

Az ImaGeo-magszkennelés módszerei egy mecseki fúrás nagy felbontású értelmezésének példáján

MAROS Gyula¹, SZABADOSNÉ SALLAY Enikő¹, ÁDÁMNÉ INCZE Szilvia², HATVANI István Gábor³, PALOTÁS Klára¹, KOVÁCS József⁴,
GYENIS Ákos⁵, GRÓF Gyula⁶, PÁSZTOR Szilárd⁷, ANDRÁSSY László⁸, MARA József⁹, VIHAR Levente¹⁰, SZONGOTH Gábor¹⁰

¹Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, maros.gyula@mbfsz.gov.hu,

²Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat volt munkatársa, ³Csillagászati és Földtudományi Kutató Központ Földtani és Geokémiai Intézet,

⁴ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, ⁵Digital Foto Labor Kft., ⁶Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Energetikai
Gépek és Rendszerek Tanszék, ⁷ELTE TTK Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, ⁸MÁELGI nyugdíjas munkatársa, ⁹Oplab Kft.,

¹⁰Geo-Log Kft.

Methods of ImaGeo Corescanning and a case study of a high resolution borehole evaluation from the Mecsek Mountains

Abstract

The self developed ImaGeo system allows the construction of 3D geotectonic models through the collection of high resolution digital geological data in the field, in drillings and mines. The images and data can be obtained both in normal and UV light. The data can be oriented using geophysical borehole logging (acoustic Borehole televiewer BHTV, or microresistivity measurer Formation Microimager, FMI) to their original position, thus making detailed geological evaluations possible in real space. The system consists of the Corescanner, the Photorobot and the Laser Induced Plasm Spectrometer.

This paper describes a case study on the core scanning result of the Mesozoic succession in borehole Ibafa, Ib-4, with special emphasis on the Jakabhegy Sandstone Formation, besides introducing the methods used in the ImaGeo system. The examination of the Jakabhegy Formation was carried out after back-rotating the data in order to remove the structural tilt of 45/13° (dip direction/dip angle) to its original position. The succession of the Jakabhegy Formation could be divided into five elaborately analyzed sections in terms of grain size, lamination thickness, dip direction and dip angle data deriving from the corescanning. The sections do not correlate with the sections determined by the geological documentation. The back-rotated dip direction data show SSE, S and SW orientation with certain sections dipping also to the W or E. These are interpreted as the major transport directions. The transport directions show wide variety throughout the whole formation. The cycle analysis of the lamination thickness, dip direction and dip angle data was carried out by visually observing patterns, and also by periodicity analysis. We managed to define multiscale cyclicity patterns. Decimetres, 1.3 and 8 metres cycles could be defined by the distribution of dip direction data, while dip angles indicate 0.5 metre cyclicity with both methods. The periodicity analysis defined 1.3 and roughly 4.5 metres parallel cycles in the dip directions and dip angles. The visual analysis determined a cycle as long as about 50 metres, which could not be verified by the periodicity analysis.

Keywords: Core scanning, LIPS, borehole, cores, sandstone, cyclicity, cross lamination, Hungary, Mecsek Mountains

Összefoglalás

A saját fejlesztésű ImaGeo-rendszer terepen, fúrásokban és bányatérsegekben is nagy felbontású, digitális földtani dokumentációt és 3D földtani–tektonikai adatfelvételt tesz lehetővé, normál és UV-fény megvilágításban egyaránt. A fúrásokban kapott adatok mélyfúrás-geofizikai akusztikus (Borehole televiewer, BHTV) vagy ellenállás (pl. Formation MicroImager, FMI) adatsorok felhasználásával újra orientálhatóak és ezzel részletes földtani elemzések megvalósítása válik lehetővé a valós térben. A rendszer részei a Magszkennő, a Fotórobot és a LIPS (Lézergerjesztésű plazmaspektrométer).

Jelen cikk az ImaGeo-rendszer módszereinek bemutatása mellett esettanulmányt közöl az Ibafa, Ib-4 fúrás mezozoos rétegsorának magszkenneléses eredményeiről különös tekintettel a Jakabhegyi Homokkő Formáció elemzésére. A Formáció vizsgálatát az adatok 45/13°-os (dőlésirány/dőlésszög) tektonikusan kibillentett helyzetből történt vissza-billentés után valósítottuk meg. A magszkennelésből származó szemcseméret-, rétegvastagság-, dőlésirány- és dőlésszögeloszlások vizsgálata alapján a Jakabhegyi Homokkő Formáció harántolt rétegsorát 5 szakaszra lehetett bontani. A szakaszhatárok nem korrelálnak a földtani dokumentáció szakaszainak hatáiraival. A visszabillentett dőlések DDK, D és DNy felé mutatnak, de bizonyos mélységszakaszokban a tisztán Ny-i és K-i irányok is jelentősek. Mindezeket üledék-szállítási főirányként értelmezzük. A szállítási irányok a formáció egészét tekintve is széles spektrumon oszlanak el. A rétegvastagság, dőlésirány- és dőlésszög adatok ciklítéselemzését vizuálisan, mintázatok felismerése útján és geomatematikai periodicitáselemzéssel vizsgáltuk. Ezek alapján több, különböző periódushosszúságú (deciméteres, 1,3 és 8 méteres) ciklust lehetett meghatározni. A ciklusság megállapítható a lemezvastagságban, a dőlésszögek és a dőlésirányok

eloszlásában is. A hosszabb ciklusok leginkább a dőlésirányok eloszlásában mutatkoznak. A dőlésszögekben a vizuális, mintázatokon alapuló és a geomatematikai módszer is a 0,5 m körüli ciklust mutatta ki. A geomatematikai elemzés 2 párhuzamos ciklushosszt mutatott ki a dőlésirányokban és a dőlésszögekben. Ezek 1,3 és ~4,5 m ciklushosszúságú periódusok. A vizuális elemzés feltárt egy mintegy 50 m-es ciklust is, ezt geomatematikai úton nem lehetett igazolni.

Tárgyszavak: magszkenner, LIPS, fúrás, fúrómag, homokkő, ciklicitás, keresztlemezesség, Magyarország, Mecsek hegység

Bevezetés

A természetes és mesterséges feltárások földtani dokumentálása mindig is az elsődleges földtani információforrások közé tartozott, ezért elsődleges célkitűzés a dokumentálás módszertanának folyamatos megújítása a kinyerhető információtartalom maximalizálása érdekében. A fúrások dokumentálása ebben a csoportban kiemelt szerepet kap, hiszen a kinyerhető információkhoz való hozzájárulás nagy befektetést igényel, és a magban mérhető orientált adattömeg eloszlása pl. szénhidrogén-rezervoár és hidrodinamikai modellekben (BENEDEK et al. 2009, ÖZKAYA 2019) alapvető. Ehhez képest pedig nagy információvesztéssel jelent a fúrómagok égtáj és részben mélység szerinti pozícióvesztése, orientálatlansága. Ennek kiküszöbölésére számos módszert dolgoztak ki.

A „direkt” módszerek közé azok tartoznak, amelyek valamilyen mechanikus módon egy folyamatos jelet visznek fel a magpalástra fúrás közben. Ez lehet egy hegyes fémrúd által ejtett karc (KULANDER et al. 1990) vagy egyéb marker-eljárással húzott vonal. A módszer hátránya, hogy költséges és időigényes, azonkívül a különböző keménységű, megtartású, porozitású stb. magdarabok esetén a jel elveszhet, azon magdarabok esetén, amelyek a jelölés előtti fúrási folyamatban már elfordultak, hamis orientációt kapunk.

A direkt módszerekhez hasonló a magvégek leképezésén alapuló módszercsoport (ABZALOV 2016). Ennek lényege, hogy a magvételnél a lyukban maradó, legtöbbször törési felületet jelölik, vagy dőlését, felületi jellegzetességeit leképezik (TOROPAINEN 2010). Minden fúrási ciklusban a magcsőben helyezkedik el a jelölő eszköz. Egy úgynevezett orientációs golyó a gravitáció segítségével a lyuk aktuális legmélyebb pontján helyezi el a jelölőt. Ezen pont által meghatározott alkotó lesz ettől kezdve a referenciairány. Ezután vagy felületleképező pálcaköteg (TOROPAINEN 2010) vagy modellagyag (WYLLIE & MAH 2005) alkalmazásával lemásolják a magtető felületét. A jelölő a magtetőn marad a fúrás során. A módszer hátránya, hogy teljesen függőleges fúrólyuk esetén, illetve a bennmaradó mag jelölés előtti elmozdulása esetén az orientáció elvesz, valamint az iszappal telített lyukakban a jelölés problematikus. Az újabb eszközök a teljesen függőleges lyukban történő jelölést mágneses északjel egyidejű detektálásával oldják meg.

Földtani tulajdonságok alapján is lehet orientálni a fúrómagokat (NELSON et al. 1987). Ilyenkor a dokumentáló első sorban a közvetlen földtani környezet tulajdonságait, legtöbbször dőlésviszonyait veszi figyelembe. Egy nagy kiterjedésű, jól feltárt környezetben ez a módszer célravezető lehet, ugyanakkor logikailag hibás, hiszen pontosan azt a tulajdonságot posztulálja, amelynek vizsgálatára az orientációt megvalósít-

ja. Ennek a módszernek egy variációja a paleomágneses tulajdonságok alapján történő orientáció (SCHMIDT & ANDERSON 1992, PAULSEN et al. 2002). Az is előfordul, hogy egy az adott fúrára jellemző tulajdonság, például a magtengelyre merőlegesen, a fúrás és egyúttal a litosztatikai nyomás alól történő felszabadulás hatására létrejött törések eloszlása alapján (PAULSEN et al. 2000) történik az orientáció.

A modern fejlesztések az orientáció megoldására a fúrólyuk falának és a fúrómagnak az összehasonlításán alapulnak. Ezek olyan orientált mélyfúrás-geofizikai módszerek raszterként megjelenített fizikai paraméterméréseire alapulnak, amelyek a karotázsmérések általános metodikájának köszönhetően térben orientáltak. A fúrómagokról készült képi vagy egyéb dokumentációt ezekkel a paraméter raszterekkel fedésbe hozva a magdokumentáció is visszanyeri eredeti pozícióját. A mélyfúrás-geofizikai módszerek közül alkalmazásra kerültek a mikroellenállás-mérések (pl. Fullbore Formation MicroImager (FMI) (PAYENBERG et al. 2000, RIDER & KENNEDY 2011), illetve az akusztikus hullámterjedés-méréseken alapuló BHTV (Borehole Televiewer) mérések (ZEMANEK et al. 1970, PAULSEN et al. 2002, ZILAHY-SEBESS et al. 2000).

A magdokumentáció digitális feldolgozásának kezdeti módszereként a dokumentálók átlátszó fóliába tekerték a fúrómagokat, különböző színű filctollakkal erre rajzolták fel az egyes törések, rétegfelszínek metszetsíneit, majd a fóliákat levéve beszkenelték azokat (PAULSEN et al. 2002). Ezután került sor különböző megvalósítási módszerekkel a fúrómagok direkt magszkenneres dokumentálási módszerének kifejlesztésére (WEBER 1994, MAROS & PALOTÁS 2000, MAROS & PÁSZTOR 2001). Az erre szolgáló eszköz a Földtani Intézetben az ImaGeo nevet kapta. A saját fejlesztésű műszer és szoftverrendszer első verziójának kifejlesztése 1997-ben valósult meg a bátaapáti kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolójának földtani kutatása keretében (BALLA & GYALOG 2009). Az ImaGeo-rendszer később egy anyagvizsgálati modullal, a Lézer Indukált Plazma Spektrométerrel (ImaGeo LIPS) bővült, amellyel a magszkenneléssel egy időben gyors, terepi kémiai elemmeghatározásokat lehetett végezni (ANDRÁSSY et al. 1998, ANDRÁSSY et al. 2003, MAROS et al. 2008, ANDRÁSSY & MAROS 2011). A műszer és a szoftverek fejlesztése ma is folyik.

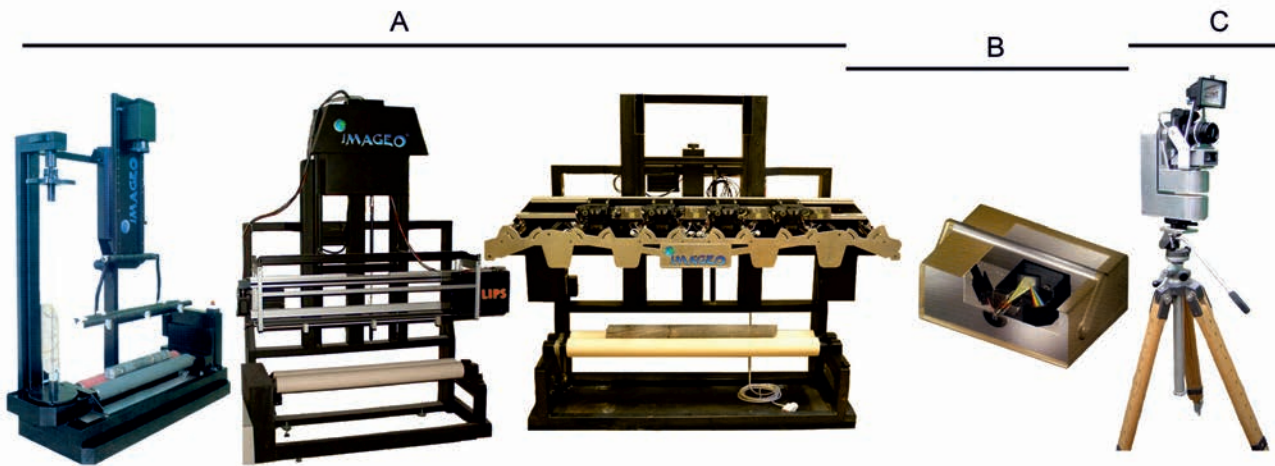
A fúrómagok nagy felbontású dokumentálási célú leképezése után az ImaGeo-rendszer fejlesztése a mesterséges és természetes feltárások dokumentálása felé fordult. Ennek eredményeként jött létre a digitális térmodell leképező eszköz, az ImaGeo Fotórobot (MAROS et al. 2006), amely első sorban a bátaapáti kutatások mélyszinti, vágatdokumentációs feladatait látta el (GYALOG et al. 2010).

A rendszer fejlesztésének tapasztalatait felhasználva kis átmérőjű és mélységű fúrólukák műszeres leképezése is megvalósításra került egy ESA (European Space Agency) marsi fúrási projekt földi analógiájának vizsgálata céljából (KERESZTURI et al. 2019).

A magszkennelés módszertana

Az ImaGeo-eszközpark három fő részből áll, a Magszkennert, a LIPS és a Fotórobot műszerekből (1. ábra). A következőkben az eszközökkel megvalósítható földtani adatfelvétel és dokumentáció folyamatait mutatjuk be.

zött lehet. A megvilágítást fehér LED égők biztosítják. A becsillanás elkerülése érdekében a megvilágítási szög úgy lett megválasztva, hogy direkt beeső fény ne juthasson a fényképezőgépre. Ugyanezen okból a lámpák és a fényképezőgépek nem egyszerre, hanem egymás utáni sorozatban villannak fel és exponálnak. Az előbbieken említett magátmérő esetén a szkennelési idő mintegy 10–15 másodperc. Az egyes fotókból egy saját file-formátumú, ún. Tifig file íródik össze, amely az összes forrásképet tartalmazza. Az eredmény montázs pixeltartalmának folyamatosságát a fényképezőgépek szigorú geometriai és képfelvételi elrendezése, illetve képfeldolgozó algoritmusok azonospont-kereső eljárásai biztosítják. A létrejövő szkennelt kép felbon-



1. ábra. Az ImaGeo A) Magszkennert V1, V2 és V3; B) a LIPS, C) a Fotórobot készülékek
 Figure 1. The ImaGeo A) Corescanner V1, V2 and V43; B) LIPS, C) Photorobot equipments

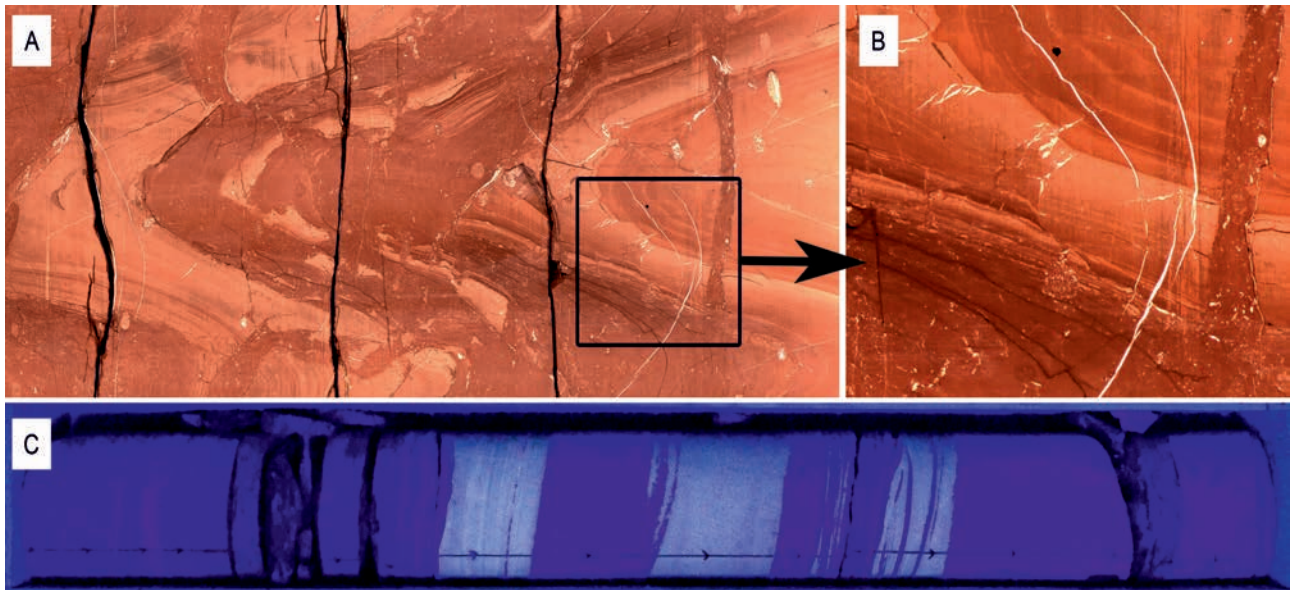
Adat- és fotóalapfelvétel

Akár a Magszkennerttel, akár a Fotórobottal rögzítjük a fúrómag és a feltárás látható képét, elsődleges a kőzetfelület előkészítése. Ez többszörös, alapos mosást, feltárás esetén a láthatóság biztosítását, a fúrómagdarabok összeillesztését és az illesztés szkennelés idejére történő rögzítését jelenti.

A Magszkennert (1. ábra) és a Fotórobot (1. ábra) működése is elsődlegesen egy optikai spektrumban történő képfelvétel és montázs készítésén alapul. Az ImaGeo Magszkennert (MAROS & PALOTÁS 2000, MAROS & PÁSZTOR 2001) korábbi verziói egy RGB kódolású vonalszkennert, a legújabb eszköz raszteres képrögzítési eljárásként fényképezőgépek képsorozatát alkalmazza. A szkennelés elvi folyamatoként a maximum 1 m-nyi fúrómag teljes hosszát kvázi egyidőben fényképezi, majd a fúrómagot hossztengele mentén elforgatja, és ismét fényképez. Ez a folyamat addig ismétlődik, amíg a teljes magpalást rögzítésre nem kerül. Az elforgatás szöge programozható, hiszen a magátmérő, a megvilágítás egyenletessége, a kellő átfedés biztosítása és a mélységélesség függvényében különböző mennyiségű fotó elkészítésére lehet szükség. Egy sűrűn előforduló, 6,3 cm átmérőjű, 1 m hosszú mag esetében 40 fénykép elkészítése az optimális. A szkennelhető magátmérő 4–20 cm kö-

tása maximálisan 500 DPI (2. ábra), de a magszkennerthez illeszthető részletfotózó feltét is, így a részletek felbontásának az illesztett fényképezőgép felbontása szab határt. A Magszkennert esetében a megvilágítás optikai tartományban vagy UV-tartományban is történhet, utóbbi esetben a 340 nm-es UV-csőves megvilágításban UV-lumineszcens felvétel készül (2. ábra).

Az ImaGeo Fotórobot (MAROS et al. 2006) képfelvételi technikája látható fény tartományban felvett képsorozat rögzítésén alapul (3. ábra). A képsorozat tárgyának rögzített volta miatt az aktuális északi irány kijelölhető, így a fotósorozat orientált. Az eszköz standard kameramoddellel dolgozik, emiatt és a szigorú geometriai elrendezés miatt a montázs készítéséhez viszonylag egyszerű térmodell adható meg. A kőzetfelszínen előre megjelölt pontok geodéziai bemérésével georeferált fotósorozat kapható. Két tengely körül elforduló mechanikai felépítése lehetővé teszi tetszőleges térbeli helyzet elérését, akár egy gömbfelület mentén is készíthetők felvételek. A közös tengelyen elhelyezett lézeres távmérő eszköz és fényképezőgép egyszerre képezi le a tárgyat és állapítja meg annak távolságát. A fényképezőgép, a távmérő és a forgató mechanika is programozható, ahol a fotók számát csak a tároló kapacitás korlátozza. A fotórobot



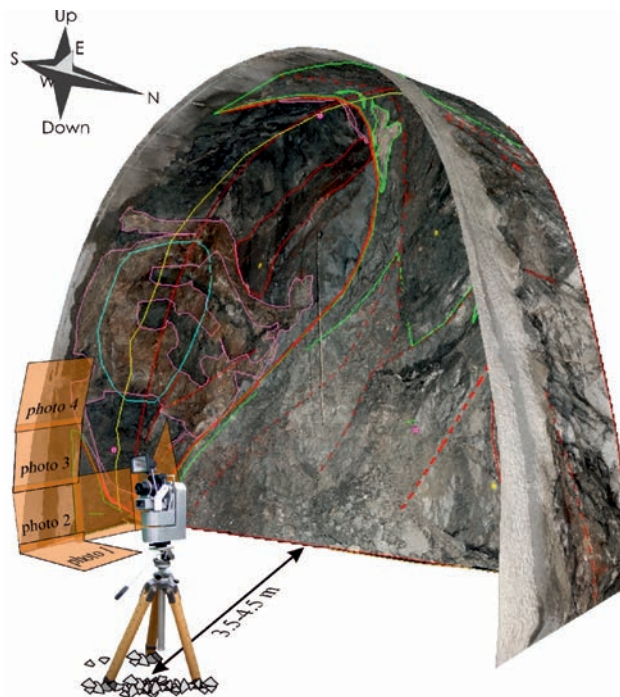
2. ábra. ImaGeo Magszkennner teljes palástfelvétel (A) és részlete (B) látható fényben és UV megvilágítású ládafotó (C)

Figure 2. An ImaGeo Corescanner whole circumference image (A) and closeup (B) scanned in visible light (above) and UV lighting box photo (C)

funkciói távirányítással aktiválhatók. A mérés során nem igényel külső számítógépes vezérlést, ezért könnyen hordozható, kompakt, terepi munkavégzésre alkalmas. Használható feltárások nagy részletességű felvételére, illetve bányatérsek, alagutak összes kőzetfelületének nagy felbontású leképezésére. A távolságméréseknek köszönhetően, illetve megfelelő bázistávolságot választva dupla fotósorozat készítésekor fotogrammetrikus eljárással a fotók 3D felületekre feszíthetők. Előbbi esetben a 3D modell felbon-

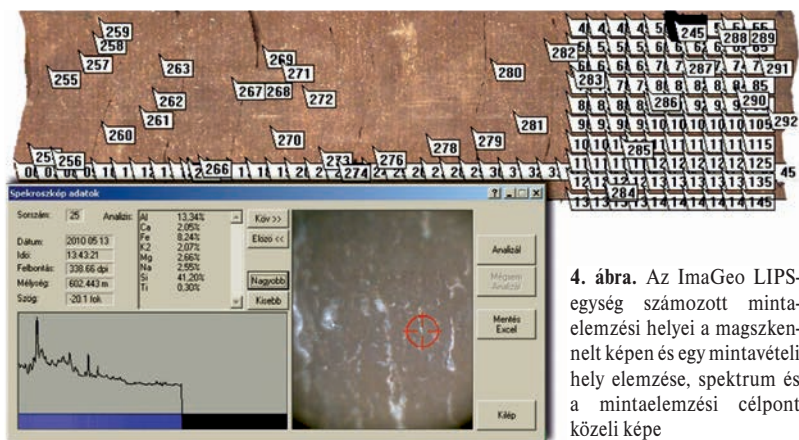
tását a távolságmérések sűrűsége határozza meg, utóbbi esetben a felbontás akár pixelméretű is lehet.

A Lézer Indukált Plazma Spektrométer (1. ábra, LIPS, ANDRÁSSY et al. 1998) készülék az ImaGeo-magszkennnerrel összeépített saját fejlesztésű anyagvizsgálati eszköz. A gerjesztő lézer, az optikai rács és a mátrixdetektor egy „síneken” közlekedő dobozban van elhelyezve, amely a magszkennelés ideje alatt a szkennelt területen kívül helyezkedik el. A szkennelést vezérlő szoftver a szkennner geometriai elrendezéséből, a léptető motorok adataiból minden szkennelt képpixelhez számított pozíciót rendel. Ez alapján a szkennelt képen pixelszintű pontossággal pozicionálni képes minden olyan eszközt, amely a szkennelés után az adott magfelület bármilyen mérését végzi. Ilyen eszköz az ImaGeo LIPS is. Az eszköz nagy energiájú Nd-Yag lézerek besugárzása által egy kb. 0,1 mm átmérőjű célterületen keltett plazma emittált fényéből spektroszkópiai eljárással határozza meg a plazmában lévő elemeket és az elemek százalékos összetételét (ANDRÁSSY et al. 2003). A magszkennneres vezérlésnek köszönhetően a minta kiválasztása a szkennelt képen történik, reprodukálható, dokumentálható módon. A mérés helyének kiválasztása után a LIPS-egységet a szkennner vezérlő szoftvere a mérendő pont fölé pozicionálja, majd elvégzi a mérést. A mérés helyének pontosabb kiválasztását és a mérés kráterének utólagos dokumentálását a LIPS-egységbe telepített kamera végzi el (4. ábra). Ez szoftveresen támogatott élesség és kontraszt meghatározás alapján a mag fölött automatikusan beállítja a LIPS távolságát a kritikus lézerfókuszáltság megteremtése érdekében. A mérés helye a mag orientálhatóságának függvényében térben orientált lehet. Szoftveresen a mag mentén szelvény menti és területi mérés is megvalósítható. A műszerhez kiértékelő szoftver tartozik, amely megjeleníti a célterület képét, a kapott spektrumot, az elemkoncentráció értékelést és



3. ábra. Az ImaGeo Fotórobot fotóalap felvétele bányatérsekben

Figure 3. The ImaGeo Fotórobot taking photos for a montage in a shaft



4. ábra. Az ImaGeo LIPS-egység számozott mintaelemzési helyei a magszkenelt képen és egy mintavételi hely elemzése, spektrum és a mintaelemzési célpont közeli képe

Figure 4. Shooting places of the ImaGeo LIPS on a corescanned image and the analysis of a unique LIPS target place with the spectrum and camera image)

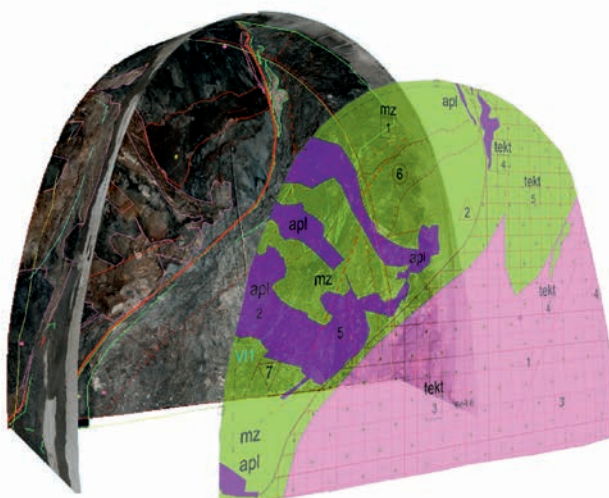
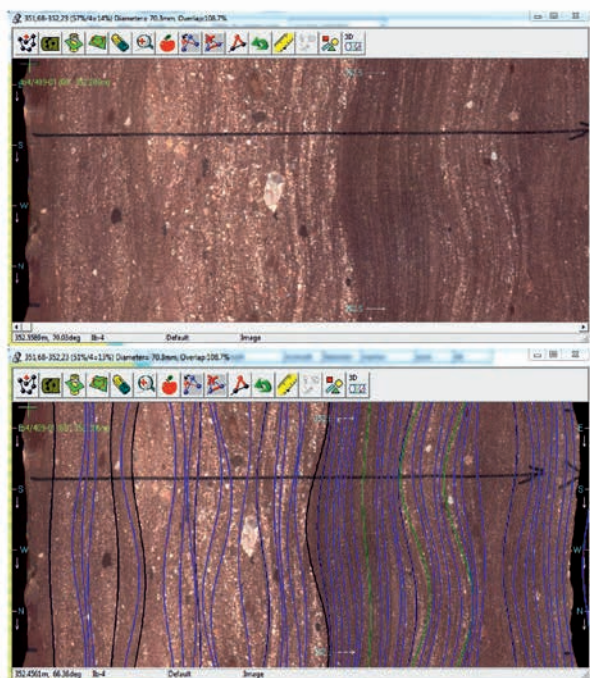
beállítási, kalibrálási lehetőségeket biztosít. Egy-egy mérés kiértékeléssel együtt mintegy 20 másodpercet vesz igénybe, a keletkezett adatok a szkennelt kép Tifig állományában tárolódnak, azzal együtt archiválhatók.

Fotóalap földtani kiértékelése

Mind a Magiszkenner, mind a Fotórobot a leképezés eredményeként egy-egy fotómontázst állít elő. A Magiszkenner által felvett montázs egy hengerfelület kiterített képe, a Fotórobot montázsa pedig egy térbeli felületre feszített raszter. Így tulajdonképpen eredetüknél fogva mindkettő egy-egy 3D felületről ad információt. Míg a Fotórobot montázsának térbelisége viszonylag egyszerűen megadható, a magiszkenelt kiterített kép helyzete több lépésben állítható helyre. Ennek első lépése egy helyi koordináta-rendszer megadása. Mivel hengerfelületről beszélünk, a helyi koordináta-rendszer lokális észak vonalaként egy a henger felületén ki-

választott alkotót adunk meg. Ezt nevezzük markervonalnak. A markervonal helyzetét a magdarabok összeillesztésekor a kezelő határozza meg. Az összeillesztett magdarabokon keresztül vonalzóval egy-egy rövid markertoll vonalat húz minden magdarab felső szélére. Ezzel az összeillesztést is reprodukálhatóvá teszi, valamint az összes magdarabon megjelöli a markeralkotó vonalat. (Mivel a legtöbb fúrás a vízszintestől eltérő dőlésű, ezért ezt a vonalat joggal nevezhetjük „északnak”, de szóhasználatunkban vízszintes fúrások esetén is így hívjuk.) Amikor a kezelő a szkennelt kép elemzésekor megadja a mag nevét, magláadához viszonyított mélységét, egyéb azonosítókat, akkor a képen meg kell jelölnie a szkennelt markerjelet is az adott magszakasz legfelső pontján. Ez a szoftver számára a pixelraszter egy adott sorának és oszlopának keresztező pontja lesz. A lokális észak rögzítése a későbbi orientálási fázis kulcsa is lesz egyúttal.

A vezérlő szoftver szerepe itt lezárul, és megkezdődik az értelmezés folyamata. Ezt egy erre a célra fejlesztett szoftvermodullal a CoreDump-modullal végezzük (MAROS & PALOTÁS 2000, GYALOG et al. 2010). Ez a modul egyszerre képes fogadni az összes ImaGeo-készülék által felvett adatot, képet és különböző további értékelő, adatbázis-építő munkafázis után megjeleníteni az adatok, értékelések mélységbeli, térbeli eloszlását diagramok és logok formájában. Az értékelés menete tulajdonképpen földtani határfelületek felismerését és a képeken történő rajzos, vektoros megjelenítést jelenti (5. ábra). A magiszkenelt képeken vetősíkok, rétegfelületek, törések, palásság, eltérő kristályos kőzetváltozatok határfelületei, eltérő szemcsenagyságú üledékes kőzetek határfelületei, keresztrétegzettség, különböző



5. ábra. A fotóalap vektoros kiértékelése a magiszkenelés (balra), illetve a fotórobotos felvétel (jobbra) esetében

Figure 5. Geological evaluation of a corescanned image (left) and a Photorobot montage (right)

elváltozások, bontottság, színváltozatok határfelületei stb. kerülnek rá a szkennelt képre. Az egyes jelenségeket különböző, a felhasználó által definiált adatbázisrétegre lehet elkülöníteni, a síkszerű határfelületeket elegendő három pont megadásával meghatározni, hiszen a kiterített kép egy hengerfelületet ír le. A síkszerű felületek vagy síkok további, szintén a felhasználó által definiálható tulajdonságokkal láthatók el, például egy törési felület síkjának rögzítése után megadható a sík geometriája (hajladozó, en echelon, egyenes, szabálytalan stb.), a törés nyitottsága vagy zártsága, a törésfelületet borító ásványos kitöltések anyaga, színe, vastagsága, egymásutánisága stb. Nemcsak a magfelületen látható jelenségek értékelhetők a modulban, hanem a mag belsőjében levők is. Így például grafikusán és részletes adatokkal megadhatók a törésfelületeken detektált vetőkarcok adatai, a törésfelület érdekessége, bontottsága is.

Fontos kérdés az ún. nem szkennelhető szakaszok dokumentációjának beépíthetősége is. Mindig előfordul ugyanis olyan mértékben összetört, széteső, laza szerkezetű rész, amely nem állítható össze hengeres magként, ezért alkalmatlan a szkennelésre. Természetesen ezek dokumentálása ugyanolyan fontos. A CoreDump-modulban lehetőség van olyan virtuális magszakaszok definiálására, amelyek a nem szkennelhető szakasz egészét vagy annak egy szakaszát reprezentálják. Ezekhez a szakaszokhoz leírás és tulajdonságok kapcsolhatók, a szakaszok a fúrási logban megjeleníthetők. Legtöbbször az apró darabokban megfúrt tektonikai zónákat kell ilyen virtuális szakaszként leírni. Ritka az olyan eset, amikor egy ilyen zóna hengeres magként szkennelhető, mint az a bátaapáti mélyszerinti kutatások során mélyült BeK–1 vízszintes fúrás esetében történt (6. ábra).

A Fotórobot térbeli fotómontázsa ugyanilyen módon kiértékelhető, ugyanakkor ebben az esetben a sokszor több méter hosszan megfigyelhető határfelületek lefutását nem elegendő három ponttal megadni, itt tulajdonképpen egy térgörbét rögzít a felhasználó (5. ábra). A görbéhez pedig megadja az általa legjellemzőbbnek ítélt dőlésértéket. Az egyéb tulajdonságok adatbázisba vitele teljesen hasonló a magszkennelt képek értékelésénél alkalmazottakhoz.

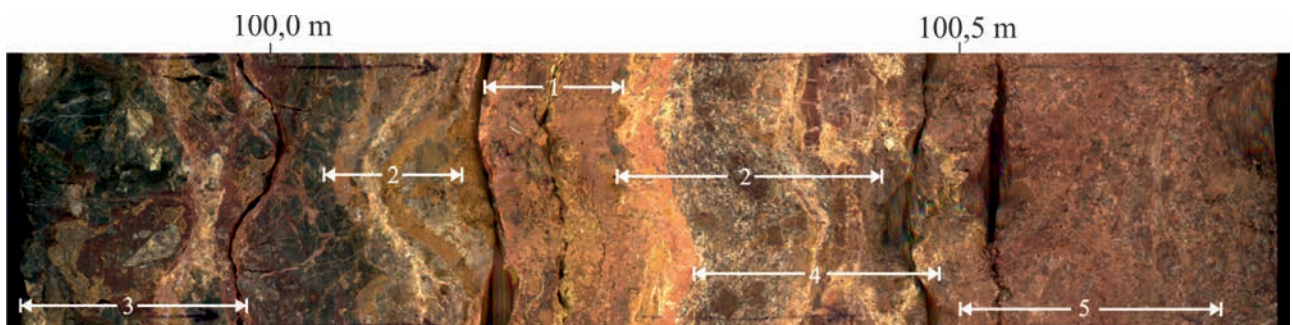
A LIPS műszer által mért koncentráció adatok, a mérések helyéről eltárolt részletképek a magszkennelt képekben tárolódnak, a CoreDump-modulban megjeleníthetők (4. ábra).

Ugyanígy lehetőség van egyéb szöveges vagy képi információknak a magszkennelt vagy Fotórobottal készült montázshoz történő hozzáfűzésére. Így például utólag anyagvizsgálati eredmények, csiszolati kép stb. társítható a szkenneléshez, ezzel komplett fúrásdokumentáló, -értékelő és megjelenítő eszköz érhető el.

A nagy felbontású észlelés és értelmezés lehetősége a földtani médiumban megfigyelhető jelenségek időkapcsolatainak elemzését is lehetővé teszi (POTTS & REDDY 1999). Ennek legkézenfekvőbb példája egy réteghatár vagy kőzet-tani felület időbeli viszonya egy töréshez. Nyilvánvalóan a törés fiatalabb a réteghatárnál, kőzettani felületnél. Minden ilyen esetben két megfigyelt földtani sík, objektum vesz részt a relációs kapcsolat megfogalmazásában. Ugyanaz a sík vagy objektum azonban több relációban is részt vehet. Az előbb említett esetben például a legtöbbször fiatalabb a törésnél annak ásványos kitöltése, de lehet egy másik törés is fiatalabb, ami a magban látható módon elveti az előzőt. A mindig kétszereplős relációk további vizsgálatnak vethetők alá. Például anyagvizsgálattal vagy az orientált adattömegben végzett eloszlásvizsgálattal kitöltés-, töréspopulációk elkülönítésére van lehetőség. Ennek következtében akár a relációs kapcsolatok rögzítésében nem részt vevő síkok is levezetett időbeliséget nyerhetnek más síkokhoz képest. Szoftveresen a kétszereplős kapcsolatokból relációs „vonalak” képezhetők, amelyek statisztikai értelemben kvázi-egyidejű események sorozatává rendezhetők.

A földtani értékelés valós térbe forgatása, orientáció

A Fotórobot által leképezett feltárási vagy bányatérsegi kőzetfelületek térbeli helyzete nem változik meg a fejtés során, ezért itt az elkészült montázs részeinek vagy egészének újra orientálására nincs szükség. Szükséges viszont a földtani objektum elhelyezése a térben. Ennek módszere, hogy a montázs felvétele előtt festékkel szisztematikusan pontokat jelölünk meg a kőzetfelületen, ezeket a pontokat pedig geodéziai módszerekkel xyz koordinátákkal látjuk el. Mivel az elkészült montázon a festett pontok azonosíthatók, a leképezett kőzetfelület térbelisége biztosított. Az orientációjukat veszített fúrómagokkal más a helyzet, ezek újraorientálásának lehetőségeit



6. ábra. Törészóna magszkennelt képe és értelmezése (MAROS et al. 2009) alapján.
1 magzóna, 2 kitöltések, 3 polimikt breccsa, 4 felkeményedett régi magzóna, 5 kataklázit, majd breccsa

Figure 6. Evaluated corescanned image of a deformation zone (after Maros et al. 2009)
1 Core zone, 2 mineral infillings, 3 polymict breccia, 4 restrained abandoned core zone, 5 kataclasite and breccia

érintettük a Bevezetésben. Az ImaGeo-rendszer működési modelljében a raszteresen megjeleníthető mélyfúrás-geofizikai orientált paraméterméréseit használjuk mint referencia mérést. Ezek lehetnek mikroellenállás (FMI) vagy akusztikus (BHTV) mérések. A CoreDump-szoftver mindkét módszertípus mérésanyagának megjelenítésére képes (7. ábra). Ebben a fázisban kap jelentőséget a korábban a magfelület szkennelt képén megjelölt markeralkotó. A mélységsorrendbe rendezett szkennelt képsorozat és a referenciamérések párhuzamos megjelenítésével azonosíthatók a közös mintázatok (7. ábra). Az elvi korreláció után a markeralkotó szoftveres megragadásával, majd mélységbeli eltolásával és azimut szerinti forgatásával a szkennelt képek, illetve a referenciamérések térben fedésbe kerülnek. Ezzel a szkennelt képek, illetve az azokon vektorosan elvégzett értékelés egyaránt eredeti, a fúrás megkezdése előtti pozíciójába tér vissza (7. ábra).

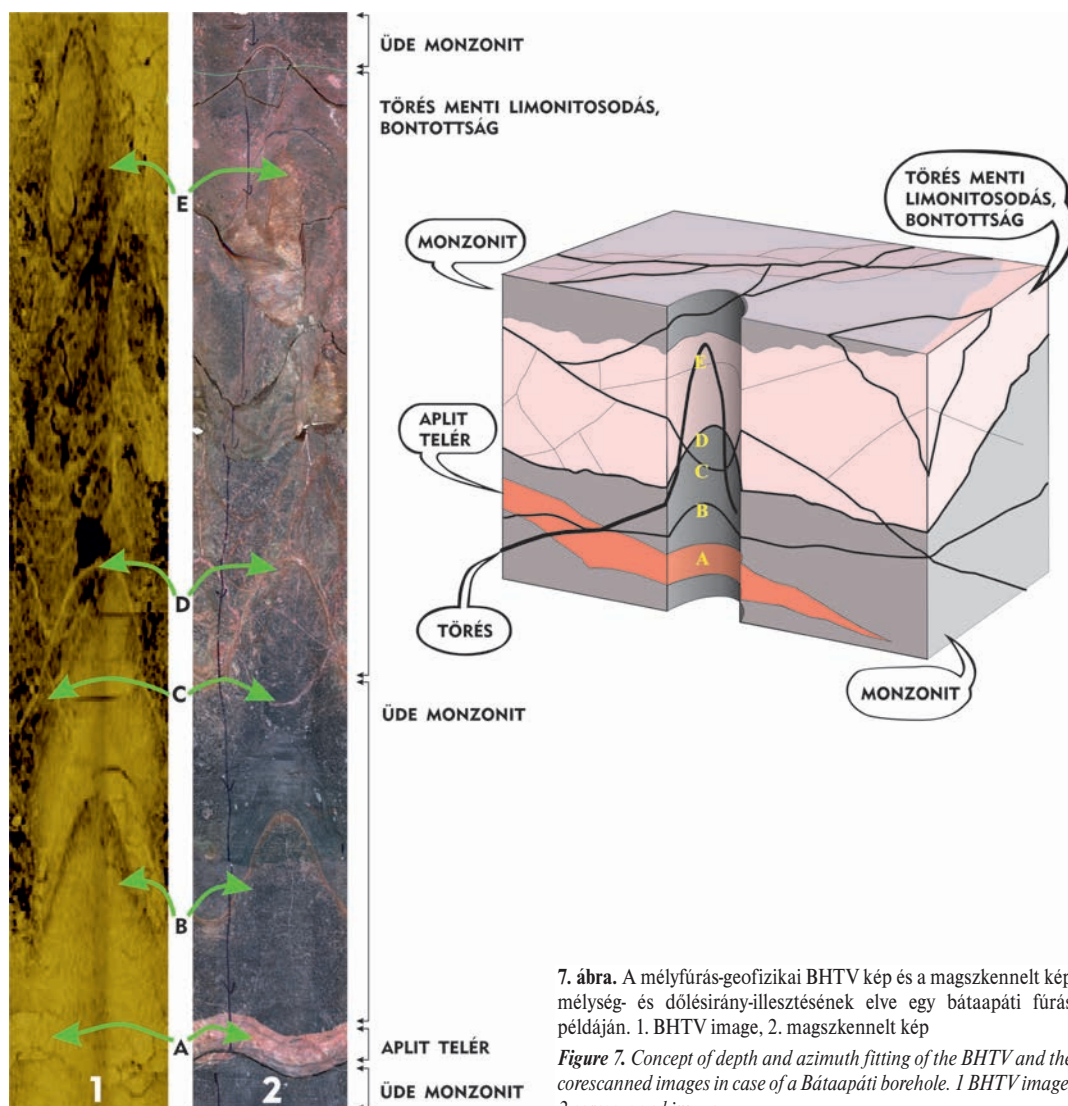
A vektoros értékelés során képzett pontok, vonalak, síkok standard dxf formátumban exportálhatók, ezen kívül a beépített adatbáziskezelő almodul segítségével lekérdezésekre van lehetőség. A lekérdezések eredményei sztereogra-

fikus projekciókon, rózsadiagramokon, tadpole-diagramokon, hisztogramokon jeleníthetők meg. A dőlés adatok sztereografikus és mélységi ábrázolását egyetlen diagramon is megjeleníthetjük. Ez a saját fejlesztésű maximumvándorlási diagram, amely a dőlésértékek statisztikai ablakokban számított maximum értékeinek mélységbeli változását mutatja (MAROS & PÁSZTOR 2001).

Felhasználás, eredmények

A módszeregyüttes felhasználási lehetőségei tágak:

- Archiválás (a teljes palástról készült nagy felbontású, digitális képek alkalmasak a fúrási magminták dokumentációjának teljeskörű és hosszú távú archiválására.)
- Jelenségek orientált, részletes tanulmányozása, dokumentálása, térbeli eloszlásának elemzése.
- Átnézetes kémiai elemeloszlás-vizsgálat és laborvizsgálati stratégia kidolgozása.
- Fúrások földtani és geofizikai dokumentációjának mélységegyeztetése, komplex fúrási LOG-ok létrehozása.



7. ábra. A mélyfúrás-geofizikai BHTV kép és a magszkennelt kép mélység- és dőlésirány-illesztésének elve egy bátaapáti fúrás példáján. 1. BHTV image, 2. magszkennelt kép

Figure 7. Concept of depth and azimuth fitting of the BHTV and the corescanned images in case of a Bataapáti borehole. 1 BHTV image, 2 corescanned image

— Jelenségek eloszlásának térképezése, 3D modellek alkotása.

— Földtani fejlődéstörténet megismerése, szerkezetelemzés készítése.

A továbbiakban az ImaGeo-magszkennér segítségével dokumentált üledékföldtani jelenségek orientált adatainak felhasználási lehetőségét illusztráljuk egy, a Mecseki-egy-ségben mélyült fúrás példáján keresztül.

Az Ibafa, Ib-4 fúrás mezozoos szakaszának magszkennelési eredményei

Az Ibafa, Ib-4 fúrás a Bodai Agyagkő Formáció (BAF) gorikai elterjedési területén mélyült 2004–2005 folyamán. A fúrás magszkennelésének eredményei területi okokból nem képezhetik egy teljes esettanulmány tárgyát a jelen, főképp módszertani tanulmány keretein belül. A továbbiakban elsősorban az általános eredményeket mutatjuk be, a Jakabhegyi Formáció harántolt rétegsorát pedig részletesebben elemezzük.

A fúrás célja a BAF gorikai kifejlődésének megismerése és átharántolása volt, ez utóbbi cél azonban nem járt sikerrel. A fúrás paleo-mezozoos rétegsorában középső-, majd alsó-triász és felső-perm formációk alatt végül 214 méter vastagságban

tárta fel a BAF-ot, és annak homokköves alsó rétegeiben (Órházi Tagozat) állt le. A teljes szkennelt maghossz 470,05 m volt, ez 88,5%-os szkennelhetőségi arányt jelent. A szkennelt maghossz 79,3%-át sikerült orientálni a Geolog Kft. által biztosított BHTV alapján. Mindösszesen 18 880 db síkszerű objektumot vittünk fel a szkennelt képekre, amiből 16 045 db-ot lehetett orientálni, ez a harántolt formációk nagy megbízhatóságú és felbontású megismerését teszi lehetővé. A fúrás rétegsorát, a magszkennelés során korrigált mélységekkel az *I. táblázat* mutatja.

Az alaphegységi képződményeket felülről határoló törészóna alatt a fúrás a Mecseki-egység permo-triász sorozatát (CHIKÁN & KONRÁD 1982, KONRÁD et al. 2010) harántolta. A permo-mezozoos rétegsor alulról fölfelé haladva a szárazföldi Bodai Agyagkő Formációval (BAF) indul. A BAF teteje tektonikusan csonkolt, de HALÁSZ (2011) szerint a formáció feltételezett peremi kifejlődése miatt ezen a területen vékonyabb is az antiklinálisban megismerhez képest. A rétegsor a folyóvízi Kővágószőlősi Homokkő Formációval, majd a folyóvízi–sekélytengeri átmeneti Jakabhegyi Homokkő Formációval folytatódik és a sekélytengeri Patacsi Aleurolit Formációval fejeződik be. A fúrás permo-triász rétegsorát lefejező szerkezet (*I. táblázat*) környezetében nem volt szkennelhető a mag, illetve a BHTV kép nem volt értelmezhető, emiatt kevés orientált adatot nyerhettünk. A közzétörmelékes

I. táblázat. Az Ibafa, Ib-4 fúrás magszkennelési adatokkal korrigált rétegsora HAMOS et al. (2017) alapján

Table 1. The geological chart of borehole Ibafa, Ib-4 with the corescanned data, based on HAMOS et al. (2017)

Mélységköz [m]	Magszkennelés alapján korrigált talp mélysége [m]	Litosztratigráfiai egység	Kor	
177,37	201,89	201,89	Szászvári Formáció (?)	miocén? paleogén?
201,89	202,09	202,19	Törészóna	
202,09	210,62	210,66	Patacsi Formáció	középső-triász
210,62	262,00	262,35	Jakabhegyi Homokkő Égervölgyi Tagozat	alsó-triász
262,00	383,40		Jakabhegyi Homokkő Zsongorkői Tagozat	alsó-triász
383,40	420,70	420,70	Jakabhegyi Homokkő Főkonglomerátum Tagozat	alsó-triász
420,70	422,89	422,89	Kővágószőlősi Homokkő Cserkúti és Tótvári Tagozat	felső-perm - alsó-triász
422,89	437,16	438,32	Kővágószőlősi Homokkő Kővágótöttösi Tagozat	felső-perm
437,16	463,65	463,73	Kővágószőlősi Homokkő Bakonyai Tagozat	felső-perm
463,65	494,18	494,21	Bodai Agyagkő (Füzi Tagozat?)	felső-perm
494,18	647,44	nem látjuk ezt a határt	Bodai Agyagkő Órházi Tagozat	felső-perm
647,44	708,78 (talp)	708,99		

vetőagyaggal kitöltött mintegy 1 m harántolt vastagságú törés-zóna helyén egy sem. A zóna felett települődő mészkőbreccsában, a zóna 8–10 m-es környezetében azonban néhány ÉK–DNy csapású, közepes dőlésszögű törési síkot észleltünk.

A továbbiakban röviden közöljük a mezozoos képződmények fő geometriai jellemzőit és leírását (HAMOS et al. 2017 alapján, II. táblázat). A dőlésértékeket a mai tektonikai helyzetben, a BHTV-hez orientált, de nem visszabillentett adatokkal közöljük. Az adatok eloszlását sztereogramokon vagy pólussűrűségi diagramokon mutatjuk be.

A fúrás Jakabhegyi Homokkő Formációjának részletes elemzése

Azért választottuk ennek a Formációnak a részletesebb bemutatását, mert a fúrás viszonylag nagy vastagságban (212,22 m) harántolta, a változatos, keresztarétegzett üledé-

kekre pedig nagyszámú sík volt fektethető, amely nagyfelbontású elemzést tesz lehetővé. Ebben az elemzésben a rétegsor ezen szakaszának kibillent helyzetét korrigáltuk, és az orientált adatokat a BAF 45/13° dőlése alapján DNy felé 13 fokkal visszabillentettük. A Formáció rétegsorán 17 253 db dőlésszög- és vastagságadattal rendelkezünk, előbbiből 13 389 db volt orientálható, amelyek tehát a dőlésiránya is ismert. Emellett a Formáció értékelése során több, ciklusos jelenség volt megfigyelhető, amelyek részletes elemzésére a nagyszámú adat jó lehetőséget biztosított.

A Jakabhegyi Homokkő Formáció lerakódási területe a nyugat felé hatoló Neotethys riftesedés által kialakított rámpa északi, szárazföldi határterülete volt (HAAS & PÉRO 2004). A formáció kora és képződési környezete is évtizedes szakirodalmi vita tárgya. A formáció első térképezője BÖCKH J. (1876) a germán triással rokonította, míg VADÁSZ (1935) a permbe sorolta. KASSAI (1969) munkája szerint a képződmény alsó-triász, amit megerősítenek BARABÁSNÉ palinológiai vizs-

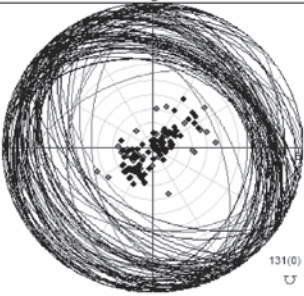
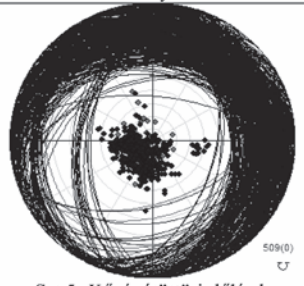
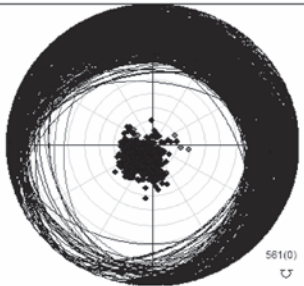
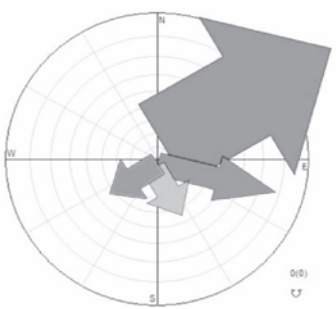
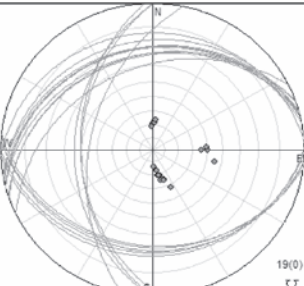
II. táblázat. Az Ibafa, Ib-4 fúrás mezozoos képződményeinek dőlésviszonyai

Table II. Stereograms of dip conditions of the Mesozoic formations in Ibafa, Ib-4

Rétegtani/tektonikai egység	Leírás	Sztereogramok
Bodai Agyagkő F.	<p>A kőzet színe sötét vörösbarna, a reduktív szakaszok szürke, zöldesszürke színűek. A formációt kőzetlisztes agyagkő, agyagos aleurolit építi fel. A legalsó, 60 m vastagságú Órházi Tagozat túlnyomórészt finomszemű homokkő. Rétegzettség nehezen ismerhető fel, ennek kijelölésére a különböző kőzetváltozatok határánál volt lehetőség. Dőlésviszonyainak átlagát a lapos ÉK-i dőlés (Szt.1.: 45/13°) adja, de különösen a homokkő, dolomitos homokkő réteg laminációja akár ±45°-kal is eltérhet ettől azimutban. Különösen a fúrás talpa körül fordulnak elő É-ias, ÉÉK-i, sőt szembe dőlő, DNy-i dőlésirányú domének is. Az Órházi Tagozat átlagdőlése 50/14°. Ciklusosság annyiban állapítható meg, hogy sok helyen tapasztalható a dőlésszögek meredekebbé válása az egymást követő laminákban, főként 675–698 m-ig.</p> <p>A BAF esetében a nagy aktivitású radioaktív hulladékok kutatása szempontjából fontos töréses deformáció repedéeloszlásait is közöljük: A nyílt törések eloszlását (Szt.2.) a rétegzéssel párhuzamos törések uralják, ezért ezeket leválogattuk a sztereogramokról. A kapott kép szerint egy ÉNy-DK-i csapású törésköteg uralja a BAF töréses deformációját, amely hol DNy-ra, hol ÉK-re dől viszonylag lapos, illetve közepes dőlésszöggel. Az ÉK-re dőlő törések között valószínűleg még számos réteg menti vagy réteg közeli törés található. Ha a törésképet a rétegdőlésnek megfelelően vízszintesbe billentjük, a rétegeket merőlegesen szabdaló töréseket kapunk. Az ásványos kitöltések (Szt.3.) mind a felnyíló meredek, mind a rétegmenti töréseket kitöltik.</p>	<p>Szt.1. BAF dölések</p> <p>Szt.2. BAF nyílt törések</p> <p>Szt.3. BAF zárt törések</p>
Törészóna	<p>A vetőkőzetet breccsás vetőagyag jelöli ki 494,21 m-nél, vastagsága ~10 cm. Az alatta következő Bodai Agyagkő Formáció felső néhány métere breccsás kifejlődésű. A határt jelentő tektonikus zóna dőlése 227/30°.</p>	

II. táblázat. folytatás

Table II. continuation

Rétegtani/tektonikai egység	Leírás	Sztereogramok
Kövágószőlősi F. Bakonyai Tagozat	A tagozat uralkodóan vörösbarna, alárendelten szürke homokkő rétegekből és konglomerátumból épül fel. A formáción belül erre a tagozatra a durvább szemcseméret jellemző. A tagozat dőlése (Szt.4.) kétmaximumos, $39/22^\circ$ és $240/7^\circ$, dőlésviszonyai mélységben vizsgálva nem ciklusosak.	 Szt.4. Bakonyai dölések
Kövágószőlősi F. Kövágótöttösi Tagozat	A Kövágótöttösi Tagozat uralkodóan szürke, jól osztályozott, változatos törmelékű üledékes kőzetekből épül fel a konglomerátumtól az agyagköig. Átlagdőlése $40/18^\circ$ (Szt.5.), de a rétegdőlési síkok normálisai egy egész térséget elfoglalnak a diagramon. A rétegsor egészére inkább a K-ies dőlés a jellemző, viszont az ÉK-ies dőlési szakaszokon sokkal vékonyabb a rétegzés, ezért több az adat, ez torzíthatja az átlagot. Mélységfüggő eloszlása nem mutat ciklusosan hullámzó döléseloszlást, a dőlésirány változása inkább ugrásokban megvalósulónak mondható, így inkább dőlésdoménekből (rétegszakaszokból) áll, ÉÉK-i, ÉK-i, K-i dőlési domének váltakozása jellemző.	 Szt.5. Kövágótöttösi dölések
Kövágószőlősi F. Cserkúti Tagozat	A Cserkúti Tagozat vöröses árnyalatú, folyóvízi, finomszemű homokkő, jobbra vékonyréteges kőzet. A törmelékanyag mellett néhol mészkonkréciók koncentrálnak. A Tagozat átlagdőlése $50/16^\circ$ (Szt.6.). Ciklusos, amelyek amplitúdója 3–4 m és inkább a dőlésszög változásban mutatkozik meg. A dőlésirány ÉK-ről KÉK-re, ritkán K-re fordul.	 Szt.6. Cserkúti dölések
Jakabhegyi Formáció	Sötét- és világosvörös finoman rétegzett, lemezes, keresztarétegzett homokkő, konglomerátum, kavicsos homokkő. A fúrás földtani dokumentációja szerint a rétegsor szakaszai: 1. Főkonglomerátum Tagozat. vastagsága 2,1 m. Lilásvörös, szemcsevázú, polimikt ortokonglomerátum, közép- és durvaszemű homokkő. 2. Zsongorkői Homokkő Tagozat. Fakólila, lila, vöröses árnyalatú; a durvától a finomszemű homokkőig terjedő, felfelé finomodó szemnagyságú rétegek ciklusos váltakozása. Alsó része párhuzamos és keresztarétegzett kavicsos homokkő. A Tagozaton belül helyezkedik el a II. konglomerátum szint. 3. Égervölgyi Tagozat. Vöröses, fakólila, közepesen-jól osztályozott, szemcsevázú, oligo-polimikt, finom-durvaszemű homokkő és aleurolit. Feljebb zöld színű sávokkal tarkított fakólila, jól-kiválóan osztályozott, szemcsevázú homokkő és aleurolit található. Döléseloszlását (Szt.7.) $40-60/15-22^\circ$ átlagos főmaximum jellemzi, de ez kisebb szakaszok elemzése során további három kisebb maximumhelyre tagolódik.	 Szt.7. Jakabhegyi dölések A nyilak nagysága az egyes dőlésirányokra jutó síkok számával arányos. 13 389 db orientált sík alapján.
Patacsi Aleurolit	Sötétvörös, barna aleurolit, vékony karbonátos közbetelepülésekkel, a rétegeken belül vékony lemezekre osztható, a rétegfelületek gyakran konvolutak. Döléseloszlása változó rétegzést mutat (Szt.8): 1) É-ias kb. 20° dőlésszög 2) Ny-i $25-30^\circ$ dőlésszög, 3) D-i, 22° dőlésszög. A három csoport mélységben elváltak: 208,0–208,3: 3; 208,3–209,1: 2; 209,1–210,6: 1.	 Szt.8. Patacsi dölések

gálatai (BARABÁSNÉ STUHL 1979), aki a paleozoikum végét a fekvő Kővágószőlősi Homokkő felső részébe pozicionálta.

A formáció elterjedése a Tiszai-egységben mint különböző fekvőképződményekre települő durva sziliciklasztos képződmény általános (KONRÁD 1997), és mélyfúrásban a Duna vonalában is megtalálható. Képződési környezete egy földtani értelemben dinamikusan változó, árapály-befolyásolt deltasíkság lehetett, ezért a Formáció heteropikus fáciesei minden bizonnyal változékonyak. Erre utal a formáció eltérő vastagságú megjelenése is a mélyfúrásokban (KONRÁD 1997).

Az eddig állást foglaló szerzők egészében folyóvíziként vagy tengeriként, illetve a kettő valamilyen kombinációjában határozták meg a formáció leülepedési környezetét. A kezdőtagját, az ún. „Főkonglomerátumot” a szerzők többsége folyóvíziként határozza meg, VÁGÓ (1980) és KASSAI (1984) a teljes rétegsort a „Főkonglomerátummal” együtt tengeri eredetűnek tartotta, míg CSICSÁK (1988) és PARTI (1986) vizsgálatai a rétegsor egyes szakaszai esetében az árapályövi eredetet valószínűsítik, és BARABÁSNÉ STUHL (1993) késői munkáiban szintén ezt vallja. MADER (1992) viszont a teljes formációt folyóvíznek véli, tektonikai és éghajlati tényezőket állítva a kőzet szövetének változásai mögé. KONRÁD (1997) és BARABÁS & BARABÁS-STUHL (2005) kezdetben folyóvízi, majd a fakó homokkőtől kezdődően azt fokozatosan felváltó, csatornákkal szabdaltságot mutató síkság környezetet határoznak meg (KONRÁD et al. 2010).

KONRÁD (1997) munkájában részletesen elemzi a különböző szerzők litofációs meghatározásait és a tagolási kísérleteket (KASSAI 1973, MADER 1992, BARABÁSNÉ STUHL 1993). Emellett részletes litofációs elemzést ad. BARABÁSNÉ STUHL (1993) felosztását elfogadva 4 részre osztja a formációt, amelyek alulról fölfelé haladva, a szerző leírásának tömörítésével és átdolgozásával a következők:

1. „Főkonglomerátum”. Polimikt szemcsevázú konglomerátum keresztretegzett homokkő betelepülésekkel.

2. Kavicsos homokkő. Fokozatos átmenettel fejlődik ki, átlagos vastagsága 70 m. Vörös vagy lilászvörös, táblás vagy vályús keresztretegzettségű. Néhány méteres ciklusokból áll.

3. Fakó homokkő. Fokozatos átmenettel fejlődik ki, átlagos vastagsága 160 m. Alsó részén található a II. konglomerátum (BARABÁS & BARABÁS-STUHL 2005). Barnászvörös, fakóvörös horizontális padokból áll. Egy-egy padot egy ciklusként lehet értelmezni, mely kavicsréteggel indul, erre keresztretegzett kavicsos homokkő következik, ebben SZABÓ (1965) nagy dőlésirányszórást mutatott ki. Erre vályús keresztretegzettségű homokkő települ. A szakasz felső részén cementált, jól osztályozott eolikus homok fordul elő. A padok (ciklusok) vastagsága dm-estől m-esig terjed.

4. Vörösbarna aleurolit és homokkő. Fokozatos átmenettel fejlődik ki, átlagos vastagsága 60 m. Ciklusos finomszemű üledék. A ciklusok konglomerátum kezdőtagja után keresztretegzett vagy párhuzamosan rétegzett finomszemű homokkő következik, majd vörösbarna, zöld, karbonátfoltos aleurolit zárja a ciklust.

Elemzésünk szempontjából fontos SZABÓ (1965) munkája, aki a formációban 2806 felszíni „ferderéteg-lemez”,

azaz mai szóhasználattal a keresztretegzés mellső lemezeinek mérése alapján rózsadiagramokat szerkesztett, amelyekből megállapította a réteg és lemezek dőlésirányainak változékonyságát, és DK felé történő szállítást határozott meg a Nyugati-Mecsek területére. A dőlésszögek leggyakrabban értékeként 10–15°-ot állapított meg. A rétegsor ciklicitását litológiai alapon BARABÁSNÉ STUHL (1967) elemezte először részletesen, később a legtöbb szerző munkájában említésre kerül.

A szkennelés adattömege

A Jakabhegyi Homokkő Formáció magszkennelése és BHTV alapján történő orientációja megbízható adatokat eredményezett. A szkennelt képeken a lemezesség is könnyen felbontható volt, ennek köszönhetően a keresztretegzett kötegeken belüli mellső lemezekre is megbízhatóan lehetett síkokat fektetni. A szkennelt magok hosszúsága és a magdarabok összeilleszthetősége lehetővé tette, hogy első lépésben nagyobb, több méteres magszakaszokat, az egyes markerszakaszokat egyben illesszünk a BHTV-hez. Az egyben történt illesztések után a markerszakaszok egyes magdarabjainak korrekciós, finom illesztését is elvégeztük. A BHTV képen a törések mellett az eltérő litológiájú magszakaszok jól felismerhetőek voltak, emellett a lemezesség egyes szakaszainak trendje is észlelhető volt (8. ábra). Mindezek alapján a magok orientálását MAROS (2006) munkájában elvégzett hibabecsléshez hasonló eredményűnek becsüljük, amely dőlésirányt tekintve 5°-on belüli pontosságot jelent.

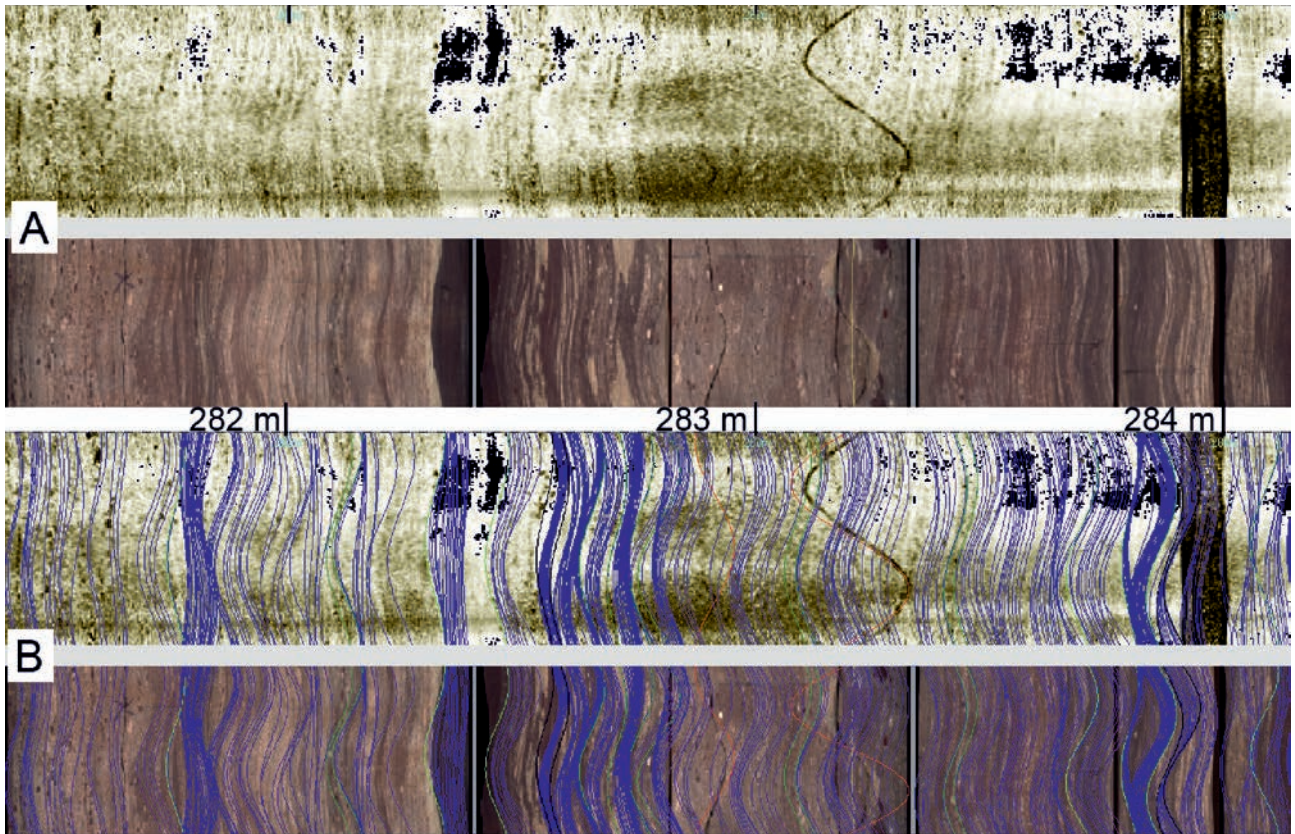
Az orientált több mint 13 ezer sík a geológiai jelenségek statisztikai eloszlásának vizsgálatához nyilvánvalóan több mint elegendő, ugyanakkor a módszerből adódó lehetőségek feltárása érdekében kísérleti jelleggel a lehetőségek szerinti teljeskörű értelmezés és adatképzés megvalósítása mellett döntöttünk.

Az Ib-4 fúrás Jakabhegyi Formációt harántoló részén a magszkennelési adatok mélységeloszlását a 9. ábra mutatja be. Az ábra 1. oszlopában (a mélységskála mellett) azokat a mélységintervallumokat ábrázoltuk, amelyek valamilyen oknál fogva az értelmezésből kimaradtak, adathiánynak minősültek. Ennek oka lehetett maghiány, elfúrt mag, összetört magszakasz, nem szkennelhető magszakasz aprózódás vagy a kőzet cementátlansága, vagy tektonikus eredetű deformáció következtében.

A 2. oszlopban azokat a szakaszokat tüntettük fel, amelyek ugyan szkennelhetőek voltak, de vagy a BHTV adatrendszer hiánya, értelmezhetetlensége vagy a szkennelt szakasz BHTV-hez történő illesztésének megghiúsulása miatt nem voltak orientálhatóak. Ezekből a szakaszokból így dőlésirányadat nem volt nyerhető.

A következő, 3. oszlopban feltüntetettük a földtani dokumentáció során meghatározott szakasz- és tagozathatárokat.

A 4. oszlopban a szkennelt képek alapján készült rétegleírásból kapott szemcsenagyságszerinti eloszlást ábrázoltuk. Itt a Jakabhegyi Formációra 928 db réteget különítettünk el, ezek litológiai megnevezéséből, illetve leírásából



8. ábra. A Jakabhegyi Homokkő Formáció magszkennelt képsorozata és a BHTV kép illesztése a fúrás 281,4-284,2 m-es szakaszára. A lemezekre fektetett síkok nélkül (A), a ráfektetett síkokkal (kék szín, B)

Figure 8. Fitting of the BHTV and corescan images in 281,4-284,2 m depth interval. Without the evaluated planes (A); with the evaluated planes (B)

nyertük a szemcsenagyságra vonatkozó információt. A következő oszlopban a szkennelésből számított réteg-, illetve lemezvastagságokat ábrázoltuk. Mivel a vastagság a magátmérő léptékében is változhat, ezért a vastagságokat a magtengely vonalában határoztuk meg a réteg vagy lemez dőlésszögéből és a két egymás utáni határfelület magtengelyen mért távolságából. Mivel a réteghatárookra fektetett síkok az adott réteg egyik határfelületét képezik, ezért önkényesen úgy döntöttünk, hogy az adott réteg vastagságának számításához a réteg vagy lemez alsó határfelületének dőlésszögét vesszük figyelembe. A diagramon az egyes vastagságadatokat pontok jelzik, a görbe 50-es periódusú mozgóátlag számításával készült. Annak érdekében, hogy kizárólag a lemezesség vastagságváltozásainak tendenciáját képezzük le, a diagram értékkészletét 0,05 m felett levágtuk kizárva a nagyobb léptékű rétegzést jelző adatokat.

Az 5. oszlop a szkennelésből nyert dőlésirányadatokat (13 389 db) tartalmazza. A dőlésirányadatok eloszlását és mintázatát alapvetően meghatározza az egész rétegsor kibilent helyzete. A rétegsor fentebb említett dőlésviszonyai megengedik azt a feltételezést, hogy az egész rétegsor egyben billent ki. Mivel a harántolt legmélyebb helyzetű Bodai Agyagkő Formáció tavi üledék, így keletkezésekor vízszintesen települt, ezért a Jakabhegyi Homokkő Formáció dőlésértékeit a BAF átlagdőlésének megfelelő billentéssel állítottuk helyre. Ez $45/13^\circ$ volt.

A 6. oszlopban a dőlésszögadatok mélységi eloszlása

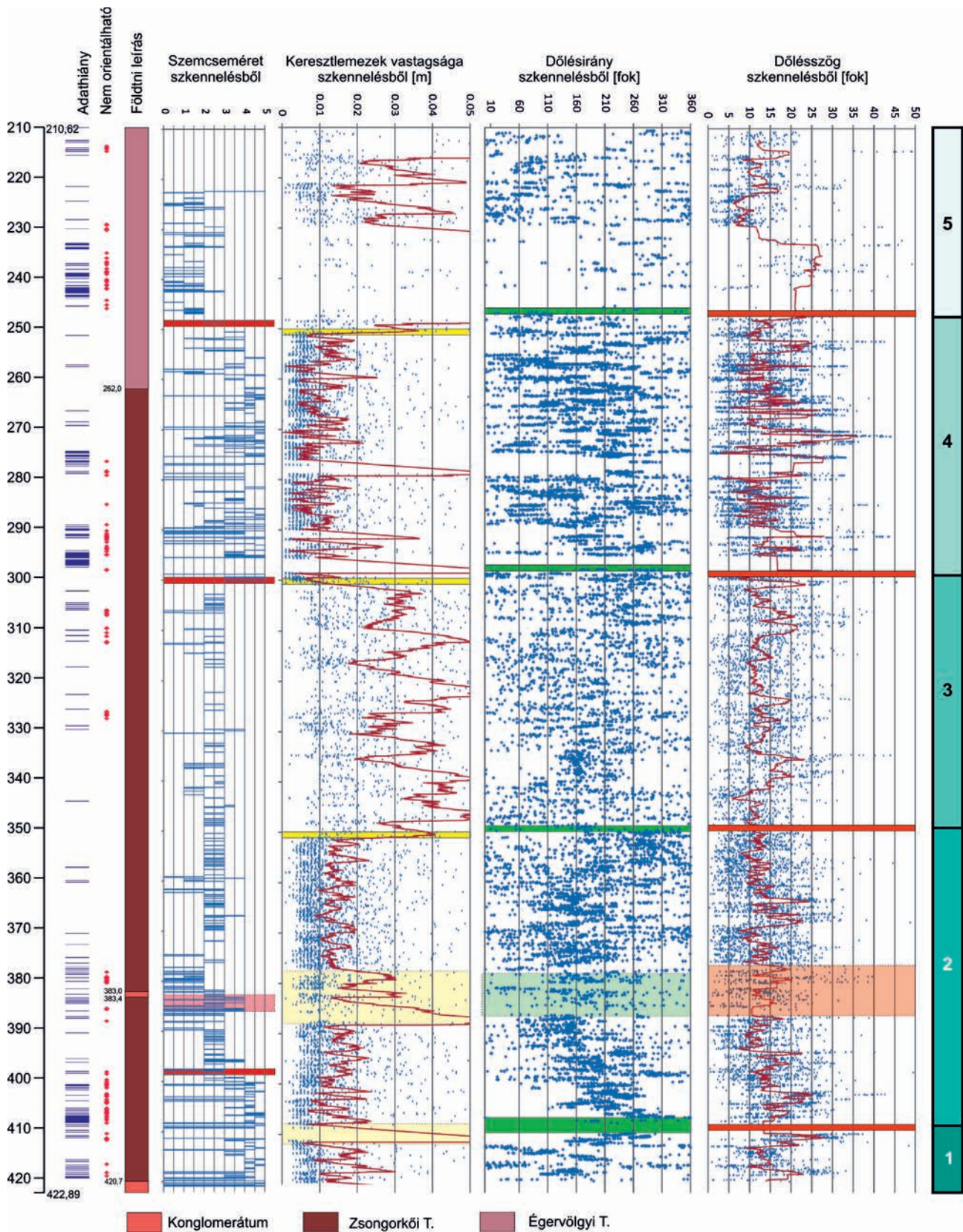
látható (13 389 db). Az adatpontok mellett itt is látható egy mozgóátlaggörbe, amelyet szintén 50-es periódussal számoltunk.

Mintázatok az adateloszlásokban

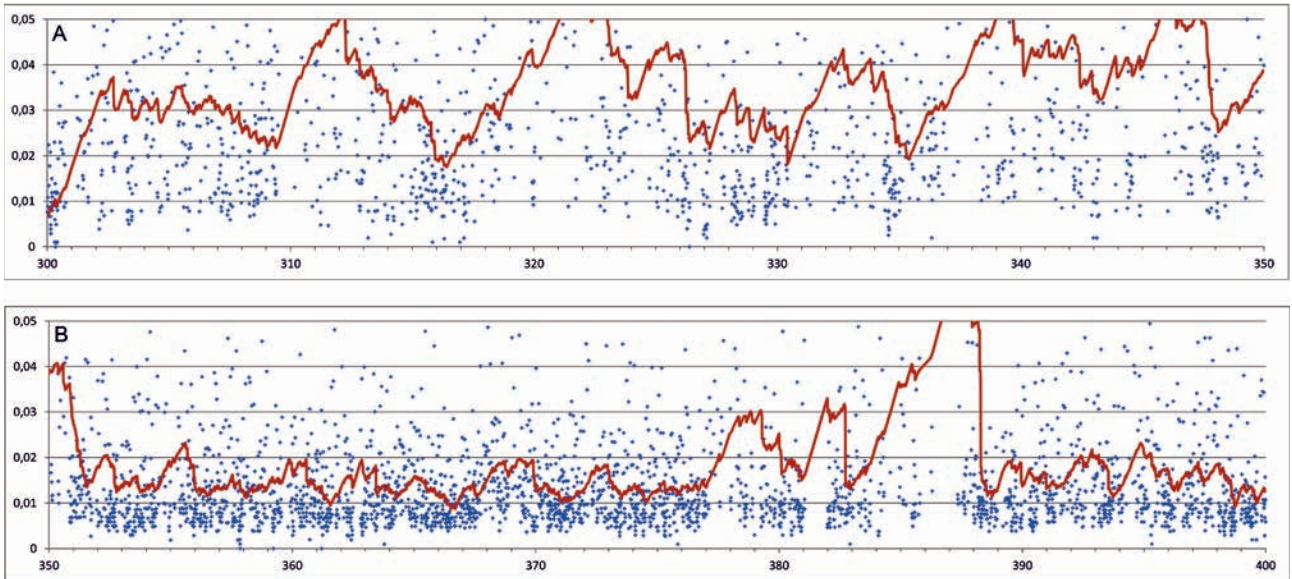
A következőkben ismertetjük az adatsorok eloszlásának mintázatait. Az $\sim 1:25$ -ös méretarányú adatsoron lefolytatott vizuális elemzés teljes dokumentációjának közlésére nincs lehetőség, ezért a 9. ábra elsősorban a teljes formációra releváns trendeket ábrázolja, a ciklicitás részleteit tekintve inkább illusztrációnak tekinthető. Az adatok nagy felbontású elemzése során sajátos mintázatokat ismertünk fel azok eloszlásában (10. ábra, 11. ábra), amelyek alapján elkészítettük a formáció különböző szempontú szakaszolását (9. ábra), majd a szakaszok korrelációját (9. ábra) és azok együttes jellemzését.

Először a vastagságeloszlásban felismert mintázatokat ismertetjük a 10. ábra alapján. A formáció ritkábban lemezese részén, 300–350 m között vizuálisan a mozgóátlaggörbe asszimmetrikus ciklicitást mutat, amelyet 5–10 m-es ciklusok építenek fel. A ciklusokat formájuk alapján „fűrészfog” ciklusnak nevezhetjük. Ezekben alulról felfelé rendre mintegy 2 cm-es lemezvastagságtól 3–5 cm-esig növekszik a vastagság a ciklus hosszának 75–80%-a alatt, majd a lemezvastagság drasztikusan leesik néhol 1 cm alá.

Az ettől a szakasztól különböző eloszlásokat mutató



9. ábra. Az Ibafa, Ib-4 fúrás Jakabhegyi Homokkő részének kompozit logja az adatállomány jellemzőivel, a földtári rétegsorral, a szkenelésből meghatározott szemcseméret, lemezvastagság, dőlésirány- és dőlésszögértékekkel. A színes sávok és az utolsó oszlop a formáció szakaszolását mutatja. A szemcseméret log számkódjai: 0 - maghiány, 1 - aleurit, 2 - finomszemcsés homokkő, 3 - közepszemcsés homokkő, 4 - durvaszemcsés homokkő, 5 - konglomerátum
 Figure 9. Composit log of borehole Ibafa, Ib-4 Jakabhegy Sandstone Formation. Columns: Non-scannable core, Impossible orientation, Grain size from corescanning, Thickness of lamination from corescanning, Dip direction from corescanning, Dip angle from corescanning. Grain size codes: 0 - absence of core, 1 - aleurite, 2 - fine-grained sandstone, 3 - medium-grained sandstone, 4 - coarse-grained sandstone, 5 - conglomerate



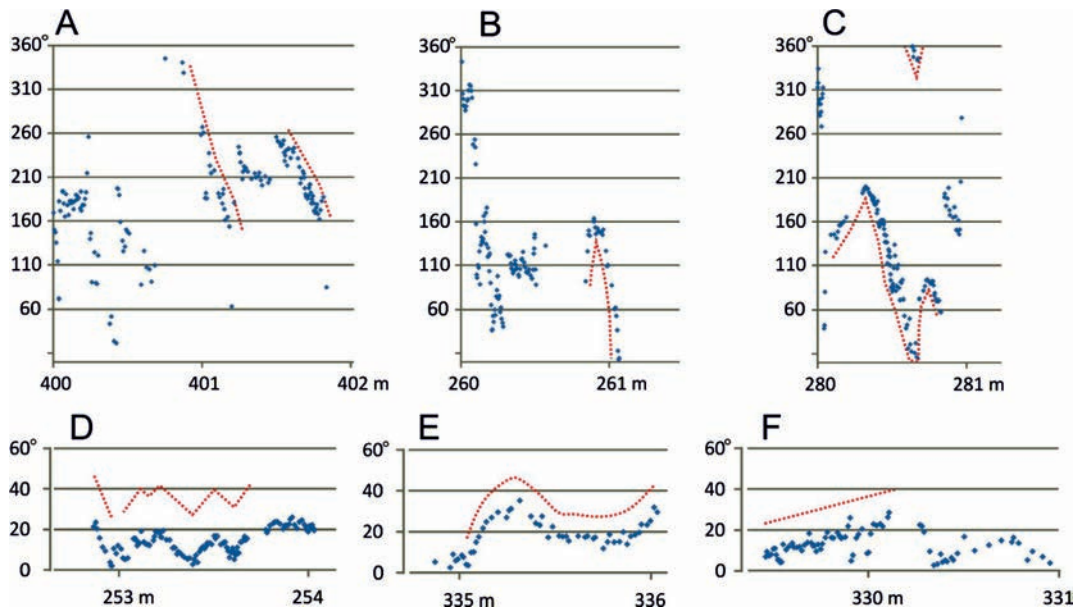
10. ábra. A Jakabhegyi Homokkő keresztlemezességének vastagságadatai és mozgóátlaggörbéje a 3-as (A) és 2-es (B) fúrászakaszra. A diagram mindkét tengelye m-ben ábrázolja a vastagságot és a mélységet. A diagram Y tengelyének felső szakaszát 0,05 m-nél mesterségesen levágtuk

Figure 10. Thickness of crosslamination and its moving average in the Jakabhegy Sandstone Formation for the 3rd (A) and 2nd (B) section. Thickness and depth are in meter. The upper part of Y axis is artificially cut at 0.05 m

sűrűbben lemezes, 350–400 m közötti intervallumra egyrészt a fenti fűrészfog ciklusok jellemzőek a szakasz alsó részén, de sokkal kisebb ciklushosszal (1,5–2 m), ugyanakkor 351–377 m között változó amplitúdójú és hosszú, de szimmetrikus és rövid ciklusok is kimutathatók, amelyekben a rétegvastagság 1–2 cm között változik. A ciklushossz 1–1,5 m.

A dőlésirányok és dőlésszögek eloszlásában szintén jellemző mintázatok figyelhetők meg (11. ábra). Ezen

mintázatok mindegyike látható mindkét eloszlásban, az illusztrációk közül az „A–B–C” a dőlésirányeloszlásban, a „D–E–F” pedig a dőlésszögeloszlásban mutat példákat. Az ábrán az adatokat pontok jelzik, amelyek alatt vagy felett az értelmezett mintázat alakja látható pontozott vonallal. Az „A” részébe „félciklusokat” mutat, amelyek az ábrán akár 80° dőlésirány változást jelentenek néhány deciméter fúrás hossz alatt. A dőlésirány változását figyelembe



11. ábra. Dőlésirány- (A, B, C) és dőlésszög- (D, E, F) eloszlási mintázatok a Jakabhegyi Homokkő orientált adattömegében. Az adatokat pontok, a mintázatot pontozott vonalak mutatják. A) CCW félciklusok, B) I ciklus, C) nagy amplitúdójú, éles dőlésirány ciklus, D) kis amplitúdójú, éles dőlésszög ciklussor, E) lapos dőlésszög ciklus, F) ferde állandó

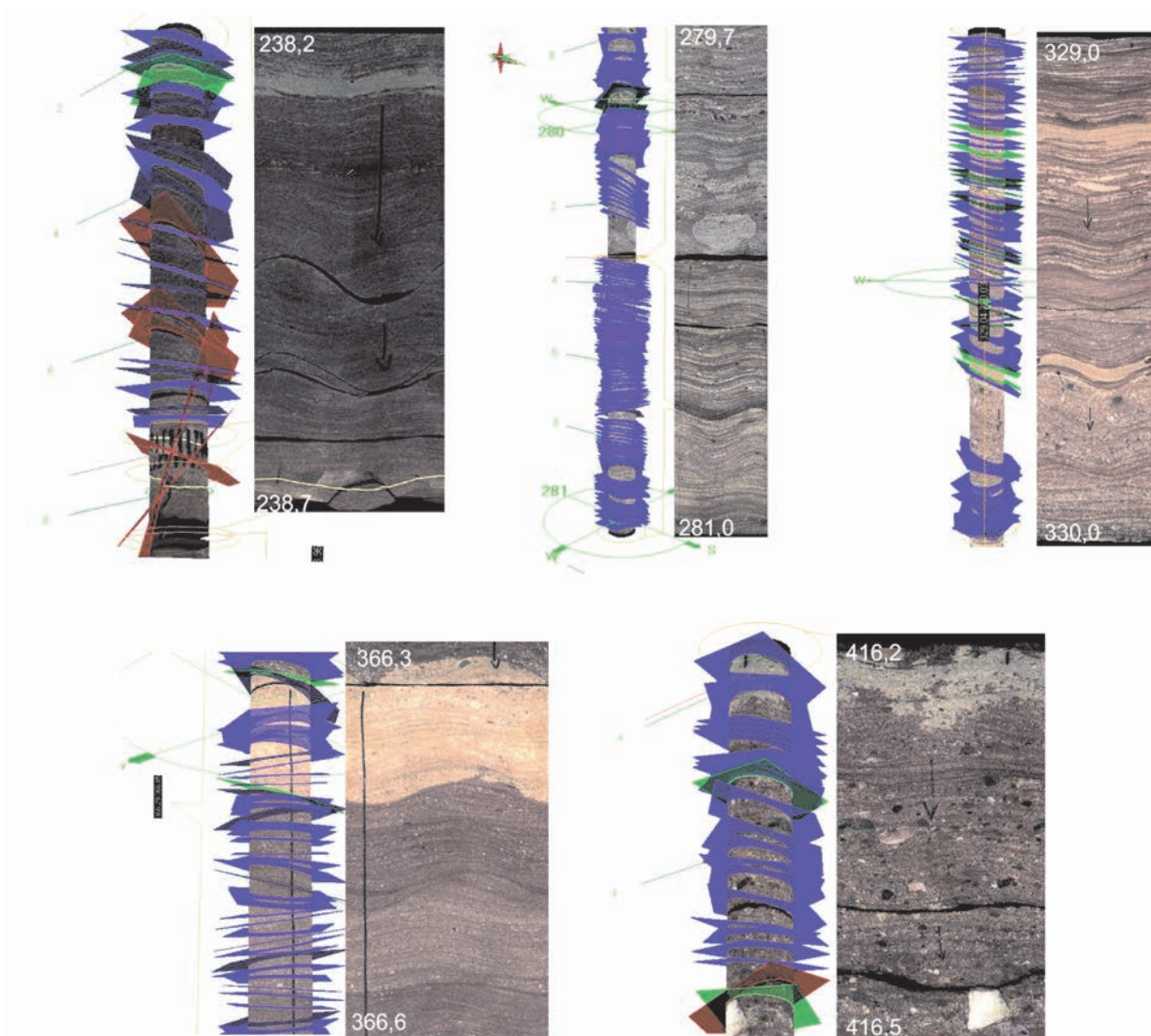
Figure 11. Distribution patterns of dip directions (A, B, C) and dip angles (D, E, F) in the Jakabhegy Sandstone Formation. The data are shown by points, the patterns are indicated with dotted lines. A) CCW halfcycle, B) I cycle, C) sharp dip direction cycle with big amplitude, D) sharp dip angle cycle with little amplitude, E) flat dip angle cycle, F) oblique continual pattern

vége a félciklusok lehetnek mind órajárással egyező irányba forgó (ezentúl CW), mind órajárással ellenkezőleg forgó (ezentúl CCW) irányúak, a dőlésszögek eloszlása szerint pedig meredekedőek vagy kilaposodóak is lehetnek. Feltételezzük, hogy ezek utólag elmosott ciklusok maradvékai a rétegsorban. A „B” részára egy ennél fejlettebb ciklustorzót mutat, amelyet nevezhetünk I-ed ciklusnak. Jellemzői a félciklushoz hasonlóak. A „C” és „D” részárak teljes ciklusokat, illetve ciklussorokat mutatnak, az előbbi a dőlésirány-eloszlásból, az utóbbi a dőlésszög-eloszlásból. A ciklusok alakja alapján megkülönböztetünk szimmetrikus és aszimmetrikus ciklusokat, éles és lapos ciklusokat. Az éles ciklusok szögváltozása 1–2 adat szélességű tartományban megy végbe, a lapos ciklusok azonban fokozatosabb irány- vagy dőlésszögváltozást mutatnak. A ciklusok amplitúdóját nagynak tekintjük, ha a dőlésirányváltás $>200^\circ$ (előfordul teljes 360° -os ciklus is), közepesnek, ha $80\text{--}200^\circ$ és kicsinek, ha $50\text{--}80^\circ$. A dőlés-

szögciklusok amplitúdója általában $20\text{--}30^\circ$. Megkülönböztetünk meredek ciklusokat, amelyekben a ciklushossz az amplitúdóhoz képest kicsi (D részára) és lankás ciklusokat, amelyekben nagy (E részára). Az „F” részára egy további mintázatot mutat, amelyben a szögértékek fokozatos, kismértékű csökkenése vagy emelkedése mutatható ki.

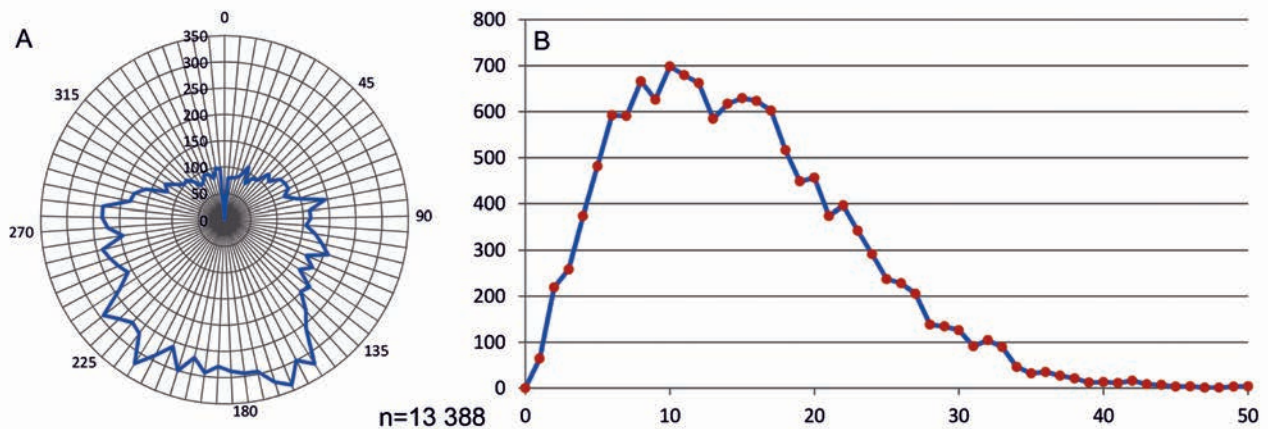
A mintázatok elemzése alapján a 9. ábra egyes eloszlásaiban szakaszokat állapítottunk meg a formáció harántolt rétegsorában. A szemcseméret és a lemezvastagság alapján 4 szakaszt különítettünk el (a vastag, halványabb színű sávval jelölt mélység szakaszokat nem tekintjük szakaszhatárnak, csak egy szakaszon belüli kiugró értékekkel rendelkező tartománynak), a dőlésirány és dőlésszög szerint viszont 5 szakaszra bontható a rétegsor. Ezek részletes bemutatásától terjedelmi korlátok miatt eltekintünk.

A dőlésirány- és dőlésszögszakaszok egy-egy jellemző szkennelt magképét és az értékelt síkok háromdimenziós



12. ábra. A dőlésirány és dőlésszög szerinti szakaszok, sorrendben 5,4,3,2,1 egyes szakaszainak szkennelt képei és a rétegszerű objektumok 3D ábrázolása. Kék: lamináció, zöld: réteghatár, piros: törés

Figure 12. Scanned images and 3D evaluated objects examples in sections 5,4,3,2,1 according to dip direction and dip angle. Blue: cross lamination, green: bedding, red: fracture



13. ábra. A Jakabhegyi Homokkő Formáció billentés utáni dőlésirány gyakorisági rózsadiagramja (A) és dőlésszög (B) gyakorisága

Figure 13. Dip direction frequency rose diagram (A) and dip angle frequency (B) in the Jakabhegy Sandstone Formation after tilting back to its original position

ábrázolását ugyanazon mélységközökben a 12. ábra szemlélteti. Jól láthatók a kereszttrétegzés köteghatárai és mellő lemezeinek sűrű, akár néhány centiméteren belüli váltakozása (pl. 4. szakasz).

Az orientált és visszabilentett dőlésirány- és dőlésszög-adatok gyakorisági eloszlása (13. ábra) szerint a dőlésirányok maximumaként egy irányintervallum (13. ábra A) jelölhető ki, amely a 150–240° irányok közé esik. Tehát a rétegdőlések DDK, D és DNy irányba mutatnak. A dőlésszögek gyakorisági eloszlása szerint (13. ábra B) a legtöbb adat a 7–18° intervallumba esik.

Szakaszok megállapítása és jellemzése

Az egyes eloszlásokra érvényes szakaszok meghatározása után a Jakabhegyi Formáció harántolt rétegsorát az összes értékelte tulajdonság alapján, a rétegsorban alulról felfelé a következő 5 szakaszra bontjuk (10. ábra), és ezekben vizuális ciklushosszakat állapítunk meg:

1. szakasz: 409,6–422,9 m között. Alapvetően durvaszemű homokkő, illetve konglomerátum. A „Főkonglomerátum” rétegtagbázisán sok, a fekü Kővágószőlősi Homokkőből felszakított, alig koptatott-kerekített kavicsok található, ami kis szállítási távolságra utal. A rétegvastagság ciklusos (a ciklushossz 2–3 m), a konglomerátumbetelepüléseken kívül stabil 1–2 cm-es lemezvastagság jellemzi. A dőlésirányokban többféle mintázat rögzíthető, jellemző mintázat nincsen. A dőlésszögek mintázata csak sejtetően lapos ciklusos.

2. szakasz: 350,0–409,6 m között. A szakasz elején durva, majd alapvetően közép-, néhol finomszemű homokkő litológia jellemző. A szakasz kezdetén több kavicsos betelepülést tartalmazó kereszttrétegzett homokkő található, erre következik a II. konglomerátum, értelmezésünkben 383,9–388,4 m között. Efelőtt közép- és finomszemű kereszttrétegzett sötétbarna homokkő található világosbarna–drapp, deciméteres rétegekkel. A lemezvastagság ciklusos (ciklushossz 2–3 m), a konglomerátumbetelepüléseken kívül stabil 1–2 cm-es érték jellemzi. A dőlésirányok eloszlásában az egész szakaszra értelmezhető egy nagyobb ciklus, amely 231–160–230° értékek között alulról felfelé CCW–CW for-

gásiránnyal jelenik meg. A szakasz kisebb ciklushosszúságú dőlésirányciklusai között lapos ciklus (ciklushossz 3 m), kis-közepes amplitúdójú, aszimmetrikus rendszertelen ciklusok, közepes amplitúdójú aszimmetrikus ciklusok és nem ciklusos szakaszok is előfordulnak. Összességében elmondható, hogy a ciklusosság a szakaszban felfelé kifejezettebb, a felső szakaszban ciklissoros (ciklushossz 0,8–1 m). A dőlésszögek nagy léptékű eloszlásában az egész szakaszra értelmezhető egy nagy szimmetrikus ciklus, a szakasz középig meredekedő, majd kilaposodó értékekkel. A szakaszra több, néhány méteres állandó dőlésszögű rész, ciklissoros és félciklusos mintázat váltakozása jellemző, alul a ciklushossz 0,2–0,5 m, majd ~370 m felett 0,6–0,8 m-re nő.

3. szakasz: 300,0–350,0 m között. A szakaszt uralkodóan középszemcsés homokkő építi fel. A lemezes részek mennyisége alárendeltebb, mint a 4-es és 2-es szakaszban. Vizuálisan több helyen párhuzamosan rétegzett, a felfelé finomodó litológiai ciklusok kifejezettek, sok esetben megtalálható a legfinomabb szemcseméretű, sötétbarna rétegtag is. A mért rétegvastagság a szakasz alján hirtelen megnő és továbbra is ciklusos, de a ciklushossz eléri a 6–8 m-t. A dőlések tekintetében nem ismerhető fel az egész ciklusra kiterjedő nagy ciklus. A dőlésirányokban inkább csak sejtető a ciklusosság, ezek hossza méteres és alakjuk lapos, az egyedi adatok az egész spektrumot képviselik. A dőlésszögekben m-es ciklushosszúságú, meredekedő–kilaposodó ciklusosság, majd 2–3 m-es állandó részekkel tagolt félciklusos, ciklusos, sokszor nehezen értelmezhető mintázatú rész jellemző.

4. szakasz: 247,9–300,0 m között. A szakasz alsó és felső határa az elemzett szkennelt adattömeget illetően éles. A szakasz közepes és durvaszemű, változó szemcseméretű vörösbarna és betelepülésként drapp homokkő jellemzi. Litológiailag csak a felső határa éles, itt fejeződik be az uralkodóan lemezes, kereszttrétegzett homokkő rétegsor. Alsó határa litológiailag fokozatos átmenet. A szakasz kőzetösszetétel lemezesség, ciklusos felépítés jellemzi mind a rétegvastagság, mind a dőlés tekintetében. Ez a szakasz a legjellemzőbben ciklusos. A rétegvastagság esetében a ciklushossz 1–1,5 m, a lemezek átlagvastagsága 1 cm. A dőlésirányt tekintve felfelé

növekszik a ciklusok amplitúdója, még a teljes 360° -os spektrumot lefedő ciklussal is találkozunk. A félciklusok jelenléte alárendelt, állandó szakasz nincsen, a ciklushossz $0,1\text{--}0,3$ m. A 2-es szakaszhoz hasonlóan összetett, de az ottani kétszintűvel szemben itt háromszintű ciklusrend állapítható meg. A néhány deciméteres ciklusokon kívül 1 m-es és $7\text{--}8$ m-es ciklusok is észlelhetők. A dőlésszögekben szintén tetten érhető a ciklusosság, a szakasz jellemzően ciklusos, ciklussoros. Az éles ciklusok hossza $0,1\text{--}0,2$ m, a lapos ciklusoké $0,4\text{--}0,7$ m.

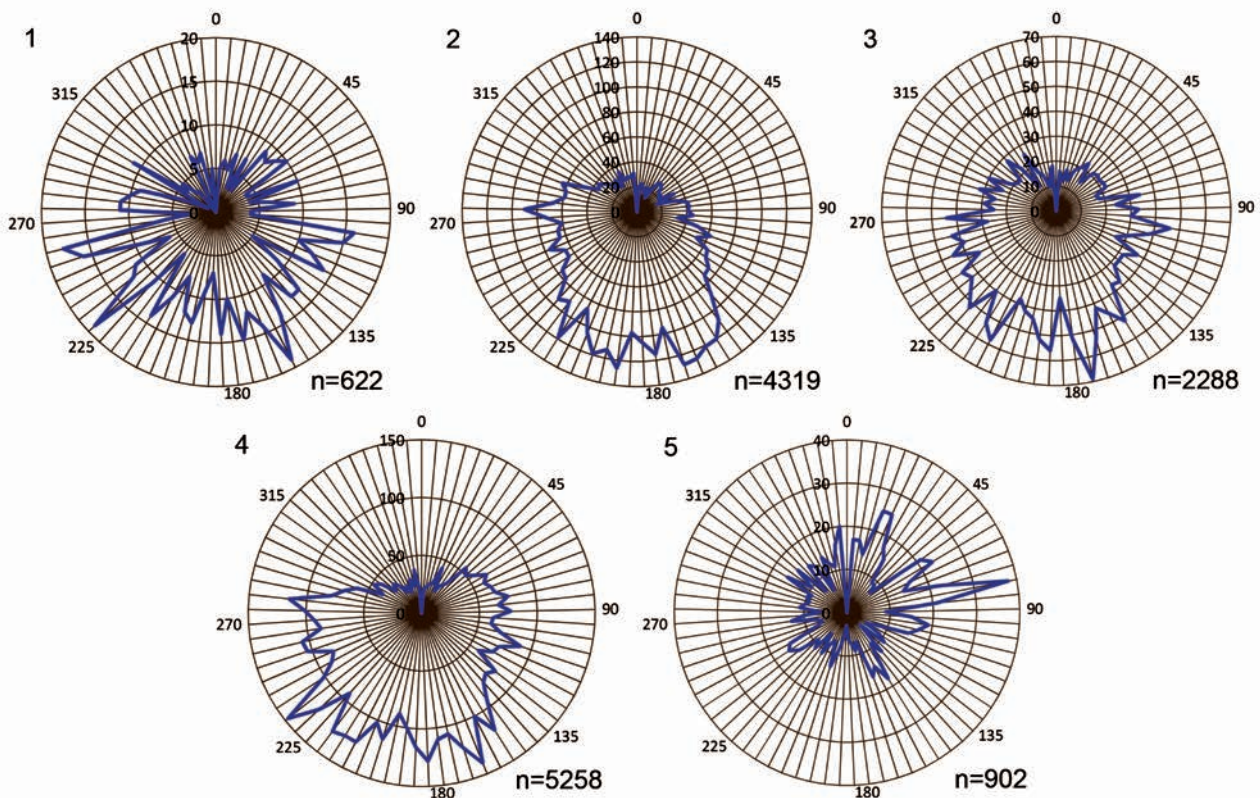
5. szakasz: $210,6\text{--}247,9$ m között. A litológia ebben a szakaszban alapvetően finomszemű homokkő és aleurolit szem nagyságú vörösbarna, lilásbarna, deciméteresen és helyenként lemezesen rétegzett. Több tekintetben adathiányos szakasz. A dőlésszögadatokat inkább különálló felhőkben tömörülnek, vagy szórt adateloszlás és a ciklusok hiánya jellemző. A dőlésszögekben tapasztalhatók főképp lapos ciklusok és állandó dőlésszögű részek is. A ciklushossz $0,3\text{--}0,5$ m.

Az egyes szakaszok dőlésirányainak eloszlásképét a 14. ábrán látható rózsadiagramok mutatják. Az eloszlásképek alakját az eltérő adatmennyiség is nyilvánvalóan befolyásolja. Kis adatszám esetén az ábrázolt 5° -os intervallumok közötti véletlenszerű szórás is kiugró csúcsokat eredményezhet a valójában „elkent” eloszlásban. Az 1-es szakaszban a DK-i, DNy-i és NyDNy-i dőlésirány csak kevéssel gyakoribb, mint a KDK-i. A 2-es szakaszban DK-től DDNy-ig tartó dőlésirány dominál, de jellemző a Ny-ias dőlés is. A 3-as szakaszban jellemző a D-ies dőlésirány, de a DDNy-i, a

DNy-i és a K-ies irány is sok adattal reprezentált. A 4-es szakaszban szintén elkent eloszlást tapasztalunk, DDK-i, DNy-i maximumokkal, de jelentős a Ny-ias dőlésirány is. Az 5-ös szakaszban található viszonylag kevesebb adat K-ies és ÉK-i maximumokkal rendelkezik.

A ciklicitás geometematikai elemzése

A vizuálisan felismert ciklusosságot geometematikai módszerekkel próbáltuk igazolni. Egy időbeli folyamat periodikus viselkedésének vizsgálatára számos korszerű, pontos módszer áll rendelkezésre. A vizsgált jelet alkotó oszcillációk koefficienseinek meghatározásához gyakran használt valamely Fourier-transzformációs technika, így a véges Fourier-transzformáció, a DFT (Discrete Fourier Transform). Ezt a becslést 1965 óta az igen hatékony Cooley–Tukey-féle FFT (Fast Fourier Transform) algoritmusával valósítják meg (COOLEY & TUKEY 1965). Ennek a módszernek két hiányossága van, az egyik, hogy az eredményként kapott periodogram csúcsainak eloszlása nem ismert, így nem lehet megmondani, hogy az adott csúcs —, illetve a hozzá tartozó periódusidő — szignifikáns-e a jelben avagy sem. A másik hiányosság, hogy csak olyan egyenletesen mintavételezett jelre alkalmazható, ami jelen tanulmány adatainak esetében nem teljesül. A módszert az egyenetlen mintavételezés által generált probléma megoldására továbbfejlesztették. Ez a Lomb–Scargle periodogrambecslő eljárás



14. ábra. Az egyes szakaszok (1-5) dőlésirányeloszlásának rózsadiagramjai

Figure 14. Azimuth rose diagrams of the different intervals (1-5)

(LOMB 1976, SCARGLE 1982), amely azon túl, hogy nem igényel ekvidisztáns mintavételezést, az eredményhez képes konfidencia intervallumot is konstruálni, mert ismert az eredményként kapott periodogram csúcsainak eloszlása (KOVÁCS et al. 2004, KOVÁCS et al. 2010). Ezzel csak a legnagyobb intenzitású csúcs szignifikanciája határozható meg (HATVANI et al. 2018). Azonban egy módosított Lomb–Scargle–Fourier periodogrammal (rLSP), melynek csúcsait egy elsőrendű autoregresszív folyamathoz (AR[1]) viszonyítjuk, meghatározható minden csúcs szignifikanciája. Ezt REDFIT-tel (SCHULZ & MUDELSEE 2002) tettük meg, mely a dplR csomag (BUNN 2008) redfit() függvényével történt R-ben (R CORE TEAM 2018), akárcsak egyéb üledékes képződmények esetében pl. cseppkövek periodicitásvizsgálatánál alkalmazott beállításokkal (pl. HOLZKÄMPER et al. 2004; HATVANI et al. 2018).

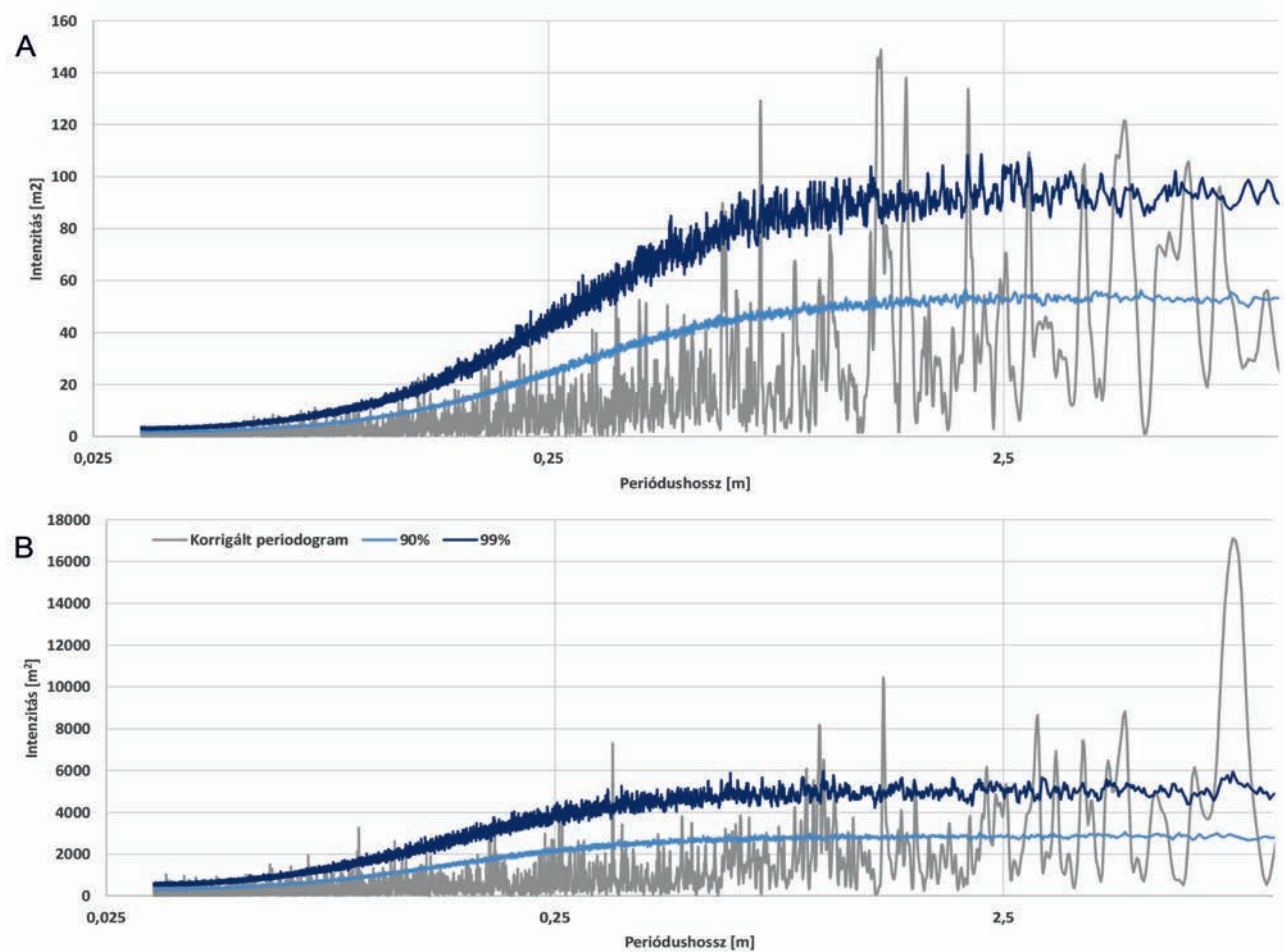
A periodicitásvizsgálatot a teljes orientált és visszabilentett adatsorra elvégeztük, amely számos jellemző ciklusosságot tárt fel nagy megbízhatósággal (15. ábra, II. táblázat). A REDFIT periodicitásbecslés dőlésszög (15. ábra A) tekintetében és dőlésirány (15. ábra B) tekintetében párhuzamosan megjelenő ciklus meglétét igazolta, Ezek az 1,3 m, illetve a 4,5 m körüli periódushosszak, így igen erős ciklusparaméternek tekinthetők.

A vizuálisan, a szkennelésből nyert adatok elemzésével és a geometematikai módszerekkel meghatározott periodicitás, ciklicitás cikluszósszainak összehasonlítását a III. táblázat tartalmazza. Az egyszínű, színes cellákban korreláció látható a vizuális és geometematikai meghatározások között, ugyanakkor a sötét narancssárga cellák ciklusparaméterei csak a geometematikai számításokból származnak.

Konklúzió

Az ImaGeo-rendszer alkalmas terepi, nagy felbontású, digitális, orientált földtani adatfelvételre és elemzésre.

Az Ib-4 fúrás tavi környezetben ülepedett BAF öszzletének és a csaknem teljes mezozoos rétegsornak az ÉK-ies dőlésirány-maximumából arra következtetünk, hogy ezeknek a formációknak a képződése közben az üledék lerakódását jelentős hegységképző tektonikai mozgások nem zavarták,



15. ábra. A ciklicitáselemzés eredményei a dőlésszögekre (A) és a dőlésirányokra (B). A világoskék vonal a 90%-os, míg a sötétkék a 99%-os megbízhatósági szintet mutatja, szürke: számított periódusok. Az értelmezésbe a 99%-os megbízhatósági szint csúcsait vontuk be

Figure 15. Result of the rLSP analysis on the angle (A) and the azimuth (B). The light blue hairline indicates the 90% and the dark blue the 99% confidence interval. The grey line is the period length. In the analysis the peaks above the 99% confidence interval were considered

III. táblázat. A vizuálisan és a rLSP-al megállapított periodusok összehasonlítása

Table III. Comparison of cycle length from visual and mathematic analysis

Vizuális			Geomatematikai	
Vastagság	Dőlésirány	Dőlésszög	Dőlésirány	Dőlésszög
1,0–1,5	0,1–0,3	0,1–0,5	0,1	0,7
2–3	0,8–1,0	0,5–0,8	0,3	1,3*
6–8	3	1	1	1,5
	7–8		1,3*	2
			3	4,6*
			4,3*	
			8	

Az egyszínű cellák korrelálnak, a *-gal jelölt cellák mind a dőlésirány, mind a dőlésszög paraméterek közt előfordulnak.

The cells of same color are in good correlation, the * signed cell's values occur in dip direction and dip angle columns as well.

illetve az utólagos tektonikai mozgások az ezeket a formációkat tartalmazó kőzettömböket együttesen billentették ki. Ennek a kibillenésnek a mértéke $\sim 45/13^\circ$ volt. A Jakabhegyi Homokkő Formációban megjelenő „Főkonglomerátum” és II. konglomerátum szerkezeti változást nem okoz a leülepedő üledék tulajdonságaiban.

A magzskennelési adatokra támaszkodva a klasszikus földtani beosztástól eltérő, 5 szakaszból álló felosztás adható meg a fúrásban harántolt Jakabhegyi Homokkőre. Ezen szakaszok határai nem korrelálnak a klasszikus földtani beosztás határaitól.

A visszabillentett dőlések DDK, D és DNY irányba mutatnak, ezeket üledékszállítási főirányként értelmezzük — SZABÓ (1965) eredményét részben igazolva — azzal a megjegyzéssel, hogy bizonyos mélységszakaszokban a tisztán Ny-i és K-i irányok is jelentősek. Mindez azt igazolja, hogy a szállítási irányok a formáció egészét tekintve is széles spektrumon oszlanak el, rövidebb rétegszakaszokat tekintve pedig igen eltérőek lehetnek. A Jakabhegyi Homokkő Formáció ciklicitásában összetett ciklicitás, vizuálisan több jellemző ciklushossz volt megállapítható, amelyek közül többet matematikai módszerekkel is igazoltunk. A ciklusság megállapítható mind a lemezvastagságban, mind a dőlésszögek és a dőlésirányok eloszlásában, de ezek ciklusai nem mindig korrelálnak ciklushosszban és a ciklusok geometriai jellemzőiben egymással. Vizuálisan és geomatematikai módszerekkel a dőlésirányok eloszlásában deciméteres, 1, 3 és 8 méteres ciklusok voltak kimutathatók, amelyek bizonyos szakaszokban egymásra is rakódnak. A dőlésszögek eloszlásában 0,5 m körüli ciklust mutatott ki mindkét módszer. A geomatematikai elemzés feltárt 2 ciklushosszt, amelyek mind a dőlésirányokban, mind a dőlésszögekben

jelentkeznek. Ezek 1,3 és $\sim 4,5$ m ciklushosszal rendelkeznek.

Bár tanulmányunk célja elsősorban a magzskennelésben rejülő nagy felbontású elemzések lehetőségének illusztrálása, néhány általános következtetésre lehetőségünk nyílik. Annak szem előtt tartása mellett, hogy az eloszlási mintázatok és a leülepedési környezet közvetlen kapcsolata általánosságban nem könnyen ragadható meg, valamint a fúrások, vonal menti kis kiterjedésű mintavétel ténye is korlátozza a környezeti rekonstrukció lehetőségét, a következő megállapításokat tesszük. Értelmezésünkben a 2-es és 4-es szakaszokat áramlások uralta keresztlemezzesség jellemzi. Ezt a dőlésirányokban észlelt ciklusok által bejárt igen nagy spektrum, a dőlésszögekben viszont a lapos ciklusok megjelenése támasztja alá. A két nagyobb energiájú környezet között a 3-as szakaszt kiegyensúlyozottabb, alacsonyabb energiaszintű intervallumnak tartjuk. A vizsgált tulajdonságok eloszlásának több helyen tapasztalható átmeneti jellegéből és főbb jellemzőik hasonlóságából arra következtetünk, hogy a Jakabhegyi Homokkő rétegsorának leülepedési környezetében drasztikus változásokat nem várhatunk, inkább összefogazódó heteropikus fáciesek időben egymás fölötti váltakozásáról beszélhetünk.

A rétegsor nagy felbontású elemzésének egyéb, főként szedimentológiai környezetrekonstrukciós célú elemzése, a ciklusság és ciklushosszak pontosabb okainak feltárása további kutatások feladata.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk az ImaGeo-rendszer fejlesztésében tanácsaikkal és munkájukkal a szerzőkön kívül közvetlenül részt vett kollégáknak: ALBERT Gáspárnak, BALLA Zoltánnak, BEREZKI Lászlónak, † DUDKO Antonyinának, FARKAS Ágnesnek, FODOR Lászlónak, FÓRIÁN-SZABÓ Mártonnak, GYALOG Lászlónak, HEGYMEGI Lászlónak, KERCSMÁR Zsoltának, KÓKAI Andrásnak, KOROKNAI Balázsnak, LANTOS Zoltánnak, MARKOS Gábornak, MOLNÁR Péternek, MUSITZ Balázsnak, RÁLISCHNÉ FELGENHAUER Erzsébetnek, SZÉKELY Balázsnak, TUNGLI Gyulának, ZILAHY SEBESS Lászlónak. A Geo-log Kft.-nek, az RHK Kft.-nek és a Mecsekérc Zrt.-nek a BHTV adatok rendelkezésre bocsátásáért, évtizedes együttműködésükért. Ezenkívül külön köszönet az eset-tanulmányban szereplő fúrás vizsgálata során nyújtott segítségért, konzultációkért HÁMOS Gábornak, BUDAI Tamásnak, KONRÁD Gyulának és SZTANÓ Orsolyának.

Köszönjük UHRIN Andrásnak és anonim lektorunknak, hogy alapos lektori véleményükkel jelentősen hozzájárultak tanulmányunk minőségéhez.

Irodalom — References

- ABZALOV, M. 2016: *Applied Mining Geology*. — Springer, 448 p.
- ANDRÁSSY L. & MAROS GY. 2011: A Bodai Aleurolit Formációban mért ImaGeo–LIPS elemoxidkoncentráció-értékek eloszlásának statisztikai vizsgálata (Bakonya, Bak–5 fúrás). — *Magyar Geofizika* **52/2**, 62–78.
- ANDRÁSSY, L., NÉMETH, B. & VIHAR, L. 1998: Theoretical and Practical Problems, of the Application of Laser-Induced Plasma Emission Spectroscopy in Geological Prospecting OPTICA'98. — *5th Congress of Modern Optics, Proceedings of SPIE* **3573**, 351–354. <https://doi.org/10.1117/12.320963>

- ANDRÁSSY, L., ZILAHÍ-SEBESS, L. & VIHAR, L. 2003: Theoretical and statistical investigation of elemental concentration distributions determined by laser-induced atom emission spectra on geological samples. — *Geophysical Transaction* **44/2**, 95–138.
- BALLA, Z. & GYALOG, L. 2009: *Geology of the north-eastern part of the Mórág Block. Explanatory notes to the geological map-series of the north-eastern part of the Mórág Block (1:10,000). Regional map series of Hungary.* — Geological Institute of Hungary, 216 p.
- BARABÁS, A. & BARABÁS-STUHL, Á. 2005. Geology of the Lower Triassic Jakabhegy Sandstone Formation, Hungary, SE Transdanubia. — *Acta Geologica Hungarica* **48/1**, 1–47.
- BARABÁSNÉ STUHL Á. 1967: Jelentés a mecsekhegységi felsőpermi üledékek ciklusos üledékképződéséről. — *Kézirat*, J0085 Mecsekérc Adattár, 27 p.
- BARABÁSNÉ STUHL Á. 1979: Mikroflóra vizsgálatok a mecsek-hegységi perm és alsó-triász üledékekben, különös tekintettel a perm-triász időszakok közötti határ kérdésére. — *Kézirat*, Mecsekérc adattár.
- BARABÁSNÉ STUHL Á. 1993: A Jakabhegyi Homokkő Formáció. — In: HAAS J. (ed.): *Magyarország litzstratigráfiai alapegységei. Triász.* — Magyar Állami Földtani Intézet, 278. p.
- BENEDEK, K., BÓTHI, Z., MEZŐ, GY. & MOLNÁR, P. 2009: Compartmented flow at the Bábaapáti site in Hungary. — *Hydrogeology Journal* **17/5**, 1219–1232.
- BÖCKH J. 1876: Pécs város környékének földtani és vízi viszonyai. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve* **4**, 150–328.
- BUNN, A. G. 2008: A dendrochronology program library in R (dplR). — *Dendrochronologia* **26**, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>
- CHIKÁN G., CHIKÁN G.-NÉ & KÓKAI A. 1984: *A Nyugati-Mecsek földtani térképe. 1:25 000.* — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- CHIKÁN G. & KONRÁD GY. 1982: A Nyugat-Mecseki földtani térképezés újabb eredményei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1980-ról*, 169–186.
- COOLEY, J. W. & TUKEY, J. W. 1965: An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. — *Mathematics of Computation* **19**, 297–301.
- CSCSÁK J. 1988: A Jakabhegyi Homokkő Formáció „átmeneti rétegeinek” közzétan-geokémiai vizsgálata. — *Kézirat*, Szakdolgozat, ELTE.
- GYALOG L., FÜRI J., BORSODY J., MAROS GY. & PÁSZTOR SZ. 2010: Geological Mapping of the Bábaapáti Tunnels (A bábaapáti vágatok földtani dokumentálása). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2009*, 305–329.
- HAAS, J. & PÉRO, CS. 2004: Mesozoic evolution of the Tisza Mega-unit. — *International Journal of Earth Sciences* **93**, 297–313. <https://doi.org/10.1007/s00531-004-0384-9>
- HALÁSZ A. 2011: A Bodai Aleurit Formáció ciklussztratigráfiai vizsgálata. — *Kézirat*, PhD Doktori értekezés, Pécsi Tudományegyetem, 129 p.
- HATVANI, I. G., KERN, Z., LEÉL-ŐSSY, S. & DEMÉNY, A. 2018: Speleothem stable isotope records for east-central Europe: resampling sedimentary proxy records to obtain evenly spaced time series with spectral guidance. — *Earth System Science Data* **10/1**, 139–149. <https://doi.org/10.5194/essd-10-139-2018>
- HÁMOS G., SÁMSON M., BERNÁTH GY., CSURGÓ G., DARVAS K., KONRÁD GY., KOVÁCS A. CS., KOVÁCS L., KRUPA Á., LUDMANN L., MAROS GY., MÁTHÉ Z., RÓCZEI N., SOMODI G. & SZEGŐ I. 2017: Ib–4 fúrás dokumentáló és értékelő jelentése. — *Kézirat*, RHK-N-004/17, RHK Kft. Adattár, Paks, 228 p.
- HOLZKAMPER, S., MANGINI, A., SPOTL, C. & MUDELSEE, M. 2004: Timing and progression of the Last Interglacial derived from a high alpine stalagmite. — *Geophysical Research Letters* **31**, L07201. <https://doi.org/10.1029/2003gl019112>
- KASSAI M. 1969: A Jakabhegyi homokkő öszlet fácies- és korkérdései. — *Kézirat*, Doktori értekezés, MÁFI
- KASSAI M. 1973: A délkelet-dunántúli paleozóos rétegsorok fáciesmeghatározásának problémái. — *Földtani Közlemények* **103**, 383–402.
- KASSAI M. 1984: The Jakabhegy Sandstone Formation and its interregional stratigraphic relations. — *Acta Geologica Hungarica* **27/3–4**, 289–293.
- KERESZTURI, Á., DUVET, L., GRÓF, GY., GYENIS, Á., GYENIS, T., KAPUI, ZS., KOVÁCS, B. & MAROS, GY. 2019: Characterization and first results of the planetary borehole-wall imager — methods to develop for in-situ exploration. — *Open Astronomy* **28/1**, Published Online: 2019-03-26. <https://doi.org/10.1515/astro-2019-0001>
- KONRÁD Gy. 1997: A DK-Dunántúl alsó- és középső-triász képződmények szedimentológiai vizsgálatának eredményei. — *Kézirat*, Kandidátusi értekezés, 119 p.
- KONRÁD GY., SEBE K., HALÁSZ A. & HALMAI Á. 2010: A Délkelet-Dunántúl földtani fejlődéstörténete — recens analógiák. — *Földrajzi Közlemények* **134/3**, 251–265.
- KOVÁCS, J., SZABÓ, P. & SZALAI, J. 2004: Talajvízállás adatok idősoros vizsgálatai a Duna–Tisza közén. — *Vízügyi Közlemények* **86/3–4**, 607–624.
- KOVÁCS, J., KISZELY-PERES, B., SZALAI, J. & KOVÁCSNÉ, SZÉKELY I. 2010: Periodicity in shallow groundwater level fluctuation time series on the Trans-Tisza Region, Hungary. — *Acta Geographica AC Geologica et Meteorologica Debrecina* **4–5**, 65–70.
- KULANDER, B. R., DEAN, S. L. & WARD, B. J. 1990: Fractured Core Analysis: Interpretation, Logging, and Use of Natural and Induced Fractures in Core. — *AAPG Methods in Exploration series* **8**, 88 p. <https://doi.org/10.1306/99a4d0a5-3318-11d7-8649000102c1865d>
- LOMB, N. R. 1976: Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. — *Astrophysics and Space Science* **39**, 447–462. <https://doi.org/10.1007/bf00648343>
- MADER, D. 1992: *Evolution of Paleocology and Paleoenvironment of Permian and Triassic Fluvial Basins in Europe.* — Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 852 p.
- MAROS, GY. & PALOTÁS, K. 2000: Evaluation of planar features in Boreholes Üvegghuta Üh–22 and Üh–23 with CoreDump software (Az üvegghutai Üh–22 és Üh–23 fúrásban észlelt síkszerű jelenségek értékelése CoreDump szoftverrel). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről*, 315–340.

- MAROS, GY. & PÁSZTOR, SZ. 2001: New and oriented core evaluation method: ImaGeo. — *European Geologist* **12**, 40–43.
- MAROS GY., GRÓF GY., GYENIS Á., PÁSZTOR SZ. & PALOTÁS K. 2006: Új módszer a bányatérsegek földtani–tektonikai–vízföldtani dokumentálásában (New method in the geologic–tectonic–hydrogeologic documentation of shafts and tunnels). — *Abstract, VIII. EMT Bányászati, kohászati és földtani konferencia, Sepsiszentgyörgy 2006. április*, p. 253.
- MAROS, GY., ANDRÁSSY, L., ZILÁHI SEBESS, L. & MÁTHÉ, Z. 2008: Modelling the Boda Aleurolite Formation (BAF) based on core analyses using a laser-induced plasma spectrometer. — *First Break* **26**, 143–152.
- NELSON, R. A., LENOX, L. C. & WARD, B. J. JR. 1987: Oriented core: Its use, Error and Uncertainty. — *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* **71**, 357–367. <https://doi.org/10.1306/94886eb1-1704-11d7-8645000102c1865d>
- ÖZKAYA, S. I. 2019: Fracture modeling from borehole image logs and water invasion in carbonate reservoirs with layer-bound fractures and fracture corridors. — *Journal of Petroleum Science and Engineering* **179**, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.04.052>
- PARTI G. 1986: A Jakabhegyi Homokkő Formáció tavi rétegeinek közettani–geokémiai vizsgálata. — *Kézirat*, Szakdolgozat.
- PAULSEN, T. S., WILSON, T. J., MOOS, D., JARRARD, R. D. & WILSON, G. S. 2000: Orientation of CRP-2A Core, Victoria Land Basin, Antarctica. — *Terra Antarctica* **7/3**, 271–278.
- PAULSEN, T. S., JARRARD, R. D. & WILSON, T. J. 2002: A simple method for orienting drill core by correlating features in whole-core scans and oriented borehole-wall imagery. — *Journal of Structural Geology* **24**, 1233–1238. [https://doi.org/10.1016/s0191-8141\(01\)00133-x](https://doi.org/10.1016/s0191-8141(01)00133-x)
- PAYENBERG, T. H. D., LANG, S. C. & KOCH, R. 2000: A simple method for orienting conventional core using microresistivity (fms) images and a mechanical goniometer to measure directional structures on cores. — *Journal of Sedimentary Research* **70/2**, 419–422. <https://doi.org/10.1306/d4268c16-2b26-11d7-8648000102c1865d>
- POTTS, G. J. & REDDY, S. M. 1999: Construction and systematic assessment of relative deformation histories. — *Journal of Structural Geology* **21**, 1245–1253. [https://doi.org/10.1016/s0191-8141\(99\)00036-x](https://doi.org/10.1016/s0191-8141(99)00036-x)
- R CORE TEAM: *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. — Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018.
- RIDER, M. & KENNEDY, M. 2011: *The Geological Interpretation of Well Logs*. — Rider-French Consulting Ltd., Scotland, 432 p.
- SCARGLE, J. D. 1982: Studies in astronomical time series analysis. II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. — *Astrophysical Journal* **263**, p. 835. <https://doi.org/10.1086/160554>
- SCHMIDT, P. W. & ANDERSON, J. C. 1992: 'Orientation of drill core using palaeomagnetism in coal exploration. — *Australian Coal Geology* **8**, 18–20.
- SCHULZ, M. & MUELSESE, M.: REDFIT: estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series. — *Computers & Geosciences* **28**, 421–426. [https://doi.org/10.1016/s0098-3004\(01\)00044-9](https://doi.org/10.1016/s0098-3004(01)00044-9)
- SZABÓ J. 1965: A mecseki felső permii és alsó szeizi rétegek ferderétegzettségi adatainak földtani értékelése. — *Földtani Közlöny* **95/1**, 40–46.
- TOROPAINEN, V. 2010: Core Drilling of Drillhole ONK-PVA8 in ONKALO at Olkiluoto 2010. — *Kézirat*, Posiva OY Olkiluoto, Working Report 2010-84, 34 p.
- VÁGÓ Z. 1980: A Jakabhegyi Homokkő Formáció leírása és fáciesének meghatározása üledékföldtani vizsgálatok alapján. — *Kézirat*, Mecsekérc adattár, Diplomaterv, 57 p.
- VADÁSZ E. 1935: *A Mecsekhegység. Magyar tájak földtani leírása*. — A Magyar Királyi Földtani Intézet kiadványa, 180 p.
- WEBER, H. 1994: Analyse geologischer Strukturen mit einem Bohrkernscanner (Analysis of geological structures using the DMT Corescan mashine). — *Felsbau* **12**, 401–403.
- WYLLIE, D. C. & MAH, C. W. 2005: *Rock slope engineering civil and mining*. — Spon Press, London, 430 p.
- ZEMANEK, J., GLENN, E. E., NORTON, L. J. & CALDWELL, R. L. 1970: Formation evaluation by inspection with the borehole televiewer. — *Geophysics* **35**, 254–269. <https://doi.org/10.1190/1.1440089>
- ZILÁHI-SEBESS, L., MÉSZÁROS, F. & SZONGOTH, G. 2000: Characterisation of fracture zones in granite, based on well-logging data at the Üveghuta Site (A gránit törései öveinek jellemzése mélyfúrás-geofizikai adatok alapján az üveghutai telephelyen). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről*, 253–272.

Kézirat beérkezett: 2019. 12. 04.