáció láva és összesült piroklasztit kőzetegyüttese adta. Az ilyen kőzettani összetételű háttér terület mállása szilicium gazdag Ca-Na-HCO_3 összetételű vizeket szolgáltat [6], melyek a tó felé áramolva töményednek, és az elsődleges karbonátok kicsapódása (Mg-tartalmú kalcit a homok síkságon) után szulfáttal keveredve kialakul egy Ca, Mg, Na tartalmú kloridos, szulfátos víz. A fentebb bemutatott a két kifejlődési terület BAF-jának ásványos összetételében, különösen a szöveti jellegeiben, valamint vastagságviszonyaiban lévő különbségek azt mutatják, hogy a szárazföld belseji „nagy medencén” belül eltérő kémiai paraméterekkel jellemezhető részmedencék (alkáli sós tavak) léteztek, melyekhez köthető a BAF antiklinálisi és goricai összlete.

Az antiklinálisi kifejlődésben a 4709/1 számú fúrásban feltárt homokkő és konglomerátum rétegek képviselik a medence peremi allúviális síkság üledékeit. A BAF homokkő rétegeinek képződése az allúviális síksághoz, illetve a tó partvidékéhez kapcsolható. Az aleurolitok a jellegzetes szöveti elemeikkel (laminált keresztrétegzés, hullámos rétegzés) szintén az összehúzódó és kiterjedő tó partvidékéhez köthető. A BAF legnagyobb tömegű és legjellegzetesebb kőzettípusa (albitos agyagkő, albitos, analcimos agyagkő) döntően a sós iszapsíkságon, kisebb mértékben a száraz iszapsíkságon és magában a tóban képződött. A sós iszapsíkságon, a „párolgási koncetrálódási fázis” és „kiszáradási fázis” alatt jöttek létre a mai „albitos fészkek” helyén a „Hopper halite” kősó kristályok és kristálycsoportok. A tó kiszáradása idején képződtek a kősó és szulfát rétegek, lemezek, kérgek a jellegzetes száradási repedésekkel. Az elöntési fázis idején a felhalmozódott kősó és szulfát rétegek feloldódtak, az iszapsíkság üledékeiből kioldódtak a kősó és szulfát ásványok. Ezek helyét tölti ki a jelenlegi póruskitöltések ásvány együttese (albit, karbonátok, K-földpát). A kősót helyettesítő dolomit kristályok megőrizték az eredeti kősó kristályok alakját, illetve az agyagkövekben a pórusokat - alakjuk alapján - egykor kősó kristályok töltötték ki. A mai kőzettípusok az eredeti kőzetekből az evaporit ásványok visszaoldódása után, amely a nagymennyiségű Na-ot szolgáltatta, albitosodási és karbonátosodási folyamatok eredményeként képződtek. Az eredeti agyagásványok illitté alakultak, illetve a felesleges kálium biztosította a későbbi kialakulású autigén K-földpát kiválását az agyagkövek „albitos fészkeiben”. Hasonló képződési környezeteket és képződményeket ismertetett Paik et al. [7] és Paik és Kim [8] Korea felső-kréta Jindong Formatiójából, valamint Benison és Goldstein [9] É-Dakota Williston medencéjéből (perm korú Opeche Pala).

A Goricai blokk kifejlődésére leginkább hasonlító ősi analógia a Remy és Ferrell [10] által ismertetett eocén korú Green River Formáció (Déli Középső-Uinta medence, Utah, USA) analcimos szegély tavi iszapköveinek képződési modellje. A döntően vörös és zöld iszapkövekből álló sorozatban a vörös iszapkövek nagyobb mennyiségben tartalmazzák az analcimot (14 %), mint a zöld iszapkövek (7 %). Ezen kőzetek mellett jelen vannak homokkövek, mészkövek és dolomitok is, melyek nem vagy csak minimális analcimot tartalmaznak. Az analcim, hasonlóan a goricai kifejlődéshez, döntően az alapanyagban átitatódásként van jelen, de kis mennyisége póruskitöltésként is megfigyelhető. Az ásványtani vizsgálatok szerint az iszapkövek az analcimon kívül kvarcból, plagioklászból, káliföldpátból, agyagásványokból és karbonátokból (kalcit, dolomit) állnak. A vörös kőzetek hematitot is tartalmaznak. Vulkáni tufa anyagot nem mutattak ki. A vörös és zöld agyagkövek agyagásványait az illit és az illit /szmektit uralja. Ezek mellett a vörös iszapkövek kismennyiségű kloritot (1 %) és szmektitet (5 %), míg a zöldek kaolinitet (4 %), kloritot (5 %) és szmektitet (12 %) tartalmaznak. Az elektron-mikroszondás és az XRD vizsgálatok szerint az analcim SI/AL aránya 2,1 és 2,3 között változik. A vörös iszapkövek ásványos összetétele kitűnő egyezést mutat a goricai blokk vörösbarna analcimos agyagköveivel. Az Ib-4 fúrás agyagköveinek meghatározó ásványai a kvarc, agyagásványok, analcim, albit, karbonátok, hematit. Az agyagásvány összetétel szintén nagyon hasonló, abszolút uralkodó az illit, mellette kevés klorit, kevertréteges szerkezetű agyagásvány (illit/szmektit) van jelen. Az Uinta tó iszapköveiből hiányzik az autigén albit és dolomit is jelen van, a goricai analcimos agyagkövek viszont dolomitmentesek. Különbségek az agyagásványok és a kvarc mennyiségi arányaiban is jelentkeznek, a goricai agyagkövek kvarcban szegényebbek, viszont

agyagban gazdagabbak (eleve finomabb szemű üledékként halmozódtak fel). A goricai analcimos agyagkő az analcim kristályaiban elektron-mikroszonda vizsgálatokkal meghatározott Si/Al arány 2,36-2,48 között változik, ezek az értékek szintén nagyon hasonlóak az Uinta tó iszapköveiből Remy és Ferrel [10] által közöltekkel.

Remy és Ferrel [10] az analcim eredetére a törmelékes agyagok átalakulásából való származást bizonyítja. Azon bizonyítékok alapján, hogy az iszapkövekben az egyetlen zeolit az analcim és nincs jelen olyan mennyiségű vulkáni üveg, amely szükséges lenne a kimutatható mennyiségű analcim képződéséhez elvetik azt a legáltalánosabban elfogadott képződési módot, mely szerint az analcim szilikát üveg + sós alkáli tóvíz → elő ásvány (általában egy alkáli zeolit) + sós alkáli tóvíz → analcim reakció során képződött. A szerzők szerint az analcim a vizsgált területen sós alkáli fluidumokkal kapcsolatban lévő agyagokból képződött. Ezt bizonyítja a képződött analcim alacsony SiO_2-tartalma (alacsony Si/Al arány), valamint az iszapkövek viszonylag leszűkült agyagásvány együttese (illit-illit/szektit). Ráadásul a vörös és zöld iszapkövek különböző agyagásvány sorozattal rendelkeznek, ahogy fentebb részleteztem. Az Uinta-tó az analcim gazdag iszapkövek leülepedéskor sós alkálikus volt. Ezt bizonyítja az édesvizi ősmaradványok hiánya, a dolomit, mint ásvány általános jelenléte és a szinerézis repedések jelenléte. Az Uinta-tó sós alkáli vizei elősegítették az agyagok és más ásványok átalakulását, ami felszabadította az Al-ot és a Si-ot, ezáltal elősegítette az analcim képződést. A szükséges Na-ot a tó sós vize biztosította. A tó közepes sós és alkáli voltát igazolja az a két tény, hogy nem találtak kősót vagy más evaporit ásványt, illetve az analcim nem alakult át K-földpáttá, ugyanis erősen sós és alkáli környezetben az analcim átalakul K-földpáttá. Mivel az Uintató nem rendelkezett lefolyással a mélysége és feltehetően a kiterjedése ciklikusan változott, ezáltal a partvonala folyamatosan oszcillált, így a tó alacsony vízállásánál feltáródtak a tavi és folyó mellékágak közötti környezeti részek. Ez kiterjedt iszapsíkságok képződéséhez vezetett. A feltáródott finomszemű üledék felszínén végbemenő intenzív párolgás következtében párolgási feláramlás (evaporative pumping) alakult ki, ami az üledékek kapilláris rendszerén történő fluidum feláramlást idéz elő. Ha erre hosszú idő áll rendelkezésre, a feláramlás következtében sós víz alakul ki az üledéken belül, és a felszínen egy kivirágzó kérget hoz létre. Az így képződő Na-Mg-karbonátos sósvíz elősegítette az analcim képződését a törmelékes agyagok és talán más ásványok átalakulásának révén, amihez hozzájárult a nagymennyiségű nátrium felszabadulása is. A vastartalmú ásványok átalakulása szolgáltatta az iszapkövet vörösre festő hematitot. Az Uinta-tó szegélypartján feltáródott zöld iszapkövek a fenti reakciók által alakultak át vörös színűekké, miközben az agyagásvány átalakulása során nagyobb mennyiségű analcim képződött. Remy és Ferrel [10] szerint a következő átalakulási folyamat játszódott le: törmelékes agyagok + a párolgási feláramlással létrehozott Na+Mg-os sósvíz + vas-tartalmú ásványok + oxigén → analcim + vas-oxid.

Azt, hogy a fent vázolt modell a goricai terület kifejlődésére is elfogadható, a következő bizonyítékok igazolják:

- Az analcim hasonló megjelenési módjai, vagyis az alapanyag átitatódása és a póruskitöltésekben való hasonló megjelenése. Emellett az analcim meghatározó hányada szintén az alapanyagban van jelen.
- A hasonló agyagásvány összetétel, egyeduralkodó az illit, minimális a szmektit (2 %) és klorit mennyisége (2-4 %).
- A vörösbarna színű analcimos agyagkő hasonló ásványos összetétele: kvarc, földpátok, agyagásványok (egyeduralkodó az illit), karbonátok (dolomit, kalcit), hematit.
- A zöld eredetileg a jelenleginél reduktívabb agyagkő eredeti jelenlétére a goricai kifejlődésben még elszórtan megjelenő zöld, szürkészöld foltok utalnak.
- Az, hogy az analcim nem alakult át K-földpáttá azt bizonyítja, hogy a területen kialakult sóstó csak közepesen sós alkáli jellegű volt.
- Nincs nyoma más evaporit ásványoknak, a póruskitöltések döntően szabálytalan alakúak, nem mutatják a „Hopper halitra” oly jellegzetes metszeteket.
- Vulkáni anyag hiánya.

Ezek alapján a goricai kifejlődés képződési környezetét a következőképpen vázolhatjuk fel. A zárt medence közepén létezett egy lefolyástalan közepesen sós alkáli tó, melynek mélysége és kiterjedése folyamatosan változott a nedvesebb és szárazabb időszakoknak megfelelően. A tavat nagy

kiterjedésű iszapsíkság vette körül, melyen az Uinta-tónál finomabb szemű, nagyobb agyagtartamú, kevesebb törmelék anyagot tartalmazó aleuritos agyagkövek halmozódtak fel. Az elöntési fázisok alatt képződött reduktív agyagkövek a kiszáradáskor a felszínre kerültek. Amennyiben megfelelő idő állt rendelkezésre, a reduktív agyagkövek a fentebb vázolt folyamatok és végbement reakciók eredményeképpen átalakultak, eltűnt az agyagásványok jelentős része, illetve nagyrészt illitté alakult, és analcim képződött. Az összletet később, feltehetően már a diagenezis során Na-metaszomatózis érte, erre bizonyíték az autigén albit jelenléte.

A BAF képződési környezetéhez analóg példákat a Föld több pontján találunk (pl. Thar-sivatag, Lewis-tó Ausztráliában) [11][12].

Irodalom

[1] Máthé Z. (1998): A Bodai Aleurolit Formáció minősítésének rövidtávú programja. Kutatási Zárójelentés 4. kötet, ásvány-kőzettani, kőzetgeokémiai és izotóptranszport vizsgálatok. – Kutatási jelentés, MECSEKÉRC Zrt. Adattára, Pécs, 76 p.

[2] Varga A., Raucsik B., Szakmány Gy., Máthé Z. (2006): A Bodai Aleurolit Formáció törmelékes kőzettípusainak ásványtani, kőzettani és geokémiai jellemzői. Földtani közlöny 136/2, 201-232.

[3] Máthé Z. (2015): A Bodai agyagkő Formáció ásvány-kőzettani és geokémiai vizsgálati eredményei. Doktori (PhD) értekezés. ELTE Kőzettan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 130.

[4] Máthé Z., Varga A. (2012): „Ízesítő" a permi Bodai Agyagkő Formáció őskörnyezeti rekonstrukciójához: kősó utáni pszeudomorfózák a BAT-4 fúrás agyagkőmintáiban. Földtani Közlöny 142/2, 201-204.

[5] Lowenstein, T. K., Hardie, L. A. (1985): Criteria for recognition of salt-pan evaporites. Sedimentology, 32, 627-644.

[6] Warren, J. K. (2010): Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. Earth-Science Reviers 98, 217-268.

[7] Paik, I. S., Huh, M., So, Y. H., Lee J. E., Kim, H. J. (2007): Traces of evaporites in Upper Cretaceous lacustrine deosits of Korea: Origin and paleonenvironmental implications. Journal of Asian Earth Sciences 30. 93-107.

[8] Paik, I. S., Kim, H. J. (2006): Playa lake and sheetflood deposits of the Upper Cretaceous Jindong Formation, Korea: Occurrences and palaeoenvironments. Sedimentary Geology 187. 83-103.

[9] Benison, K. C and Goldstein, R. H. (2000): Sedimentology of ancient saline pass: An example from the permian opache shale, Williston Basin, North Dakota,U.S.A.. Journal of Sedimentary Research, Vol. 70, I, 159-169.

[10] Remmy, R. R. and Ferrell, R. E. (1989): Distribution and origin of analcime in marginal lacustrine mudstones of the Green River Formation, south-central Uinta Basin, Utah: Clays and Clay Minerals, 37, 419-432.

[11] P. D. Roy, W. Smykatz-Kloss, R. Sinha (2006): Late Holocene geochemical history inferred from Sambhar and Didwana playa sediments, Thar Desert, India: Comparison and synthesis. Quaternary International 144 (2006) pp. 84-98.

[12] P. M. English (2001): Formation of analcime and moganite at Lake Lewis, central Australia: significance of groundwater evolution in diagenesis. Sedimentary Geology 143 pp. 219-244.

[13] B. Legler, J. W. Schneider, U. Gebhardt, D. Merten, R. Gaupp (2011): Lake deposits of moderate salinity as sensitive indicators of lake level fluctuations: Example from the Upper Rotliegend saline lake (Middle-Late Permian, Northeast Germany). Sedimentary Geology 234, pp. 56-69.

A mélység színei – BAF fúrómagok színének kvantitatív vizsgálata

The Depth of Colors – Quantitative Analysis of Drilling Cores

HALMAI ÁKOS[1], HALÁSZ AMADÉ[2]

[1]*PTE TTK Földrajzi Intézet Térképészeti- és Geoinformatikai Tanszék,*
halmaia@gamma.ttk.pte.hu;
[2]*PTE TTK Földrajzi Intézet Földtani- és Meteorológiai Tanszék,*
tade@gamma.ttk.pte.hu

Abstract

Cyclostratigraphic studies can be facilitated by computer aided color analysis. This presentation reports a case study on the development of a digital color analysis method—based on scanned cores—to examine the Boda Claystone Formation.

Összefoglaló

Ezen prezentáció a Bodai Agyagkő Formáció magszeknnelt képeinek – színelemzésen alapuló – ciklussztratigráfiai felhasználhatóságát mutatja be az Ib-4 fúrás segítségével.

Kulcsszavak: Ciklussztratigráfia, magszkennelés, PAST, ImageJ, Ib-4

A geológusok legfontosabb elemzőeszköze a szemük. A kőzet színe és textúrája alapján következtethetünk típusra, genetikai eredetre, a környezet oxidatív, vagy reduktív voltára, összetételre, szennyezőkre és szemcseméretre egyaránt. Színlátásúnk különösen precíz – főleg ha van megfelelő összehasonlítási alap, például két színt közvetlenül egymás mellett vizsgálhatunk.

Az összehasonlítással hozott döntésünket meg is ismételhetjük, ha azonos színhőmérsékletű és irányú a megvilágítás, azonos színű a környezet, azonos a páratartalom és ugyanaz a személy végzi az összehasonlítást.

Ez a felismerés – hogy színlátásunk relatív helyzetekben jó, abszolút értelemben viszont gyenge – hívta életre Munsell színrendszerét [4], az ebből származtatott összehasonlító színkártyákat és az ezeken feltüntetett színek – későbbi, átkódolt – sRGB listáit is.

Az ilyen, összehasonlító színskálák nyújthatnak némi segítséget a színek standardizált jellemzésében, de még ezekkel is nehéz lenne felismerni, hogy például egy látszólag egyforma színű fúrómag egy 100 méteres szakaszon néhány százalékot vörösödik felfelé.

Egy ilyen jelenséget könnyebb észrevenni, ha a fúrómagot nem szabad szemmel, hanem a mag azonos megvilágítási körülmények között *szkennelt képét* használjuk [3] és ezt digitális képelemzési módszerekkel vizsgáljuk.

Ha a szín földtani információt hordoz és eszközünk is van ennek számszerű leírására, akkor érdemes megpróbálni a „színbe kódolt” geológiai jellemzőket kinyerni.

Célunk a Bodai Agyagkő Formáció ciklussztratigráfiai vizsgálata volt; annak kiderítésével, hogy a szkennelt kőzet színe felhasználható-e ciklusok/ritmusok detektálására és hogy a színből lehet-e következtetni további földtani tulajdonságokra.

Kísérletképpen az Ib-4 szkennelt szakaszait használtuk. A kapott képeken rendelkezésre állt az adott szakasz tető- és talpmélysége. Ha a köztes távolság, valamint a pixelek száma ismert, akkor kiszámítható, hogy egységnyi szakaszra hány pixel jut (~326 DPI). Ennek segítségével a képet 0,1 méteres szakaszokra vágtuk; ahol a vágás a szkennelt mag hossza miatt nem megfelelően jött ki, ott a kapott, rövidebb képet külön megjelöltük.

A kis képek R-, G- és B színsávjaira 32 osztályos hisztogramokat készítettünk, majd az oszlopok magasságának értékét – a vizsgálati területre eső pixelek színszerinti megoszlását – 3 × 32 oszlopot tartalmazó szövegfájlba mentettük, mintánként, mélység szerint növekvő sorrendben. A képek darabolása, az automatikus hisztogram készítés és az eredmények exportja egy ImageJ szkript segítségével készült [5]. A képet azért daraboltuk, mert az egyes pixelek színe közvetlenül nem használható, mivel természetes okokból jelentősen fluktuálhat; így például az, hogy egy adott pixel alá milyen színű szemcse jutott, pusztán véletlen folyamatok eredménye. Ha viszont egy kisebb területet átfogóan, az abban észlelhető pixelek megoszlását vizsgáljuk, az már a mag adott szakaszára *jellemző tulajdonság*.

Azért esett a választás a 0,1 méteres szeletelésre, hogy az eredmények összehasonlíthatók legyenek a karotázsból származó adatsorral, illetve szubjektíven feltételeztük, hogy ez a mérettartomány még nem jelent túl nagy, a földtani információt elmosó átlagolást.

Az így kapott szövegfájlt beolvastuk PAST-ba [2], itt színsávonként kiválasztottuk azt az osztályt, amelybe a legtöbb pixel esett, majd a továbbiakban ezen osztály sorszámát használtuk fel (1. osztályba esik a legtöbb pixel, ha a minta nem tartalmaz vöröset; 32. osztályba esik a legtöbb pixel, ha a minta maximális mennyiségű vöröset tartalmaz). Ezzel lényegében kiválasztottuk az osztályba sorolt értékek eloszlásfüggvényének a maximumhelyét.

Ezt – a színsávonként, a mélység függvényében szerkesztett adatsort – a PAST Lomb-periodogram függvényével vizsgáltuk, ahol a legmarkánsabb eredményeket a vörös színsáv adata – a kőzet jellegzetes színéből fakadóan.

A Lomb-periodogram a Fourier-transzformáció közvetlen rokona, amellyel vizsgálható, hogy egy hosszú adatsor milyen hullámhosszú és amplitúdójú függvények összegeként állítható elő. Így elméletileg különválogathatók azok a ciklikus/ritmikus földtani folyamatok, amelyek összegzett hatása (részben) meghatározhatta a kőzet színét.

Az eljárás eredményeinek vizsgálatára a Lomb-periodogram számítást a természetes gammasugárzás karotázsból származó adataira, valamint a hagyományos magdokumentáció osztályba sorolt kőzettípusaira is megismételtük. Az eredményeket az 1. táblázat mutatja be:

1. táblázat: A táblázatban dőlttel szedett eredmények a 95%-os szignifikancia szint alatt vannak

Periodogram alapja	*Ciklus vastagsága [m]*					
Kőzettípus	13,80	7,20	2,40	1,20	0,97	0,64
Természetes gamma	12,50	7,00	2,60	1,40	–	–
Szín (vörös)	11,80/13,39	7,15	2,62	1,34	1,00	–

A táblázatban látható, hogy a színelemzés ciklusvizsgálata a természetes gammasugárzás- és a hagyományos magdokumentáció kőzettípusainak ciklusvizsgálatához hasonló eredményt hozott. Így ha gyorsan és olcsón kivitelezhető vizsgálatra van szükség, akkor a mag színének vizsgálata ideális alternatíva lehet, néhány elvi nehézség ellenére is.

Ezen elvi nehézségek közül a legfontosabb, hogy ezen vizsgálat – pontosan ismert kor hiányában – vastagság-ciklusként és nem időbeli ciklusként fejezi ki az eredményeket, ezért ha az üledékképződés sebessége időben változott, vagy a mag egyes részeit különböző mértékű kompakció érte, akkor valóságban eltelt időhöz képest hamis eredményeket kaphatunk.

Másodrendű elvi nehézség, hogy mind a szín, mind a természetes gammasugárzás több, független geológiai folyamat eredményeként is változhat, így esetleg nem egy ciklikus folyamat hatását, hanem több folyamat eredményének ciklikusságát észlelhetjük.

Mindezek ellenére úgy tűnik, hogy a Bodai Agyagkő Formáció esetében a *szín egy jó leírója lehet* a kőzettípusnak, a gammasugárzás- és esetleg agyagtartalom mértékének. A detektált, 1. táblázatban bemutatott ritmusok a Milanković-ciklus éghajlat módosító hatásával mutathatnak összefüggést [1].

Irodalom

[1] Halász, A., Halmai, Á. (2015): The colour analysis method applied to homogeneous rocks. GEOLOGOS (21), 4, 233–239. doi:10.1515/logos-2015-0019

[2] Hammer, Ø., Harper, D., Ryan, P. (2001): PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica (4), 1, 9. Retrieved from http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf

[3] Maros, G., Pásztor, S. (2001): New and orientated core evaluation method: ImaGeo. European Geologist, 40–43.

[4] Munsell, A. H. (1905): A Color Notation. Boston: Geo. H. Ellis Co. Retrieved from https://archive.org/details/acolornotation00munsgoog

[5] Schneider, C., Rasband, W., Eliceiri, K. (2012): NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nature Methods, 9, 671–675. Forrás: http://www.nature.com/nmeth/journal/v9/n7/full/nmeth.2089.html

A Mecsek és környékének szerkezete, földtani ismereteink megkísérelt integrált értelmezése tükrében

The attempted integrated interpretation of the structure of Mecsek Mts. and its surroundings in the light of our geological knowledge

MAJOROS GYÖRGY[1], MENYHEI LÁSZLÓ[1]

[1]*MECSEKÉRC Zrt.,*
majorosgyorgy@mecsekerc.hu, menyheilaszlo@mecsekerc.hu

Abstract

Based on the outcrops area of Mecsek Mts the stucture and the spread of the buried prekainozoos formations of Mecsek can be outlined by the combinated, integrated examination and evaluation of the geological, field geophysical and geographical maps. This comes from the fact that the prekainozoos block formations of Mecsek Mts. starting from the Zselic region can be well traced towards the east through the surface outcrops.

Starting from surface outcrop area the structure and spread of western and eastern Mecsek Mts.-can be traced and is also distinguishable in the buried prekainozoos basement. We also suggest that the southern boundary of Mecsek Mts. can be well identified in the prekainozoos basement.

Összefoglaló

A Mecsek felszíni kibúvásai területről kiindulva a földtani, erőtér geofizikai, természetföldrajzi térképek együttes, integrált vizsgálatával, értékelésével körvonalazható a Mecsek elfedett prekainozoos képződményeinek elterjedése, szerkezete. Kitűnik abból, hogy a Mecsek prekainozoos képződmény tömbje Zselic térségétől kiindulva, a felszíni kibúváson keresztül tovább K-felé jól nyomon követhető.

A Ny- és K-Mecsek szerkezete, elterjedése a felszíni kibúvás területéről kiindulva az elfedett prekainozoos aljzatban is követhető, megkülönböztethető. Ugyancsak jól kijelölhetőnek véljük a prekainozoos aljzatban a Mecsek déli határát.

Kulcsszavak: Mecsek hegység, integrált földtani értékelés, prekainozoos képződmények, földtani szerkezet, erőtér geofizikai térképek, gravitációs, mágneses anomáliák

Bevezetés

Az előadásban bemutatott munkára a nagyaktivitású radioaktív hulladéktároló mecseki földtani kutatási programjának (BAF program) részeként került sor.

A Mecsek hegységre és környezetére vonatkozóan az elmúlt évtizedek kiterjedt, különböző célú földtudományi kutatási tevékenység eredményeként jelentős számú földtani, geofizikai, hidrogeológiai, természetföldrajzi kutatási adatokkal, tematikus térkép sorozatokkal rendelkezünk. Mindazonáltal Dél-Dunántúl idősebb földtani képződményeinek jelentős fedettsége folytán, csak két viszonylag kis területű szigethegységben, a Mecsek és a Villányi hegység területén közvetlenül hozzáférhetők az idősebb képződmények. A különböző nyersanyag kutatási munkák során mélyült nagyszámú kutatófúrás jelentősen enyhít ezen a helyzeten, de csak a fúrások alapján szerkeszthető mélyföldtani kép sok bizonytalansággal és nehézséggel jár.

1. Kutatási módszer

A fenti helyzetből kiindulva az egész térség átfogó és megalapozott szerkezeti képének felderítésére és jellemzésére – amire a radioaktív hulladéktárolók helykijelöléséhez elengedhetetlenül szükség van – a sokrétű földtudományi ismeretanyag integrált értelmezése egyfajta lehetőséget kínál. Kutatási munkáink során, már a korábbi évektől kezdődően a különböző földtudományi ismeretek adatainak, tematikus térképeinek összehangolt, integrált értékelésére törekedtünk. Az ilyen jellegű értékelési munka általunk leggyakrabban alkalmazott elemei a következők:

- földtani, szerkezeti térképek elemzése;
- erőtér geofizikai, különösen gravitációs, mágneses, magnetotellurikus térképek földtani szemléletű, relatív, kvalitatív értelmezése, felhasználva ehhez a különböző szűrési eljárások eredményeit;
- szeizmikus szelvények földtani, szerkezeti értelmezése;
- természetföldrajzi térképek földtani, szerkezeti szemléletű értelmezése.

Kétségtelen tény, hogy a fenti leginkább vizuális, relatív jellegű, integrált értelmezési folyamat nehezen számszerűsíthető, és sok esetben számos szubjektív elemet tartalmaz. Ezért is joggal kritizálható. Mindazonáltal tapasztalataink szerint a mechanikus értelmezési, értékelési eljárások a földtani adatok, folyamatok sokrétűségéből adódóan a legtöbb esetben nem adnak kielégítő eredményt. A földtani valósághoz leginkább hasonlító értelmezést valószínűleg csak egy a térségre jellemző földtani, szerkezeti sajátságait, felépítését figyelembe vevő értékelés adhat. Egy ilyen feltétel teljesítéséhez azonban legfeljebb csak közelíthetünk.

A munka első lépéseként meg kell rajzolnunk a Mecsek prepannoni kibúvási területét, ahol nincsenek, vagy csak kis vastagságban vannak pannóniai fedő üledékek.

Értékelési munkáink során a Mecsek hegység prepannoni (prekainozoos és miocén fedő) kibúvási területének ismeretanyagából kiindulva terjesztettük ki földtani-szerkezeti értelmezéseinket fokozatosan a környező, majd távolabbi fiatalabb üledékekkel fedett térségekre. Így az egész folyamat talán követhetőbbé, megalapozottabbá válhat.

2. Eredmények

Az alábbiakban a viszonylag jól ismertnek gondolt és részletes felszíni földtani térképezéssel tanulmányozott Mecsek hegység és környezetének szerkezetére vonatkozó néhány alapvető felismerést tekintünk át, amiket az integrált tanulmányozás vetett fel.

Szerkezeti térképeinken, miként a mellékelt térképen is, a Ny-Mecsek térsége az eddig ismertekhez hasonlóan két nagy és jól elkülönülő szerkezeti blokkra a Ny-mecseki antiklinális és ahhoz északról csatlakozó további redőkkel tagolt, de egybetartozó egységre, amit Kővágószőlősinek nevezünk és az ún. Goricai blokkra tagolódik. E két egység között, mint harmadik elem a Hetvehely-Magyarszéki szerkezeti öv húzódik.

Ennek a három szerkezeti elemnek mélyszerkezete a kristályos aljzatoknak (Helesfai Szerpentinit) a mágneses térképek alapján jól kirajzolódó szerkezeti sajátságai, a jelenleg gondoltnál sokkal tagoltabb, vetőkkel, eltolódásokkal szabdaltnak, sőt gyűrt meanderező jellegűnek mutatkozik. Úgy véljük, hogy ennek a jellegnek a rátelepülő vastag perm-triász fedőüledékek szerkezetében is valamilyen módon tükröződnie kell.

A tágabb értelmezésű **Kővágószőlősi egység** integrált értelmezésünk szerint tulajdonképpen három nagy görbületi sugarú, megközelítően K-Ny-i csapású redőből áll. A névadó **Kővágószőlősi antiklinálison** túl É-felé az **Abaligeti szinklinális**, majd azon túl, a **Vasasi antiklinális** következik. Teljesen egyértelműen csak a Kővágószőlősi antiklinális ismerhető fel a felszínen, míg a többinek a tektonizáltság és a rátelepülő miocén fedőüledék miatt csak részleteit lehet sejteni. Mindazonáltal a Bouguer és mágneses térképek és a földtani elemzések alapján ezek is felismerhetők.

Ez a redősor, köztük a Kővágószőlősi antiklinális is, minden bizonnyal a kristályos aljzatnak a mágneses térképek alapján jól kirajzolódó balos eltolódásai hatására alakult ki, mint ún. „vonszolt redők". Ugyanis a merev kristályos aljzat jelentős méretű eltolódásai a rátelepülő, viszonylag plasztikusan viselkedő, nagy vastagságú perm-mezozoos üledéksorban vonszolt redőket (drag folds) hoz létre. Az ilyen jelenségekre a szakirodalomban számos példát találunk. Alapvetően ilyennek gondoljuk a Kővágószőlősi antiklinálist is, amihez É-felé további gyűrt formaelemek társulnak (Abaligeti szinklinális stb.).

A Ny-Mecsek másik szerkezeti blokkját az ún. Goricai blokkot a mélyaljzat szerkezetét mutató mágneses anomália térkép szerint egy széles szerkezeti öv a **Hetvehely-Magyarszéki vonalnak** nevezett szerkezeti elem választja el a Kővágószőlősitől, ami a mai ismereteinknél valószínűleg sokkal bonyolultabb és szélesebb lehet.

Ez inkább egy szerkezeti árok, ami mentén a két blokk egymáshoz viszonyítva gyűrődéssel, rátolódással társult balos eltolódással elmozdult. Ez a szerkezeti árok térképeink szerint tulajdonképpen a Ligeti medencéből ágazik ki és ÉK-felé való folytatásának keresése ilyen módon nem nagyon indokolt.

A **Goricai blokk** alapvetően pikkelyes szerkezetűnek látszik, de kristályos aljzata ugyancsak bonyolult lehet. Déli végénél és a Szentlőrinci medence körzetében a geofizikai térképek és a meglévő adatok arra utalnak, hogy a Mecsek déli peremének ezen összlete jelentős mértékben rátolódott az előtérre, a paleogén rétegekre, amit több fúrás is feltárt. Valószínűsíthető, hogy a paleogén rétegek alatt mezozoikum, sőt felső karbon-perm rétegek lehetnek, amik már a Dráva medence aljzatában ismert idősebb, felső karbon-alsó perm rift medence ide, de tovább észak felé, a Mecsek alá is benyúló részlete lehet. Minden esetre a Ny-Mecsek déli peremének ezen területén további kutatási és értelmezési tevékenység kiemelten szükséges.

A K-i Mecsek, egy felső triász, jura, kréta kontinentális rift medence rétegsorát képviselve szerkezetét, képződményeinek elterjedését tekintve alapvetően eltér a korábbi Ny-Mecseki perm-triász ciklus kifejlődésétől.

A döntően jura-kréta üledéket magába foglaló **K-Mecseki szinklinális** tengelye alapvetően ÉNy-DK-i csapású, benne a Kisújbányai szinklinálissal, mely annak megítélésünk szerint csupán egy részletét jelenti, mint ahogyan az a szerkezeti térképből látszik. Ennek a szinklinálisnak a déli részét a Mórágyi Gránit eltolódásai deformálták, mint ahogyan ez a továbbiakban kitűnik. Az **Északi pikkely** jól ismert szerkezete valószínűleg az északi előterében kirajzolódó **Szalatnaki Kristályos hátság** déli majd DNy-i elmozdulása során alakulhatott, ki a környezetében települő miocén képződmények egyidejű lerakódásával majd deformációjával.

A **Mórágyi Gránit** helyzetének, szerepének megítélése a K-Mecsek szerkezeti képének egyik fontos tényezője. Szerkezeti elemzéseink és a Mórágyi Gránit/Ófalui Fm ÉK-felé, a Duna-Tisza közi térség aljzatában való követése arra utal, hogy az a jura-kréta rift medence DK-i peremét alkothatja. Ilyen módon jelenlegi helyzete és a Ny-Mecsek területére is átnyúló részlete azt valószínűsíti, hogy az egy északkeletről Ny-felé, benyomuló **laterális extruziós** folyamatként, mintegy kettévágta a jura-kréta ciklus egykori medencéjét (1. ábra), magával vonszolva a jura képződményeket is. A legnyugatibb előfordulása valószínűleg a zagytározós térség sasbérce (Ófaui Fm), de maga a szerkezeti öv, amihez kapcsolódik feltehetően, a Ny-Mecsek déli határánál húzódik.

A Mórágyi Gránit szerkezeti helyzetének felismerése azért is problematikus, mivel feltételezésünk szerint K-mecseki miocén tanúsága szerint a fenti, idősebb jobbos eltolódás után, - ami az ún. Mecsekalja-vonal lehet, - a neogénben az egykori Mecsekalja-vonalat átvágva, deformálva, de azzal közel párhuzamosan, egy balos eltolódás alakult ki, létrehozva majd deformálva az **Ellendi neogén medence** kinyílását. Ilyen módon az ún. Mecsekalja-vonal a mi megítélésünk szerint is, a jelenlegi felfogással nagyrészt egyezően a Ny-Mecsek déli határán is részben folytatódva egy jobbos, majd balos kettős eltolódást, és déli rátolódást mutató nagyon bonyolult szerkezeti elem. Ennek a szerkezeti övnek minden részlete a jelenlegi feltártsági szinten nem is érthető.

A **Mecsek környezet** szerkezeti elemzésének témájára térve ki kell emelnünk a kibúvási terület részletes ismeretanyagából kiinduló, az elfedett területek felé irányuló elemzést. A Mecsek kibúvási térképe és a Bouguer gravitációs anomália térkép összevetéséből (2. ábra) nagyon világosan kitűnik a Mecsek nagy kőzetsűrűségű prekainozoos képződményeinek felszín alatti elterjedése, szerkezete. Ez az egyszerű kép semmi mással nem pótolható ismeretet ad a Mecseknek nevezett kéregtömb méretéről, szerkezetéről, környezetéről. Látszik ebből például, hogy a Ny-Mecsek nagy kőzetsűrűségű prekainozoos kéregtömbje Ny-felé a felszín alatt a Ny-Mecseken túl, Kaposvárig terjed, (Zselici kéregtömb), továbbá a K-Mecsek kőzettömbje hogyan kapcsolódik kéreg szinten a Mórágyi hegységgel, vagy É-felé a Szalatnaki hátsággal.

Felmerülhet, hogy ezek a hasonló kőzetsűrűségű, felszínalatti kőzettömbök földtanilag vajon valóban összetartoznak-e? Erre a kérdésre egyértelmű választ ad az ugyancsak mellékelt (3. ábra) mágneses anomália térkép, ahol az anomáliák alakja, vonulata mintegy mintázza a gravitációs térkép rajzolatát. Így a mágneses anomáliák hatóinak minősítése számos egyéb adat mellett egyértelműen bizonyítja, hogy a nagysűrűségű kéregtömbök a prekainozoos Mecsek részei, annak lesüllyedt, elfedett felszín alatti folytatásai.

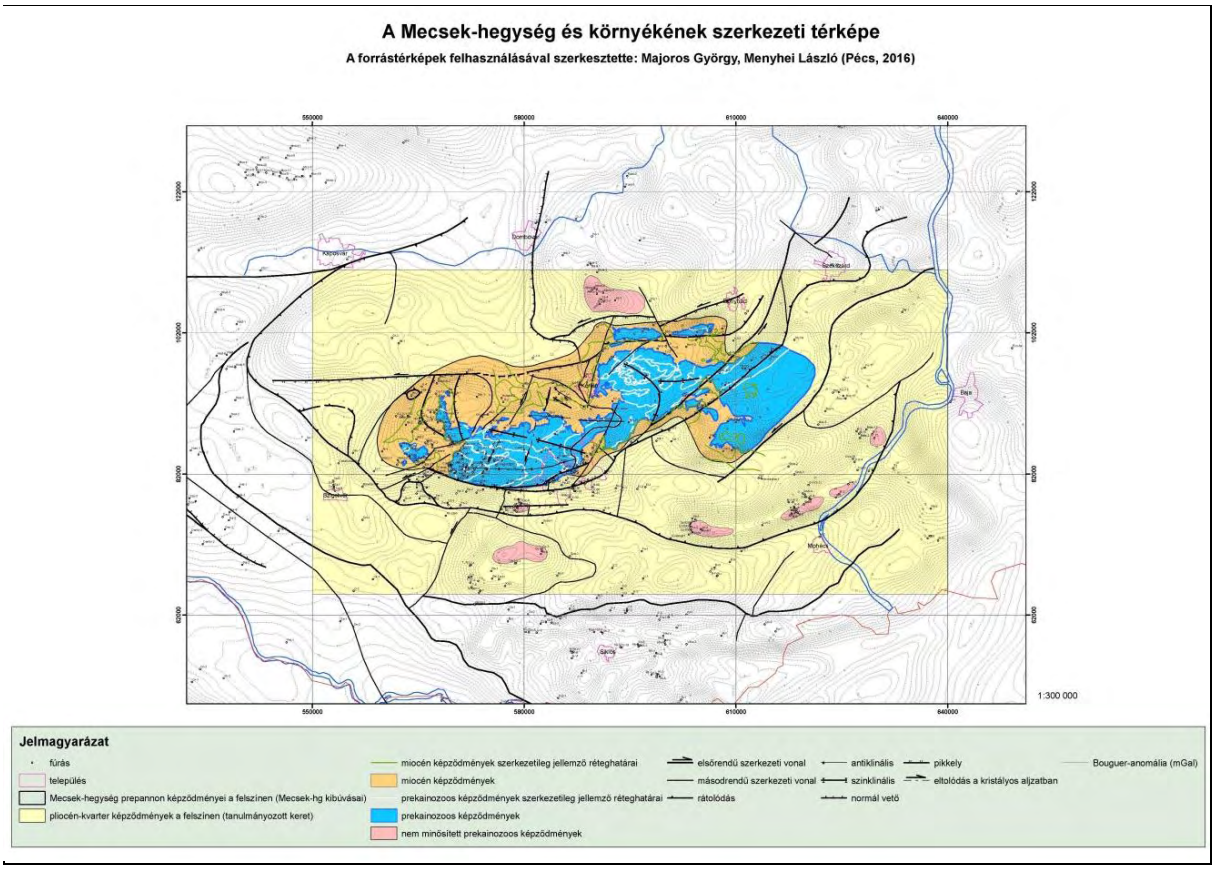
A Mecsek környezetét és szerkezetét vizsgálva érdemes rátekinteni az itt ugyan nem mellékelt Dél-Dunántúl felszín morfológiai térképére. Talán nem meglepő, hogy a felszíni domborzat kiemelkedése és a Mecsek prepannóniai kibúvása teljesen egybeesik. Az azonban további meggondolásokra érdemes megfigyelés, hogy a felszíni domborzat és a Bouguer gravitációs anomália térkép nagy kőzetsűrűségű kőzettömböket jelző pozitív anomália igen jól korrelálnak egymással. Jelezve, hogy a nagy kőzetsűrűségű felszín alatti prekainozoos kőzettömbök jelenleg emelkednek. Ennek nyilvánvalóan mélykéreg szerkezeti okai vannak, de manapság oly fontosnak ítélt neotektonikai jelentősége sem lebecsülendő.

A fentiekben vázlatosan áttekintett, néhány lényegesebb eredményt felsoroló szerkezeti elemzés alapján készítettük el a Mecsek és környezete prekainozoos képződményeinek áttekintő szerkezeti vázlatát, amit a 4. ábra mutat be. Kirajzolódik ezen a Mecsek szerkezeti tömbje, melynek déli határát nagy valószínűséggel egy jelentős szerkezeti vonal, rátolódás jelzi.

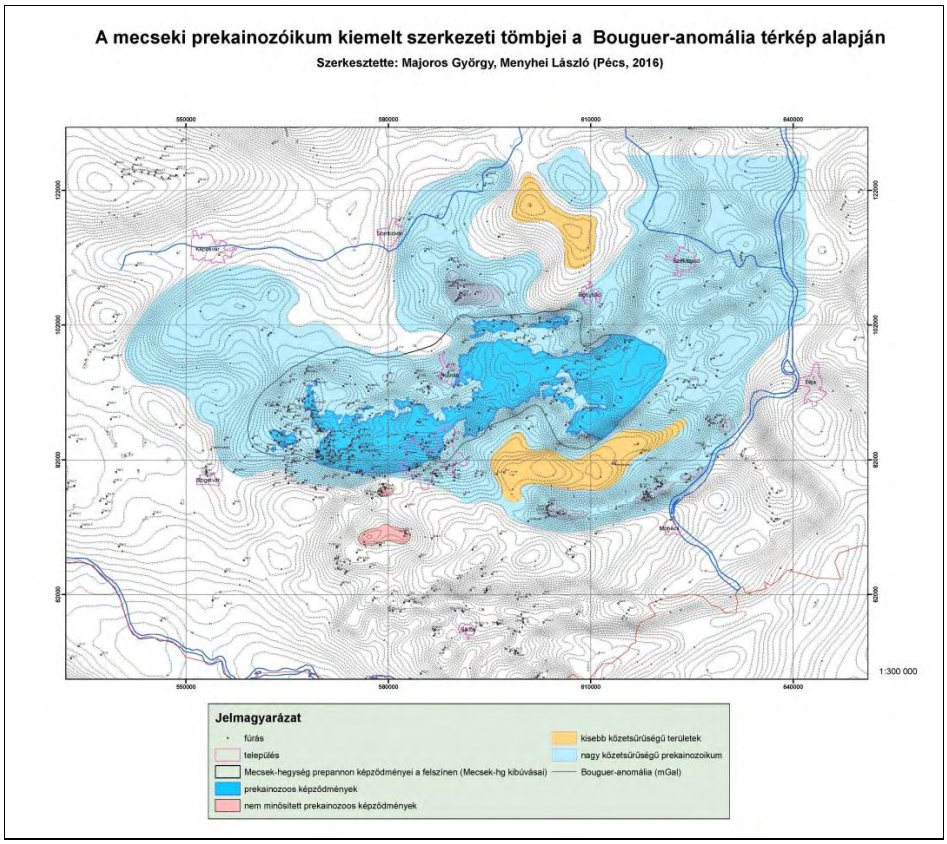
Kitűnik ebből, hogy a Mecsek és környezete, prekainozoos aljzatát alapvetően két nagy szedimentációs ciklus, valószínűleg kontinentális rift medence üledéksora építi fel. A Ny-Mecsekben perm-triász üledéksorral kitöltött rift medence alakult ki, melynek aljzatát a Helesfai Szerpentinit/ fillit és a Nyugotszenterzsébeti Gránit képezi. Ettől K-re a K-Mecsekben és a hozzá csatlakozó területeken, triász, vagy paleozoós aljzaton felső triász-jura-kréta-rift medence formálódott, a késő jurában kora krétában a fokozatosan vékonyodó kéreg következtében kontinentális rift bazalt magmatizmussal. Így ennek a rift medencének elterjedése megközelítően a mágneses anomália alapján jól körvonalazható alsó kréta bazalt jelezheti. A rift medencében a már említett módon K-felől tektonikusan bepréselődött a Mórágyi Gránit (laterális kontinentális extruzió). A fentiek szerint megfogalmazott Mecsek egységet elemzésünk alapján D-ről a Paleogén árok, Görcsönyi hátság és a Bólyi medence szegélyezi.

Mint az előadás címében jeleztük, hogy mindezek előzetes feltevések, további részletező, kiegészített eszköztárú tanulmányozás szükséges és indokolt.

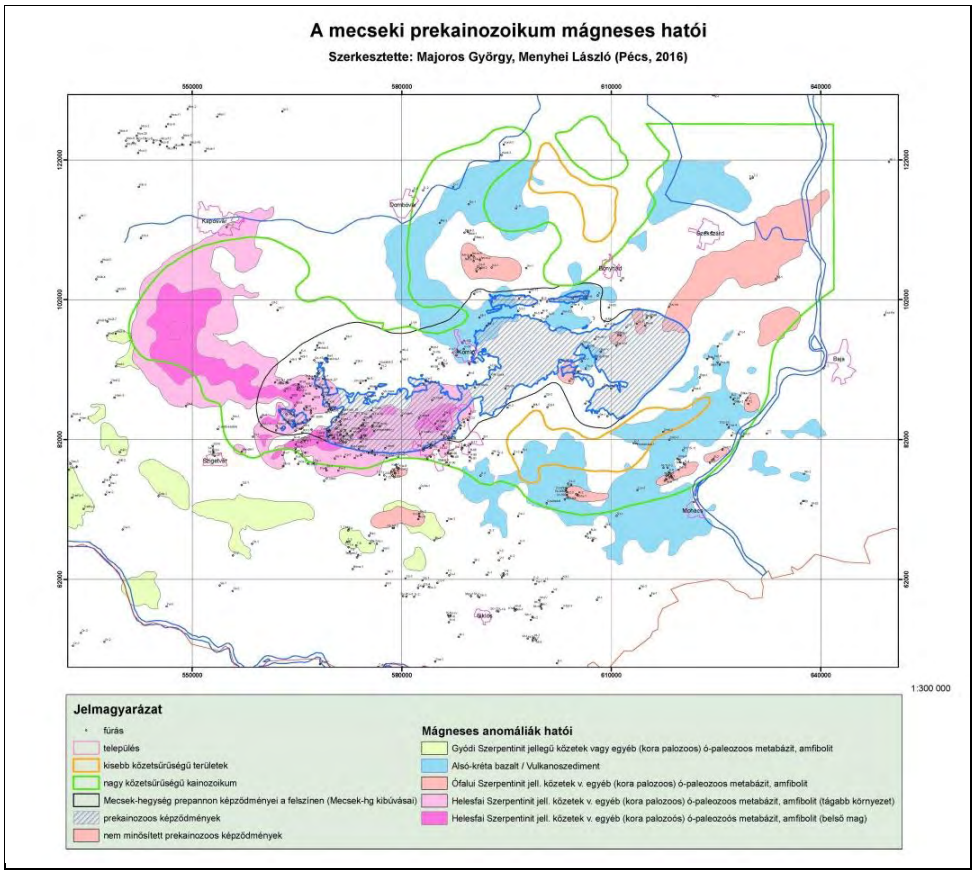
Az előadás alapjául szolgáló tanulmánynak mintegy 20 db térkép melléklete van. Ezekből itt csak 4 db térképet mutatunk be.



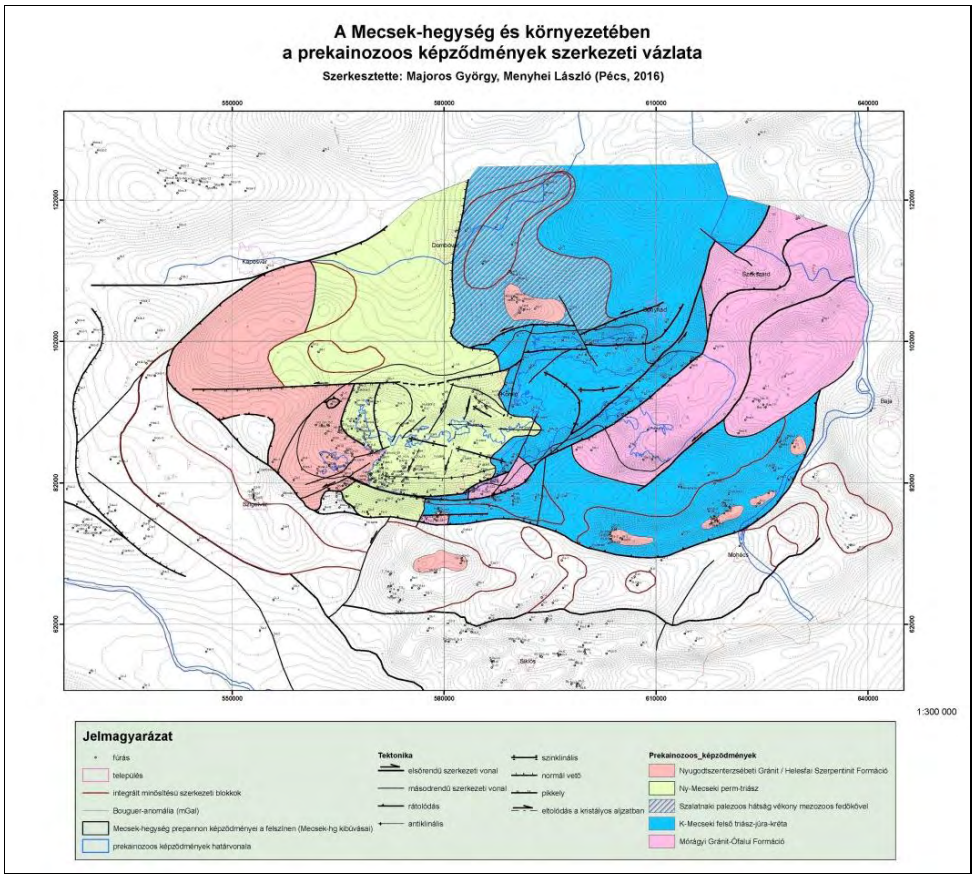
1. ábra: A Mecsek hegység és környékének szerkezeti térképe



2. ábra: A mecseki prekainozoikum eltejedése a Bouguer-anomália térkép alapján



3. ábra: A mecseki prekainozoikum mágneses hatói



4. ábra: A Mecsek-hegység és környezetében a prekainozoos képződmények szerkezeti vázlata

A Bodai Agyagkő kutatási területének földtani térképezési munkái (1995-2016)

Geological mapping in the Boda Claystone research area (1995-2016)

KONRÁD GYULA[1], SEBE KRISZTINA[2], BUDAI TAMÁS[3]

[1]*Geológus Kft., geologus@geologus.hu;*
[2]*PTE TTK Földtani és Meteorológiai Tanszék, sebe@gamma.ttk.pte.hu;*
[3]*MFGI, budai.tamas@mfgi.hu*

Abstract

The research of the distribution area of the Boda Claystone Fm. suitable for the disposal of high-level radioactive waste was started by Mecsek Ore Ltd. in the 1990s. Geological mapping of the area where Boda Claystone lies near the surface began in the framework of this project in 1995. The geological map series was compiled in 1998 in a vector format but not in geographic information system. Following a country-wide screening, research on the Boda Claystone started again in 2003 solicited by PURAM, and extended to the northwesternmost part of the Mecsek Mts. (Gorica Block). One of the results was an outcrop map of the Gorica Block in 2004, in GIS. Mapping of the narrow band between the Western Mecsek Anticline and the Gorica Block was initiated in 2015 by PURAM, the field survey was carried out in 2016. In this year, documentations of the three mapping campaigns will be unified, transferred into a geodatabase, and geological maps with and without Cenozoic formations of the entire area will be compiled in 1:25 000 scale.

Összefoglalás

A Bodai Agyagkövet a nagy aktivitású radioaktív hulladék befogadására való alkalmasság szempontjából a Mecsekérc Zrt. kezdte meg kutatni a kilencvenes években. Ehhez kapcsolódva indította meg a felszín közeli elterjedési terület földtani térképezését 1995-ben. A földtani térképsorozat 1998-ban készült el vektorgrafikusan, de nem térinformatikai rendszerben. Az országos felmérés eredménye alapján az RHK Kht. beruházásában folytatódott a BAF kutatása 2003-tól, kiterjesztve azt a goricai területre is. Ehhez kapcsolódva 2004-ben elkészült a goricai terület földtani észlelési térképe, térinformatikai feldolgozással. Az antiklinális területe és a goricai terület közötti sáv földtani térképezését 2015-ben indította el az RHK Kft. A felvétel 2016-ban elkészült. Ebben az évben megtörténik a három térképezési időszak dokumentációinak az egységesítése, adatbázisba foglalása, és a teljes terület fedett és fedetlen földtani térképének a megszerkesztése 1: 25 ezres méretarányban.

Kulcsszavak: Bodai Agyagkő, földtani térkép

Bevezetés

Érdi Krausz és munkatársai [1] 1983-ban felvetették, hogy a Nyugat-Mecsekben található Bodai Aleurolit (jelenleg Bodai Agyagkő) alkalmas földtani környezet a radioaktív hulladékok elhelyezésére. A Mecseki Ércbányászati Vállalat, majd az utódcég Mecsekérc Zrt. végzett változó intenzitású kutatást ebben a témakörben. Ennek keretében folyt a Bodai Agyagkő Formáció (BAF) felszíni és felszín közeli elterjedési területének a földtani térképezése is, 1995-98 és 2002 során (1. ábra). A felvételt 1:4 000-es méretarányú légifotók használatával, a hatvanas évek 1:10 000-es méretarányú földtani térképezési eredményeire [4] támaszkodva végeztük.

Az előzetes kutatások nagyban hozzájárultak ahhoz, hogy a 2000. évben lezajlott országos áttekintés során a B.I.T. Kft. által felkért és irányított, Haas János vezette szakbizottság a Bodai Agyagkövet javasolta kutatásra a nagy aktivitású radioaktív hulladék elhelyezése céljából [2]. A 2003. évben megindult *Középtávú kutatási program* már kiterjedt a goricai területre is, ahol a hatvanas években mélyült uránérc-kutatófúrások közül több elérte a Bodai Agyagkövet. Ennek megfelelően

2004-ben földtani térképezés is indult a területen (1. ábra), amelyről rendelkezésre álltak a MÁFI-MÉV együttműködés keretében készült kéziratos, 1:10 000-es földtani térképek [4]. A hatévesre tervezett program azonban félbeszakadt. A goricai terület felvételezése ugyan megtörtént, elkészült az észlelési térkép, de a földtani térképek megszerkesztésére már nem került sor.

2013-ban új terv alapján [3] indult meg a Felszíni kutatási fázis 2. szakasza. Ennek keretében 2015-16-ban pótoltuk a korábbi földtani térképezés során nem érintett hetvehelyi terület felvételét (1. ábra). E terület egy részéről a hatvanas évek eleji MÉV térképezési adatok, más részéről az 1978-81-ben folyt MÁFI-MÉV térképezési adatok állnak rendelkezésre. 2016-ban az RHK Kft. megbízásából a BAF térképezett előfordulási területéről elkészül az egységes észlelési adatbázis és földtani térkép.

1. Az 1995-98. és 2002. évi földtani térképezés

A térképezéssel a Mecsekérc Zrt. a Mérce Bt.-t bízta meg, de abban a Mecsekérc szakemberei is részt vettek. A munkát a terület nagy részének felvétele mellett Konrád Gyula koordinálta. Felvételezők voltak még Dobosi Ildikó (Mérce Bt.), Sámson Margit, Hámos Gábor (Mecsekérc Zrt.) Sebe Krisztina, Pirkhoffer Ervin, Vass Péter (PTE), valamint Benkovics László (BME).

A Mecsekérc megrendelésére elkészült a terület 1:4 000-es méretarányú légifotó-mozaikja, ami – akkor még GPS hiányában – nagy segítséget nyújtott a négyezresre nagyított tízezres lapokon végzett felvételhez. A feltárások egységes leírásához táblázatot szerkesztettünk, amelynek használata a térképszerkesztés során bizonyult hasznosnak, áttekinthetővé téve az észlelési adatokat.

A térképezés eredménye 1:10 000-es kondíciójú, vektorgrafikusan szerkesztett földtani térképsorozat,

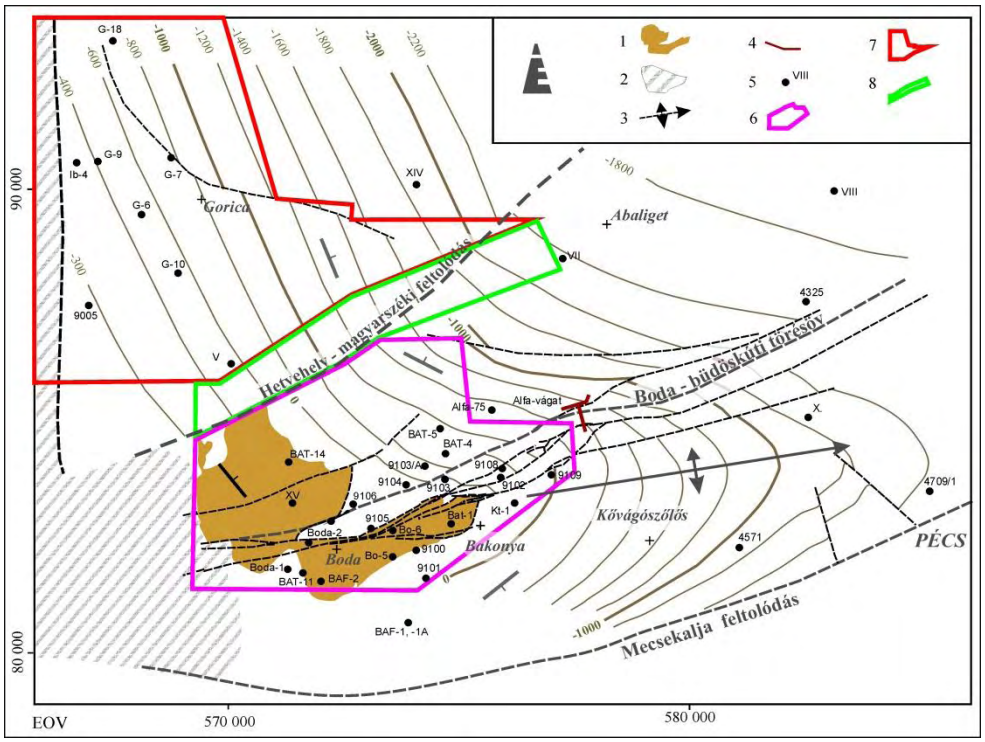
- fedett földtani térkép (2. ábra),
- fedetlen földtani térkép a negyedidőszaki képződmények elhagyásával,
- szerkezetföldtani térkép,
- vízföldtani észlelési térkép lett,

továbbá elkészült a térképmagyarázó [5].

Az Alfa-vágatbeli BAF-kutatás mellett a térképezés eredményei alapján ismertük fel a Boda-büdöskúti törésöv jelentőségét, amelynek pontosabb megismerésére, azóta több kutatási feladatot valósítottunk meg. A terepen elkülönítettük az agyagkő négy típusát, amelyek a szűk területen belül rétegtani szintként voltak kezelhetők, így a területről a korábbiaknál pontosabb szerkezeti képet nyertünk.

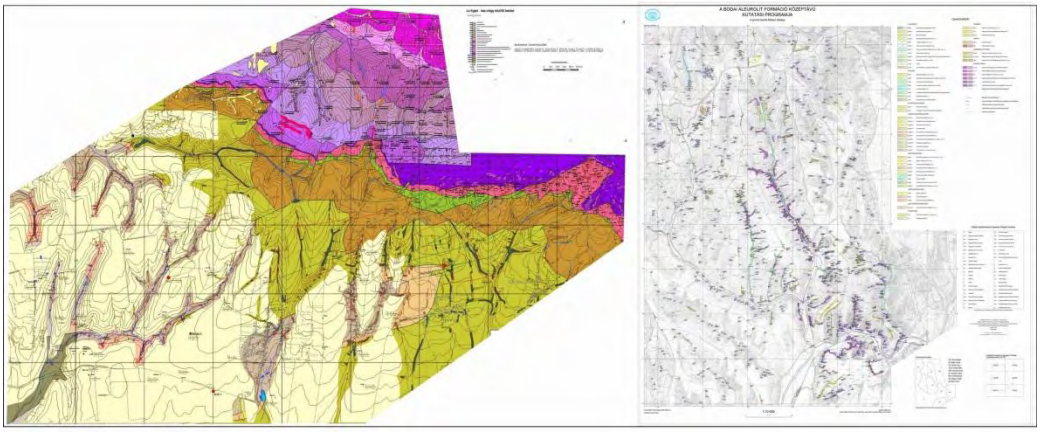
2. A 2004. évi földtani térképezés

A *Középtávú kutatási program* keretében 2004-ben megindult a goricai terület térképezése is. A Mecsekérc Zrt., mint fővállalkozó, a Magyar Állami Földtani Intézetet és a Mérce Bt.-t bízta meg a munkával. Ekkor már GPS és űrfelvételek is rendelkezésre álltak. A feltárások leírására egy újabb, a korábbinál részletesebb táblázatot szerkesztettünk. A felvételezők Albert Gáspár, Budai Tamás, Chikán Géza, Csillag Gábor, Kercsmár Zsolt, Koloszár László, Magyari Árpád, Marsi István (MÁFI), valamint Halász Amadé, Konrád Gyula, Török Patrik (Mérce Bt.) voltak. Egy térképezési szezon alatt megtörtént a felvétel, amely a korábbiaknál sokkal részletesebb dokumentációt eredményezett mind rétegtani, mind tektonikai szempontból. Elkészült a terület észlelési térképe (2. ábra). Ezután a *Középtávú kutatási program* során már nem folyt további térképező-térképszerkesztő munka.



1. ábra: A BAF elterjedési területén 1995 óta folytatott földtani térképezés területei, a BAF fedőszintvonalas térképén ábrázolva

1. a BAF felszíni elterjedési területe, 2. az alaphegység felszínét a BAF fekü képződményei adják, 3. a kővágószőlősi periantiklinális tengelye, 4. a BAF fedőszintvonalai (tengerszint feletti magasság), 5. a BAF kutatás szempontjából kiemelt jelentőségű fúrások, 6. 1995-98 között a felszíni előfordulási területen és annak környezetében, valamint 2002-ben, a Sás-völgy környékén végzett földtani térképezés határa, 7. 2004 során a goricai területen végzett térképezés határa, 8. 2015-16-ban a Hetvehely-magyarszéki feltolódás környezetében végzett térképezés határa



2. ábra: A BAF felszíni előfordulási terület földtani térképe (balra) és a goricai terület észlelési térképe (jobbra)

3. A 2015-16. évi földtani térképezés

A BAF előfordulás két szerkezeti egységét, a kővágószőlősi periantiklinálist (BAF „központi terület”) és a monoklinális jellegű goricai területet a Hetvehely-magyarszéki feltolódás határolja, amelynek aktivitási ideje és geometriája kiemelt jelentőségű a nagy aktivitású radioaktív hulladék elhelyezése szempontjából. Az I. felszíni kutatási fázis leállítása miatt ennek térképezésére már nem került sor. 2015-ben, a kutatási fázis 2. szakaszában indult meg a munka a hiány pótlására. Ehhez már

közvetlen térinformatikai feldolgozásra alkalmas adatbeviteli rendszert dolgoztunk ki. A földtani felvételt Sebe Krisztina (PTE) és Konrád Gyula (Geológus Kft.) végezték Halász Amadé (PTE), Benei Balázs (Geológus Kft.), Nadrai Judit (Mecsekérc), Kovács Ádám és Nagy Gábor (PTE) közreműködésével. A munka előzetes eredményeként említésre érdemes, hogy a Hetvehely-magyarszéki feltolódás felszíni vizsgálatára (árkolására) alkalmas területet sikerült kijelölni, valamint számos esetben pontosítani, illetve helyesbíteni tudtuk a kibúvások korábbi, hatvanas években történt rétegtani besorolását.

2016. évi feladat még a három térképezési fázis dokumentációinak egységesítése, adatbázisba töltése, 1:25 000-es méretarányú fedett és fedetlen földtani térkép, valamint három földtani szelvény szerkesztése és a földtani térképmagyarázó megírása.

Irodalom

[1] Érdi Krausz G., Hernádi A., Kassai M., Mátrai Á., Somogyvári I. (1983): A Paksi Atomerőmű kis- és közepes aktivitású hulladékainak végleges elhelyezhetősége a Nyugat-Mecsek térségében. — Kézirat, Mecsekérc Zrt. Adattár, Pécs.

[2] Haas J. (szerk.) (2000): A nagy aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére alkalmas területek kijelölése, országos screening lefolytatása. — Kutatási jelentés, B.I.T. Kft., Veszprém, RHK Kft. Irattára.

[3] Tungli Gy., Molnár P., Nagy Z., Török P. (2013): A Bodai Agyagkő Formáció földtani kutatása. Kutatási terv. I. felszíni kutatási fázis 2. szakasz. — Kézirat, RHK Kft. Adattár, Paks. p. 143.

[4] Jámbor Á., Tőzsér O., Wéber B. (1962): A II. sz. kutatócsoport 1961. évi előzetes jelentése a mecseki permi antiklinális M=1:10 000 méretű földtani térképezéséről. — Kézirat, MÉV Irattár.

[5] Konrád Gy. (1998): Jelentés a Bodai Aleurolit Formáció 1995-98. évi kutatásáról. Fúrás dokumentációk. Magyarázó a földtani térképhez. — MÉRCE Bt. Mecsekérc Adattár J-3192 II/38.

[6] Chikán G., Konrád Gy. (1982): A nyugat-mecseki földtani térképezés újabb eredményei. - A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1980. évről, pp. 169-186.

A BAF-2 és BAF-1, -1A magfúrások műszaki kivitelezése

Drilling activity in the Boda Claystone formation

VÁGÓ ZOLTÁN[1], SZEGŐ ISTVÁN[2]

[1]*MECSEKÉRC Zrt., vagozoltan@mecsekerc.hu;*
[2]*Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., szego.istvan@rhk.hu*

Abstract

Different kind of research facilities make the investigation, documentation, sampling and in-situ measurements possible in the Boda Clay formation and its geological setting. The likely deep geological repository is intended to be located some hundred meters below the ground, therefore deep boreholes are drilled in the early stages of the site investigation. In these boreholes a wide range of geoscientific methods and tools have been used.

In the investigation phase starting in 2013 two boreholes were cored. This paper presents a summary of the drilling activity and technical implementation of these two holes. Difficulties, challenges and lessons learned are detailed, as well.

Összefoglaló

A BAF és földtani környezetének közvetlen vizsgálatát, a képződmények dokumentálását és mintázását, a helyszíni mérések lefolytatását elsősorban a kutatási létesítmények teszik lehetővé. A hulladéktárolót több száz méteres mélységben fogják kialakítani, ezért a kutatási létesítmények között kiemelt szerepe van a mélyfúrásoknak, amelyekben a kutatási módszerek és eszközök igen széles spektrumát alkalmaztuk.

A 2013-ban indult kutatás keretében két kutatófúrás létesült. Jelen összefoglaló egy áttekintő képet kíván adni a két kutatólétesítmény mélyítésének és vizsgálatának fúrás-műszaki körülményéről, a mélyítés nehézségeiről, a fúrási tapasztalatokról.

Kulcsszavak: mélyfúrás, fúrómag, fúrás-műszaki kivitelezés

Bevezetés

A Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. (RHK) jelenleg folyó, a Bodai Agyagkő Formáció (BAF) 2013-ban indult kutatási fázisának keretében két kutatófúrás mélyült. Mindkettő 2014-ben. A BAF-2 fúrása és vizsgálata április végétől augusztusig, a BAF-1,-1A fúrásé augusztustól decemberig tartott. Mindkettő függőleges magfúrásként a nyugat-mecseki antiklinális déli szárnyán, a kutatási terület legdélebbi blokkjában mélyült. A fúrásban és a fúrási maganyagon végzett vizsgálatok célja annak tisztázása, hogy a BAF képződményeiben 500–1000 m mélységben biztonságosan megvalósítható-e egy mélységi geológiai tároló.

A két magfúrás tervezése és kivitelezése során az alábbi célok elérésére törekedtünk:

- a fúrástalp elérése legalább HQ (96 mm) átmérővel történjen;
- fúrómagok magkihozatala a lehető legmagasabb %-t érjen el;
- a fúrás biztosítsa a helyszíni mélyfúrás-geofizikai, hidrodinamikai, kőzetmechanikai mérések és a rétegszelektív vízmintavétel lehetőségét;
- a fúrás a megfelelő kútszerkezet kialakításával tegye lehetővé a potenciálszintek hosszú távú szelektív észlelését a kiválasztott fúrási szakaszokon.

A két fúrás közül a BAF-2 a fiatal fedőrétegek (9,1 m vastag talaj, lösz) alatt végig a BAF-ban haladt. A BAF-1,-1A nem érte el a BAF-ot, végig a fedőüledékben maradt; a fiatal fedőrétegek (18,7

m talaj, lösz, homokos kifejlődésű pannon, alaphegységi málladék, lejtőüledék) alatt a Kővágószőlősi Homokkő Formáció Bakonyai Homokkő Tagozatába jutott, és talpig ezekben haladt.

A munkavégzés folyamatos (24 órás) munkarendben, 12 órás műszakokban történt és állandó műszaki felügyelet mellett zajlott. A fúrási munkákat a Rotaqua Kft., a helyszíni lyukgeofizikai vizsgálatokat a Geo-Log Kft., a pakkeres hidraulikai méréseket és a hidrorepesztés vizsgálatokat a Golder Zrt., a VSP mérést a Geofizyka Kraków S.A. végezte.

1. A BAF-2 fúrás mélyítése

A Boda területére eső BAF-2 fúrás és a kapcsolódó munkálatok elsődleges célja volt a BAF érintett részének átfúrása, településének, belső felépítésének megismerése, a feltételezett feküképződmény, a Cserdi Formáció 50–100 m hosszban történő harántolása, valamint a harántolt képződmények és szerkezetek vizsgálata. A fúrás földtani prognózisa azzal számolt, hogy 800–900 m hosszban harántolja a BAF-ot, és kijut a feküképződménybe.

A fúrás a fekü Cserdi Formációt nem érte el. A harántolt BAF rétegek meredek dőlésűek és erősen tektonizáltak voltak. Az észlelt rétegtani helyzetük alapján nem volt várható, hogy akár 100–150 m-es továbbmélyítés esetében átfúrjuk a képződményt.

A magkezelés a Műszaki felügyelet feladata volt. A triplafalú magcső felső palástjának eltávolítása után a magot lemosták, átfordították, ismét lemosták, és a magcső belsővel magvályúba helyezték. Rájelölték a mélyülés irányát, elvégezték az előírt geotechnikai méréseket, és még a magvályúban lefotózták a kiépítés teljes hosszát. Ezután került sor a magládába helyezésre, amiről szintén készült fotó; majd a magot a kővágószőlősi magraktárba szállították.

A fúrás SK4 ¼” típusú köteles mintavevővel (Wire Line) folyamatos magfúrási technológiával vízöblítés alkalmazásával folyt. Ez SK 4¼” átmérőjű gyémántkorona és triplafalú magcső alkalmazását jelentette. A felső szakaszon cementezett iránycső (Ø 13 3/8”; 1,9 m), majd vezércső (Ø 9 5/8”; 36,1 m) lett beépítve, majd ebbe egy technikai béléscsőrakat (Ø 5 1/2”; 37,3 m) került. A 913,6 m-es záró talpmélység eléréséig további csőrakat beépítésére nem volt szükség. A végleges lyukszerkezetet a 2. ábra mutatja. A kőzet igen erősen tektonizált állapota ellenére tiszta vizes öblítéssel el lehetett jutni a talpig SK4 ¼” átmérővel. A fúrás végig maggal mélyült. A technológiának és a fúrásműszaki intézkedéseknek köszönhetően a magkihozatal a teljes fúráshosszra vetítve meghaladta a 97%-ot. Ugyanakkor a fúrómag állaga változó volt, mind nagyon gyenge, mind kitűnő RQD minősítésű szakaszok megtalálhatók voltak. Megjegyzésre érdemes, hogy a fúrás 95,70–336,00 m közötti szakaszának mélyítése során jelentős, napi 8,2–18,1 m^3 közötti öblítővíz-veszteség jelentkezett. A HPF mérések értékelése szerint is a 281–284 méternél levő kavernás szakasz nyelte a vizet. A fúrás 330°-os azimutú ferdeséget mutatott, mely alapvetően az 500 m mélységtartomány alatt jelentkezett és folyamatos kitérést mutatott. A fúrási talpon a vetületi eltávolodás 116 m volt. A fúrási ferdülés iránya, amely általában merőleges a dőlésre, itt is ezt mutatja; jól illeszkedik a rétegek antiklinális szerkezetbe illeszkedő DDK–DK dőléséhez.

Minden tervezett lyukgeofizikai, hidraulikai és hidrorepesztés mérés és vízmintavétel elvégezhető volt. A fúrásban több lépcsőben (a palástcementezett csövezéssel kizárandó szakaszokon, ill. kb. 300 m-es szakaszokban a mérési kockázatok csökkentése érdekében) folytak helyszíni (in situ) mérések. A három lépcső mindegyikében sikerült teljes körűen elvégezni a lyukgeofizikai- (komplex, akusztikus lyuktelevíziós, gerjesztett potenciál, technikai, VSP), hidraulikai méréseket, a hidrorepesztés vizsgálatokat, valamint a 10^{-8} m^2/s transzmisszivitás értéket meghaladó szakaszokból – a mintavételt megelőző szivattyúzással és/vagy dugattyúzással végzett tartós víztermelést követően – a mélységi vízmintavételt. A mérések befejezését követően egy ötpakkeres észlelőrendszer került beépítésre a fúrólyuk nyitott szakaszába. A fúrómagokon földtani-tektonikai, geotechnikai dokumentációs munkák, mintavételezések, valamint a megvett minták különböző, ásvány-kőzettani, kémiai, kőzetfizikai vizsgálatai és a vízminták laboratóriumi vizsgálatai történtek.

A munkák befejeztével a munkaterület helyreállítása a tulajdonosi igények szerint megtörtént. A kútfej és a pakkeres észlelőrendszer egyes elemei (adatgyűjtőjének, gázpalack, stb.) védelmében egy öntött beton alap készült, amire egy fém „kútház”, egy speciális biztonsági zárral ellátott konténer lett telepítve.

Összességében megállapítható, hogy a fúrás műszaki-szempontból megfelelően irányított, koordinált, kellő alapossággal és részletességgel dokumentált. Műszaki szempontból kiemelendő, hogy a fúrás 4¼” átmérőjű magfúrásként, nyomjelzett, bevizsgált öblítővízzel mélyült a 913,60 m-es talpmélységig. 37,40 m-től (ez a cementezett vezércső és a technikai rakatok, műveletek miatt kizárt szakasz) a fúrólyuk végig nyitott maradt, stabil lyukfal-állapottal, lehetővé téve talpig a tervezett vizsgálatok és mintázások elvégzését. A fúrás a tervezett rétegsort tárta fel, de a vártnál erősebben mállott, tektonizált helyzetben és (látszólagos) vastagabb kifejlődésben.

2. A BAF-1, -1A fúráspár mélyítése

A Bakonya község területére eső BAF-1, -1A fúráspár és a kapcsolódó munkálatok elsődleges célja a pannon összlet, majd alatta a fedőhegység és a BAF közvetlen fedőjének, a perm Kővágószőlősi Homokkő Formáció alsó rétegszakaszának átfúrása, a BAF elérése, jellemzése, továbbá a harántolt képződmények és szerkezetek vizsgálata a helyszínminősítéshez és a következő kutatási fázis célterületének kijelöléséhez.

A fúráspár a Nyugat-mecseki antiklinális déli szárnyán, a kutatási terület legdélebbi blokkjában mélyült. A fúrási szelvény vékony fedőüledék (0,0–18,70 m között talaj, lösz, homokos kifejlődésű pannon, alaphegységi málladék, lejtőüledék) alatt a Kővágószőlősi Homokkő Formáció Bakonyai Homokkő Tagozatába és az azzal heteropikusan összefogazódó Cserdi Homokkő Formációba jutott, és talpig ezekben haladt. A BAF-ot nem érték el.

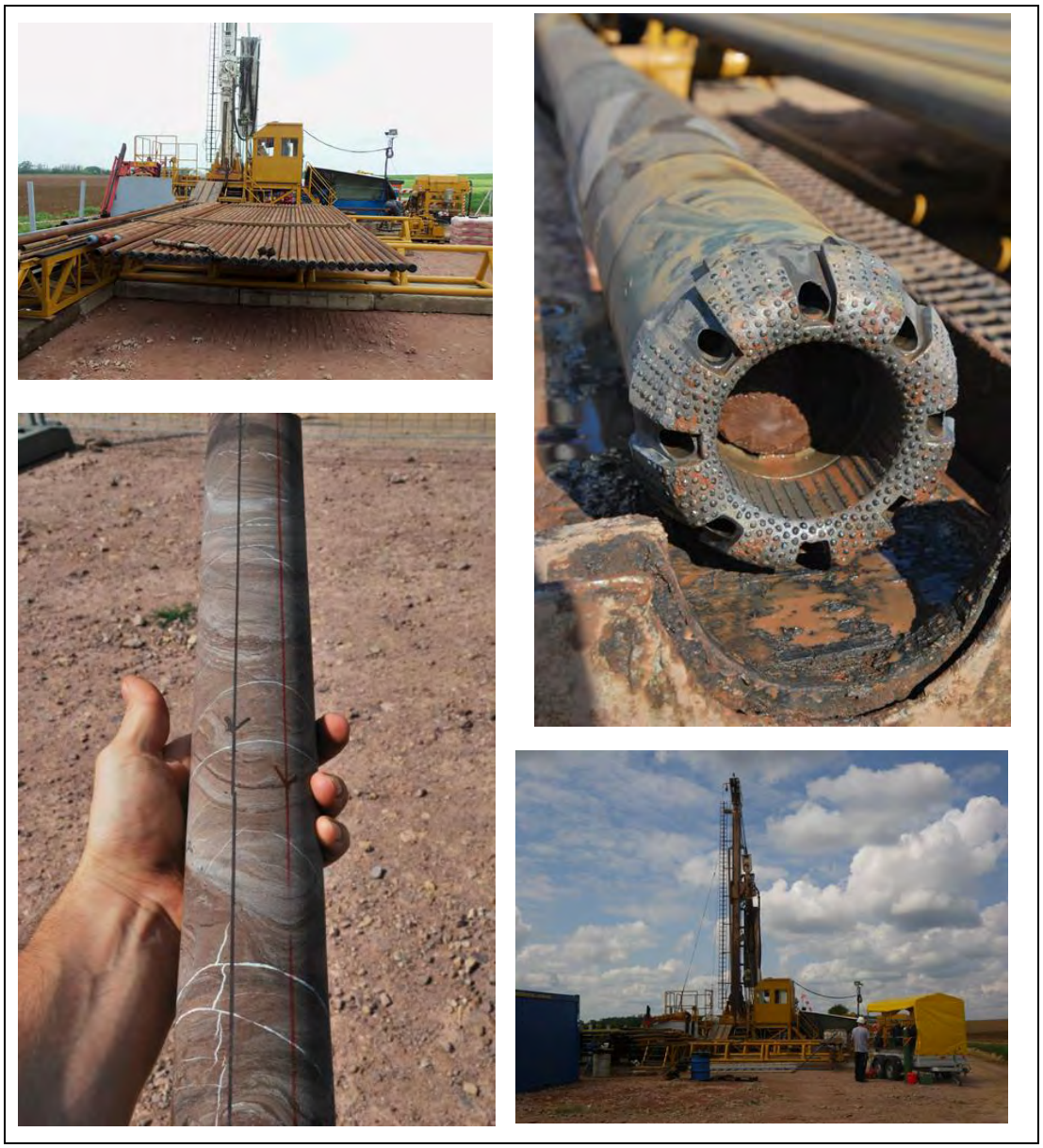
A fúráspár mélyítése a BAF-1A fúrással kezdődött. Magfúrással mélyült 84,83 m-ig, majd ideiglenes megfigyelőkúttá lett kiképezve (3. ábra). Ezt követően a tőle KDK-re mintegy 15 m távolságban levő BAF-1 fúrást mélyítették 80 m-ig teljes szelvénnyel, majd innentől a 181,80 m-es talpig magfúrással (4. ábra). Itt a fúrás elszerencsétlenedett, az elcementezése után ismét a BAF-1A fúrás mélyítését folytatták 180 m-ig teljes szelvénnyel, majd magfúrással a 474,60 m-es talpig (5. ábra). A terület tektonikai viszonyai és a kőzetállapotok a biopolimeres fúróiszap használatával sem tették lehetővé a fúrás folytatását, megfigyelőkúttá alakítását, így a fúrás elcementezésre került.

Megállapítható, hogy a fúráspár csak részben érte el a célját. A magkihozatal az egész fúrási szelvényre vetítve megfelelő volt: 98%. A helyszíni mélyfúrás-geofizikai és hidraulikai vizsgálatok nagyobb részt elvégezhetőek voltak. A komplex karotázs mérésből kimaradt a BAF-1 fúrás 146,01-181,80 (talp) közötti szakasza, mert a lyuk nem volt átjárható, illetve elszerencsétlenedés miatt felhagyásra került. Ebben a fúrásban a hidraulikai vizsgálatokat is csak 143,65 m-ig lehetett elvégezni. A BAF-1A fúrásban a karotázs mérések a 474,60 m-es talpig megtörténtek, viszont a 25 m-es közű kétpakkeres méréseket 223,74–352,20 m között nem sikerült elvégezni. A BAF-1A fúrásban ugyan történt 3 db mérés 100 m-es vizsgálati szakaszhosszal (182,08–470,59 m között), de a fúrólyukban lévő iszap okozta jelentős bizonytalanság miatt e tesztek eredményeit nem vettük figyelembe a transzmisszivitási eredmények között.

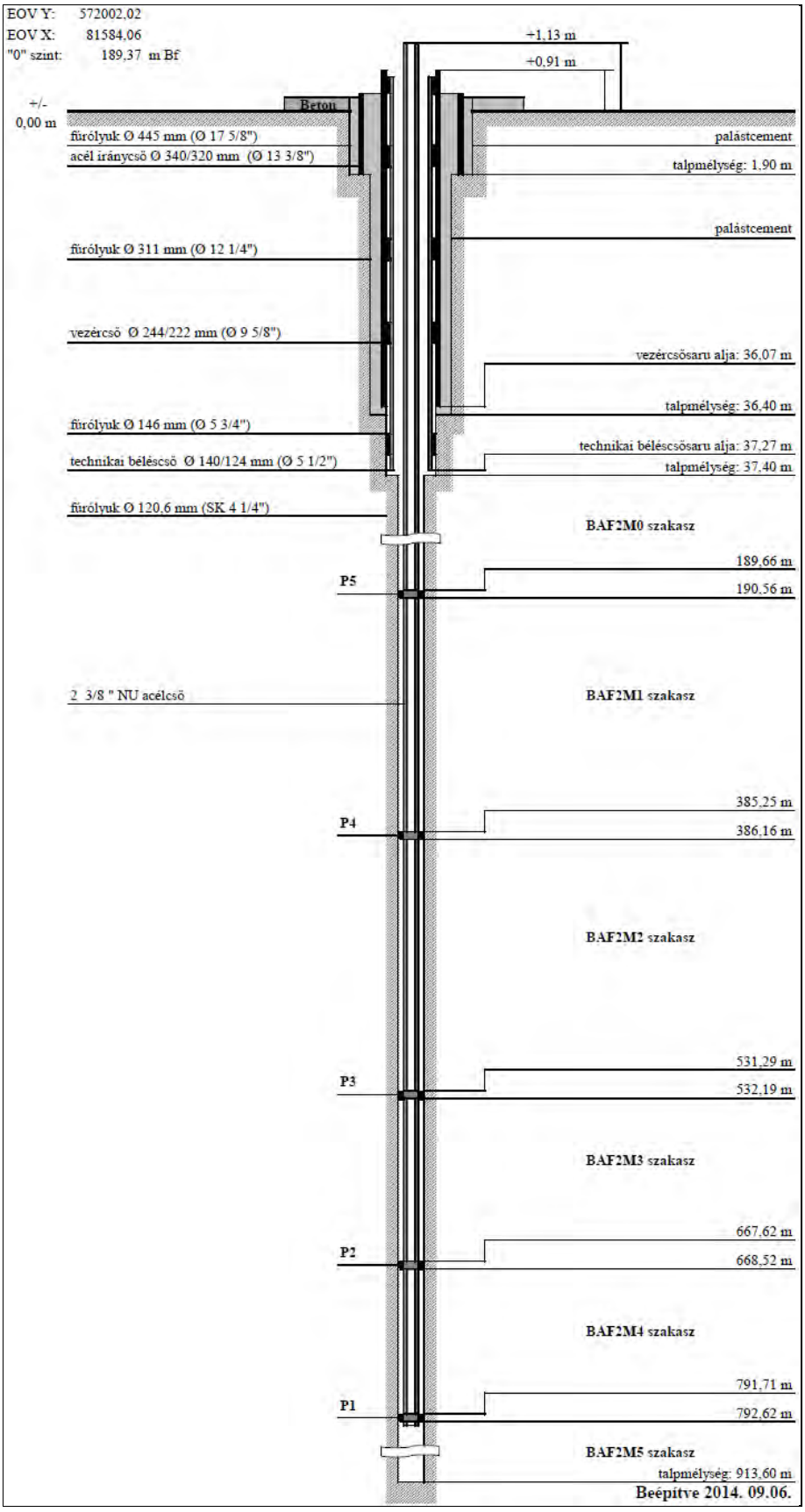
Az érintett kőzetblokk erősen tektonizált, ez megakadályozta a BAF elérését és a monitoring kút kialakítását, mivel a lyukfal stabilitása nem volt megfelelő.

A fúrási szelvény mentén 3 db mélységi vízmintavétel történt – a mintavételt megelőző szivattyúzással és/vagy dugattyúzással végzett tartós víztermelést követően – a 10^{-8} m^2/s vízvezető képesség, transzmisszivitás értéket meghaladó szakaszokból.

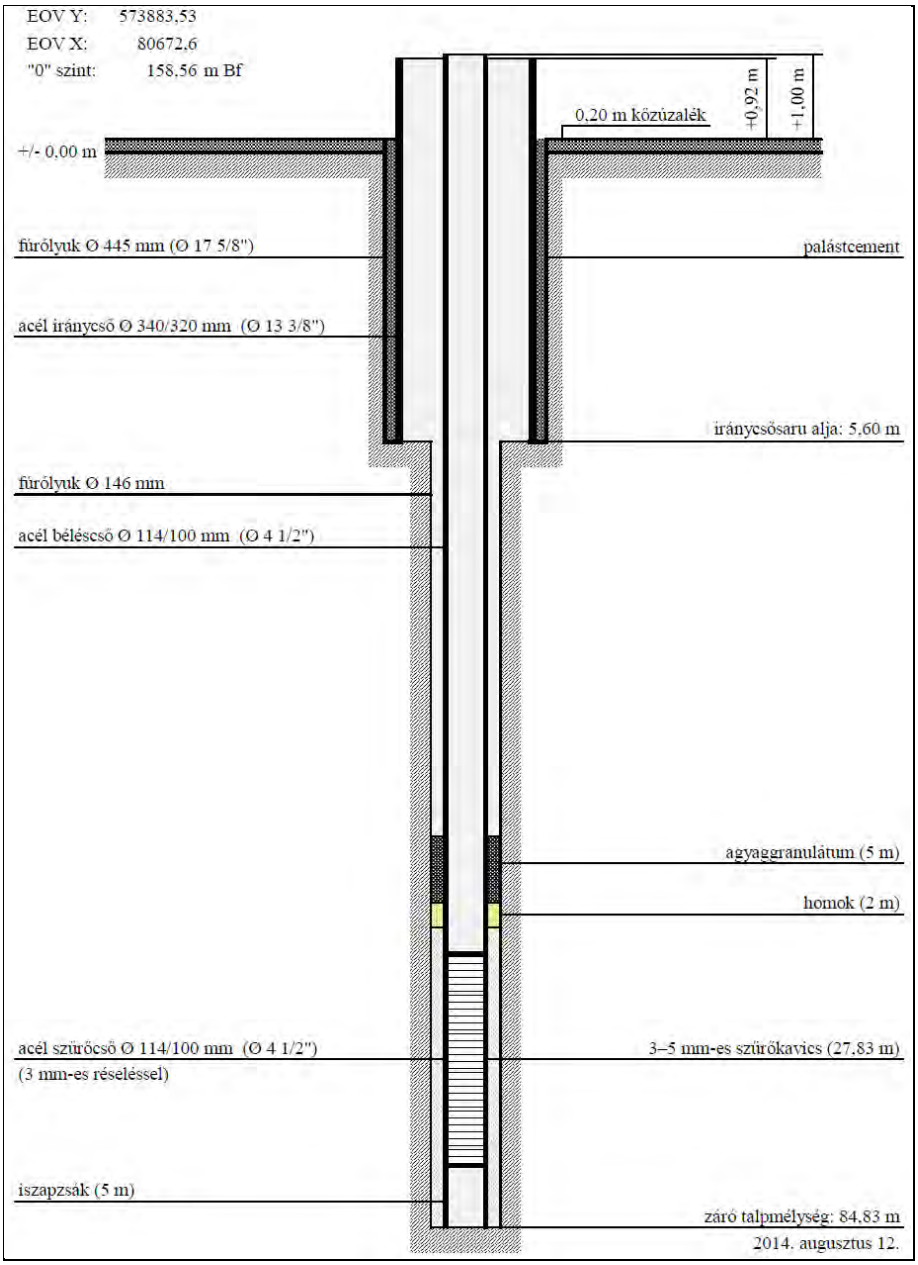
A fúráspáron maradó felszíni létesítmény nincs, a palástcementezett béléscsöveket a felszíntől számított 1,20 m mélységben elvágták, a teljes munkaterületet rekultiválás után visszaadták tulajdonosának.



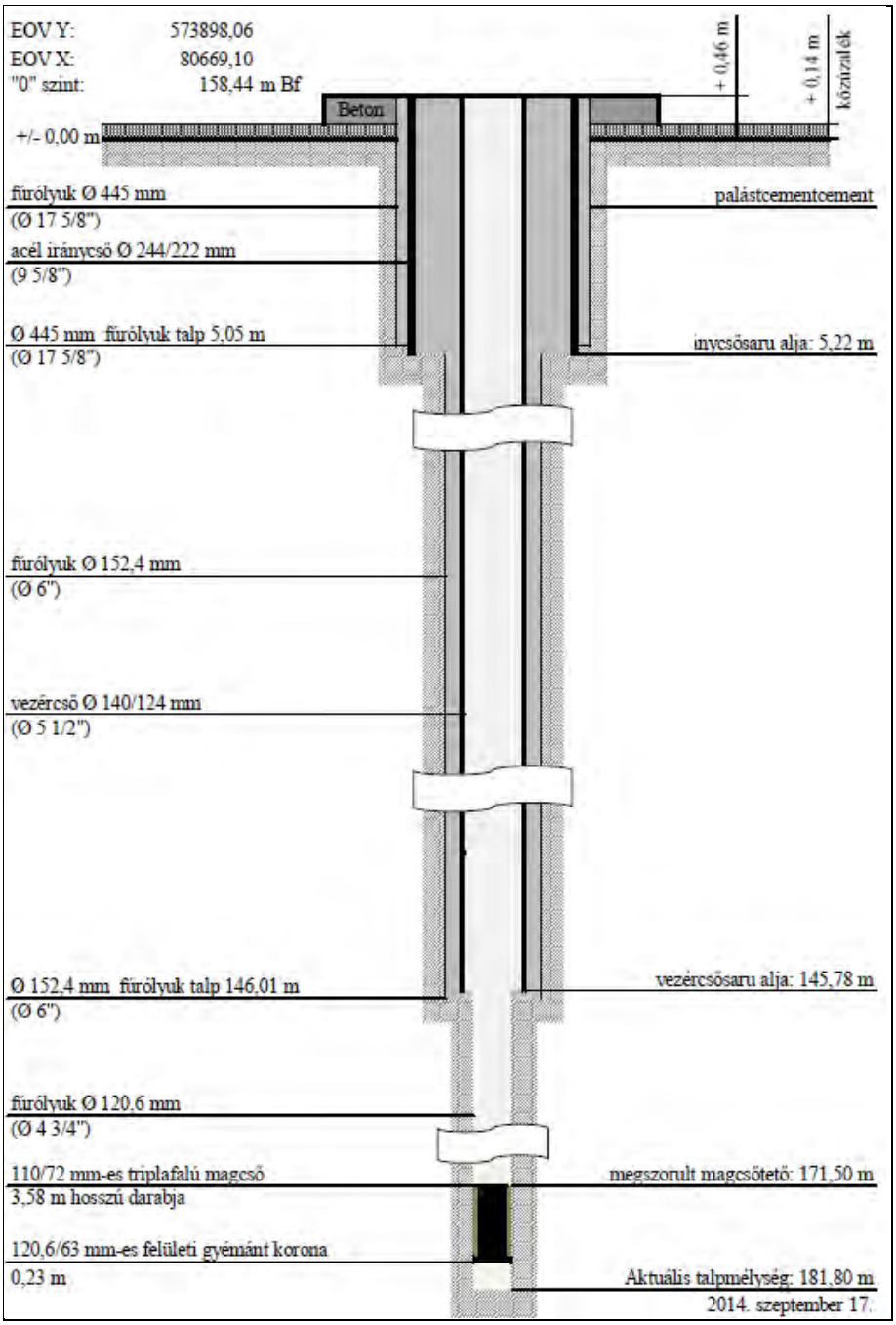
1. ábra: A magfúrások műszaki kivitelezése képekben



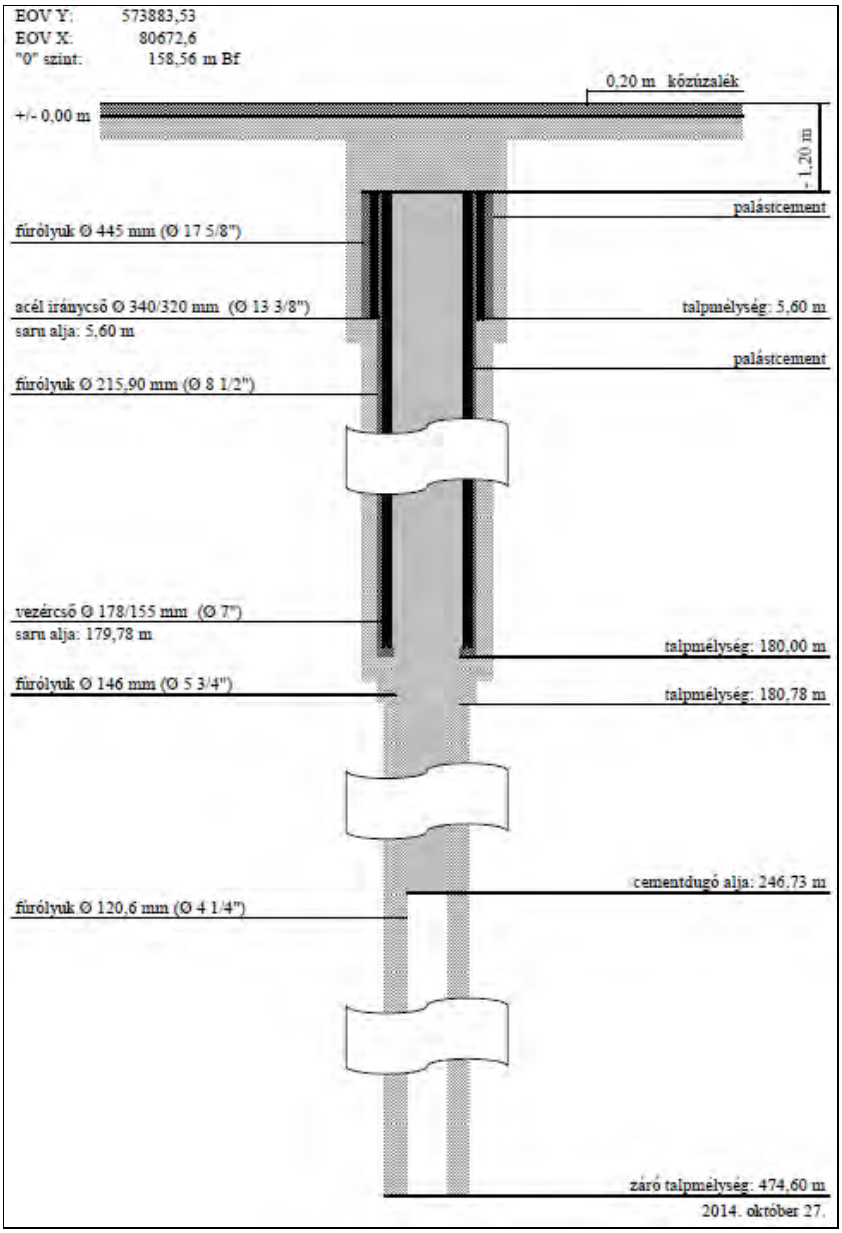
2. ábra: A BAF–2 fúrás végleges szerkezete a betelepített többpakkeres észlelőrendszer telepítési vázlatával



3. ábra: A BAF-1A fúrás lyukszerkezete I. ütem



4. ábra: A BAF–1 fúrólyuk szerkezete



5. ábra: A BAF-1A fúrás lyukszerkezete II. ütem

Irodalom

[1] Sámson M. (szerk.), Hámos G., Máthé Z., Mázik J., Mészáros A., Vágó Z. (Mecsekérc Zrt.), Bernáth Gy., Gärtner D., Prohászka A. (Geo-Log Kft.), Kovács A. Cs. (MFGI), Andrássy M., Dankó Gy., Korpai F., M. Zieger (Golder Zrt.), Konrád Gy., Halász A., Sebe K. (Mérce Bt.), Kovács L., Zierkelbach-Kovács B., Somodi G. (Kőmérő Kft.), Ács P., Fedor F., Horváth J., Koroncz P. J. (GEOCHEM Kft.) (2014): BAF-2 fúrás dokumentáló és értékelő jelentése. RHK-N-011/14 – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Irattár.

[2] Sámson M. (szerk.), Hámos G., Máthé Z., Mázik J., Mészáros A., Vágó Z. (Mecsekérc Zrt.), Bernáth Gy., Gärtner D., Prohászka A. (Geo-Log Kft.), Andrássy M., Korpai F., (Golder Zrt.), Konrád Gy., Halász A., Sebe K. (Mérce Bt.), Kovács L., Rátkai O., Somodi G., Zierkelbach-Kovács B., (Kőmérő Kft.), Ács P., Fedor F., Horváth J., Koroncz P. J. (GEOCHEM Kft.) (2015): BAF-1 és -1A fúrás dokumentáló és értékelő jelentése. RHK-N-003/15 – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Irattár.

A BAF-1, -1A és a BAF-2 fúrások földtani eredményei

Geological results of the boreholes BAF-1, -1A and -2

KONRÁD GYULA[1], HALÁSZ AMADÉ[2], SEBE KRISZTINA[2], BERNÁTH GYÖRGY[3], GÄRTNER DÉNES[3],HÁMOS GÁBOR[4], SÁMSON MARGIT[4], MÁTHÉ ZOLTÁN[4], ÓBERT VIKTOR[4] BENEI BALÁZS[5], MAGYAR LEVENTE[6]

[1]*Geológus Kft., konrad@geologus.hu;*
[2]*PTE TTK Földtani és Meteorológiai Tanszék, tade@gamma.ttk.pte.hu;*
[3]*Geo-Log Kft., posta@geolog.hu;*
[4]*MECSEKÉRC Zrt., hamosgabor@mecsekerc.hu;*
[5]*BIOCENTRUM Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kft., benei87@gmail.com;*
[6]*TIMÓ Bt., mlevente89@gmail.com*

Abstract

The boreholes BAF-1, -1A and -2 were drilled in the southern limb of the Western Mecsek (Kővágószőlős) Anticline, SW and SSE of the village of Boda. The 474.6 m deep pair BAF-1 and -1A traversed variegated, coarse clastics below 18.7 m Neogene–Quaternary sediments. Based on the geologial setting, lithology and palynology, we identified them as Upper Permian terrestrial deposits. This is in contrast with the marine Jurassic microfauna reported from the reduced beds. Permian age is also questioned by the occurrence of limestone pebbles, therefore further research is needed. The succession is heavily deformed, dissected by young (post-Miocene) unconsolidated cataclastic zones.

The entire basement section of the 931.6 m deep BAF-2 exposed Boda Claystone under 9.1 m of Quaternary deposits: it started in the upper part of the Dombó Member, then reached Fűz Mb. at a depth of 757.96 m. The Dombó Mb. contains two occurrences of the green, reduced beds. Frequent compressional features caused major thickening of the succession. Folding at two scales was reported from the borehole.

The most important achievement of the BAF boreholes is that they reveal tectonic characteristics of the area; among others consequences of post-Miocene uplift can be documented here, near the mountain front.

Összefoglalás

A BAF-1, -1A és -2 jelű fúrások a kővágószőlősi antiklinális déli szárnyán, Boda falutól DNy-ra, illetve DDK-re mélyültek. A BAF-1 és -1A fúráspár 18,7 m neogén-negyedidőszaki rétegek alatt 474,6 m talpig tarka, durvatörmelékes összletben haladt. A földtani környezet, a litológiai felépítés és a sorozatból leírt pollenek alapján felső-permi terresztrikus üledéknek határoztuk. Ennek ellentmond a redukált rétegekből kimutatott tengeri jura mikrofauna. A perm rétegtani besorolást mészkőkavicsok előfordulása is megkérdőjelezi, ezért további vizsgálatok szükségesek. A rétegsor erős tektonikai igénybevételt szenvedett, fiatal (negyedidőszaki?), még nem konszolidált kataklázos zónák tagolják.

A BAF-2 fúrás 9,1 m vastagságú negyedidőszaki rétegek alatt a 913,6 m-es talpig Bodai Agyagkőben haladt: a Dombói Tagozat felső részéből indult, majd a Fűzi Tagozatot 757,96 méterben érte el. A Dombói Tagozatban kétszer jelenik meg a zöld, redukált összlet. A gyakori kompressziós tektonikai elemek a rétegsor jelentős kivastagodását okozták. A szelvényben két különböző léptékű redőződést mutattunk ki.

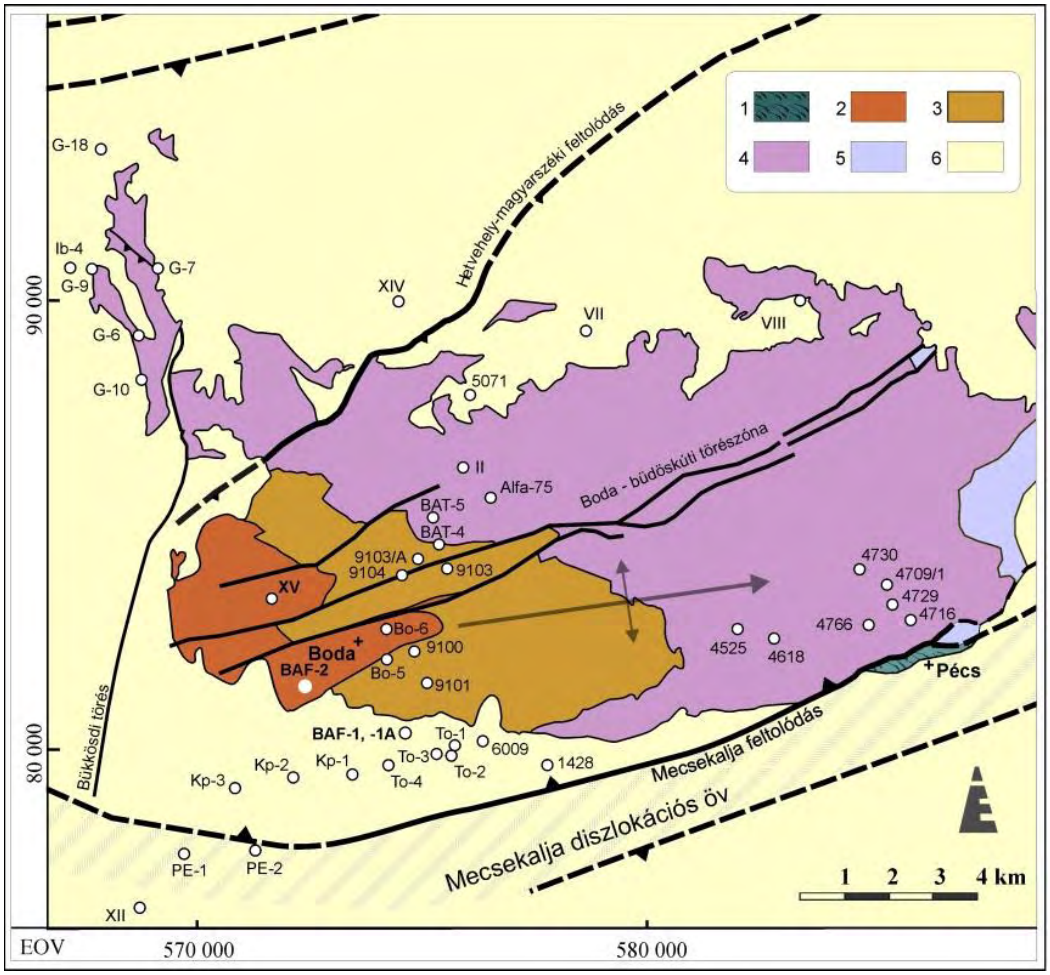
A BAF fúrások legfontosabb eredménye a terület tektonikai jellemzőinek a feltárása, amelyekből kimutathatók a poszt-miocén hegységperemi kiemelkedés hatásai.

Kulcsszavak: Bodai Agyagkő, Nyugat-Mecsek, tektonika

Bevezetés

A kutatási tervnek [1] megfelelően a Bodai Agyagkő Formáció (BAF) I. felszíni kutatási fázisának 2. szakaszában, 2014-ben került sor a BAF-2, 2015-ben a BAF-1 és -1A fúrás lemélyítésére a kővágószőlősi antiklinális déli szárnyán, Bodától DNy-ra és DDK-re (1. ábra). A BAF-2 fúrás célja a Bodai Agyagkő átfúrása, településének, belső felépítésének megismerése, a feküképződmények

50-100 m hosszban történő harántolása, valamint a harántolt képződmények és szerkezetek vizsgálata volt a helyszínminősítéshez, és a következő kutatási fázis célterületének kijelöléséhez [2]. A fúrás a kitűzött célt csak részben érte el, mert a jelentős tektonikus kivastagodás miatt nem fúrta át a formációt. A BAF-1 és -1A fúráspár egymástól 18 méterre mélyült, magfúrásos szakaszaikat a 3. ábra mutatja be. Elsődleges célja a pannóniai képződmények, majd alatta a Kővágószőlősi Homokkő Formáció (KHF) Bakonyai Tagozatának átfúrása, a BAF elérése és vizsgálata volt [3]. A fúráspár nem harántolta a Bakonyai Homokkövet, így a Bodai Agyagkövet sem érte el.



1. ábra: A BAF-1 és -1A valamint a BAF-2 jelű fúrások helyzete a Ny-Mecsek földtani térképvázlatán

1. variszkuszi kristályos képződmények, 2. Cserdi és Bodai Agyagkő Formáció, 3. Kővágószőlősi Homokkő, 4. triász képződmények, 5. jura képződmények, 6. neogén üledékek.

1. A BAF-2 fúrás jellemzői

A fedő negyedidőszaki képződmények és a Bodai Agyagkő határa 9,1 méternél húzható meg. Alatta talpig Bodai Agyagkőben haladt a fúrás (1. táblázat, 2. ábra).

1.1. A fúrás rétegsora

A formáció felső, 9,10–17,30 m közötti szakasza morzsalékosan széteső, de idegen törmelékanyagot nem tartalmaz, ezért a BAF felszín közeli mállott zónájának tekintjük. 17,30 métertől jelentkeznek az összefüggőbb magszakaszok, de a tektonikus zónák anyaga még ~130 méter mélységig széteső és mállott. A törések mentén mélyre hatoló, epigén kőzetátalakulás jelentősen megváltoztatta a formáció megjelenését.

A fúrás a formáció felső részét nem harántolta, a karbonátos konkréciók gyakoriságával jellemezhető legfelső, Nagyvölgyi Tagozat hiányzik a rétegsorból, az a Dombói Tagozat felső részével indul. A tagozat alsó határa 757,96 méternél, az első vastagabb, flázeres rétegzésű aleurolit – homokos aleurolit rétegnél húzható meg, amely már a Fűzi Tagozathoz sorolható. Talpig (913,60 méterig) ebben a képződményben haladt a fúrás. A zöld, reduktív összlet a rétegsorban kétszer jelenik meg. Rétegtani és geofizikai korrelációval sem lehetett egyértelműen eldönteni, hogy tektonikusan ismétlődik-e. A formáció a rá jellemző ciklusos felépítést mutatja (2. ábra).

1. táblázat: A BAF-2 fúrás rétegsora

Mélységköz (m)		*Kőzet*	*Litosztratigráfiai egység*	*Kor*
0,00	0,70	talaj		holocén
0,70	9,10	lösz, talajosodott lösz, kavicsos agyag		pleisztocén
9,10	148,59	vörösbarna agyagkő aleurolit rétegekkel	BAF, Dombói Tagozat	perm
148,59	153,90	zöldesfekete agyagkő	BAF, Dombói Tagozat, reduktív	perm
153,90	233,36	vörösbarna agyagkő aleurolit rétegekkel	BAF, Dombói Tagozat	perm
233,36	238,40	zöldesfekete agyagkő	BAF, Dombói Tagozat, reduktív	perm
238,40	757,96	vörösbarna agyagkő aleurolit rétegekkel	BAF, Dombói Tagozat	perm
757,96	913,60	vörösbarna agyagkő és aleurolit homokkő rétegekkel	BAF, Fűzi Tagozat	perm

1.2. Tektonikai jellemzők

A fúrásban 904,5 m hosszban harántolt BAF rétegeknek a – ferdeségértékek és rétegdőlés-adatok korrekciójával kiszámított – valódi vastagsága 564 m. (Ez az érték magában foglalja a tektonikus ismétlődéseket is.) A BHTV felvétel alapján a rétegdőlés iránya az antiklinális déli szárnyának megfelelően DDK–DK-i, jelentős dőlésszög-változásokkal. Az azonos rétegdőléssel jellemezhető tektonikai blokkokat törések vagy törészónák választják el egymástól, a töréseket flexúrák kísérik. A vetőtípusok megoszlása is elsősorban kompresszióra és nyírásra utal. A vetőstatisztika szerint az elmozdulások 44%-a feltolódás vagy feltolódás összetevőjű eltolódás, 25%-a eltolódás és csak 31%-a rétegkimaradással járó normál vető vagy normál összetevőjű eltolódás. Rétegazonosítással több esetben az elmozdulás mértéke is számszerűsíthető volt. A rétegdőlés-változások alapján két különböző léptékű redősor rajzolódik ki. A szerkezetföldtani adatok három fő tektonikai fázisra utalnak. A legidősebb egy megközelítőleg ÉNy-DK-i kompressziós esemény lehetett, amely a kis hullámhosszúságú redőket és a réteglap menti feltolódásokat eredményezte. Vagy ezek kialakulásával egy időben, vagy ugyanezen kompressziós folyamat későbbi szakaszaként jöhettek létre a nagy hullámhosszú redők és a kapcsolódó jelentősebb feltolódások, továbbá az összlet egységesen kibillent DK felé. Az így meredekké váló réteglapok a második fázisban a transzpressziós feszültségtérben feltolódásos összetevőjű eltolódásként reaktiválódtak. A harmadik fázis újabb kompressziót, feltolódások kialakulását és vélhetően a hegység fiatal kiemelkedése során a magasabb zónákban a kőzet fellazulását, és a törések felnyílását okozta.

2. A BAF-1 és -1A fúrás jellemzői

A BAF-1 és -1A fúráspár a – korábbi geofizikai mérések alapján – vártnál vékonyabb fedőképződmények alatt erősen tektonizált, tarka, durvatörmelékes rétegsort tárt fel. Felső felében gyakoribbak a szürke, redukált rétegek, alsó felében durvább szemcseméret jellemző (3. ábra). A rétegzetlen, kevésbé osztályozott, barna-vörös, mátrixvázú, durvatörmelékes rétegeket terresztrikus lejtőüledéknek, a többnyire rétegzett, szemcsevázú kavicsrétegeket, szürke, néhol szénzsinóros betelepüléseket tartalmazó rétegeket pedig s.l. folyóvízi üledéknek határoztuk. Az előbbi kőzettípus inkább a Cserdi Formációra jellemző, míg az utóbbi megfelel a Bakonyai Homokkőnek. (A riolitkavicsok aránya a fúrásban a tagozatra megadott értéknek [2] jócskán alatta marad, ezért

feldolgoztuk 11 nyugat-mecseki fúrás Bakonyai Homokkövének dokumentációját, és azt találtuk, hogy a Ny-Mecsek déli szegélyén több fúrásban is hasonlóan kevesebb riolitot tartalmazó rétegek jellemzőek [5].)

A redukált üledékek mikropaleontológiai vizsgálata meglepő eredményt hozott. Görög és Tóth hét rétegből (3. ábra) jura korú, több esetben tengeri faunaelemeket határozott [6][7]. Ugyanezekből a mintákból Götz csak felső-permi polleneket mutatott ki [8]. Minthogy a rétegsor litológiai felépítése megfelel a Bakonyai Homokkőnek, és a környező fúrások adataiból is ennek a képződménynek az előfordulására lehet következtetni, továbbá figyelemmel az őslénytani vizsgálatok ellentmondásaira, a törmelékes összletet a permi molassz sorozat részének tartjuk. Feltételezhető, hogy a heteropikus kifejlődésű Cserdi és Kővágószőlősi Formáció összefogazódását tárta fel a fúrás. Ugyanakkor a BAF-1 és -1A fúráspár rendkívül erős tektonizáltsága, több kavicsos rétegben mészkőkavicsok előfordulása[1], és a fúráspártól KDK-re, 4 km távolságban mélyített 1428 számú fúrásban 635 m alatt feltárt gryphaeás jura üledékek előfordulása miatt a kérdést nem tekinthetjük eldöntöttnek, ahhoz további, elsősorban őslénytani vizsgálatok szükségesek.

2.1. A fúrás rétegsora

A jelenleg rendelkezésre álló adatok mérlegelése alapján a fúrás alaphegységi rétegsorában a Cserdi Formációnak és a Kővágószőlősi Homokkő Bakonyai Tagozatának összefogazódását valószínűsítjük (3. ábra).

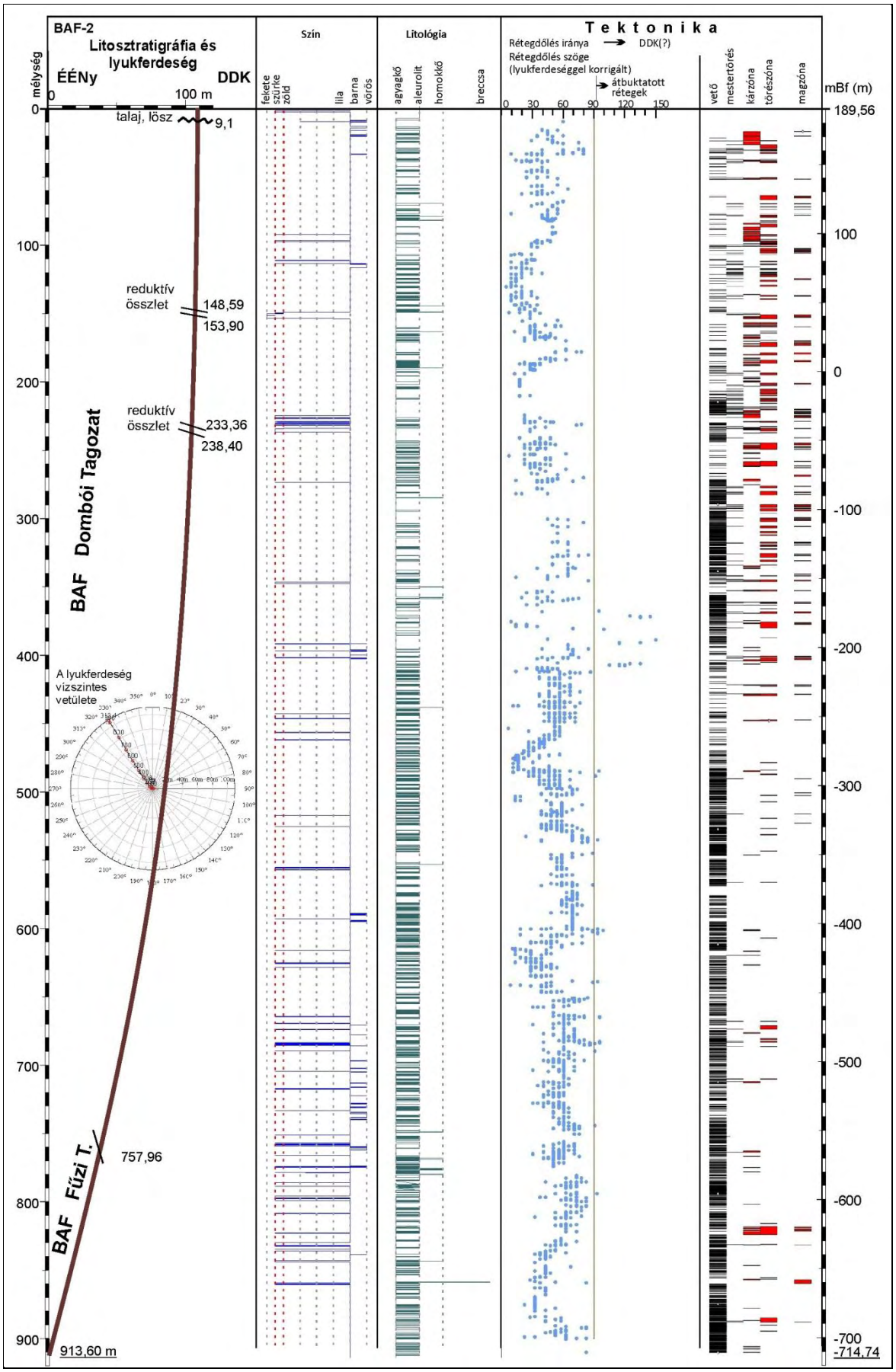
2.2. Tektonikai jellemzők

Az összlet nagy része rétegzetlen. A BHTV felvétel segítségével azonosított rétegdőlések (réteglap menti törések) dőlésiránya 361 méterig általában Ny-i, NyÉNy-i, 412 méter alatt pedig D-i. A BAF-1A fúrás KDK-i ferdülése (3. ábra) is arra utal, hogy a NyÉNy-i rétegdőlés jellemző lehet a felső, több száz méteres szakaszra. A tektonikus érintkezések viszonylag egyenletes eloszlásban, gyakran megfigyelhetők, kivéve ~300 – 350 m között: itt ritkábbak, mert ez a szakasz több helyen plasztikus alakváltozást mutat, egy felmorzsolt, anyagában gyakran agyagos, tektonikus breccsa, kataklázit jelenik meg. Nehéz megmagyarázni, hogy miért konszolidálatlanok ezek a vastag breccsák, és honnan származik az agyagtartalmuk. Kialakulásuk nagy valószínűséggel a hegység miocén utáni kiemelkedéséhez köthető. A leggyakoribb elmozdulások oldalelmozdulások, illetve oldalelmozdulás összetevőjű egyéb vetők. A jobbos vagy balos jelleget a legtöbb esetben nem tudtuk meghatározni, de ezek az elmozdulások minden bizonnyal a Mecsekalja öv közel K–Ny-i csapású balos eltolódásaihoz kapcsolódnak. Eltolódások megjelenhettek a miocén utáni kompresszió és kiemelkedés során is, ezek azonban É–D-i csapásúak. A fúrásban azonosított törések több tektonikai fázis során, több eltérő feszültségtér hatására jöhettek létre. Erre utalnak a sík dőlésszögéhez nem illeszkedő elvetési irányú vetők is, pl. lapos dőlésű eltolódások vagy normálvetők, melyek kialakulásuk után, egy későbbi fázis során billenhettek ki. A rendelkezésre álló adatok alapján szerkezeti fázisokat biztonsággal nem lehet elkülöníteni.

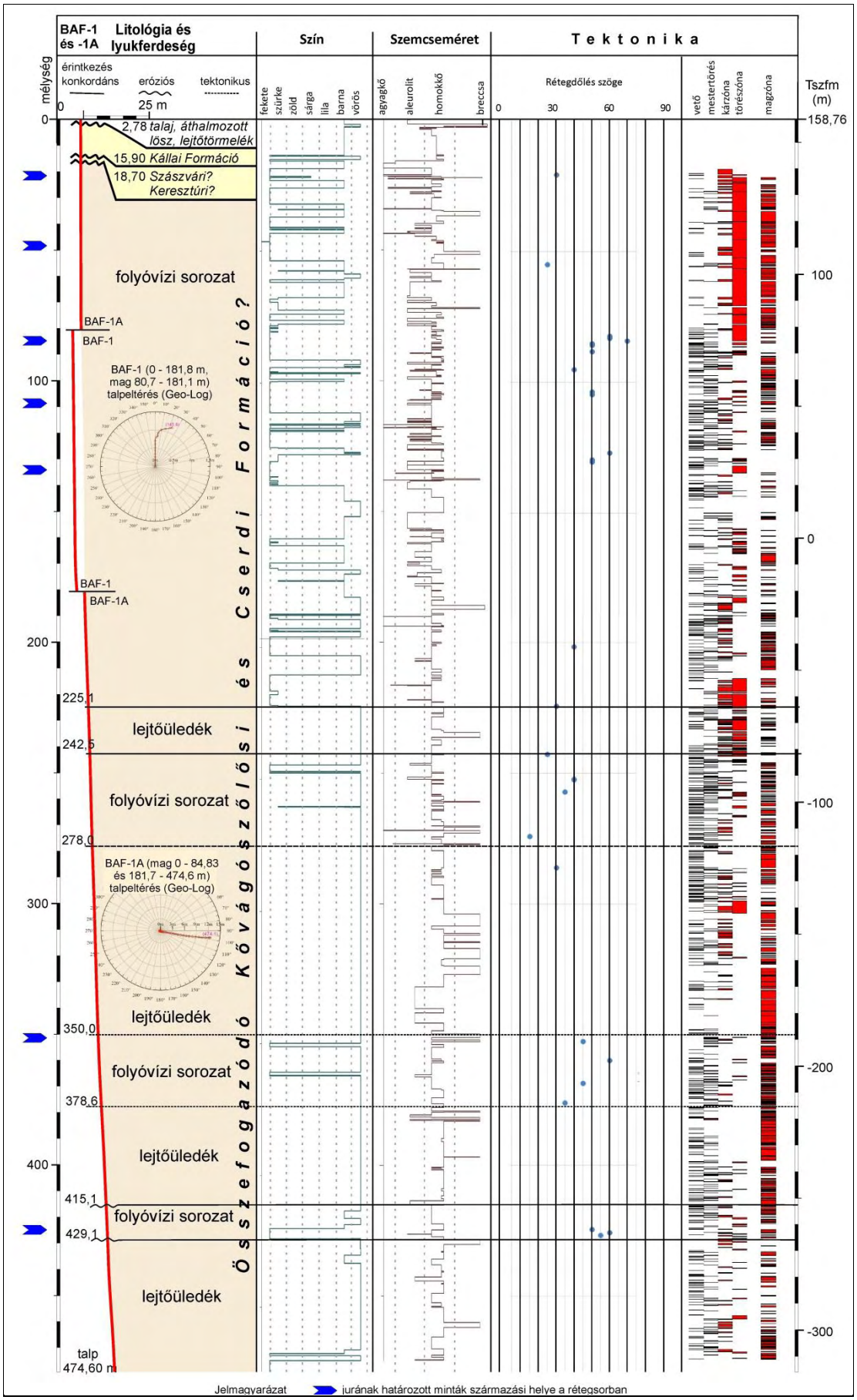
3. A BAF-1, -1A és BAF-2 fúrások legfontosabb földtani eredményei

Legjelentősebb eredmény, hogy kimutatták, az antiklinális korábban – az adathiány miatt – tektonikusan kevéssé igénybevettnek vélt déli szárnya valójában erőteljesen tektonizált, amit legalább három mozgási fázis eredményezett. A BAF-kutatás szempontjából kiemelt fontosságú, hogy a hegységperem menti fiatal kiemelkedés már ezen a területen is érezteti hatását. A BAF-2 fúrásban a BAF korábban megismert rétegtani felépítése igazolódott.

[1] A permi molassz üledékekből nem ismert mészkőkavics előfordulás. Elméletileg lehetséges, hogy prevariszkuszi karbonát került az üledékbe. Ugyanakkor a mecseki alsó-jura rétegekben nem ritkák a középső-triász mészkőkavicsok.



2. ábra: A BAF-2 fúrás rétegsorának legfontosabb jellemzői



3. ábra: A BAF-1 (80,7– 181,1 m) és BAF-1A (0 – 84,83 és 181,7 – 474,6 m) fúrás legfontosabb jellemzői

Irodalom

[1] Tungli Gy., Molnár P., Nagy Z., Török P. (2013): A Bodai Agyagkő Formáció földtani kutatása. Kutatási Terv. I. felszíni kutatási fázis, 2. szakasz. – Kézirat, RHK Kft., Paks, 2013. február, RHK Kft. Irattára, RHK-N-005/12, p. 143.

[2] Sámson M. (szerk.), Hámos G., Máthé Z., Mázik J., Mészáros A., Vágó Z. (Mecsekérc Zrt.), Bernáth Gy., Gärtner D., Prohászka A. (Geo-Log Kft.), Kovács A. Cs. (MFGI), Andrássy M., Dankó Gy., Korpai F., M. Zieger (Golder Zrt.), Konrád Gy., Halász A., Sebe K. (Mérce Bt.), Kovács L., Zierkelbach-Kovács B., Somodi G. (Kőmérő Kft.), Ács P., Fedor F., Horváth J., Koroncz P. J. (GEOCHEM Kft.) (2014): BAF-2 fúrás dokumentáló és értékelő jelentése. RHK-N-011/14M01 – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Irattár.

[3] Sámson M. (szerk.), Hámos G., Máthé Z., Mázik J., Mészáros A., Vágó Z. (Mecsekérc Zrt.), Bernáth Gy., Gärtner D., Prohászka A. (Geo-Log Kft.), Andrássy M., Korpai F., (Golder Zrt.), Konrád Gy., Halász A., Sebe K. (Mérce Bt.), Kovács L., Rátkai O., Somodi G., Zierkelbach-Kovács B., (Kőmérő Kft.), Ács P., Fedor F., Horváth J., Koroncz P. J. (GEOCHEM Kft.) (2015): BAF-1 és -1A fúrás dokumentáló és értékelő jelentése. RHK-N-003/15M01 – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Irattár.

[4] Barabás A., Barabásné Stuhl Á. (1994) in Fülöp J.: Magyarország geológiája. Paleozoikum II. - Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 447.

[5] Hámos G., Máthé Z. (Mecsekérc Zrt.), Konrád Gy., Halász A., Sebe K., Benei B., Magyar L. (Mérce Bt.) (2015): A BAF-1, -1A fúrások alaphegységi maganyagának litosztratigráfiai értékelése. RHK-N- 010/15M01 – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Irattár.

[6] Görög Á., Tóth E. (2015a): Palinológiai vizsgálatok a BAF-1 és BAF-1A magfúrások mintáiból. Kézirat, Mecsekérc adattár, p. 10.

[7] Görög Á., Tóth E. (2015b): Laboratóriumi jegyzőkönyv. Palinológiai vizsgálatok a BAF-1 és BAF-1A, BAT-4 és Delta-8 számú magfúrások mintáiból. Kézirat, Mecsekérc adattár, p. 28.

[8] Götz, A. (2015): Report on 10 drill core samples examined for palynostratigraphy. Kézirat, Mecsekérc adattár, p. 2.

A BAF-2 fúrás jellemzése a fúrómagokon végzett kőzettestosztályozás és kőzetmechanikai laboratóriumi eredmények alapján

Rock mass classification and rock mechanical laboratory investigations in BAF-2 borehole

SOMODI GÁBOR[1], KOVÁCS LÁSZLÓ[1]

[1]*Kőmérő Kft., somodigabor@komero.hu, kovacslaszlo@komero.hu*

Abstract

Borehole BAF-2 provided interesting geotechnical and rock mechanical results in aspects of previous research phases. Based on the rock mass classification data we can divided the borehole section into an upper weaker, more fractured, more wheathered unit and a strengther, less fractured lower unit. The boundary is around 340-360 meters beetween these units which was determined using trend analysis, RMR = 40 and RQD = 50 values are used for boundary value. The rock mechanical laboratory tests results gives lower strength and elastic properties than it was in the earlier research phases. In several places over 200 m "core disking" was occurred.

Összefoglaló

A BAF-2 fúrás geotechnikailag és kőzetmechanikailag is érdekes adatokkal szolgált. A kőzettestosztályozási adatok alapján egy felső gyenge és egy alsó nagyobb szilárdságú szakaszra tudjuk osztani. A határvonalat trend analízis segítségével határoztuk meg 340-360 méter közöttire, RMR=40 és RQD=50 értékeket véve határértéknek. A kőzetmechanikai laboratóriumi vizsgálatok a korábbi kutatási fázisokban meghatározottaknál alacsonyabb értékeket adtak. 200 fm alatt több helyen pogácsásodás („core disking”) fordult elő.

Kulcsszavak: BAF, kőzettestosztályozás, trend analysis, core disking

Bevezető

A BAF-kutatások mindegyik fázisában történt kőzetmechanikai laboratóriumi vizsgálat és kőzettestosztályozás is. A fúrómagok ilyen típusú minősítése számos fontos tervezéshez szükséges információt hordoz, ugyanakkor jellemzi az adott formáció anyagtulajdonságait és számos esetben kiegészítő információkkal szolgál a többi kutatási terület számára is.

A BAF-2 fúrás nagy vastagságban tárta fel a Bodai Agyagkő Formáció képződményeit. A Kőmérő Kft feladata a fúrás geotechnikai dokumentálása, mintázása és a laboratóriumi vizsgálatok elvégzése volt. Ezek közül is a legfontosabb a harántolt kőzettestek geotechnikai tulajdonságainak felmérése, minősítése volt. Ezután történt, történhetett a mintavétel és a laboratóriumi vizsgálatok.

Ugyanilyen típusú vizsgálatok készültek az ebben a kutatási fázisban lemélyült BAF-1/1A fúrásra is. A fúrás maganyaga azonban döntően nem tipikus megjelenésű, erősen tektonizált fedőképződményekből áll. A BAF-kutatás szempontjából nem tipikus fúrási maganyag részletes jellemzésétől jelen esetben eltekintünk.

A fúrásdokumentáció során megtörtént a fúrási szelvény maganyagának RQD, Kiruna, RMR és Q minősítése, a vonatkozó publikációkban [1][2][5] és a fúrásdokumentációs és mintavételi tervben [4] leírtaknak megfelelően.

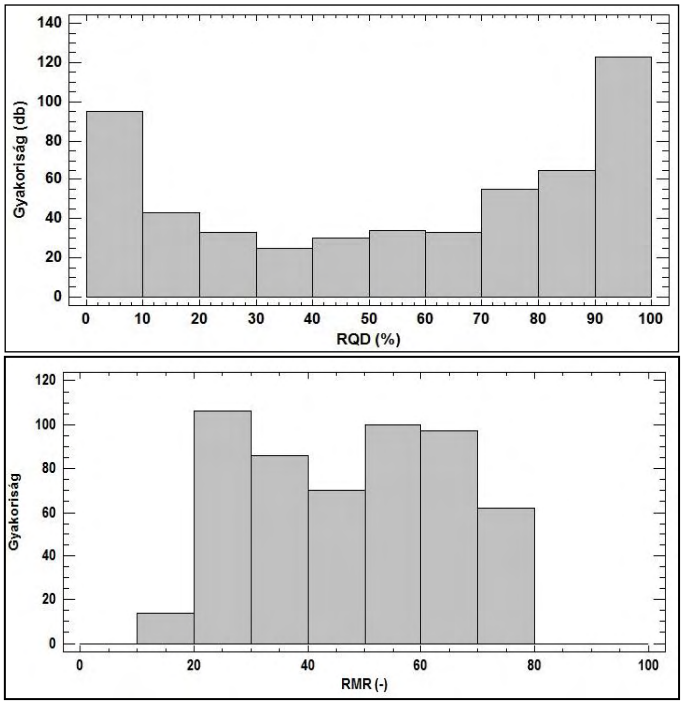
A mintavételt igyekeztünk minél több fajta kőzettípusra alkalmazni. A mintaszám alacsony volt, ami akadályozta a kutatás igényeinek maradéktalan kielégítését. A mintavételezés módszertana az ISRM ajánlásait követte.

1. A kőzettestosztályozás eredményeinek vizsgálata

A BAF-2 mélyfúrás maganyagának 914 méteres összhossza indokolttá tette, hogy a kőzettest minősítésének jellemzését olyan statisztikai módszerek biztosítsák, amelyek megkönnyítik a maganyag összképének, a tendenciák egyszerű jellemzését. Ehhez az idősoranalízisben használt módszerek a legalkalmasabbak. Az elemzések a Statgraphics Centurion 16.1. szoftver segítségével készültek el. Az elemzéseket minden esetben a vizsgált paraméter leíró statisztikai jellemzése előzi meg. Ezután a trend komponens vizsgálata következik, amely a trendek elkülönítését, a szakaszhatárok kijelölését segíti. A trendanalízis lényegében egy olyan regressziós statisztikai vizsgálati módszer, amely az idősorok belső szerkezetét vizsgálja olyan módon, hogy feltételezi, hogy az adott idősorunk nem random, hanem strukturált adathalmaz. A trend összetevő keresésével erről a struktúráról kaphatunk információt. A trend komponens vizsgálat során a kőzettestosztályozási adatokra idősorként tekintettünk. A vizsgálat kezdetén meg kell határozni, hogy milyen egységekben kell vizsgálni az adott idősort, ami mindig a vizsgálati szemponttól függ. Jelen esetben az RMR intervallumot tekintettük alapegységnek, amelyen belül a nemzetközi kőzettestosztályozási gyakorlat szerint a kőzet osztálya nem változik [2][3][6]. Ez definíció szerint 4-5 repedezettségi intervallum, illetve 8-10 méter, ami természetesen egy átlagos kép és változtatható kiindulási feltétel.

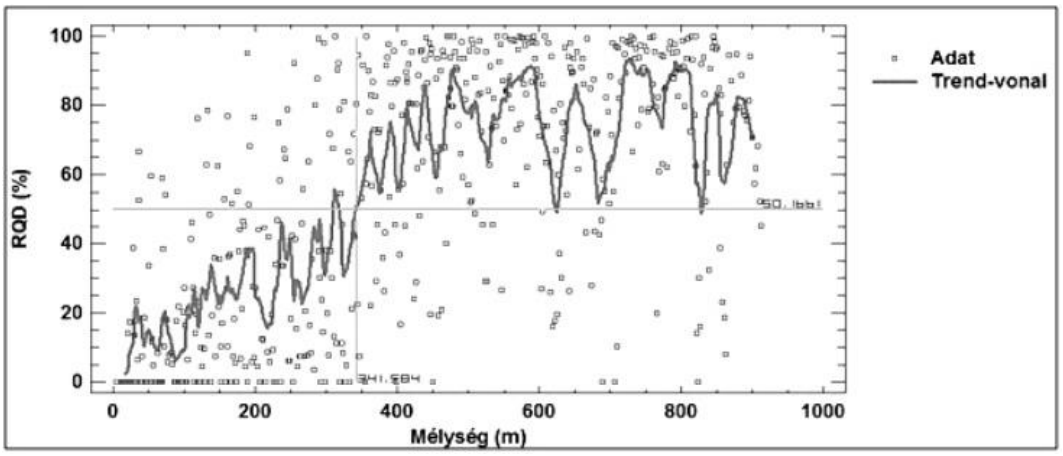
2. A kőzettestosztályozás eredményeinek értékelése

A fúrás RQD értékeinek eloszlásait tekintve láthatjuk, hogy két módusú eloszlás jellemzi. Az egyik módus a 0, a másik módus a 100 körül található. Ez természetesen összefügg az RQD definíciójának és módszertanának jellemzőivel és hiányosságaival is [5], mivel gyakori volt a csak 10 cm-es, vagy ennél hosszabb magdarabokból álló szakasz, ugyanúgy, mint a csak 10 cm-nél kisebb darabokból álló szakasz. Ugyanakkor az is jól látható, hogy ezen kívül is a leginkább ép és leginkább töredezett RQD kategóriákba esnek leggyakrabban a repedezettségi szakaszok, valamint szintén gyakoriak a 0-hoz közeli szakaszok.



1. ábra: Az RQD és RMR értékek hisztogramja a BAF-2 fúrás teljes hosszát tekintve

A fúrási maganyag repedezettségi kép alapján történő szakaszolást az ismertetett trendanalízis segítségével végeztük el. A trend-komponens keresését mind az RQD, mind a Kiruna töredezettségi adatokon elvégeztük a fúrás teljes hosszára vonatkoztatva 8 és 16 méteres belső legkisebb szerkezeteket feltételezve. A 16 méteres szerkezetet a legkisebb egység duplázásával kaptuk. Az eredmények minden alkalommal azt mutatták, hogy a teljes fúrás rétegsorának képe alapján jelentős eltérést láthatunk a töredezettségben. A fúrás első néhány száz métere erőteljesen töredezett. A töredezettség lassan csökken a mélységgel lefelé haladva. Ezután 300 – 400 méter között jelentős ugrással javul fel a fúrás, majd ezt a kedvezőbb képet mutatja a fúrás aljáig. A trend-komponens vizsgálaton a két eltérő fúráskép határa olyan módon válik legjobban megállapíthatóvá, hogy az RQD ábrán a trendvonal mikor lépi át tartósan az RQD=50-et, vagyis a megfelelő minősítés alsó határát, valamint a Kiruna-értékek trend analízisén a 0,3-et. Mindkettő 340-360 méter közé esik az alapegység változtatásától függően. Ez a változás az RQD ábrán sokkal markánsabban jelentkezik (lásd 2. ábra).



2. ábra: Az RQD értékek trend-analízise 8 méteres belső szerkezetek feltételezésével

Ezután a fúrás RMR értékeinek eloszlásait vizsgáltuk. Az 1. ábra alapján láthatjuk, hogy szintén két módus jellemzi. Az egyik módus a 20-30 MR érték között jelentkezik, a másik módus 50-60 között található. Ez természetesen összefügg az RQD elemzésben jelentkező kétmódusú eloszlással, valamint, hogy a fúrási maganyag repedezettségi képe alapján mélységben két nagyobb intervallumra különül el. Ugyanakkor az is jól látható, hogy a legjobb és legrosszabb RMR kategóriákba nem esnek repedezettségi szakaszok. Ez azt jelzi, hogy a legtöredezettebb szakaszok repedésfelületei és kőzetmátrixa sincsen teljesen elmállva. Ugyanakkor nincs olyan repedezettségi intervallum, amibe ne esne természetes törés, vagy a kőzetmátrix ne lenne enyhén bontott, gyengült.

Ha megnézzük az RMR értékek idősoranalízisének eredményei is azt mutatták, amit a töredezettségi kép, vagyis két nagy intervallumra osztható a fúrás, amelynek a határa a trend-analízis görbéjén RMR=40 értéknél húzható meg, 340-360 méter között. Összességében a BAF-2 fúrás geotechnikai minősítés alapján kapott két nagyobb szakasza a következőképpen jellemezhető.

I. Szakasz: 0 –27,8 között Kainozoós üledékek és felső fellazult, erőteljesen töredezett, mállott kőzetek találhatók, amelyet 27,8 – 104,2 méter között erőteljesen töredezett Bodai Agyagkő Formáció követ, döntően nagyon gyenge RMR minősítéssel. 100,1 – 283,9 méter között változatosabb a geotechnikai kép, de nincs határozott javulási tendencia, előfordulnak már II-es III-as minősítésű szakaszok is, de döntően VI-es kőzetkategória a jellemző. 283,9 - 343,8 méter között fokozatosan javuló töredezettségi kép jellemző, egyre változatosabb geotechnikai állapotokkal.

II. Szakasz: 343,8 – 462,1 m között változékony töredezettségű szakasz fokozatosan javuló kőzetminőséggel képpel, ahol a II-es és III-as minősítésű szakaszok aránya magas. 462,1 – 611,3 méter között dominánsan II. és III-as minősítésű szakaszok váltakoznak. A kőzetminőség a korábbiakhoz képest homogén. 611,3 – 707,1 m között változékony kőzetminőség jellemző két hosszabb, gyengébb minőségű szakasszal. Az előző intervallumhoz képest gyengébb kőzetminőség

jellemző. 707,1 – 820,3 m között döntően kitűnő és jó minősítésű repedezettségi szakaszok találhatók. 820,3 – 913,6 m között jó, kitűnő, megfelelő minősítésű szakaszok váltják egymást.

2.1. Az in-situ feszültségtér hatására kialakuló core disking, vagy „pogácsásodás”

A geotechnikai dokumentálók megnövekedett in-situ feszültség-rezsimre utaló jelenséget, az ún. pogácsásodást figyelték meg a BAF-2 fúrás maganyagán (lásd 3. ábra). A pogácsásodás a maganyag „felszeletelődése”, ami az in-situ feszültségtér alóli felszabadulás hatására következik be a maggal mélyülő fúrásoknál [7]. Deere (1989) [5] szerint az ilyen jelenség kizárja az RQD használatát.

3. ábra: A "pogácsásodás" jelensége és környezete a BAF-2 fúrásban

Az alábbi képen a 3. ábra irodalom alapján röviden jellemezzük a pogácsásodás fajtáit. Az in-situ feszültség anomáliaszerűen változhatott a fúrási mélységekkel, ezért lehet, hogy a fúrásban nem egységes, egyöntetű feldarabolódás következett be, ami nem csak kőzettípusonként eltérő, hanem a mélységgel is változott. Ez közeli vetőmozgásokra utalhat [7][9].

A pogácsásodás fő tulajdonságait a 3. ábra betűi jelzik. *A*: Nem szétesett maganyag, ami szabályos a magtengelyre merőleges, közel merőleges zárt repedésekkel tagolt. A repedések mentén kipergések jellemzők, mm-es nagyságrendben. *B-C*: Szétesett maganyag korong és tál alakú magdarabokkal. Az egymást követő darabok domború és ovális felületekkel csatlakoznak egymáshoz. A magdarabok hossza 1-4 cm. Vastagságuk váltakozása talán az ásványtani összetétel-változásokkal van összefüggésben. *D*: Nem tiszta agyagkő részeken az aleurolit- és dolomitbetelepülések síkja mentén megy tönkre a kőzet. Ezeken a szakaszokon nem jellemző a „pogácsásodás”, mivel a feszültségtöbblet a már létező törések mentén felszabadul.

A pogácsásodás legsekélyebb előfordulási mélysége 39,72-42,61 m közti intervallum. A leghosszabban, legszabályosabban pogácsásodott szakaszok 56,10-62,25 méter között találhatók. 39,72-68,60 méter között összesen 7-8 méter hosszon jelentkezik pogácsásodás, vagy az A, B, C –vel jelölt jelenségek valamelyike. Ezután már csak elkülönült szakaszokon jelentkezik, egymástól nagyobb távolságokra 200,95 méterig. Érdemes megjegyezni, hogy nagyobb mélységekben nem lehetett elkülöníteni egyértelműen hasonló szakaszokat.

3. A BAF-2 jelű fúrás mintáin végzett kőzetmechanikai laboratóriumi vizsgálatok eredményei és értékelése

A kőzetmechanikai mintavétel során 49 db mintadarab került kiválasztásra. A mintákon 6 féle vizsgálatot végeztünk el, ebből 5 féle roncsolásos és egyféle roncsolásmentes vizsgálatot:

- dinamikus (dilatációs rezonanciafrekvenciás) vizsgálat;
- deformációmérés nélküli egytengelyű nyomószilárdsági vizsgálat (Uniaxial Compressive Strength – UCS);
- Brasil húzószilárdsági vizsgálat;
- nyírószilárdság-vizsgálat;
- kétirányú mérőbélyeges deformációméréssel elvégzett UCS vizsgálat;
- a tönkremeneteli határgörbe meghatározásának egymintás változata (ún. Multiple Failure State-, vagy Kovári-teszt).

A mintákat olyan stratégia szerint kellett volna kivenni, amely nem tükrözte az előírt mintaszámot. A BAF-2 maganyagából nem volt lehetőség olyan mintavételi stratégiát véghezvinni, amely kőzettípusok szintjén elkülöníthetőségre adott volna lehetőséget, illetve vertikális, vagy horizontális értelemben a kiterjeszthetőség megvalósítható lett volna. Ezt jeleztük a mintavételi és dokumentációs tervben [4]. Ezek után minden vizsgálati típusnál egyedi mintázási célokat és gyakoriságot határoztunk meg, hogy a kutatást minél inkább elősegítsük.

Általánosan is elmondható, hogy a BAF-2 fúrásból származó mintákon meghatározott szilárdsági és rugalmassági értékek alatta maradnak az URL fúrásaiból vett minták hasonló adatának.

A húzószilárdság átlagos értéke több mint 50%-kal marad alatta. Ez csak részben magyarázható azzal, hogy a felszíntől számított mélység függvényében a tapasztalatok szerint – nyilvánvalóan a felszínközeli mállási hatások miatt – általában javulnak a szilárdsági értékek. Jelen esetben azt tapasztalhatjuk, hogy a húzószilárdsági adatok viszonylag szűk tartományban mozognak, és szinte minden egyes esetben jelenősen alatta maradnak az URL-ből származóknak, vagy a Krupa et al. (2015) [9] által közölt értékeknek. Figyelembe véve azonban azt a tényt, hogy a hidrorepesztéses tesztek kivitelezői – a módszer alapvető kritériumai szerint – igyekeztek a legjobb állapotú szakaszokat kiválasztani a mérésekhez, mindenképpen fontos kiemelni, hogy a húzószilárdság vonatkozásában a BAF-2 fúrás által feltárt térrész lényegesen kedvezőtlenebb, mint az URL térsége. Az URL-ből származó mintákon végzett nyírószilárdsági kísérletek átlagos értéke is közel duplája volt a BAF-2-ben mértnek (19,21 MPa; 8,94 MPa szórás mellett).

Az egytengelyű nyomószilárdsági kísérletek kapcsán felmerült az az igény, hogy e mérésekkel a Kőmérő Kft. segítse a geofizikai mérések kalibrációját. A mintavétel a Geo-Log Kft. által javasolt három intervallumból történt. Ki kell emelni, hogy valamennyi UCS-mérés mintája a 750 m alatti fúrásszakaszról került ki. Itt tehát a felszínközeli mállási hatások már biztosan nem játszanak szerepet. Az átlagos nyomószilárdság és a szórás 18 mintára számított értéke önmagában nem sokat mond. A 750 m körüli minták átlagos UCS-értéke mindössze 36,42 MPa (22,0MPa szórással). A 830 m környékéről származó minták esetében ez az érték 92,31 MPa (relatíve alacsony, 20,61 MPa szórással), tehát hozzávetőleg ez az intervallum reprezentálja a mintázott szakaszok összességére vonatkoztatott nagy átlagot. A 850 m környékéről származó, részben már homokköves minták átlagos UCS-e viszont kiemelkedően magas, 142,97 MPa (62,42 MPa szórással). Ezek az adatok azért is kiemelésre érdemesek, mivel a három különböző intervallumból származó minták elsődleges kőzettani leírásuk alapján nem különböznek lényegesen egymástól. A fúrás geotechnikai dokumentációja szerint mindhárom mintázott intervallumra a „jó” RMR-minősítés adódott, tehát esetleges tektonikai hatásokkal sem magyarázható ezt a kiemelkedően magas eltérés.

A tönkremeneteli határgörbe meghatározását célzó egymintás Kovári-tesztek esetében az elsődleges szempont a speciális kőzetváltozatok, valamint a speciális jelenségek vizsgálata volt. Ezért mintát vettünk a fő kőzettípusok, illetve a reduktív zónák, valamint a „core discing” jelenség jellemzésére is. A vizsgálatok eredményeinek ismertetésétől eltekintünk.

A laborvizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a BAF-2 által feltárt kőzetrész gyengébb szilárdsági és rugalmassági értékekkel jellemezhető. Az okok feltételezhetően a nagyobb tektonikai igénybevétel és a formáció eltérő tagozatainak eltérő szilárdsági értékeiben keresendők. Hangsúlyozandó, hogy szükséges részletesebb kőzetmechanikai laborvizsgálati programmal biztosítani a későbbi kutatási igényeket.

4. Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk megköszönni a projektben részt vevő cégeknek és kollégáknak a közös munkát. Külön szeretnénk megköszönni Máthé Zoltánnak azt a szakmai segítséget, amit a mintavételezés során a kőzettípusok helyes elkülönítésében nyújtott.

Irodalom

[1] Barton N., Lien R., Lunde J. (1974): Engineering classification of rock masses for the design of the tunnel support. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 6 (4), pp. 189–236.

[2] Bieniawski, Z. T. (1989): Engineering rock mass classification. Wiley, 251 p.

[3] Bieniawski, Z. T. (1984): Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling, p. 272. Balkema, Rotterdam

[4] Dályay V., Hámos G., Máthé Z., Sámson M., Konrád Gy., Halász A., Kovács L., Somodi G., Fedor F. (2014): Dokumentációs és mintavételi terv. Fúrómag, furadék dokumentálásának és mintázásának terve. RHK-N-026/13 – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Irattár.

[5] Deere, D. U., Deere, D. W. (1988): "The RQD index in practice", Proc. Symp. Rock Classification Engineering Purposes, ASTM Special Technical Publications 984, Philadelphia, pp. 91-101.

[6] Gálos M., Vásárhelyi B. (2006): Kőzettestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban, Műszaki Egyetemi Könyvkiadó, Budapest.

[7] Genivar, L. L., Ouellet, S., Aubertin, M. (2009): An improved definition of rock quality designation, RQDc. ROCKENG09: Proceedings of the 3rd CANUS Rock Mechanics Symposium, Toronto, May 2009 (Ed: M.Diederichs and G.Grasselli).

[8] Hakkala, M. (1999): Numerical study on core damage and interpretation of in-situ state of stress. Posiva 99-25. 243 p.

[9] Krupa Á., Kovács L., Somodi G., Török Á. (2015): A Bodai Agyagkő Formáció kőzeteinek kőzetmechanikai vizsgálata. In.: Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2015 (Szerk: Török Á., Görög P., Vásárhelyi B.).

[10] Kozusniková, A., Fialová, V., Hoch, I. (2003): Anomalous drill-core parting in the sediments of the Upper Silesian Basin. Annales Societatis Poloniae, vol. 73: 139-143.

A BAF-2 és BAF-1, -1A fúrások kőzetanyagán végzett geokémiai, ásványtani és kőzetfizikai laboratóriumi vizsgálati mérések eredményei

Results of mineralogical, petrological, geochemical and petrophysical laboratory measurements carried out on samples of BAF-2 and BAF-1,-1A drillholes

FEDOR F[1]., MÁTHÉ Z[2]., KORONCZ P[1]., ÁCS P.[1]

[1]*GEOCHEM Kft.,geochem@geochem-ltd.eu;*
[2]*MECSEKÉRC Zrt., mecsekerc@mecsekerc.hu*

Abstract

The research of Boda Claystone Formation (BCF) as a potential host rock for Hungarian high level radioactive waste disposal has a long history of several decades. The knowledge and description of its mineralogical, geochemical and petrophysical features is essential for the understanding of the transport, especially the reaction-transport processes. Furthermore, this knowledge is also important for modelling and for the interpretation of the geophysical research results, as well as for the geophysical mapping and contouring of the formation. Although the goal of the present work is to demonstrate the investigations made on BAF-1, 1A and BAF-2 drillings, the comparison with results of earlier research (Alfa Project, BAT drillings, Gorica-block research) can not be neglected, primary because these two drillings were deepening marginal position and they do not reflect (BAF-1, 1A) or only to a limited extent (BAF-2) the characteristics of BCF.

Összefoglaló

A Bodai Agyagkő Formációnak (BAF), mint a magyarországi nagyaktivitású radioaktív hulladékok egy lehetséges tároló kőzetének kutatása több évtizedes múltra tekint vissza. Ásványtani, geokémiai, kőzetfizikai tulajdonságainak megismerése és leírása alapvető fontosságú mind a transzport, főként reakciótranszport folyamatok megértéséhez, modellezéséhez, mind a kőzet geofizikai módszerekkel való megkutatásának értelmezéséhez, a formáció geofizikai módszerekkel történő térképezéséhez, lehatárolásához. Jóllehet jelen munka feladata a BAF-1, 1A és BAF-2 fúrásokon elvégzett vizsgálatok bemutatása, azonban nem lehet eltekinteni a korábbi kutatások (Alfa-projekt, BAT-fúrások, Gorica-blokk kutatása) eredményeivel való összevetéstől főként azért, mert a két fúrás peremi helyzetben mélyült és egyáltalán nem (BAF-1, 1A), illetve korlátozott mértékben (BAF-2) tükrözi a BAF jellegét.

Kulcsszavak: BAF, ásványtan, pórusszerkezet, permeabilitás, akusztikus mérés

Bevezető

Bár az ásványtani és geokémiai vizsgálatok széles köre ismert a formációból, illetve annak különböző kifejlődéseiből [1][2][3][4][5], fekü és fedőképződményeiből, kőzetfizikai mérésekre viszonylag kevés esetben került sor a kőzet jellegéből adódó bonyolult méréstechnológia miatt [6][7][8][9][10][11][12][13][14][15][16][17].

A BAF-1, 1A és BAF-2-es fúrások peremi helyzetben mélyültek, céljuk a képződmény lehatárolása volt. A mérési eredmények bemutatása, értékelése csak az üledékes rendszer egészében elhelyezve nyer értelmet, ezért azokat a korábbi eredményekkel célszerű összevetni. Az összehasonlításban szereplő Alfa-vágatbeli minták kőzetfizikai elemzése az ME AKKI-ban történt 2002-ben és 2004-ben, az Ib-4 11 m-es szakaszának részletes elemzését a GEOCHEM Kft. végezte 2009-2014 között. Értékelhető pórusszerkezet vizsgálatok az Alfa-vágatból származó plugokon nem történtek.

1. Elvégzett vizsgálatok

A BAF-2, a BAF-1 és BAF-1A fúrás maganyagán ugyanazon ásvány-kőzettani és geokémiai vizsgálatok kerültek kivitelezésre, mint a korábbi kutatási fázisok során, nevezetesen az ásványos összetétel meghatározása vékonycsiszolatos, XRD, termikus, elektronmikroszonda és transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatokkal történt, míg a geokémiai vizsgálatok a teljes kémiai (főoxidos alkotók), illetve a nyomelem elemzéseket (ICP-OES, -MS) foglalják magukba. A BAF-2 fúrás fúrómag anyagából 40 db minta (mindegyik minta a Bodai Agyagkő Formációt reprezentálja), míg a BAF-1 és BAF-1A fúrás esetén 14 db minta (a minták a feltárt konglomerátum, változatos szemnagyságú homokkő, aleurolit összletet képviselik) komplex vizsgálatára került sor. Az izotópgeokémiai vizsgálatok jelenleg is folynak, így ezek ismertetésére jelen munkában nem kerülhet sor.

A kőzetfizikai vizsgálatok kiterjedtek a minták fizikai jellegének (sűrűség, mágneses szuszceptibilitás, dielektromos állandó), pórusszerkezetének (porozitás, pórustér-eloszlás minősége és típusa, pórusfelület), valamint rezervoár tulajdonságainak (permeabilitás, akusztikus és elektromos tulajdonságok) megismerésére. A BAF-1 fúrásból 4 ún. alap és 3 ún. bővített, a BAF-2 fúrásból 10 alap és 5 bővített csomag vizsgálataira került sor. Utóbbi esetben a mintázást nagyban nehezítette, hogy a kőzetanyag sok helyen igen aprózódott, tektonikailag zavart volt, így ezekből mintatesteket kialakítani nem lehetett. A bővített csomag vizsgálati szakaszai ebben az esetben a célmélységre koncentráltak.

2. Mintavétel, mintakialakítás

A mintavétel a Megrendelő igényeinek és mintázási stratégiájának megfelelően történt, azaz a fúrásban a lehetőségekhez mérten egyenletes eloszlásban, a fúrásra jellemző kőzettípusokból származnak a minták. Az ásvány- és kőzettani, valamint geokémiai mintavétel minden esetben minőségbiztosított körülmények között történt ügyelve arra, hogy a kőzetfizikai mintázásra kerülő szakaszok ásvány- és kőzettani elemzése megtörténjen. A kőzetfizikai mintázás laboratóriumi protokoll szerint volt kivitelezve.

A kőzetfizikai laboratóriumi mintakialakítás során, amennyiben ezt a kőzet lehetővé tette, minden kijelölt magszakaszból egy tengely és két, egymásra merőleges palást irányú mintatest került kialakításra az esetlegesen irányfüggő kőzetfizikai tulajdonságok vizsgálathoz. További vizsgálatokhoz pedig kőzetszeletek, törmelékminták voltak szükségesek. A tektonikailag igénybevett, töredezett és repedéssel átjárt szakaszok kizárásra kerültek, azaz a minőség alapján a mintavétel a kőzetet felülreprezentálja! A plugok 1,5” átmérőben 1-5 cm hosszban palást és tengely irányból lettek kialakítva. A plugok fúrása a szennyeződések elkerülése végett ultra tiszta víz alatt történt.

A korábbi adatokra vonatkozóan az Alfa-vágatból három, ismeretlen származási helyű minta 7 plugja, az Ib-4-ből 10 m hosszú BAF mag 55 szakasza, valamint 1 m fedőhomokkő volt vizsgálva hasonló módon (1. táblázat).

1. táblázat: Különböző fúrásokból kialakított minták száma

	BAF-1,-1A	*BAF-2*	*Alpha*	*BAF-Ib4*	*Fedő homokkő*
Tengely irányú (db)	7	14	7	22 +(10)*	4
Palást irányú (db)	14	28		6 +(14)*	4
Törmelék (db)	7	15	2	55	8

** 1” átmérővel kialakított minták száma*

3. Ásvány és kőzettani, geokémiai elemzés

A BAF-2 fúrás által feltárt 904,5 m vastagságú BAF meghatározó ásványfázisai a fázis analitikai vizsgálatok szerint az agyagásványok, a plagioklász, a kvarc, karbonátok és a hematit. Abszolút uralkodó agyagásvány az illit, mellette változó mennyiségben a klorit van jelen. A két meghatározó agyagásvány mellett a minták többségében kimutatásra került egy harmadik agyagásvány is, a vermikulit, ami valójában klorit-vermikulit közberétegzett agyagásvány, esetleg szmektit (leggyakoribb mennyisége a kimutatási határértéke (0,5-1 %) és 3 % közé esik). Az agyagásványok mellett a másik meghatározó ásvány fázis az autigén albit, mennyisége 15 és 53 % szélsőértékek között változik. A vékonycsiszolatos vizsgálatok a következő megjelenés formái különíthetők el: átitatódásként való jelenlét az alapanyagban, illetve „albitos fészkek”, melyekben táblás, léces poliszintetikusan ikerlemezes kristályokként van jelen. A „fészkek” jelentős hányada csillag, torzult csillag; négyzet, torzult négyzet, háromszög és „V” alak, melyek egyértelműen bizonyítják, hogy ezek eredetileg displacive kősó kristályok voltak. Ezek egyik jellegzetes alakja az úgynevezett „hopper halite”. A képződött kősó kristályok visszaoldódtak és a helyüket tölti ki a fészkek jellegzetes ásványegyüttese. Az albit kristályok általában a pórusok, üregek falán ülnek, míg a többi ásvány az üreg maradék belső térfogatát tölti ki vagy az albit kristályok közötti teret. A fázisanalitikai vizsgálatok szerint a vizsgált mintákban a karbonát mindig jelen van változó mennyiségben, az össz karbonát aránya 4 és közel 20 % között változik. Az XRD és a termikus vizsgálatok alapján a kalcit a meghatározó fázis, mennyisége 2-13 % közötti. Ezzel szemben a dolomit mennyisége a kimutatási határértéke alatti (kb. fél %) és a 8 %, mint maximális érték közötti tartományban van jelen. A kalcit tartalmak minimális növekedési tendenciát mutatnak a mélységgel, ezzel szemben a dolomit csökkenőt vagy el is tűnik a mélyebbről származó mintákból. A kvarc (törmelékes eredetű) mennyisége 6 és 28 % között változik. Mennyisége a fúrás alsó harmadán egyértelműen megnövekszik (kétszeresére-háromszorosára nő), ami jelzi, hogy az aleurolit és homokkő rétegek gyakoribbá és uralkodóvá válnak a fúrás (a BAF) ezen szakaszán. Szintén a BAF fő ásványos alkotója a hematit, a reduktív réteg kivételével mindegyik mintából kimutatásra került változó mennyiségben, 2-10 %. A transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatok szerint a hematit kristályok (lemezek) mérete pár tíz nm és pár 100 nm között változik és Ti-tartalmúak. A K-földpát szintén állandó alkotója a BAF-nak. Két genetikai típusa különíthető el: törmelékes eredetű szemcsék, az „albitos fészkek” autigén eredetű K-földpátja. Mellékes alkotók: pirit (felső reduktív közbetelepülésben a termikus vizsgálat szerint a pirittartalom eléri az 1 %-ot, a többi mintában pár tized % a részaránya). A vékonycsiszolatos és a mikroszonda vizsgálatok a következő ásványszemcséket azonosították még, mint mellékes alkotókat: plagioklász (a mikroszonda elemzés szerint Ca-tartalmú), rutil, apatit, titanit, ilmenit, barit, cirkon, klorit, biotit, muszkovit, monacit, xenotim.

A meghatározott ásványos összetétel jó egyezést mutat a korábbi kutatási fázisok során a Ny-Mecseki Antiklinális területéről származó nagyszámú minta vizsgálati eredményeivel [1][2][3][4][5]. Kismérvű eltérés figyelhető meg a karbonát ásványok vonatkozásában, a BAF-2 fúrás által feltárt BAF általában kisebb mennyiségű karbonátot tartalmaz, különösen a dolomit esetében feltűnő a csökkenés (az alsó homokkő uralta, fedő felőli átmeneti szakaszon minimálisra csökken vagy nincs jelen). A hematit-tartalom szintén az alsó szakaszon mutat alacsonyabb értékeket, összhangban a szakasz reduktívabb jellegével. A BAF goricai blokki kifejlődéséhez viszonyítva a legnagyobb eltérés az analcim tekintetében van, a goricai kifejlődés felső szakaszának analcim-tartalma eléri a 25 %-ot, ezzel szemben a BAF-2 által feltárt agyagkő összlet nem tartalmaz analcimot.

A BAF-1 és BAF-1A fúrás a lefúrt mélységtartományban nem harántolta a BAF-ot. A feltárt törmelékes összlet (konglomerátum, változatos szemnagyságú homokkő, aleurolit váltakozása) mintáiban a fázis analitikai műszeres vizsgálatok a következő ásványfázisokat mutatták ki változó mennyiségben: agyagásványok (illit, klorit, szmektit), kvarc, plagioklász, káliföldpát, karbonátok (kalcit, dolomit), hematit, pirit (reduktívabb jellegű mintákban). Ezen ásványok közül az illit, a kvarc, a plagioklász, a dolomit (egy mintában nincs jelen) a fő kőzetalkotó ásványok. A kvarc, plagioklász, káliföldpát törmelékes eredetű. Ezen alkotók mellett a vékonycsiszolatos vizsgálatok mindegyik mintában változó mennyiségben igazolták a muszkovit és a biotit jelenlétét. Akcesszóriaként a következő ásványok vannak jelen: cirkon, apatit, rutil, opakásvány, titanit, staurolit. Törmelékes eredetű kőzetszemcsék: kvarcit, gránit, gneisz, csillámpala, átalakult alapanyagú savanyú vulkanitok

(riolit, savanyú tufák), plagioklász lécekből és opakásványokból álló bázikus vulkanit, egyéb metamorfitok (szericitpala, aleurolitpala, finom- és aprószemű homokkőpala).

A BAF-2 fúrás által feltárt BAF összlet kémiai jellege a főoxidos alkotók tekintetében megegyezik az antiklinálisi kifejlődéssel és nagymérvű hasonlóságot mutat a Goricai blokkban megismert képződményekkel. A BAF-1 és BAF-1A fúrás képződményei törmelékes jellegüknek megfelelően a BAF-hoz viszonyítva magasabb SiO_2 értékekkel és alacsonyabb Na_2O (a BAF-ra jellemző magas autigén albit-tartalom hiánya következtében) koncentrációkkal bírnak. A BAF-2 fúrás közbetelepülő reduktív rétegeinek redoxfrontjaihoz néhány kalkofil elem (pl. Mo, As, Cu) illetve az U kismérvű geokémiai anomáliája kapcsolódik. A BAF-1 és BAF-1A fúrás reduktív sötét színű szervesanyagban dús rétegeihez kapcsolódóan a kalkofil elemek (As, Co, Cu, Ni, Zn, Se, Mo, Sn, Tl, Bi, Cd, Sb, Pb) többsége és az U feltűnő dúsulást mutat.

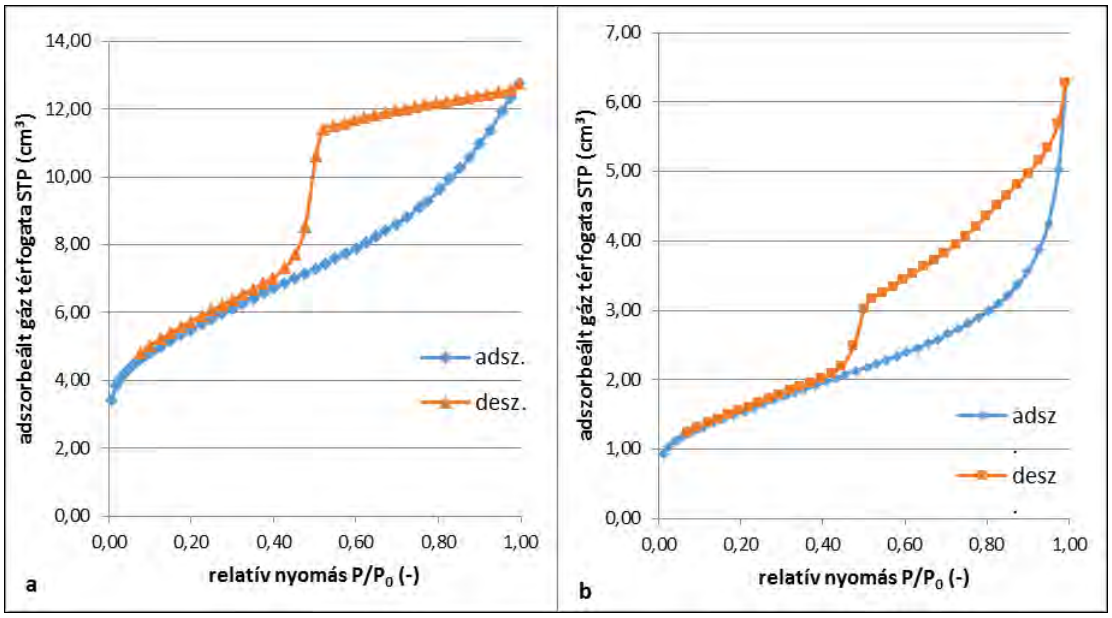
4. Pórusszerkezet vizsgálatok

A minták szárítása a mérések előtt minden esetben 15-20 napig 105°C-on légkeveréses szárítószekrényben történt. A kialakított magok váztérfogatának meghatározása Quantachrome Pentapyc 5200e (PPY-30T) készülékkel történt 25 °C-on. Magok geometriai térfogatának kiszámításához 11-11 független hossz és átmérő mérés eredményre volt szükség. Geometriai térfogat és a váztérfogat ismeretében a hélium-porozitás (φ_{He}) számítható. Meghatározásra került még a vázsűrűség ($\rho_{váz}$) és a fajlagos sűrűség ($\rho_{fajlagos}$) is. Higany porozimetriás mérések Quantachrome Poremaster-60 GT készülékkel készültek. A maximum (420 MPa) és minimum (1,5 kPa) alkalmazott nyomás hengeres alakú pórusokat feltételezve 3 nm és 800 μm pórusátmérőnek felel meg a Washburn egyenlet alapján [18]. Számításhoz szükséges kontaktszög Quantachrome kontakt anglométerrel, három mérés átlagaként adódott. Felületi feszültség értéke 485,5 erg/cm^2 (485,5 mN/m) volt. Vizsgálat során meghatározásra került a törmelékminták pórusméret eloszlása a mezo- és makropórus tartományban, higany-porozitása (φ_{Hg}), fajlagos felülete (S_{Hg}) és a fraktál dimenziója (D_Z) Zhang módszerrel [19]. Fraktál dimenzió felület érdességével kapcsolatos paraméter, értéke 2 a sima felület esetén és 3, ha a felület olyan egyenetlen, hogy lényegében elfoglalja a teljes rendelkezésre álló térfogatot. A N_2 (77 K) és CO_2 (273 K) adszorpciós-deszorpciós izotermák Quantachrome Autosorb AS-1 készülékkel voltak felvéve. Szárítás után a mintákat 1 napig 105°C-on ki kellett gázosítani a mérést megelőzően. Nitrogén gáz esetén BET fajlagos felületet (S_{BET}), teljes pórustérfogat (V_{tot}), pórusméret eloszlást (BJH módszer) és FHH módszerrel [20] fraktál dimenziót (D_F) lehetett meghatározni. Szén-dioxid gázzal Dubinin-Radushkevich módszerrel a minták mikropórus felülete (S_{mic}) és térfogata (S_{mic}) számolható. Közvetlenül az izotermák felvétele után ugyanazon a mintán történtek a higany porozimetriás vizsgálatok. Az Ib-4 fúrás esetén 27 törmelék mintán történt fiziszorpciós mérés. A vizsgált minták alacsony hélium-porozitást (φ_{He}) mutatnak (2. táblázat). A korábban vizsgált fedő homokkő, valamint a BAF-1, -1A fúrásból származó minták esetén mutatkozik nagyobb különbség a tengely és palást irányú minták között, itt anizotrópiával lehet számolni.

Fiziszorpciós mérések szerint az izotermák alakja a IV. típusba sorolhatók IUPAC osztályozás szerint, amely mezopórusokat tartalmazó anyagokra jellemző. Minden mintán hiszterézis figyelhető meg, ami kapilláris kondenzációra utal [21]. Ebben az esetben, a pórusméret eloszlás számításánál az adszorpciós ágat kell használni. Minden minta esetén elmondható, hogy a hiszterézis hurok alakja nehezen sorolható a megfelelő IUPAC osztályokba. A BAF-Ib-4 és BAF-2 fúrásból származó minták esetén (1. ábra/a) H2 típushoz mutat a legnagyobb hasonlóságot. Ezen típusra jellemző, hogy szűkebb és szélesebb szakaszok váltakoznak, fennáll a lehetősége annak, hogy ezeket szűk csatornák kötik össze [22]. A fedő homokkőből és BAF-1, -1A származó mintáknál (1. ábra/ba) a hiszterézis hurok alakja H3 típushoz hasonló az adszorpciós és deszorpciós ág párhuzamosan fut. Ezen típusra repedés, illetve rés alakú pórusok jellemzők. Pórusméret eloszlás tekintetében az értékelhető BAF-Ib-4 és BAF-2, BAF-1, -1A minták N_2 izotermáiból számított pórusméret eloszlása 20 nm alatt éles csúcsokat mutatnak, de nem láthatók csúcsok 2 nm alatt, mikropórus tartományban. A CO_2 gázzal mért izotermákból számított mikropórus térfogat és felület eredmények (3. táblázat) azonban megerősítik, hogy a minták mikropórusokkal rendelkeznek. Ennek kinetikai okai lehetnek, pórusok túl kicsik (<0,5 nm) így N_2 molekulák nem tudnak a pórusszerkezetbe behatolni az alkalmazott egyensúlyi idő alatt a

mérés hőmérsékletén (~ -196 °C). Fedő homokkő minták 100 nm alatt mutatnak csúcsokat és szintén rendelkeznek mikropórusokkal. Két eltérő szakaszt különíthetünk el az FHH módszerrel számított fraktál dimenzió esetén, D_{F1} a pórusok felületi fraktál dimenziójával, míg D_{F2} a pórusszerkezethez tartozó fraktál dimenzióval kapcsolatos [23]. Ezek az értékek minden mintánál közelebb vannak háromhoz, így mind a pórus felülete mind a pórusszerkezet heterogén. Magasabb D_{F2} értékek azt mutatják, hogy a mintákban pórusszerkezet jóval összetettebb, mint a pórusok felülete.

A Hg-porozimetriás mérések adatai szerint (4. táblázat) a BAF-Ib-4 és BAF-2 minták nagy része esetén jellemzően mezopórus tartományban 20 nm alatt tapasztalható csekély beáramlás. A számított felület értékek (S_{Hg}) a mezopórusokhoz kapcsolódnak, jóllehet a Hg-porozimetria nem fedi le a teljes mezopórus tartományt (2 nm-50 nm). A fedő homokkő mintáknál 50 nm alatti mezopórus tartomány mellett 5 µm-60 nm, míg a BAF -1, -1A fúrásból származó mintáknál többségben 5-50 µm tartományban tapasztalható beáramlás, így ezek a minták makropórusos jelleget is mutatnak. Minden esetben a higany-porozitás (φ_{Hg}) értékek alacsonyabbak a hélium-porozitás (φ_{He}) értékeinél. Ennek oka lehet, hogy a hélium gáz 0,25 nm átmérőjű pórusokat és repedéseket is ki tud tölteni, míg a higanyt 4 nm-nél kisebb átmérőjű pórusokba nem lehet besajtolni. Mindez arra utal, hogy a minták mikropórusokkal is rendelkezhetnek. Az alacsony porozitás és az alacsony felület értékek repedésekre utalhatnak, amelyek valószínűleg a szárítás során keletkeztek. Zhang módszerrel számított fraktál dimenzió csak alacsony nyomáson, jellemzően 0,076-0,233 bar tartományon ez megfelel 70-240 µm pórusátmérőnek, értelmezhető. Így a számított értékek valószínűleg a minták felületével kapcsolatosak, azonban nem köthetők a pórusok felületéhez, pórusszerkezethez.



1. ábra: a.) BAF-ib-4 és BAF-2 fúrásból származó minták jellemző N_2 adszorpciós-deszorpciós izotermája; b.) fedő homokkő és BAF-1, -1A fúrásból származó minták jellemző N_2 adszorpciós-deszorpciós izotermája

2. táblázat: He-piknometria mért és számított paraméterei
(a táblázatban átlagértékek szerepelnek a megfelelő szórással)

		BAF-1, -1A	*BAF-2*	*BAF-Ib-4*	*Fedő homokkő*
ρváz (g/cm^3)	összes minta	2,729±0,039	2,737±0,018	2,655±0,056	2,655±0,007
	tengely irányú	2,739±0,058	2,733±0,014	2,653±0,061	2,656±0,007
	palást irányú	2,723±0,027	2,739±0,019	2,661±0,045	2,654±0,007
ρfajlagos (g/cm^3)	összes minta	2,644±0,051	2,697±0,019	2,603±0,051	2,525±0,015
	tengely irányú	2,641±0,056	2,693±0,014	2,601±0,055	2,522±0,020
	palást irányú	2,646±0,051	2,699±0,020	2,608±0,045	2,528±0,009
φHe (%)	összes minta	3,09±1,87	1,46±0,39	2,14±1,15	4,91±0,70
	tengely irányú	3,55±2,83	1,46±0,31	2,26±1,30	5,06±0,98
	palást irányú	2,86±1,22	1,47±0,43	1,95±0,79	4,77±0,35

3. táblázat: Fiziszorpció számított paraméterei
(a táblázatban átlagértékek szerepelnek a megfelelő szórással)

	N_2						*CO_2*	
			fraktál dimenzió					
	SBET (m^2/g)	*Vtot (cm^3/g)*	*relatív nyomás-tartomány (-)*	*DF1 (-)*	*relatív nyomás-tartomány (-)*	*DF2 (-)*	*Vmic (cm^3/g)*	*Smic (m^2/g)*
BAF-Ib-4	16,30 ±2,30	1,85E-02 ±1,31E-03	0,10-0,43	2,596 ±0,030	0,48-0,85	2,748 ±0,021	5,11E-03 ±5,57E-04	14,66 ±2,17
Fedő homokkő	5,45 ±0,89	9,75E-03 ±7,39E-04	0,10-0,41	2,552 ±0,034	0,46-0,91	2,726 ±0,020	1,37E-03 ±2,19E-04	3,92 ±0,63
BAF-2	7,95 ±2,80	8,41E-03 ±2,00E-03	0,12-0,43	2,598 ±0,049	0,49-0,78*	2,762 ±0,038*	2,84E-03 ±1,13E-03	9,36 ±2,88
BAF-1, -1A	3,02 ±1,32	5,37E-03 ±1,97E-03	0,10-0,41*	2,660 ±0,013*	0,50-0,87*	2,754 ±0,011*	1,35E-03 ±3,71E-04	3,88 ±1,07

** csak öt minta mérési adata értékelhető*

4. táblázat: Hg-porozimetria számított paraméterei
(a táblázatban átlagértékek szerepelnek a megfelelő szórással)

	Kontaktszög (°)	*φHg (%)*	*SHg (m2/g)*	*DZ (-)*
BAF-ib4	144,59±1,09	1,82±0,47	4,08±1,00	2,560±0,041
Fedő homokkő	139,03±1,53	2,44±0,53	0,50-1,50	2,645±0,021
BAF-2	155,43±3,05	0,78±0,44* (0,68)**	2,07±1,08* (1,87)**	2,697±0,068*
BAF-1, -1A	157,67±5,85	1,53±0,76 (1,18)**	0,20-2,00	2,661±0,074

**csak öt minta adata értékelhető, ** nagy szórás miatt a medián értékét is megadtuk*

5. Permeabilitás mérések

A BAF minták esetén a tapasztalat azt mutatja, hogy kizárólag a nyomáslecsengés elve (PPD) alapján lehet értékelhető eredményeket kapni ezért mind a gázos, mind a vizes permeabilitás mérések a GEOCHEM Kft. által kifejlesztett RS-PPD-01 típusú permeaméterrel voltak kivitelezve [24][25]. A mérések a geofizikai és pakkeres mérések alapján számított köpeny és pórusnyomáson, valamint hőmérsékleten történtek, ahol ez lehetséges volt. Először légszáraz, majd vizes állapotban, végül szárított állapotban történtek mérések.

A vizes permeabilitás értékei minden esetben nagyon alacsonyak, mikro, és nanoDarcy nagyságrendűek voltak. Ugyanakkor a gázos permeabilitás értékek erős szórást mutatnak különösen a BAF-1, 1A fúrásból származó minták esetén. Míg a BAF-2 fúrásból származó minták esetén a különbség átlagosan két-három nagyságrendnyi, addig a másik esetben az öt- hat nagyságrendnyi különbség sem ritka (5. táblázat). Emellett, ha kis mértékben is, de anizotrópia is tapasztalható. Az anizotrópia a mikrorétegzettségre, a vizes és gázos permeabilitás közötti különbségek a repedések felnyílására, száradás repedések jelenlétére utalnak.

Összehasonlításképp, az Alfa-vágat fúrásaiból származó 3 fúrási magból vizsgált 6 mag hasonló módon mért gázos permeabilitás értékei 10^{-18} – 10^{-19} m^2 nagyságrendűek, a 3 vizes permeabilitás mérés ennél két nagyságrenddel kisebb, 10^{-20} – 10^{-21} m^2 eredményt adott. Ugyanakkor ez utóbbi tipikus BAF minták jelentős vízfelvételt is mutattak, ami a duzzadóásványok jelenlétére utal. Az Ib-4 maganyagán végzett komplex vizsgálat keretében szintén hasonló módon történtek mérések. A gázos permeabilitás értékek $2{,}78 \cdot 10^{-16}$ és $2{,}69 \cdot 10^{-22}$ m^2 közé, a vizes permeabilitás értékek $7{,}73 \cdot 10^{-18}$ és $1{,}65 \cdot 10^{-21}$ m^2 közé estek, ám a rezervoár körülmények között végzett mérések során volt 10^{-24} m^2 nagyságrendű permeabilitás is. Megállapítható volt, hogy a kőzet csak a kevés, nem „öngyógyuló” repedésen keresztül vezet, de a meghatározó transzportfolyamat a diffúzió. Az áteresztő repedések elzáródása is felismerhető volt egyes esetekben, mind a gázos, mind a vizes permeabilitás méréshez kapcsolódóan.

Összefoglalva megállapítható, hogy a BAF-2 fúrás esetén a peremi képződmények részben még mutatják a BAF jellegét, de ugyanakkor a vizes és gázos permeabilitásbeli különbségek arra figyelmezetnek, hogy a peremi helyzetben a kőzet száradás esetén egyre inkább roncsolódik, öngyógyuló képessége, mely a BAF mindkét blokkjában tapasztalható volt, valószínűleg erősen romlik.

5. táblázat: A BAF-1, -1A, BAF-2 fúrásokból származó minták permeabilitásának minimuma, maximuma, átlaga és mediánja

		PPD víz	*PPD gáz*
BAF-1, -1A	minimum	4,56E-22	8,71E-19
	maximum	4,03E-19	1,81E-13
	átlag	3,43E-20	1,23E-14
	medián	6,25E-21	3,41E-17
BAF-2	minimum	1,89E-22	1,37E-20
	maximum	3,75E-19	4,31E-16
	átlag	1,78E-20	4,30E-17
	medián	2,26E-21	2,92E-18

6. Akusztikus mérések

Az akusztikus mérések egy átalakított Vinci AVS-700 típusú készüléken történtek. A jelen tanulmányban ismertetett eredmények már a legújabb technológiának köszönhető visszamérés eredményei, melyek megbízhatóságukban különböznek a korábbi eredményektől.

A kompressziós és nyíróhullám terjedési sebességek meghatározása légszáraz állapotú mintákon, impulzus átviteli módszerrel történtek. A mérés során alkalmazott jeladók középponti frekvenciája 1 MHz volt. A mélyfúrás geofizikai szelvényekkel való összevethetőség céljából a mérések nagy nyomású triaxiális cellában történtek ahol az alkalmazott köpenynyomás értékek az elállás korrekcióval korrigált sűrűségszelvény adatainak felhasználásával, az adott mélységre vonatkoztatott vertikális főfeszültség értékeivel egyeztek meg. Az alkalmazott pórusnyomás értéke minden esetben a légköri nyomással egyezett meg. A mérések szobahőmérsékleten történtek.

A BAF-2 fúrás maganyagán összesen 39 db mintán történtek akusztikus vizsgálatok. A felterhelés során az volt tapasztalható, hogy az alkalmazott köpenynyomás nem befolyásolta a mérési eredményeket, a köpenynyomás különbözőségéből adódó eltérések a leolvasási hiba tartományába esnek. A BAF-2 fúrás leíró statisztikai paramétereket (6. táblázat) tartalmazza.

A BAF-1 és BAF-1A fúrásokból összesen 17 db légszáraz mintán történtek akusztikus mérések. A vizsgálati léptéken a minták nagyon heterogén felépítésűek, kőzettípus tekintetében 4 db homokos konglomerátum, 7 db kavicsos homokkő és 6 db aleuritos homokkő.

6. táblázat: A BAF-2 fúrásból származó minták leíró statisztikai paraméterei

		Min	*Max*	*Átlag*	*Medián*	*Szórás*
Vp	[m/s]	3868	5574	4945	5035	427
Vs	[m/s]	2048	3297	2921	2923	221
Poisson tényező	[-]	-0,06	0,42	0,22	0,23	0,08
Young-modulus	[Pa]	33,1	70,7	56,2	57,2	8,3

A kompressziós és nyíróhullám terjedési sebesség értékekre valamint a származtatott dinamikus rugalmassági paraméterekre egyaránt nagy változékonyság jellemző (7. táblázat).

7. táblázat: A BAF-1, -1A fúrásból származó minták leíró statisztikai paraméterei

		Min	*Max*	*Átlag*	*Medián*	*Szórás*
Vp	[m/s]	3282	4689	4045	4085	400
Vs	[m/s]	1711	3117	2692	2731	300
Poisson tényező	[-]	-0,80	0,31	0,05	0,14	0,26
Young-modulus	[Pa]	9,9	55,0	39,9	43,0	11,7

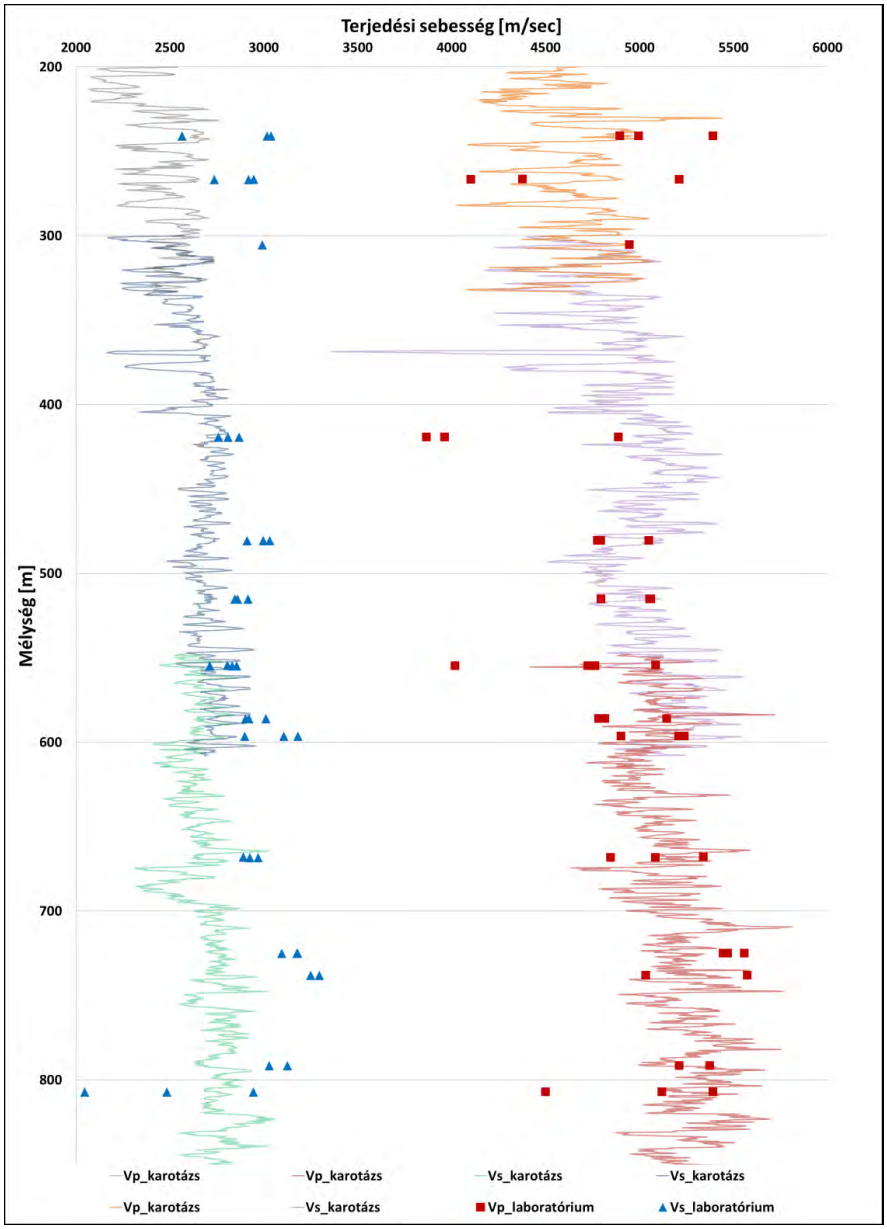
7. Laboratóriumi és mélyfúrás-geofizikai akusztikus mérések viszonya

A laboratóriumi és mélyfúrás-geofizikai akusztikus terjedési sebesség vizsgálatok összevethetőségének feltétele, hogy az adatok ugyanannak a közegnek a paramétereit képviseljék. Az egyedi magmintán történő mérések esetében ez akkor áll fenn, ha a vizsgált közeg kellőképpen homogén ahhoz, hogy a magminta fizikai jellemzője megfeleljen a mélyfúrás-geofizika által vizsgált, hozzávetőlegesen két nagyságrenddel nagyobb térfogatra vonatkozó fizikai paraméterek átlagának [26]. Ezen feltétel teljesülését nehezíti, hogy mintakialakítás elsősorban az üdébb, nagyobb szilárdsággal rendelkező szakaszokból lehetséges, vagyis a laboratóriumi mérési eredmények ezekre a kőzettípusokra nézve felülreprezentáltak (!).

Továbbá a két módszer között jelentős különbség, hogy a mélyfúrás-geofizikai akusztikus terjedési sebesség mérések jellemzően 10-30 kHz-es frekvenciatartományban történnek.

A laboratóriumi mérések esetén a mintahossz/hullámhossz korlátaiból adódóan az alkalmazott frekvencia 1 MHz. Ez egyben azt is jelenti, hogy a két módszer eltérő léptékű alakváltozásról hordoz információt.

Mindezek ellenére a laboratóriumi mérések tükrözik a terepi mérések eredményeit (2. ábra). Azonban ahhoz, hogy a laboratóriumi mérések felskálázásáról, mélyfúrási geofizikai szelvényekkel való, geomatematikai alapokon nyugvó összevetését el lehessen végezni, hosszabb egybefüggő homogén szakaszok részletes vizsgálatára lenne szükség.



2. ábra: A mélyfúrási geofizikai akusztikus szelvények és a laboratóriumi mérési eredmények egymásra vetítése

8. Következtetések

A BAF-1, -1A és BAF-2 fúrásokból származó mintákon kis számban, de számos különböző ásvány és kőzettani, geokémiai, valamint kőzetfizikai mérés történt. Mindkét fúrás peremi helyzetben mélyült, a BAF-1, -1A fúrás a BAF-ot nem harántolta. Mivel a minták az épp szakaszokból származnak, tulajdonságaik tekintetében felülreprezentálják a valós környezetet.

A pórusszerkezettel kapcsolatos mérések összevetve a korábbi mérésekkel azt mutatják, hogy a minták alacsony porozitásúak, legnagyobb értéke a fedő homokkőnek van. (4,91±0,70 %) Vizsgálatok alapján a BAF-Ib-4, BAF-2 fúrások mintáiban szűkebb és szélesebb szakaszokat szűk csatornák kötnek össze, addig a fedő homokkő és BAF-1, 1A mintái repedés illetve rés alakú pórusokat tartalmaz. A BAF-Ib-4 és BAF-2 minták jellemzően mezopórusos, mikropórusos tulajdonságúak, a fedő homokkő és BAF-1, -1A értékelhető mintái esetén ezek mellett makropórusos jelleg is megfigyelhető. A pórusok vagy azok egy része valószínűleg a száradás során keletkezett repedésekhez, mikrorepedésekhez köthetők. Minták minden esetben fraktál tulajdonságot mutatnak az adatok szerint a pórusszerkezet jóval bonyolultabb, összetettebb, mint a pórusok felülete.

A permeabilitás mérések eredményei alapján a BAF peremi helyzetű képződményei a száraz állapotra (pl. bányászati tevékenység, hőforrás hatására történő száradás) erősebben fognak reagálni, míg a nem peremi helyzetűek öngyógyuló képességét célszerű lenne vizsgálni.

Az akusztikus mérések szisztematikus vizsgálatsorozat alapján alkalmasak lehetnek a lyukgeofizikai akusztikus szelvények kalibrációjára.

Az elvégzett elektromos vezetőképesség, dielektromos állandó, mágneses szuszceptibilitás mérések kevés kézen fogható eredményre vezettek.

Irodalom

[1] Máthé Z. (1998): A Bodai Aleurolit Formáció minősítésének rövidtávú programja. Kutatási Zárójelentés 4. kötet, ásvány-kőzettani, kőzetgeokémiai és izotóptranszport vizsgálatok – Kutatási jelentés, MECSEKÉRC Zrt. Adattára, Pécs, 76 p.

[2] Varga A., Raucsik B., Szakmány Gy., Máthé Z. (2006): A Bodai Aleurolit Formáció törmelékes kőzettípusainak ásványtani, kőzettani és geokémiai jellemzői – Földtani közlöny 136/2, 201-232.

[3] Máthé Z. (2015): A Bodai agyagkő Formáció ásvány-kőzettani és geokémiai vizsgálati eredményei – Doktori (PhD) értekezés. ELTE Kőzettan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 130.

[4] Máthé Z., Varga A. (2012): „Ízesítő" a permi Bodai Agyagkő Formáció őskörnyezeti rekonstrukciójához: kősó utáni pszeudomorfózák a BAT-4 fúrás agyagkőmintáiban – Földtani Közlöny 142/2, 201-204.

[5] Máthé Z., Varga A. (2013): A Bodai Agyagkő Formáció (BAF) ásvány-kőzettani jellemzése és diagenezisének előzetes vázlata – IV. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés kiadványa, 12-15., ISBN 978-963-8221-52-0.

[6] Alsópermi aleurolitminták porozitásának és állandó fedőkőzetnyomás melletti permeabilitásának meghatározása változó pórusnyomáson és hőmérsékleten – SzKFI jelentés, Nagykanizsa, 1990.

[7] Alsópermi aleurolitminták porozitásának és állandó fedőkőzetnyomás melletti permeabilitásának meghatározása változó pórusnyomáson és hőmérsékleten – SzKFI részjelentés, Nagykanizsa, 1991.

[8] MÉV (1993): Jelentés a javasolt Mecseki Mélységi Hulladéktároló 1989-1992. között végzett földtani kutatásának eredményeiről – Kutatási jelentés. (MÉV, Pécs). Mecsekérc Zrt. Adattár.

[9] A Bodai Aleurolit Formáció minősítésének rövidtávú programja – Kutatási zárójelentés, V. kötet, Hidrogeológiai, hidrokémiai vizsgálati program. Szerk.: CSICSÁK J., MECSEKÉRC Rt., Pécs, 1999., pp. 1-117.

[10] Lakatos I., Fedor F., Tóth J. (2002): A Bodai aleurolit formációból származó magmintákon végzett hidrodinamikai vizsgálatok – Jelentés, ME AKKI.

[11] Tóth J. (2004): Magvizsgálatok BAF magokon, magvizsgálati lapok.

[12] Szűcs, I., Fedor, F. (2007): Spatial Extension and Parameter Integration into the Safety Case – Examples from the Hungarian LLW/ILW and HLW Disposal Project, in Linkage of Geoscientific

Arguments and Evidence in Supporting Safety Case (workshop proceedings), OECD NEA No. 6119, 2007, pp. 163-165.

[13] Fedor, F., Máthé, Z., Hámos, G., Somodi, G, Jobbik, A., Szűcs, I. (2008): Laboratory Pressure Pulse Decay permeability measurement of Boda Claystone, Mecsek Mts., SW Hungary Physics and Chemistry of the Earth (2008), pp. S45-S53.

[14] Fedor F., Somodi G. (2010): A Bodai Aleurolit Formáció komplex vizsgálata a laboratóriumi és terepi mérések összevethetősége céljából – előzetes eredmények, Pál-Molnár E. (ed): Medencefejlődés és geológiai erőforrások (az MFT Vándorgyűlésének abstractkötete), Geolitera, Szeged, 2010. pp. 49-51.

[15] Fedor F. (ed). (2013): Összefoglaló jelentés a Mecsekérc Zrt. GOP-1.3.1-11/A-2011-0098 jelű, „Komplex transzportmodell elkészítése és alkalmazása a Nyugat-Mecsekben" tárgyú projektjéhez kapcsolódóan.

[16] J. Osán, A. Kéri, D. Breitner, M. Fábián, R. Dähn, R. Simon, Sz. Török (2014): Microscale analysis of metal uptake by argillaceous rocks using positive matrix factorization of microscopic X-ray fluorescence elemental maps, Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 91, 2014, 12-23.

[17] Fedor, F., Ács, P. (2015): Pore structure of Boda Claystone Formation, W-Mecsek, Hungary, 6th International Conference on "Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, March 23-26, 2015, Brussels.

[18] S. Lowell, J. E. Shields, M. A. Thomas, M. Thommes (2004): Characterization of porous solids and powders: surface area, pore size and density, Springer, 2004, 164-166.

[19] B. Zhang, W. Liu, X. Liu (2006): Scale-dependent nature of the surface fractal dimension for bi- and multi-disperse porous solids by mercury porosimetry, Applied Surface Science, 253, 2006, 1349-1355.

[20] D. Avnir, M. Jaroniec (1989): An isotherm equation for adsorption on fractal surfaces of heterogeneous porous materials, Langmuir, 5, 1989, 1431–1433.

[21] J. C. Groen, L. A. A. Peffer, J. Pérez-Ramírez (2003): Pore size determination in modified micro- and mesoporous materials. Pitfalls andlimitations in gas adsorption data analysis, Micropor. Mesopor. Mater, 60, 2003, 1-17.

[22] J. B. Condon (2006): Surface area and porosity determinations by physisorption, Elsevier, 2006, 6-14.

[23] Y. Yao, D. Liu, D. Tang, S. Tang, W. Huang: Fractal characterization of adsorption-pores of coals from North

[24] Fedor F. (ed). (2011): Összefoglaló jelentés a "Speciális kőzetfizikai és geofizikai vizsgálatok a laboratóriumi és terepi mérések összevethetősége céljából" c. projekt eredményeiről – Kézirat.

[25] Fedor F. (ed). (2014): Zárójelentés a Mecsekérc Zrt. GOP-1.3.1-11/A-2011-0098 jelű, „Komplex transzportmodell elkészítése és alkalmazása a Nyugat-Mecsekben" c. projektjéhez – Kézirat.

[26] Zilahi-Sebess L. (2009): A porozitás és permeabilitás, valamint kőzetsűrűség geofizikai úton történő becslésének módszerei és eszközei. State-of-the-art tanulmány – Kézirat, GEOCHEM Kft.

Mélyfúrásgeofizikiai eredmények a BAF 2014. évi kutatásából

Well logging of BAF project 2014: some results and conclusions

BERNÁTH GYÖRGY[1], GÄRTNER DÉNES[1], ZILAHI-SEBESS LÁSZLÓ[2], HÁMOS GÁBOR[3]

[1]Geo-Log Kft., posta@geo-log.hu, gyorgy.bernath@gmail.com, denes.gartner@gmail.com;
[2]Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, zilahi.sebess.laszlo@mfgi.hu;
[3]MECSEKÉRC Zrt., hamosgabor@mecsekerc.hu

Abstract

Boda Claystone Formation is considered to be the most potential host rock for high level radioactive waste deposition in Hungary. Drilling exploration was restarted with two boreholes in 2014 in the area of SW Mecsek to gain new geological, tectonical, hydogeological and geotechnical information about the formation. Complex geophysical well logging program was carried out in the boreholes by Geo-Log Ltd. In our presentation main results of the well log interpretation will be introduced.

Detailed analysis of shale volume, porosity and permeability have been carried out. Weakened zones were identified, the sedimentary succession was divided into major blocks according to geophysical data. Acoustic borehole imager (ABI) records have been evaluated, general value and direction of sructural dip have been determined. Results of ABI evaluation were used to analyse the directional and dip distribution of fractures in the Boda Claystone and the overlying succession penetrated by the boreholes. Breakout zones were identified in short sections, the direction of the breakout gave hint about the present stress field of the area. In addition some specific mineralogical and petrological features could be recognized or confirmed by the well logging.

Összefoglaló

A Bodai Agyagkő Formáció (BAF) a nagy aktivitású radioaktív hulladékok végső elhelyezésének potenciális befogadó kőzete. A 2014-ben újraindult kutatás során két új fúrás mélyült, céljuk az összlet földtani, tektonikai, hidrogeológiai, kőzetmechanikai viszonyainak minél jobb megismerése volt. A fúrásos kutatáshoz kapcsolódó komplex mélyfúrás-geofizikai méréseket a Geo-Log Kft. végezte el. A mérési programban természetes gamma-, természetes potenciál-, fajlagos ellenállás-, sűrűség-, neutron-porozitás-, mágneses szuszceptibilitás-, akusztikus hullámkép-, hőmérséklet-, lyukátmérő-, ferdeség-, spektrál gamma-, gerjesztett polarizációs-, áramlás-, és akusztikus lyukfaltelevíziós mérések kaptak helyet.

Jelen előadásban az eredmények egy része kerül bemutatásra. Kiszámítottuk a harántolt összlet agyagtartalmát, porozitás komponenseit. Azonosítottuk a repedezett zónákat, a fúrások által harántolt összletet főbb egységekre tagoltuk. Az akusztikus lyukfaltelevíziós mérésből megállapítottuk a rétegdőlés jellemző irányát, az azonosított repedésekből iránystatisztikákat készítettünk valamint néhány szakaszon breakout jelenséget azonosítottunk. Ezen kívül bemutatunk néhány lyukgeofizikával vizsgált, ill. észlelt ásvány-kőzettani jellemzőt.

Kulcsszavak: Bodai Agyagkő Formáció, Nyugat-Mecsek, porozitás, BHTV, mélyfúrás-geofizika

Bevezető

A nagyaktivitású radioaktív hulladékok végső, felszín alatti elhelyezésének potenciális befogadó kőzete a Bodai Agyagkő Formáció (BAF), melynek kutatása több évtizedre nyúlik vissza. A képződmény, mely a Tiszai nagyszerkezeti egység része, amely a Nyugat-Mecsek területén felszínen van [3]. A 2014-ben újraindult fúrásos kutatás keretében mélyült le a BAF-2 fúrás (talpmélység: 913,6 m), valamint a BAF-1 (181,8 m) és -1A (474,6 m) fúráspár, amelyek szerkezetföldtanilag a nyugat-mecseki antiklinális déli szárnyán helyezkednek el. Céljuk a BAF (BAF-2) és fedőjének (BAF-1, -1A) földtani, tektonikai, hidrogeológiai, kőzetmechanikai viszonyainak minél jobb megismerése volt.

A mélyfúrás-geofizikai méréseket a Geo-Log Kft. végezte el. A komplex karotázsszelvényezés mellett áramlásmérések, valamint néhány speciális mérés (akusztikus lyukfaltelevízió, spektrál gamma, gerjesztett polarizáció) kivitelezése is megtörtént (1. táblázat). A BAF-2 karotázs szelvényének egy részletét mutatja az 1. ábra. A mérések első szintű értelmezését a fúrások mélyfúrás geofizikai jelentésében adtuk meg [1] [2].

1. táblázat: A BAF-2, BAF-1 és -1A fúrásokban alkalmazott mélyfúrás-geofizikai módszerek

Komplex karotázs szelvényezés	Természetes potenciál (SP) Fajlagos ellenállás 40 cm-es (E40) és 10 cm potenciál (E10) Guard laterolog ellenállás (LL3) Mikroellenállás, normál (MRN) és inverz (MRG) Lyukátmérő, 3 karú (DH) Természetes gamma (GR) Hőmérséklet (TL) és Differenciál hőmérséklet (DIT) Sűrűség, hosszú (DEL) és rövid (DES) csatorna Lyukátmérő, 1 karú (DH1)
Áramlásmérés	Nagyérzékenységű forgólapátos áramlásmérés (FLOW) Hőmérséklet (TL) és Differenciál hőmérséklet (DIT) és / vagy Hőimpulzusos áramlásmérés (HPF)
Spektrál gamma (SGR)	
Gerjesztett Polarizáció (IP)	
Akusztikus lyukfaltelevízió (BHTV)	

1. Agyagtartalom, porozitás, permeabilitás számítása

A neutron-porozitás és sűrűség szelvények felhasználásával meghatároztuk a következő egyszerű kőzetmodell-komponensek részarányait: száraz agyagtartalom, kőzetmátrix, totál porozitás. A totál porozitás ellenőrzésére az agyagosságot is figyelembevevő szónikus porozitást számítottuk, ezt a módosított Raymer-Hunt összefüggés alapján tettük meg. A két különböző módon számított porozitás között jó korrelációt kaptunk.

A totál porozitás további bontására (szabadvíz, szubkapilláris víz és adszorpciós víz) két közelítést alkalmaztunk: az adszorpciós víz arányát az agyagtartalom 10%-ának, valamint a szubkapilláris víz mennyiségét az összes redukálható víz (szubkapilláris+szabad víz) agyagtartalommal arányos részének vettük. A közelítések felhasználásával szivárgási tényező és permeabilitás is becsülhetővé vált.

2. Tektonikai eredmények

Az akusztikus hullámkép és a kőzetsebesség szelvények alapján a fúrásokat blokkokra tagoltuk. A talpig Bodai Agyagkő rétegeket harántoló BAF-2 fúrásban – értelmezésünk szerint a térségre jellemző neotektonikai inverzió miatt – az erős feltöredezés és mállás hatása nagy mélységig hatott, főként a felső két blokkban, egészen 405 méterig. Ezt a nyíróhullám amplitúdók markáns változása mutatja legjobban. A BAF-1 és -1A fúrások erősen tektonizált homokkő összletben haladtak, a nyíróhullámok amplitúdója jellemzően gyengébb volt. Itt a plasztikusan viselkedő, erősen átalakult, nagy agyagtartalmú szakaszok (pl. a 297,5-351,7 m és 378,8-398,6 m közötti szakaszok) jellegzetes képet mutattak a lyukgeofizikai szelvényeken [6] (4. ábra). A vp kőzetsebesség szelvények összehasonlítása során azt találtuk, hogy a BAF-2 fúrás 400 méterrel való lefelé tolásával a v_p kőzetsebesség szelvények jól illeszkednek egymáshoz a rétegtani, térbeli felépítésnek megfelelően.

A BHTV felvételen szinuszok illesztésével bejelöltük a sík elemeket és meghatároztuk azok látszólagos, majd a ferdeséggel korrigált valós dőlését. Külön figyelmet fordítottunk a réteghatárok azonosítására, a rétegdőlés meghatározására (3. ábra). Az eredmények azt mutatták, hogy a BAF-2 fúrásban a DK irányú dőlés a jellemző, melyet alátámasztott a fúrás ÉNy irányú elferdülése is. A BAF-1 és -1A fúrásokban a rétegdőlés iránya 361 méterig általában Ny, NyÉNy, 412 méter alatt pedig

D irányú. A D, DK-i rétegdőlések a fúrás szerkezetgeológiai helyzetéből (nyugat-mecseki antiklinális déli szárnya) adódó várakozásoknak felelnek meg.

A jelenkori feszültségtérről a BAF-2 BHTV felvételének 560-690 m közötti szakasza adott információt: több helyen breakout jelenséget azonosítottunk (pl. 2. ábra). Ezek a minimális főfeszültség irányát körülbelül ÉK-DNy-nak adják meg, melyek jó egyezést mutatnak a területről kimutatott holocén főfeszültség irányokkal [3].

3. Ásvány-kőzettani jellemzők lyukgeofizikai vizsgálata, összefüggései

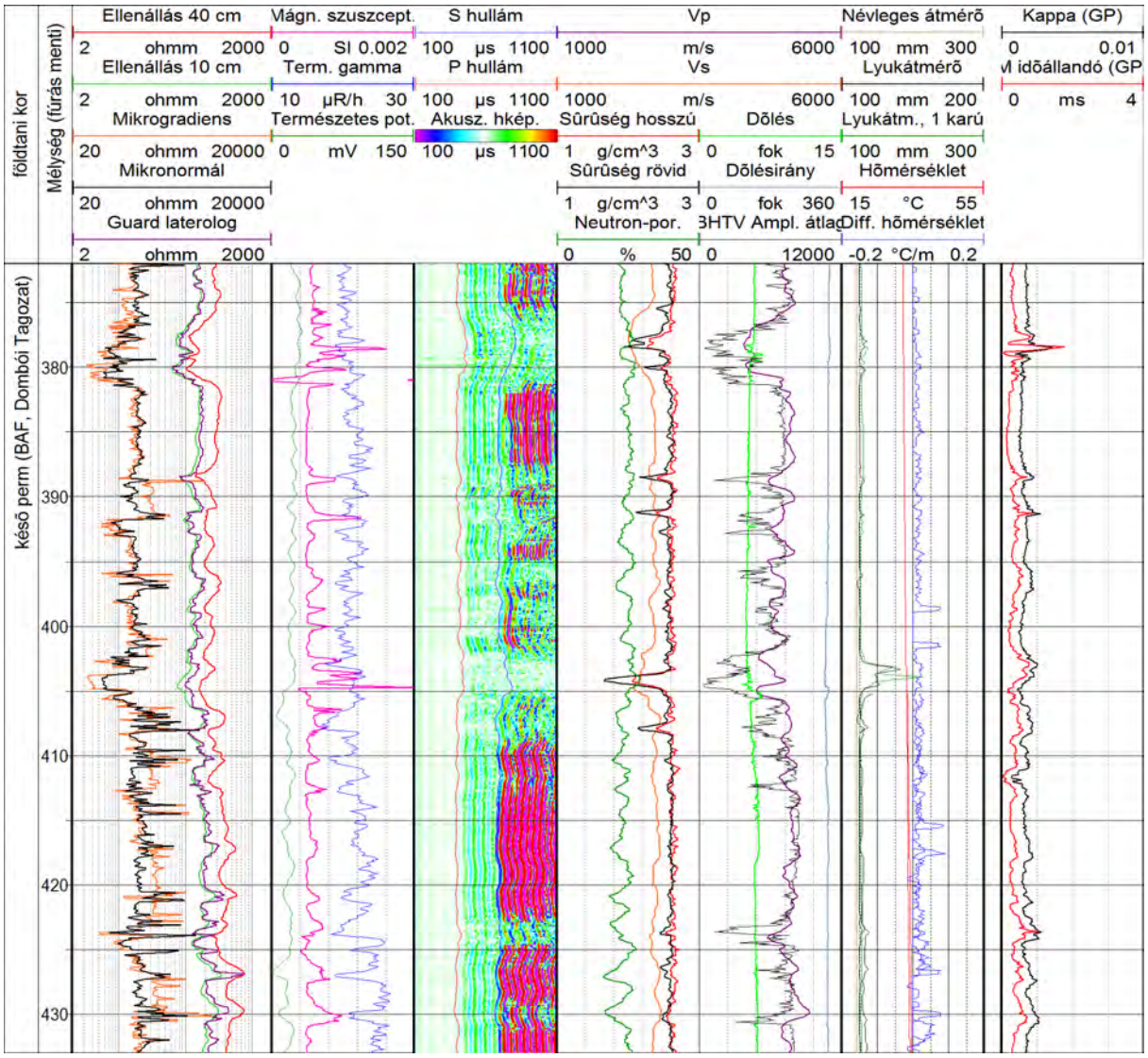
A BAF-2 fúrásban a reduktív rétegek megjelenését a lyukgeofizikai mérés természetes gamma anomáliái (56,38 µRtg/h 152,1 m-ben, ill. 44,25 µRtg/h 235,3 m-ben max. értékekkel az általános 11-27 közötti µRtg/ó értékekhez képest) és a relatíve kiugró urántartalom anomália (15,3 g/t a felső reduktív szakasz 151,62-152,12 m közötti mintájában, a többi minta 2,39-6,79 g/t közötti értékeket mutatott) is jelzik a korábbi ismereteknek megfelelően (Delta-9 és BAT-4 fúrás reduktív betelepülései).

A BAF-2 fúrásban megvizsgáltuk a földtani dokumentációban leírt pirit tartalmú szakaszokat, egyértelmű korrelációt azonban nem tapasztaltunk a gerjeszthetőség és a pirittartalom között [5].

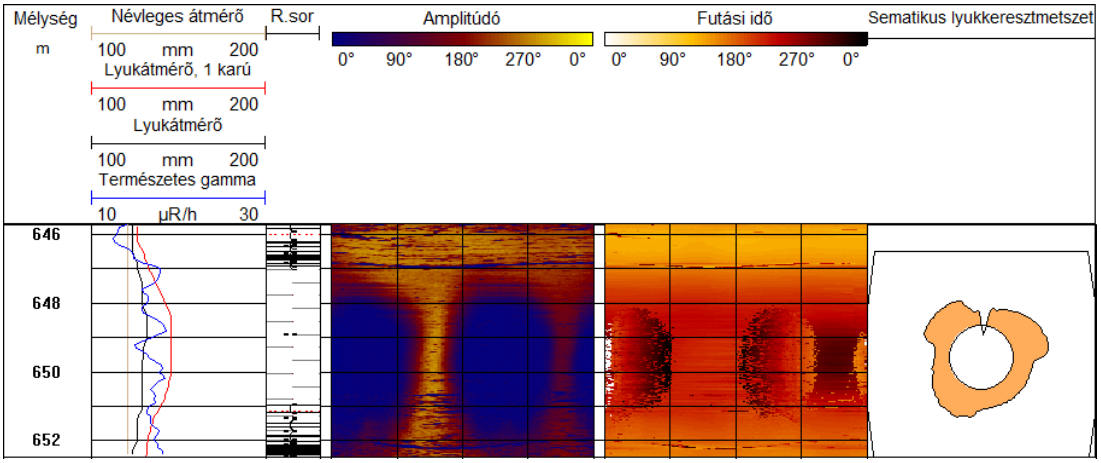
A BAF-1, -1A fúráspárban mért természetes gamma, gammaspektrometriai pontmérések adatai jól korreláltak a maganyag laboratóriumi vizsgálati eredményeivel és megerősítették a Bakonyai Homokkő finomabb szemű, szerves anyagban gazdagabb rétegeinek korábban megismert ásványtani és nyomelem anomáliáit, geokémiai jellegét [5] (2. táblázat).

2. táblázat: Természetes gamma anomáliák, ^{238}U gammaspektrometriai pontmérések, nyomelem vizsgálatok és szerves formában kötött széntartalom adatok bemutatása a BAF-1, -1A fúrásokban

Anomália mérés helye BAF-1, -1A (m-m)	*Lyukgeofizikai természetes gamma anomália maximuma (µR/h)*	*Korrigált ^{238}U gamma spektrometriai pontmérés maximuma (ppm – g/t)*	*Nyomelem vizsgálat ICP-AES és ICP-MS U (g/t)*	*Gamma-spektrometriai laborvizsgálat fajlagos aktivitás (Bq/kg)*	*TOC (m/m %) szerves széntart.*
48,3–48,8 (–50,0)	62	–	–	–	–
82,71–82,83	35	–	12,7	–	–
83,8–86,0	54	–	–	–	2,50
95,8–96,4	59	–	–	–	–
101,6–103,5	40	–	–	–	–
(105,6–) 108,6– 109,6	85	–	26,8	–	–
119,7–120,9	125	–	–	698	–
122,6–123,3	58	–	–	–	1,71
131,3–134,2	71	–	35,8	–	1,71
159,5–160,0	57	–	–	–	–
197,6–198,2	36	19,3	–	–	1,01
202,2–202,6	41	21,7	–	–	–
245,7–246,6	80	44,3	59,2	745	2,00
350,8–351,6	44	22,0	–	–	
424,5–426,6	73	45,0	61,9	810	0,47

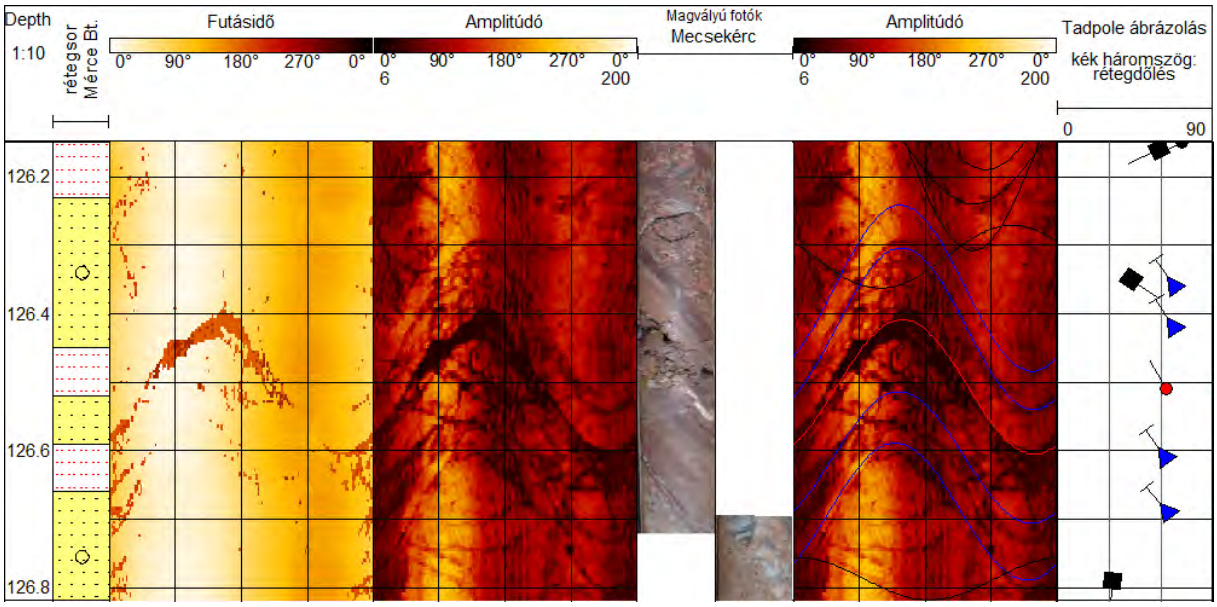


1. ábra: Karotázs szelvények a BAF-2 fúrásban (részlet)



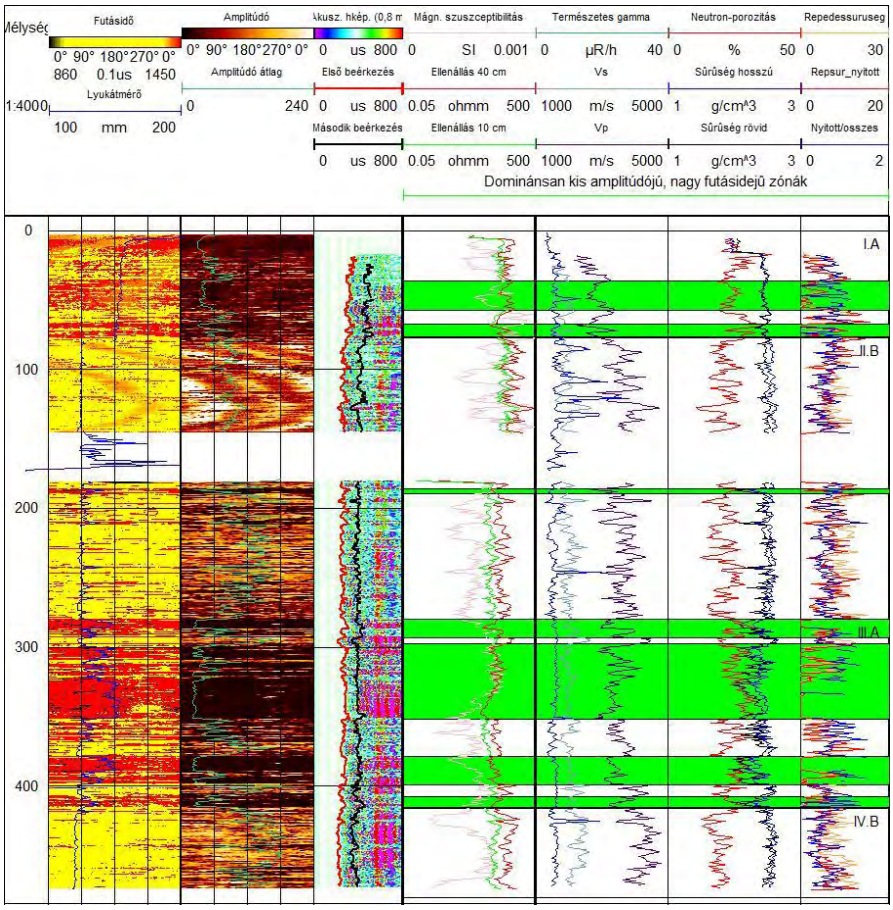
2. ábra: Breakout jelenség 648-651 m között

A minimális főfeszültség irány ÉK-DNy-i nak adódott, az ÉNy irányú kavernásodást a fúrás elferdülési irányával magyarázzuk.



3. ábra: Réteghatár azonosítása BHTV felvételen a magfotók felhasználásával (BAF-1)

A pirossal jelölt síkot nyitott repedésként (rétegmenti elválásként) értelmeztük, a kék szinuszok a réteghatárokat, a feketék a zárt repedéseket jelölik.



4. ábra: BHTV alapján kijelölt blokkok és az egyéb lyukgeofizikai mérések összehasonlítása a BAF-1, -1A fúrási szelvényben

Irodalom

[1] Bernáth Gy., Gärtner D., Zilahi-Sebess L., Prohászka A. (2015): A BAF-2 jelű magfúrás mélyfúrás-geofizikai dokumentálása és értékelése. – Jelentés, Geo-Log Kft.

[2] Bernáth Gy., Gärtner D., Zilahi-Sebess L., Prohászka A. (2015): A BAF-1 és -1A jelű fúrások mélyfúrás-geofizikai dokumentálása és értékelése. – Jelentés, Geo-Log Kft.

[3] Konrád Gy., Sebe K. (2010): Fiatal tektonikai jelenségek új észlelései a Nyugati-Mecsekben és környezetében. – Földtani Közlöny, 140/2, pp. 135-162.

[4] Békési E. (2015): Földtani információ kinyerése akusztikus képalkotó eljárás segítségével a BAF-2 fúrásban – TDK dolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Geo-Log Kft.

[5] Sámson M. (szerk.), Hámos G., Máthé Z., Mázik J., Mészáros A., Vágó Z. (Mecsekérc Zrt.), Bernáth Gy., Gärtner D., Prohászka A. (Geo-Log Kft.), Kovács A. Cs. (MFGI), Andrássy M., Dankó Gy., Korpai F., M. Zieger (Golder Zrt.), Konrád Gy., Halász A., Sebe K. (Mérce Bt.), Kovács L., Zierkelbach-Kovács B., Somodi G. (Kőmérő Kft.), Ács P., Fedor F., Horváth J., Koroncz P. J. (GEOCHEM Kft.) (2014): BAF-2 fúrás dokumentáló és értékelő jelentése. RHK-N-011/14 – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Irattár.

[6] Sámson M. (szerk.), Hámos G., Máthé Z., Mázik J., Mészáros A., Vágó Z. (Mecsekérc Zrt.), Bernáth Gy., Gärtner D., Prohászka A. (Geo-Log Kft.), Andrássy M., Korpai F., (Golder Zrt.), Konrád Gy., Halász A., Sebe K. (Mérce Bt.), Kovács L., Rátkai O., Somodi G., Zierkelbach-Kovács B., (Kőmérő Kft.), Ács P., Fedor F., Horváth J., Koroncz P. J. (GEOCHEM Kft.) (2015): BAF-1 és -1A fúrás dokumentáló és értékelő jelentése. RHK-N-003/15 – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Irattár.

[7] Zilahi-Sebess L. (2010): A repedezettség hatása a mélyfúrás-geofizikai mérésekre. – Magyar Geofizika, 51/3, pp. 124-142.

[8] Zilahi-Sebess L., Szongoth G. (2008): Az akusztikus lyukfaltelevíziós mérésekből nyerhető geotechnikai információk. In: Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2008 – Mérnökgeológiai kiskönyvtár (Szerk.: Török Á., Vásárhelyi B.)

[9] Zilahi-Sebess L., Fancsik T., Török I., Kovács A. Cs. (2007): Szivárgási tényező becslés lehetőségei geofizikai mérések alapján. – Magyar Geofizika, 48/3 2007 pp. 99-111.

[10] Zilahi-Sebess L., Andrássy L., Maros Gy. (2006): Mélyfúrás-geofizikai módszerfejlesztés zárójelentése 2004-2006. – Budapest 2006 MGSZ Adattár.

A VSP mérések eredményei, tapasztalatai a BAF-2 fúrásban

Results of the VSP survey in the BAF-2 borehole

MÁZIK JENŐ[1]

[1]*MECEKÉRC Zrt, mazikjeno@mecsekerc.hu*

Abstract

Several VSP (vertical seismic profiling) surveys have been performed to synchronize the planned surface seismic measurements during the search of Boda Siltstone Formation and the obtainable geological information from the borehole. This article presents the results and experiences of VSP surveys of BAF-2 and proposes some further potentials in the future research: 3D VSP survey, multivariable detection and the statistical analysis of the measurement data.

Összefoglaló

A Bodai Agyagkő Formáció kutatás során a tervezett felszíni szeizmikus mérések-, és a fúrólyukból nyerhető földtani információk összehangolására VSP (vertikális szeizmikus profilozás) méréseket végeztek. Ebben a cikkben ismertetjük a BAF-2 fúrásban végzett VSP mérések eredményeit, tapasztalatait, valamint javaslatot teszünk a VSP méréseknek a Bodai Agyagkő Formáció továbbkutatása során történő felhasználási lehetőségeire: 3D VSP mérés, több paraméteres detektálás, illetve a mért adatok további statisztikai feldolgázásának felhasználásával.

Kulcsszavak: BAF-2, VSP, Bodai, Agyagkő, Formáció, vertikális, szeizmikus, profil

Bevezető

A Bodai Agyagkő Formáció (továbbiakban BAF) kutatás során a tervezett felszíni szeizmikus mérések-, és a fúrólyukból nyerhető földtani információk összehangolására a Geofizyka Kraków S.A. 2014. augusztus 18-20 között VSP (vertikális szeizmikus profilozás) méréseket végezett a Mecsekérc Zrt. (fővállalkozó) megbízása, illetve az RHK Kft. megrendelése alapján. Az elvégzett mérések adatait az MFGI dolgozta fel. A következőkben ismertetjük a VSP mérések céljait a BAF kutatásban, a mérés kivitelezés körülményeit, majd bemutatjuk a feldolgozott és értelmezett eredményeket, végül javaslatot teszünk a VSP méréseknek a Bodai Agyagkő Formáció továbbkutatása során történő felhasználási lehetőségeire.

1. A VSP mérések célja a BAF kutatásban

A VSP mérés egy speciális lyukgeofizikai mérés, mely eredményei alapján kapcsolatot teremt a felszíni szeizmikus mérések (modell), és a fúrólyukból nyerhető földtani információk között.

A BAF kutatásban az előbbiekkel összhangban a következő célt fogalmazták meg: a felszíni 3D szeizmikus mérésekkel, illetve fúrási adatokkal kiegészülve adatok szolgáltatása a földtani térmodellben megszerkesztésre kerülő egyes földtani határfelületek (kristályos aljzat, BAF fekü és fedőszint, alaphegység felszín, pannon fekü), és elkülöníthető fő tektonikai zónák, töréses övek térbeli elhelyezkedéseihez.

A fenti cél érdekében a VSP mérésektől elvárt eredmények a következők:

- a szeizmikus hullámterjedési paraméterek meghatározása: P és S hullám beérkezési idők, átlagsebesség, intervallumsebesség, négyzetes középérték sebesség,

- idő-mélység függvény,
- kőzetfizikai paraméterek (nyírási- és Young-modulus, Poisson-szám),
- a Downhole P értelmezés: a felfelé haladó hullámtér leválasztásával előállítható a mélységtranszformált reflexiós szelvények pontosítására, a jelenségek azonosítását és a fúrási adatokhoz kötését elősegítő horizontális összegszelvény.

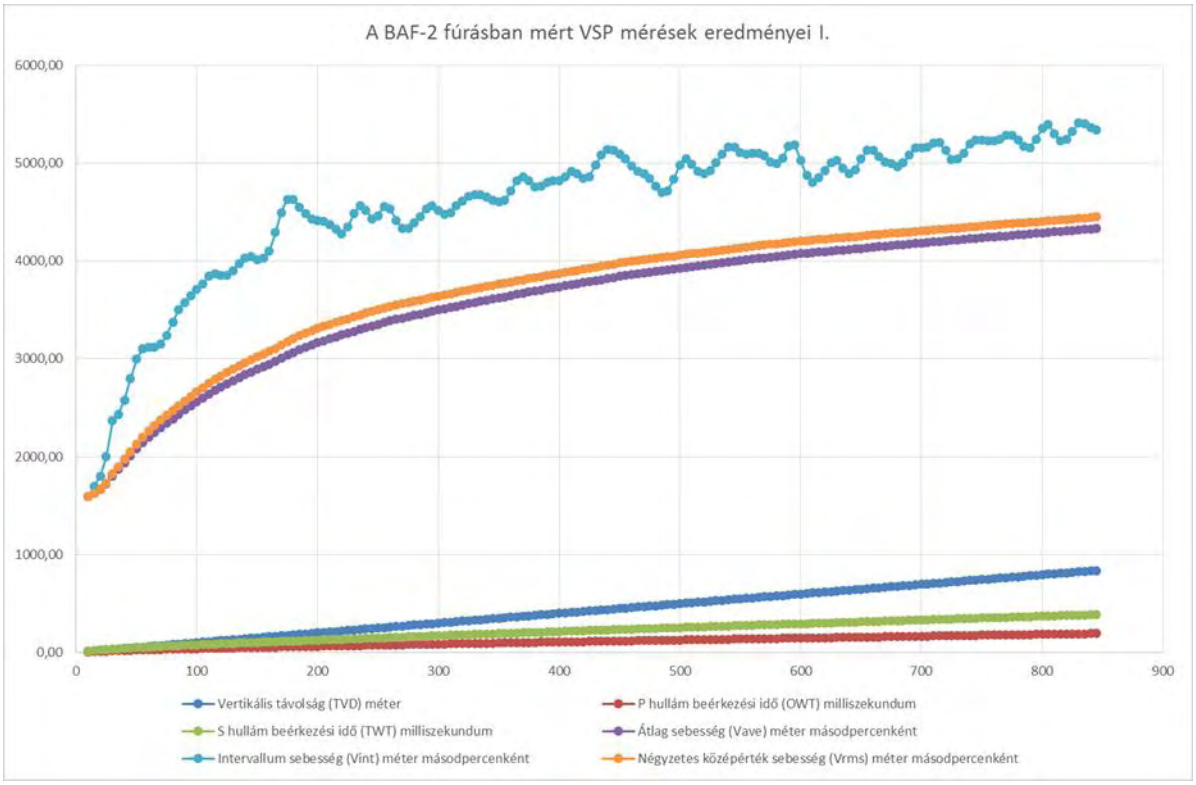
2. A VSP mérés kivitelezése

A mérés adatai:
Kivitelező: Geofizyka Kraków
Időpont: 2014. augusztus 18-20.
Módszer: zéró offset, 55,9 m-es forrás távolsággal, 112,26° azimuttal.
Mintavétel: a BAF-2 fúrásban 10-845 m között 5 m-enként 3-szoros ismétléssel.
Az adatfeldolgozást az MFGI végezte.

3. A VSP mérés eredményei

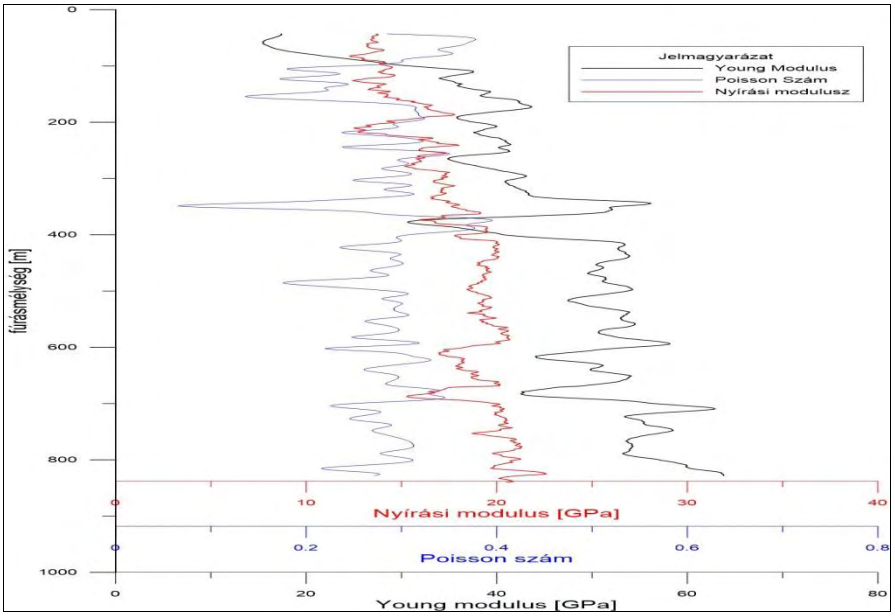
A mérési eredmények feldolgozását követően megállapítható, hogy a VSP mérésekkel szemben támasztott követelmények teljesültek, az eredményeket a következő ábrákon és táblázatban mutatjuk be.

Az 1. ábrán a mért P és S hullám beérkezési idők (idő-mélység függvény) (ms), a P hullám átlagsebesség (m/s), négyzetes középérték sebesség (m/s), és az intervallumsebesség (m/s) értékeket láthatjuk a mélység függvényében.



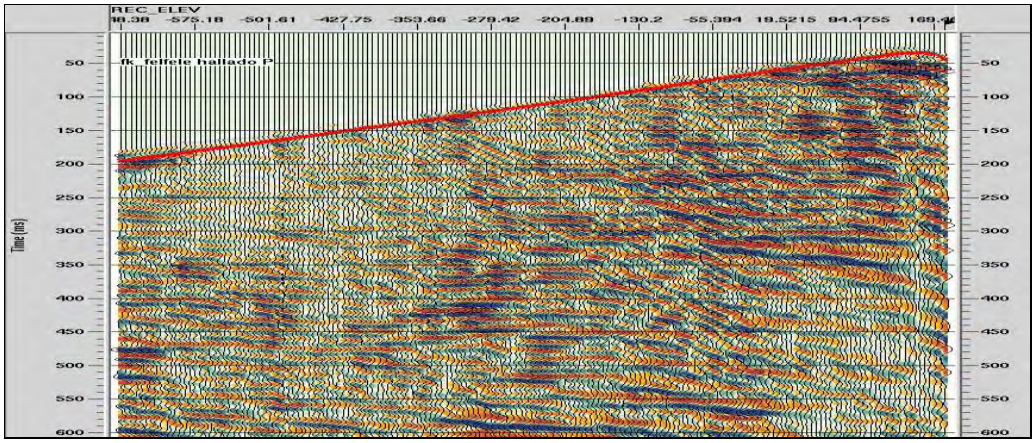
1. ábra: Mért beérkezési idők és sebességek

A 2. ábrán a származtatott kőzetfizikai paramétereket láthatjuk: nyírási- és Young-modulus, Poisson-szám.



2. ábra: A VSP mérési eredmények alapján származatott kőzetfizikai paraméterek

A 3. ábrán a Downhole P értelmezés során a felfelé haladó hullámtér leválasztásával az MFGI munkatársai előállították a mélységtranszformált reflexiós szelvényeket, a jelenségek azonosítását és a fúrási adatokhoz kötését elősegítő horizontális összegszelvényt.



3. ábra: A felfelé haladó P hullámtér képe

Az 1. táblázatban bemutatjuk az értelmezés eredményeit.

1. táblázat: Reflektáló felületek

A felfelé haladó P hullámtér alapján jelölhető reflektáló felületek	*Beérkezési idő (ms)*	*Mélység (m)*
I.	280	1230
II.	350	1560
III.	400	1790
IV.	450	2030

A reflektáló felületek lehetőséget biztosítanak a felszíni szeizmikus mérések pontosabb rétegazonosítására.

4. A VSP mérések további felhasználási lehetőségei a BAF kutatásban

A VSP mérések BAF kutatásban való felhasználása elsősorban a földtani határfelületek és a tektonikai zónák töréses övek kimutatására irányul. A BAF kutatás lényeges eleme a repedéses zónák feltárása, és a vetőfelületek, vetősíkok pontosabb meghatározása, geometriai jellemzőinek, térbeli helyzetének meghatározása. Ebben segíthetnek a következő felhasználásra vonatkozó javaslatok:

4.1. Több paraméter detektálása

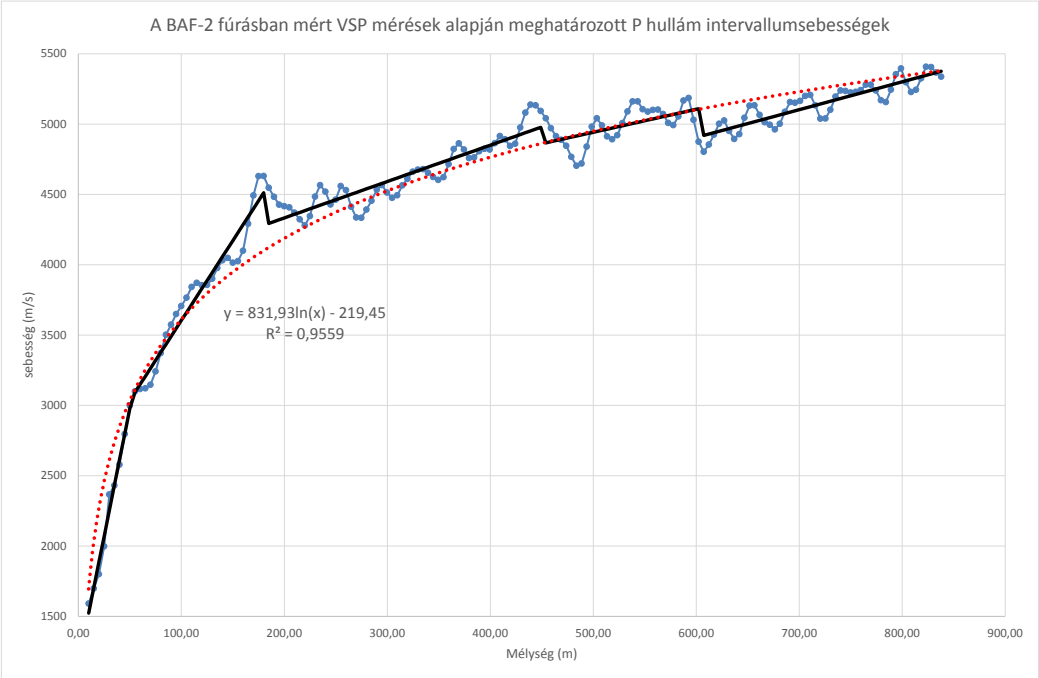
A VSP mérések során általában a P hullámra vonatkozó-, néha az S hullámra vonatkozóan mérnek beérkezési időket, és határoznak meg sebességeket. Több paraméter meghatározásával növelhető a repedezettségre vonatkozó megszerezhető információ. Megfelelő szondák alkalmazásával lehetőség nyílik a következő paraméterek rögzítésére: sebesség, amplitúdó csillapítás, többszörösök meghatározása, fázisanalízis, akusztikus impedancia meghatározása.

4.2. 3D VSP

A 3D VSP mérés a zéró offsetes méréshez képest lényegesen több információt ad: meghatározhatók a törések, repedezettség orientáció adatai. A 3D VSP mérések során a fúrólyuk környezetében párhuzamos vonalak mentén történik a vibrátoros jelgerjesztés a vonalak távolságával megegyező egyenletes közönként. Segítségével elérhető a fúrólyukból nyert információk laterális kiterjesztése egy nagyobb térrészre.

4.3. Intervallum sebességadatok statisztikai feldolgozása

A P hullám sebesség értékek a mélység növekedésével nőnek a tömörödésnek megfelelően. Mivel a fúrás teljes hosszában zömmel agyagkő, aleurolit az előforduló kőzet a sebesség értékek változékonysága a szerkezeti változékonyságra utal.



4. ábra: Az intervallumsebességek lineáris korrelációja alapján elkülöníthető szakaszok

A 4. ábrán a mélység függvényében ábrázolt P hullám sebesség értékek kisléptékű (5-25 m) változásai a szerkezeti változásról informálnak, míg a nagyobb léptékű (50-250 m) változások feltehetően a kőzetgenetikai változásokra utalnak. Az ábrán logaritmikus korrelációt alkalmazva szoros korreláció állapítható meg a mélység függvényében: R^2=0,9559. Az összlet változásainak nyomon követésére mégis inkább lineáris korrelációt alkalmaztunk szakaszonként, mert a különböző szakaszokon jelölhető trendvonalaktól való jelentősebb mértékű, illetve vastagságú negatív eltérések töréses, zúzott zónákra, illetve kőzetmechanikailag gyengült intervallumokra oszthatók, melyek egyéb más módszerekkel történő további vizsgálata a későbbiekben indokolt lehet.

Viszonylag jó lineáris közelítéssel (R^2 > 0,8) öt nagyobb szakasz jelölhető:

- 0 – 50 m-ig (R^2 = 0,9839),
- 50 – 180 m-ig (R^2 = 0,9473),
- 180 – 450 m-ig (R^2 = 0,8168),
- 450 – 600 m-ig (nincs egyértelműen kijelölhető trendvonal: R2 = 0,3226),
- 600 – 838 m-ig (R^2 = 0,8054).

Irodalom

[1] Gönz G., Rádler B. (1985): A vertikális szeizmikus szelvényezés (VSP) alapjai, Magyar Geofizika XXVI évfolyam 2. szám.

[2] Gönz G. Rádler B., Tóth J. (1985): A VSP mérés, Magyar Geofizika XXVI évfolyam 2. szám.

[3] Yanpeng Li, Yun Ling, Ximing Wang, Yuanzhong Chen, Junjun Wu (2014): 3D VSP and surface full-azimuth seismic integrated study in northeastern China, The Leading Edge 33, 8 (2014); pp. 862-866.

A BAF–2 és BAF–1, –1A fúrások pakkeres hidraulikai vizsgálatai

Hydraulic packer testing in the boreholes BAF–2 and BAF–1, –1A

ANDRÁSSY MÁRIUSZ[1], DARVAS KRISZTIÁN[1], KORPAI FERENC[1]

[1]*Golder Associates (Magyarország) Zrt.,*
mandrassy@golder.hu, kdarvas@golder.hu,
fkorpai@golder.hu

Abstract

The aim of the packer testing was to characterize the hydrogeological conditions of the studied area and to establish the formation's transmissivity and hydraulic heads, as well as to delineate the geometrical characteristics of the encountered groundwater flow regime. The testing procedure was optimized to the formation of interest, so the investigations could remain within the allocated time and financial frame.

In most cases, the testing procedure involved the performance of a constant rate or constant head test. During the packer tests, the borehole sections were separated with one or two inflatable packers, so the test results could have been obtained from different depth zones and sections. Three test types were used generally: short duration (4-7 hours) tests to determine the test section's transmissivity, 6-16 hours tests to determine the hydraulic heads of the test section and the rate withdrawal tests lasting for a couple of days to obtain baseline groundwater samples. Based on the results obtained from the packer tests, the formation's transmissivity values and depth specific hydraulic heads were plotted.

Összefoglaló

A pakkeres hidraulikai vizsgálatok során meg kellett határoznunk a képződmények vízföldtani jellemzőit, elsősorban a vízvezető képességet és az egyes vizsgálati szakaszok nyugalmi nyomását. A vizsgálatok céljaihoz sikerült optimalizálni a metodikát, ily módon tudtuk meghatározni a kívánt paramétereket (igazodva a rendelkezésre álló idő- és pénzügyi keretek között). A képződményeket leginkább állandó hozamú vagy állandó nyomású tesztekkel vizsgáltuk. Pakkeres vizsgálat esetén a fúrólyuk vizsgálni kívánt szakaszát egy vagy két felfújható pakkerrel különítjük el a fúrólyuk többi részétől, így a vizsgálatok eredményeit az adott vizsgálati szakaszra tudjuk vonatkoztatni. Alapvetően háromféle teszttípust alkalmaztunk: rövidebb, kb. 4–7 óra időtartamú teszteket (a vizsgálati szakasz transzmisszivitásának meghatározására), 6–16 óra időtartamú teszteket (a nyugalmi nyomás meghatározására), valamint több napig tartó víztermeléses teszteket, reprezentatív vízminta vétele céljából. A pakkeres hidraulikai vizsgálatok eredményei alapján megszerkesztettük a fúrások transzmisszivitás- és potenciálszelvényét.

Kulcsszavak: Pakker, hidraulikai vizsgálat, transzmisszivitás, potenciálviszonyok, vízföldtani jellemzők

Bevezető

A földtani kutatási program talán legfontosabb létesítményei a kutatófúrások, melyekben pakkeres hidraulikai vizsgálatok zajlottak. A pakkeres hidraulikai vizsgálatok célja a kutatási terület földtani képződményeinek és szerkezeteinek vízföldtani jellemzése, a vízvezető képesség, a hidraulikus potenciálviszonyok és a vízáramlás geometriai jellemzőinek meghatározása volt. További cél volt víztermelések segítségével mélységi vízmintavétel és gázmintavétel lehetőségének megteremtése. A vizsgálatok segítségével megszerkeszthető a fúrások transzmisszivitás- és potenciálaszelvénye. A BAF–2, BAF–1 és –1A fúrásokban szisztematikusan zajlott ilyen vizsgálat, mérési sorozatokba rendezve a maggal mélyített szakaszokon.

1. A fúrásokban végzett vizsgálatok

A vizsgálatok típusának megválasztásához figyelembe vettük a vizsgálat célját, a vizsgált képződmény vízföldtani tulajdonságait, a fúrás kialakítását, de szempont volt a rendelkezésre álló idő és pénzügyi keret is. Ezek szerint kellett optimalizálni a vizsgálati metodikát. A képződményeket leginkább állandó hozamú (sokszor többlépcsős), vagy állandó nyomású tesztekkel vizsgáltuk. Lényeges szempont volt, hogy a fúrás részei szeparálhatóak legyenek egymástól, így a vizsgálatok eredményeit külön tudjuk vonatkoztatni vizsgálati szakaszokra. Ennek érdekében használtunk egy stabil tesztrudazatot, amelynek végére pakkereket, csőzárószelepet és mélységi nyomásszondákat telepítettünk. A mérések során az eszközök működését felszínről vezéreltük, miközben on-line kapcsolat állt rendelkezésre a mélységi adatgyűjtőkkel.

Az alacsony vízvezető képességű szakaszokon leginkább impulzus- és szlagteszteket, vagy állandó nyomású injektálást alkalmaztunk. A termeléses teszteket általában jobb vízvezető képességű szakaszok jellemzésére használtuk. A terepi adatok kiértékelésére nem minden esetben alkalmasak a hagyományos analitikus módszerek, mivel a kúttesztek során kapott eredmények egy reális (azaz nem idealizált), komplex hidrogeológiai rendszerből származnak. A kiértékeléshez saját fejlesztésű, numerikus szoftvert (HydroBench) alkalmaztunk. A szoftver alkalmas a különböző vastagságú rétegekben előidézett tranziens áramlás, valamint a formációk nyomásválaszainak modellezésére. A program segítségével modellezhető a fúrólyukak környezetében kialakult „skin” zóna, a geológiailag összetett, heterogén rendszerek viselkedése, mivel képes elemezni a szlag- és impulzustesztek, az injektáló-, és víztermelő kútvizsgálatok eredményeit, illetve ezek bármely szakaszait nem lineáris feltételekkel és komplex hidrogeológiai tulajdonságokkal rendelkező közegben.

1.1. Metodika és kiértékelés

Pakkeres vizsgálat esetén a fúrólyuk vizsgálni kívánt szakaszát egy vagy két felfújható pakkerrel különítjük el a fúrólyuk többi részétől. A BAF–2 és BAF–1, –1A fúrások vizsgálata során 1,0 m hosszúságú gumiköpennyel rendelkező, 86/165 mm-es BASKI pakkereket alkalmaztunk. A felső pakker fölé a tesztrudazatba egy ún. mélységi csőzáró szelepet illesztettünk, amellyel szabályozni tudtuk a rudazat belseje és a vizsgálati szakasz közötti hidraulikai kapcsolatot. A csőzáró szelepet a felszínről működtettük nitrogéngáz, illetve víz segítségével.

A vizsgálatokat elsősorban kétpakkeres, 100 m-es vagy 25 m-es vizsgálati szakaszt magába foglaló eszközrendszerrel végeztük. A pakkeres vizsgálati szakaszok hosszát a mérési sorozatok elején 100 m-nek választottuk, azért hogy kiválaszthassuk a nagyon rossz vízvezető képességű szakaszokat. Alapvetően háromféle teszttípust alkalmaztunk: rövidebb, kb. 4–7 óra időtartamú teszteket (a vizsgálati szakasz transzmisszivitásának meghatározására), 6–16 óra időtartamú teszteket (a nyugalmi nyomás meghatározására), valamint több napig tartó víztermeléses teszteket, vízminta vétele céljából. A tesztek elsődleges célja a fúrólyuk szűkebb környezetére jellemző transzmisszivitás meghatározása volt, de egyes esetekben — ha ezt a vizsgálati szakasz vízvezető képessége a rendelkezésre álló időkereten belül lehetővé tette — a nyugalmi potenciálszintet is megkíséreltük meghatározni. A pakkeres vizsgálatok befejezését követően, a tesztek során mért nyomásváltozások alapján, indirekt modellezéssel határoztuk meg a paramétereket. Az adott teszt vizsgálati fázisainak iteratív kiértékelésével biztosítottuk, hogy a teljes tesztre konzisztens eredményeket kapjunk. Nem beszélhetünk tehát abszolút értelemben valamely vizsgálati szakasz transzmiszszivitásáról, hanem azt mindig valamilyen térrészhez kell kapcsolnunk. Ezért a kiértékelés során meghatároztuk annak a térrésznek a fúrólyuk tengelyétől sugárirányban számított távolságát is, amelyre az adott transzmisszivitás érték jellemző: homogén áramlási modell esetén a teszt hatósugarát, bizonális modell esetében pedig a zónahatár távolságát.

A nyugalmi nyomást, ill. az abból számított nyugalmi potenciálszintet elsősorban a termeléses szlagfázist követő nyomáskiegyenlítődési fázisból (SWS), illetve az injektálást követő nyomáscsökkenési fázisból (HIS), valamint a víztermelést követő nyomásemelkedési fázis (RWS) adataiból határoztuk meg. A nyomáskiegyenlítődési fázisokból kétféle módszerrel extrapolált nyugalmi nyomásértékek, valamint e fázisok záró nyomása és annak tendenciája alapján minden

tesztre többféle lehetséges nyugalmi nyomásértéket tudtunk megadni. Ismerve a nyomásszonda mérőportjának abszolút magasságát, a nyomásértéket nyugalmi potenciálszintre konvertáltuk. Mélységi vízmintavétel esetén a vízmintavételt megelőzően a pakkerekkel elkülönített lyukszakaszból tartós víztermelést végeztünk, hogy a fúrólyuk környezetéből eltávolítsuk a fúrás közben oda bejutott, nyomjelzett öblítőfolyadékot. A víztermelést lehetőség szerint addig folytattuk, amíg a nyomjelzőanyag-tartalom az eredeti érték 3% alá nem csökkent.

2. Eredmények

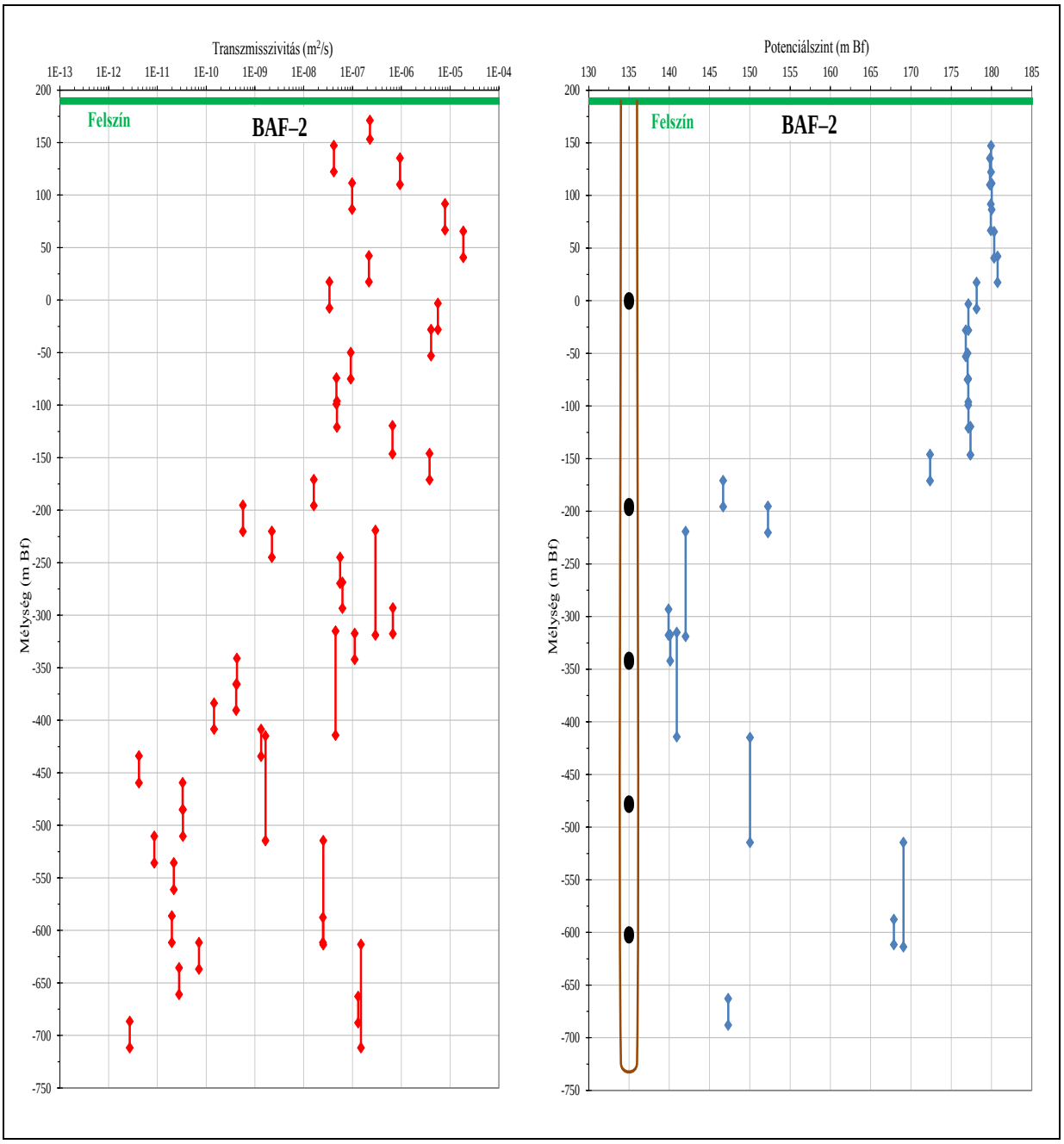
A pakkeres hidraulikai vizsgálatok eredményei alapján megszerkesztettük a fúrások transzmisszivitás- és potenciálszelvényét. A fúrásokban elvégzett tesztek alapján minden vizsgálati szakaszra sikerült transzmisszivitást meghatározni. Lehetőség szerint igyekeztünk meghatározni az egyes szakaszok nyugalmi nyomását is, mivel – a transzmisszivitás értékeket is figyelembe véve – leginkább ez alapján lehetséges kijelölni az egymástól különböző hidraulikai tulajdonságokkal rendelkező térrészeket. Azonban nem lehetett minden teszt esetében záró nyomáskiegyenlítődési fázist beiktatni, ezért a fúrások potenciálszelvénye nem folyamatos.

2.1. A BAF–2 jelű fúrás

A fúrásban a méréseket 3 kampányban végeztük, ezzel körülbelül 300 m-es szakaszokra osztva a fúrást. A transzmisszivitásszelvényt az 1. ábrán mutatjuk be, az értékek közel hét nagyságrenden belül, azaz $2{,}7\times10^{-12}$ – $1{,}9\times10^{-5}$ m^2/s között változnak. A fúrás transzmisszivitás szelvénye alapján megállapítottuk, hogy a képződmények vízvezető képessége a mélységgel fokozatosan csökken, de helyenként – még az igen alacsony vízvezető képességű szakaszokon is – előfordulnak legalább 2-3 nagyságrenddel magasabb transzmisszivitású szakaszok. A fúrásban 36 vizsgálatot végeztünk 25 m-es vizsgálati szakasszal, ezekből mindössze 20 esetben sikerült a nyugalmi nyomást is meghatározni.

A BAF–2 fúrás potenciálszelvénye is az 1. ábrán látható. A fúrásban meghatározott értékek 180,8 és 139,9 m Bf szint között változnak. A fúrás potenciálszelvénye viszonylag élesen öt részre különül. A fúrás felső részén, kb. 17 m Bf-ig egységesen 180 m Bf körüli potenciálszinteket kaptunk. 17 m Bf-től -146 m Bf-ig néhány méterrel alacsonyabb, 176–178 m Bf közötti értékek vannak, majd alatta a potenciálszint jelentősen lecsökken. A fúrás -200 m Bf alatti szakaszán többnyire csak a 100 m-es szakaszokon meghatározott potenciálszintek állnak rendelkezésre.

Az eredmények alapján viszont megállapítható, hogy a fúrólyuk -200 m Bf-től kb. -400 m Bf-ig tartó szakaszán 35-40 m-el alacsonyabb, 140 m Bf körüli nyugalmi potenciálszintek vannak. Ettől mélyebben már ritkábban tudtuk meghatározni a nyugalmi értéket, de – a magasabb vízvezető képességű szakaszoknak köszönhetően – viszonylag jól kirajzolódik, hogy a -587 mBf-től -612 m Bf-ig tartó szakaszon jóval magasabb nyugalmi potenciálszint uralkodik (165-170 mBf értékeket mértünk). A fúrólyuk alsó szakaszán ez a növekvő tendencia ismét visszafordul és a fúrólyuk alján már ismét alacsonyabb értékek a jellemzőek.

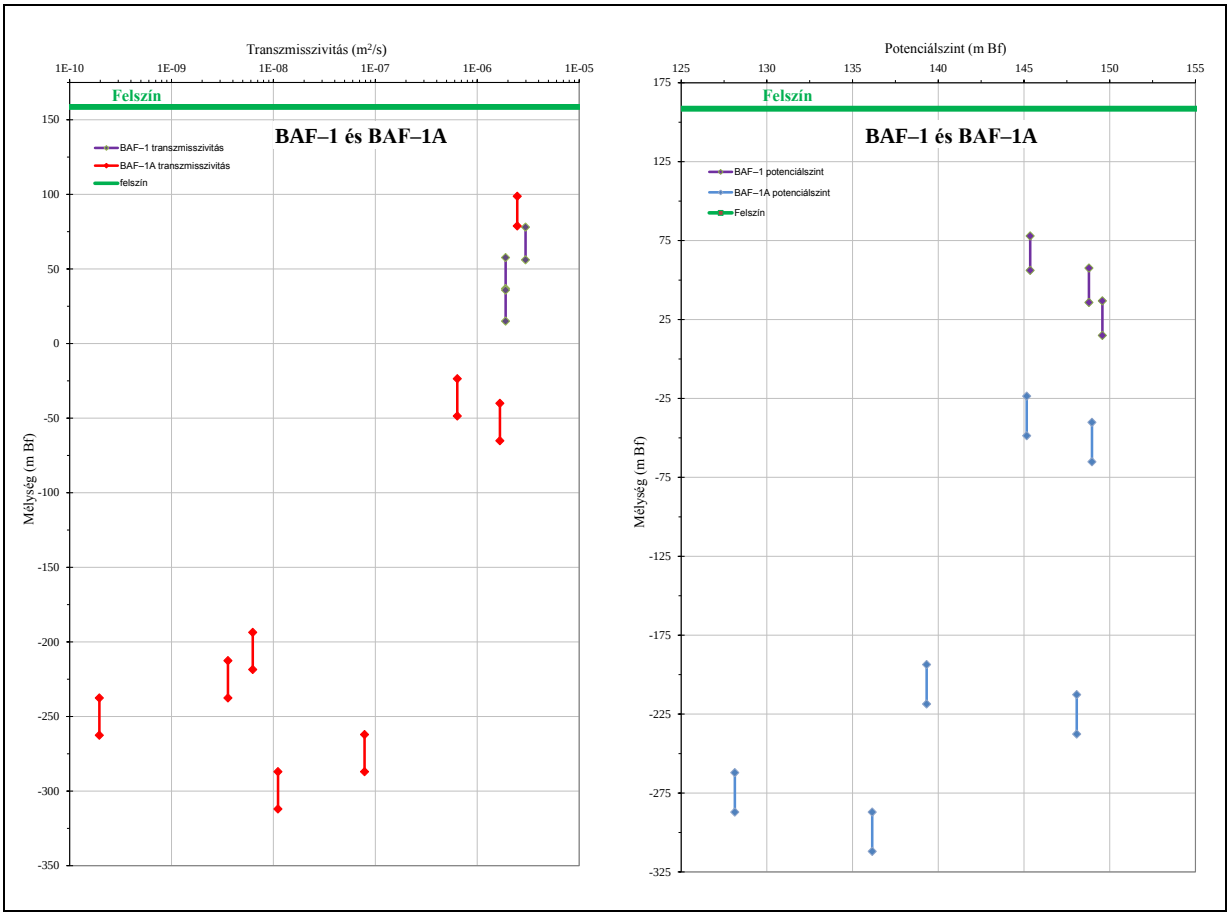


1. ábra: A BAF–2 fúrás transzmisszivitás és potenciálszelvénye

2.2. A BAF–1 és BAF–1A jelű fúrások

Mindkét fúrásban a méréseket egy mérési kampányban végeztük. A BAF–1 fúrásban összesen 3 tesztet végeztünk kb. 22 m-es vizsgálati szakaszhosszal. A 25 m-es vizsgálati eszközzel nem sikerült minden vizsgálatot elvégeznünk, mert a fúrólyuk instabil állapota miatt a kétpakkeres eszköz a 9. teszt után megszorult. Víztermelést egypakkeres eszközzel végeztünk. A transzmisszivitásszelvényen látható (2. ábra), hogy a fúrólyuk alsó szakaszán 10^{-8}–10^{-10} m^2/s, a felső szakaszán 10^{-6}–10^{-7} m^2/s tartományba eső transzmisszivitás értékek a jellemzőek. A BAF–1 és BAF–1A fúrások közös transzmisszivitásszelvényén látható, hogy a fúrólyuk felső részén magasabb, az alsó szakaszon alacsonyabb transzmisszivitásokat kaptunk, de a fúrólyuk középső szakaszán – ahol a vízvezető képesség a mélységgel feltehetően változni kezd – nem végeztünk méréseket, így a kapott adatokból nem állapítható meg, hogy miként változik a transzmisszivitás a fúrólyuk középső szakaszán. Összességében megállapítható, hogy az értékek kicsit több mint négy nagyságrenden belül változnak. A két fúrásban összesen 9 vizsgálat esetében sikerült a nyugalmi nyomást is meghatározni.

A BAF–1 és BAF–1A fúrások közös potenciálszelvényén (2. ábra) látható, hogy a meghatározott értékek 128,1 és 149,6 m Bf szint között változnak, vagyis összességében alig több mint 20 méternyi potenciálszint különbség figyelhető meg. Annak ellenére, hogy a potenciálszelvény viszonylag egységesnek mondható az is megállapítható, hogy a mélységgel a potenciálszint kis mértékben csökken, mivel a kiugróan alacsony értékek mindössze a mélyebben lévő szakaszokon jelentkeznek.



2. ábra: A BAF–1 és –1A fúrások közös transzmisszivitás és potenciálszelvénye

A BAF-2 fúrás többpakkeres rendszere

Multipacker system in the borehole BAF-2

KORPAI FERENC[1], ANDRÁSSY MÁRIUSZ[1], DANKÓ GYULA[1], DARVAS KRISZTIÁN[1]

[1]*Golder Associates (Magyarország) Zrt.,*
fkorpai@golder.hu, mandrassy@golder.hu,
gdanko@golder.hu, kdarvas@golder.hu

Abstract

Using multipacker observation systems is of great importance for long term groundwater monitoring. The aim of utilizing multipacker systems is to observe any potential change in hydraulic heads within the formations of interest, and based on the obtained data, refining and updating the understanding of the groundwater flow regime. To meet such expectations, one of the key requirements for the multipacker system is to be able to permanently separate the given borehole section from another. To achieve this, specific and yet reliable and practical technical solutions were developed.

Összefoglaló

A többpakkeres észlelőrendszerek alkalmazása kiemelkedő fontosságú a hosszú távú vízföldtani monitoring szempontjából. A többpakkeres észlelőrendszerek célja az áramlási rendszer pontosítása érdekében megfigyelni a potenciálviszonyok alakulását és esetleges változását a kutatási terület földtani képződményeiben, így az egyik legfontosabb követelmény, hogy a pakkerek megbízhatóan különítsék el a fúrólyuk egyes szakaszait, melyhez speciális, megbízható, de egyszerű technikai megoldásokat alkalmazni.

Kulcsszavak: BAF-2; többpakkeres észlelőrendszer; hosszú távú monitoring

Bevezető

A BAF-2 fúrás egy több évtizedes program részeként egy földtani kutatás keretében mélyült, melynek végső célja egy mélységi geológiai radioaktívhulladék-tároló kialakítása a Nyugat-Mecsek területén, a Bodai Agyagkő Formációban (BAF), amely lehetővé teszi a Magyarországon keletkező nagyaktivitású radioaktív hulladékok és kiégett fűtőelemek végleges és biztonságos elhelyezését.

A terv szerint a kutatás legfontosabb létesítményei a kutatófúrások, amelyekben a harántolt képződmények és szerkezetek vízföldtani jellemzőit helyszíni pakkeres mérésekkel kell vizsgálni, majd a fúrás nyitott szakaszába többpakkeres észlelőrendszert kell telepíteni. A rendszereket minden fúrásra egyedileg kell összeállítani a fúrási rétegsor, valamint az egyedi pakkeres mérésekből szerkesztett transzmisszivitási és potenciálszelvény alapján, figyelembe véve a pakkerek megfelelő zárásának követelményét.

A többpakkeres észlelőrendszerek célja az áramlási rendszer pontosítása érdekében megfigyelni a potenciálviszonyok alakulását és esetleges változását a kutatási terület földtani képződményeiben mélyülő kutatófúrások különböző szakaszán, továbbá adatszolgáltatás a vízföldtani modellek kalibrálásához. A BAF–2 fúrásba ötpakkeres észlelőrendszer került. A fúrás talpmélysége 913,60 m lett. A többpakkeres észlelőrendszereknek hosszú ideig kell a fúrásokban megbízhatóan működni, ezért az eszközök műszaki kialakítása során igyekeztünk egyszerű, de megbízható technikai megoldásokat alkalmazni.

1. Műszaki kialakítás

Az észlelőrendszer a fúrásba telepített mélységi eszközökből, valamint a felszíni eszközökből áll. A mélységi eszközökhöz tartozik a rudazat, a pakkerek, a felfúvó rendszer vezetékei, valamint a mérőszondák, adatgyűjtők és az elektromos összekötő vezetékek. A felszíni eszközök közé sorolható az áramellátó tápegység a kiolvasó porttal, illetve a pakkerek megfelelő nyomását biztosító tartályok és a hozzájuk tartózó nyomásmérők, szelepek. A felszíni eszközöket a fúrás fölé helyezett zárható konténerben helyeztük el. Amennyiben a fúrólyuk állapota megengedi, a többpakkeres rendszer a fúrólyukból kiépíthető, és szükség esetén egyes elemei újból, más kombinációban is fölhasználhatóak.

1.1. Mélységi eszközök

1.1.1. Pakkerek

A pakker egy cső külső felületét körbefogó, acélmerevítésű gumitömlő, amely a külső nyomást meghaladó belső nyomás hatására kidagad, és szorosan nekifeszül a fúrólyuk falának (1. ábra). A térfogat-növekedés a tömlő rövidülésével jár, amit az tesz lehetővé, hogy a tömlő alsó pereme a csövön fölfelé el tud mozdulni. Különböző lyukátmérőkhöz eltérő méretű pakkereket célszerű alkalmazni, hogy a pakker viszonylag mérsékelt tágulással is szorosan a lyukfalnak feszüljön. Ugyanakkor arra is célszerű ügyelni, hogy – különösen a mélyebbre beépített pakkerek esetében – a pakker és a lyukfal között mindig legyen elegendő méretű gyűrűstér, hogy a lyukfal egyenetlenségei és a fúrólyukban lévő technikai védőcső rakatok nehogy megsértsék a pakkert a beépítés során. A BAF–2 fúrás végig 120 mm átmérőjű, a fúrás felső szakaszán egy cementezett 244/22 mm-es vezércső és ebben egy 140/125 mm-es technikai béléscsőrakat van beépítve. A fúrásban 5 db 85/185 mm átmérőjű, a német Comdrill cég által gyártott, Bimbar típusú hidraulikus pakkert alkalmaztunk.

A hidraulikus pakkerek mind gázzal, mind vízzel ültethetők. A BAF-2 fúrásban a pakkerek két nylonvezetéken keresztül kapcsolódnak a felszínhez: az egyik ágra vannak sorban felfűzve a pakkerek, a másik viszont a legalsó pakkertől közvetlenül a felszínre vezet. A többpakkeres rendszer kiültetése és oldása vízzel körülményesebb, viszont a BAF-2 fúrás esetében ezt a megoldást választottuk, mivel a rendszer belső nyomása minden pakkernél nagyjából ugyanazzal az értékkel haladja meg a külső nyomást, vagyis hasonló átmérőviszonyok esetén a pakkerek közel azonos erővel feszülnek neki a fúrólyuk falának. Emellett a felszínen is elegendő legfeljebb 7-8 bar túlnyomást fenntartani. A vízzel való ültetés másik előnye, hogy esetleges szivárgás esetén sem kerülhet gáz az észlelési szakaszokba.

1.1.2. Az eszközrendszer váza

A pakkerek beépítéséhez 2 ⅜” acél rudazatot használtunk, ami az egész eszközrendszer vázául szolgál. Minden szakasz felső részén, a pakker alá egy szellőző furattal ellátott átmenő közdarabot építettünk be (2. ábra), amely lehetővé teszi, hogy a beépítéskor a rudazat belsejében lévő levegő eltávozzon. Ezen felül a pakkerek alá egy másik átmenő közdarabot is beépítettünk, amely garantálja a vizsgálati szakaszok áteresztésmentes elkülönítését. Ez a speciális átvezető közdarab biztosította, hogy a közvetlenül a legalsó pakkerhez vezető felfúvó vezetéket, a digitális jeleket továbbító elektromos kábelt – valamint az észlelési szakaszokat a nyomásszondával összekötő nylonvezetékeket – az egyes észlelő szakaszok között át tudjuk vezetni.

1.1.3. Adatgyűjtő egység

A fúrásban két helyre kerültek az adatgyűjtő egységek: felülről a második, valamint alulról a második észlelési szakaszba. A szondákat és adatgyűjtőket tartalmazó észlelési szakaszokban a nyomásszondák közvetlenül mérik a nyomásadatokat, a szomszédos észlelési szakaszok nyomásértékeit az átmenő közdarabokon átfűzött nylonvezetékek közvetítik. A megfigyelési szakaszok nyomás- és hőmérsékletadatainak méréséhez modul elemekből álló eszközrendszert alkalmaztunk. Az eszközrendszer mérő, adatgyűjtő, adattovábbító és tápegységből áll. Az adatrögzítés lehet egyenletes (1 másodperc és 30 nap között változtatható gyakoriságú), vagy előre meghatározott

rend szerint fokozatosan ritkuló. A hosszú távú monitoring céljára általában 30 perces gyakorisággal mérjük az egyes megfigyelési szakaszok nyomását és hőmérsékletét. A BAF–2 fúrásba telepített adatgyűjtők memóriája több mint 11 ezer mérési adat tárolására képes.

A beépítési mélységtől függően 35 és 60 bar névleges mérési határú nyomásszondákat alkalmaztunk. A szondák abszolút (azaz a légnyomással nem kompenzált!) nyomást mérnek. Az AquiLite névre keresztelt rendszer a német AquiTronic cég fejlesztése.

1.2. Felszíni eszközök

Az adatgyűjtő egységek programozása, valamint az adatgyűjtőkben tárolt adatok letöltése a felszíni egység speciális kiolvasó portján keresztül történik. Kiolvasáskor az adatgyűjtőkben tárolt adatokat az adattovábbító egységek elektromos kábelen keresztül, digitális formában juttatják a felszínre. A rendszer energiaellátását fúrásonként 2-2 db, 12 V-os zselés műszerakkumulátor biztosítja. A BAF-2 fúrás felső szakaszán a nyugalmi potenciálszint a felszín közelében, 9–13 m-ben húzódik. Ezeknél az észlelőrendszernél pusztán a vízoszlop által előidézett túlnyomás nem elegendő a pakkerek zárásához. A vízzel ültetett rendszert a felszíni konténerben elhelyezett, sűrített levegőt tartalmazó tartályok segítségével 7-8 bar túlnyomás alá helyeztük a pakkerek megfelelő zárása érdekében (3. ábra).

2. Az eszközrendszer tervezése, felépítése

A többpakkeres észlelőrendszerekkel szemben támasztott legfontosabb követelmény, hogy a pakkerek megbízhatóan különítsék el a fúrólyuk egyes szakaszait. Ehhez egyrészt a pakkereknek kell tökéletesen zárniuk, másrészt nem szabad a pakkert olyan szakaszon kiültetni, ahol lehetőség van rá, hogy a kőzet repedésein keresztül, a pakkert megkerülve rövidzár alakuljon ki az elkülönített szakaszok között. Az említett okok miatt a pakkerek kiültetésére az ép, kevésbé repedezett lyukszakaszok a legalkalmasabbak. További szempont, hogy feltehetőleg egységes vízföldtani szerkezetek (pl. nagyon alacsony vagy éppen magas transzmisszivitású fúrólyukszakaszok) azonos megfigyelési szakaszon belülre kerüljenek, ugyanakkor a vélhetően elkülönülő (pl. jelentősen eltérő potenciálszintű) repedésrendszereket pakkerek válasszák el egymástól. Figyelembe vettük az egyedi kútvizsgálatok alapján meghatározott potenciállépcsőket, továbbá a hidrorepesztéses vizsgálatok mélységközét is igyekeztünk elkerülni. Az egyedi hidraulikai vizsgálatok során meghatározott potenciálszinteket a többpakkeres észlelőrendszer 3 hónapos próbaüzemének végére stabilizálódott potenciálszintekkel együtt a 4. ábra mutatja be. A pakkerek ültetési helyét az egyedi tesztek során meghatározott transzmisszivitásokkal az 5. ábra szemlélteti. A fúrásba telepített többpakkeres észlelőrendszer elvi vázlatát a 6. ábra mutatja be.

3. Üzemeltetés

A többpakkeres észlelőrendszer üzemeltetése rendszeres és időszakos tevékenységekből tevődik össze. Annak ellenére, hogy az üzemeltetés önmagában nem egy bonyolult feladat, a megbízható működés érdekében a rendszeres ellenőrzés és az időszakos karbantartási munkálatok szükségessége kiemelkedő fontosságú. Az üzembiztonság érdekében az új nyomásszondák, illetve adatgyűjtők működését a beépítés előtt a felszínen, több napi méréssel ellenőriztük, a pakkerek működését nyomáspróbákkal ellenőriztük. Ennek ellenére – az akár több évig tartó folyamatos üzemelés és a szélsőséges időjárási viszonyok miatt – még a leggondosabb üzemeltetés mellett sem lehet teljesen kizárni egy esetleges meghibásodás lehetőségét.

3.1. Rendszeres üzemeltetési feladatok

A többpakkeres észlelőrendszer a telepítést követően gyakoribb ellenőrzést igényel, mely később ritkítható. A BAF–2 jelű fúrásba beépített többpakkeres észlelőrendszer mérési adatait a telepítést követően a próbaüzem alatt 2014. szeptember közepéig 2–3 naponként, azt követően 2014.

október közepéig hetente egyszer olvastuk ki. A tapasztalatok szerint az adatgyűjtőkkel való kommunikáció akadozott, de adathiány nem volt. Külső szakértő bevonásával 2014. szeptember 19-én megvizsgáltuk az adatgyűjtő rendszerrel való kommunikációt. Az adatkábel hossza erősen befolyásolja az adatgyűjtővel való megfelelő kommunikációt, így a hossznak megfelelő ellenállást kellett beiktatnunk a kiolvasó porthoz. A rendszeres üzemeltetés során az észlelőrendszert – az akkumulátorok teherbírásától függően – elegendő 2-4 hetente ellenőrizni. Ez a gyakoriság megfelelő a rendszer működése szempontjából, mivel az adatgyűjtő rendszer még problémamentesen képes tárolni a kiolvasások között keletkező adatokat.

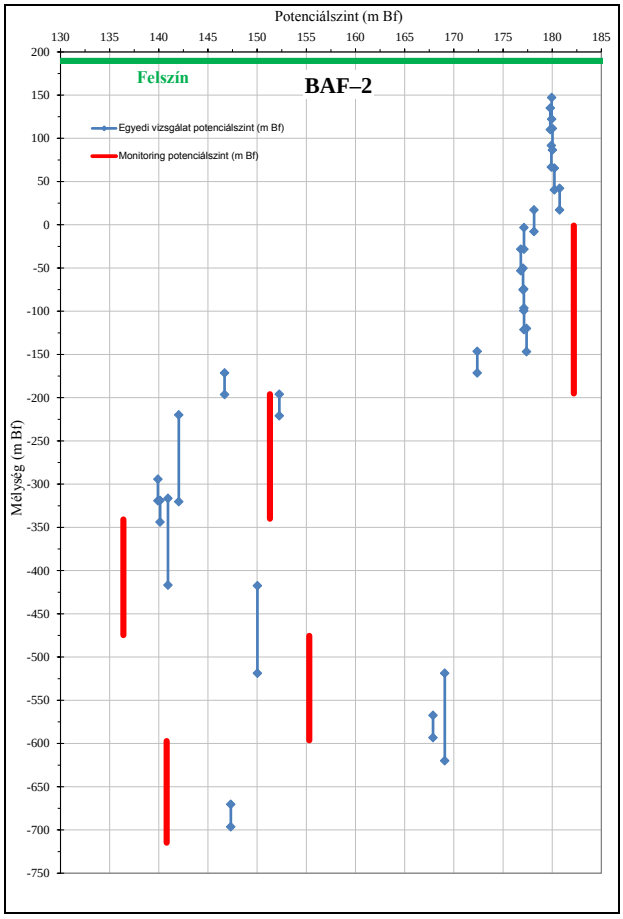
3.2. Időszakos feladatok

Az észlelőrendszer felszíni elemei – ugyan egy zárt fém konténerbe vannak elhelyezve – ki vannak téve az időjárás változásának. Ennek megfelelően a nyomástartályban lévő nyomás ellenőrzése, a nyomástartály időszakos korrózió elleni védelme, a felszíni adatgyűjtő rendszer magas páratartalom ellen való védelme, a villámvédelem, a megfelelő vízelvezetés a fúrás környezetében, stb. mind kiemelkedő fontossággal bírnak az észlelőrendszer megbízható működése szempontjából. Az átnedvesedés és a légköri elektromosság elleni védekezés érdekében a felszíni elektromos csatlakozásokat szigeteltük és vízhatlanná tettük.

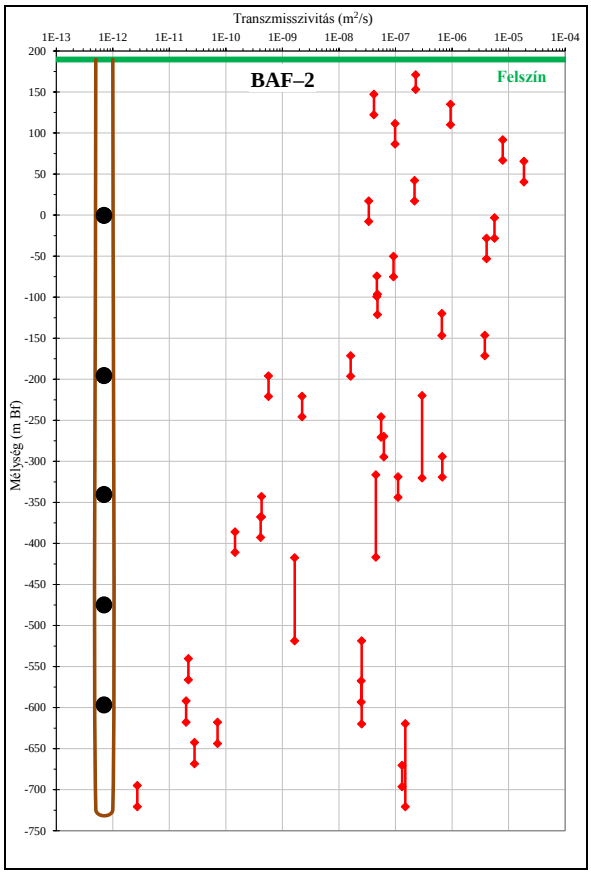
1. ábra: Bimbar típusú hidraulikus pakkerek beépítés előtt

2. ábra: A pakkerek végére szerelt átmenő közdarabok „befűzött” vezetékekkel

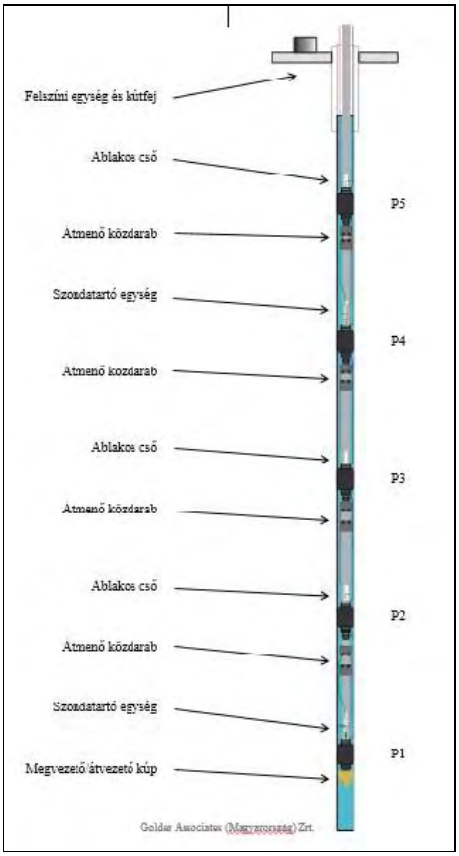
3. ábra: A konténerben elhelyezett felszíni adatgyűjtő egység és a nyomástartályok



4. ábra: Az egyedi hidraulikai vizsgálatok és a többpakkeres észlelőrendszer potenciálszintjei a BAF-2 fúrásban



5. ábra: A BAF–2 fúrás transzmisszivitás-szelvénye a többpakkeres észlelőrendszer ültetési helyeivel



6. ábra: A BAF-2 fúrásba telepített többpakkeres észlelőrendszer vázlata

A BAF-2 fúrás hidrorepesztés vizsgálatai

In-situ stress measurements in the borhole BAF-2

DANKÓ GYULA[1], FARKAS MÁRTON PÁL[1],
KORPAI FERENC[1]

[1]*Golder Associates (Magyarország) Zrt.,*
gdanko@golder.hu, mfarkas@golder.hu, fkorpai@golder.hu

Abstract

It is of great interest to define the principal components of the primary stress field for designing underground facilities. The gravitational force is considered as the vertical principal stress (σv) hence its value increases with greater depth in the function of density. Maximum and minimum horizontal stresses occurring in a rock mass (σH és σh, respectively) cannot be defined easily theoretically, therefore, these are measured practically directly. One of the suitable methods for that is extended leak-off tests or hydraulic fracturing. In this method a short open section of a borehole is sealed by inflatable rubber packers in certain depth, then fluid (generally water) is injected into the isolated interval. The hydraulic pressure acting on the borehole wall increases fast due to injection. Beyond a critical stress value the rock fractures, i.e. hydraulic fracture is generated. By continuous recording of injection (interval) pressure and flow rates determination of the horizontal stresses become possible. Observing the induced fracture with geophysical logging tool (acoustic borehole televiewer, BHTV) the orientation of the maximum horizontal stress can be obtained as well. This method was applied successfully in borehole BAF-2 in order to determine in-situ stress. As a result, apart from vertical stress, the magnitude and orientation of 4 minimum and maximum horizontal stresses were obtained.

Összefoglaló

A primer feszültségállapot főkomponens értékei alapvető fontosságúak a felszín alatti terek tervezéséhez. A nehézségi erő függőleges feszültséget eredményez (σ_v), amely a mélység felé haladva a sűrűség függvényében növekszik. A kőzettestben fellépő vízszintes feszültségek (σ_H és σ_h) elméleti úton történő meghatározása már jóval nehezebb, így a horizontális síkban fellépő főfeszültségeket közvetlen méréssel célszerű meghatározni. Ezen módszerek egyike a hidraulikus kőzetrepesztés. A módszer lényege, hogy a fúrás egy rövid vizsgálati szakaszát megfelelő mélységében (felfújható pakkerekkel) elzárjuk, majd ebbe az elkülönített szakaszba fluidumot (általában vizet) injektálunk. Az injektálás hatására, a hidraulikus nyomás gyorsan emelkedik. Egy határfeszültség elérését követően a kőzet eltörik, így a fúrólyuk falán repedés keletkezik. Az alkalmazott nyomások és injektálási hozamok rögzítése és kiértékelése lehetővé teszi a horizontális főfeszültségek meghatározását. A lyukfalon keletkezett repedés geofizikai vizsgálatával (BHTV) a maximális főfeszültség iránya is meghatározható. A BAF-2 fúrásban sikeresen alkalmaztuk a hidraulikus kőzetrepesztés módszerét az in-situ kőzetfeszültségek meghatározásához. Így a függőleges főfeszültség mellett, 4 mélységben meg tudtuk határozni a minimális és maximális főfeszültségeket, illetve ezek irányát.

Kulcsszavak: Hidraulikus repesztés, Magyarországi feszültségadatok, In-situ feszültségmérés, Repedések fúrásban

Bevezető

A zavartalan földkéreg vizsgált kőzettartományának mechanikai állapotát primer állapotnak nevezzük. Akkor tekinthetjük ezt az állapotot zavartalannak, ha – ember által keltett – mesterséges hatásokkal ezt nem befolyásoljuk. A primer állapothoz tartozó, fő komponensek (a függőleges, illetve horizontális síkban ébredő maximális és minimális) feszültségértékei alapvető fontosságúak a felszín alatti terek tervezéséhez, illetve a feszültségtér ismerete értékes információkkal szolgálhat a hosszú távú geodinamikai folyamatok értelmezéséhez is.

Jelen cikk, a Bodai Agyagkő Formáció földtani kutatása során végzett, az in-situ feszültség, hidraulikai kőzetrepesztéses módszerrel történő meghatározásának elméleti hátterét tekinti át, majd az elvégzett mérések eredményeiről számol be. A recens feszültségtér jellemzői meghatározóak lehetnek a terület földtani fejlődéstörténeti prognózisának elkészítéséhez, továbbá alapvető tervezési adatokat szolgáltathat a tároló vágatainak orientációjához és geometriájuk tervezéséhez, valamint segítséget nyújt az optimális elhelyezési mélységtartomány megválasztásához is [1].

1. A hidraulikus kőzetrepesztés ismertetése

A hidraulikus repesztés standard eljárássá vált a mérnöki gyakorlatban, a kőzetfeszültség in-situ meghatározásához, és egyike azon kevés módszereknek, amelyeket mélyfúrásokban is el lehet végezni [2], akár azok lemélyítése után is. A módszer lényege, hogy egy rövid vizsgálati szakaszt a fúrás megfelelő mélységében (felfújható pakkerekkel) elzárunk, majd az elkülönített szakaszba fluidumot (általában vizet) injektálunk be. Az injektálás hozamát úgy kell beállítani, hogy a nyomás minél gyorsabban megemelkedjen, és a fúrólyuk falán hidraulikus repedés keletkezzen. Ez általában függőleges helyzetű és a minimális horizontális főfeszültség irányára merőlegesen alakul ki; ezért a hidraulikus repedés iránya jellemző a maximális horizontális kőzetfeszültség irányára.

A következőkben, az RHK Kft. megbízásából folytatott, a Bodai Agyagkő Formáció (BAF) megismerését célzó földtani kutatás, I. felszíni kutatási fázis 2. szakaszában mélyített, BAF-2 fúrásban végzett hidraulikus kőzetrepesztés vizsgálatokat mutatjuk be. (A terület földtani viszonyainak ismertetésétől eltekintünk, mivel jelen kötet több tanulmánya is részletesen bemutatja azt.)

1.1. Az alkalmazott eszköz bemutatása

Az in-situ feszültség meghatározáshoz alkalmazott hidraulikus kőzetrepesztéshez általunk használt pakker rendszert maximálisan 175 bar nyomáskülönbségre és 122 mm-es fúrólyukra (PQ) méretezték. A rendszer vizsgálati szakasza 1,5 m. A repesztést, a „munkaközeg” (víz) vizsgálati szakaszba történő beinjektálását a rudazaton keresztül valósítottuk meg. A pakkerek felfújásához nyomásálló acélvezetéket használtunk. A repesztéshez használt eszközrendszer fúrólyukba kerülő részét az 1. ábra mutatja.

1. ábra: A hidrorepesztéshez használt eszközrendszer fúrólyukba kerülő része

A magas nyomású szivattyú maximum 35 MPa-t, illetve 20 l/min hozamot tud biztosítani. A hozamot egy vezérlőtáblán (flowboard) keresztül lehet irányítani, amely lehetővé teszi a pakkerek

felfújását, valamint a vizsgálati szakasz injektálását ugyanazon szivattyú segítségével. A repesztés felszíni részeit a 2. ábra mutatja.

2. ábra: A felszíni egység (nagy nyomású szivattyú és a vezérlőtábla)

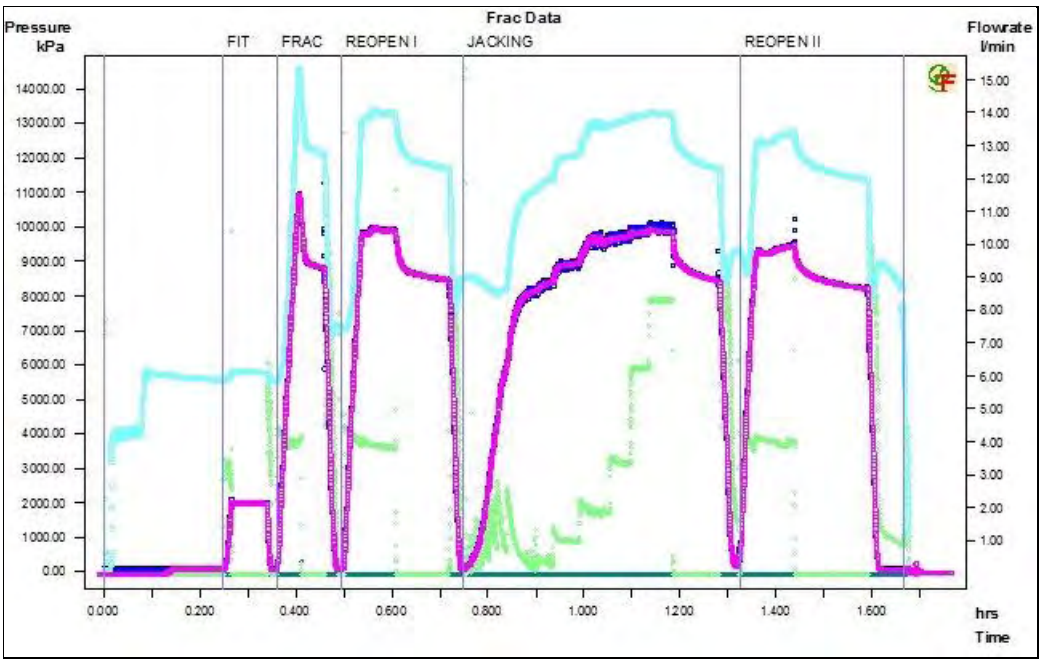
A pakker nyomását jeladó segítségével lehet ellenőrizni. Egy másik nyomás jeladóval pedig a vizsgálati szakaszon belüli nyomás ellenőrzésére van mód.

Az eszközökből származó adatokat számítógépről, USB porton keresztül vezérelt adatgyűjtő rendszer segítségével lehet ellenőrizni. Az adatgyűjtés gyakoriságát általában 5 Hz-re állítjuk.

A repesztéses eljárást az ASTM ajánlásoknak (ASTM, 1997) megfelelően végeztük.

1.2. A hidraulikus repesztéses in-situ feszültségmérés fázisai

A hidraulikus repesztéses vizsgálat során, általában öt nyomási ciklust szoktunk alkalmazni (3. ábra).



3. ábra: Hidraulikus repesztéses vizsgálat jellegzetes (felszínen kiolvasott) nyomás és hozam görbéje

Világoskék: pakker nyomás; lila: vizsgált szakasz nyomása a memóriaszondánál;
sötétkék: a vizsgált szakasz nyomása; sötétzöld: alacsony hozamok;
világoszöld: magas hozamok

FIT

A formáció integritás vizsgálatának (FIT) célja a vizsgálati szakasz zártságának (repedésmentességének), és a hidraulikus repesztéses vizsgálatra való alkalmasságának az ellenőrzése. Egy rövid idejű és legfeljebb 20 bar nyomású injektálást követően a vizsgálati szakaszt elzárjuk, majd az ezután bekövetkező nyomásstabilizálódás a vizsgálati szakasz alkalmasságára ad támpontot. A fázis végén a nyomást kiengedjük és a vizsgálati szakaszból való visszafolyás mértékét mérjük annak érdekében, hogy a visszafolyó víz mennyiségét megbecsüljük.

FRAC

A következő a repesztéses ciklus (FRAC), ami egy kb. 4 l/min állandó hozamú, magas nyomású beinjektálási ciklus mindaddig, amíg hirtelen nyomásesést nem észlelünk a tesztszakaszban. Ez egy újonnan létrejövő repedés kialakulását jelzi. Ezután a vizsgálati szakaszt azonnal elzárjuk, és a nyomásstabilizálódást néhány percig mérjük. A ciklus végén a vizsgálati szakasz nyomását leeresztjük, és a visszafolyást mérjük.

REOPEN I

Az 1. újranyitási ciklus (REOPEN I) hasonló a FRAC ciklushoz, de ebben az esetben az állandó hozamú injektálást mindaddig folytatjuk a maximális nyomás elérését követően, amíg a hozam és a nyomás is nem stabilizálódik. Az ebből a ciklusból származtatott maximális nyomás általában alacsonyabb, mivel a kőzet már megrepedt, és ezért a kőzetnek már nincs húzószilárdsága. Az ebből, illetve az előző ciklusokból meghatározott maximális nyomások közötti különbség a repedés újranyitási nyomására ad közelítő értéket. Ez az újranyitási nyomás a fúrólyuk közelében lévő feszültség-koncentrációt mutatja. Az újranyitási nyomást általában a második ciklus nyomásfelépülése során tapasztalható eltéréssel tekintjük egyenlőnek. Az injektálást követően a szakaszt elzárjuk, és a nyomásstabilizálódást mérjük. A ciklus végén a vizsgálati szakaszt leengedjük, és a visszafolyást megmérjük.

JACKING

A következő ciklus egy olyan vizsgálat, amely során a hozamot lépcsősen emeljük. Ezt hidraulikus jacking ciklusnak (JACKING) hívjuk. Egy állandósult (nem deformálódó) repedés esetén, és lamináris áramlást feltételezve, a nyomás a hozammal egyenes arányban emelkedik. Ha egyszer egy repedés a növekvő nyomás hatására fokozatosan nyílik, akkor a hozamot sokkal nagyobb mértékben kell növelni a következő nyomáslépcső eléréséhez. Ezt az állandósult és a felnyíló repedés közötti átmeneti nyomáskülönbséget nevezzük jacking nyomásnak. A ciklus végén a vizsgálati szakaszt lezárjuk, és a nyomás stabilizálódását több percen keresztül rögzítjük, mielőtt a vizsgálati szakaszt leeresztjük.

REOPEN II

Az utolsó ciklust ugyanolyan körülmények között végezzük, mint a REOPEN I ciklust. Ennek a ciklusnak a célja a korábbi ciklusok megismétlésével azok megfelelőségének ellenőrzése.

2. A BAF-2 jelű fúrásban végzett kőzetrepesztés eredményei

A BAF-2 jelű fúrásban négy vizsgálatot végeztünk a felszín alatt 450 és 820 m között. A vizsgálati szakaszokat magfotók és akusztikus lyukfaltelevízió adatai alapján határoztuk meg. A fúrásban repedésmentes szakaszokat választottunk ki, amelyet közel vízszintes rétegződés jellemzett. A 2. táblázat tartalmazza mindegyik vizsgálati szakasz mélységét és litológiai jellemzőit.

1. táblázat: A hidraulikus repesztéses vizsgálatok mélysége és litológiája

Vizsgálat	*Vizsgálati mélység [m felszín alatt]*	*Litológia*
1	813,70–815,20	vörösesbarna agyagkő karbonátos rétegekkel
2	717,10–718,60	vörösesbarna agyagkő karbonátos rétegekkel, szürkésbarna agyagkő karbonátos rétegekkel
3	584,40–585,90	barnás-szürkés vörös agyagkő karbonátosodott agyagkő rétegekkel és karbonát rétegekkel
4	454,20–455,70	vörösesbarna agyagkő karbonátos rétegekkel

Mindegyik vizsgálat eredményes volt, a FRAC ciklusban egyértelmű töréssel és konzisztens zárási nyomásokkal. A két sekélyebb vizsgálat (3. és 4. vizsgálat) a REOPEN I ciklus injektálási fázisai alatt fűrészfogszerű viselkedést mutattak. Ez agyagkövek esetén nem szokatlan. Ennek megfelelően a JACKING ciklusokat csak a két mélyebb vizsgálati szakaszban lehetett sikeresen végrehajtani.

Ahogy a 3. táblázat mutatja, az 1. vizsgálat kivételével a minimális horizontális főfeszültség értékek minden esetben alacsonyabbak a litosztatikus nyomásnál. A minimális horizontális főfeszültségre vonatkozóan a háromféle módszerrel kapott értékek egymással konzisztensek, és csak 0,3–1 MPa el-térést mutatnak. A minimális horizontális főfeszültség magasabb gradienssel emelkedik, mint a litosztatikus nyomás. Az azonnali zárási nyomás alapján a gradiens nagyjából 31,5 MPa/km, és a dp/dt módszerrel meghatározott gradiens 32,1 MPa/km a három sekélyebb vizsgálat esetében (2., 3. és 4. vizsgálat). A legmélyebb vizsgálatra vonatkozó értékek még az ezekből a gradiensekből adódónál is magasabbak. Mindegyik vizsgálatot figyelembe véve a gradiens 37,8 MPa/km az azonnali zárási nyomás alapján, illetve 40,3 MPa/km a dp/dt módszer alkalmazásával. Összességében, célszerű a legalacsonyabb értéket alkalmazni a minimális horizontális főfeszültségre az alkalmazott módszertől függetlenül.

2. táblázat: A minimális horizontális főfeszültség mindhárom értékelési módszer szerint

Vizsgálat	Vizsgálati mélység *[m felszín alatt]*	*Minimális horizontális főfeszültség [MPa]*		
		σ_{hmin} *Jacking*	σ_{hmin} *ISIP*	σ_{hmin} *dp/dt*
1	813,70–815,20	22,1	21,9	21,8
2	717,10–718,60	16,1	16,6	15,8
3	584,40–585,90	na	13,4	13,1
4	454,20–455,70	na	8,3	7,3

A 4. táblázatban közöltek szerint a maximális horizontális főfeszültség értékei nagyjából 7 MPa különbséget mutatnak az egyes értékelési módszereket tekintve. A törési nyomáson és nyírószilárdságon alapuló számítással kapott értékek a magasabbak. A maximális horizontális főfeszültség minden vizsgálat esetében magasabb, mint a litosztatikus nyomás, és nagyjából 50,2 MPa/km-es (Haimson alapján [2]), illetve 52,5 MPa/km-es (Bredehoeft alapján [1]) gradienssel emelkedik a három sekélyebb vizsgálat alapján (2., 3. és 4. vizsgálat). A legmélyebb vizsgálatra vonatkozó érték még az ezekből a gradiensekből adódónál is magasabb. Mindegyik vizsgálatot figyelembe véve a gradiens 64,0 MPa/km (Haimson alapján [2]) és 57,6 MPa/km (Bredehoeft alapján [1]). A maximális horizontális főfeszültségre Haimson alapján számított érték a kétszerese a litosztatikus nyomásnak a legmélyebb vizsgálati szakasz esetén. Összességében, a törési nyomáson alapuló értékeket a maximális horizontális főfeszültség felső korlátjának tekinthetjük.

3. táblázat: A maximális horizontális főfeszültség mindkét értékelési módszer szerint

Vizsgálat	*Vizsgálati mélység [m felszín alatt]*	*Maximális horizontális főfeszültség [MPa]*	
		σHmax törési Haimson	*σHmax újranyitási Bredehoft*
1	813,70–815,20	42,8	35,2
2	717,10–718,60	33,0	26,3
3	584,40–585,90	27,3	20,6
4	454,20–455,70	19,8	12,5

Az akusztikus lyukfal-felvételek alapján, az újonnan kialakított repedések konzisztensen egy dél-délkeleti irányultságot mutatnak. Ez az irány hasonlít a formáció azimutjához (rétegződéshez, részletes irány adatok nem álltak rendelkezésre a vizsgálat értékelése során). Ezért a feszültségirányt csak közelítőnek tekinthetjük. A minimális horizontális főfeszültség iránya DDK–ÉÉNy, míg a maximális horizontális főfeszültség csapása ennek megfelelően NyDNy–KÉK.

Ez megegyezik az antiklinálisnak a Boda–Büdöskút töréses övének a csapásával. A feszültségértékek megemelkedése a 718 m felszín alatti mélység alatt a feszültségtér megváltozását jelzik normál vetődéses rezsimtől az oldalelmozdulás felé. De ez talán nem jár a főfeszültségek elfordulásával, mivel a kialakított repedéseknek ugyanaz a csapása.

3. Következtetések

A BAF-2 fúrásban négy hidraulikus repesztéses vizsgálatot hajtottunk végre. Mind a 4 vizsgálati szakasz a tervezett hulladéktároló tervezett elhelyezési zónájába esett (440–840 m fa). Ebben a mélységtartományban csak a hidraulikus kőzetrepesztést lehet használni a kőzetfeszültség főkomponenseinek meghatározására. A mérések zökkenőmentesen folytak le, értékes eredményeket szolgáltatva a földtani kutatás számára. Következésképp a hidraulikus kőzetrepesztés egy jól alkalmazható módszer a kőzet főfeszültségeinek meghatározására mind azok nagyságát, mind irányukat tekintve.

A nyers mérési eredményeket a minimális főfeszültség esetében 3, míg a maximális főfeszültség esetében 2 különböző módszerrel dolgoztuk fel, de ezek egymástól való eltérése nem volt számottevő, azaz azok konzisztensek voltak.

A legmélyebb vizsgálat kivételével a minimális horizontális főfeszültség értéke alacsonyabb a litosztatikus nyomásnál. Az ezen értékekhez tartozó gradiens azonban magasabb, mint a litosztatikus nyomásé. A maximális horizontális főfeszültség minden vizsgálat esetében magasabb, mint a litosztatikus nyomás. A maximális horizontális főfeszültség Haimson alapján számított értéke két-szerese a litosztatikus nyomásnak a legmélyebb vizsgálati szakasz esetén.

A fenti értékekből adódóan az elhelyezési zónában a minimális horizontális főfeszültség (σ_{hmin}) litosztatikusnál kisebb (bár a legmélyebb zónában már eléri azt), míg a maximális horizontális főfeszültség (σ_{Hmax}) a zóna legmélyebb tartományában akár kétszerese is lehet a litosztatikus feszültségnek.

A vizsgálat során indukált repedések irányultságából adódóan a minimális horizontális főfeszültség iránya DDK–ÉÉNy, míg a maximális horizontális főfeszültség iránya ennek megfelelően NyDNy-KÉK. Ezeket az irányokat a regionális tanulmányok alapján meghatározott feszültségtrajektóriákkal összehasonlítva eltéréseket tapasztalhatunk. Míg a simítással előállított trajektória a maximális főfeszültségre, a Nyugat-Mecsek esetében egy DDNy–ÉÉK irányt jelzett, addig a méréseink ettől eltérő NyDNy–KÉK irányultságot mutattak.

Irodalom

[1] Bredehoeft, J. D., Wolff, R. G., Keys, W. S., Dhutter, E. (1976): Hydraulic Fracturing to determine the regional in-situ stress field, Piceance Basin, Colorado, Geol. Soc. Am. Bull., vol. 87, pp. 250 – 258.

[2] Haimson, B. C. (1993): The Hydraulic Fracturing Method of Stress Measurements: Theory and Practice, in: Fundamental Rock Engineering, Fairhurst, C. ed., pp. 396 – 412.

[3] Tungli Gy., Molnár P., Nagy Z., Török P. (2013): A Bodai Agyagkő Formáció földtani kutatása, kutatási terv, I. felszíni kutatási fázis, 2. szakasz. RHK Kft., Budaörs.

BAF-2 és BAF-1, -1A fúrások vízmintavételi, vízvizsgálati eredményei

Water chemistry of BAF-2, BAF-1, -1A boreholes

FÖLDING GÁBOR[1], MÁTHÉ ZOLTÁN[1], MÉSZÁROS ANDREA[1]

[1]*MECSEKÉRC Zrt.,*
foldinggabor@mecsekerc.hu, mathezoltan@mecsekerc.hu,
meszarosandrea@mecsekerc.hu

Abstract

From BAF-2 and BAF-1A boreholes 3-3 groundwater sample was taken after geophysical, hydraulic tests and water pumping, from different depths. The detectable, definable components also effected by the depth of the borehole, the very low hydraulic conductivity and sampling method (purging, plunging, depth-controlled fluid sampler).

In BAF-2 only the deepest water-sample's chemistry is similar to the typical Boda Claystone Formation's previous results. The water-type is Na-SO_4, it's contained B, Li Sr in high concentration, it's have dissolved gas components, carbon dioxid. The samples from shalow zone depth are effected by former tectonic and oxidation. According to former results ^{14}C dating the age of the formation is 18300-30000 years.

Boreholes BAF-1, -1A heading through the upper sandstone formation (Kővágószőlős S., Cserdi S.) therefore the water type is $NaHCO_3$ and Ca-$MgHCO_3$. The age of the sampled water is munch younger than BAF-2.

Összefoglaló

A BAF-2 és BAF-1, -1A fúrások mélyítése során geofizikai és pakkeres vizsgálatokat követően hosszabb idejű (több napos) víztermelés után a harántolt képződményekből vízmintavétel történt vízkémiai alapparaméterek, izotóp-, és gázvizsgálatok céljára. A nagy mélység, a BAF alacsony vízvezetőképessége és a mintavétel módja együttesen (szivattyús/dugattyús/mélységi) erősen befolyásolta a vizsgálható paraméterek körét.

A BAF-2 fúrásban 3 mélységközből történt vízvizsgálat, a kisebb mélységből származó minták azt mutatják, hogy a kőzetek erősebb tektonikai igénybevétele miatt az oxidációs zóna, felszíni vizek nagyobb mélységbe hatoltak le. A Bodai Agyagkő Formáció korábbi fúrásokból ismert vízkémiai jellegzetességeit csak a hozzávetőleg 860-885 m mélységből származó minta mutatta. Vize semleges pH-jú, Na-SO_4-os típusú, nyomelemeket – a BAF-ra jellemző B, Li, Sr, elemeken kívül – alacsony koncentrációban tartalmaz, vízben oldott gázok közül a szén-dioxid volt legnagyobb arányban jelen. A legnagyobb mélységből származó minta korát nem sikerült megállapítani, a ^{14}C (DIC) értékek alapján jóval idősebb, mint a kisebb mélységből származó minták. Korábbi vizsgálati eredmények alapján a BAF pórusvizének kora 18300-30000 év.

A BAF-1, -1A fúrások a BAF fedőképződményeit harántolták, Kővágószőlősi Homokkő Formációt összefogazódva a Cserdi Formációval. Az oxidációs zóna a nagymértékű tektonizáltság miatt a BAF-2 fúrásban tapasztaltnál is mélyebbre hatolt. A feltárt vizek víztípusa Ca-Mg-HCO_3-os, illetve $NaHCO_3$-os, semleges, enyhén lúgos pH mellett nyomelemeket alacsony koncentrációban tartalmaznak, s jóval fiatalabb vizek, mint a BAF-2 fúrás vizei.

A későbbiekben javasolt a mintavételi technika fejlesztése, valamint a megvett mintákból szerves és szervetlen komplexek vizsgálata.

Kulcsszavak: BAF, BAF-2, BAF-1,-1A, vízminta, víztípus, stabil izotóp

Bevezető

A mélyfúrások mélyítése során a geofizikai áramlásmérések által és pakkeres vizsgálatok által kimutatott magasabb vízvezető képességű szakaszokon víztermelés történt vízmintavétel és laborvizsgálatok végzése, azaz a harántolt földtani képződmények a BAF, illetve fedő

képződményeinek vízkémiai jellemzése céljából. A vízkémiai viszonyok ismerete több szempontból is nagy fontossággal bír: vízkémiai és vízkor adatok a numerikus vízföldtani modellek validálására használatosak; továbbá a földtani alkalmasság megítélése szempontjából behatóan vizsgálandóak (pl. agresszív vizek); a vízkémiai alapállapot ismerete nélkülözhetetlen a tervezett tárolóból kijutó esetleges szennyeződés térbeli és időbeli terjedésének előrejelzéséhez [1].

1. BAF-2 fúrás vízmintavételi, vízkémiai eredményei

1.1. Vízmintavétel

A BAF-2 fúrásból 3 db mélységi vízmintavétel történt. A pakkeres hidraulikai aktív tesztet követően, szivattyúzással és/vagy dugattyúzással végzett tartós víztermelés során került eltávolításra a fúrólyukból a fúráshoz használt technológiai víz. A víztermelés minden esetben olyan szakaszból történt, melynek vízvezető képessége, transzmisszivitása meghaladta a 10^{-8} m^2/s értéket. A tartós víztermelések során folyamatosan nyomon követtük a termelés hozamát és a kitermelt víz nyomjelzőanyag koncentrációját. Vízmintavétel akkor történt, ha a kezdeti (öblítővízben mért) értékhez képest a legfeljebb 3% (esetenként 5%)-os nyomjelzőanyag-koncentrációt sikerült elérni. A vízmintavételt a MECSEKÉRC Zrt. a NAT által 1370-1/2012 számon akkreditált laboratóriuma végezte, az MSZ ISO 5667-11:2012 szabvány előírásainak betartásával. A vízmintavételek során mért helyszíni paramétereket az 1. táblázat foglalja össze. A 3. mintázás alkalmával a mélységi vízmintavétel karotázs kocsiról működtetett kábeles mintavevővel történt (ez több szempontból technikai korlátot jelent pl. kitermelhető vízmennyiség tekintetében, illetve a folyamatos vízáram hiánya korlátozza, kizárja egyes komponensek megvételét (pl. szeparált gázok, nemesgázok).

1. táblázat: Vízmintavételek során mért helyszíni paraméterek [2]

Minta-kód	*Minta azonosítása*	*Dátum*	$T_{víz}$	*pH*	*Vez.kép.*	*Oldott O_2*	*Redox.-pot.*	*F^-*	*SO_3^{2-}*
Mérési módszer			-	MSZ 1484-22:2009	MSZ EN 27888:1998	MSZ EN 25814:1998	E-Hl:1994	Terepi spektrofotometria	
Kimutatási határ			-	-	2,0	0,1	-730	2	
Mértékegység			°C	-	µS/cm	mg/dm^3	mV	mg/dm^3	
F-26768	BAF-2 309,53-336,33m	2014.05.26	19,90	8,45	831,00	<0,1	-259,00	0,90	0,37
A-50023	BAF-2 483,80-508,77m	2014.06.26	19,50	8,70	962,00	0,66	-118,00	>2,0	0,26
F-27118	BAF-2 860,01-885,97m	2014.08.13	25,10	7,59	5440,00	<0,1	-147,00	1,90	0,10

Az eltérő vízkémiai jelleg már a helyszíni paraméterekben is megmutatkozott: az 1.-2. minta víz-hőmérséklete 19°C-os volt, vezetőképessége 800-900 µS/cm, ugyanez a 3. minta esetében 25,1 °C, 5440 µS/cm volt.

1.2. Általános vízkémiai paraméterek

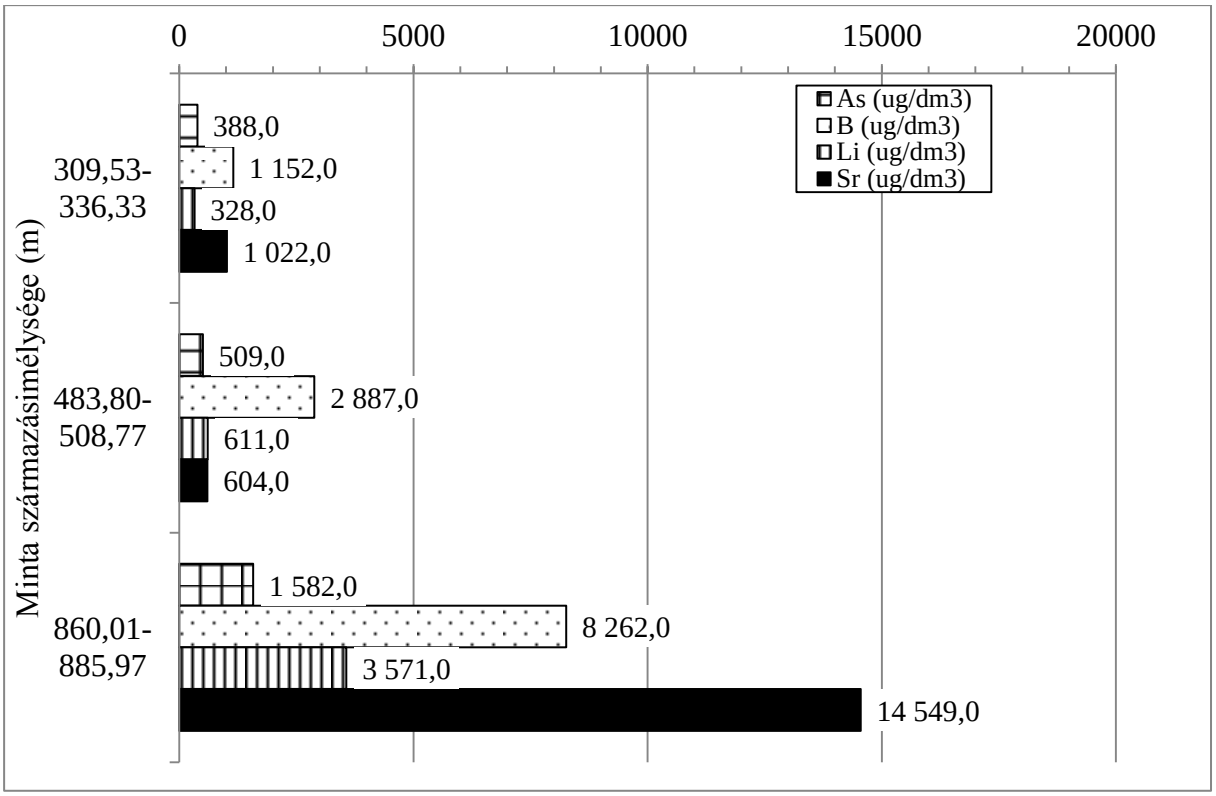
A BAF-2 fúrásból vett 3 db vízminta általános vízkémiai paramétereit Piper-diagramon ábrázolva (2. ábra) látszik, hogy a felső két minta hasonló, $NaHCO_3$-os víztípust mutat, míg a 3. 860 m-ből származó minta ezektől lényegesen eltérő, $NaSO_4$-os jellegű. Az első két minta hidrogénkarbonátos jellege feltehetően annak is köszönhető, hogy a BAF-2 fúrásban az erős tektonikai igénybevétel miatt jóval vastagabb a felszíni mállott zóna, a felszínről a vizek mélyebbre hatoltak le és alakították át a kőzeteket.

A vízkémiai adatokban jelentkező különbségek egyértelműen megjelennek a nyomelem-tartalom esetében is. A három legmagasabb koncentrációban jelen lévő elem a B, a Li, és a Sr tipikusan a BAF-ból származó mélységi vizekre jellemző nyomelem (1. ábra, 2. táblázat). Egyértelműen jellemzik a BAF fáciesét. Szemiarid-arid klímán felhalmozódott sós tavi, illetve sós iszapsíkság üledék, melyre kifejezetten jellemző ezen elemeknek a dúsulása. Ide sorolandó a jód is, mely szintén az F-27118 jelű mintában a legmagasabb, a jód is az evaporitos környezetben dúsul [2]. A magasabb arzéntartalom egy része a fúrásban kimutatott pirittartalomból is eredhet.

2. táblázat: A BAF-2 fúrás néhány vízkémiai alapparamétere, összevetve a BAF-ra jellemző értékekkel [2] [5]

Komponens	*Mérési módszer*	*Kimutatási határ*	*Dimenzió*	*F-26768*	*A-50023*	*F-27118*	*BAF*		
							Min.	*Max.*	*Közép*
pH	MSZ 1484-22:2009	-	-	8,50	8,90	7,60	-	-	-
Fajl. Vezk.	MSZ EN 27888:1998	1,0	µS/cm	780,0	960,0	5820,0	-	-	-
Bepárlási maradék	MSZ 448-19:1986	3,0	mg/dm^3	515,0	685,0	5000,0	420	7300	2000
Na	MSZ EN ISO 11885:2009 MSZ 1484-3:2006	0,08	mg/dm^3	163,0	202,0	1012,0	25,0	2300	700
K	MSZ EN ISO 11885:2009 MSZ 1484-3:2006	0,16	mg/dm^3	1,69	2,94	24,7	<5	56,0	7,0
Ca	MSZ 448-3:1985	2,0	mg/dm^3	6,80	6,8	279,0	6,8	279,0	80,0
Mg	MSZ 448-3:1985	2,0	mg/dm^3	5,50	6,9	69,0	5,5	84,0	17,0
Hidrokarbonát	MSZ 448-11:1986	6,0	mg/dm^3	451,0	512,0	287,0	122	3540	850
Karbonát	MSZ 448-11:1986	3,0	mg/dm^3	18,0	12,0	<3	-	-	-
Szulfát	MSZ EN ISO 10304-1:2009	5,0	mg/dm^3	28,0	75,0	3000,0	14	5040	750
Klorid	MSZ EN ISO 10304-1:2009	1,0	mg/dm^3	4,0	7,0	40,0	3,0	370	25
Rn-222 aktivitás	E-R1:2011	5,0	Bq/dm^3	25,0	40,0	28,0	-	-	-
Fe	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,6	µg/dm^3	1219,0	28,5	2910,0	<5	7100	750
	MSZ EN ISO 11885:2009 MSZ 1484-3:2006	4,0							
Mn	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,02	µg/dm^3	38,9	8,1	174,0	1,0	170	50
	MSZ EN ISO 11885:2009 MSZ 1484-3:2006	5,0							
As	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,1	µg/dm^3	388,0	509,0	1582,0	-	-	-
B	MSZ EN ISO 17294-2:2005	1,0	µg/dm^3	1152,0	2887,0	8262,0	24	22000	8000
Ba	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,1	µg/dm^3	88,1	65,7	100,0	5	227	125
I	E-K7:2014	2,0	µg/dm^3	10,7	34,5	106,0	-	-	-
Li	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,1	µg/dm^3	328	611	3571	-	-	-
Sr	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,05	µg/dm^3	1022	604	14549	400	14550	2800
U	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,05	µg/dm^3	0,46	0,10	0,94	0,1	160	0,2
Zn	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,2	µg/dm^3	24,1	<0,2	40,6	-	-	-

A mérési módszer és kimutatási határok az újonnan elvégzett vizsgálatokra vonatkoznak



1. ábra: BAF-2 vízminták As, B, Li és Sr tartalma

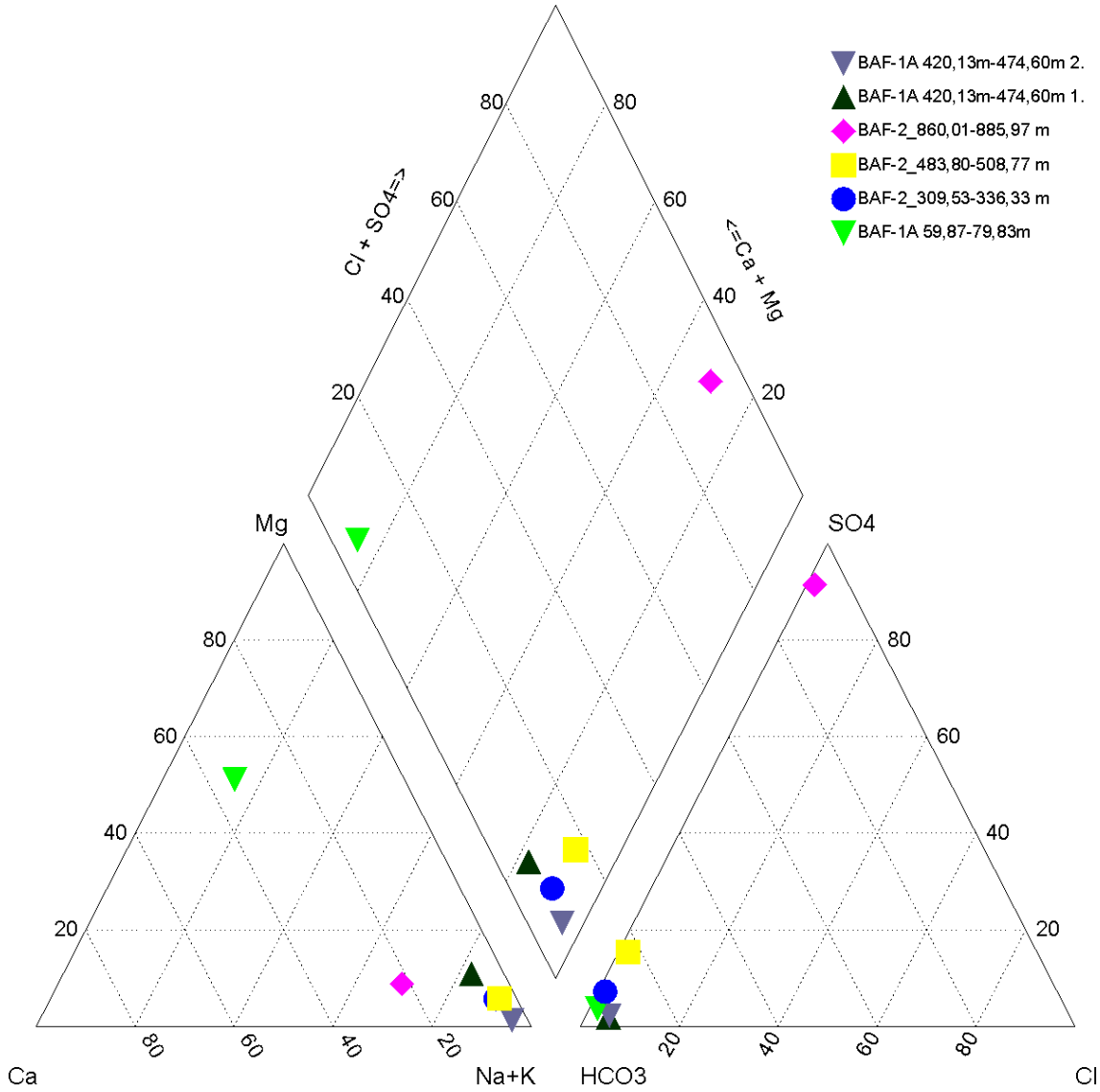
A vízkémiai jellegek és a nyomelem összetétel alapján az F-27118 jelű vízminta képviseli leginkább a BAF formáció vizét. Az F-26768 jelű minta esetén a felszíni lehatoló vizek hatása egyértelműen jelentkezik, a három minta közül a legtávolabb van a BAF-ra jellemző formáció víztől. Az A-50023 jelű minta kémiai jellegét tekintve az F-26768-as mintára hasonlít, míg nyomelem összetétele már az F-27118 jelű mintához mutat hasonlóságot.

1.3. Izotóphidrogeokémiai vizsgálatok

A felső két minta δD és $\delta^{18}O$ értékei hasonlóak, ám a korábbi mélységi vizektől (Alfa-vágat) eltérőek, míg az F-27118 jelű minta eredményei (-80,1, 10,86 [‰]VSMOW) már hasonlóak. A felső 2 mintában a $\delta^{13}C$ között kismérvű különbség van, ami eredményezi a szinte megegyező ^{14}C vízkorokat is, a két minta vízkora 18900, illetve 18300 év. Az F-27118-as mintából nem történt $\delta^{13}C$ meghatározás, viszont mindhárom mintából elkészült a ^{14}C (DIC) meghatározás. A mért értékek az F-26768 és az A-50023 minta esetén igen hasonlóak (3,72 ill. 3,11), míg az F-27118-as mintánál ez az érték (8,97) csaknem háromszorosa az előző kettőnek. Ez valószínűleg idősebb vízkorral is társul [2]. A BAF-ra jellemző vízkor az eddigi vizsgálatok alapján 18300-37000 év [4][5].

A sekélyebb mélységből származó mintákban a trícium mennyiségek a kimutatási határérték alattiak (<0,05 Bq/l), amit megerősítenek a T/^{3}He nagyobb pontosságú meghatározások is, mért értékek 0,003 illetve 0,0051 Bq/l).

Általános gázvizsgálat a legalsó mélységközből származó mintából volt lehetséges. A mintában szabadgáz összetételében abszolút uralkodó a nitrogén (94,59 térfogat %), mellette kis-mennyiségű oxigén (3,46 térfogat %) és szén-dioxid (1,28 térfogat %), illetve minimális metán (0,67 térfogat %) van jelen. A vízben oldott gáz összetételében a szén-dioxid dominál (55,75 térfogat %), melyet a nitrogén követ (40,08 térfogat %), emellett kismennyiségű oxigén van jelen (3,27 térfogat %), illetve 0,90 térfogat % metán.



2. ábra: BAF-2 és BAF-1A vízminták víztípusa Piper-diagramon

2. BAF-1,-1A fúrások vízmintavételi, vízkémiai eredményei

2.1. Vízmintavétel

A BAF-1 és BAF-1A fúrásból 3 db mélységi vízmintavétel történt a BAF fedőképződményeiből, hiszen a fúrás Kővágószőlősi Homokkő Formáció és Cserdi Formáció összefogazódását harántolta 18,70 – 474,60 m mélységközben. A BAF-1A fúrás az I. ütem végén megfigyelőkúttá lett kiképezve, tisztítókompresszorozást, majd állandó hozamú víztermelést követően 59,87-79,83 m mélységből F-27131 mintaszámmal történt mintavétel.

A BAF-1 fúrásból pakkeres mérést követően a kőzet állékonysága és az alkalmazott nagy sűrűségű fúróiszap miatt mintavétel nem történt.

A BAF-1A fúrás II. ütemében pakkeres hidraulikai teszteket követően 420,13-474,60 m mélységből történt vízmintavétel A-50589 és F-27502 mintaszámmal, karotázs kocsiról működtetett kábeles mélységi vízmintavevővel. A víztermelések alatt a BAF-2 fúráshoz hasonlóan ugyancsak víztermelések során folyamatosan nyomon követtük a termelés hozamát és a kitermelt víz nyomjelző-anyag koncentrációját.

3. táblázat: Vízmintavételek során mért helyszíni paraméterek [3]

Minta-kód	*Minta azonosítása*	*Dátum*	*$T_{víz}$*	*pH*	*Vez.kép.*	*Oldott O_2*	*Redox.-pot.*	*F^-*	*SO_3^{2-}*
Mérési módszer			-	MSZ 1484-22:2009	MSZ EN 27888:1998	MSZ EN 25814:1998	E-Hl:1994	Terepi spektrofotometria	
Kimutatási határ			-	-	2,0	0,1	-730	2	
Mértékegység			°C	-	µS/cm	mg/dm^3	mV	mg/dm3	
F-27131	BAF-1A 59,87-79,83 m	2014.08.18	17,2	7,47	751,0	<0,1	-185,0	0,4	<0,1
A-50589	BAF-1A 420,13-474,60 m	2014.11.18	-	8,30	1240,0	-	-	0,6	0,1
F-27502	BAF-1A 420,13-474,60 m	2014.11.21	21,0	8,21	1110,0	0,89	-30,0	0,7	0,2

Az eltérő vízkémiai jelleg már a helyszíni paraméterekben is megmutatkozott (3. táblázat): az 1. minta vízhőmérséklete 17°C-os volt, vezetőképessége 751 µS/cm, ugyanez a 2-3. minta esetében 21,0 °C, 1100-1200 µS/cm volt.

2.2. Általános vízkémiai paraméterek

Az általános vízkémiai paramétereket víztípus-diagramon ábrázolva (2. ábra) látszik, hogy a legfelső minta Ca-$MgHCO_3$-os víztípust mutat, míg a 2. és 3. 420,13-474,60 m-ből származó minták ettől lényegesen eltérő, $NaHCO_3$-os jelleget mutatnak. A legfelső minta bepárlási maradéka 515 mg/dm^3 volt, alumínium tartalma alacsony, bárium tartalma kissé magasabb: 392 µg/dm^3. Vas-, mangán tartalma magasabb, mint a mélységi mintáké. A nagyobb mélységből származó minták bepárlási maradéka jelentős, 4800-8500 mg/dm^3, bórtartalmuk is magasabb: 600-573 µg/dm^3 (4. táblázat).

4. táblázat: BAF-1A fúrás néhány vízkémiai alapparamétere [3]

Komponens	*Mérési módszer*	*Kimutatási határ*	*Dimenzió*	*F-27131*	*A-50589*	*F-27502*
pH	MSZ 1484-22:2009	-		7,60	8,00	8,30
Fajl. Vezk.	MSZ EN 27888:1998	1,0	µS/cm	790,00	1 230,00	1 090,00
Bepárlási maradék	MSZ 448-19:1986	3,0	mg/dm^3	515,00	8 525,00	4 865,00
Na	MSZ EN ISO 11885:2009 MSZ 1484-3:2006	0,08	mg/dm^3	27,90	270,00	262,00
K	MSZ EN ISO 11885:2009 MSZ 1484-3:2006	0,16	mg/dm^3	4,74	6,14	4,97
Ca	MSZ 448-3:1985	2,0	mg/dm^3	63,00	19,00	7,69
Mg	MSZ 448-3:1985	2,0	mg/dm^3	57,00	19,20	1,91
Hidrokarbonát	MSZ 448-11:1986	6,0	mg/dm^3	519,00	750,00	714,00
Karbonát	MSZ 448-11:1986	3,0	mg/dm^3	< 3,00	24,00	< 3,00
Klorid	MSZ EN ISO 10304-1:2009	5,0	mg/dm^3	5,00	22,00	21,00
Szulfát	MSZ EN ISO 10304-1:2009	1,0	mg/dm^3	16,00	12,00	14,00
Rn-222 aktivitás	E-R1:2011	5,0	Bq/dm^3	55,00	-	167,00

Komponens	*Mérési módszer*	*Kimutatási határ*	*Dimenzió*	*F-27131*	*A-50589*	*F-27502*
Fe	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,6	µg/dm^3	3 490,00	593,00	781,00
Mn	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,02	µg/dm^3	270,00	66,30	75,40
As	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,1	µg/dm^3	15,90	60,50	72,60
Al	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,1	µg/dm^3	52,3	274,0	378,0
B	MSZ EN ISO 17294-2:2005	1,0	µg/dm^3	86,10	600,00	573,00
Ba	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,1	µg/dm^3	392,00	553,00	649,00
I	E-K7:2014	2,0	µg/dm^3	9,22	31,00	27,30
Li	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,1	µg/dm^3	50,10	441,00	417,00
Sr	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,05	µg/dm^3	611,00	360,00	314,00
U	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,05	µg/dm^3	7,42	3,10	0,66
Zn	MSZ EN ISO 17294-2:2005	0,2	µg/dm^3	127,00	331,00	245,00

A legfelső minta egy a csapadék, illetve oxidációs folyamatok által erősebben befolyásolt vízminőséget mutat, a nagyobb mélységből származó minták már átmenetet mutatnak a mélységi vizek felé. A minták hidrogén-karbonátos jellege feltehetően annak is köszönhető, hogy a BAF-1A fúrásban – a BAF-2-nél is – mélyebbre hatolt a mállott, tektonizált zóna [3]. Minthogy a BAF fedőkőzetből történt mintavétel, a BAF-ra jellemző elemek (B, Li, Sr) koncentrációja alacsony.

2.3. Izotóphidrogeokémiai vizsgálatok

Trícium vizsgálat az első és az utolsó mintából történt, koncentrációja mindkét mintában kimutatási határ alatti, amit megerősítenek a T/^{3}He nagyobb pontosságú meghatározások is, mért értékek 0,0017 illetve 0,0059 Bq/l. A felső minta vízkora 536 év (meghatározás hibája 711 év), míg a mélységi mintáké 6700-8900 év. Az alsó két minta δD és δ^{18}O értékei közel azonosak (δ^{18}O -11,61 ill. -11,77 [‰]VSMOW), lévén, hogy ugyanabból a mélységből származnak, tőlük jelentősen eltér a felszín közeli minta stabil oxigén-és hidrogénizotóp tartalma (-9,75). Ugyanez mondható el δ^{13}C esetében is (-11,01, -7,69, -8,09 [‰]VPDB).

Gázvizsgálatok közül az F-27502 mintából volt elvégezhető a vízben oldott gázok vizsgálata, a minta nem tartalmazott szeparálható gázfázist. A vízben oldott gáz összetételében a nitrogén dominál (60,12 térfogat%), melyet a szén-dioxid követ (31,18 térfogat%). A két abszolút domináns fázis mellett kismennyiségű metán van jelen (5,59 térfogat%), illetve 3,11 térfogat% oxigén.

Irodalom

[1] Tungli Gy., Molnár P., Nagy Z., Török P. (2013): A Bodai Agyagkő Formáció Földtani kutatása Kutatási terv, RHK-N-005/12

[2] Sámson M. (szerk.), Hámos G., Máthé Z., Mázik J., Mészáros A., Vágó Z. (Mecsekérc Zrt.), Bernáth Gy., Gärtner D., Prohászka A. (Geo-Log Kft.), Kovács A. Cs. (MFGI), Andrássy M., Dankó Gy., Korpai F., M. Zieger (Golder Zrt.), Konrád Gy., Halász A., Sebe K. (Mérce Bt.), Kovács L., Zierkelbach-Kovács B., Somodi G. (Kőmérő Kft.), Ács P., Fedor F., Horváth J., Koroncz P. J. (GEOCHEM Kft.) (2014): BAF-2 fúrás dokumentáló és értékelő jelentése. RHK-N-011/14 – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Irattár

[3] Sámson M. (szerk.), Hámos G., Máthé Z., Mázik J., Mészáros A., Vágó Z. (Mecsekérc Zrt.), Bernáth Gy., Gärtner D., Prohászka A. (Geo-Log Kft.), Andrássy M., Korpai F., (Golder Zrt.), Konrád Gy., Halász A., Sebe K. (Mérce Bt.), Kovács L., Rátkai O., Somodi G., Zierkelbach-Kovács B., (Kőmérő Kft.), Ács P., Fedor F., Horváth J., Koroncz P. J. (GEOCHEM Kft.) (2015):

BAF-1 és -1A fúrás dokumentáló és értékelő jelentése. RHK-N-003/15 – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Irattár

[4] Kovács L. (szerk), Árgyelán T., Bodoky T., Csicsák J., Földing G., Dr. Geiger J., Geoservice Kft., Kovács A. Cs., Dr. Mentes Gy., Molnár P., Ország J., Schubert B., Dr. Várhegyi A., Vendégh R. (2010): 2004-2008 évi összefoglaló monitoring-jelentés, RHK-N-017/10

[5] Nagy Z. (szerk) et al. (2015): CCCU Database Boda Claystone Formation – Chapter A.

Hidrotermális ujjlenyomatok a Bodai Agyagkő Formáció kőzetein

Hydrothermal fingerprints on the rocks of the Boda Claystone Formation

FÖLDESSY JÁNOS[1], NÁDASI JÁNOS[1],
MÁTHÉ ZOLTÁN[2]

[1]*Miskolci Egyetem MFK Ásványtani-Földtani Intézete,*
foldfj@uni-miskolc.hu, janos.nadasi@gmail.com;
[2]*Mecsekérc Zrt., mathezoltan@mecsekerc.hu*

Abstract

Before the developement of a high-level radioactive waste disposal facility, it is important to clarify the economic importance of the chosen formation in the role of the possible raw materials. During our work, the reductive layers of the Boda Claystone Formation were investigated.

Beside the macroscopically observeable pyritization chalcopyrite occurance was also detected, mainly linked with the albite grains, they appeared on the edges of the albites. Several monazite grains had younger, chemically different monazite overgrowth marks.

Our investigation had clarified, that the BAF-2 drilling did not penetrate any possible ore-mineralisation, but the geochemical anomalies at the upper zone need further investigations.

Összefoglaló

A nagy aktivitású hulladéklerakó létesítése előtt fontos tisztázni a kiválasztott formáció gazdasági jelentőségét az ásványi nyersanyagok szempontjából. Munkánk során a Bodai Agyagkő Formáció reduktív rétegeit vizsgáltuk.

Kimutatásra került, hogy a makroszkóposan megjelenő piritesedés mellett kalkopirit is megjelenik a mintákban, főleg az albit szemcsékhez kötve, azok peremén. Több monacit szemcse továbbnövekedési bélyegekkel jelentkezett.

Vizsgálataink kimutatták, hogy a BAF-2-es fúrás ércesedést nem harántolt, de a fúrás felső részében megjelenő geokémiai anomáliák további vizsgálata szükséges.

Kulcsszavak: réz, szulfid, pirit, BAF-2

Bevezető

A nagy és hosszú életű mérnöki létesítmények létesítését napjainkban előkészítő földtani kutatások előzik meg. Ez történt a BAF nagy aktivitású radioaktív hulladéktároló helyszín kiválasztása esetében is. A földtani kutatások egyik célja, hogy a területet egyéb lehetséges hasznosítás szempontjai szerint is megvizsgálják, hiszen egy hosszú időtartamú létesítmény a befogadó kőzet környezetet számos egyéb felhasználási célra alkalmatlanná teszi, sterilizálja. Az egyik ilyen szempont az, hogy van-e a fejlesztendő területen jelentős értékű, kitermelésre is alkalmas ásványi nyersanyag. Vizsgálataink a BAF mintaanyagain ezt a szempontot kívánták tisztázni, az RHK Kft., a Miskolci Egyetem és a Mecsekérc Zrt. együttműködésével.

1. Ércesedések hasonló földtani környezetekben

A vörös kontinentális üledékekben az uránium érc telepek közismerten gyakoriak. Emellett az üledékes környezetekben jelentkező réz ércesedések egyik típusa is oxidatív kőzetekben, vörös üledékekben jelentkezik [1]. Ezek jelentős részben a vörös üledékek (homokkő, agyagkő) reduktív zónáihoz kötöttek, és a réz, egyéb szulfidok kiválásában szerves anyag maradványok játszhatnak fontos szerepet. Ilyen előfordulás a világ nagy rézérc telepei közül például a kongói Roan új-

proterozós rétegcsoport réz-ércesedése [2]. A lengyelországi permben a rézpala alatti permi homokkő oxidatív környezetében Au, Pt dúsulásokat ismertek fel és kutattak meg [3].

2. Elődeink ismeretei a permi képződmények színesfém ércesedéseiről

A MÉV szakembereinek megfigyelése szerint a Kővágószőlősi Homokkő alsó tagozatában nagy elterjedésben jelentkezik Cu-U-V ércesedés, melynek genetikai értékelésével behatóan foglalkoztak, ezt az ún. alsó tarka határfácieshez kapcsolódónak értékelték. A vizsgálatok során alkalmazott színképelemzési és XRD módszerek fél-kvantitatívak, a mai módszerek pontosságához nem hasonlíthatók, de az optikai mikroszkópiai módszerekkel igen alapos ásványfázis azonosítások születtek. Különösen figyelemreméltó az a megállapítás, hogy a réz dúsulások pirit szegény vagy pirit-mentes szakaszokban jelentkeznek (így felismerésük valószínűleg nehéz) [4].

A korábbi kutatások legfontosabb felismerése a perm-triász átmeneti képződményekhez kapcsolódó réz ércesedés. Ezt először 1965-ben ismerte fel a MÉV egyik geológusa [5], majd később részletes laboratóriumi vizsgálatok is születtek [6]. Az ércesedés a reduktív jellegű aleurolit kőzetekben jelentkezett. Későbbi vizsgálatok [7] jó analógiákat találtak a mecseki, illetve az iparilag nagyon jelentős sziléziai előfordulások között. Ez a szint a BAF kutatások területéről már hiányzott, így a mostani mintázások során ezt nem vizsgáltuk.

3. A BAF földtani kutatások során talált színesérc nyomok

A Bodai Aleurolit (Agyagkő) Formációt elsőként Barabás [7] különítette el önálló litosztratigráfiai egységként. Az 1980-as évek végétől 1995-ig a MÉV végzett hosszú időszakra kiterjedő megfigyeléseket a képződmények fizikai, állékonysági, hidrogeológiai jellegeire irányulva az Alfa-vágat(rendszer) néven ismert földalatti laboratóriumban [8].

A földalatti megközelíthetőség megszűnésével a radioaktív hulladéktároló területének lehetséges kiválasztására irányuló kutatások a Bodai Agyagkő Formáció távolabbi elterjedési területeire helyeződtek át. A programot 1999-ben felfüggesztették, majd 2004-ben újraindították, 2014-ben ismét átütemezték az újraindított kutatási programot. A korábbi, Goricai-blokk területére összpontosító kutatás keretében mélyült le több fúrás, többek között az Ib-4 fúrólyuk. Ebben egy szakasz nyomelemzéseiben jelentkezik jelentős Cu-Ag anomália, radioaktív U-dúsulással kisérve [9]. A reduktív réteg határzónájában elvégzett vizsgálatok más fúrásokban is (BAT-4 és Delta-9 számú fúrások) Cu-anomáliát jeleztek. A rezet hordozó ásvány a kalkopirit volt, a Delta-9 számú fúrás esetén szabad szemmel is láthatók voltak a kalkopirit kristályok egy vékony zónában.

A BAF új földtani kutatási programja összeállításakor már szóba került a BAF képződményekben előforduló ércesedések esetleges vizsgálata. A BAF-2 fúrásban 150-153 m és 234,5-235,5 m között a BAF-on belül két reduktív zónát harántoltak, amelyekhez hintett piritesedés és markáns gamma-anomália is kapcsolódik. A mikroszonda vizsgálat az egyik szakaszban kimutatta a kalkopirit jelenlétét. Ez a vizsgálat a fúrás felső reduktív zónájából készült (G-34417 jelű minta, BAF-2 jelű fúrás 153,87-153,95 m). Emellett a BAF alsó részén, a Fűzi Tagozatban, a fúrás 760 m alatti szakaszán a mélységgel egyre fokozódó pirithintés jelentkezik.

4. Mintavétel i és vizsgálati módszereink

A Mecsekérc Zrt-től az értékeléshez megkaptuk a korábbi mintavételek adatait és eredményeit a reduktív szakaszokból. A fúrásból korábban elvégzett vizsgálati komplexum (XRD, komplex agyagásvány vizsgálat, teljes kémia, nyomelemzés, mely ICP-AES és ICP-MS módszereket tartalmazza, mikroszonda vizsgálat) mintaanyagában megtalálhatók a pirites szakaszok mintái is.

Az általunk elvégzett mintázás célpontjában a BAF reduktív rétegei álltak. A BAF-2 fúrásban egy sekély- és egy mélyebb helyzetű településben is megjelentek a szürke, zöldesszürke rétegek.

Munkánk során törekedtünk a reprezentatív mintavételre. ICP-AES és ICP-MS vizsgálatra 33 minta került kiválasztásra, közülük egy kontrollmintaként az oxidatív, vörös rétegekből származott. A Miskolci Egyetemen 12 magmintát analizáltunk.

Az ICP méréseink az ALS Global verespataki laboratóriumában készültek. A Miskolci Egyetemen XRD, XRF, opak ásvány mikroszkópiai és elektron mikroszondás vizsgálatok alá vetettük a mintákat.

5. Vizsgálati eredmények

Az ércmikroszkópos és az elektronmikroszondás vizsgálataink eredményeként kijelenthető, hogy a szulfidok megjelenése az albitosodás utánra tehető, akár epigenetikus keletkezésük is lehetséges, mivel a kalkopirit, pirit szemcsék az albit szemcsék szegélyén jelentek meg.

A kémiai vizsgálatok alapján kétféle szulfid-ércesedés létezik. Az alsó szakasz csak piritet tartalmaz, míg a felső, sekélyebb mélységben elhelyezkedő változatos (Cu, U, Ba dúsulás) összetétellel jellemezhető.

Érdekesség, hogy az egyetlen aranyindikáció az oxidatív mintában jelentkezett.

Az elektronmikroszondás vizsgálataink során több monacit szemcsén fiatalabb, eltérő összetételű monacit kérgek megjelenését írtuk le. Ezek az albitosodás okozta elem-mobilizáció hatását tükrözik, de feltételezhetnek epigenetikus RFF mobilizációt is.

6. Az eredmények értelmezése

A BAF-2 fúrásban észlelt színesfém indikációk nem a behordott törmelékből származnak. Kialakulásuk az albitosodáshoz köthető, de feltételezhetnek epigenetikus ércesedést is.

A felső zónában található Cu, Ba, Ag, U anomáliák korlátozottan azonosíthatók a Vincze [4] által leírt Cu-U ércesedéssel, annak ellenére, hogy nem ugyanabban a rétegtani szintben, de hasonló geokémiai környezetben jelennek meg.

Az alsó zóna ettől eltérően csak pirites, számottevő dúsulás nem jelentkezik. A piritesedés oka egy feltételezett termokémiai szulfátredukció lehet, mely igen gyakori a mély helyzetű, betemetődő üledékekben.

A BAF-2 fúrás jelentős ércesedést nem harántolt. A felső zónában található geokémiai anomáliák viszont további vizsgálatoknak szolgálhatnak alapul.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők szeretnék megköszönni az RHK Kft.-nek az engedélyét, mely biztosította e munka elkészültét. Köszönetünket fejezzük ki a Mecsekérc Zrt.-nek a korábbi adatok átadását, valamint a frissen készült kémiai elemzések rendelkezésünkre bocsájtását illetően. Köszönjük a Miskolci Egyetem Ásványtani-Földtani Intézetének az együttműködést, műszeres vizsgálatokat és a humán erőforrást, melyek mind hozzájárultak munkánkhoz.

Irodalom

[1] Timothy S. Hayes, Dennis P. Cox, Nadine M. Piatak, and Robert R. Seal, II, (2010): Sediment-Hosted Stratabound Copper Deposit Model, USGS Scientific Investigations Report 2010-5070M, http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5070/m/.

[2] Cailteux, J. (1994): Lithostratigraphy of the Neoproterozoic Shaba-type (Zaire) Roan Supergroup and metallogenesis of associated stratiform mineralization. Journal of African Earth Sciences, 19., 279-301.

[3] Adam Glłuszek, Adam Piestrzyn´ski Ć Jadwiga Pieczonka (2002): Redbed-type gold mineralisation, Kupferschiefer, south-west Poland, Mineralium Deposita 37: 512–528.

[4] Vincze J. (1985): Réz-urán ércesedés a mecseki felsőpermben — Ásványtan-geokémiai szemelvények, Magyarhoni Földtani Társulat kiadása, Budapest.

[5] Várszegi K. (1965): Karbonátos rézásvány előfordulás a mecseki Éger-völgy alsó-triász rétegeiben Földtani Közlöny v. 95. pp. 436-437.

[6] Selmeczi B.-né (1967): Az alsó-triász réz anomáliák részletes ásványtani vizsgálata, MBFH Adattár, J.0234, J2897.

[7] Barabás A. (1955): A mecseki perm időszaki képződmények. Kandidátusi értekezés. MECSEKÉRC Zrt. Adattár, 93 p.

[8] Berta Zs., Csicsák J., Hámos G., Hideg J., Kovács L., Majoros Gy., Máthé Z., Nagy Z. (1995): Összefoglaló jelentés a Paksi Atomerőmű és a Mecseki Ércbányászati Vállalat között létrejött, H301M-4-1/93/k, valamint H301M-4-19/94 rendelési számú Vállalkozási Szerződések keretében elvégzett, a Bodai Aleurolit Formáció minősítését célzó munkálatok eredményeiről, Kézirat, MÉV Adattár, J-2666.

[9] Bodor S., Szakmány Gy., Józsa S., Máthé Z.: Petrology and geochemistry of the Upper Permian – Middle Triassic siliciclastic formations of the Ibafa-4 borehole (NW-Mecsek Mts., Hungary), CARPATHIAN JOURNAL OF EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCES 7: (4) pp. 219-230.

A B-3 árkolás szakmai előkészítése

Geological-geophysical Preparation of B-3 Trench

VÉRTESY LÁSZLÓ[1], FÜSI BALÁZS[1], GULYÁS ÁGNES[1], KISS JÁNOS[1], SŐRÉS LÁSZLÓ[1], ZILAHI SEBESS LÁSZLÓ[1], KONRÁD GYULA[2], SEBE KRISZTINA[2], HÁMOS GÁBOR[3]

[1]*MFGI, vertesy.laszlo@mfgi.hu;*
[2]*Mérce Bt.;*
[3]*MECSEKÉRC Zrt.*

Abstract

According to workprogramm of BAF the existence of neotectonics is to be investigated in manmade trenches as well. The proper site selection, that meets multiple site selection criteria, was supported by geological-geophysical studies. This paper presents the result of the investigation of an app. 1,5 km^2 area, covered by loess, delluvial and alluvial sediments. Processing of achive geophysical data, field measurements, and shallow drillings has outlined a part, where the depth of the of Pannonian doesn't exceed the 6 m. Speciality of the study, that application of large variety of methods improve the efficiency of site selection.

Összefoglaló

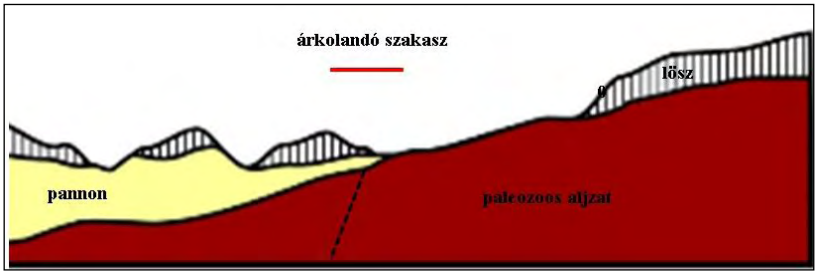
A BAF neotektonikai érintettségét árkolásos feltárásban is vizsgálni kell a kutatási program szerint. A többszörös feltételnek eleget tevő hely kiválasztására földtani-geofizikai előkészítéssel történt. Jelen munka a lösszel, áthalmozott lejtő és patak üledékkel fedett kb. 1,5 km^2 kutatását mutatja be. Az archív geofizikai adatok feldolgozása, új geofizikai mérések és sekélyfúrások által támogatott kutatások kijelölték azt a térrészt, ahol a pannon felszíne 6 m-en belül elérhető. A munka érdekessége a sokféle adat felhasználásával a feltételnek nem eleget tevő térrész kizárása a további munkákból, hatékonyan megoldható volt.

Kulcsszavak: Neotektonika, geofizika, pannonfelszín, archív adatok, geoelektromos mérések, gravitáció, sebességtomográfia, tranziens elektromágneses szondázás, mérnökgeofizikai szondázás

Bevezetés

Neotektonikai elemek kimutatását célzó árkolásos feltárás helyének előkészítése földtani meggondolások és geofizikai előkésztő munkák alapján történt. Jelen cikk a geofizikai munkák eredményét foglalja össze.

Az előkészítő munkák célja: olyan térrészek lehatárolása, ahol a pannon felszíne árkolással elérhető, vagyis mélysége kisebb, mint 6 m. Továbbá valószínűsíthető törészóna jelenléte, ideális esetben, az árkolás érje el a paleozoos felszínt. A meglehetősen speciális helyzetet az 1. ábraábra mutatja be. A kutatási terv értelmében a tervezés során lehetségesen megadott nyomvonalakat (2. ábra) egy külön munkafázisban, sekélygeofizikai módszerekkel kellett pontosítani. A tervben alkalmazandó módszerként, a kis mélységhez igazodóan, sokelektródás egyenáramú szelvényezés és mérnökgeofizikai szondázás szerepelt. A kutatásra Cserditől K-re egy 1,5 km^2 terület került kijelölésre. „A Bodai Agyagkő Formáció (BAF) földtani kutatása, I. Felszíni kutatási fázis 2. szakasz kivitelezése” keretébe tartozó kutatást a MECSEKÉRC Zrt. megbízásából a BTIX Kft., az MFGI bevonásával, a Mérce Bt., a GEOS Bt, és az ELGOSCAR Kft közreműködésével végezte el.

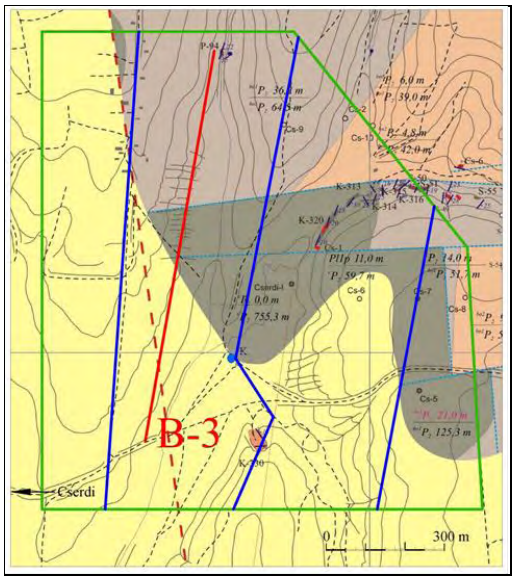


1. ábra: Optimális ároknyomvonali (elvi) helyzet

A pannon réteg alatt a palaeozoos felszín 6 m-es mélységen belül elérhető.

Az előkészítő munkák során az alábbi feladatokat kellet megoldani:

- a negyedidőszaki és pannóniai korú képződmények településének, elterjedésének, vastagságának, az alaphegység felszín alatti mélységének feltérképezése;
- a megadott területen belül olyan vonalszakaszok kijelölése, ahol lehetőleg pannóniai korú képződmények érhetőek el, kimutatott vagy feltételezett szerkezeti vonal felett, kis, árkolással elérhető mélységben (max. 6,0 m), ha lehetséges paleozoos alaphegység felszínére települve.



2. ábra: Lehetséges árkolási nyomvonalak a kutatás tervezése során

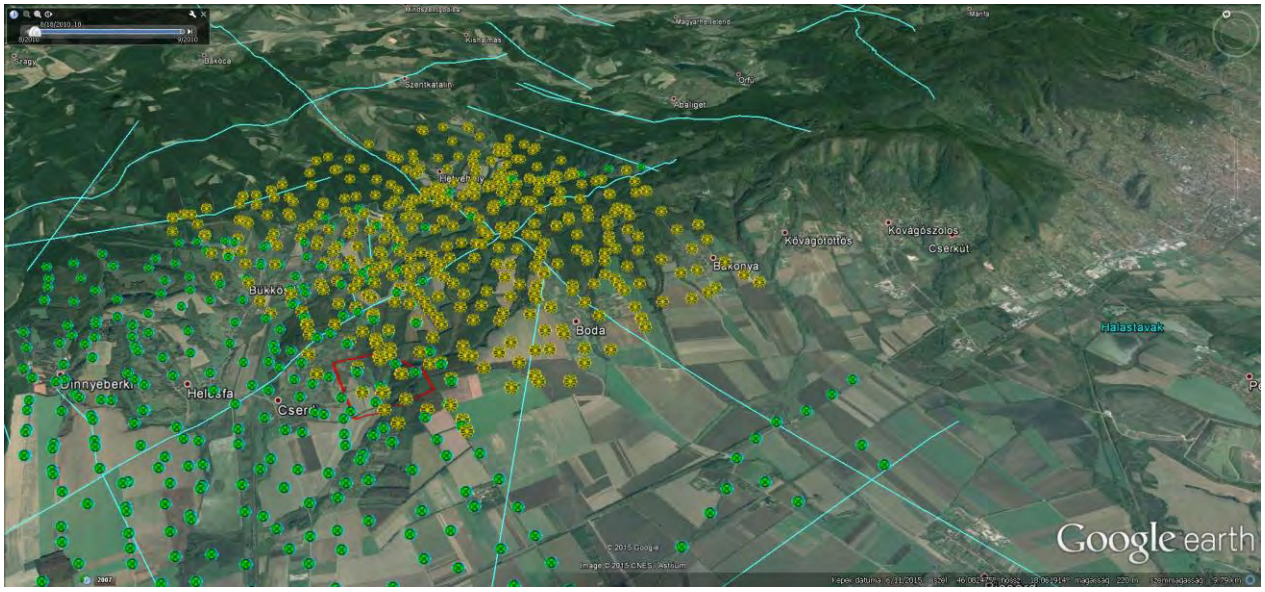
Sárga szín a pannóniai korú, barnás színek a palaozoos képződmények elterjedését mutatja. Zöld vonal: a kutatási terület határa.

1. Archív anyagok értékelése

A területen, illetve a terület közelében a korábbi évtizedekben több fázisban is történtek geofizikai mérések. A kijelölt kutatási területről az alábbi korábbi geofizikai méréseket találtuk:

- Gravitációs mérések [3];
- 3D szeizmikus tomográfia [4];
- Geoelektromos értelmezett szelvények [8];
- VESZ mérések 2002 [1];
- Sokelektródás szelvények, 2002 [7];
- CPT szondázások, 2002 [5];
- Mélyfúrás-geofizikai adatok (analóg, digitális) [2] [6].

Ezek eredményei azonban még nem épültek be a földtani modellbe. A BAF-kutatás korábbi fázisában, mélyszerkezet-kutatási céllal végzett mérések részben érintik a jelen kutatási területet (3. ábra).



3. ábra: Archív geofizikai mérések (mélyszerkezet-kutatás)

Kék vonalak: 2D szeizmikus vonalak, zöld pontok: gravitációs állomások, sárga pontok szeizmikus sebességtomográfia mérőpontjai.

Bár a kutatási cél egészen más volt, a mérések célirányos feldolgozásával, a jelenlegi kutatási feladat szempontjából is informatív eredményekre jutottunk. Mind a gravitációs, mind a sebesség tomográf mérések, meglepően változatos, aljzatmorfológiára utaltak, a korábban vártakat jelentősen, 100 m-t is meghaladó aljzat mélységgel (4. ábra).

A területre szórványosan eső sekélygeofizikai mérések és a Cse-16 fúrás eredményeit az előzetes modellbe építve meghatároztuk a terület geofizikai modelljét (1. táblázat).

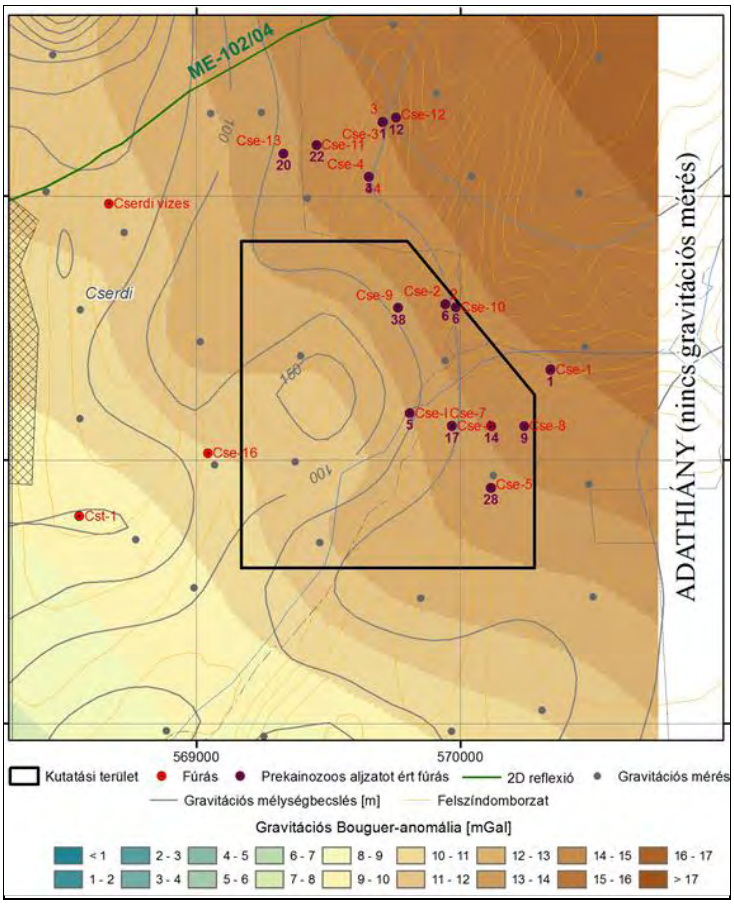
1. táblázat: A terület geofizikai modellje

Réteg	*Ellenállás-tartomány (ohmm)*	*Sűrűség (kg/m^3)*	*Sebesség (m/s)*
Fiatal (würm?) lösz	30–60	2200	<3000
Idős (würmnél idősebb?) lösz	15–20		
Pannóniai homok	40–60		
Miocén	20–40		
Aljzat	> 100	2600	>3000

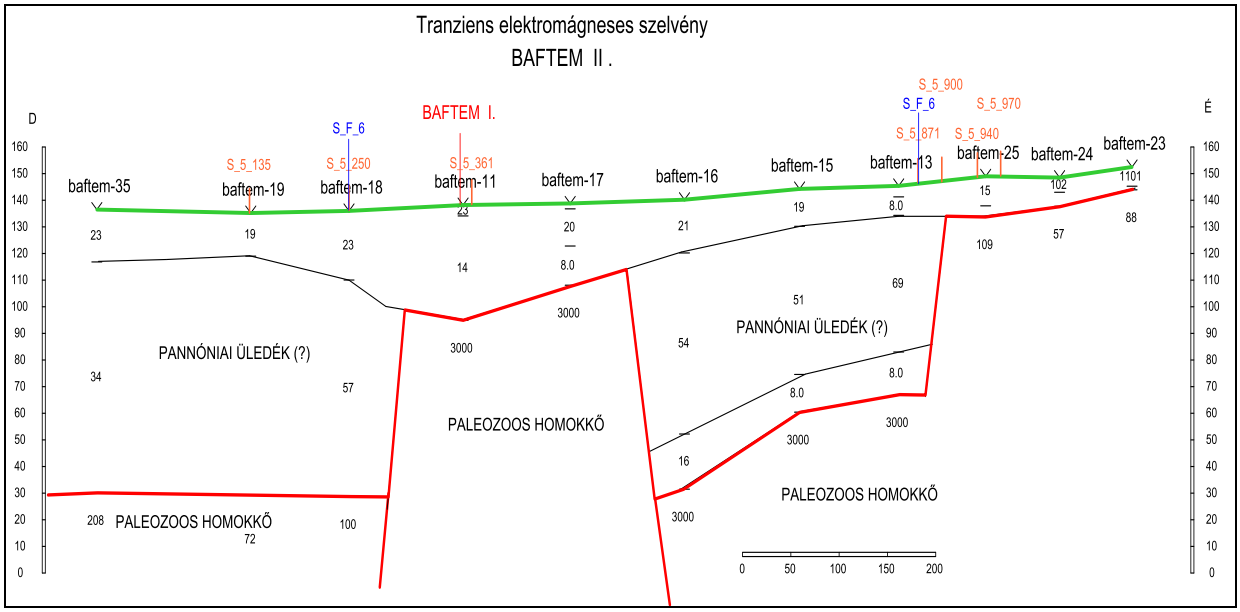
Újra értékeltük a kutatási tervet és a kutatást egy az archív adatok által jelzett nagyobb mélységek megismerésére is alkalmas tranziens elektromágneses módszerrel egészítettük ki.

2. Geofizikai mérések

A terepi munkákat egy kb. 50 pontból álló a 0–300 m mélységtartomány kutatására alkalmas tranziens EM módszertől vártuk az archív mérések által jelzett lokális aljzatkimélyülés megerősítését, lehatárolást. A mérési adatokat a geofizikai modellnek megfelelően paraméterezett 1D inverzióval dolgoztuk fel. Az inverziók eredményét szelvények (5. ábra) és térkép formájában ábrázolva, az archív mérések alapján várt aljzatdomborzat megerősítést nyert.



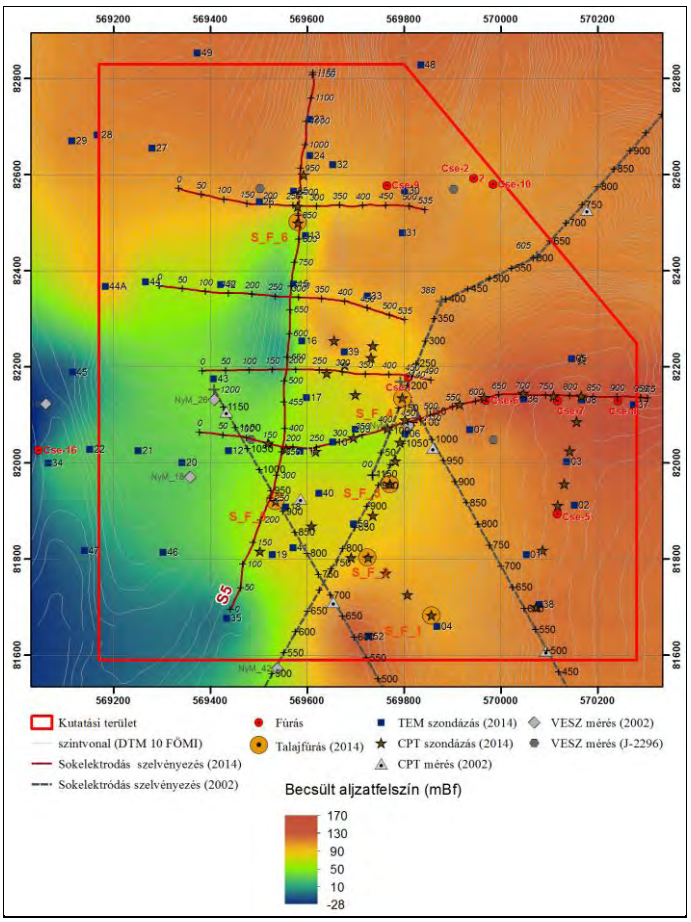
4. ábra: A terület gravitációs Bouguer-anomália térképe a gravitációs adatokból számított gravitációs mélység-becslés izovonalaival



5. ábra: A területet D–É-i irányban keresztező TEM szelvény

Az aljzatdomborzat durva meghatározása után tervezhetővé váltak az árkolásokra alkalmas területrészeken a nagyobb felbontású sokelektródás mérések. Öt szelvény mentén, 3650 m szelvényhossz lemérésével a felszín közeli 30 m-es térrész került megkutatásra, 5 m-es elektródaközzel. A mérések pontosították az aljzatkibúvások peremén az elmélyülés mértékét és

jellegét. A 6. ábrán bemutatott aljzatmorfológia az archív és a jelen kutatási fáázisban született mérés és fúrási adatok együttes értékelés alapján született.



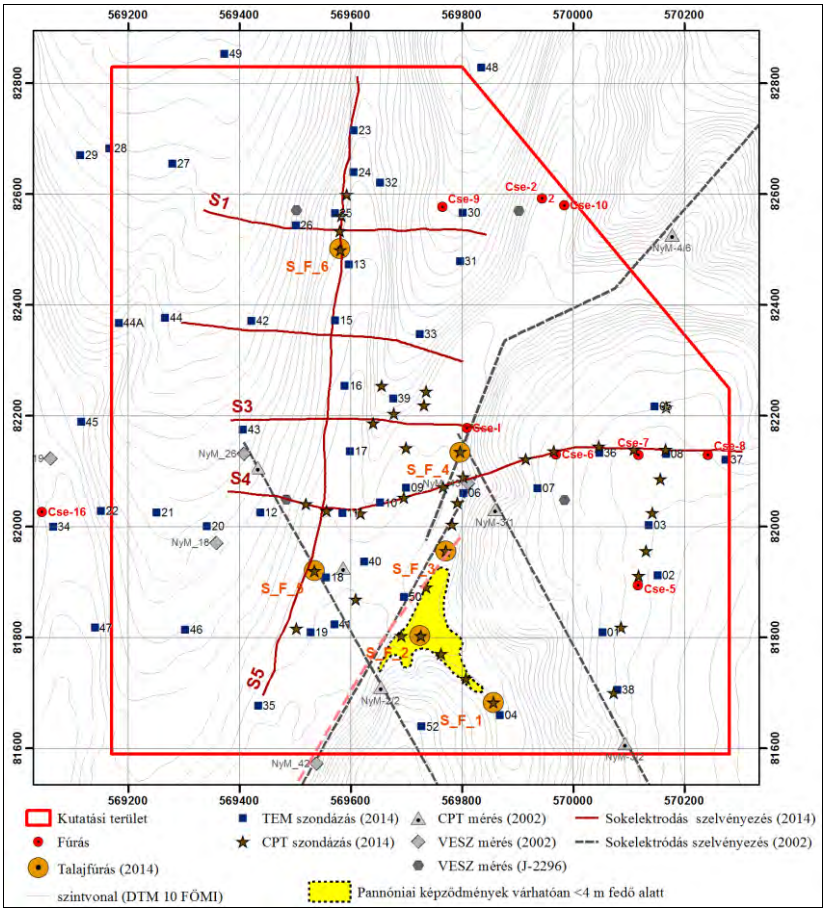
6. ábra: A geoelektromos mérések és az aljzatot ért fúrások alapján meghatározott aljzatfelszín-térkép

A geofizikai eredmények finomítására, kutatási tervnek megfelelően az árkolás közvetlen előkészítésében nagy felbontóképességű módszer, a CPT szondázás is alkalmazásra került. A jelen kutatásban a módszer egy továbbfejlesztett változatát az úgynevezett mérnökgeofizikai szondázást (MGSZ) alkalmaztuk, amely a mechanikai ellenálláson (csúcsnyomáson) kívül a fajlagos elektromos ellenállást, a természetes gamma potenciált, a térfogatsűrűséget, a neutronsűrűséget is megadta. Összesen 6 ponton (S_F_1 – S_F_6) sekélyfúrások kerültek lemélyítésre, amelyek biztosították a geofizikai módszerekkel elkülönített térrészek értelmezéséhez szükséges közvetlen földtani információt.

A kutatási területről korábban rendelkezésre álló földtani ismereteket jelentősen bővítette az utóbbi másfél évtizedben lefolytatott fúrásos és geofizikai kutatás. A földtani értelmezés során azokon a területeken, ahol nem állt rendelkezésünkre közvetlen (feltárt) információ, a geofizikai adatokra, azok értelmezésére hagyatkoztunk. Ezzel jelentősen változott az alaphegység felszínéről és a pannóniai képződmények elterjedéséről kialakított kép. A geofizikai értelmezés több, eddig ismeretlen, fiatal (a negyedidőszaki képződményeket is érintő) szerkezetalakulásra utaló jelenséget valószínűsített. Ezek egy része a tervezett kutatóárkokkal megismerhető, más részük további, fúrásos kutatást igényel.

A korábbi modellhez képest új szerkezeti elem jelent meg a Cserdi Cse–9 jelű fúrás környezetében, illetve attól délre, ahol az alaphegység meredek kimélyülésére utalnak az elektromos és a gravitációs mérések. Mivel a Cserdi Cse–9-es és Cserdi Cse–2-es jelű fúrásokban, valamint az S1–S2–S3 sokelektródás szelvények K-i oldalán az alaphegység felszíne sekély mélységben mutatható ki, meredek falú vetőt kell feltételeznünk. Az ilyen jellegű, zárt, meredek falú süllyedékek például

oldalelmozduláshoz kötődve, pull-apart medenceként jöhetnek létre. (A 10 000-es földtani térképen a Boda-büdöskúti-zóna északi határoló törése körülbelül itt húzódhat. Noha a zónában eddig nem dokumentáltunk pull-apart szerkezetet, előfordulása nem zárható ki.) Az ilyen süllyedékek keletkezési korát a kitöltő üledék kora adja meg. Az S_F_6 fúrás nagy vastagságú (talp 15 m) Tengelici Vörös Agyagot tárt fel, a feküje nem ismert. A szárazföldi üledék kivastagodása a Boda-büdöskúti övben késő-miocén – pliocén elmozdulásra utal. A másik értelmezési lehetőség, hogy a süllyedék egy Ny vagy DNy felé nyitott, meredek völgy, amely a miocénben vagy előtte, a hosszú lepusztulási időszakban alakult ki. Ennek ellentmondani látszik, hogy a geofizikai mérések szerint a süllyedék izometrikus és zárt. Annak eldöntéséhez, hogy a kimutatott anomáliák szinszediment süllyedéket jeleznek-e, legalább egy fúrás lemélyítése szükséges.



7. ábra: Pannóniai képződmények várhatóan <4 m fedő alatt

Árkolásra alkalmas területrészt D-en az S_F_2 fúrás környezetében lehetett lehatárolni. Ettől a fúrástól az S_F_1 irányában haladva láttunk lehetőséget a geofizikai mérésekkel kimutatott hegységperemi tektonikai elmozdulás feltárására. Az S_F_2 fúrástól ÉÉK-i és DDNy-i irányban a Boda–büdöskúti törésrendszer fiatal (késő-miocén szinszediment, vagy az utáni, a pannóniai képződményeket is érintő) hatásai jelentkezhetnek a pannóniai képződményekben.

Irodalom

[1] GEOS Bt. (2002): Jelentés. Az I. területen elvégzett agyag, agyagpala, márga, homok, homokkő, kavics és dolomit ásványi nyersanyagkutatás keretében végzett VESZ (Vertikális Elektromos Szondázás) mérésekről. — Kézirat. Mecsekérc Zrt. Irattára, Pécs. BA-02-61.

[2] Glöckner J.-né (1973): 37. téma. A Cserdi-környéki alsó perm átmeneti összlet kutatása. Összefoglaló jelentés az 1970-72. évi kutatási munkákról. — Kézirat. Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs. J-0236.

[3] Kiss J. (ELGI) (2005): Kutatási jelentés. A BAF 2004 évi erőtér-geofizikai mérések kivitelezése és kiértékelése. Minőségi teljesítés. — Kézirat. MECSEKÉRC Zrt. Adattára, Pécs. BAF05-B.2.1/2.

[4] Kovács A. Cs., Hegedűs E., Fancsik T. (ELGI) (2006): A 2004-ben végrehajtott 3D áttekintő szeizmikus tomográfiás mérések feldolgozása. — Kézirat. RHK Kft., Adattára, Budapest. RHK-N-001/06.

[5] Sasvári G. (Geo-S Bt.) (2002): Jelentés az I. területen végzendő agyag, agyagpala, márga, homok, homokkő, kavics és dolomit ásványi nyersanyagkutatás keretében végzett mérnök geofizikai szondázásról — Kézirat. MECSEKÉRC Zrt. Adattára, Pécs. BA-02-62.

[6] Szongoth G., Zilahi-Sebess L., Bánné Gy. E., Bartha Z. (Geo-Log Kft.) (2004): Egyedi fúrások, ill. kis fúráscsoportok értelmezése. A Bodai Aleurolit Formáció (BAF) kutatása során 2004-ben lemélyített sekélyfúrások (Het-4; Het-6; Bak-5; Cse-16; Eg-1; Eg-2) mélyfúrás-geofizikai méréseinek egyedi értelmezése. (Minőségi teljesítésként elkészített, végleges változat). — Kézirat. MECSEKÉRC Zrt. Adattára, Pécs. BAF04-A.2.1/3-2.6/3.

[7] Varga M., Kovács A. (KBFI-TRIÁSZ Kft.) (2002): Jelentés az I. területen végzendő agyag, agyagpala, márga, homok, homokkő, kavics és dolomit ásványi nyersanyagkutatás keretében végzett multielektródás geoelektromos mérések eredményeiről — Kézirat. MECSEKÉRC Zrt. Adattára, Pécs. BA-02-57A.

[8] VESZ, geoelektromos szelvények (1967) — Kézirat. MECSEKÉRC Zrt. Adattára, Pécs. J-2296.

Tektonikai stabilitás vizsgálat kutatóárokkal a BAF elterjedési területén
(A B-3 árok előzetes földtani dokumentálási eredményei)

Tectonic stability study with exploration trench in the vicinity of the Boda Claystone Formation
(Preliminary results of the geological logging of B-3 exploration trench)

HÁMOS GÁBOR[1], BENŐ DÁVID[1], DÁLYAY VIRÁG[1], NADRAI JUDIT[1], SÁMSON MARGIT[1], SZABÓ RICHÁRD[1], SZAMOS IMRE[1], KONRÁD GYULA[2], BENEI BALÁZS[2], HALÁSZ AMADÉ[2], SEBE KRISZTINA[2]

[1]*Mecsekérc Zrt., hamosgabor@mecsekerc.hu;*
[2]*Mérce Bt., konradgyula@t-email.hu*

Abstract

The Upper Permian Boda Claystone Formation (BCF) is regarded as a potential host rock for the disposal of high level radioactive wastes in Hungary. The geological-structural stability of its area was investigated with a 2-6 m deep trench southeast of the village Cserdi, in the anticline of the Western Mecsek, which is the largest surface and subsurface unit of the distribution area of the BCF. The B-3 trench was excavated over the Boda-Büdöskút fault zone, which traverses the anticline from WSW to ESE. The trench exposed well-bedded Upper Miocene (Pannonian, ~8-6.5 Ma) strata with parallel bedding, which had previously been known from the surrounding sand pits. The lack of deformations in the logged beds indicate that there were no differential tectonic movements in the vicinity of B-3 trench since the depositon of Pannonian (Upper Miocene) sediments.

Összefoglaló

A késő-perm korú Bodai Agyagkő Formációt (BAF) potenciális földtani képződményként tekintik a magyarországi nagy aktivitású radioaktív hulladékok tárolójának befogadására. A Ny-Mecseki antiklinális területén – amely a BAF legjelentősebb felszíni és felszín alatti elterjedési helyszíne – Cserdi községtől DK-re 2-6 m közötti mélységű kutatóárokkal (B-3 kutatóárok) vizsgáltuk a térség földtani-szerkezeti stabilitását. Az árokszakaszok az antiklinálist NyDNy–KÉK-i irányba átszelő Boda-büdöskúti szerkezeti zóna fölött mélyültek. A B-3 árokban a közeli homokbányákban korábban megismert, többnyire jól, párhuzamosan rétegzett, pannóniai (késő-miocén) korú (~8-6,5 millió éves) rétegösszletbe tartozó üledékeket tártunk fel. A deformációs jelenségek hiánya a dokumentált összletben arra utal, hogy a B-3 árok környezetében nem történtek differenciált szerkezeti mozgások a pannóniai (késő-miocén) korú üledékek lerakódásától napjainkig.

Kulcsszavak: késő-perm, Bodai Agyagkő Formáció, kutatóárok, pannóniai, Boda-Büdöskúti szerkezeti zóna, földtani-szerkezeti stabilitás

Bevezető

A B-3 kutatóárok Cserdi községtől DK-re mélyült a térképen látható elrendezésben (1. ábra) a Kővágószőlősi antiklinálist kettészelő Boda-Büdöskúti törészóna fölött, a terület jelenkori és hosszabb távú tektonikai stabilitásának igazolására a Bodai Agyagkő Formáció kutatásához (HLW potenciális befogadó képződménye) kapcsolódóan. Kiemelt létesítési célja a térségben korábban megismert, többnyire párhuzamosan, jól rétegzett, pannóniai (késő-miocén) korú (~8-6,5 millió éves) rétegek feltárása és vizsgálata volt (2. ábra, 4. ábra). A DNy-i ág 109,1 m, a DK-i ág 319,8 m, az ÉK-i ág 259 m hosszúságú. Mintegy 688 m összhosszban kialakított, 2-6 m közötti mélységű árokszakaszok földtani dokumentálása valósult meg.

Az árok kihajtását a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. (RHK Kft.) engedélyes terve [1] és a kiadott technológiai utasítás [2] alapján a Közgép Zrt. és az Unikorn Kft. végezte 2015 novemberétől 2016 júniusáig Cserdi és Szentlőrinc községek külterületén. Az árkok földtani dokumentálását és

mintázását a Mérce Bt. és a Mecsekérc Zrt. szakemberei végezték a korábban elkészített dokumentálási és mintavételi terv szerint [3]. A teljes, összeillesztett árokszelvények elkészítésére, értelmezésére és a minták vizsgálatára, értékelésére a későbbiekben kerül sor, mert az árok mélyítése, dokumentálása, területrendezése 2016 júniusában fejeződött be. Itt a közelmúltban befejeződött árokmélyítés és földtani dokumentálás előzetes ismereteit mutatjuk be, foglaljuk össze.

1. B-3 árok kivitelezése

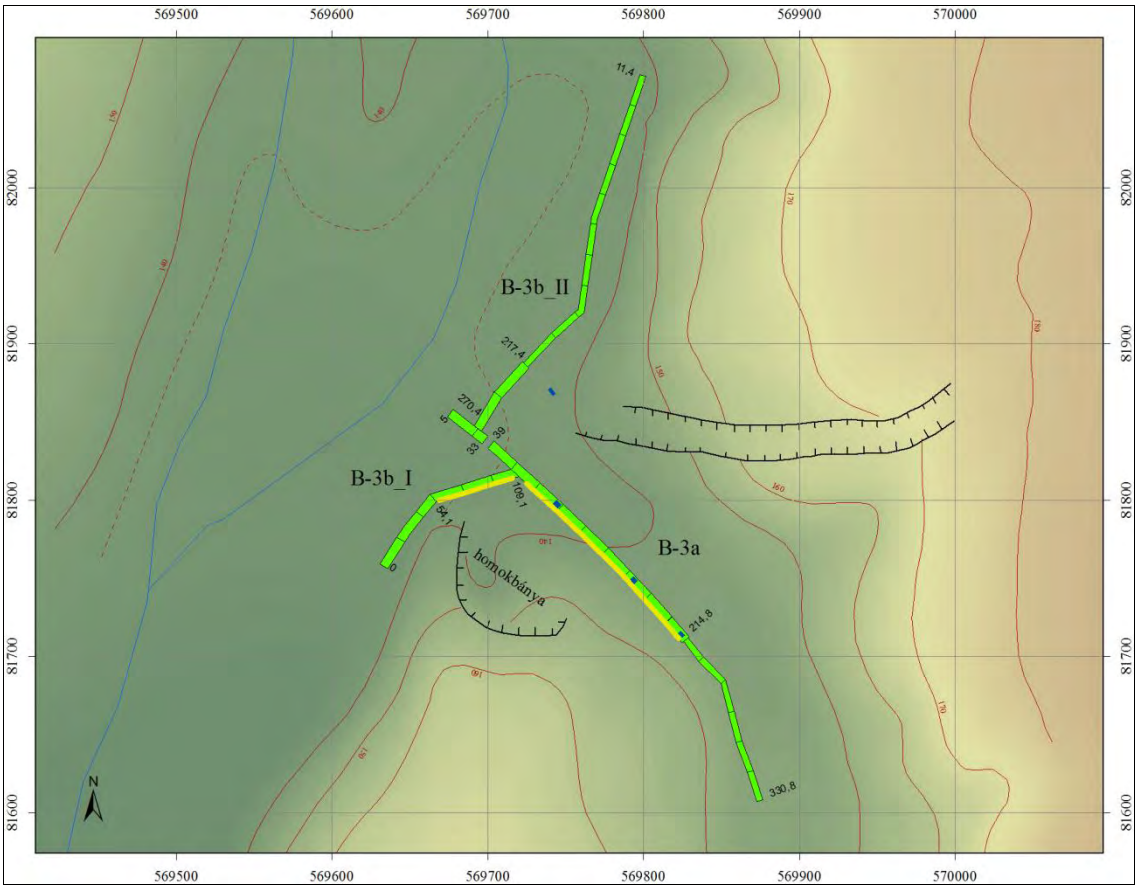
A térképen látható két egymásra közel merőleges nyomvonalon (1. ábra) valósult meg a B-3 kutatóárok kialakítása előzetes geodéziai kitűzés szerint, valamint földtani dokumentálása. A kivitelezés során a munka közben tapasztaltak alapján, közbenső nyomvonal-módosítás is történt a tervezett szakmai cél elérése érdekében a Megrendelő (RHK Kft.) hozzájárulásával.

2 m felszín alatti mélységig gépi, 2-6 m közötti mélységközben kézi ásással történt az árokszakaszok mélyítése. A felső 2 m mélységű árokszakaszok mélyítése két részletben történt. Első lépésben zajlott a 0,5 m vastag talaj eltávolítása és depózása, majd a feltáruló felszín, „tükör" vízszintes felületének dokumentálása. Ezt követte a 0,5-2 m mélységű szakasz kialakítása és oldalfalainak földtani dokumentálása biztosítás nélkül. 2 m alatt a továbbmélyítés mindig max. 1 m mélységig történt a dúcolással biztosított árokszakasz alatt, lefelé szűkülő árokszélességgel, a munkavégzés és a földtani dokumentálás biztonságos végrehajtása érdekében. Esetenként az árok kezdeti nyitószélességének meghatározásához, kivitelezésének segítésére a 0,5 m-es tükörszintről kb. 5,5 méter mélységű feltáró gödröket mélyíttettünk a B-3 árok tervezett nyomvonalán vagy mellette, a pannon rétegek meglétének ellenőrzésére (1. ábra).

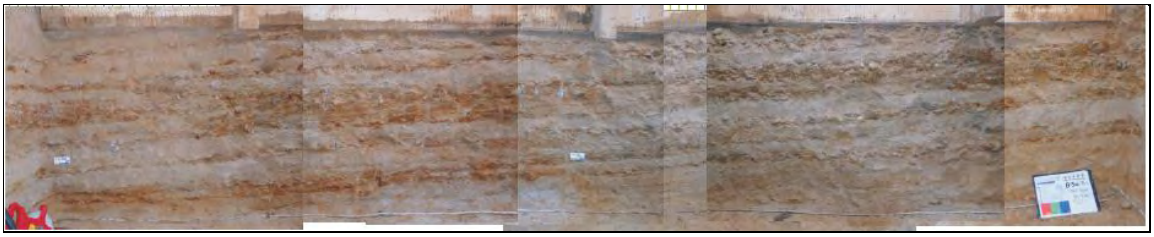
A terület rendezéséről, rekultivációjáról a kivitelező gondoskodott az engedélyes (RHK Kft.) elvárásai szerint.

2. Az árok földtani dokumentálása

Földtani dokumentálás, adatrögzítés a 0,5 mélységű vízszintes „tükörfelületeken" és az árok oldalfalain (egyik vagy mindkét oldalon), esetenként talpon, 2-20 m között váltakozó hosszúságú, többnyire 1 m magas szelvényekben történt a láthatóság, az időjárás és a munkaszervezés függvényében. Ennek során szisztematikus helyszíni fénykép- és rajzdokumentáció készült. Első körben a dokumentált rész-szakaszok képkockáinak összeillesztése és értelmezése történik meg (2. ábra), majd a szakaszok összeillesztése vízszintes és függőleges irányban. Az árkok közelében az árkok kialakításának, dokumentálásának idejére elhelyeztünk a munkavégzés (árokásás, tereprendezések) által nem érintett geodéziai segédpontokat, amelyek segítségével az árok nyomvonalát és a rétegek helyzetét rögzíteni lehetett.

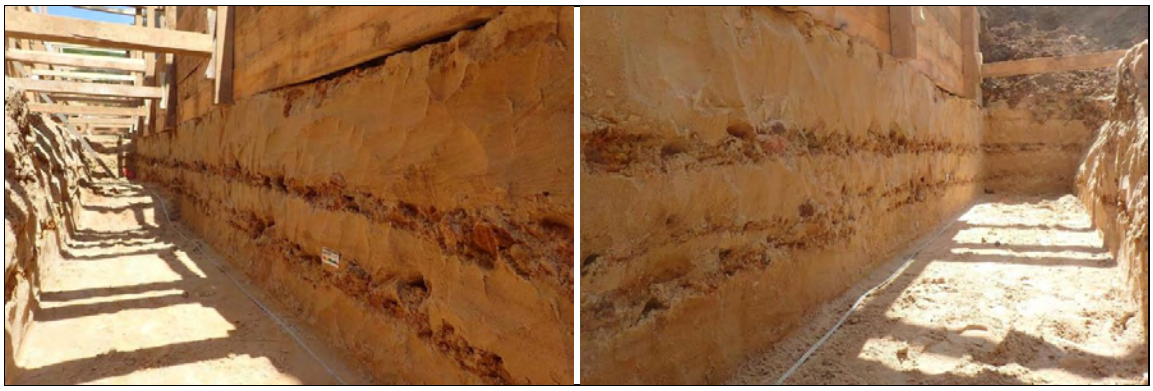


1. ábra: A B-3 kutatóárok megvalósult nyomvonala (zöld) a pannon rétegeket harántolt árokszakaszokkal (narancssárga), feltáró gödrök (kék) helyével

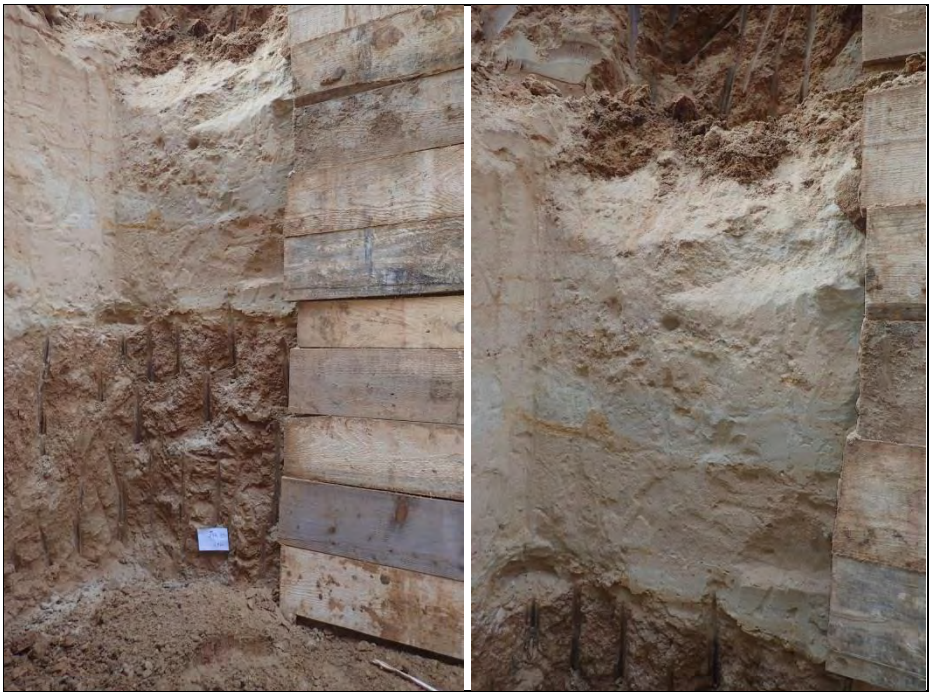


2. ábra: Párhuzamosan rétegzett, helyenként keresztrétegzett pannóniai (késő-miocén) korú üledékek a B-3a 192-198 m közötti, 5-6 m mélységközű szakasz DNy-i falán (összeillesztett részletfotók)

3. ábra: Elfedett, közel vízszintesen települő pannóniai kavics és törmelékzsinóros homok rétegek K-i (alávágódó) és Ny-i oldali eróziós felszíne a B-3b I jelű árok D-i falán, 58-68 m között, 2-3 m mélységközben



4. ábra: Közel vízszintes rétegdőlésű, zavartalan településű pannóniai homokpadok kavicsos, kőzettörmelékes betelepülésekkel a B-3b I jelű árok 73,1-97,0 m közötti szakaszán, 4,0-4,8 m mélységközben



5. ábra: Áthalmozott pannóniai homokból lerakódott világos szürkésfehér rétegek, fiatalabb völgykitöltő üledékre települve a B-3a árok 214,8 m-ének DNy-i, DK-i sarkában, 4-5 m mélységközben

6. ábra: Vízszintes, zavartalan településű pannóniai homokpad a B-3b I árok 85,0-97,0 m közötti szakasza 3-4 m mélységközének talpán, rátelepülő rosszul osztályozott durvakavicsos, kőzettörmelékes rétegekkel

3. Előzetes földtani eredmények

Az árkokban a legidősebb feltárt rétegek pannóniai (késő-miocén) korúak voltak, melyek üledékföldtani, települési és törmelék-összetételi jellegük alapján egy rétegösszletbe tartoznak (alatta települve) a B-3 árok melletti homokbányában (1. ábra) korábban megismert, feldolgozott, ősmaradványokkal (pl. Lymnocardium schmidti, Congeria triangularis) korolt (8-~6,5 millió év) rétegsorral [4][5]. Az azonos rétegösszletbe tartozást a morfológiai helyzet is alátámasztja. Az alaphegységi kőzeteket sehol sem értük el. A kavicsos, kőzettörmelékes rétegekkel váltakozó homokrétegek szintjei többnyire jól követhetőek voltak. A korábbi (pannóniai) felszínt a térség későbbi kiemelkedése során bevágódott patak- és folyómedrek, vízmosások szabdalták fel (3. ábra). Az erodált felszínt változatos, fiatalabb korú, pannóniaiból áthalmozott anyagú folyóvízi és lejtőlösz üledékek, öntéstalajok töltötték ki, fedték le. Az áthalmozott, sokszor durvatörmelékes üledékeket nem mindig lehet egyértelműen elkülöníteni a szálban álló felső-miocén képződményektől. Pl. a B-3a árok 214,8 méterénél áthalmozott, csak pannóniai homokból álló, rétegzettséget mutató homokrétegek alatt fiatal öntéstalajt tártunk fel (5. ábra). Egyes rosszul osztályozott rétegekben, rétegszakaszokban nagy mennyiségben figyelhettünk meg 10-40 cm átmérőjű, jól koptatott kavicsokat (uralkodó perm-triász korú homokkő, kvarcit, riolit) és durva, szögletes vagy alig koptatott, szabálytalan alakú, kifakult barna színű, téglavörös agyagkő törmelékdarabokat (6. ábra).

A B-3b I jelű árok 55,5-107,1 m közötti szakaszán (közel 52 m hosszban) sikerült dokumentálni a közel vízszintes településű kavicsos-homokos pannóniai (késő-miocén) korú rétegek összefüggő, zavartalan települését 3-6 m mélységközben (1. ábra, 4. ábra, 6. ábra). Ugyanezt a B-3a jelű árok 70-211 m közötti szakaszán is követni tudtuk rövidebb kimaradásokkal (1. ábra).

A B-3b II jelű árok 11,4-270,4 m, a B-3b I árok 0-40 m közötti és a B-3a árok 5,0-70,0 m, 211-330,8 m közötti szakaszain (1. ábra) csak fiatal pleisztocén-holocén patak- és lejtőüledékeket tártunk fel, uralkodóan 2 m (egyes szakaszokon, pl. B-3a 23,0-33,0 m között) 6 m mélységig. Ezek az üledékek is zavartalan településűek voltak, ami az érintett terület közelmúltbeli és jelenlegi differenciált szerkezeti mozgásmentességét bizonyítja.

Irodalom

[1] Schnell M. (MISI-TERV Tervező és Kereskedelmi Bt.) (2015): B-3 kutatóárok építési engedélyezési műszaki tervdokumentációja. – Kézirat. RHK Kft. Adattára, Paks. RHK-N-006/15, 23 p.

[2] Katona N. (Unikorn-Épker Kft.), Tüdő É. (Közgép Zrt.), Sámson M. (Mecsekérc Zrt.) (2015): Technológiai utasítás. B-3 kutatóárok mélyítése, földtani dokumentálása és mintázása, rekultivációja. – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs. TU-UNI- BODA-1/2015, 31 p.

[3] Konrád Gy. (Mérce Bt.), Máthé Z., Hámos G., Sámson M., Szebényi G. (Mecsekérc Zrt.) (2015): Dokumentációs és mintavételi terv. A B-3 kutatóárok dokumentálásának és mintázásának terve. – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs. RHK-N-027/13. 2015. június. 24 p.

[4] Konrád Gy. (PTE Földrajzi Intézet, Földtani Tanszék) (2004): Jelentés a Mecsek déli előtere neogén medenceüledékeinek tektonikai értékeléséről. – Kézirat. Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs. 51 p.

[5] Pirkhoffer E. (1997): A Ny-mecseki antiklinális déli szárnyának késő-kainozóos fejlődéstörténete. Szakdolgozat. – Kézirat. JPTE TTK Földrajztudományi Intézet. 106 p.

BAF vízföldtani reambuláció 2015 – BAF kutatás, I. felszíni kutatási fázis, 2. szakasz

BCF hydrogeological reambulation 2015 – BCF exploration, surface exploration phase I, stage 2

CSURGÓ GERGELY[1], SZABÓ ZSÓFIA[2]

[1]*MECSEKÉRC Zrt., csurgogergely@mecsekerc.hu;*
[2]*Golder Associates (Magyarország) Zrt., Zsofia_Szabo@golder.hu*

Abstract

The hydrogeological reambulation of the research area, adjusted to watersheds and some valleys located at the southern part of Gorica area not mapped during 2004-2005, was carried out within the Boda Claystone Formation (BCF) surface exploration programme in 2015.

During the field works observations and measurements were made in altogether 1275 points which provide suitable coverage for the survey area located in the Western Mecsek (107 km^2). In order to allow comparability of former and recent data two smaller catchment areas were reexplored. A quasi-simultaneous streamflow measurement campaigne was fulfilled for the whole research area at the end of the field works. To optimally represent the different hydrogeological formations and satisfy the territorial distributon as well watersamples on 52 spots (mainly from springs) were taken after preprocessing the field data.

The results and information of the reambulation represent fundamental input data for the hydrogeological modeling, specialty reports and after all the final report integrating the exploration achievements.

Összefoglaló

A BAF kutatás keretében 2015 során megtörtént a kutatási terület vízgyűjtőkhöz igazított, a 2004-2005-ben már feltérképezett goricai területtől délre eső részének részletes vízföldtani reambulációja, kiegészítve a goricai terület néhány kisebb, déli helyzetű völgyének felmérésével.

Az elvégzett terepi munkálatok során 1275 észlelési pontot vettünk fel, melyek megfelelően lefedték a teljes részletes reambulációra lehatárolt 107 km^2-es nyugat-mecseki területet. Az eredmények összevethetősége érdekében validáló felmérés is történt két kisebb, a korábbiakban már felvételezett vízfolyás vízgyűjtőjén. Az elvégzett kvázi egyidejű vízhozammérési kampány elsősorban a kutatási terület déli részére fókuszált, de kisebb pontsűrűség mellett a goricai területen is történtek mérések. Az észlelési adatok előfeldolgozása után elvégzett 52 db vízmintavétellel, melyeknél a hangsúlyt a felszín alatti vizek természetes kilépési pontjainak megismerésére fektettük, az előirányzott mintasűrűség és a területi valamint vízföldtani képződmények szerinti lefedettség is megvalósult.

A munkálatok eredményeképpen kapott információk megfelelő alapadatokat szolgáltatnak a vízföldtani modellezéshez szükséges beszivárgás számításokhoz, lefolyás/beszivárgás modellezéshez, értelmezésük felhasználható a szakterületi majd a földtani kutatást lezáró integrált értékelés során.

Kulcsszavak: Nyugat-Mecsek, BAF, vízföldtan, reambuláció

Bevezetés

A nagy aktivitású radioaktív hulladékok és a kiégett fűtőelemek végleges és biztonságos elhelyezését Magyarország a nemzetközileg elfogadott módon, ún. mélygeológiai tároló kialakításával kívánja megoldani, melynek potenciális helyszíne a nyugat-mecseki Bodai Agyagkő Formáció (BAF). A kőzettest megismerésére irányuló kutatási program célja a BAF általános helyszínminősítése, valamint a biztonsági értékelés számára szükséges földtani adatok és információk megszerzése. A kitűzött célok elérésére indított I. felszíni kutatási fázis 2013-2017 között megvalósuló 2. szakaszának területi vizsgálatai közé tartozik többek között a részletes vízföldtani reambuláció is [1], melynek

általános célkitűzése információgyűjtés és adatszolgáltatás a vizsgálandó térséget felépítő képződmények vízföldtani tulajdonságainak jellemzéséhez, az áramlási viszonyok, a különböző víztestek és a köztük lévő kapcsolatok megismeréséhez. További feladata, hogy hozzájáruljon a terület vízforgalmának, utánpótlódási viszonyainak pontosításához, a felszíni és felszín alatti vizek közötti kapcsolatok meghatározásához.

1. Elvégzett munkálatok

A célterületen 2004-2005-ben, a BAF hosszú távú kutatási program 1. szakaszában már sor került egy regionális, a térség előzetes vízföldtani képének kialakítását célzó [2], valamint egy részletes, a goricai blokkra összpontosító, 70%-os készültséget elérő vízföldtani reambulációra [3]. A munkálatok eredményeképpen bővítésre került a BAF monitoring keretében üzemeltetett vízhozammérő műtárgyak, illetve meteorológiai állomások hálózata, melynek üzemeltetése azóta folyamatos. A 2013-ban induló 2. kutatási szakasz során elvégzendő részletes vízföldtani reambuláció terepi fázisára 2015 első felében került sor. A terepi munkálatokat előzetesen elkészített terv [4] alapján végeztük el, mely meghatározta a reambuláció célkitűzéseit, lehatárolta a térképezendő területet, valamint részletezte a tevékenység módszertani útmutatóját, dokumentálási rendjét, a tervezett munkák volumenét és időütemezését. A korábbi vízföldtani dokumentációs rendszer az újabb tapasztalatok és ismeretek alapján felülvizsgálatra, illetve minimális mértékben módosításra került, de ez a megelőző és újabb adatok összevethetőségét nem befolyásolja.

A felmérendő terület kiterjedése 107 km^2 volt, amely lefedte a kutatási terület vízgyűjtőkhöz igazított, goricai területtől délre eső részét, valamint a goricai terület néhány kisebb déli helyzetű völgyét. A korábbi és jelenlegi eredmények együttes felhasználhatósága érdekében validáló felvételezés is történt, melynek keretében a 2004-2005-os reambuláció során is térképezett Gorica-patak völgye és Alsónagybükkmány terület két mellékvölgye, illetve vízgyűjtő területe került újra felmérésre.

A munkálatok során összesen 1275 észlelési pont dokumentálása történt meg (~12 észlelés/km^2), melyet a MECSEKÉRC Zrt. és a Golder Associates (Magyarország) Zrt. munkatársai párhuzamosan, több csoportban végeztek. Az észlelések során a terület szisztematikus bejárásával lehetőség szerint feltérképeztük az összes vízkilépési, vízmegjelenési helyet, fellelhető ásott és fúrt kutat. Rögzítettük a releváns mérési- és észlelési adatokat, mint pl. vízhozam, helyszíni változó paraméterek (pH, vezkép, víz és léghőmérséklet), földtani, morfológiai jellemvonások, kutak esetén nyugalmi vízszint, talpmélység, stb. Jellemeztük a felszíni vízfolyások különböző szakaszait, dokumentáltuk a vízfolyások mentén az előző reambulációk óta létesült mesterséges állóvizeket. A völgytorkolattól a völgyfőig bejártuk a szárazvölgyeket is, tekintettel az allúviumban elfedve mozgó vizekre. Az észlelési fázis végén egy kilenc napos hozammérési kampány keretében a jelentősebb felszíni vízfolyásokon – mindösszesen 60 ponton – Thomson és Cipoletti típusú mobil bukókkal mértünk vízhozamot. Így viszonylag pontos hozamadatokat kaptunk a nagyobb, akár 5000 l/min vízhozamú vízfolyás szakaszokon is, ahol az észlelés során csupán becslésre volt alkalmunk.

Az észlelési adatok előfeldolgozása alapján 52 db pont került kijelölésre vízmintavétel céljából (~1 minta/2 km^2). A hangsúlyt a felszín alatti vizek természetes kilépési pontjainak megismerésére fektettük, így jelleg szerint 49 db vízfakadást, valamint 3 db ásott kutat mintáztunk. A szűrésnél fontos szerepet játszott a kutatási terület releváns déli részére vonatkozó területi, illetve a különböző vízföldtani képződményekre vonatkozó lefedettség is. Bár törekedtünk a koncentrált, stabil hozamú vízmegjelenések mintázására, de az előzetesen kijelölt pontok közül számos esetben tapasztaltunk – az észlelési és mintavételi fázis között eltelt időszak alatt bekövetkező – jelentős vízhozam csökkenést vagy teljes elapadást, így az első körben betervezett vízmintavételek közel ötöde nem valósulhatott meg. A vízmintavételeket a MECSEKÉRC Zrt. Vizsgálólaboratóriumának munkatársai végezték, a vízvizsgálatok a MECSEKÉRC Zrt., a BMK KTF Mérőközpont, az MTA CSFK FGI, a Hydrosys Kft., illetve az Isotoptech Zrt. laboratóriumaiban történtek, mind a mintavételeket, mind a vizsgálatokat tekintve akkreditált módon. Minden vízmintából történt általános vízkémiai és nyomelem vizsgálat, alap izotóp-geokémiai vizsgálat ($\delta^{18}O$, δD) és radon meghatározás. 12 db minta

esetében bővített izotóp-geokémiai vizsgálatokra is sor kerülhetett: $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$, $\delta^{18}O_{SO4}$, $\delta^{34}S$, T, T/^{3}He, ^{14}C (vízkor).

A munkálatokat megelőzően valamint az észlelési és mintavételi fázis (1. táblázat) időtartama alatt is döntően az évszakhoz képest szárazabb, csapadékszegény időjárás volt jellemző a területen.

1. táblázat: Terepi vizsgálatok időrendje

Dátum	*Elvégzett terepi vizsgálatok*
2015.03.23-04.24.	terepi észlelések
2015.05.05-13.	vízhozammérési kampány
2015.06.23-07.08.	vízmintavétel

2. Eredmények

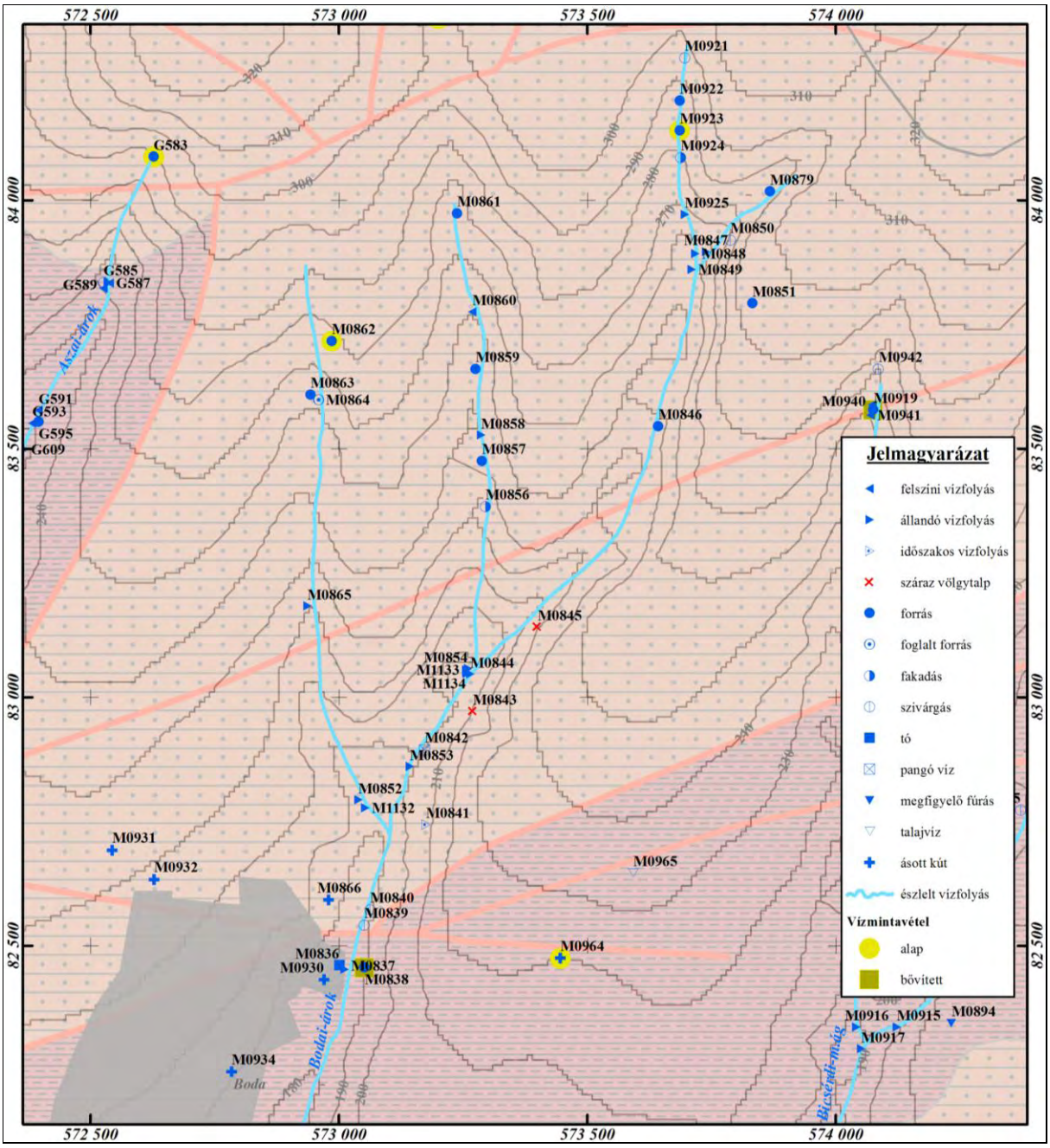
A reambuláció keretében elvégzett munkákról 2015 végén összefoglaló dokumentáló jelentés készült [5], mely vízgyűjtő területekre lebontva tartalmazza a terepi észlelések részletes ismertetését, az eredmények előzetes értékelését, a terepi észlelési, vízmintavételi, laboratóriumi vizsgálati jegyzőkönyveket, az észlelési pontokról készített fotódokumentációt. A dokumentáció mellékleteként elkészültek többek között az észlelési pontokat, a pH, valamint a fajlagos elektromos vezetőképesség eloszlást, vagy a vízfolyás kategóriákat ábrázoló tematikus térképek. Az észlelési pontokról az 1. ábra közöl egy jellemző kivágatot a Bodai-árok felső szakaszára vonatkozóan. A fontosabb eredményeket a következőkben összegezzük.

A kutatási terület vízfolyásai a Zselic és a Nyugat-Mecsek gerincén végigfutó fő vízválasztótól D-re helyezkednek el, forrásterületeik elsősorban a permotriász homokkövek és a triász karbonátok elterjedési területének határához kapcsolódnak, illetve ritkábban szerkezeti zónák mentén is megjelennek. A vízhálózat rajzolata az eróziós területeken ágas, az akkumulációs és átmeneti területeken pedig gyengén párhuzamos mintázatot követ. A Pécsi-víz vízgyűjtőjéhez tartozó vízfolyásokat döntően egymással közel párhuzamos, É-D-i irányultság jellemzi (Bodai-árok, Bicsérdi-vízfolyás, Kajdács-patak), míg a Bükkösdi-vízfolyás vízgyűjtőjén általános futásirány nem állapítható meg.

A felszíni vízfolyások esetén a Dinnyeberki-patak, Helesfai-árok, Egéd-patak (Megyefai-árok), Aszai-árok (Cserdi-patak), Nyáras-patak, Sás-patak, Rókás-patak, Bodai-árok és Pajtner-völgy teljes vízgyűjtő területe bejárásra kerültek, míg a Gyűrűfűi-patak (Sándor-árok), Bükkösdi-víz, Kajdács-patak és Bicsérdi-vízfolyás vonatkozásában a reambulációs területre eső szakaszok kerültek dokumentálásra.

A dokumentált pontok mintegy 80%-án észleltünk vízmegjelenést, a fennmaradó hányadban a völgytalpak száraznak bizonyultak. A vízmegjelenések közel felénél valamilyen felszíni vízfolyást, negyedrészénél pedig forrást, vízfakadást észleltünk. A fennmaradó részt döntően az egyéb vízmegjelenések (szivárgás, ázolgás, dagonya, mocsár), illetve a felszín alatti vizek (ásott kutak, figyelőkutak) alkották. Természetesen a morfológiai, földtani adottságoknak megfelelően a pontsűrűség, illetve a különböző jellegű észlelések eloszlása meglehetősen heterogén képet mutatott. A vízkilépések fontosabb terepi paraméterei tekintetében a BAF-hoz kapcsolódó fakadások, források adatait közöljük: átlagos hozamuk 8,1 l/min (0,5 és 84 l/min szélsőértékek mellett), a pH 7,2-8,5 között szórt, a vezetőképesség átlagértéke pedig 850 µS/cm volt.

A hozammérési kampány során kisebb vízhozamok esetén Thomson bukóval (maximális mért hozam 518 l/min), nagyobb hozamok esetén Cipoletti bukóval történtek a mérések, itt a maximális mért hozam 5100 l/min volt a Bicsérdi-vízfolyás alsó szakaszán, a felmérési terület déli peremén. A kvázi egyidejű mérések alapján a jelenlegi reambulációs területre így vízhozam eloszlás, illetve változás térképet szerkeszthettünk, amelyet kisebb lefedettséggel ugyan, de részben kiterjesztettünk a goricai területre is.

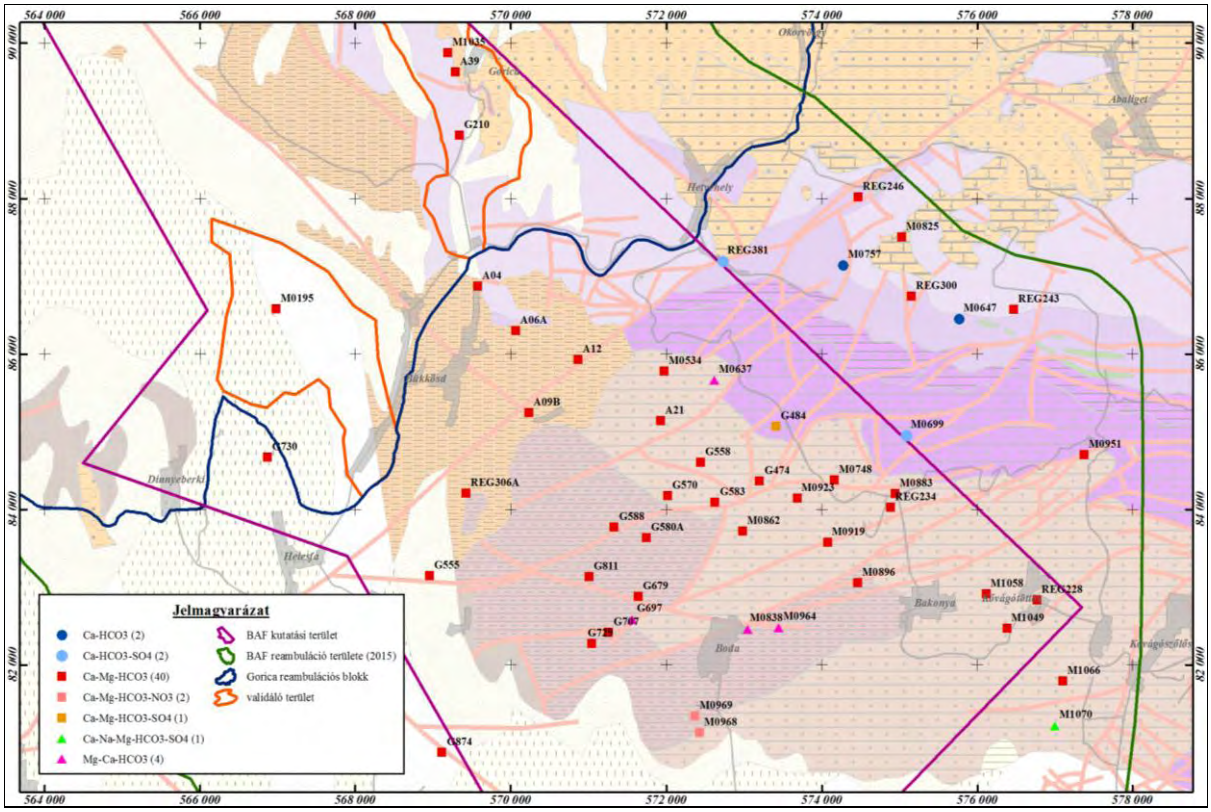


1. ábra: Kivágat az észlelési pontok térképéből

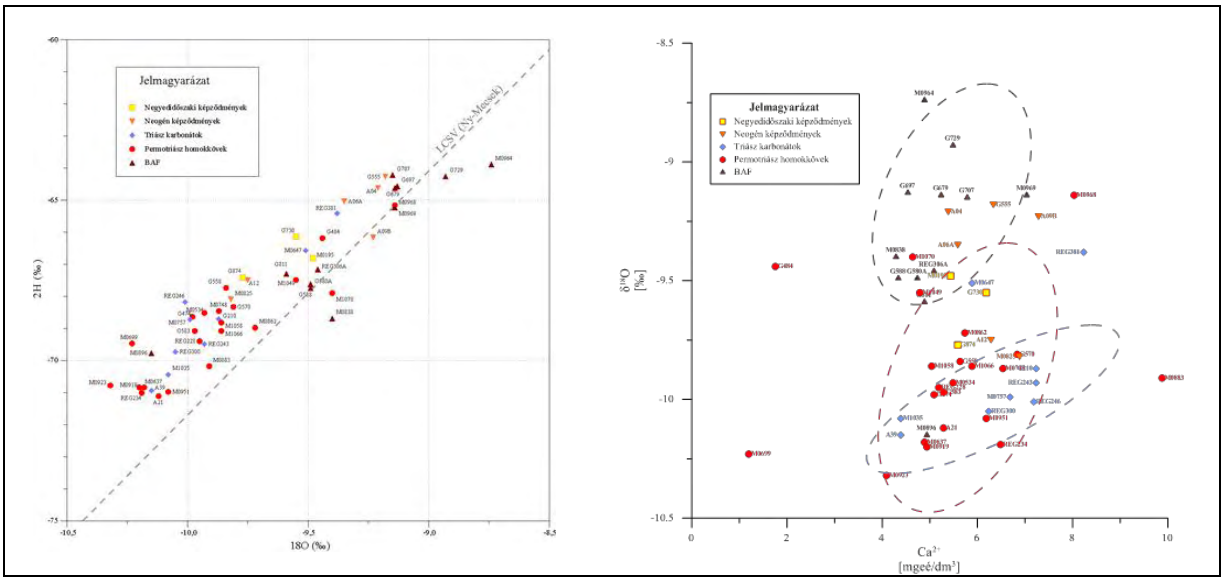
A vízmegjelenések általános kémiai összetétel szempontjából viszonylag egységes képet mutattak, döntő hányaduk Ca-Mg-HCO_3-os víztípusú volt, emellett néhány BAF-hoz kötődő vízmegjelenés mutatott Mg-Ca-HCO_3-os főelem összetételt, illetve ritkábban antropogén vagy földtani hatások miatt volt tapasztalható más, egyedi víztípus. A vizek viszonylag alacsony oldott anyag tartalommal jellemezhetők, a bepárlási maradék értékek túlnyomó része 600-800 mg/dm^3 között szórt.

A δ^{18}O- és δD-eredmények alapján a mintázott pontokon megjelenő vizek döntően holocénben beszivárgott csapadék eredetűek (3. ábra), a legkisebb δ-értékeket a permotriász homokkövekből és a triász karbonátokból fakadó vizek vizsgálati eredményei mutatták, így ezek esetében lehet jelentős az idősebb holocén beszivárgású komponens részaránya. A BAF-ból kilépő, továbbá a neogén és negyedidőszaki képződményekhez köthető vízmegjelenések eredményei az előbb említettekhez képest fiatalabb beszivárgásra utalnak. A bővített vízvizsgálati helyeken a stabilizotópos eredményekkel összhangban vannak a ^{14}C eredmények, melyek egy kivétellel 80% (pMC) felettiek, illetve a trícium is szignifikánsan kimutatható volt minden vízmegjelenésben. A korjelző szerepű δ^{18}O és az áramlás

mentén változó oldott anyagok, mint például a kalcium egyenértéke között a reambuláció során vett 52 db vízminta vizsgálati eredményei alapján kirajzolódik egyfajta laza kapcsolat az egyes földtani képződményekre vonatkozóan (3. ábra).



2. ábra: A mintázott vizek víztípus szerinti csoportosítása [5]



3. ábra: Stabilizotópos eredmények (balra) és a kalcium egyenérték/$\delta^{18}O$ kapcsolata (jobbra) [5]

Az izotópvizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a mintázott vizekben a fiatal komponensek aránya a meghatározó, és az idősebb, mélységi, esetlegesen hosszabb árampályáról származó komponensek aránya minimális, illetve csak néhány ponton utalnak rá jelek.

A validáló felvételezés több ponton a korábbi vízmegjelenéseket kisebb hozammal, más jelleggel (pl. forrás helyett dagonya), vagy egyáltalán nem észlelte, amely az idei felmérés

időszakában és azt megelőzően jellemző kevésbé csapadékos időjárás következménye lehet. Mindezek ellenére a 2015-ös eredmények összességében nagyarányú egyezést mutatnak a 2004-2005-ben tett észlelésekkel. Az eredmények esetleges együttes értékelése is lehetséges, de mindenképpen figyelembe kell venni a felmérési időszakokra jellemző eltérő meteorológiai körülményeket, szezonális változásokat, illetve a felmérések eltérő időtartamát, hiszen a korábbi felmérés terepi észlelései szakaszosan, márciustól októberig valósultak meg.

3. Konklúzió

A 2015-ös reambuláció során elvégzett munkálatokkal a feladat célkitűzései megvalósultak, így a felmérésre kijelölt területre vonatkozóan megfelelő alapadatot szolgáltatnak a vízföldtani modellezéshez és a kutatás releváns részfeladataihoz. Az eredmények teljes körű értékelése a szakterületi, illetve a kutatási eredményeket integráló zárójelentésben valósul majd meg.

Irodalom

[1] Tungli Gy., Molnár P., Nagy Z., Török P. (2013): A Bodai Agyagkő Formáció földtani kutatása. Kutatási terv. I. felszíni kutatási fázis 2. szakasz. – Kézirat, MECSEKÉRC Zrt. Adattár, Pécs, RHK-N-005/12.

[2] Gellér Péterné, Hartyányi Z., Horváth I., Jerabek Cs., Marsó K., Nagy P., Rotárné Szalkai Á., Sásdi L., Szőcs T., Tihanyiné Szép E. (2009): A 2. kutatási területen 2004-ben végzett regionális léptékű reambuláció értékelése. – Kézirat, MECSEKÉRC Zrt. Adattár, Pécs, RHK-N-015/09.

[3] Földing G., Molnár P., Sebe K., Ország J. (2005): A részletes reambuláció (goricai terület) adatainak feldolgozása, jelentéskészítés. – Kézirat, MECSEKÉRC Zrt. Adattár, Pécs, RHK-N-046/05.

[4] Csurgó G., Dankó Gy., Menyhei L., Mészáros A., Szabó Zs. (2015): Vízföldtani reambuláció terve (BAF kutatás, I. felszíni kutatási fázis, 2. szakasz). – Kézirat, MECSEKÉRC Zrt. Adattár, Pécs, RHK-N-004/15.

[5] Bálint A., Bőthi Z., Csurgó G., Försterné Nan V., Sántha G., Szabó Zs. (2015): Vízföldtani reambuláció dokumentáló jelentése (BAF földtani kutatás, I. felszíni kutatási fázis, 2. szakasz). – Kézirat, MECSEKÉRC Zrt. Adattár, Pécs, RHK-N-011/15.