

A BAF–2 fúrás töréses szerkezeti elemeinek mikroszerkezeti és cementáció vizsgálata (Bodai Agyagkő Formáció)

HRABOVSZKI Ervin*, TÓTH Emese, RAUCSIK Béla, VARGA Andrea, SCHUBERT Félix

SZTE TTIK Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem utca 2.

*levelező szerző, e-mail: ervin.hrabovszki@gmail.com

Microstructure and cementation analyses on core samples from the BAF–2 well (Boda Claystone Formation, Mecsek Mts)

Abstract

The Boda Claystone Formation, which is a potential host rock for a high-level nuclear waste repository, is located in the Mecsek Mts (SW Hungary). Since this formation is characterized by low porosity and permeability the fluid flow occurs through fractures and structural inhomogeneities. The aim of this study is to determine the microstructure of the structural elements caused by major deformation events. Morphological, textural and mineralogical analyses were carried out on core samples from borehole BAF–2. A total of fifty-six samples were collected from a 74.34–899.22 m depth interval, which covers almost the true vertical depth of the borehole. The mineralogical composition of vein-filling minerals was analysed by polarizing microscopy, X-ray fluorescence spectroscopy and Raman microspectroscopy. The dip angles of the veins were determined using stitched core scanner images. These dip values were corrected by the measured tilt of the well. According to the observations made for this study, veins from borehole BAF–2 can be divided into six groups based on their mineralogical composition, growth morphology and average dip angle. The dominant vein-filling minerals are calcite and anhydrite with small amounts of albite, celestine, quartz, baryte and pyrite, respectively. The growth morphology can be syntaxial, antitaxial and ataxial as well. The dip values define three groups with, respectively, 22°, 42° and 70° average values. Given the dip angle distribution and microstructure analyses deformation history and palaeofluid flow events might have been more complex than once thought.

Keywords: fracture cementation, dip angle distribution, vein-filling minerals, vein geometry, microstructure

Összefoglalás

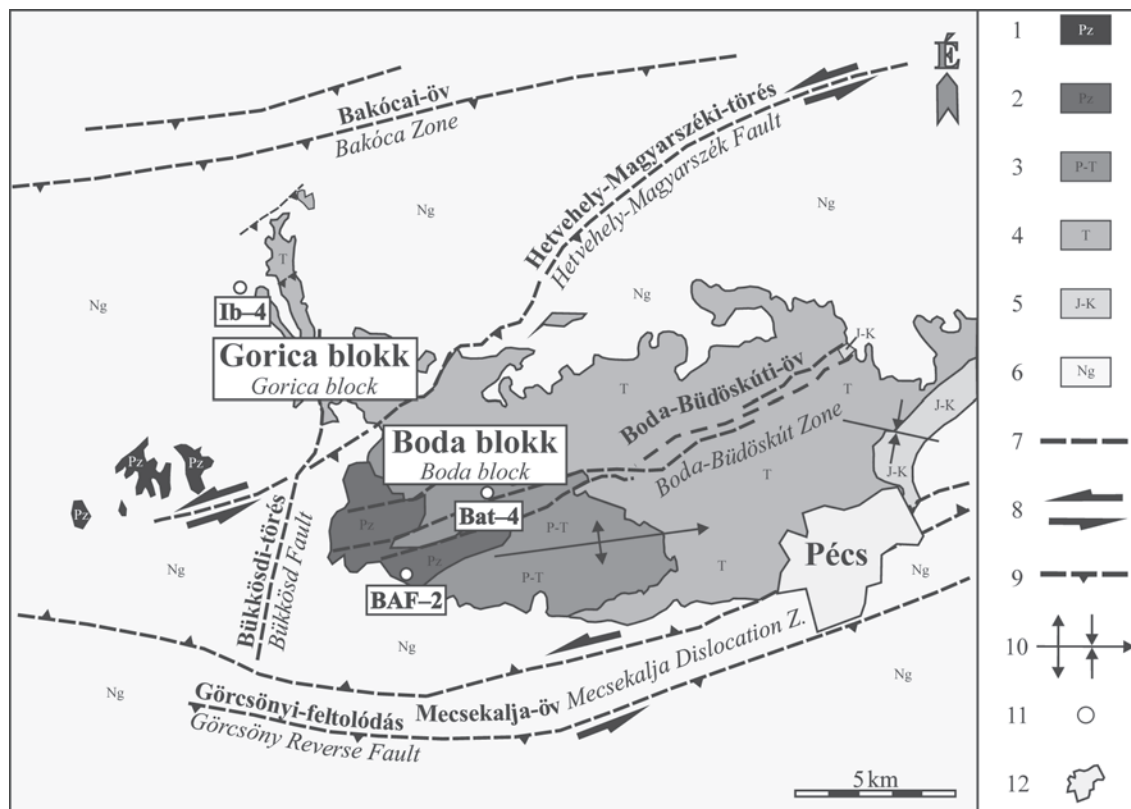
A Nyugati-Mecsekben elhelyezkedő Bodai Agyagkő Formáció (BAF) a nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére szolgáló, mélygeológiai tároló potenciális befogadó képződménye. Mivel a BAF porozitása és permeabilitása extrém kicsi, így abban fluidumáramlási útvonalak törések, szerkezeti inhomogenitások mentén jöhetnek létre. Ebből adódóan kiemelkedően fontos a BAF deformációtörténetének megismerése, melyről a repedések, repedésrendszerek hordoznak információt. Kutatásunk során a Boda község közelében mélyült BAF–2 fúrás 74,34–899,22 m közötti mélységtartományából származó 56 db fúrómagminta szerkezeti elemeinek morfológiai és ásványtani vizsgálatát végeztük el, továbbá a repedéskitöltések belső mikroszerkezetét értelmeztük. Az egyes repedésgenerációk cementfázisainak összetételét polarizációs mikroszkópos megfigyelések, röntgenfluoreszcens spektrometria és Raman mikrospektroszkópia segítségével elemeztük. A magpalástról készített felvételek alapján az ereket 22°, 42° és 70° átlagos dőlésszögű csoportba soroltuk. A repedéskitöltéseket ásványtani alapon két kategóriába osztottuk. Az első kategóriába sorolható erek dominánsan kalcit kitöltésűek, azonban a másodlagos repedéskitöltő ásványtársulások mintánként eltérően albit, albit–cölesztin, valamint kvarc–pirit lehetnek. A vizsgált repedéskitöltések második csoportjában kalcit–anhidrit a domináns kitöltő ásványegyüttes, amely mellett másodlagosan kvarc–barit–cölesztin, valamint albit–pirit–cölesztin jelenik meg. A repedéskitöltések szöveti elemzése során szintaxiális, antitaxiális és ataxiális növekedési morfológiával rendelkező ereket különböztettünk meg. Az ásványtani alapon közös kategóriába sorolható értípusok orientációbeli, valamint szöveti tulajdonságaik alapján azonban markánsan eltérő deformációs és fluidumáramlási eseményeket jeleznek.

Tárgyszavak: repedéscementáció, dőlésszög eloszlás, repedéskitöltő ásványok, érgeometria, mikroszerkezet

Bevezetés, előzmények

A hazai nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok végleges elhelyezése mélységi geológiai tároló telephelyének kijelölését teszi szükségessé. Ebből adódóan a kiégett nukleáris fűtőanyag és a nagy aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére hazánkban több évtizede folyik kiterjedt tudományos kutatás (pl. BÁRDOSY 1995, 1998, 1999; ÁRKAI et al. 2000; KONRÁD & HÁMOS 2006; VARGA et al. 2006; HEGYHÁTI 2007; FEDOR et al. 2008, KONRÁD et al. 2010; HALÁSZ 2011; MÁTHÉ & VARGA 2012; MÁTHÉ 2015; KERÉKI 2016). A megfelelő tároló telephelyének célzott földtani kutatása a Nyugati-Mecsekben az 1990-es évek óta folyik a Bodai Agyagkő (korábbi nevén Bodai Aleurolit, a továbbiakban BAF) Formációban (I. ábra), habár az uránérc bányászatának köszönhetően már a nyolcvanas években felvetődött, hogy a BAF számbavehető képződmény lehet radioaktív hulladék-tároló befogadására. A BAF, mint potenciális befogadó képződmény az agyagjellegű befogadó közeg kategóriába sorolható (KONRÁD & HÁMOS 2006). MAZUREK et al. (2003) alapján a szilárd, előrehaladott konszolidációs fokon álló, de agyagtulajdonosságait még megőrző aleurolitok, agyagkövek a nukleáris hulladékok végleges elhelyezése szempontjából számba-

vehető agyagjellegű képződmények egyik kiemelkedő fontosságú csoportját alkotják. Erre a csoportra többek között a nagyfokú homogenitás, az alacsony vízáteresztő képesség, a képlékeny deformációra való hajlam, továbbá a repedések öngyógyuló képessége jellemző. A befogadó kőzet alkalmassága ugyanakkor nagymértékben függ a fluidumáramlási folyamatoktól. Mivel a BAF-ra extrém kis porozitás (maximum 3%) és permeabilitás ($<10^{-18}$ – 10^{-21} m²) jellemző (FEDOR et al. 2008), így áramlási útvonalak jellemzően törésekhez, szerkezeti inhomogenitásokhoz kötődhetnek (MAROS 2006). Ennél fogva elengedhetetlen a képződmény szerkezeti képének megismerése, a repedések menti, egykori áramlási folyamatok értelmezése. Ebben a vonatkozásban ÁRKAI et al. (2000) számos anyagvizsgálati módszer (többek között fluidumzárvány vizsgálatok, stabilizotópmérések, elektronmikroszkopos és röntgen-pordiffrakto-metriás vizsgálatok) alkalmazásával jellemezték a repedés-kitöltéseket. Mindezen kulcsfontosságú ismeretek mellett azonban a korábbi kutatások nem érintették részletesen az erek makroszkópos és mikroszkópos morfológiáját, a képződési mechanizmusok lehetséges típusait, ugyanakkor a szerkezettejlődés pontosabb megismeréséhez ennek vizsgálatával fontos információkhoz juthatunk. Az erek makroszkópos morfológiájának, a felépítő kristályok alakjának,



1. ábra. A Bodai Agyagkő Formáció elterjedési területe (KONRÁD & SEBE 2010, módosítva)

Jelmagyarázat: 1 - paleozoos képződmények általában; 2 - felső-permi Bodai Agyagkő Formáció; 3 - felső-permi Kővágószőlői Homokkő Formáció; 4 - triász üledékes kőzetek (homokkővek, karbonátok, evaporitok); 5 - jura és kréta üledékes kőzetek, kréta vulkanitok; 6 - neogén képződmények; 7 - vető; 8 - oldaleltolódás; 9 - áttolódás; 10 - szinklinális és antiklinális; 11 - fúrásponyt; 12 - település

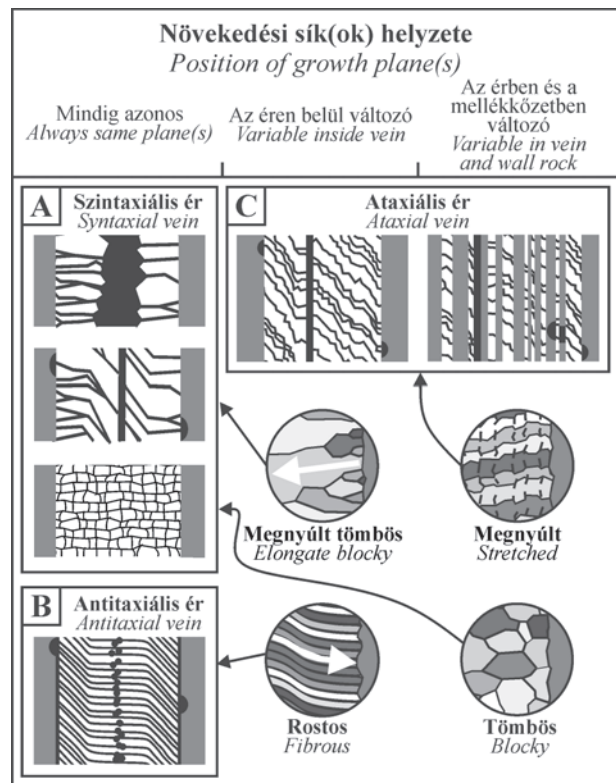
Figure 1. Distribution of the Bodai Claystone Formation (modified after KONRÁD & SEBE 2010)

Legend: 1 - Palaeozoic in general; 2 - Upper Permian Bodai Claystone Fm; 3 - Upper Permian Kővágószőlői Sandstone Fm; 4 - Triassic sediments (sandstones, carbonates, evaporites); 5 - Jurassic and Cretaceous sediments and Cretaceous volcanite; 6 - Neogene sediments; 7 - fault; 8 - strike-slip fault; 9 - thrust fault; 10 - syncline and anticline; 11 - well site; 12 - settlement

valamint az erek növekedési mechanizmusának részletes leírásával lehetőségünk nyílik a képződésért alakváltozás elemzésére, valamint az egykori áramlási folyamatok alaposabb megismerésére.

Az érképződés két alapvető anyagtranszport folyamatának egyike a diffúzió. A szállítódáshoz ilyen módon nem szükséges a folyadék mozgása, akár teljesen stagnáló közegben is végbe mehet (BONS 2000). Ebben az esetben az oldott anyagban kémiai potenciálgradiens áll fenn — amely diffúziót okoz, és anyagvándorláshoz vezet — így a fluidum egy összefüggő pályát szolgáltat a szállítódáshoz. A diffúzió földtani szempontból nagyon fontos anyagtranszport mechanizmus, az oldódás–kicsapódás és a metamorf reakciók elsődleges eszköze. Jóllehet a diffúzió rövid távon (<cm–dm) igen hatékony, azonban nagyobb távolságú transzport szempontjából kedvezőtlen mechanizmus. A másik alapvető mobilizációs mechanizmus a fluidumáramlás. Ekkor a folyadék áramlása az oldott anyagokkal együtt történik. A vizes fluidumok a kőzetekhez képest igen kis viszkozitással rendelkeznek, ezáltal a földtani közegben egyszerűen és gyorsan nagy távolságokat képesek megtenni (BONS et al. 2012). A fluidumáramlás az oldott anyagok egyetlen hatékony, nagy távolságokat (>m–km) érintő, kőzeteken át ható transzportfolyamata. A fluidumok áramlásának két típusát különböztethetjük meg: (1) fluidumáramlás csatornákon keresztül (pl. törések), permeabilis közegben történő áramlás (advektív áramlás), (2) fluidumáramlás a fluidumot tartalmazó törésekkel együtt (*mobile hydrofractures*). Az advektív fluidumáramlás — amelyet a hidraulikus nyomásgradiens hajt — döntő része összefüggő csatornákon keresztül történik. Ezek a csatornák makroszkopikus léptékű törések vagy akár pórusok is lehetnek a permeabilis kőzetben (*pervasive flow*). A lokalizált csatornákhöz (törésekhez) kötött áramlásban a fluidum a kőzet-tér fogat többségével nem érintkezik, míg az átható áramlás során a kőzet túlnyomó részével kapcsolatba kerül, aminek jelentős szerepe van a víz–kőzet kölcsönhatások szempontjából. Mozgó hidraulikus törések (*mobile hydrofractures*) esetében a repedések terjedése és a fluidum áramlása egyidejűleg történik, megegyező sebességgel. A szállítódás sebessége ebben az esetben nem írható le a Darcy-törvénnyel. Az áramlás igen gyors (m/s nagyságrendű), de megszakításokkal működő. Rövid aktivitás után jellemzően hosszú stagnálási időszak — vagy esetleg más típusú áramlás — következik. A szállítódás során nem lép fel jelentős kölcsönhatás a mellékkőzet és a fluidum között. A mozgó hidraulikus törések tehát a fluidum gyors, nagy távolságokra történő áramlását teszik lehetővé (BONS 2000, BONS et al. 2012).

A repedések sajátos mikroszövetét a növekedési verseny határozza meg. A különböző kristályfelületek eltérő növekedési rátával rendelkeznek, aminek hatására a növekvő szemcsék határai nem minden esetben merőleges helyzetben fejlődnek a törés síkjára, így a növekedés szempontjából kedvező és kedvezőtlen orientációk jönnek létre (BONS 2001). Szintaxiálisnak nevezzük azt a növekedési morfológiát, amely kialakulása során a kristályok a mellékkőzet falai felől a repedés közepe felé növekednek (2. ábra, A). A



2. ábra. Értípusok és jellemző mikroszövetük a növekedési sík(ok) helyzetének tükrében (BONS et al. 2012, módosítva)

A - szintaxiális ér; B - antitaxiális ér; C - ataxiális ér. A négyzetes ábrák sematikus szemléltetik az értípusokat, míg a körábrák az egyes erek belső kristálymorfológiáját (érszövetét) részletesen, nagy nagyításban mutatják be. A fehér nyilak a kristályok növekedési irányát jelölik

Figure 2. Basic vein types (A - syntaxial; B - antitaxial; C - ataxial) with their internal crystal morphology and position of the growth plane(s) (modified after BONS et al. 2012)

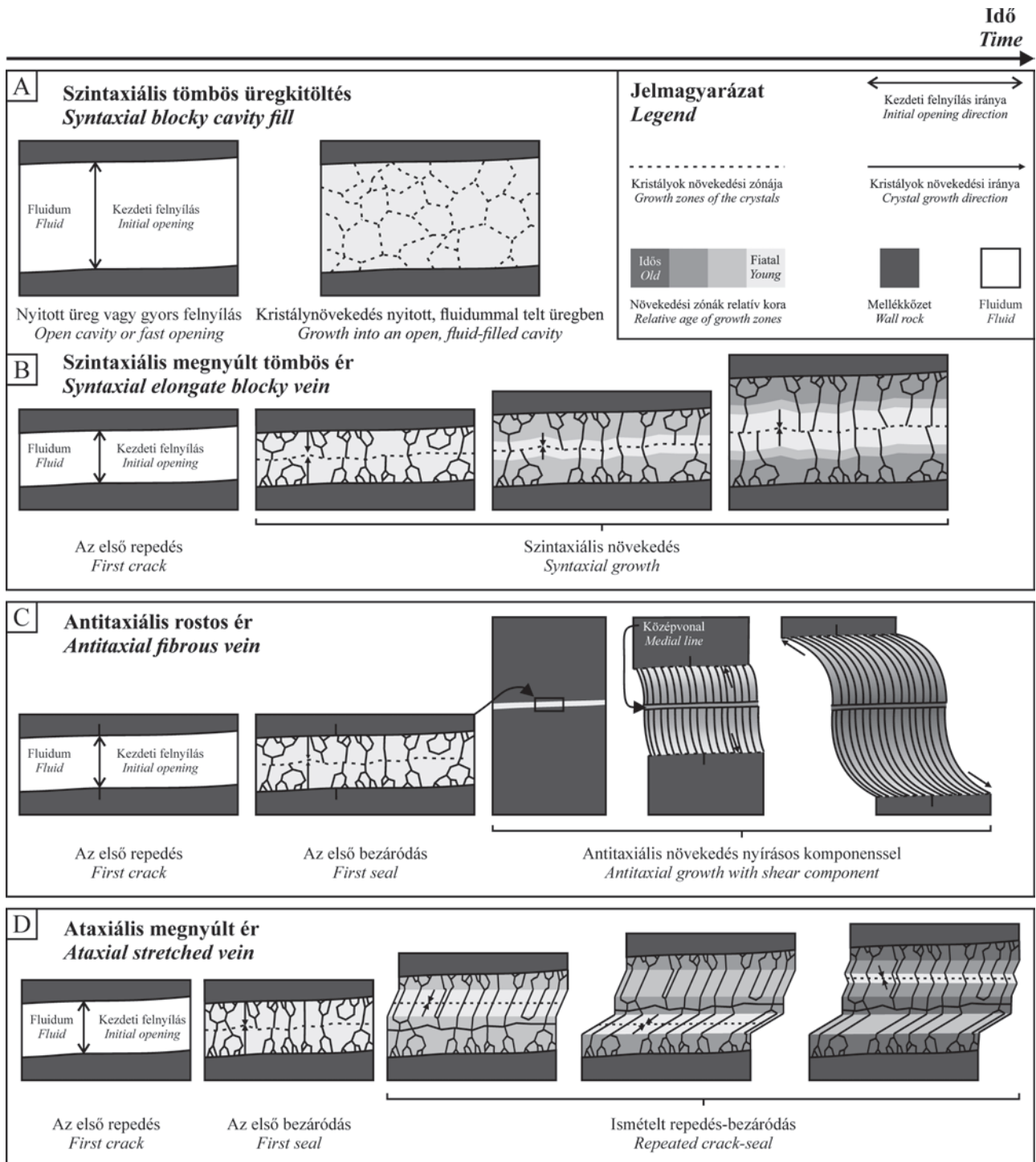
The square shape figures schematically illustrate the basic vein types, while illustrations in the circles show their internal crystal morphology (vein microtexture) at high magnification. The white arrows show the growth direction of the crystals

folyamat során szimmetrikus kitöltés keletkezik, amely közepén az ellentétes oldalról közeledő kristályok találkoznak (3. ábra, B). A jellemző szövettípust tömbös, valamint megnyúlt tömbös kristályok alkotják. A megnyúlt tömbös szemcsék keletkezése az egyes kristályok egymáson történő túlnövekedésével mehet végbe (2. ábra, A), míg a tömbös kialakulása a felnyílási térbe áramló fluidumból közvetlenül történik (3. ábra, A; HILGERS & URAI 2002). Az ilyen típusú érszövet a szülőfluidum advektív áramlására utal (BONS 2000).

Antitaxiális növekedés alkalmával a kristályok növekedése a felnyílási tér közepe felől a mellékkőzet falai felé irányul (HILGERS & URAI 2002). Az eret alkotó kristályok optikai folytonossággal helyezkednek el a repedéskitöltés két oldala között, és egy középső varratból növekednek a mellékkőzet irányába (2. ábra, B). Az egyes kristályok két növekedési fronttal rendelkeznek, a középvonalra általában szimmetrikusan helyezkednek el (3. ábra, C). A típusra jellemző szövet rostos szemcsékből áll, amelyek nagy hossz/szélesség aránnyal rendelkeznek. A mellékkőzet felé haladva a növekedési verseny erősen elfojtott. BONS et al. (2012)

szerint a kristályok növekedése egy szinte zárt felületen történik a középvonaltól a mellékkőzet falai felé. A növekedési verseny hiánya szintén egy keskeny kezdeti repedés jelenlétére utal. A kezdeti repedésben kialakul az uralkodóan tömeges, tömbös megjelenésű kristályokból álló középvonal, amelynek továbbnövekedéseként fejlődnek a rostos megjelenésű kristályok. A rostok követik a felnyílás pillanatnyi irányát (3. ábra,

C), mivel a kristályok növekedési síkja szükségszerűen felveszi a mellékkőzet alakját, majd a kristályok ezen a rendellenes felületen terjeszkednek tovább. A felnyílási pálya követhetőségét csökkentheti (vagy meg is szüntetheti), ha a felnyílás sebessége nagyobb, mint a kristályosodásé (HILGERS et al. 2001). Az antitaxiális szövet diffúziós anyagtranszport-folyamatra enged következtetni (BONS 2000).



3. ábra. Eltérő értípusok fejlődésének lépései (BONS et al. 2012 nyomán). A - szintaxiális tömbös üregkitöltés; B - szintaxiális megnyúlt tömbös ér; C - antitaxiális rostos ér; D - ataxiális megnyúlt ér

Figure 3. The steps of different vein developments (based on BONS et al. 2012). A - syntaxial blocky cavity fill; B - syntaxial elongate blocky vein; C - antitaxial fibrous vein; D - ataxial stretched vein

Ataxiális növekedés a repedés–bezáródási folyamat eredményeként jöhet létre abban az esetben, ha a repedés síkja nem mindig azonos helyen jelentkezik (RAMSAY 1980): megjelenhet a mellékkőzet területén vagy a már kivált kristályok sávjában (2. ábra, C). A véletlenszerűen nyíló repedéseknek köszönhetően a repedéskitöltő ásvány idősebb és fiatalabb részei a képződmény egészében változatosan helyezkedhetnek el (PASSCHIER & TROUW 2005). A jellemző szövetet megnyúlt kristályok alkotják (3. ábra, D); zárványsorok megjelenése szintén gyakori. Az érszövet advektíven áramló szülőfluidumra utal (BONS 2000).

Az ereket kitöltő ásványtársulások szöveti fejlődéséhez — a növekedési morfológiától függetlenül — hozzájárulhat a repedések ismételt felnyílásából, és azok behegedéséből álló repedés–bezáródási (*crack-seal*) folyamat is (RAMSAY 1980).

Munkánkban a BAF–2 fúrás repedéskitöltéseinek szöveti leírása és értelmezése során rögzítettük az ereket alkotó kristályok jellemző morfológiáját, definiáltuk az azokat kialakító növekedési mechanizmusokat, valamint következtettünk a kristályokat alkotó komponensek transzportfolyamatainak módjára. Mindezek alapján célunk egy új, eddig háttérbe szorult szemszögből megismerni a BAF repedéscementáció és szerkezetfejlődés történetét.

Földtani háttér

A felső-permi BAF a Dél-Dunántúlon, a Nyugati-Mecsek területén és környezetében ismert (1. ábra). Felszíni előfordulásán túl az uránérc bányászatához kapcsolódó érc-, valamint szerkezetkutató fúrások tárták fel. Az elterjedési terület szerkezetileg két részre osztható, a Nyugat-mecseki-antiklinálisra (Boda-blokk), amely a BAF kiemelt helyzetű zónája, területe 55–60 km², valamint a Gorica-blokk területére. A kettőt a Hetvehely–Magyarszéki-törés választja el egymástól (WÉBER 1977). A formáció egészének igazolt elterjedési területe 150–200 km² (BARABÁS & BARABÁSÉ STUHL 1998, KONRÁD & HÁMOS 2006, HALÁSZ 2011). A Boda-blokk elterjedésének határa nyugati irányban az ÉÉNy–DDK csapású Bükkösi-törés, ahol a képződmény már lepusztult a permi fektűjéről. A Gorica-blokk területén a formáció nyugati irányban fokozatosan kivékonyodik. A Boda környéki előfordulásnál a képződmény keleti irányban az antiklinális dőlése miatt, valamint a tektonikai lépcsők hatására a mélybe süllyed (KONRÁD & HÁMOS 2006). A Keleti-Mecsek területén az igen vastag mezozoos ösztlet alatt a BAF jelenléte napjainkig nem igazolt. Északon a Gorica–18 fúrásig ismert az elterjedése, de az ettől északi irányban kb. 4 km-re mélyített Gálosfa–1 fúrásban ismert felső-perm rétegek alatt sem zárható ki a jelenléte. A Gorica-blokk déli részén, valamint az antiklinálistól északra közel 2 km mélységbe süllyed (VII., VIII. és XIV. szerkezetkutató fúrások), továbbá a fedő képződmények vastagság-változásai alapján feltételezhetjük, hogy fokozatosan kivékonyodik, majd ki is ékelődik (MÁTHÉ 2015). Déli elterjedésének határa a Mecsek-alja-öv. A BAF felszíni elterjedése

14–15 km²-re tehető, előfordulása Bükkösd, Cserdi, Boda és Bakonya települések közötti térségben található, változó (0–30 m) vastagságú miocén és negyedidőszaki üledékekkel fedve (BARABÁS & BARABÁSÉ STUHL 1998, HALÁSZ 2011, MÁTHÉ 2015). A kiemelt helyzetű egységet a kibúvási területet is érintő, ÉK–DNy-i csapású törészóna (Boda–Büdöskúti-öv) két részre osztja (KOVÁCS 1999). A BAF teljes rétegsorát a Nyugati-Mecsekben még egyetlen fúrás sem tárta fel, legnagyobb vastagságban a XV. szerkezetkutató fúrásból (~870 m), valamint a BAF–2 (~905 m) mélyfúrásból ismert. A Gorica-blokk legjelentősebb fúrása az Ib–4 fúrás, amely 214 m vastagságban tárta fel a BAF-ot, majd annak alsó, homokköves rétegeiben állt le. A formáció átlagos vastagsága Boda környékén 800–1000 m, míg a Gorica környéki előfordulás vastagsága 300–350 m (MÁTHÉ 2015).

A formáció fő kőzetalkotó ásványai a Nyugat-mecseki-antiklinális területén: kvarc, albit, illit±muszkovit (abszolút uralkodó agyagásvány), klorit, kalcit, dolomit, hematit. A kőzet járulékos alkotói: szmektit, sziderit, kaolinit, pirit, anhidrit, gipsz, barit, kálföldpát, azurit, vermikulit, kalkofil elemek szulfidjai (galenit, kalkopirit, szfalerit) (VARGA et al. 2006, MÁTHÉ 2015). A képződmény ásványos összetétel és szöveti jellegek alapján a Nyugat-mecseki-antiklinálon belül albitos („albitfészkes”) agyagkő, albitolit, valamint aleurolit kőzet típusokra osztható (MÁTHÉ 2015), amelyben homokkő-közbetelepülések is megjelennek (BARABÁS & BARABÁSÉ STUHL 1998, VARGA et al. 2006). A formációra általánosan jellemző a vörösbarna kőzetszín, amely a fekvő Cserdi Formáció és a fedő Kővágószőlősi Homokkő Formáció felé sötétebb árnyalatban jelenik meg. Az összletben 4–5 m vastag reduktív közbetelepülés jelenhet meg, amelyre sötétszürke, szürkésfekete szín jellemző. Ez a reduktív réteg az eddigi adatok alapján a formáció felső harmadának az alján települ (MÁTHÉ 2015).

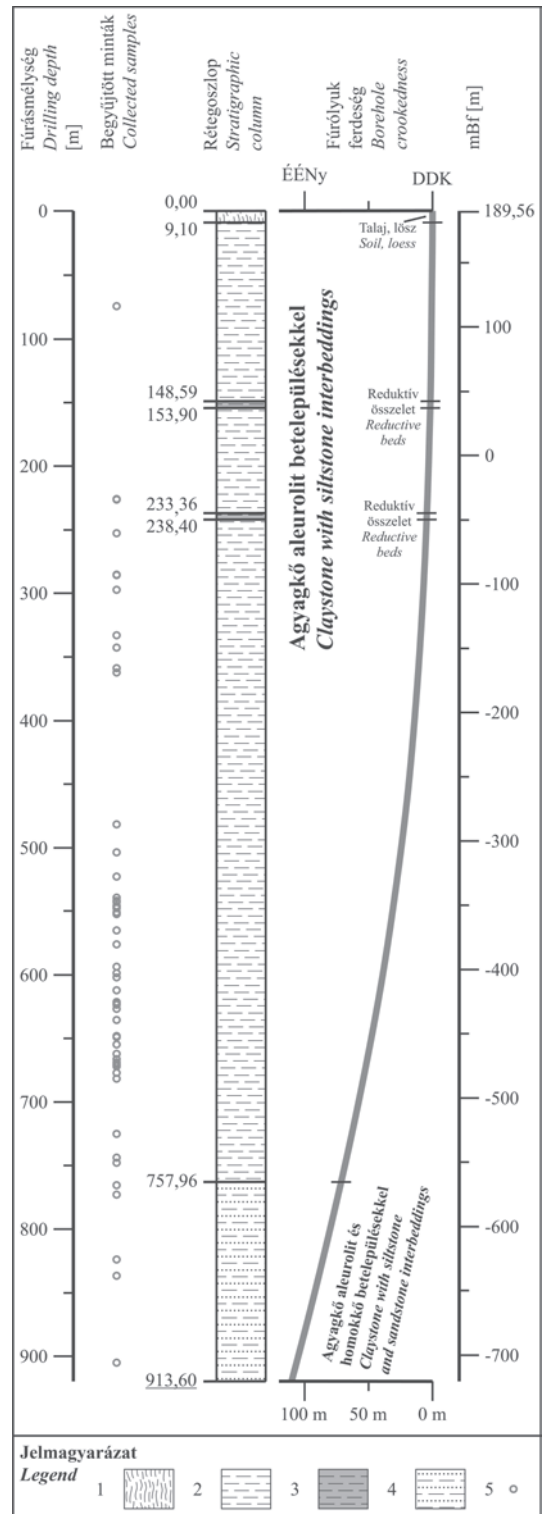
Az ásvány-kőzettani, geokémiai, valamint szedimentológiai információk alapján a képződmény arid–szemiarid klímán kialakuló, sekélyvízi, sós tavi környezetben képződött playa üledék (ÁRKAI et al. 2000, KONRÁD et al. 2010, MÁTHÉ & VARGA 2012). Szedimentológiai vizsgálatok alapján jelentős része szoros értelemben véve nem tavi, hanem playa-iszlapalály kifejlődést képvisel (KONRÁD et al. 2010).

A Bodai Aggkővet érintő legfontosabb szerkezetalkulási események az alpi orogenezishez fűződnek, amelyek közül a legkorábbiak a késő-kréta során végbement, ÉNy–DK-i kompresszióhoz köthetőek (BENKOVICS et al. 1997, KOVÁCS 1999). Mindemellett azonban nem zárhatóak ki a triász–jura passzív kontinensperemi helyzet kapcsán fennálló folyamatos süllyedés és tektonikai tagolódás, valamint a Tiszai-főegység európai kontinensről történő leválásának és a mecseki terület azt követő gyors süllyedésének hatásai sem, amelyet a Mecsek-alja-övben kimutatott, feltehetően triász és jura korú, tektonikus erek igazolhatnak (DABI et al. 2011, 2017). A krétában végbement deformáció során létrejöttek a Mecsek szerkezetének jellemző, ÉK–DNy-i tengelyű gyűrődései (NÉMEDI-VARGA 1983), továbbá a redő-tengellyel megegyező csapású balos eltolódások (MAROS et

al. 2004), mindemellett a BAF-ban rétegpárhuzamos rátólódások keletkeztek (MAROS et al. 2000). WEIN (1967) feltételezése szerint a mozgások két ütemben zajlottak erős gyűrődést és pikkelyeződést hozva létre, melyeket hosszanti törérendszerek kialakulása kísért. A Mecsek kainozoos szerkezetfejlődésére összetett, többfázisú tektonika jellemző a Pannon-medence szinrift és posztift fázisát, valamint a medence inverzióját illetően. A Pannon-medence kialakulása a Magura-óceán aljzatának hátráló szubdukciója során létrejövő extenziós medencefejlődés során vette kezdetét. A szinrift fázisban végbemenő balos transzpressziós eltolódások (NÉMEDI-VARGA 1983) pull-apart medencék kialakulását idézték elő a hegységet határoló északi és déli törészónák mentén (WEIN 1967). A deformáció a kőzetek az óramutató járásával megegyező irányú forgását eredményezte. Ennek következtében számos eltérő feszültségmező követte egymást (BEREGART & CSONTOS 1988, CSONTOS & BEREGART 1992, FODOR et al. 1999, MAROS et al. 2003), amelyek mindegyike rendelkezett eltolódásos összetevővel (KONRÁD 2012). A riftesedés utáni termikus süllyedés hatására a medencék tovább mélyültek a késő-miocén elején fennálló ÉNy–DK-i tengelyű tenziós feszültségmezőben (CSONTOS et al. 2002, MAROS et al. 2004). A Mecsek és a Villány-hegység kiemelkedése, azaz az inverzió a pannóniai fiatalabb szakaszában kezdődött (FODOR et al. 1999, SEBE 2009, KONRÁD 2012), rátólódásos eltolódásokat okozva a korábbi ÉK–DNy-i csapású balos eltolódásos zóna reaktiválásával (MAROS et al. 2004), ÉNy–DK-i kompresszió és rámerőleges extenzió következtében (CSONTOS et al. 2002). KONRÁD & SEBE (2010) szerint a Nyugat-mecseki-antiklinális területén a pannóniai–negyedidőszaki mozgások során a Nyugati-Mecsek egységes tömbként viselkedett, neotektonikára utaló jelek nem figyelhetők meg, a fiatal szerkezeti mozgások a hegységperem és az előtér területére korlátozódnak.

A tektonikai események eredményeként létrejött repedéseket — az azokat kitöltő ásványparagenezisek alapján — ÁRKAI et al. (2000) három fő csoportba sorolták. Nevezetesen kalcit-, barit–kvarc-, valamint anhidrit-domináns repedéseket határoztak meg, ahol a barit–kvarc-domináns típusúhoz szulfidásványok megjelenése társul. Stabilizotópos, valamint fluidumzárvány vizsgálataik alapján a barit–kvarc értípus ~150 °C hőmérsékletű, magmás eredetű szülőfluidumból vált ki, míg a kalcit-domináns értípus ~70 °C hőmérsékletű, meteorikus eredetű szülőfluidumhoz köthető. LENTI et al. (2010) fluidumzárvány vizsgálatai az Alfa-1 vágatból származó barit–kalcit ereket érintették. A mikrotermometriai mérések alapján kis sótartalmú (3,2–4,3 m/m% NaCl equiv.) vizes oldat csapdázódott. A bezáródási hőmérséklet minimuma 105–107 °C, míg a formáció által elért maximális hőmérséklet 177 °C. A fluidumzárványok hidrotermás eredetű szülőfluidumra utalnak.

A BAF-2 fúrás 2014-ben mélyült, a Nyugat-mecseki-antiklinális területén (4. ábra), Bodától DNy-ra (KONRÁD et al. 2016). A fúrás felső 9,1 m-es szakaszában negyedidőszaki képződményeket harántolt (0,00–0,70 m holocén talaj, 0,70–9,10 m pleisztocén lösz, talajosodott lösz, valamint ka-



4. ábra. A BAF-2 fúrás rétegsora a fúrás ferdeségének és a begyűjtött minták mélységének feltüntetésével (KONRÁD et al. 2016 nyomán)

1 - talaj, lösz; 2 - agyagkő aleurit betelepülésekkel; 3 - zöldesfekete reaktív agyagkő; 4 - agyagkő aleurit és homokkő betelepülésekkel; 5 - begyűjtött fűromag minta

Figure 4. Stratigraphical column of BAF-2 well with the borehole crookedness and with the depth of the collected core samples (based on KONRÁD et al. 2016)

1 - soil, loess; 2 - claystone with siltstone interbeddings; 3 - greenish-black reductive claystone; 4 - claystone with siltstone and sandstone interbeddings; 5 - collected core sample

vicsos agyag). A 9,10–17,30 m közötti szakaszban morzsalékosan széteső formában jelenik meg a BAF. 757,96 m mélységig aleurolitrétegeket tartalmazó, vörösbarna agyagkő követhető, amelybe két alkalommal zöldes színű, redukzív összetel települ (148,59–153,90 m, valamint 233,36–238,40 m szakaszokban). 757,96 m mélységben jelenik meg az első flázeres aleurolit–homokos aleurolitréteg. A fúrás talpáig (913,60 m) ez a képződmény észlelhető (KONRÁD et al. 2015). A fúrás összesen 904,5 m vastagságban tárta fel a Bodai Aggyagkővet, melyből a képződmény korrigált, valódi vastagsága 564 m. A rétegdőlés iránya uralkodóan DDK–DK-i, a rétegdőlések szöge igen változó. A fúrásban kompresszióra utaló tektonikai adatok jellemzők, a megjelenő vetők 44%-a feltolódás vagy feltolódásos oldaleltolódás, 25%-a oldaleltolódás, azonban mindössze 31%-a normál vető vagy normál összetevőjű oldaleltolódás, továbbá két különböző léptékű redőződés is megmutatkozik (KONRÁD et al. 2016). A fúrás szerkezetföldtani adatai három tektonikai fázist jeleznek (KONRÁD et al. 2015, 2016). Időrendben az első egy ÉNy–DK-i kompressziós esemény, amely kis hullámhosszúságú redőket, réteglap menti feltolódásokat hozott létre. Ezzel egy időben vagy ugyanezen esemény későbbi folyamataiként nagyobb hullámhosszúságú redők, illetve jelentősebb feltolódások jöttek létre. Mindezek mellett az összetel DK-i irányba billent. Ezt követően a második fázisban a meredekké váló réteglapok mentén feltolódásos összetevőjű eltolódások jöhettek létre transzpressziós feszültségmezőben. A harmadik elkülönített tektonikai fázis során, egy újabb kompressziós feszültségmező feltolódások kialakulását idézte elő, valamint feltehetően a hegység kiemelkedésekor a magasabban elhelyezkedő zónák fellazultak, a törések felnyíltak (KONRÁD et al. 2015). A D–5 és D–6 fúrásokban végzett billenéseszték alapján (MAROS et al. 2000) a meghatározott feszültségmezők nagy része a BAF-ra annak mai helyzetében volt hatással, amelynek értelmében a szerkezeti elemek dőlésszögének meghatározásakor feltételeztük, hogy a repedéskitöltések kialakulása a rétegek kibillenését követően történt.

Vizsgálati módszerek, mintagyűjtés

A minták begyűjtését a BAF–2 fúrás kiterített, teljes fúrómaganyaga több napos, részletes dokumentációja alapján végeztük el, amely során a domináns repedéseket, repedéskitöltéseket vizsgáltuk. A mag szemle alapján 56 db, a makroszkóposan elkülöníthető értípusokat magába foglaló, egyenként ~15–40 cm hosszúságú fúrómagot választottunk ki a 74,34–899,22 m-es mélységtartományból (*I. melléklet*).

A minták begyűjtését követően elkészítettük az összes rendelkezésre álló fúrómag magszkenneres fotódokumentációját, amely lehetőséget adott számos ér dőlésszögének pontos meghatározására. A fotódokumentálás TÓTH (2016) módszerével, saját fejlesztésű magszkennerrel történt a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén. A magszkenner a 6,25 cm átmérőjű

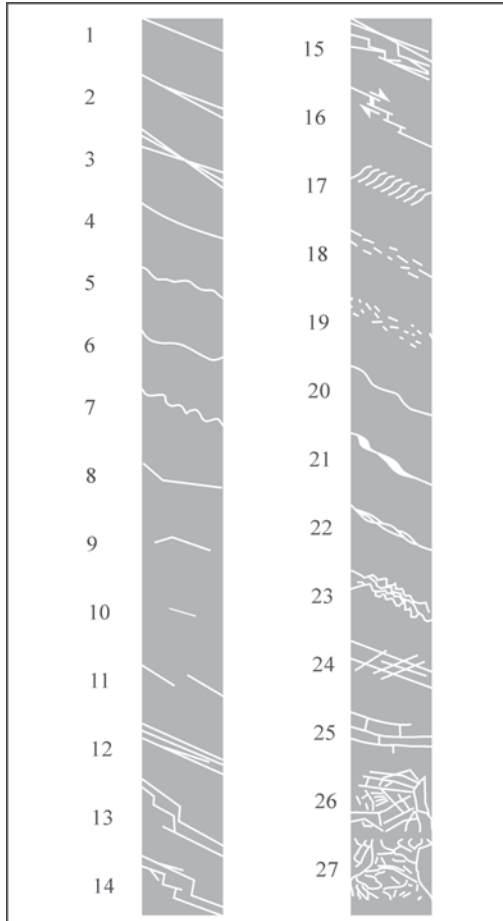
fúrómagokról 9 cm hosszúságú szakaszokként a teljes hengerfelületet 11 db felvétel során rögzítette. Ilyen módon a fúrómagpalástok összeillesztett felvételei a minták hosszától függően 11–77 db, 15 megapixeles fényképből tevődtek össze. A fényképek Canon D60 típusú fényképezőgéppel készültek, 300 mm fókusz távolság, f/11 rekesz, 1/6 s expozíciós idő, ISO-100 érzékenység és manuális fókusz beállítások mellett. A részletfotók összeillesztése Autopano Giga 4.0 szoftverrel történt. A fúrómagpalást felvételek értékelésével nyert adatokat a fúrás ferdeségével korrigáltuk, majd a mélység függvényében ábrázoltuk. A magszkenneres dokumentálást követően a HAMOS (1997) által bevezetett, majd MAROS et al. (2000) által módosított nevezéktan (5. ábra) alapján kategorizáltuk a begyűjtött mintákban megjelenő töréseket és ereket. Kitértünk továbbá a repedéskitöltések vastagságának meghatározására, valamint a metsződési viszonyok feltárására is.

A makroszkóposan elkülöníthető töréstípusokat tartalmazó reprezentatív kőzetmintákból standard 30 µm vastagságú vékonycsiszolatokat készítettünk a repedések felnyílási síkjára merőleges orientációban. A petrográfiai mikroszkópos vizsgálat során kitértünk a repedéskitöltő ásványfázisok meghatározására, az erek szöveti és mikroszerkezeti jellegzetességeinek megállapítására, a szemcsék morfológiai jellemzésére, valamint a kristályok növekedési morfológiájának leírására. Az ereket felépítő ásványfázisok jelölésére a SIIVOLA & SCHMID (2007) által javasolt rövidítéseket alkalmaztuk. A repedéskitöltő fázisok leírásakor BONS (2000) szövetmorfológiai kategóriáit használtuk. A vizsgálatokat a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén Olympus BX41 típusú polarizációs, illetve Olympus SZX7 típusú sztereomikroszkóppal végeztük. A felvételeket a mikroszkópokra szerelt Olympus DP73, valamint Olympus UC30 típusú kamerákkal készítettük. A kérdéses repedéskitöltő ásványok azonosítását THERMO DXR Raman mikrospektroszkópia segítségével végeztük. Az expozíciós időt mérésenként az automatikus mintafelvételezés során elért, 100 jel/zaj arány határozta meg. Az alkalmazott gerjesztő hullámhossz 532 nm, a lézerteljesítmény 10 mW, a túlyuk apertúra átmérője 50 µm volt a mérések során. A kapott Raman spektrumokat a RRUFF adatbázis (<http://rruff.info>) alapján értékeltük ki. Az egyes ásványfázisok kémiai összetételének vizsgálatát a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén Horiba Jobin Yvonne XGT 5000 röntgenfluoreszcens spektrométer segítségével, 50 keV gyorsító feszültség, 60–90 s felvételi idő és 10 µm mérési pont átmérő paraméterek mellett végeztük.

A vizsgálatok eredményei

A eredményeket a klasszikus petrográfiai megismerés sorrendiségének megfelelően, a kézipéldány léptéktől a mikroszkópi lépték felé haladva mutatjuk be. A fúrómagokon először makroszkópos megfigyeléseket, valamint a magszkenneres felvételek felhasználásával szerkezeti elem-

zést végeztünk. A vizsgálatok eredményeit az *I. mellékletben* foglaltuk össze. A törések morfológiája alapján négy töréstípust különítettünk el (jelölésük: EGY, FON, ECH, BR), valamint a kitöltések szöveti jellemzői szerint további alcsoportokat hoztunk létre (6. ábra). A makroszkópos



5. ábra. A Bodai Agyagkő fúrásainak tektonikai dokumentáláshoz kialakított nevezékten (HÁMOS 1997 és MAROS et al. 2000 nyomán)

Jelmagyarázat: 1 - egyszerű törés; 2 - egyszerű törés gyenge seprőzódással; 3 - egyszerű törés jelentős seprőzódással; 4 - íves törés; 5 - szabálytalan törés; 6 - hullámos törés; 7 - recés törés; 8 - megtört törés; 9 - megtörve elveződő törés; 10 - elveződő törés; 11 - átlépő törés; 12 - köteges törés; 13 - lépcsős törés seprőzódés nélkül; 14 - lépcsős törés gyenge seprőzódással; 15 - lépcsős törés erős seprőzódással; 16 - pull apartos lépcsős törés; 17 - en échelon törésrendszer; 18 - megszakadó kötegekből álló törés; 19 - mikrotörések; 20 - lépcsős törés átmenettel hajlázódó törés felé; 21 - pull apart; 22 - összekapcsolódó törés; 23 - fonatos törés; 24 - rombuszos törés; 25 - téglarácsos törés; 26 - mozaikbreccsa; 27 - vetőbreccsa

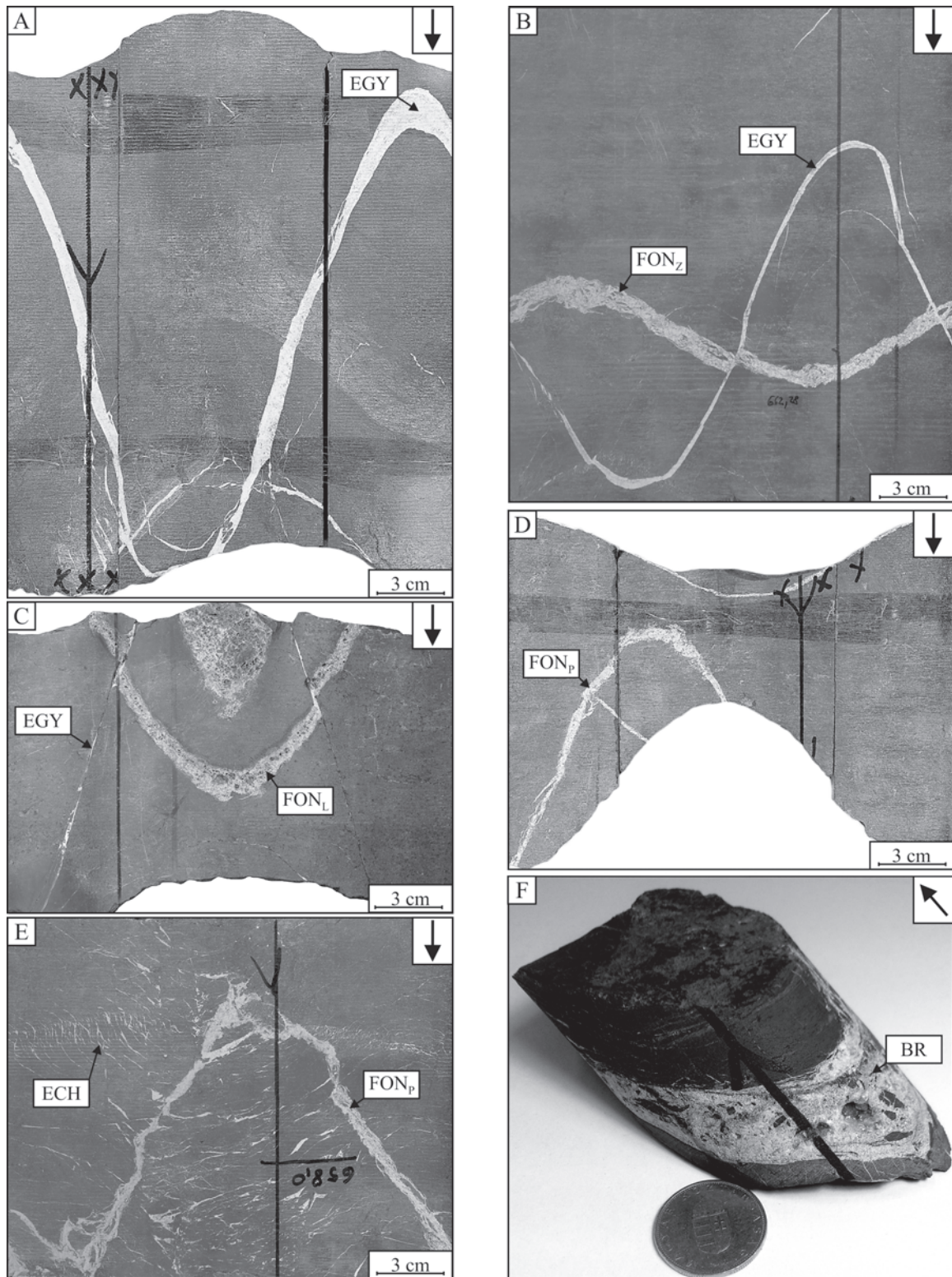
Figure 5. Nomenclature for description of the tectonic elements during documentation of drills of Boda Claystone Formation (based on HÁMOS 1997 and MAROS et al. 2000)

1 - simple fracture; 2 - simple fracture with small diverging; 3 - simple fracture with intense diverging; 4 - arched fracture; 5 - irregular fracture; 6 - wavy fracture; 7 - jagged fracture; 8 - refracted fracture; 9 - fracture with refracted ending; 10 - ending fracture; 11 - crossing fracture; 12 - fracture with fasciation; 13 - stepping fracture without diverging; 14 - stepping fracture with small diverging; 15 - stepping fracture with intense diverging; 16 - stepping fracture with pull apart; 17 - en échelon arrays; 18 - fracture of discontinued fasciation; 19 - microfractures; 20 - stepping fracture transition to sinuous fracture; 21 - pull apart; 22 - interconnected fracture; 23 - braided fracture; 24 - rhomboid fracture; 25 - brick-grid fracture; 26 - mosaic breccia; 27 - fault breccia

vizsgálatokat követően mikroszkópos megfigyelések során ásványtani és mikroszerkezeti alapon jellemeztük a repedéskitöltéseket (7. ábra).

Az EGY típus olyan egyszerű törés, amely folytonos és lépcsősen megszakadó formában jelenik meg a mintákban. A repedéskitöltés bezáródása általában teljes, a kitöltő fehér színű ásvány kalcit (sósav hatására hevesen pezseg). A kristályos anyag általában tömött szerkezetű. Az átlagos vastagsága 1–5 mm. Számos esetben elmettzi a fonatos töréstípust kitöltését (6. ábra, B, C). A petrográfiai mikroszkópos megfigyelések alapján az egyszerű (EGY) repedéstípus kitöltésének peremi területein tömeges megjelenésű kalcit, illetve kvarc látható ~100 µm vastagságban. A repedéskitöltés anyagát uralkodóan antitaxiális növekedésű kalcit-, valamint anhidritkristályok alkotják, de kisebb mennyiségben Ba-tartalmú cölesztin, Sr-tartalmú barit, illetve kvarc is megjelenik (8. ábra, A, B). A megnyúlt szulfátkristályok mérete eléri a ~3 mm-t. Ezek az ásványok a gyors felnyílásból adódó nagyobb térfogat, valamint az ez okból jelentkező növekedési verseny következtében az antitaxiális növekedésre jellemző rostos szemcsék helyett megnyúlt-tömbös alakúak. A képződményben több, egymással párhuzamos középvonal is található, amely több nagyobb felnyílási eseményre utal.

Munkánkban a FON típus fonatos felépítésű törések jelölésére szolgál. Az ezekre jellemző repedéskitöltésekben gyakran jelennek meg a mellékközetről leszakadt szilárd zárványok. A kitöltő ásvány jellemzően szürkésfehér színű, sósavas reakció alapján dominánsan kalcit anyagú. Az erekben esetenként ~5 mm nagyságú pórusok jelennek meg, amelyek felületén fenn-nőtt kristályok láthatóak. A fonatos törések szöveti jellegzetességeik alapján három altípusra bonthatók. A FON_Z jelölésű alcsoport fehér, illetve szürke színű, dominánsan kalcitból álló repedéskitöltés jellemzi, amely bezáródása általában teljes. A kitöltésben az alapközet leszakadt, elvonszolt részei hálószerűen járnak át a képződményt (6. ábra, B). Az alcsoportba tartozó erek átlagos vastagsága 2–4 mm. Mikroszkópos megfigyelések alapján a FON_Z töréstípus (8. ábra, C) repedéskitöltéseit dominánsan kalcit alkotja, de kisebb mennyiségben az ér és a mellékközet határán, valamint a mellékközetzárványok körül kisméretű ($\leq 10 \mu\text{m}$) albitkristályok figyelhetők meg (9. ábra). Az ér fejlődése számos repedés-bezáródás eseményhez köthető. A felnyílási síkok helye — az ataxiális szövetre jellemzően (RAMSAY 1980) — a képződmény egészében véletlenszerű, az ismételt felnyílások más és más helyeken jelentkeztek mind az érben, mind a mellékközetben. Az uralkodó szemcsemorfológia tömbös (BONS et al. 2012). A FON_L jelölésű alcsoport repedéskitöltése szintén fehér, illetve világosszürke kalcit, amelyben kisméretű pórusok jelennek meg (6. ábra, C). A pórusok falán a jó hasadás (pátos halmazok) alapján feltételezhetően szulfát-ásványok jelennek meg. Az alcsoportba sorolt erek átlagos vastagsága 2–9 mm. Mikroszkópos vizsgálatok szerint a repedéskitöltést uralkodóan kalcitkristályok alkotják, de alárendelten albit, valamint cölesztin is megjelenik. Az ér-mellékközet határ közelében nem definiálható jól a szem-



6. ábra. A fúrómag mintákon azonosított töréstípusok és kitöltésük. A - egyszerű törés teljes kitöltéssel; B - fonatos törés mellékkőzettel átjárt repedéskitöltéssel; C - fonatos törés pórusokat tartalmazó kitöltéssel; D - fonatos törés makroszkóposan megjelenő pirites kitöltéssel; E - en échelon törésrendszer; F - tektonikus breccsa. Az A, B, C, D és E ábrák magzskennelről készített hengerpalást felvételek. A fúrómagokon lévő fekete vonalak a magtengelyt, a nyilak a fúrás talpát, míg az X jelölések a fúrás során létrehozott töréseket jelzik. Az ábrák jobb felső sarkában lévő nyilak szintén a magtengelyt és a fúrás talpát mutatják

Figure 6. Fracture types and their fillings identified on drill core samples. A - simple fracture with full filling; B - braided fracture with wall rock inclusions; C - braided fracture with macropore permeated filling; D - braided fracture with macroscopic pyrite-bearing filling; E - en échelon vein arrays; F - tectonic breccia. A, B, C, D and E are stitched core scanner images. The black lines on the core samples indicate the core-axis, the arrows show the well bottom, and the X marks indicate the fractures created during the drilling. The arrows in the upper right corner of the figures also show the axis of the core samples and the bottom of the well

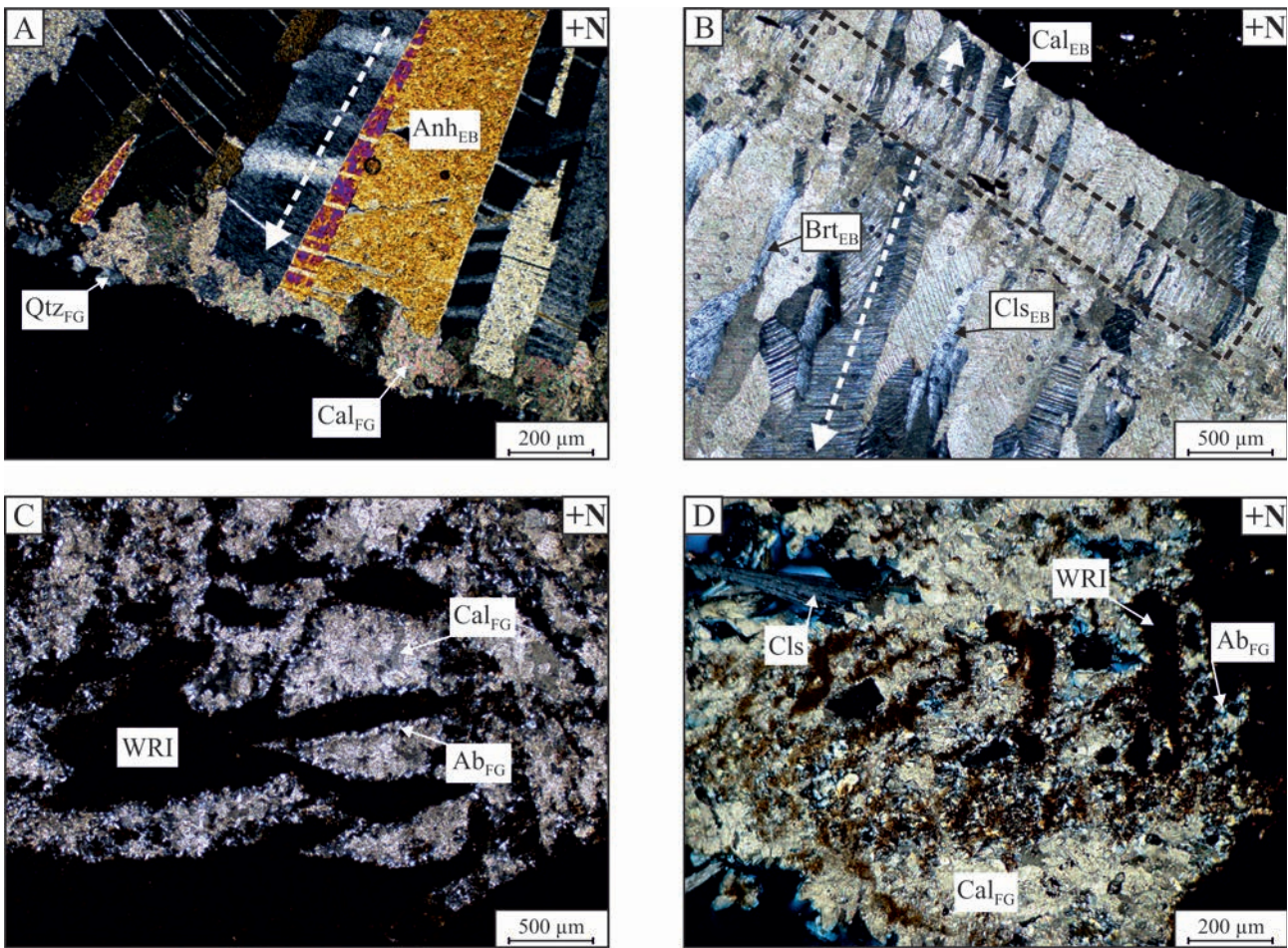
Az erek dőlésszöge <i>Dip angle of the veins</i>	Növekedési morfológia <i>Growth morphology</i>	Uralkodó repedéskitöltő ásványok <i>Dominant vein-filling minerals</i>		Növekedési morfológia <i>Growth morphology</i>
		Kalcit <i>Calcite</i>	Kalcit és anhidrit <i>Calcite & anhydrite</i>	
22°		A vizsgált mintákban nem jelenik meg <i>Not observed</i>		Antitaxiális <i>Antitaxial</i>
42°	Ataxiális <i>Ataxial</i>	B FON _Z +albit <i>albite</i>	C FON _P +albit, pirit, cölesztin <i>albite, pyrite, celestine</i>	Ataxiális és antitaxiális <i>Ataxial & antitaxial</i>
70°	Ataxiális és szintaxiális <i>Ataxial & syntaxial</i>	D FON _L +albit, cölesztin <i>albite, celestine</i>	E EGY +kvarc, barit, cölesztin <i>quartz, baryte, celestine</i>	Antitaxiális <i>Antitaxial</i>
Nem határozható meg ebben a méretarányban <i>It can not be determined at the scale of the observation</i>	Szintaxiális <i>Syntaxial</i>	F BR +kvarc, pirit <i>quartz, pyrite</i>	Jelmagyarázat Legend Cal _{FG} Finomszeméses kalcit <i>Fine-grained calcite</i> Ab _{FG} Finomszeméses albit <i>Fine-grained albite</i> Anh _{FIB} Rostos anhidrit <i>Fibrous anhydrite</i> Brt _{EB} Megnyúlt tömbös barit <i>Elongate blocky baryte</i> Cal _{EB} Megnyúlt tömbös kalcit <i>Elongate blocky calcite</i> Cal _{FIB} Rostos kalcit <i>Fibrous calcite</i> Cls _{EB} Megnyúlt tömbös cölesztin <i>Elongate blocky celestine</i> Py Pirit <i>Pyrite</i> Qtz _{FG} Finomszeméses kvarc <i>Fine-grained quartz</i> WRI Mellékközet zárvány <i>Wall rock inclusion</i> Φ Pórus <i>Pore</i>	

7. ábra. Repedéskitöltések jellemző mikroszövege, növekedési morfológiája és dőlésszöge. A - ECH töréstípus; B - FON_Z töréstípus; C - FON_P töréstípus; D - FON_L töréstípus; E - EGY töréstípus; F - BR töréstípus

Figure 7. Characteristic microtexture, growth morphology and dip angle of vein fillings. A - en échelon fracture type; B - FON_Z fracture type; C - FON_P fracture type; D - FON_L fracture type; E - EGY fracture type; F - BR fracture type

csék növekedési morfológiája, ezeken a területeken számos, a mellékközet falával megegyező irányítottságú kövezárvány található (8. ábra, D). A felnyílási síkok helyzete a szövetet kialakító, ismétlődő felnyílás-bezáródás során változott. Az érfalat, valamint a mellékkövezárványokat albit-kristályokból álló perem veszi körül. A repedéskitöltés belső zónáit tömeges, tömbös kalcit kristályai alkotják, amelyek mérete nem haladja meg a 200 μm-t. Az itt elhelyezkedő pórusok falán szintaxiális növekedésű kristályok láthatóak, amelyek nem töltik ki teljesen a rendelkezésre álló teret. Ezek a kristályok 700–800 μm méretűek, tömbös,

megnyúlt-tömbös (kalcit) és tús (cölesztin) morfológiával rendelkeznek (10. ábra, A). A FON_P altípus repedéskitöltése uralkodóan szürkésfehér kalcit, amelyben szintén sok mellékközet-zárvány található, valamint makroszkóposan pirit van jelen nagyobb mennyiségben. Az erek átlagos vastagsága 3–9 mm. A repedéskitöltés bezáródása általában teljes, azon belül makropórusok nem figyelhetők meg (6. ábra, D). Mikroszkópos vizsgálatok alapján a töréstípus repedéskitöltését uralkodóan tömegesen megjelenő kalcit, illetve alárendeltebb mennyiségben anhidritkristályok alkotják (10. ábra, B). Albit, pirit és cölesztin jelenléte szintén kimu-



8. ábra. A és B - Az EGY repedéskitöltés szövete, +N. Az ér szövetét uralkodó mennyiségben megnyúlt tömbös kalcit (Cal_{EB}), anhidrit (Anh_{EB}), cölesztin (Cls_{EB}), illetve barit (Brt_{EB}) alkotja. A mellékközet és az ér határán finomszemcsés kvarcból (Qtz_{FG}) és kalcitból (Cal_{FG}) álló perem figyelhető meg. A fehér szaggatott nyílak a kristályok növekedésének irányát jelzik, a fekete szaggatott vonallal jelölt terület az antitaxiális szövetre jellemző középvonal. C - A FON_2 repedéskitöltés szövete, +N. A repedést kitöltő finomszemcsés kalcit (Cal_{FG}), illetve a mellékközetzárványok (WRI) határvonalában finomszemcsés albit (Ab_{FG}) figyelhető meg. D - A FON_1 repedéskitöltés szövete, +N. A repedést kitöltő finomszemcsés kalcit (Cal_{FG}) alkotta szövetben lévő pórusokban tús megjelenésű cölesztin (Cls) figyelhető meg. A kitöltés mellékközetzárványokkal (WRI) sűrűn tagolt, amelyek peremén a FON értípusra jellemzően finomszemcsés albit (Ab_{FG}) helyezkedik el

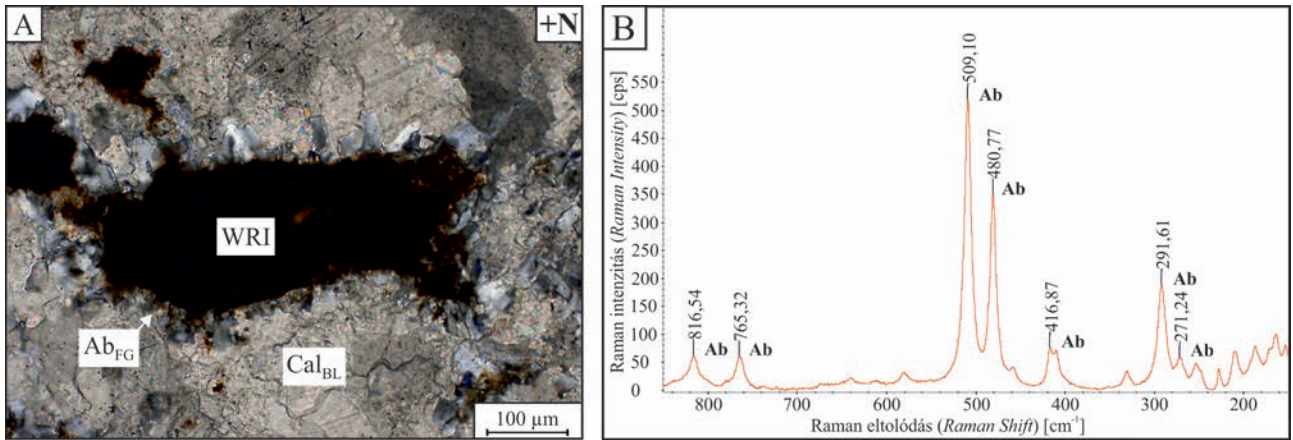
Figure 8. A and B - Texture of the EGY fracture filling, +N. The vein consists of elongate blocky calcite (Cal_{EB}), anhydrite (Anh_{EB}), celestine (Cls_{EB}) and baryte (Brt_{EB}) as major components (B). Fine-grained quartz (Qtz_{FG}) and calcite (Cal_{FG}) also appear at the vein boundary (A). White dashed line shows the direction of crystal growth, the antitaxial medial line is indicated by black dashed line. C - Texture of the FON_2 fracture filling, +N. The fracture is filled with wall rock inclusion (WRI) permeated fine-grained calcite (Cal_{FG}). Fine-grained albit (Ab_{FG}) rims appear around wall rock inclusions and vein boundaries. D - Acicular celestine (Cls) filled pores appear in vein-filling fine-grained calcite (Cal_{FG}). Fine-grained albit (Ab_{FG}) rims appear around wall rock inclusions as well as in all FON -type veins

tatható. Az ér mellékközetzárványokkal sűrűn szabdaltnak területein tömeges kalcit-, valamint a mellékközet peremén albitkristályok találhatóak, amelyek ~100 μm maximális mérettel rendelkeznek. Az ér belső részein az egykori pórusokat kitöltő, antitaxiális növekedésű, rostos morfológiájú anhidrit-, valamint cölesztinkristályok figyelhetőek meg, amelyek mérete elérheti a 3 mm-t. Ezekon a területeken az antitaxiális növekedésre utaló középvonal is megjelenik.

Az ECH típust kulisszás (*en échelon*) repedéskitöltés-rendszerek jelölésére alkalmaztuk, melyek a nyírási zónákban megjelenő, egymással párhuzamos elrendeződésű, szigmoidális alakú húzási hasítékokból álló szerkezetek. Kitöltésük színe fehér, szerkezete rostos, sósavas reakció alapján dominánsan kalcit (6. ábra, E). A húzási hasítékok átlagos vastagsága 500–1500 μm közötti. Mikroszkópos megfigyelések szerint az erek szövetei fejlődése antitaxiális,

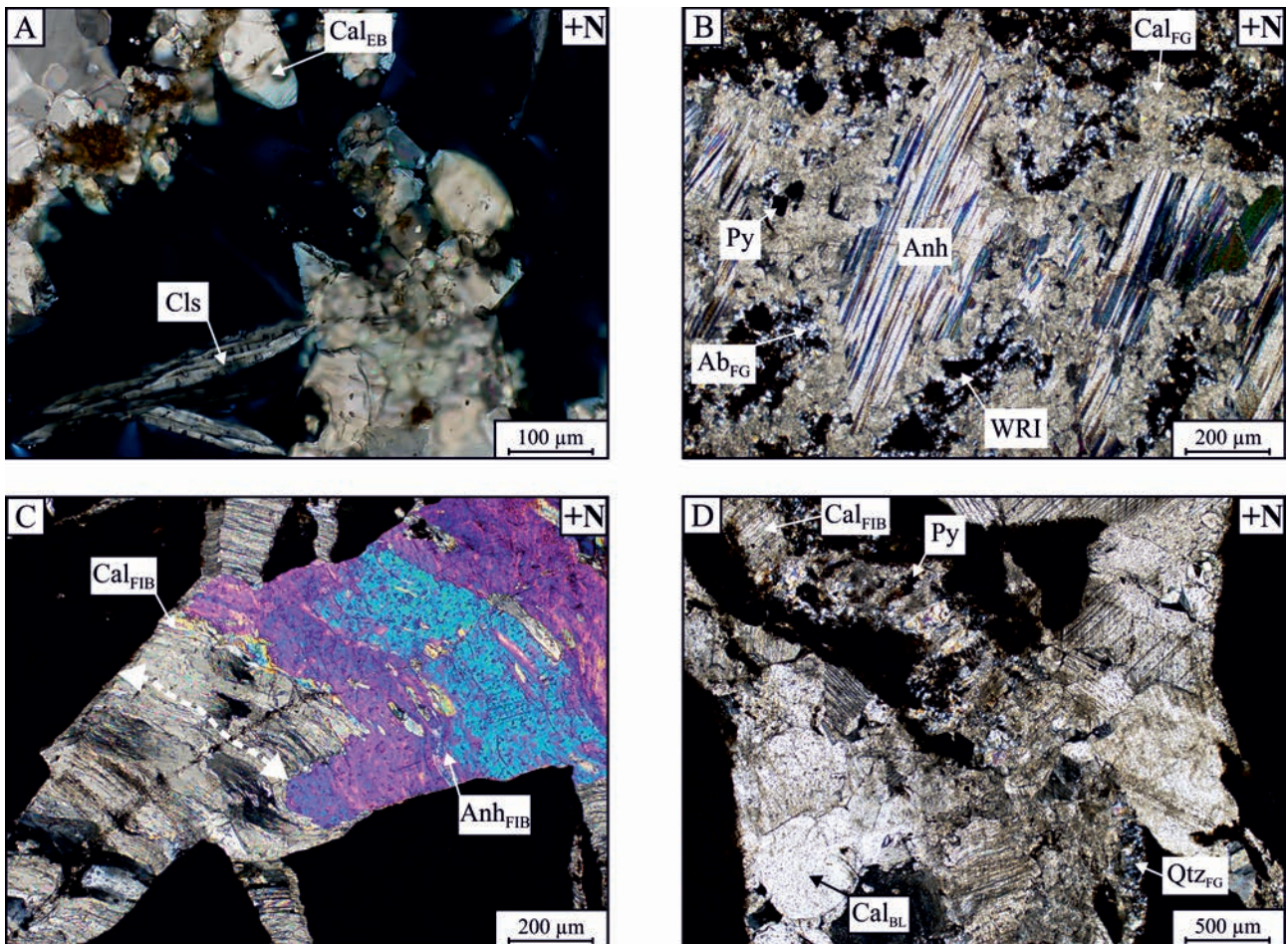
azaz a kristályok növekedése a kitöltés közepe felől a mellékközet felé történt (10. ábra, C). Az erekben megjelenik az antitaxiális fejlődésre jellemző középvonal. A szemcsék morfológiája rostos, az egyes kristályok követik a pillanatnyi felnyílás irányát. A repedéskitöltések döntően kalcitból állnak, azonban számos esetben anhidrit is megfigyelhető. A két fázis egymást kiegészítve tölti ki a hasítékokat, utalva az egymással párhuzamos kifejlődésre.

A BR típus olyan breccsa jellegű repedéskitöltések csoportja (6. ábra, F), amelyeket fehér, illetve rózsaszín ásványfázisok (uralkodóan kalcit) cementálnak. A csoport elemeinek átlagos vastagsága 5–12 mm. Mikroszkópos vizsgálatok alapján a kitöltést dominánsan tömbös kalcit-szemcsék alkotják, de a kalcit rostos szemcsemorfológiával is megjelenik (10. ábra, D). Alárendelt mennyiségben tömeges megjelenésű kvarc, illetve pirit is jelen van. Az



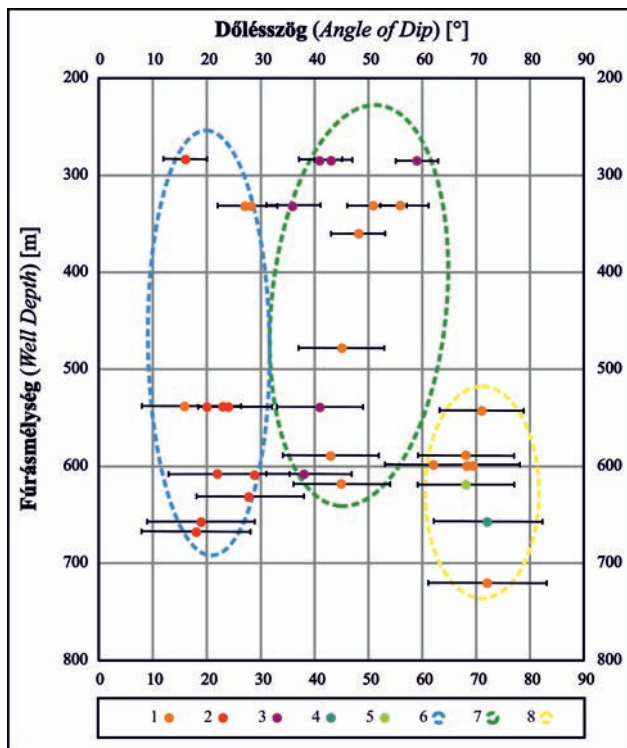
9. ábra. A - A fonatos törések kitöltésére jellemző, mellékközetzárványok (WRI) körül megjelenő, finomszemcsés albitperem (Ab_{FG}) szövete +N. B - A fonatos repedéskitöltésekben megjelenő sajátos albitperem Raman-spektruma

Figure 9. A - The typical fine-grained albite rim around wall rock inclusions (WRI) of braided fractures +N. B - Raman spectra of the characteristic albite rim in braided veins



10. ábra. A - A FON_L repedéskitöltés szöveti képe, +N. Az érszövetben megjelenő pórusok falán megnyúlt tömbös morfológiájú kalcit (Cal_{EB}), valamint tűs cölesztin (Cls) látható. B - A FON_p repedéskitöltés szöveti képe, +N. Az eret dominánsan mellékközetzárványokkal (WRI) tagolt finomszemcsés kalcit (Cal_{FG}) alkotja, amelyben kis mennyiségben pirít (Py) is megjelenik. A kitöltés belső részein antitaxiális növekedésű anhidrit (Anh) látható. C - A kulisszás húzási hasíték szövete, +N. A hasítékot rostos morfológiájú anhidrit (Anh_{FIB}) és mélyebben strukturált, szintén rostos megjelenésű kalcitkristályok (Cal_{FIB}) töltik ki. D - A breccsa jellegű értípus szövete, +N. A képződményt uralkodóan blokkos kalcit (Cal_{BL}) alkotja, azonban megjelenik finomszemcsés kvarc (Qtz_{FG}), rostos morfológiájú kalcit (Cal_{FIB}), valamint pirít (Py) is

Figure 10. A - Texture of the FON_L fracture filling, +N. The vein is permeated by pores filled with elongate blocky calcite (Cal_{EB}) and acicular celestine (Cls). B - The FON_p vein, +N. The fracture is filled with wall rock inclusion permeated fine-grained calcite as major component and subordinate pyrite (Py). The pores in the middle zone are filled with antitaxial anhydrite (Anh). C - Texture of the en échelon vein, +N. The vein is filled with fibrous anhydrite (Anh_{FIB}) and more structured fibrous calcite (Cal_{FIB}). D - Texture of the breccia fracture filling, +N. The fracture is dominantly filled with blocky calcite (Cal_{BL}), with fine-grained quartz (Qtz_{FG}), fibrous calcite (Cal_{FIB}) and pyrite (Py)



11. ábra. A repedéskitöltések fúrásferdeség adatokkal korrigált dőlésszög értékei a mélység függvényében

Jelmagyarázat: 1 - egyszerű töréstípus teljes kitöltéssel; 2 - en échelon törérendszer; 3 - fonatos törés mellékközettel átjárt repedéskitöltése; 4 - fonatos törés makroszkóposan megjelenő pirites kitöltéssel; 5 - fonatos törés pórusokat tartalmazó kitöltéssel; 6 - 22° átlagos dőlésszögű csoport; 7 - 42° átlagos dőlésszögű csoport; 8 - 70° átlagos dőlésszögű csoport

Figure 11. Calculated dip angles of the fracture fillings corrected by the measured tilt of the well

Legend: 1 - simple fracture with full filling; 2 - en échelon vein arrays; 3 - braided fracture with filling permeated by wall-rock inclusions; 4 - braided fracture with macroscopic pyrite-bearing filling; 5 - braided fracture with macropore permeated filling; 6 - fracture fillings with 22° average dip value; 7 - fracture fillings with 42° average dip value; 8 - fracture fillings with 70° average dip value

érszövetben szögletes kőzetszilánkok, mellékközetzárványok megjelenése gyakori, amelyek jól illeszkednek egymáshoz, valamint a hasadék szegélyéhez. A cementásványok között kitöltetlen pórusok észlelhetők, amelyek falán fenn-nőtt kalcitkristályok jelennek meg.

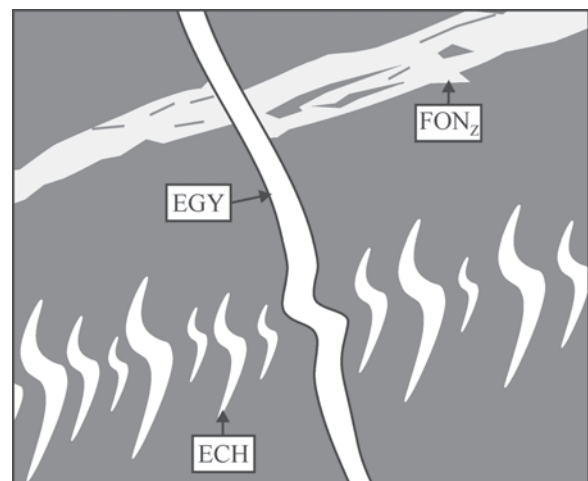
A képanalízissel meghatározott dőlésszögadatok három, hasonló értékekkel rendelkező kategóriába sorolhatók (11. ábra). Az első kategóriába a legkisebb dőlésszöggel rendelkező erek tartoznak, átlagos dőlésszögük 22°, szélsőértékei 16° és 29°. A második csoport tagjainak átlagos dőlésszöge 42°, szélsőértékei 36° és 51°. A harmadik kategória átlagos dőlésszöge 70°, szélsőértékei 56° és 72°, ez utóbbi kategória mind dőlésszögében, mind mélységtartományában markánsan elkülönül a másik két csoporttól.

Diszkusszió

A fúrómagpalást-felvételek értékelése alapján az egyszerű töréstípus repedéskitöltése (EGY) mindhárom dőlésszög-csoportban gyakori. A 22° átlagos dőlésszöggel rendelkező

kategóriában a kulisszás húzásihásíték-rendszer jelenléte a meghatározó. A 42° átlagos dőlésszögű csoportban a fonatos törés mellékközettel átjárt repedéskitöltése, valamint az egyszerű töréstípus domináns. A 70° átlagos dőlésszögű csoportban szintén jellemzőek az egyszerű törések, azonban mellettük FON_L és FON_P típusú erek is megjelennek.

A törések és erek egymáshoz viszonyított relatív kora a metszési viszonyukat figyelembe véve határozható meg (12. ábra). Az EGY típusú törések számos alkalommal elvetik a FON_Z típusúakat, valamint a FON_L kategóriába sorolt töréseket is, így az EGY típusú törések feltételezhetően a FON_Z és FON_L típusú törések után alakultak ki. Az EGY típusú törést felülírják a kulisszás repedéskitöltés-rendszerek által kirajzolt



12. ábra. A repedéskitöltések legjellemzőbb metszési viszonyai

1 - FON_Z - mellékközetzárványokkal tagolt fonatos repedéskitöltés; 2 - EGY - egyszerű repedéskitöltés; 3 - ECH - en échelon érrendszer

Figure 12. Typical intersection relationships of the fracture fillings

1 - FON_Z - braided fracture with wall rock inclusions permeated filling; 2 - EGY - simple fracture filling; 3 - ECH - en échelon vein array

nyírási zónák, amely alapján az EGY töréstípus kialakulása az ECH nyírási zónákat megelőzően történt. Ezek az általunk legfiatalabbnak vélt szerkezeti elemek nagy valószínűséggel a pannóniai korszakot megelőzően jöttek létre (KONRÁD & SEBE 2010). A FON_P- és BR-töréstípus relatív koráról metsződési viszonyok hiányában azonban nincs információnk. A mellékközetzárványok és az érfalak mentén megjelenő albitkristályokból álló perem jelenléte alátámasztja a metsződési viszonyok alapján felállított koncepciót, ugyanis megjelenik a fonatos erekben, azonban az egyszerű és kulisszás repedéskitöltés típusokban már nem jelentkeznek.

A szerkezeti elemek korának pontosításához kiemelt, hogy a BAF-2 fúrás a Boda-Büdösküti-öv szerkezeti határától D-re, a potenciális elhelyezési zóna D-i peremén mélyült, a vetőtől kb. 1 km távolságra. A szerkezetföldtani térképeken az öv hosszúsága 15–16 km-re becsülhető (KONRÁD & SEBE 2010, KONRÁD et al. 2016). SCHOLTZ & COWIE (1990), KIM et al. (2000) és KIM & SANDERSON (2005) munkái alapján az eltolódások hossza (L) és a maximális elmozdulás (d_{max}) között — 10 km-es nagyságrendű vetők esetén — $D_{max}/L=10^{-1}$ kapcsolat áll fenn. Ennek

értelmében a Boda–Büdöskúti-öv mentén 1,5 km-es elmozdulás is végbemehetett, ami akár azonos szélességű (1,5 km) kárzóna létrejöttével is járhatott (FOSSÉN 2010). A fentiek alapján elképzelhető, hogy a BAF-2 fúrásban megfigyelt töréses szerkezeti elemek, illetve az ezekhez kapcsolódó fluidummigrációs események — legalább részben — a Boda–Büdöskúti-öv mentén lezajlott, ÉK–DNy-i csapású balos eltolódások hatására alakultak ki a kréta során (MAROS et al. 2004, MAROS 2006 és az általuk hivatkozott irodalmak). ÁRKAI et al. (2000) a BAF tektonizált zónáiból 203,3±7,7 – 76,3±2,9 millió éves K-Ar korokat határoztak meg. A metsződési viszonyokat, továbbá a lapos szögű rátolódásos jelleget alapul véve a BAF-2 fúrásban a legfiatalabb szerkezeti elemek, a kulisszás erek így valószínűleg a késő-kréta ÉNy–DK-i kompresszióhoz köthetők. SEBE (2009) és KONRÁD (2012) azonban megállapították, hogy a Mecsekalja-öv mentén a kainozoikumban többször felújultak a baloldali elmozdulások — a legjelentősebb eltolódás a paleogénre valószínűsíthető —, ami nem zárja ki a BAF-2 fúrásból leírt késői szerkezeti elemek és cementáló fázisok fiatalabb korát sem. A kérdés megválaszolására további vizsgálatok szükségesek.

Az azonos, vagy hasonló ásványos összetétel mellett az érpetrográfiai vizsgálatok többféle érképződési mechanizmus működését is jelzik a BAF-2 fúrás rétegsorában. Szintaxiális növekedési morfológia a FON_L és a BR-típusban jelenik meg, tömbös, megnyúlt tömbös alakú, valamint a repedések széle felől azok közepe felé növekedő ásványokkal. Ez a repedéskitöltő érszövet — a szóban forgó erek esetében — a szülőfluidum advektív áramlására utal (BONS 2000, VAN DER PLUIJM & MARSHAK 2004, DABI et al. 2009, BONS et al. 2012).

Az ataxiális növekedési morfológia igen gyakori a vizsgált mintákban, valamennyi fonatos típusú (FON_Z, FON_L, FON_P) repedéskitöltésben megjelenik. A mellékkőzetzárványok orientációja alapján a kitöltéstípust gyakori, változó repedés-bezáródás események hozták létre (RAMSAY 1980). Miután a felnyílási síkok véletlenszerűen jelentek meg a mellékkőzetben és a repedéskitöltés szövetében, a korai és a késői felnyílási és cementációs események maradványai az erek területén belül változatosan helyezkednek el (PASSCHIER & TROUW 2005). A törések ilyen típusú kitöltései — a fentiekhez hasonlóan — szintén advektíven áramló szülőfluidumból történt kiválással jöhettek létre (BONS 2000, DABI et al. 2009).

Az ECH, valamint az EGY töréstípusok kitöltése antitaxiális érfejlődési morfológiával rendelkezik. A vizsgált erek középső részén megjelenik a középvonal, amelyben a kezdeti repedéskitöltő tömeges, tömbös alakú kristályok láthatóak. A folyamatos felnyílás következtében az egyes, immár megnyúlt habitussal rendelkező kristályok a középvonal szemcséin epitaxiális módon növekednek tovább. Az egyes szemcsék nem, vagy csak kis mértékben szélesednek a mellékkőzet felé, azaz a növekedési verseny elfojtott volt (BONS et al. 2012). A rostos kristályok követik a felnyílást, így a felnyílás iránya minden esetben kirajzolható. Az érszövet típus kialakulása feltételezhetően diffúziós anyagáramlási folyamatok által ment végbe (BONS 2000).

A vizsgálatok során kapott eredményeket (7. ábra) az I. táblázatban foglaljuk össze, ahol az ÁRKAI et al. (2000) és LENTI et al. (2010) által meghatározott, a repedéskitöltésekre vonatkozó információkat is bemutatjuk. Az eredmé-

I. táblázat. A vizsgálati eredményeket összefoglaló táblázat, a korábbi munkákban (ÁRKAI et al. 2000, LENTI et al. 2010) megjelent irányadó információk feltüntetésével (n.a. - nincs adat)

Table 1. Results of the microstructural, mineralogical and stitched core scanner image analyses with representation of results of previous researches (ÁRKAI et al. 2000, LENTI et al. 2010) (n.a. - no information available)

	Törés-típus	Uralkodó mennyiségben megjelenő repedéskitöltő ásvány(ok)	Alárendelt mennyiségben megjelenő repedéskitöltő ásvány(ok)	Növekedési morfológia	Átlagos dőlésszög	Szülőfluidum
BAF-2 fúrás reprezentatív mintái	FON _Z	kalcit	albit	ataxiális	42°	n. a.
	FON _L	kalcit	albit, cölesztin	ataxiális és szintaxiális	70°	n. a.
	ECH	kalcit, anhidrit	-	antitaxiális	22°	n. a.
	EGY	kalcit, anhidrit	kvarc, barit, cölesztin	antitaxiális	70°	n. a.
	FON _P	kalcit, anhidrit	albit, pirit, cölesztin	ataxiális és antitaxiális	70°	n. a.
	BR	kalcit	kvarc, pirit	szintaxiális	bizonytalan	n. a.
ÁRKAI et al. (2000) által publikált eredmények	n. a.	kalcit	kvarc, barit, dolomit	n. a.	n. a.	meteorikus eredetű, ~70 °C
		barit-kvarc, kalcit	dolomit, albit, klorit, anhidrit, Cu-szulfidok (kalkopirit, bornit, kovellin)			magmás eredetű, ~150 °C
		anhidrit	kalcit, albit, Sr-gazdag barit			n. a.
LENTI et al. (2010) által publikált eredmények	n. a.	kalcit-barit	-	n. a.	n. a.	hidrotermás eredetű, 105–177 °C

nyek alapján megállapítható, hogy a BAF–2 fúrásban megjelenő töréstípusok repedéskitöltései közül három kalcit-domináns, azonban a másodlagos repedéskitöltő ásványtársulások töréstípusonként eltérően albit, albit–cölesztin, valamint kvarc–pirit lehetnek. A vizsgált repedéskitöltések másik három típusában uralkodóan kalcit–anhidrit a domináns kitöltő ásványegyüttes, amelyek mellett másodlagosan kvarc–barit–cölesztin, valamint albit–pirit–cölesztin jelenik meg. Megállapításainkat összevetve a korábbi szakirodalmi eredményekkel elmondható, hogy az uralkodóan kalcit-, valamint anhidrit-domináns értípusok az általunk vizsgált BAF–2 mintákban is megjelennek. A harmadik korábban elkülönített csoportra, az uralkodóan barit–kvarc, kalcit együttest (ÁRKAI et al. 2000) kialakító fluidumgenerációra a kisebb mennyiségben jelenlévő kvarc–barit ásványfázisok utalnak. A repedéskitöltések szövetét és dőlésszögét figyelembe véve kijelenthető, hogy a repedescementációról alkotott kép összetettebb, mint azt az eddigi vizsgálatok mutatták. A megfigyelt mintákban lévő kalcit–anhidrit-domináns erekben a repedéskitöltő kristályok egyaránt előfordulnak kizárólag antitaxiális — ami lokális, diffúziós anyagáramlási folyamatokra enged következtetni —, valamint ataxiális növekedési morfológiával is, ami már egy nagyobb léptékű, advektívén áramló szülőfluidumra utal. Mindemellett az ásványtani alapon azonos értípusok mikroszerkezetükön túl dőlésszögük szerint is jelentősen eltérő kategóriákba sorolhatóak (22° és 70°). Mindezek szerint az ásványtani alapon azonos kategóriába sorolható értípusok szövetük, valamint dőlésszögük alapján markánsan eltérő deformációs-fluidumáramlási eseményeket jelezhetnek. A kialakító folyamatok feltárására, illetve azok szerkezeti keretbe illesztésére további célzott kutatások szükségesek.

Összefoglaló következtetések

Munkánkban a BAF–2 fúrásban feltárt Bodai Agyagkőben megjelenő szerkezeti elemeket dőlésszögük szerint három kategóriába soroltuk. A dőlésszög értékeken alapuló csoportok a következők: (1) kis dőlésszögű csoport, 22° átlagos dőlésszöggel; (2) közepes dőlésszögű csoport, 42° átlagos dőlésszöggel; továbbá (3) nagy dőlésszögű csoport, 70° átlagos dőlésszöggel. A kis- és közepes dőlésszögű csoportok szerkezeti elemei közel azonos mélységközben jelennek meg, azonban a nagy dőlésszögű csoportba tartozó repedések a fúrás alsó harmadában összpontosulnak.

A képződményben megjelenő töréseket négy csoportba osztottuk. Az erek morfológiai bélyegei alapján elkülöníthető az egyszerű törés (EGY típus), amely csoportba az általában teljes kitöltéssel rendelkező kalcit–anhidrit anyagú érgeneráció tartozik antitaxiális növekedési morfológiával, ami a legfiatalabb szerkezeti elemek egyike, fiatalabb képződmények közé biztosan csak a kulisszás erek tartoznak. Leggyakrabban a nagy dőlésszögű csoportba sorolható.

A fonatos (FON típus) csoportba olyan törések tartoznak, amelyek kitöltésében igen gyakoriak a mellékközet zárványai.

Ezt a típust a repedéskitöltések mikroszöveti és ásványos jellemzői alapján három további alcsoportra bontottuk. A FON_z típusban a repedéskitöltő kristályok növekedési morfológiája ataxiális, a kitöltő ásvány dominánsan kalcit, kisebb mennyiségben, de jól meghatározható, jellegzetes szöveti helyzetben albit jelenik meg. Leggyakrabban a közepes dőlésszögű csoportba tartozik. Relatív időbeli sorrendben a legidősebb szerkezeti elemek közé sorolható. A FON_L típusban pörusok is fennmaradtak. A repedéskitöltést ataxiális, majd szintaxiális növekedésű kalcit, valamint szintén szintaxiális növekedésű cölesztin jellemzi, kis mennyiségű albittal. A FON_p típus jellegzetessége a makroszkóposan azonosítható pirit előfordulása. Repedéskitöltését dominánsan ataxiális növekedésű kalcit-, valamint antitaxiális növekedésű anhidrit és cölesztin alkotja. Kis mennyiségben albit jelenik meg.

A kulisszás (*en échelon*) törésrendszerek (ECH típus) szigmoidális alakú húzási hasítékrendszerekből állnak. Repedéskitöltő ásványaik antitaxiális növekedésű kalcit, illetve anhidrit. Leggyakrabban a kis dőlésszögű csoportban jelenik meg, az érszekvencia legfiatalabb képződményeként. A Mecsek hegységi analógiáknak (MAROS et al. 2000, 2004) megfelelően a kulisszás törésrendszerek kialakulása feltételezhetően a késő-kréta ÉNy–DK-i kompresszió (BENKOVICS et al. 1997) rátolódásos jellegű szerkezetalakulásához köthető.

A breccsa (BR) töréstípus kitöltése jellemzően szintaxiális növekedésű tömbös, illetve megnyúlt tömbös kalcitból áll, kis mennyiségben kvarc, illetve pirit is megjelenik.

Eredményeink összhangban vannak a korábbi kutatások során tett ásványtani megfigyelésekkel, azonban felhívják a figyelmet arra, hogy az érkitöltések morfológiai és mikroszerkezeti vizsgálata további hasznos információkat szolgáltathat erről a kiemelt jelentőségű földtani képződményről. A kutatás során kísérletet tettünk annak bemutatására, hogy a részletes geokémiai–ásványtani vizsgálatok mintaanyagának kiválasztását megelőzően az erek szövetének és orientációjának vizsgálata segítséget nyújthat a hasonló kitöltésű, de eltérő deformációs fázisban létrejött szerkezeti elemek elkülönítésében. Ennél fogva a repedések és az erek komplex ásványtani–geokémiai, valamint orientációs és mikroszerkezeti vizsgálata a jövőben hozzájárulhat a BAF repedescementáció és szerkezetfejlődés rekonstrukciójához.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk megköszönni a Mecsekérc Zrt-nek és a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft-nek, hogy lehetővé tették a kutatás kivitelezését, valamint a BAF–2 fúrás maganyagának megtekintését és mintázását. Külön köszönjük Dr. MÁTHÉ Zoltánnak a munka során nyújtott szakmai segítséget és hasznos tanácsait, továbbá SÁMSON Margitnak és FÖLDING Gábornak a részproblémák során nyújtott segítséget. Köszönettel tartozunk Dr. FODOR Lászlónak, Dr. MAROS Gyulának és Dr. BENKÓ Zsoltnak a kézirat bírálata során végzett munkájukért. A vékonycsiszolatok készítéséért BENCsik Attilát (SZTE Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék) illeti köszönet.

Irodalom — References

- ÁRKAI, P., DEMÉNY, A., FÓRIZS, I. & MÁTHÉ, Z. 2000: Composition, diagenetic and post-diagenetic alterations of a possible radioactive waste repository site: The Boda Albitic claystone formation, southern Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* **43/4**, 351–378.
- BARABÁS A. & BARABÁSNÉ STUHL Á. 1998: A Mecsek környéke perm képződményeinek rétegtana. — In: BÉRCZI, I. & JÁMBOR, Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana. MOL Rt.— ÁFI kiadvány*, Budapest, 187–215.
- BÁRDOSSY GY. 1995: A radioaktív hulladék elhelyezésének kérdései Magyarországon. — *Magyar Tudomány* **8**, 935–943.
- BÁRDOSSY GY. 1998: A radioaktív hulladékok elhelyezése Magyarországon. — *Földtani Közlöny* **128/1**, 179–196.
- BÁRDOSSY GY. 1999: A radioaktív hulladék hazai elhelyezésének földtudományi alapjai. — *Székfoglalók a Magyar Tudományos Akadémián*, MTA, Budapest, 1–31.
- BENKOVICS, L., MANSY, J.-L., CSONTOS, L. & BERGERAT, F. 1997: Folding in the Abaliget road cut (Mecsek Mountains). — *Acta Geologica Hungarica* **40/4**, 425–440.
- BEREGART, F. & CSONTOS, L. 1988: Brittle tectonics and paleostressfields in the Mecsek and Villány Mountains (Hungary): correlations with the opening mechanisms of the Pannonian Basin. — *Acta Geologica Hungarica* **31/1–2**, 81–100.
- BONS, P. D. 2000: The formation of veins and their microstructures. — *Journal of the Virtual Explorer* **2**, 12 p. <https://doi.org/10.3809/jvirtex.2000.00007>
- BONS, P. D. 2001: Development of crystal morphology during unitaxial growth in progressively widening vein: I. The numerical model. — *Journal of Structural Geology* **23**, 865–872. [https://doi.org/10.1016/s0191-8141\(00\)00159-0](https://doi.org/10.1016/s0191-8141(00)00159-0)
- BONS, P. D., ELBURG, M. A. & GOMEZ-RIVAS, E. 2012: A review of the formation of tectonic veins and their microstructures. — *Journal of Structural Geology* **43**, 33–62. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.07.005>
- CSONTOS, L. & BEREGART, F. 1992: Reevaluation of the Neogene brittle tectonics of the Mecsek–Villány area (SW Hungary). — *Annales Universitatis Scientiarum Budapestiensis de Rolando Eötvös Nominatae, Sectio Geologica* **29**, 3–12.
- CSONTOS, L., BENKOVICS, L., BEREGART, F., MANSY, J.-L. & WÖRUM, G. 2002: Tertiary deformation history from seismic section study and fault analysis in a former European Tethyan margin (the Mecsek–Villány area, SW Hungary) — *Tectonophysics* **357**, 81–102. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(02\)00363-3](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00363-3)
- DABI G., M. TÓTH T. & SCHUBERT F. 2009: Eltérő szövetű karbonátterek szerepe a repedéscementáció rekonstrukciójában (Ófalu, Goldgrund-völgy). — *Földtani Közlöny* **139/1**, 3–20.
- DABI, G., SIKLÓSY, Z., SCHUBERT, F., BAJNÓCZY, B. & M. TÓTH, T. 2011: The relevance of vein texture in understanding the past hydraulic behaviour of a crystalline rock mass: reconstruction of the palaeohydrology of the Mecsekhalja Zone, south Hungary. — *Geofluids* **11**, 309–327. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2011.00342.x>
- DABI, G., TÓTH, F. & SCHUBERT, F. 2017: Preliminary fluid inclusion microthermometry results from secondary inclusion planes crosscutting a metamorphic quartz lens from the Mecsekhalja Zone metamorphic complex. — *Central European Geology*, 1–21. <https://doi.org/10.1556/24.60.2017.006>
- FEDOR, F., HÁMOS, G., JOBBIK, A., MÁTHÉ, Z., SOMODI, G. & SZŰCS, I. 2008: Laboratory pressure pulse decay permeability measurement of Boda Claystone, Mecsek Mts., SW Hungary. — *Physics and Chemistry of the Earth* **33**, S45–S53. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.10.059>
- FODOR, L., CSONTOS, L., BADA, G., GYÖRFI, I. & BENKOVICS, L. 1999: Tertiary tectonic evolution of the Pannonian Basin System and neighbouring orogens: a new synthesis of palaeostress data. — In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society, London, Special Publications* **156**, 295–334. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1999.156.01.15>
- FOSSEN, H. 2010: *Structural Geology* — Cambridge University Press, 463 p.
- HALÁSZ A. 2011: A Bodai Aleurolit Formáció ciklussztratigráfiai vizsgálata. — *PhD értekezés*, Pécsi Tudományegyetem, 129 p.
- HÁMOS G. 1997: Földtani és bányászati kutatás a Nyugat-Mecseki antiklinális területén, a Bodai Formációnak, mint radioaktív hulladékbefogadó kőzetösszetételnek az alkalmassága vizsgálatára. — *Földtani Kutatás* **34/3**, 46–52.
- HEGYHÁTI J. 2007: Radioaktív hulladékok kezelése és végleges elhelyezése. — *Magyar Tudomány* **167/1**, 27–30.
- HILGERS, C. & URAI, J. L. 2002: Microstructural observations on natural syntectonic fibrous veins: implications for the growth process. — *Tectonophysics* **352**, 257–274. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(02\)00185-3](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(02)00185-3)
- HILGERS, C., KOEHN, D., BONS, P. D. & URAI, J. L. 2001: Development of crystal morphology during unitaxial growth in progressively widening vein: II. Numerical simulations of the evolution of antitaxial fibrous veins. — *Journal of Structural Geology* **23**, 873–885. [https://doi.org/10.1016/s0191-8141\(00\)00160-7](https://doi.org/10.1016/s0191-8141(00)00160-7)
- KEREKI, F. 2016: Radioaktív hulladékok magyarországi kezelése és elhelyezése. — *Magyar Tudomány* **177/5**, 518–526.
- KIM, Y.-S. & SANDERSON, D. J. 2005: The relationship between displacement and length of faults: a review. — *Earth-Science Reviews* **68**, 317–334. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.06.003>
- KIM, Y.-S., ANDREWS, J. R. & SANDERSON, D. J. 2000: Damage zones around strike-slip fault systems and strike-slip fault evolution, Crackington Haven, southwest England. — *Geoscience Journal* **4**, 53–72. <https://doi.org/10.1007/bf02910127>
- KONRÁD Gy. & HÁMOS G. 2006: A magyarországi nagy aktivitású radioaktív hulladéktároló telephely kijelölésének földtani szempontjai és az eddigi kutatások eredményei. — *Acta Geographica, Geologica et Meteorologica Debrecina* **1**, 33–39.
- KONRÁD Gy. & SEBE K. 2010: Fiatal tektonikai jelenségek új észlelései a Nyugati-Mecsekben és környezetében. — *Földtani Közlöny* **140/2**, 135–162.
- KONRÁD Gy. 2012: A Bodai Agyagkő szerkezeti helyzete, litológiája és fáciése. Környezetföldtani megközelítés. — *Habilitációs tézisek*, Pécsi Tudományegyetem, 9 p.
- KONRÁD Gy., HALÁSZ A., SEBE K., BERNÁTH Gy., GÄRTNER D., HÁMOS G., SÁMSON M., MÁTHÉ Z., ÓBERT V., BENEI B. & MAGYAR L. 2016:

- A BAF-1, -1A és a BAF-2 fúrások földtani eredményei. — In: DÁLYAI V. & HÁMOS G. (szerk.): *BAF Kutatás. BAF Kutatás szakmai előadói nap kiadványa*, Pécs, 39–45.
- KONRÁD GY., SEBE K. & HALÁSZ, A. 2015: Földtani-tektonikai értékelés. — In: SÁMSON, M. (szerk.): *BAF-2 fúrás dokumentáló és értékelő jelentése*. — Kutatási jelentés, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs, 119–163.
- KONRÁD, GY., SEBE, K., HALÁSZ, A. & BABINSZKI, E. 2010: Sedimentology of a Permian playa lake: the Boda Claystone Formation, Hungary. — *Geologos* **16/1**, 27–41. <https://doi.org/10.2478/v10118-010-0002-1>
- KOVÁCS L. (szerk.) 1999: A Bodai Aleurolit Formáció minősítésének rövidtávú programja. Kutatási zárójelentés. Összefoglaló kötet. — *Kutatási jelentés*, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs, 68 p.
- LENTI, F., AZBEJ, T., NÉMETH, B. & SZABÓ, CS. 2010: Fluid inclusion study on the barite-calcite veins of the Boda Aleurolite Formation (Mecsek Mts., Hungary). — *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series* **6**, 201 p.
- MAROS Gy. 2006: A Mórágyi Gránit szerkezeti fejlődése az ImaGeo magszkennerrel történt fúrásértékelések alapján. — *PhD értekezés*, Miskolci Egyetem, 143 p.
- MAROS Gy., BALLA Z., DUDKO A., FODOR L., FORIÁN-SZABÓ M., KOROKNAI B., LANTOS M. & PALOTÁS K. 2003: Az atomerőművi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló program. Felszíni földtani kutatás. Tektonikai zárójelentés — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- MAROS Gy., KOROKNAI B., PALOTÁS K., FODOR L., DUDKO A., FORIÁN-SZABÓ M., ZILÁHI-SEBESS L., BÁNNÉ GYÓRY E. 2004: A Mórágyrög ÉK-i részének tektonikája és szerkezetalakulása — Tectonics and structural evolution of the NE part of the Mórág Hills — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi jelentése 2003-ról*, 371–394.
- MAROS Gy., PALOTÁS K., FODOR L., SALLAY E., RÁLISCHNÉ FELGENHAUER E., KOROKNAI B. & MATYIKÓ, M. 2000: A Bodai Aleurolit Formációban mélyült D-5 és D-6 fúrások ImaGeo magszkennerrel történt értékelésének eredményei. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- MÁTHÉ Z. & VARGA A. 2012: „Ízesítő” a permi Bodai Agyagkő Formáció oskörnyezeti rekonstrukciójához: kőso utáni pszeuromorfózák a BAT-4 fúrás agyagkőmintáiban. — *Földtani Közlöny* **142/2**, 201–204.
- MÁTHÉ Z. 2015: A Bodai Agyagkő Formáció ásvány-kőzettani és geokémiai vizsgálata. — *PhD értekezés*, Eötvös Loránd Tudományegyetem, 130 p.
- MAZUREK, M., PEARSON, F. J., VOLCKAERT, G. & BOCK, H. 2003: *Features, Events and Processes evaluation catalogue for Argillaceous Media*. — Nuclear Energy Agency (NEA), Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD), 379 p.
- NÉMEDI-VARGA Z. 1983: A Mecsek hegység szerkezetalakulása az alpi hegységképződési ciklusban. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi jelentése 1981-ről*, 467–484.
- PASSCHIER, C. W. & TROUW, R. A. J. 2005: *Microtectonics*. — Springer, 366 p. <https://doi.org/10.1007/3-540-29359-0>
- RAMSAY, J. G. 1980: The crack-seal mechanism of rock deformation. — *Nature* **284**, 135–139. <https://doi.org/10.1038/284135a0>
- SCHOLZ, C. H. & COWIE, P. A. 1990: Determination of geologic strain from fault slip data. — *Nature* **346**, 837–839.
- SEBE K. 2009: A Nyugat-Mecsek és környezete tektonikus geomorfológiai elemzése. — *PhD értekezés*, Pécsi Tudományegyetem, 113 p.
- SIVOLA, J. & SCHMID, R. 2007: A systematic nomenclature for metamorphic rocks. 12. *List of Mineral Abbreviations. Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks*. — SCMR website (<https://www.bgs.ac.uk/scmr>).
- TÓTH E. 2016: Szigmoidális húzási hasítékok képződési mechanizmusai és azok alkalmazási lehetőségei a nyírás mértékének becslésére a BAF-2 fúrás mintáinak példáján. — *BSc szakdolgozat*, Szegedi Tudományegyetem, 61 p.
- VAN DER PLUIJM, B. & MARSHAK, S. 2004: *Earth Structure*. — WW Norton & Compan, 656 p.
- 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.
- WÉBER B. 1977: Nagyszerkezeti szelvényvázlat a Ny-Mecsekből. — *Földtani Közlöny* **107/1**, 27–37.
- WEIN Gy. 1967: Délkelet-Dunántúl hegység szerkezeti egységeinek összefüggései az óalpi ciklusban. — *Földtani Közlöny* **97/3**, 286–293.
- Kézirat beérkezett: 2017. 03. 26.

I. melléklet. A makroszkópos megfigyelések, valamint a magszkenneres vizsgálatok eredményei. A „Mért” feliratú oszlopban a magszkennerrel meghatározott dőlésszög értékek szerepelnek. A „Min” és „Max” oszlopokban a dőlésszög értékek fúrásferdeség adatokkal korrigált szélsőértékei láthatóak. A mintaazonosítók * szimbóluma makroszkóposan megfigyelhető piritet jelöl, (üres cella = nincs adat)

Appendix I. Results of morphological and stitched core scanner image analyses. The calculated dip angles of the veins are shown in column „Mért”. These dip values were corrected by the measured tilt of the well (shown in column „Min” and „Max”). Symbol * in the Sample ID indicates presence of macroscopic pyrite, (empty cell = no data)

Minta-azonosító	Fúrás mélységköz		Értípus	Dőlésszög			Vastagság (mm)	Metsződés	Bezáródás
	Szakasz kezdete (m)	Szakasz vége (m)		Min.	Mért	Max.			
BAF-2_074*	74,34	74,45	FON _z	46°	47°	48°	3-4	nincs	nem teljes
BAF-2_224	224,90	224,94	BR				2	nincs	teljes
BAF-2_225*	225,33	225,40	BR				<1-2	nincs	nem teljes
BAF-2_251	251,56	251,73	FON _z				1-5	EGY elveti FON _z -t	teljes
			EGY				1-2		teljes
BAF-2_283	283,90	284,14	ECH	12°	16°	20°	1-3	nincs	teljes
			FON _z				1-3		teljes
BAF-2_284	284,28	284,80	FON _z	37°	41°	45°	1-3	van, bizonytalan	teljes
			FON _z	39°	43°	47°	1-3		teljes
			FON _z	55°	59°	63°	1-3		teljes
BAF-2_295	295,73	295,83	FON _z				2-3	EGY elveti FON _z -t	teljes
			EGY				1		teljes
BAF-2_331	331,24	331,56	EGY	51°	56°	61°	<1-1	EGY elveti FON _z -t	teljes
			FON _z	31°	36°	41°	2-3		teljes
			EGY	46°	51°	56°	<1-1		teljes
			EGY	22°	27°	32°	<1-1		teljes
			EGY	23°	28°	33°	<1-1		teljes
BAF-2_340	340,83	341,00	ECH				<1-1	van, bizonytalan	teljes
			EGY				2-8		teljes
BAF-2_356	356,92	357,12	EGY	43°	48°	53°	<1-10	nincs	teljes
BAF-2_360	360,29	360,45	EGY				<1-10	nincs	teljes
BAF-2_478	478,80	478,90	EGY	37°	45°	53°	1-2	EGY elveti FON _z -t	teljes
			FON _z				1-4		teljes
BAF-2_500	500,65	500,85	ECH				<1-2	nincs	teljes
BAF-2_519	519,57	519,82	BR				<1-20	nincs	nem teljes
BAF-2_536	536,00	536,32	FON _z				2-5	EGY elveti FON _z -t	teljes
			EGY				1-2		teljes
BAF-2_538a	538,40	538,70	ECH	16°	24°	32°	<1-1	nincs	teljes
			EGY	8°	16°	24°	1-3		teljes
			ECH	12°	20°	28°	<1-1		teljes
			ECH	15°	23°	31°	<1-1		teljes
			ECH	15°	23°	31°	<1-1		teljes
BAF-2_538b	538,90	539,05	ECH				<1-2	EGY elveti ECH-t	teljes
			EGY				<1-1		teljes
BAF-2_539a	539,15	539,39	FON _z	33°	41°	49°	1-4	EGY elveti FON _z -t és ECH-t	teljes
			ECH				<1		teljes
			EGY				1-3		teljes

Minta-azonosító	Fúrás mélységköz		Értípus	Dőlésszög			Vastagság (mm)	Metsződés	Bezáródás
	Szakasz kezdete (m)	Szakasz vége (m)		Min.	Mért	Max.			
BAF-2_539b	539,41	539,84	ECH				<1-1	EGY elveti ECH-t	teljes
			EGY				<1		teljes
BAF-2_542a	542,40	542,58	ECH				<1-1	nincs	teljes
BAF-2_542b	542,58	542,78	FON _z				3	EGY elveti FON _z -t	teljes
			EGY	63°	71°	79°	1-3		teljes
			ECH				<1-1		teljes
BAF-2_543	543,07	543,26	ECH				<1-1	nincs	teljes
			EGY	63°	71°	79°	<1-2		teljes
			EGY	63°	71°	79°	<1-2		teljes
BAF-2_544	544,23	544,76	FON _z				6-8	EGY elveti FON _z -t	teljes
			EGY				1-4		teljes
			ECH				<1-4		teljes
BAF-2_547	547,40	547,50	EGY				<1-12	EGY elveti BR-t	teljes
			BR				<1-12		nem teljes
BAF-2_548a	548,40	548,66	EGY				<1-2	EGY elveti FON _z -t	teljes
			FON _z				1-3		teljes
BAF-2_548b	548,85	548,90	BR				10-13	nincs	nem teljes
BAF-2_561	561,58	562,00	FON _z				1-3	van, bizonytalan	teljes
			EGY				<1-1		teljes
BAF-2_572	572,48	573,08	FON _l				3-5	EGY elveti FON _l -t	nem teljes
			EGY				<1-4		teljes
			ECH				<1-1		teljes
BAF-2_589	589,92	590,06	EGY	59°	68°	77°	2-5	van, bizonytalan	teljes
			EGY	34°	43°	52°	<1-3		teljes
BAF-2_594	594,95	595,12	EGY				<1-1	nincs	teljes
			ECH				<1		teljes
BAF-2_598	598,25	598,45	ECH				<1-1	EGY elveti ECH-t	teljes
			EGY	53°	62°	71°	<1-2		teljes
			EGY	60°	69°	78°	<1-2		teljes
			EGY	59°	68°	77°	<1-2		teljes
BAF-2_608	608,32	608,50	ECH	13°	22°	31°	<1-1	van, bizonytalan	teljes
			ECH	20°	29°	38°	<1-1		teljes
			FON _z	29°	38°	47°	5-7		nem teljes
			EGY				1-4		nem teljes
BAF-2_617	617,45	617,54	FON _z				3-6	EGY elveti FON _z -t	nem teljes
			EGY				<1-1		teljes
BAF-2_618	618,47	618,57	ECH				<1-2	nincs	teljes
			EGY	36°	45°	54°	<1-3		teljes
			BR				12		nem teljes

Minta-azonosító	Fúrás mélységköz		Értípus	Dőlésszög			Vastagság (mm)	Metsződés	Bezáródás
	Szakasz kezdete (m)	Szakasz vége (m)		Min.	Mért	Max.			
BAF-2_619	619,60	619,75	FON _L	59°	68°	77°	1-10	nincs	nem teljes
BAF-2_622	622,80	622,97	FON _L				3-12	EGY elveti FON _L -t	nem teljes
			EGY				<1-2		teljes
BAF-2_631	631,50	631,65	ECH	18°	28°	38°	<1-1	nincs	teljes
			EGY				<1-1		teljes
BAF-2_644a	644,00	644,25	ECH				<1-1	EGY elveti ECH-t	teljes
			EGY				<1-10		teljes
BAF-2_644b	644,91	645,08	EGY				<1-2	FON _p elveti EGY-t	teljes
			FON _p				1-15		teljes
BAF-2_650*	650,60	650,74	ECH				<1-1	ECH elveti FON _Z -t	teljes
			FON _Z				2		teljes
BAF-2_657	657,90	658,05	ECH	9°	19°	29°	<1-2	van, bizonytalan	teljes
			FON _p	62°	72°	82°	2-8		teljes
BAF-2_662	662,10	662,40	ECH				<1	EGY elveti FON _Z -t	teljes
			FON _p				5-15		teljes
			EGY				2-3		teljes
BAF-2_664	664,59	664,78	EGY				<1-1	EGY elveti FON _p -t	teljes
			FON _p				1-10		teljes
BAF-2_665	665,90	666,03	FON _p				5-9	nincs	teljes
BAF-2_666	666,72	667,18	ECH				<1	ECH elveti EGY-t	teljes
			EGY				<1-5		teljes
BAF-2_667	667,66	667,80	ECH	8°	18°	28°	<1	ECH elveti EGY-t	teljes
			EGY				<1-1		teljes
BAF-2_672	672,76	672,89	FON _p				3-6	EGY elveti FON _p -t és FON _Z -t, FON _p elveti FON _Z -t	teljes
			FON _Z				1-3		teljes
			EGY				<1-1		teljes
BAF-2_677	677,31	677,48	FON _p				2-5	van, bizonytalan	teljes
			EGY				1-2		teljes
			BR				15		teljes
BAF-2_720	720,40	720,63	EGY	61°	72°	83°	5-16	nincs	teljes
BAF-2_738	738,93	739,15	ECH					van, bizonytalan	teljes
			EGY						teljes
BAF-2_742*	742,93	743,14	FON _i FON _p FON _Z				2-10	nincs	nem teljes
BAF-2_760*	760,45	760,59	FON _p FON _Z				1-6	nincs	teljes
BAF-2_767	767,80	768,00	BR				1-10	nincs	nem teljes
BAF-2_818	818,45	818,57	FON _Z				1-5	EGY elveti FON _Z -t	teljes
			EGY				<1		teljes
BAF-2_831	831,14	831,30	FON _p				2-12	EGY elveti FON _p -t	teljes
			EGY				<1		teljes
BAF-2_898	898,97	899,22	EGY				<1-2	nincs	teljes