

A bátaapáti vágatok földtani dokumentálása

GYALOG LÁSZLÓ¹, FÜRI JUDIT¹, BORSODY JÁNOS¹, MAROS GYULA¹, PÁSZTOR SZILÁRD²

¹ Magyar Állami Földtani Intézet H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

² Eötvös Loránd Tudományegyetem, Úrkutató Csoport, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/a.

Tárgyszavak: Dél-Dunántúl, gránit, Magyarország, repedéskitöltések, tektonika, törések, Üveghuta, vágattérkép

Kivonat

A Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló (Bátaapáti, Üveghuta) felszín alatti kutatása és a beruházás létesítése során a vágatok 5362 m hosszában valamennyi (2546 db) homlok és a hozzá tartozó vágatpalást földtani dokumentálását a MÁFI végezte 2005–2010 között. A helyszíni rajzos és táblázatos dokumentálás részeként ImaGeo fotórobottal a homlokról és palástszakaszáról fotómontázst állítottunk össze. A rajzos földtani képet a fotórobot fotómontázsa fölé a földtani-tektonikai elemek adataival a CoreDump-programnak a vágatdokumentálásra kialakított verziójába vittük be. A dokumentálás rajzos végtermékeként 1:100-as homlok-, 1:100–1:200-as palást- és 1:200-as vágattérképek, illetve a vágatok környezetére 1:1000-es és 1:5000-es földtani térképek készültek.

Bevezetés

A Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló (Bátaapáti, Üveghuta) felszín alatti kutatása és a beruházás létesítése során 2005 februárjában kezdődött a vágathajtás a Bátaapáti térségében levő Nagymórágyi-völgyben. Két lejtőszakna (a Keleti lejtőszakna [Mária akna], illetve a Nyugati lejtőszakna [Eszter akna] mélyült 2008 áprilisáig, a 160 m-es felszíni nyitópontoktól a 0 m-es szintig (első ütem). Ezután a következő (második) ütemben, 2008. szeptember – 2009. április között már a 0 m-es szinten két alapvágat mélyült a hozzájuk kapcsolódó összekötő vágatokkal (az ún. „Kishurok”). Végül 2009. június és 2010. május között (a harmadik ütemben) mélyült a létesítendő kamrák megközelítésére az ún. „Nagyhurok”, a Kishurkon belüli kiegészítő vágatokkal, zompokkal (1. ábra). (Külön ábrán mutatjuk be a zompaknak és zompkutak helyzetét a Nyugati zompakna és zompkút példáján [2. ábra]). A vágatok 1–3 m közötti fogáshosszakkal haladtak előre, valamennyi vágathomlok és a hozzá tartozó vágatpalástszakasz földtani-tektonikai

(valamint geotechnikai) dokumentálása megtörtént. A vágathajtási tevékenység irányítását és geodéziai munkáit a Mecsekérc Zrt. végezte. A földtani-tektonikai dokumentálást a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), a geotechnikai dokumentálást az első ütemben a Mecsekérc, a második és harmadik ütemben a Kőmérő Kft. kivitelezte. Az egyes vágatszakaszok jelét, hosszát és a hozzájuk tartozó homlokok számát az 1. táblázat mutatja be.

A vágathajtást vágatonként eltérő számú előfúrás mélyítése előzte meg. A lejtőszaknák (első ütem) esetében egy adott vágatszakaszban előfúrások csak az egyik lejtőszaknában történtek, részletes földtani dokumentálás nélkül. A második és harmadik ütemben, a Kishurok és a Nagyhurok vágatai esetében a vágathajtást részletesen feldolgozott előfúrások előzték meg (GYALOG, TÖRÖK 2010).

A Magyar Állami Földtani Intézet a vágatok folyamatos földtani-tektonikai dokumentálását végezte el a vágatok teljes hosszában. Emellett munkatársai az alapvágatok előfúrásait és a vágatokból kifelé mélyített fúrás többségét is leírták.

1. táblázat. Az egyes vágatszszakaszok jele, hossza és a hozzájuk tartozó homlokok száma

Vágatcsoport			Vágatszszakasz			
neve	hossza (m)	Homlokok száma (db)	neve	jele	hossza (m)	homlokok száma (db)
Lejtősaknák (1. ütem)	3896,3	1870	Keleti lejtősakna	KA	1723,5	842
			Nyugati lejtősakna	NA	1772,5	855
			1-6. összekötő vágat	1-O (1OK), 2-O (2OK), 3-O (3ON-3OK), 4-O (4OK), 5-O (5ON-5OK), 6-O (6OK-6ON)	147,8	60
			1-6. transzformátorkamra	1. tr (1KK), 2. tr (2KK), 3. tr (3KN), 4. tr (8KK), 5. tr (11KK), 6. tr (13KN)	44,8	20
			Potenciálkamra	Pk (4KK)	9,2	4
			Keleti zompvágat, Nyugati zompvágat	Kzsv (5KK), Nzsv (6KN)	71,0	32
			Kőzetfeszültség-kamra	Kfk (7KK)	33,6	17
			HGM-kamra	HGM-k (9KK)	38,4	17
			1-2. vizsgálati kamra	1. vk (10KK), 2. vk (12KK)	55,5	23
Kishurok alapvágatai (2. ütem)	626,7	302	Keleti alapvágat	KAV	260,5	140
			Nyugati alapvágat	NAV	252,4	113
			7-8. összekötő vágat	7-O (7OK-7ON), 8-O (8OK-8ON)	113,8	49
Nagyhurok és vízmentesítő telep vágatai (3. ütem)	839,1	374	Tárolói szállítívágat	TSZV	180,2	78
			Tárolóépítési szállítívágat	TESZV	172,1	71
			Tároló-összekötő vágat (délről, északról)	TOV (TOVD, TOVE)	228,5	98
			Szivattyúkamra, Keleti szivattyúkamra, Nyugati szivattyúkamra	SZK, SZKK, SZKN	84,9	33
			Kompresszorkamra	KOK	11,7	4
			Ellenőrzött zompvágat, Építési zompvágat, Havária-zompvágat	ELZS, EPZS, HZSV	133,9	86
			Keleti zompakna, Keleti zompkút	KZSA, KZSK	13,9	2
			Nyugati zompakna, Nyugati zompkút	NZSA, NZSK	13,9	2
Összesen	5362,1	2546			5362,1	2546

Vágatszszakasz jelénél zárójelben a dokumentálás folyamán használt jelek (KK = kamra a Keleti lejtősaknában, KN = kamra a Nyugati lejtősaknában; OK = összekötő vágat K-ről hajtva, ON = összekötő vágat Ny-ról hajtva); a Nyugati lejtősaknában mélyült 1 m-es vágathatáskamrát (Vhk) nem dokumentáltuk

A dokumentálás eredményeit vágatdokumentálási fázisokként jelentésekben összegeztük (a földtani-tektonikai mellett a geotechnikai és a vízföldtani eredményekkel). Az 5 fázis az alábbi: a lejtősaknák 0–600 m között (MOLNOS 2007a), 600–1300 m között (MOLNOS et al. 2007b), 1300 m-től a lejtősaknák végéig (MOLNOS et al. 2008), a Kishurok (JAKAB et al. 2009) és a Nagyhurok (SZEBÉNYI et al. 2010).

Először a felszín alatti dokumentálás menetét ismer-tjük, majd ennek feldolgozását a MÁFI által kidolgozott CoreDump-programmal (bemutatva a program fejlődését is a dokumentálás során). Röviden jellemezzük a földtani képződményeket, a tektonikai elemeket és a főbb kitöltés-típusokat. Végül a dokumentálás térképvégtermékeit mutat-juk be.

A dokumentálás menete

A vágatok dokumentálását a vágathajtási technológi-ából következően elsősorban a homlokon (vájvégén), illetve a paláston végeztük. A palást folyamatos, fogásonkénti torkrétbetonzása miatt (amelyből mindig jutott az aktuális homlokra is) csak a betonzás előtt tudtuk a lemosott szakaszokat üde állapotban tanulmányozni, ekkor viszont biztonsági okokból nem lehetett a falhoz menni. A beto-nozás után viszont a palást már nem, és a homlok is csak részlegesen volt látható.

A felszín alatti dokumentálás első részében a vájvég és az aktuális palástszakasz fotózása a biztosított térrész alól történt. Ebben a fázisban készült el a részletes rajz, a távolról (a biztosított térrész alól) történt „légmérésekkel” együtt. A dokumentálás második részében, a biztosítás elkészülte után a homlokon közvetlenül tudtunk észlelni, ekkor készí-

tettük a részletfotó- és leíró dokumentálást. A vājvég biztosítása után a szabadon maradt felületen pontosabb méréseket végeztünk, és szerencsés esetben a veszélyesebb, nehezen megközelíthető töréses övekből is tudtunk mintát gyűjteni. A vāgathajtás során a veszélyes (az egész fogást kitöltő) törészónák esetén a bányamester nem engedélyezte a vājvégen történő dokumentálást. A Nagyhurok hajtása során már csak abban az esetben került sor erre a második „leíró” dokumentációra, ha a kőzetminőség az adott fogásban 4-5-ös kategóriájú (kevésbé állékony) volt (a kőzetminőséget a geotechnikai dokumentálók egy 1-től 5-ig terjedő skálán osztályozták). A felszín alatti dokumentációt a vāgak bejāratánál lévő felszíni konténerirodáknál a digitális feldolgozás követte.

A dokumentálás általunk alkalmazott módszerét és eszközeit a MÁFI szakemberei dolgozták ki (MAROS et al. 2006a, b). A homlok és a hozzá tartozó palástszakasz 28 képből álló fényképalapját a saját fejlesztésű ImaGeo fotórobottal készítettük el (MAROS et al. 2006a, b). Ez az eszköz egy távirányítású, fényképsorozat-készítő és távmérő robot, amelynek segítségével akár egy félgömbfelületet is le lehet képezni tetszőleges számú fényképpel. A felvett képek középpontjainak, valamint programozható számú és helyzetű egyéb pontok távolságát a fotórobotba épített lézeres távmérő segítségével határoztuk meg. (A fotórobot fejlesztésében Gyenis Ákos és Gróf Gyula működött közre.) A vājvég orientálását a paláston és a homlok-palást határon bejelölt és geodéziaiilag meghatározott pontok alapján végeztük el. Ebből a fényképsorozatból a szintén a MÁFI által kifejlesztett CoreDump-szoftver (MAROS, PÁSZTOR 2001) segítségével állítottuk elő a vājvég 3D-s térbeli modelljét, melyből homlok-, palást-, illetve tetszőleges nézetű fotómontázsokat tudunk készíteni. A geodéziai adatokat (homlokonként 6 pont bemérését tartalmazó adatsorok, illetve a vāgak és a vāgatfúrások valamennyi geodéziai adatát feltüntető, ún. raporttérkép) a Mecsekérc szolgáltatta. Az észleléseket a fotómontázshoz vektorosan rögzített adatbázisba vittük be a fúrások szkenneléséhez kidolgozott CoreDump-program (MAROS, PALOTÁS 2000a, b) vāgatkódmentáláshoz továbbfejlesztett verziója segítségével. A leírás során a vājvégen szerzett tapasztalatainkat és a kőzeteknek a felszíni konténerirodáknál történő tanulmányozásából származó adatokat űrlapokon rögzítettük. Ezekben előre megadott mezőkben történt a leírás, amely a kőzetek, illetve a vājvég valamennyi, általunk fontosnak ítélt földtani, illetve tektonikai elemét tartalmazta. Az adatlapok kialakítása során adott mezőkhöz kapcsolódóan is törekedtünk a program által használt szókészletek alkalmazására. Így a létrehozott digitális adatbázist jól lehetett kezelni, táblázatkezelő szoftverrel könnyen be lehetett állítani a szűrőparamétereket. A dokumentáló, részben a biztonság kedvéért, „kézfotót” is készített az első dokumentálás alkalmával a homlokról, a palástszakasról és a fontos részletekről.

A napi kamerális munka részeként készült az adott fogás értelmzetlen (nyers, összeillesztett) és értelmezett homlok- és palástfotója (3. ábra), valamint az 1:200-as vāgatterkép kézi szerkesztésű rajza.

A homlokkép fotómontázsa tartalmazza a szabadon levő palástcsíkot is a betonozott részig. Ezt kiterítve kapjuk meg az adott palástcsík fotómontázsát (4. ábra).

A földtani és a tektonikai adatlapot a helyszínen készült jegyzőkönyv és esetenként a vājvégről felhozott kőzetminták alapján töltöttük ki. Minden homlok minden elkülöníthető (20 cm-t meghaladó méretű) kőzettestének leírása külön adatlapon történt, a fogáson belül saját sorszámmal. A tektonikai elemek egy adatlapra kerültek, számozásuk az adott fogáson belül folyamatos sorszámmal történt, külön megjelölve, hogy az elem csak a homlokon, csak a paláston, vagy mindkettőn látható.

A vāgathajtás kezdetén kialakult dokumentálási rendszer a körülmények változatossága miatt néhány esetben módosult. Az első időszakban a dokumentálás első fázisában készített, kinyomtatott „kézfotóra” rajzoltunk a leíró dokumentáció során. A módszer egyik hátránya, hogy a színes nyomtatványon nagyon rosszul látszott a rajz, főleg a felszín alatti rossz fényviszonyok között, másik, hogy a szintén nem ideális körülmények között ezek a fotók nagyon sérülékenyek voltak.

Nehezen megvalósítható feladatot jelentett, hogy a dokumentálók különböző szemléltetése ellenére lehetőleg egységes dokumentációt hozzunk létre. A váltott műszakban dokumentálók munkáját segítette az első időszak után az egymást követő, kinyomtatott „palástcsíkok” összeillesztése, így a tektonikai és kőzetani jellegzetességek jobban nyomon követhetőek voltak (4. ábra).

Az alapvāgak dokumentálása során a törészóna jellemző kőzetani felépítését, tektonikai jellegzetességeit, vízföldtani tulajdonságát egy külön töréses-öve-adatlapon rögzítettük. Ezen az adatlapon külön részleteztük a zónát felépítő generációk anyagát, mennyiségét (klasztok, mátrix), a szemcsék koptatottságát, osztályozottságát, a kárzóna jellegét, vastagságát, a zónát jellemző irányokat.

A további hasonló feladatok elvégzésekor hasznos tanulságokkal szolgálhat a dokumentálás menetének történeti szemléltető megközelítése is. A 2005-ben kezdődött vāgatkódmentálást természetesen a kor szintjén legmodernebb eszközökkel szándékoztuk végrehajtani. A tervezést Gyalog László (földtan), Maros Gyula (tektonika, hardverek, szoftverek) és Balla Zoltán (projektvezetés) végezte. Különböző dokumentálási körülményekre több különböző dokumentálási módszert dolgoztunk ki egy teljesen digitális és egy teljesen manuális, „kockásfüzetes” módszerrel, mint határ-esetekkel. Homlokra-palástra vetített referenciahálózat, állványokon végzett, kőzetközeli munkavégzés, a fotórobot által készített modellre és montázusra hálózatba kapcsolt „tablet-PC”-ken (ma I-Pad) történő adatrögzítés is szerepelt a legállékonyabb fogások dokumentálási tervében. Ezek közül néhány a gyakorlat során kisselektálódott, mások megvalósultak.

A szelekció okai különbözőek voltak. Első ezek közül a biztonság. A vāgathajtás kezdetén történt kisebb, de váratlan omlások, potyogások következtében — érthető biztonságtechnikai okokból — a biztosítatlan térség palástrésze, bármilyen kicsi is volt, gyakorlatilag megközelíthetlenné

vált. Csak a palást torkrétbetonozása után lehetett a homlokon közvetlen méréseket végezni, ahol a betonozás után jóval kevésbé voltak láthatók a földtani és tektonikai elemek. Ezt a kőzetfelszín mosása segítette valamennyire.

A második ok a bányakörülményekben rejlik. Annak ellenére, hogy a gránitos kőzetekben mélyített bányatérsek viszonylag tiszták, a folyamatosan szálló por, a dokumentációs térség nagy sárszennyezettsége, néha több deciméter mélységű tocsogók a vājvégén, a repedésekből csepegő, folydogáló vizek minden elektromosan működő eszköz legfőbb ellenségének bizonyultak. Az erős igénybevétel valamennyi, a bányában alkalmazott eszköz erősen megsínylette, gyakori cserék váltak szükségessé.

A harmadik ok az ún. „bányászati logisztika” (a bányászati munkák szervezése) jelentette. A dokumentációt folyamatos időszükében, más, bányászati munkafázisok elvégzésével párhuzamosan végeztük. A vājvég napról napra messzebb került a dokumentálóktól. Mindezek fényében eredménynek tekintjük, hogy a folyamatos, digitális dokumentációt a vāgathajtás során mindvégig megvalósítottuk.

A dokumentáció módszerét állandóan a kőzetekhez, szerkezeti körülményekhez kellett igazítanunk. A felhasznált hardverek és szoftverek folyamatos fejlesztésén, tesztelésén túl ez azt is jelentette, hogy az észlelt jelenségek körét bővítenünk-szűkíteniünk kellett. Az értelmezések fejlődéséhez kellett fejlesztenünk az észlelési technikát, tökéletesíteniünk az észlelési űrlapokat és adatbázisokat. Ez folyamatos jelenlétet és szakmai visszacsatolást kívánt. A dokumentáló csoport rendszeresen szakmai értekezleteken vitatta meg a tapasztalatokat, és próbálta egységesebbé tenni az egyes dokumentálók szemléletmódját. Ehhez dokumentálási utasítások, közzetani, szerkezetföldtani képes segédletek készültek. Ebben a folyamatban döntő részt vállalt Musitz Balázs, a fúrásos szerkezeti tapasztalatoknak a vāgatdokumentálási módszerekhez történő adaptálásában pedig Palotás Klára. A magmás és metamorf közzetani tudásbázis fejlesztése nagyban köszönhető Koroknai Balásznak, Gulácsi Zoltánnak és Király Editnek. A repedéskitöltések dokumentációját Szebényi Géza és Rálich Erzsébet egységesítette. A hardverek és szoftverek fejlesztéséhez Gulácsi Zoltán, Szebényi Géza és Halász Amadé szolgált értékes ötletekkel, tapasztalatokkal. A dokumentálási munkában a következő kollégák vettek részt: Albert Gáspár, Bíró István, Borsody János, Don György, Forián-Szabó Márton, Fűri Judit, Gulácsi Zoltán, Gyarmati Pál, Halász Amadé, Kemény Botond, Kókai András, Koroknai Balázs, Lantos Zoltán, Magyar Árpád, Majoros Péter, Musitz Balázs, Oláh István, Palotás Klára, Pereg Zsolt, Szebényi Géza és Török Patrik.

Mintavétel, vizsgálatok

A minták gyűjtésénél egyrészt a vāgak folyamatos (20 méterenkénti) dokumentációs mintázását, másrészt a kőzetváltozatok és repedéskitöltések vizsgálatát végeztük. A

felhozott minták közül az adott témával foglalkozó szakember választotta ki, hogy melyekből készüljön műszeres anyagvizsgálat.

A kőzetminták esetén vékonycsiszolat-leírások (elsősorban a lejtőszaknákból — Király Edit), teljes kémiai és nyomelem- (MÁFI), valamint mikroszonda-vizsgálatok (GKL), a repedéskitöltések esetén csiszolatleírások (Rálich Erzsébet), ásványfázis (röntgen- és termikus analízis, MÁFI) és fluidzárvány-vizsgálatok, valamint Ar–Ar radiometrikus kormeghatározások (Atomki) készültek. Az alapvāgak vāgatelőfűrásainak anyagából több vizsgálat (közzetani és kitöltéscsiszolat, röntgen- és termikus analízis) is készült.

A mintavétel helyét a kézi rajzon és az értelmezett fotómontázon is feltűntettük. Így a geodéták által készített riporttérkép segítségével — amely koordinátahelyesen, a vāgathajtással egyidejűleg ábrázolja a tervezett és a megvalósult vāgatszakaszokat — a mintavétel helyének koordinátái pontosan meghatározhatóak voltak.

A CoreDump-program

A CoreDump-szoftver eredetileg az ImaGeo mobil magszkenner-rendszer részeként a magfűrásokban előforduló tektonikai jelenségek értelmezésének megkönnyítésére, statisztikai kiértékelésére és relatív térbeli helyzetük dokumentálására készült (MAROS, PÁSZTOR 2001).

Az ImaGeo magszkenner digitálisan, RGB-színfelbontásban rögzíti a maximálisan 100 cm hosszú és 20 cm átmérőjű magszakaszok palástképét. A kapott képek maximálisan 360 DPI felbontásúak, ez századmilliméteres részletességet jelent. E mérési eredményeket a Spektra-programmodullal jeleníthetjük meg, illetve exportálhatjuk ki a statisztikai értékeléshez a képekből. A CoreDump-szoftverrel a fűrómag palástképein rögzíthetjük, és tulajdonságokkal láthatjuk el a szkennelt magszakaszokon megjelenő síkszerű objektumokat, amelyek lehetnek törések, repedések, kitöltések, ásványos elváltozások, foliáció, szöveti irányítottság vagy bármi egyéb (MAROS, PALOTÁS 2000a). A magszakaszokon megjelenő objektumok által jelzett események közötti relatív idősortrendet a CoreTime-szoftverrel elemezhetjük ki (MAROS, PALOTÁS 2000b). A PetCore-modul segítségével a fűrómagok képén szemcseeloszlást, szemcseirányítottságot, illetve felületi porozitást is értékelhetünk (MAROS, PÁSZTOR 2001). A CoreDump-program által relatív koordinátarendszerben rögzített adatokat valós térbeli adatokká konvertálhatjuk. Utóbbi az adott szakasz akusztikus lyukfal-televízió (BHTV) adataihoz szintén a CoreDump-programban történő illesztéssel végezzük el (MAROS, PALOTÁS 2000a, ZILAHÍ-SEBESS, SZONGOTH 2002).

A CoreDump-szoftvert 2005-ben — a vāgak indulásával egyidejűleg — készítettük fel a fotórobot (MAROS et al. 2006a, b) vāgatképeinek fogadására. Ezek a verziók már egyaránt alkalmasak mind a magszkennelt, mind a fotórobot által készített vāgatbeli fotósorozatok geológiai kiértékelésére. A CoreDump-programon belül a magszkennelt képeken, illetve a vāgak fotósorozatain jelölt pont- és síkszerű

vagy kiterjedéssel rendelkező objektumokhoz orientációs, numerikus vagy szöveges adatokat fűzhetünk. Az így keletkező vonalmű adatait tetszőlegesen osztályozhatjuk, majd később az adatbázison végzett lekérdezéseket sztereografikus projekciókon, rózsadiagramokon, tadpole-diagramokon (földtani és tektonikai mért síkok dőlésadatainak mélység vagy távolság szerinti ábrázolása), hisztogramokon jeleníthetjük meg. A program segítségével — a térinformatikában általánosan használt — standard dxf-formátumban exportálhatjuk ki az összes képzett pontot, vonalat, síkot, illetve készíthetünk jpg formátumú fényképeket a munkafolyamat során bármikor tetszőleges nézetben és nagyításban, a felrajzolt vonalművel, a ki-be kapcsolható méterráccsal és a feliratokkal, együttesen vagy ezek nélkül.

A CoreDump kezdeti, a vágatban alkalmazott verziói a felvett homlok- és palástfotókat külön jelenítették meg, továbbá a képek illesztése manuális volt, ami sok időt és energiát emésztett fel. A későbbiekben gyakorlatilag minden évben fejlesztettük a programot, és lehetőség szerint a fotórobotot is. Ezt a munkát — a dokumentálók egyéni igényeit is figyelembe véve — Maros Gyula irányítása alatt a legnagyobb részben Gróf Gyula és Gyenis Ákos végezte. A képeket a program már kezdetektől a fotórobotból kinyert adatok segítségével pozícionálta a relatív koordinátarendszerű térben, a vájvégalak meghatározását azonban csak félig automatikusan végezte, a kezelőnek két paraméter beállításán keresztül volt lehetősége azt a valóságnak leginkább megfelelővé alakítani. A képillesztéshez szükséges pontokat a felhasználónak azonban itt még kézzel, egyenként, a szoftver segítségével kellett felvinniük a digitális fotókra. Ekkor még teljes egészében a felhasználó döntötte el, hogy mely képeket és hogyan mozdítson el a program segítségével. Ez a folyamat nagy koncentrációt igénylő és bizonyos esetekben akár több órás munkafázis volt. Már a korai verziókban is volt lehetőség az ún. georeferenciapontok adatainak megadására azzal a céllal, hogy a dokumentált fogást a valós térben is el lehessen helyezni, de az ezekkel végzett számítások, a 3D megjelenítés hiánya miatt, nem ellenőrizhető eredményre vezettek. Így ezeket csak az adatbázisban tároltuk. A georeferenciapontok a homlok és a palást határát, a palást kitüntetett pontjait, illetve a lényegesebb fúrások helyét jelölik, és a geodéták által bemért EOV koordinátákkal rendelkeznek.

A CoreDump-program további, 2009. évi fejlesztése során elsődleges szempont a 3D-s megjelenítés elérése volt, másodlagos célként pedig a dokumentálók terhelésének csökkentését és a rövidebb feldolgozási időt tűztük ki. E célokat részben a program egyszerűsítésével, részben pedig a munkafolyamatok automatizálásával értük el.

Ez az egyszerűnek tűnő feladat igen sok nehézséget okozott, ugyanis mindezt úgy kellett megoldanunk, hogy közben lehetőséget adjunk az emberi beavatkozásra az egyes munkafolyamatokban, illetve ne zárjuk ki a későbbi fejlesztések lehetőségét sem. Az előbbi azért lényeges, mert a program több esetben is nagyon sok paraméterrel dolgozik, és ilyenkor nem minden esetben választ ideálisan a

rendelkezésre álló lehetőségek közül, az utóbbi pedig azért fontos, hogy a későbbiekben felmerülő igények kielégítésére is találhassunk módot.

A fenti célkitűzéseink megvalósításához a program elemeit és funkcióit részben újragondoltuk. Ennek során megváltoztattuk a 28 darabos fényképalap beimportálásának menetét és részben a vájvég 3D-s poligonvázának készítési folyamatát is. Közel megtripláztuk a távolságméréssel rendelkező pontok számát, 72-re. Automatizáltuk a képillesztést is oly módon, hogy szükség esetén az illesztési pontok, illetve később az illesztési módszerek kiválasztásával a végeredményt befolyásolni lehessen. A meglévő paneleken belül az egyes funkciók gombjait esetenként más helyre tettük, ezzel is segítve a jobb áttekinthetőséget. Próbáltuk minél inkább felhasználóbaráttá tenni a szoftvert.

Az új CoreDump-verzióban a geodéziai koordinátákkal rendelkező pontok adatainak beolvasása automatikus. Ennek az eredménye rögtön megtekinthető és körbeforgatható egy külön felnyitható kis ablakban. A program itt egyszerűre 3D-ben jeleníti meg a georeferenciapontok helyét, a pontok látszólagos helyét a vájvég poligonvázán, valamint az égtájakat. Így gyorsan és egyszerűen kimutathatók és ellenőrizhetőek a tektonikai és a geodéziai mérések esetleges hibái, illetve az adatkeveredések.

Szintén újdonság, hogy a CoreDump a 28 alapfotóból előállított kompozit vájvégképet a vájvég 3D-s háromszögmodelljére feszíti. A programmal a vájvégről tetszőleges nézetű kivágatot hozhatunk létre, és a palást kiterített felületi képét is megjeleníthetjük (4. ábra).

Az ilyen tetszőleges nézetek összeállítása időigényes folyamat, mert a képeket a képillesztéskor meghatározott térbeli adatokkal kell a programnak a vájvégmodellre rávetítenie. Ezt az időt spórolhatjuk meg azzal, hogy az elkészült nézeti képeinket elmentjük.

Újdonság, hogy a homlok- és palástképek elmentése után kirajzoltathatunk egy EOV-koordinátarendszerhez illesztett 3D-s nézetablakot, amelyben az adott fogásunkat az egér vagy a billentyűzet segítségével körbejárhatjuk. Itt az objektumok, a homlok és a palást fényképei külön-külön ki- és bekapcsolhatók. A program lehetőséget ad arra, hogy bármely rajzi elemet — pl. berajzolt törést — kiválasszuk, illetve megjelenítsük a sík lefutása alapján számolt dőlésirányt és dőlésszöveget. Ha ezt az értéket nem találjuk helyesnek, megadhatjuk azt az értéket is a programnak, amit a dokumentáló a vájvégen mért. Ekkor egy halványabb metszetet is felrajzol a program, amely a dokumentáló által megadott értéknek felel meg. Ezzel nagyon könnyen kiszűrhető az esetleges mérési hibák.

A programmal 3D-ben jeleníthetjük meg — akár több fogáson keresztül — a fogás környezetében lévő homlok- és palástképeket, így az ábrázolt objektumok térbeli helyzete jobban átláthatóvá, érthetővé válik (5. ábra). A 3D-s vájvégen megjelenő objektumokhoz rendelt síkokat térben láthatjuk, szerkeszthetjük, illetve körbeforgathatjuk. Ez kiegészítve azzal, hogy az adott fogásunk környezetében más fogások rögzített objektumait is láthatóvá tehetjük vagy akár szerkeszthetjük is, jó korrelációs lehetőséget ad a

fogások objektumai között, egyben előrevetíti a következő fogásban megjelenő objektumok várható helyét, illetve irányát.

A palástképet a program — a térképi megjelenéshez jobban igazodó — felülnézeti vetületben jeleníti meg. Ez úgy valósítható meg, hogy az eredetileg belülről fényképezett vágat képét egy téglalap alakú síkfelületre vetíti, majd ezt a képen látható vágatirány hossz tengelyére tükrözi, mintha a palástképet kívülről, felülről nézve, a főte tengelyére kiterítve látnánk.

Földtani képződmények

A közettípusok dokumentálására használt adatlapon a vizsgált kőzet alapadatait (dokumentálási adatok, kőzettest neve), valamint fő jellemzőit (helyzete, mérete, kontaktusai, színe, szemcsemérete, ásványos összetétele, az ásványok jellemzői, a kőzet metamorf bélyegei) adtuk meg.

A vágatok szinte kizárólag a *Mórági Gránit Formáció* különböző közettípusaiban haladtak (porfíros és ritkaporfíros monzogranit, kontaminált monzogranit, kontaminált monzonit, monzonit). A nyitóponttól az első 600 m-es szakaszon az első torlasztó zónáig (az ún. Klára-törésig) porfíros monzogranit volt az uralkodó kőzettípus. Ezután porfíros és ritkaporfíros monzogranit váltakozása következett monzonitlencsékkel kb. 1050–1150 m-ig. Innen a kontaminált monzonit vált uralkodóvá, monzonitos és kontaminált monzogranittestekkel 1500–1570 m-ig. A lejtőszakna utolsó szakaszán a kontaminált monzogranit és kontaminált monzonit váltakozása volt a jellemző, egy nagyobb mikrogranittesttel. A Kis- és Nagyhurok területén a ritkaporfíros monzogranit az uralkodó az ÉK–DNy-i irányú Patrik-törésig, ettől D felé ismét kontaminált monzogranit és kontaminált monzonit váltakozása jellemző. A Nagyhurok ÉNy-i sarkában a lejtőszaknák utolsó szakaszában harántolt kontaminált monzogranit – kontaminált monzonit-szakasz DNy-i folytatása látható.

A Mórági Gránitban gyakoriak a néhány cm-estől a néhány dm-es vastagságot elérő kőzettelérek, elsősorban az aplitok. Ezek a telérek egyes szakaszokon feldúsulnak, a vágat anyagának akár 10%-át is adják. Ilyen telérdúsulást észleltünk a lejtőszaknák 1400–1600 m-énél és a Nagyhurok ÉNy-i sarkában is. Arányuk egyes vágatokon az 50%-ot is eléri (pl. a Táróló-összekötő vágat, TOVE005_13,5 fogásban).

A Mórági Gránitot a kréta *Rozsdásserpenyői Alkálibazalt Formáció* néhány telére szeli át. Ilyen teléreket a Nyugati lejtőszakna 50–60. m-énél (ÉK–DNy-i irányval), a lejtőszaknák 80–150. m-ében (ÉK–DNy-i irányval), 580–640. m körül (K–Ny-i irányval), illetve a lejtőszaknák végénél és a Nagyhurok ÉNy-i sarkában (ÉK–DNy-i irányval) harántoltak a vágatok. Ez utóbbi volt a legnagyobb, ezt már az Üh–27 fúrásban észleltük, mindkét lejtőszakna, a Tárólói szállító- és a Táróló-összekötő vágat is harántolta. (E telér mentén jelentős vízbeáramlások voltak a vágatokban.)

Tektonikai elemek

A tektonikai adatlapon a mért adatokon kívül (dőlésirány, vetőkarc szöge), leírtuk az adott objektum geometriáját, a repedéskitöltés jellemzőit, a vízmegjelenés jellegét, mértékét, az elmozdulás típusát. A tektonikai elemek között tüntettük fel a vonalas földtani képződményeket (pl. mafikus zárványok, apliterek és -telérek), amelyek a korai szerkezetalakulás nyomait őrzik, valamint a plasztikus deformációt jelző paláságot, illetve milonitosodást, milonitot.

Nyílt és zárt töréseket különböztettünk meg, ezeknek elsősorban vízföldtani szempontból volt jelentőségük. Akkor tekintettük nyíltnak a törést, ha vizesedést vagy drúzás karbonátos kitöltést, illetve limonitosodást észleltünk a törés mentén.

A nagy vastagságú, vízvezető törések lefutása a betonozás után is jól megfigyelhető, mivel mészkiválás és cseppkőképződés kíséri (1–2. fénykép). A vágatban mélyített előfúrások és szondafúrások kútvizsgálati adatai alapján már a vágathajtás előtt megtörtént az erősen vízáradó szakaszok injektálása, így a dokumentálás folyamán a jelentős vízáradó zónák már kevésbé voltak megfigyelhetőek. A töréseket jelentőségük alapján három csoportra osztottuk. A fontos töréseket 200-asnak, a kevésbé fontosakat 100-asnak neveztük, utalva arra, hogy az ábrázolandó objektum milyen méretarányú (1:200-as vagy 1:100-as) térképen jelenik meg. A 200-as és 100-as törések dőlésirányát a dokumentálás során rögzítettük. A mért érték nélküli, azonban az általános töréskép megismerését segítő, kevésbé jelentős töréseket szagatott vonallal jelöltük a homlokrajzon. Amennyiben egy töréses zóna vastagsága meghaladta a 10 cm-t, megállapodás szerint töréses övnek neveztük.

A kutatás korábbi fázisaiban több fő törésirányt különítettünk el (MAROS et al. 2003). Ennek nyomán a Mecsek-alja-övvvel párhuzamos, ÉK–DNy-i csapású törések csoportjára a „csapásirányú”, míg az erre az irányra közel merőleges, ÉNy–DK-i csapásiránytól az ÉÉNy–DDK-i csapásirányig terjedőkre a „haránt irányú” megnevezést használtuk. Ezekon kívül jelentős a K–Ny-i (NyÉNy–KDK-i) és az É–D-i csapású törések csoportja is.

A vágatok által harántolt nagyobb törésrendszerek közül egyesek a környezetüktől jelentősen eltérő torlasztó, illetve vízvezető hatással rendelkeztek. A torlasztó övek jellemzően K–Ny-i csapásirányúak. Ezek közül a lejtőszaknák 540–590 m-nél a Klára-törést, illetve 1450–1500 m-nél a Péter-törést harántolták, igazolva torlasztó jellegüket. A vízvezető törések leggyakrabban ÉK–DNy-i lefutásúak. Ezek közül a legjelentősebb a Kishurok két alapvágata és a Táróló-összekötő vágat által harántolt törésnyaláb, a Patrik-törés.

Kitöltések

A repedéskitöltő anyagok vizsgálatának a vízföldtani szempontok miatt kiemelt jelentőséget tulajdonítottunk. A vágathajtás során szembevető tapasztalat a leukokrata

(földpátdús) kőzetdifferenciátumok (leukokrata monzogránitok és aplitok) kiemelkedően rideg viselkedése, emiatt töredezettsége és — valószínűleg ezzel kapcsolatosan — esetenkénti igen jó vízáteresztő képessége (SZEBÉNYI, RÁLISCH 2008). A kloritos vagy agyagásványos, egyszerű repedéskitöltések legtöbbször szárazak, az egyszerű, egygenerációs karbonátkitöltések is ritkán adnak vizet, de minél változékonyabb a kitöltés összetétele, minél többször szakadt fel, nyílt ki, töltődött ki újra, annál nagyobb a valószínűsége, hogy a törési sík egyes helyein jó vezető-képességű erek alakulhattak ki. Az agyagtartalom a vízesedés ellen hat, a karbonáttartalom a vízesedésre hajlamosítja a töréses öveket (JAKAB et al. 2009).

A vágatokban a legelterjedtebb repedéskitöltés az agyagásvány, a karbonát, a klorit és a laza vas-oxid-hidroxid kiválás, kevésbé gyakoriak az epidoterek, kvarcerek és kvarctelések. Járulékos ásványokként az erekben előfordult pirit, prehnit és fluorit. Nem jellemző, hogy tisztán, csak egy ásványfajta töltson ki egy repedést, egy-egy szakaszon túlsúlyba kerülhet valamelyik kitöltő anyag, de akár egy törésen belül is, kis távolság alatt is változhatott a kitöltés jellege. A többszöri felnyílás következtében gyakran bonyolult belső felépítés alakult ki. A 3. fényképen egy többszörös felnyílással keletkezett kitöltés látszik, amelyben egy korábbi kitöltésből származó karbonátklaszt és több granitoid-darab „úszik” a karbonátos mátrixban.

Az agyagásványok a töréses övekben uralkodó mennyiségben fordulnak elő, leggyakoribb a montmorillonit, az illit és a paligorszkit. Az utóbbi Mg-ban dús oldatokból válhatott ki (KOVÁCS-PÁLFY, FÖLDVÁRI 2004). A repedéskitöltések közül a kloriterek előfordulása látszólag az egyik leggyakoribb a vágatokban. A klorit a dokumentálás során egy ásványcsoport gyűjtőneve, lehet más ásvány, pl. zöld-fekete csillám is. Feltételezhető, hogy a vágatokban a csoport több tagja is előfordul, mivel vizuálisan is több árnyalatát el lehetett különíteni. A klorit vastagsága változatos, a lehetővékony hártától a több centiméteres méretig terjedhet. A klorit nemcsak repedéskitöltő ásványként jelenik meg, hanem a mellékkőzetben is, mivel a színeselegyrészek hidrotermális bontásának egyik terméke. Gyakran figyelhető meg szalagos-sávós, szimmetrikus karbonátos repedéskitöltés, amely a különböző felnyílások során megváltozott körülményeket jelzi. A dokumentálás során a leírók megkülönböztettek fehér (kalcit, esetleg dolomit), rózsaszín (kalcit, rodokrozit), barna (sziderit, ankerit), világoszöld és krémszínű változatot. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy ezek terepi megnevezések, a változatok műszeres vizsgálata egyelőre nem történt meg. A kvarcerek néhány esetben tömzösen fordulnak elő aplitban, ilyenkor rendszerint az aplittest belsejében helyezkednek el, és nagyon gyakran monomineralikus, nagykristályos, pegmatoid jellegűek. A kvarc egy része a befogadó kőzetek ásványos összetevőiből származik, törmelékeny elegyrészként került a kitöltést eredményező oldatokba (KOVÁCS-PÁLFY, FÖLDVÁRI 2004), egy része pedig az intruzív breccsák laza mátrixának hidrotermális átítatódásaként jelenik meg. Az epidot mint másodlagos ásvány, illetve kőzetalkotó

akcesszória is jelentkezik, de hasadékkitöltésként szintén találkozhatunk vele. Az epidoterek jellemzően leukokrata slírekkel kontaminált monzogránitban és kontaminált monzogránitban, illetve apliterek mentén jelennek meg (4. fénykép), azonban kisebb, a tektonikai adatbázisban nem szereplő törésekben is előfordulhatnak. Az epidot és a kloritásványok színe között lévő árnyalatnyi különbség megítélését nehezítik a felvételezés során a változó nedvességi és megvilágítási viszonyok is.

A vágathajtás legutolsó szakaszában több helyen előfordult fluorit, amelynek zöld, ibolya és színtelen változatát is megtaláltuk (5. fénykép).

Térképek

A rajzos dokumentációk a dokumentált homloktól több lépcsőben vezetnek el a környezet földtani térképéig. A dokumentálás során látható vájvéget a homloktérkép mutatja be. A palásttérkép már nem egy látható szakaszt mutat be, hanem az egységes kép a fogások 1–3 m-es palástszakasaiból áll össze 25, illetve 50 m-es szakaszonként. Az 1:200-as vágattérkép a vágatok teljes hosszában mutatja be egy képzeletbeli síkban (a vágat 2 m-es magasságában) a földtani képet. Az 1:1000-es vágattérkép már a vágatok közötti teret és azok környezetét is bemutatja. Végül az 1:5000-es térkép a tágabb földtani környezetben helyezi el a vágatdokumentálás során kapott földtani eredményeket.

Homloktérkép

Valamennyi vágathomlokról 1:100-as földtani térképet készítettünk, fényképalappal és földtani kiértékeléssel (6. ábra). A fényképalap a CoreDump-programmal készített fotómontázs. A térképen külön kivágaton látszik az adott homlok pontos helye a vágatban, ezenkívül a geodéziailag (a Mecsekérc által) bemért georeferenciapontok helyét és mért adatait is feltüntettük, valamint megjelöltük az előfúrások helyét is a homlokon.

Palásttérkép

A palástokról a lejtősaknák mélyítéskor 25 m-es szakaszokban 1:100-as, az alapvágatoknál 50 m-es szakaszokban 1:200-as palásttérképet állítottunk elő. Ennek módszerét Albert Gáspár dolgozta ki (ALBERT et al. 2006a, b), és az egyes szakaszok szoftveres előkészítését és ellenőrzését is ő végezte. A palásttérkép alapanyaga a CoreDump-pal előállított, a fogás palástjáról készült fotómontázs. A térkép-szerkesztéshez az AutoCad Map 3D-programot használtuk. A fotómontázs beillesztése a bemért georeferenciapontok alapján történt az Autodesk Raster Design-szoftver alkalmazásával. A palásttérképek centrális hengervetülettel, a valós felület egyenletlenségeit idealizálva, a talp ábrázolása nélkül készültek, ennek modelljét ALBERT (2009) dolgozta ki. A térképek vágatokhoz viszonyított koordinátarendszert követnek, amelyben a vízszintes tengely a vágatok hossz-

tengelyének felel meg, metrikus beosztású, és az origó az adott vágat kezdőpontja. A vágat fala és mennyezete a vágat tetején húzódó, a vágat tengelyével párhuzamos síkra van kivetítve, mintha felülnézetben kihajtogattuk volna oly módon, hogy a bal oldalfal mindig a térkép felső szegélyén, a főte mindig középen és a jobb oldali fal mindig a térkép-szelvények alsó szegélyén található (a vágathajtás a térképen jobbra halad). A palástcsíkokat koordinátahelyesen összeillesztve végeztük el a rajzos kiértékelést (7. ábra), majd ebből készült a tisztázati földtani palásttérkép (8. ábra). Utóbbinak egy részletét a jelek láthatósága érdekében a 9. ábrán mutatjuk be.

1:200-as vágattérkép

Elkészítettük a vágatok és környezetük különböző méretarányú földtani térképeit is (10. ábra). Alapdokumentációként a vágatok 1:200-as földtani térképe készült el (a vágatok 2 m-es magasságában). A kézi szerkesztésű 1:200-as térkép folyamatos korrigálásra szorult a digitalizálás során, mivel a rajzolás idején még nem állt rendelkezésre valós kitérésű szelvény.

A tektonikai elemeket már a 200-as térképen a lejtőszaknak, illetve az alapvágatok között korreláltuk. Megismertük a vágatokban a töréses övek területenként változó, jellegzetes irányait, kitérésüket, ezek jellegzetességeit, a jellegzetes torlasztó-szigetelő zónákat. Az első szakasz (a lejtőszaknak első 600 m-e) tisztázati térképét Palotás Klára, a továbbiakét Fűri Judit készítette.

1:1000-es vágattérkép

A vágatok mentén, azoktól mindkét irányban a kiegészítő fúrási adatoktól függően mintegy 80–150 m-es távolságig kiterjesztett területről 1:1000-es földtani térkép készült a vágatok 2 m-es síkjában. Elsőként csak a 3. dokumentálási fázis szakaszáról készült ilyen, 1:1000-es térkép (MAROS 2008), ezt később a vágatok teljes hosszára kiterjesztettük.

Ezen a térképen a töréses öveket, a fontosabb töréseket, valamint a különböző kőzetváltozatokat, teléreket próbáltuk korrelálni a vágatok között. Ebben a feladatban nehézséget okozott, hogy a töréseket kísérő átalakulások, illetve a törések kitérése kis szakaszon belül is igen jelentős eltérést mutatott. A nagyobb zónáknál, az elmozdulás mértékének megítélését nehezítette, hogy a feltárás a vágatra korlátozódott. A Kis- és Nagyhurok térképét a 11. ábra, egy részletét a 12. ábra mutatja be.

További fontos információt jelentettek a vágatfúrások szolgáltatott adatok, bár a részletek a fúrásokban jobban megfigyelhetőek, a léptékbeli különbségből kisebb eltérések adódtak a vágatdokumentációhoz képest. Ilyenre egy

példa: a Tárolói szállítóvágat végén (a vágat ÉNy-i részén) a vágatban kontaminált monzonitban leukokrata slírek látszóttak. Ezeket a BeR-7 előfúrás vagy nem érintette, vagy a slírt hosszában harántolta, és így ezt a szakaszt a fúrásdokumentációban monzogránitos összetételűnek definiáltuk. A vágatokban, a fúrásokkal ellentétben, az irányítottság is mérhető (az előfúrásokban nem volt magszkenelés, így ennek hiányában az irányok sem voltak mérhetőek). Az elmozdulás jellegének meghatározását az is nehezítette, hogy a törések többszöri felújulása következtében a régebbi vetőkarcirányok felülíródtak, előfordult, hogy egy törési síkon három különböző irány is látszott. A magmakeveredés során kialakult kőzetek jellege egy fogáson belül is igen változatos, illetve a különböző kőzettípusok között folyamatos átmenet is kialakulhat, így helyenként nehézséget okozott egy-egy kőzettest lehatárolása.

A 0 m-es szint 1:5000-es térképe az alapvágatok térségében

A vágatok tágabb térségének földtani-tektonikai képét 1:5000-es térképen csak az alapvágatok térségében, a 0 m Bf szintben mutattuk be (13. ábra). Ez része lett a terület tágabb körzetét függőleges szelvényeken és 50 m-enkénti vízszintes metszeteken bemutató sorozatnak is (BALLA 2010a).

A térképen jól kirajzolódnak az uralkodóan ÉK–DNy-i irányban megnyúlt szerkezetek, amelyekben a dőlések változása alapján redőket is feltételeztünk (MAROS 2006, BALLA 2010b).

A tektonikai elemek közül csak a legjelentősebb töréses övek kerültek fel a térképre. A leggyakoribb, legnagyobb törészónák közel párhuzamosak a fenti szerkezetekkel, emellett ÉNy(NyÉNy)–DK(KDK)-i szerkezetek jelentősek, de É–D-i elemek is előfordulnak. A K–Ny-i csapásirányú torlasztó öveket az 1:5000-es térképen eltérő színnel és külön névvel jelöltük.

Összefoglalás

A vágatok földtani-tektonikai dokumentálása során új technikai lehetőségek kihasználásával új elemekkel kibővített dokumentálási rendszert dolgoztunk ki. Ez a módszer a helyszínen a fotórobot használatával, illetve a feldolgozás során a CoreDump-szoftver használatával nagymennyiségű földtani és tektonikai adat kezelését tette lehetővé. A végeredményként előállított homlok- és palásttérképek a vágatok térségének részletes dokumentálási termékei. A szerkesztett térképek a távolabbi környezetre is kiterjesztve mutatják be a terület földtani és tektonikai képét.