

Homogén kőzetek színelméleti elemzésének módszere az Ibafa Ib–4 fúrásban harántolt Bodai Agyagkő Formáció példáján

HALÁSZ Amadé¹, HALMAI Ákos²

¹PTE Környezetföldrajzi és Tájvédelmi Tanszék; tade@gamma.ttk.pte.hu

²PTE Földtudományok Doktori Iskola; halmaia@gamma.ttk.pte.hu

Digital image analysis method for homogenous rocks, example of the Boda Claystone Formation in the borehole Ibafa Ib–4

Abstract

This paper reports on the development of a digital colour analysis method to examine the Boda Claystone Formation. The Permian Boda Claystone Formation (BCF) occurs in the Mecsek Mountains and a country-wide screening found this formation to be the most suitable for the disposal of high-level radioactive waste in Hungary. “The most monotonous formation in the country” (JÁMBOR 1964) is composed of sandstone, (albitic) silty claystone, (albitic) clayey siltstone and dolomite. The colours of these types are reddish-brown or brownish-red (or any colours between brown and red); the sandstone interbeds have similar tones but usually lighter, and the dolomite is white. Because of their colour similarity, not all rock types can be identified by the naked eye. The GIS method which is discussed in this study could be utilized to distinguish similar colours and to identify the soft transitions between these colours; the latter have high importance in the cycle-stratigraphic analysis of the succession. Geophysical well-logging has proved the existence of the characteristic cyclic units detected by natural gamma. It is evident that the GIS method is capable of getting the same cycles as the geophysical methods and it also provides some new results. It is hoped that this idea can be useful as a digital extension of the geologist's eyes and the traditional geophysical examinations.

Keywords: Permian, colour analysis, natural gamma, Boda Claystone Formation, cyclicity, GIS

Összefoglalás

A tanulmányban egy új színelméleti módszert mutatunk be, melynek alkalmazhatóságát az Ibafa Ib–4 fúrás által harántolt Bodai Agyagkő rétegsorában vizsgáltuk. A nagy aktivitású radioaktív hulladékok egyik potenciális befogadó kőzetének a Nyugati-Mecsek jellemző képződményét, a Bodai Agyagkővet tartják. Az ország legegységesebbnek tartott képződményét (JÁMBOR 1964) döntően homokkő, (albitos) kőzetlisztes agyagkő, (albitos) agyagos aleurolit és dolomit építi fel. A képződmény színe a barna és vörös közötti számtalan finom átmenet bármelyike lehet, amelytől kissé eltérnek a homokkő-betelepülések világosabb árnyalatai, valamint a fehér dolomitbetelepülések. Ebből adódóan a BAF színének kizárólag vizuális értelmezése pontatlanságokhoz vezethet. Azonban a kőzet színének kismértékű (akár ciklikus) változása is jelentős földtani tartalmat hordoz.

A tanulmányban bemutatott GIS módszerünk segítségével a hasonló színeket és az azok közötti finom átmeneteket nagy pontossággal el lehet különíteni. Ezért a módszert főleg olyan képződmények esetében érdemes alkalmazni, amelyek színüket tekintve homogének, egyveretűek.

A vizsgálat során két módszert alkalmaztunk. Egyrészt a kőzet színe alapján sikerült ciklicitást kimutatnunk, másrészt az egyes jellemző kőzet típusok szín alapján történő kategorizálását is elvégeztük. Ez utóbbi módszer segítségével a makroszkóposan nehezen elkülöníthető kőzet típusokat osztályokba tudtuk sorolni. A természetes gammaelemzésével kapott ciklicitásértékek jó egyezést mutatnak a színelmélettel nyert, valamint az „etalonnak” tekintett fúrásdokumentáció szerint (közvetlen) megállapított ciklushosszakkal. Úgy gondoljuk, hogy az elért új eredmények a hagyományos makroszkópos dokumentálást kiegészítik, hiszen a digitális feldolgozás segítségével a szubjektivitás mértéke jelentősen csökkenhető.

Tárgyszavak: perm, színelmélet, természetes gamma, Bodai Agyagkő Formáció, ciklicitás, GIS

Bevezetés

A földtani vizsgálatok során a kőzetek színének egzakt makroszkópos meghatározása gyakran nehézségekbe ütközik. A homogén, színeiben egyveretű, vagy csak kissé változókéony kőzetek vizuális értékelése, összehasonlító elemzése bizonytalan.

A Bodai Agyagkő Formáció (BAF, korábban Bodai Aleurolit F. lásd MÁTHÉ & VARGA jelen füzet) színe a barna és vörös közötti számtalan finom átmenet bármelyike lehet, melyet nagyban befolyásol a kőzet aktuális víztartalma, ezért a BAF színének kizárólag vizuális értelmezése pontatlanságokhoz vezethet. Azonban a kőzet színének kismértékű (akár ciklikus) változása is jelentős földtani tartalmat hordoz(hat).

A színelmélet eredendően szubjektív: az érzékelt szín függ például a kőzet pillanatnyi állapotától, a megvilágítástól, a hőmérséklettől és a páratartalomtól is. A kőzet színét befolyásoló víztartalom a fűrés mélyítésétől a dokumentálásig is változhat. Emiatt a dokumentálási idő (szkennelés) fontos paraméter, ami alatt a víztartalmat állandónak tekintjük. A digitális, raszteres képbeviteli és képfeldolgozó eljárások fejlődésével lehetővé vált a színek egyértelmű és automatizált meghatározása, melynek segítségével az egyes mintákat nem csak jellemezni tudjuk, hanem színük numerikus elemzésével több, földtani következtetést is levonhatunk.

A képződmény színét a dokumentáló elsősorban makroszkóposan, azaz az éleslátás távolságából, kb. karnyújtásnyi távolságból vizsgálja, másodsorban pedig mikroszkóposan. Ezek a távolságok nem összemérhetők a fűrés tényleges hosszával, így a finom, de kiterjedt átmenetek — pusztán a relatív közeli szemléletmód miatt — megfigyelhetetlenek. Ehhez a fűrés egészében, messzebről kellene szemlélni, erre azonban nincs mód. Ezért az azonos feltételek között történő fűrészkennelés egy jelentős mérőszám, amely a dokumentáción túlmutat, hisz segítségével a kőzettől „hátrébb lehet lépni”, így egészben láthatjuk a jelenségeket. A szkennelés tehát egy vizuális interpretációt segítő, méretkorlátokat leküzdő eljárás. Segítségével a dokumentáló megállapításai utólag is ellenőrizhetők, tulajdonképpen egy modernizált Munsell-skálaként (színskála) (MUNSELL 1912) használhatjuk.

Abban az esetben, ha a szkennelés változatlan paraméterek között történik (közel azonosak a feltételek, a hibákat előfeldolgozással kiszűrjük), akkor a szkennelésre egy új földtani vizsgálati módszert építhetünk: a színelméletet. Ez egy olyan eljárás, illetve vizsgálati eszköz, amely kiegészíti a dokumentáló interpretációit, a geokémiai és geofizikai méréseket, és segítségével a tradicionális eljárások eredményeit kiegészítő megállapításokat tehetünk. Ezen cikk egy módszertani tanulmány, amely módszert és annak használhatóságát, más vizsgálati eljáráshoz (természetes gamma) való jó köthetőségét mutatja be a rendelkezésre álló fűrésen.

A Bodai Agyagkő Formáció színének ez irányú, digitális feldolgozása jelen tanulmány keretei között valósult meg. A színelmélet alapját a Magyar Állami Földtani

Intézet (MÁFI) által fejlesztett ImaGeo fűrészkennelőkészítőkészlettel készült képek adták (MAROS & PÁSZTOR 2001). Jelen tanulmányban az Ibafa Ib-4 jelű fűrésben harántolt Bodai Agyagkő Formáció színelmélet vizsgálatát végeztük el.

A digitális képek földtani tartalmú elemzése hazánkban kevésbé elterjedt. Az általunk ismert első hazai, szín alapján történő kategorizálására 1959–60-ban, a Pécsi Uránércbánya Vállalat Mélyfűrés Üzemében végeztek hasonló méréseket fotometriai alapon (színhőmérséklet mérés). FROLOV és KÁLLAI kísérletképpen az érchordozó szintből származó kőzetmintákat mért és a kapott kvantitatív eredményekből próbált következtetéseket levonni, azonban a minta-előkészítés munkai igényessége miatt ezen munkák megszakadtak (SZEDERKÉNYI szóbeli közlés 2011).

Az üledékes kőzetek egzakt színmeghatározására és az egyes színek egymásra következésének geostatistikai vizsgálatára nemzetközi szinten is található példák mind manuális mind automatizált utakat bejárva (manuális: WELLS et al. 2002, fél-automatikus: WARREN et al. 1998, automatikus megoldás: GUEDES et al. 2009).

Célunk a formáció objektív színminősítése, a képződmények közötti színkülönbségek számszerűsítése, valamint az összefüggések felderítése a szín és a földtani tartalom (fizikai, kémiai jellemzők) között. Vizsgáljuk a színváltozás ciklicitását és annak okait, majd korreláljuk azokat a geofizikai és a földtani szelvényből kiolvasható ciklicitással. A képződmény ciklicitásának felismerése és értelmezése kulcsfontosságú a keletkezési körülmények megértésében.

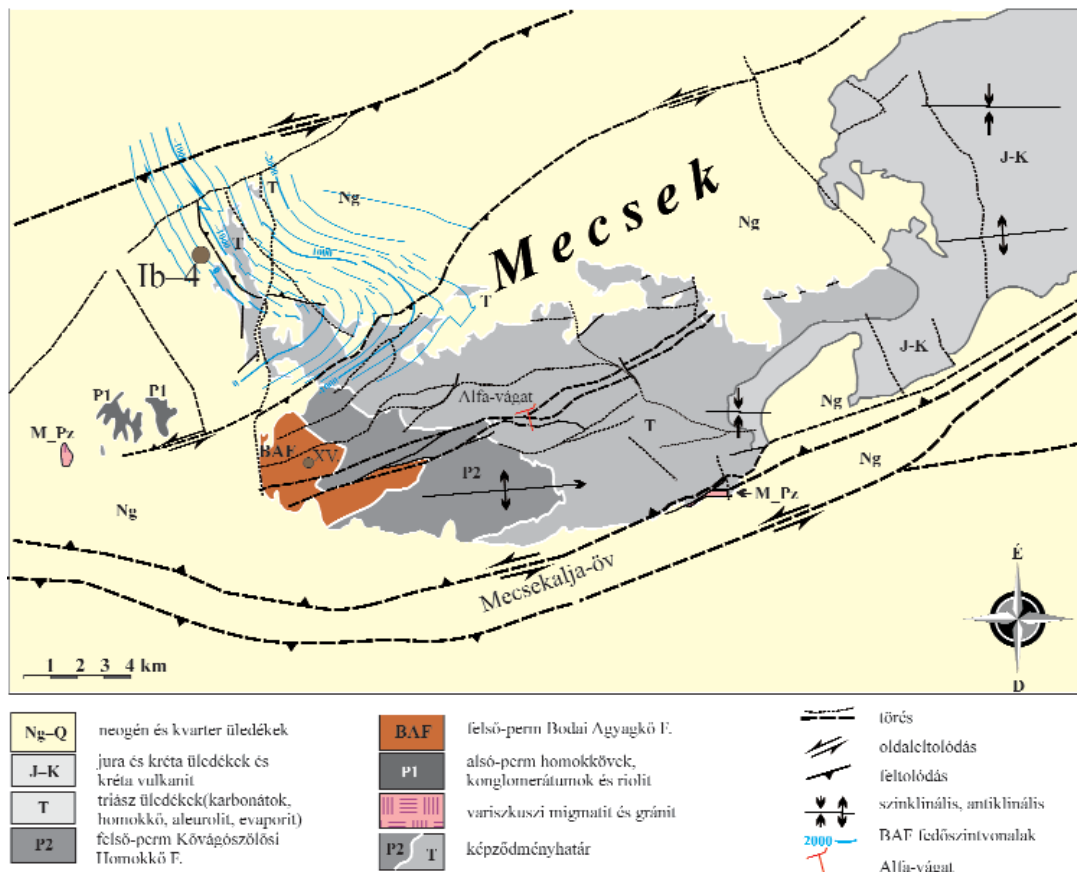
A téma időszerűségét a nagy aktivitású radioaktív hulladékok egyik potenciális befogadó kőzetének, a Bodai Agyagkő Formációnak és földtani környezetének kutatása adja.

Földtani háttér

A Bodai Agyagkő Formáció a Tiszai-egység területén, a Nyugati-Mecsek prekainozoos aljzatának (1. ábra) jellemző képződménye (JÁMBOR 1964), amely először BARABÁS (1956) kandidátusi értekezésében került elkülönítésre, mint önálló földtani egység. A formáció részletes kutatástörténetét és általános leírását számos zárójelentés (pl. KONRÁD 1998, MAJOROS 1999, MÁTHÉ 1999, KONRÁD & HÁMOS 2006 stb.) valamint számos tanulmány ismerteti (JÁMBOR 1964, FÜLÖP 1994, BARABÁS & BARABÁSNÉ STUHL 1998, KONRÁD et al. 2010a). A Bodai Agyagkő létrejötté olyan playa tavakhoz köthető, mely a kristályos aljzat hosszú ideje tartó denudációjának következtében enyhén lejtő morfológiájú környezetben foglalt helyet (KONRÁD et al. 2010b).

A térképezési adatok alapján (KONRÁD 1999) a formációt három alegységre lehet elkülöníteni (2. ábra):

— *Alsó: Órházi Tagozat:* korábban „átmeneti” homokkőnek nevezett rétegek. Barna, vörösbarna, csillámos homokkő, amelyben aleurolit és agyagkő betelepülések találhatóak. Vastagsága 100–150 m.



1. ábra. A Nyugati-Mecsek és környékének földtani térképe a Bodai Agyagkő felszíni elterjedésével és a formációt harántoló Ibafa Ib-4-es fúrással (készült WÉBER 1977, CHIKÁN & KONRÁD 1982, CHIKÁN et al. 1984, KONRÁD 1998, CSONTOS et al. 2002 és KONRÁD & SEBE 2010 alapján)

Figure 1. Geological map of the Western Mecsek Mts with the outcrop area of the Boda Claystone Formation and with the borehole Ibafa Ib-4 (after WÉBER 1977, CHIKÁN & KONRÁD 1982, CHIKÁN et al. 1984, KONRÁD 1998, CSONTOS et al. 2002 and KONRÁD & SEBE 2010)

— **Középső:** vörösbarna, albitos, kőzetlisztes agyagkő, melyben kalcit, dolomit, vagy albit kötőanyagú aleurolit és finomszemű homokkőrétegek, valamint dolomit, dolomitos agyagkőrétegek települnek. Fokozatos rétegváltakozással fejlődik ki a fekvő Órházi Tagozattól. Vastagsága 350–450 m.

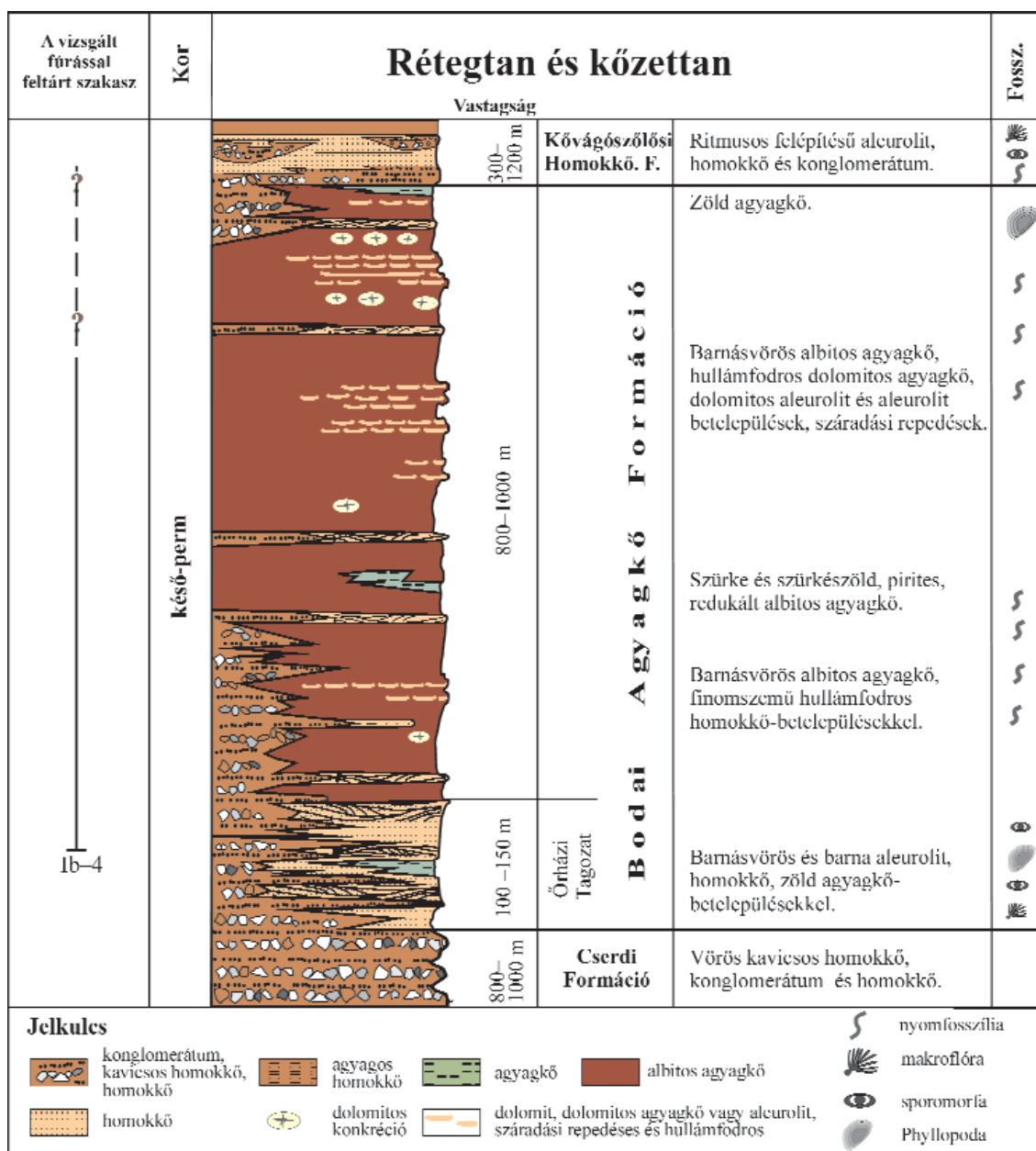
— **Felső:** albitos agyagos aleurolit, kőzetlisztes agyagkő, száradási repedéses dolomit betelepülésekkel és dolomit konkréciókkal. Vastagsága 400–450 m.

A Bodai Agyagkő Formáció kutatási programja során elvégzett részletes ásványtani, kőzettani és geokémiai vizsgálatok segítségével agyagkő, aleurolit, homokkő, albitolit és dolomit fő kőzettípusokat (lásd később), valamint azok között számos átmeneti típust különítették el (BARABÁS & BARABÁS-NÉ STUHL 1998, KONRÁD 1998, MÁTHÉ 1999, ÁRKAI et al. 2000, VARGA et al. 2006). Az elkülönített fő litofaciesek közötti különbségek nem mindig élesek, összvastagságukat tekintve gyakoribbak az átmeneti típusok (pl. agyagos aleurolit, kőzetlisztes agyagkő). Az agyagkő és az aleurolit keveredési típusainak elkülönítése a terepi dokumentálás gyakorlatában nem könnyű feladat. Ezen típusok uralják azonban döntően a formáció rétegsorát, míg a dolomitos és a homokkőves rétegek a vizsgált területen csak közbetelepülésként figyelhetők meg. Kivétel ez alól az

Órházi Tagozat, amelyben a homokkő a domináns, míg a finomabb szemű frakciók képviselik a betelepülések jelentős hányadát. Az albitolit kőzettípus, az albitos kötőanyagú agyagkőveket, aleurolitokat és a kettő közötti átmeneteket foglalja magába. Az albitolit a makroszkópos meghatározhatatlanság miatt nem került bele az elemzésbe külön kategóriaként. A tanulmányban az elemzésekhez négy fő kőzettípust használtunk:

— **Homokkő (A):** A homokkőrétegek a formáció alsó, átmeneti részében gyakoriak, a rétegsorban feljebb egyre ritkábban fordulnak elő. Változó mennyiségben és méretben tartalmaznak muszkovitot. Színük jellemzően vörös, gyakori barna, ritkábban szürke és zöld árnyalattal. Ritkán szénült növényi töredékeket és szürke aleurolit-agyagkő kavicsokat tartalmaz, ilyenkor színe barnásszürke.

— **Aleurolit (B):** Az összefoglalóan aleurolitnak nevezett kőzetcsoporthoz jellemzően vörösbarna, a vörös, lila és barna különféle árnyalataival jellemezhető változatokban. Ritkán szürke, kékeszürke, zöldesszürke színű. Általános a döntően albitból álló tizedmilliméteres vagy milliméteres, szabálytalan alakú, változó gyakoriságú és sűrűségű, fehér, ritkábban halvány rózsaszín, esetenként a rétegzés szerint lapított, vagy hálózatos megjelenésű albitfészkek előfordulása. A makroszkópos albitfészket nem tartalmazó aleuro-



2. ábra. A Bodai Agyagkő elvi rétegoszlopa a fedő és fekvő képződmények feltüntetésével (KONRAD 1999)

Figure 2. Stratigraphy and lithology of the Boda Claystone Formation with the underlying and overlying formations. (KONRAD 1999)

lítok az anyagvizsgálati eredmények szerint összetételükben gyakran több albitot tartalmaznak, mint az albitfészkes változatok (MÁTHÉ 1999).

— *Agyagkő (C)*: A formációban előfordulnak zöld és vörösbarna agyagkövek, amelyeket a szintén e kategóriába sorolt albitos, kőzetlisztes agyagkövektől a kisebb keménység, az albitfészkes-mentesség és az agyagos mállás alapján különítünk el. A formáció legfelső részében a vörös és zöld agyagkövek gyakran együtt, rétegváltakozásos átmenettel, illetve összefogazódva jelentkeznek. Nem zárható ki az utólagos oxidáció-redukció.

— *Dolomit (D)*: A dolomitos betelepülések kötegekben csoportosulva jelentkeznek a formációban, a kötegekben belül a néhány méter vastag vörösbarna agyagos aleurolit váltakozik 0,5–3 m vastag, fehér, sárga, hús-vörös vagy

drapp, dolomitréteges vörösbarna agyagos aleurolittal. A száradási repedések mentén felcserepedő, poligonális szerkezetű, általában 1-2 négyzetdeciméternyi méretű rétegdarabokat a fedő agyagkőnek a repedésekbe beüledett anyaga választja el egymástól.

Vizsgálati és mintavételi módszerek

Munkánkat az Ibafa Ib-4 jelű fúrás maganyagának, karotázsszelvényének és szkennelt magfotóinak felhasználásával végeztük el, a Mecsekérc Környezetvédelmi Zrt. és a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. engedélyével.

A feldolgozott magfotók az ImaGeo fúrómag szkenneléssel készültek. A szkennelés eredménye a teljes magfelületet kiterítve ábrázoló nagy felbontású kép. A képfájl képpont mérete 0,075 mm és a létrejövő legnagyobb képfájl méret 13 333×8377 pixel, ami több mint 110 megapixel (MAROS & PÁSZTOR 2001).

A színelemzési vizsgálatot két részre bontottuk:

1. Először tanulmányoztuk a színváltozás feltételezett ciklicitását. Itt a feldolgozott képek numerikus színértékeit vizsgáltuk idősor-analízissel.
2. Másodsor vizsgáltuk a Bodai Agyagkő Formációba tartozó képződmények közötti színkülönbségeket és ez alapján próbáltuk azokat közettani kategóriákba sorolni.

A kőzetek szín alapján történő kategorizálására már történtek kísérletek pl. a PetCore szoftverrel (GYALOG et al. 2010). Ez a MÁFI-nak az ImaGeo magszkennelhez fejlesztett programja a mi esetünkben nem használható, mert bár a program a kőzet optikai tulajdonságai alapján létrehozott színosztályokba sorolja a kép pixeleit, tapasztalataink szerint kis színbeli eltérések esetén nem ad pontos eredményt. Ezért szükségesnek éreztük egy olyan új módszer kidolgozását, mely homogén, viszonylag egyveretű kőzetek elemzésére is alkalmas.

A színelemzés során nem a rétegek egymásra követését, hanem a kőzet színének változását vizsgáltuk, valamint azt a vastagságértéket, amelyen belül a változás bekövetkezik. Ezen vastagságértékek változásai alapvető információt nyújtanak a vizsgálandó sorozatokról (SCHWARZACHER 1975).

Az idősor-analízis nem alkalmazható feltétel nélkül bármilyen rétegsor elemzésére, WEEDON (2003) szerint ehhez az alábbi három feltételnek kell teljesülnie:

1. *Konstans környezeti feltételek:* a vizsgált tulajdonságokkal jellemezhető egyes rétegek (ciklustagok) azonos környezeti feltételek mellett alakultak ki, a rétegsor „jelentős” fációs változástól mentes.

2. *Egyértelmű változó:* a mért paraméter csak kevés környezeti feltételtől függ. A kőzet helyről-helyre történő változásának összefüggésben kell lennie a környezet néhány tulajdonságának a megváltozásával.

3. *Vastagság-idő kapcsolata:* a mért vastagságnak megfeleltethetőnek kell lennie az eltelt idővel. A vizsgált üledékben nem változhat az eltelt idő és a mért vastagság hányadosa.

Az első feltételnek a vizsgált rétegsor megfelel, keletkezése során „jelentős” fációs változás nem történt (hogy ennek a feltételnek megfeleljünk, a formáció alsó szakaszát képező, a többitől eltérő litológiai összetételű Órházi Tagozatot külön vizsgáltuk), színelemzési módszereinkkel azonban éppen a kisebb fációs váltásokat kívántuk felderíteni.

A második feltételnek a rétegsor csak részben felel meg, mivel a természetes gamma-értékek és a színváltozás is több környezeti paraméter függvénye. Az általános környezeti feltételek változása azonban így is jól nyomon követhető, amelynek következménye a képződmény ciklikus kifejlődése.

A *vastagság-idő kapcsolata* a formáció esetében problémás. A formáció kronosztratigráfiai tagolását és a ciklusok időtartamát (time series) nem, de a mélységet (depth series) — vagyis a ciklusok vastagságát — vizsgálni tudtuk. Kronosztratigráfiai szempontból használható adat hiányában nem ismert, hogy egy adott vastagságú réteg mekkora időintervallumot képvisel. Mivel a teljes formáció „pontos” képződési idejét sem tudjuk, így csak a szakirodalmi adatok és az ismert diagenezis alapján becsülhetjük meg az egységnyi vastagsághoz tartozó képződési időt. Emiatt a kutatás során a ciklusok és ritmusok vastagságát vizsgáltuk.

Az idősor-analízis bemeneti adatait két mintavételezési eljárással gyűjtöttük:

1. *Folytonos mintavételezés:* minden független változója folytonos. Gyakorlatilag a vizsgált kőzet egy bizonyos paraméterét egy szakaszon vizsgálja, és az egész szakaszt jellemző matematikai eszközök segítségével.

2. *Diszkrét mintavételezés:* minden független változója diszkrét. Lényege, hogy az adatot egy adott pontban, vagy pontnak tekinthető helyen méri fel.

Így az általunk alkalmazott közettani kategorizálás, valamint a kétféle színmintavételezési eljárás folytonos mintavételezést jelent, míg a lyukgeofizikai mérések pl. a természetes gamma diszkrét mintavételezésnek minősül.

Eredmények

A kőzet színalapú ciklicitásvizsgálatát kétféle megközelítésben végeztük el.

Első megközelítésben a szkennelt képeket színsávokként vizsgáltuk, minden egyes színsávot 10 intervallumra osztottuk. Majd a fúrás hossza mentén 0,2 méteres szakaszokat rögzítettünk és leszámoltuk, hogy melyik intervallumba esik a legtöbb pixel. Az így kapott adatsort használtuk fel ciklicitásvizsgálatra.

A második megközelítésben a szkennelt képeken látható pixelcsoportokat Maximum Likelihood függvényrel 12 (manuálisan) előre definiált kategóriába soroltuk. Ezen módszer kísérlet az automatizált, színalapú kőzetfelismerésre. Az így kategóriába sorolt adatokat tartalmazó képeket rövid szakaszokra bontottuk és a szakaszok legjellemzőbb kategóriáját a manuálisan készült rétegsor mellé helyeztük és ehhez viszonyítva ellenőriztük a módszer hatékonyságát.

Színalapú ciklicitásvizsgálat

A képek feldolgozásához a tudományos képelemzésben gyakran alkalmazott szabadszoftvert, az ImageJ-t használtuk. Az ImageJ-ben készült, saját fejlesztésű automatizmus először eltávolította a képekről a szkennelési technológiából fakadó fekete részeket, majd a megmaradt képet 0,2 m-es szakaszokra bontotta. A bemeneti TIFF képek vörös (R), zöld (G) és kék (B) színsávokban 0–255-ös tartományban jellemzik a színintenzitást. Ezen tartományt

10 kategóriára, kategóriánként 25,5 szélességűre bontottuk. A szoftver segítségével minden 0,2 m-es szakaszon mind a három színsávban lekérdztük, hogy az 1–10. kategóriába hány pixel esik. Az így kapott eredményeket egyszerű szövegfájlokba mentettük el. Abban az esetben, ha a fúrómag-töredék hossza nem volt osztható a 0,2 m-es szakaszhosszal, akkor az utolsó, 0,2 m-nél rövidebb szakasz pixeleit is az előzővel megegyező módon, kategóriába soroltuk, de a kimenő adatsorban egy figyelmeztetést helyeztünk el.

Az elemzésnél azért használtunk 10 kategóriát, mert ez a felosztás jól kezelhető, a szkennelési hibákból fakadó pixelhibák kiszámíthatóan az első és az utolsó kategóriába kerülnek (fekete területek a kép szélén, gumiszalagok, optikai hibák). A megmaradó 8 kategória pedig elég széles ahhoz, hogy a kőzetben látható természetes, pillanatnyi fluktuációkat elmossa, viszont elég szűk, a kőzet színváltozási trendjének és ciklusainak kimutatásához. A 0,2 méteres vizsgálati hossza azért esett a választás, mert — az előbbiekhöz hasonlóan — rövid szakaszok esetében az adatsor túlzottan fluktuál, a hosszú szakasszal nagy az adatvesztés, a kőzet természetes változékonyságát figyelembe véve ennek az értéknek empirikus úton 0,1 és 0,5 méter között kell lennie. Továbbá praktikus okokból illeszkedni kell a fúrások geofizikai pontméréséhez, amely jelen esetben 0,1 méteres lépésközzel került rögzítésre. Így esett a választás a gammamérés lépésközének kétszeresére.

A kimentett szövegfájl Excel segítségével beolvastuk, szakaszonként és színsávokként leválogattuk azokat a kategóriákat, amelyekbe a legtöbb pixel esett, és ezen kategóriák sorszámából (1–10) egy új adatsort képeztünk.

Ezen adatsort használtuk fel a szín alapján észlelhető ciklusok vizsgálatára. A ciklusok kereséséhez a Past program Lomb-periodogram eszközét alkalmaztuk. Azért esett választásunk a Lomb-periodogramra, mert ugyan a függvények időbeli lefutásából a frekvenciaértékek (itt ciklushossz) kinyeréséhez Fourier- vagy — 2ⁿ számosságú adatsorok esetében — gyors Fourier-transzformációt használnak, ezen eljárások nem alkalmasak nem egyenközűen mintázott függvények vizsgálatára, erre viszont határozottan szükség van, mert a magszakaszok nem mindig oszthatók 0,2 méterrel. Ugyanezen toleranciája miatt becsatornázhatók a Lomb-periodogram vizsgálatba a törtrészek átlagai is ($h < 0,2$ m), természetesen csak akkor, ha minden egyes mintaszakaszhoz megadjuk a szakasz-középpont mélységét is, így csökkenthető a technikai adatvesztés. Ezzel persze kockáztatjuk, hogy olyan ciklusokat regisztrálunk, amelyek csak 0,2 méternél kisebb léptéken láthatók, de ezeket az esetlegesen inkonzekvens adatokat már nem olvastuk le a periodogramról. Az elemzésnél a rendelkezésre álló színsávok közül a vöröset használtuk a kőzet jellegzetes színe miatt. A vöröshöz igen hasonló eredményeket kaptunk a zöld (G) komponenssel is, hisz a vörössel együtt a kőzet „barnulását” írja le. A kék nem szolgáltatott értékelhető eredményt.

A színelmézés során első lépésként a teljes harántolt BAF rétegsort vizsgáltuk és megállapítottuk a szín alapján

I. táblázat. Jellemző ciklusvastagságok a színelmézés alapján

Table I. Thickness distribution of the cycles using colour analysis

	Jellemző ciklusvastagságok méterben (színelmézés alapján)					
Teljes harántolt BAF (494,14–708,82 m)	15,47	7,12	2,6	1,34	0,67	-
Órházi Tagozat (636,70–708,82 m)	11,92	5,31	2,55	0,86/1,34	0,69	-
Középső sz. (587,90–636,70 m)	11,86	7,56	-	0,87	0,68	3,59
Felső sz. (494,14–587,90 m)	-	7,02	1,98	0,87	0,41	0,37

jellemző ciklusok vastagságát. Ezt követően, a kőzettani alapon elkülönített szakaszok (HALÁSZ 2009) „szín-ciklusait” elemeztük egyesével.

Az így kapott eredményeket az I. táblázat mutatja be:

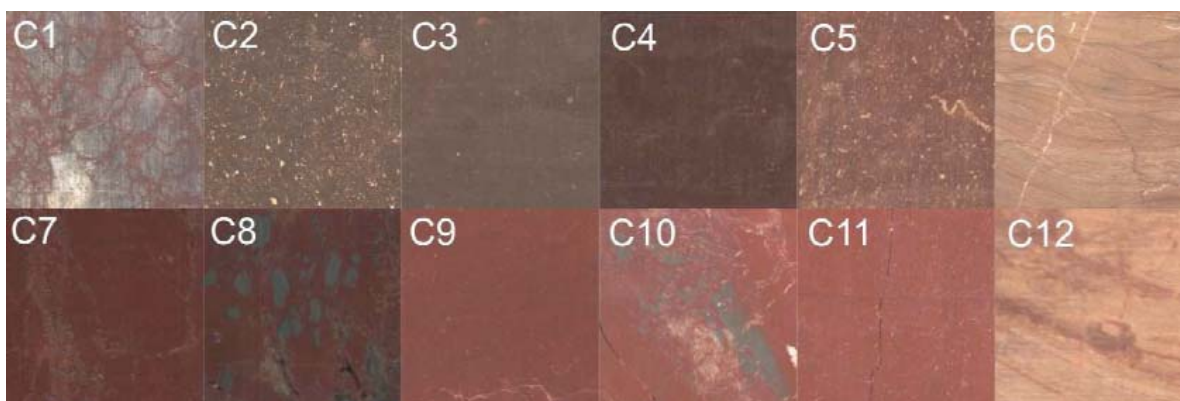
Színelmézési kőzettani kategóriák

Az elemzéshez a fúrómagok szkennelt képeit vettük alapul, amelyekről első lépésben eltávolítottuk a szkennelés során keletkezett hibákat. Az előkészített képeken az ArcGIS 9.2 (SP4) Spatial Analysis Tool (térinformatikai szoftver), Maximum Likelihood függvényét futattuk.

A Maximum Likelihood függvény egy olyan intenzitásalapú, több sávú (itt R; G; B) statisztikai módszer, amely előre definiált tanulóterület-kategóriák kovarianciamátrixa alapján a vizsgálandó terület minden részét besorolja a hozzá leghasonlóbb kategóriák egyikébe, valószínűségi alapon. A tanulóterületet és az ebből kiválasztott 12 kategóriát a szelvény teljes hosszában fellelhető 12 legjellemzőbb színösszetétel típus (3. ábra, II. táblázat) képéből szerkesztett montázkép adta (a terület kijelölésénél EASTMAN [2003] ajánlásai szerint jártunk el). A 12 db szín-kategória kijelölése során figyelembe vettünk minden jellemző és az átlagtól nagyon eltérő szintípust, valamint a makroszkóposan nehezen elkülöníthető barnászörös–vörösesbarna színátmenetet. Továbbá a színben igen változékonny agyagos aleurolit és kőzetlisztes agyagkő egyes típusait kell vizsgálni (pl. albitfészkes változat, autigén breccsás, homogén stb.). A 12 kiválasztott kategória természetesen nem fedi le a teljes rétegsort, mivel a különleges és nagyon ritkán megjelenő típusok színhez köthetősége egyértelmű.

A Maximum Likelihood függvény eredményeként olyan képeket kaptunk (a teljes rétegsorról), amelyeken minden egyes pixelcsalád be lett sorolva a 12 típus valamelyikébe. Ezeket a fájlokat 1 mm-es szakaszokra bontottuk és pixel-szám alapján megállapítottuk, hogy melyik a legdominánsabb típus az adott szakaszon (HALMAI 2010). Abban az esetben, ha a két legtöbb pixelt tartalmazó kategória közötti területi eltérés kevesebb, mint 10% akkor vizuálisan ellenőriztük a mintát és a két lehetséges kategória közül az „emberi intelligencia szerinti” jellemzőbbet választottuk, és aszerint soroltuk be.

A 12 minta felhasználásával automatikusan készített „rétegsort” a valós, földtani adatbázisból szerkesztett rétegsor mellé helyeztük. Az összehasonlítás során kiderült, hogy a kiválasztott 12 db színmintából egyes típusok csak néhány esetben jelentek meg. Ez véleményünk szerint az osztályozási módszer hibája, mert e kategóriák a valós rétegsorban nem különülnek el olyan mértékben, hogy az



3. ábra. Az Ib-4 fúrás kőzeteinek 12 legjellemzőbb színtípusa

Figure 3. The 12 most-significant colours of the formation in borehole Ib-4

II. táblázat. A 12 kategória típusmintájának mélysége az Ib-4 jelű fúrás rétegsorában és kőzettípusa

Table II. Depth and rock types of the 12 category in borehole Ib-4

Kategória	Mélység (m)	Kőzettípus
C1	559,76	autigén breccsás kőzetlisztes agyagkő
C2	636,40	agyagos aleurolit
C3	627,20	agyagos aleurolit
C4	595,10	kőzetlisztes agyagkő
C5	574,45	agyagkő, albitfészkes
C6	661,30	kőzetlisztes homokkő
C7	496,45	kőzetlisztes agyagkő
C8	496,30	kőzetlisztes agyagkő, zöld rétegfoszlányokkal
C9	505,40	kőzetlisztes agyagkő
C10	507,95	kőzetlisztes agyagkő, zöld rétegfoszlányokkal
C11	508,15	kőzetlisztes agyagkő
C12	537,00	agyagos dolomit

adott felbontás mellett elválaszthatók legyenek. Ezért ezeket a kategóriákat egyesítettük. Így került összevonásra a C1, C8 és C10-es, zöld rétegfoszlányokat tartalmazó minta, mivel az alapkőzettől elütő zöld szín dominánsan befolyásolta a kategóriába sorolást (bár ezek a kategóriák eltérő földtani tartalommal rendelkeznek). A C9, C11-es minták nem mutattak olyan mértékű eltérést, hogy a továbbiakban külön kategóriaként kezeljük azokat. Megtévesztő lehet, hogy a homokkő (C6) és dolomit (C12) sem különül el egymástól, ha azok színét vizsgáljuk. Makroszkóposan az eltérő szerkezet miatt a különbség egyértelmű, ám a világosszürke vagy fehér szín egymástól lényegesen eltérő litológiai összetételhez is kapcsolódhat. Így a kőzettípusok színhez köthetősége — automatizált módszereket használva — nem minden esetben egyértelmű.

Alkalmanként az albitfészkes C2-es minta a homokkövekkel (C6) mutatott hasonlóságot, amely a világos albit nagy százalékos arányának tudható be. Ezt a későbbiekben a mintaterület méretének megváltoztatásával tudtuk kiküszöbölni (nagyobb területek átlagolásával). Azonban az esetek döntő hányadában a C2 típus az albitfészkes, agyagos aleurolit volt köthető. A barnás (C3) és a vöröses (C7), albitfészkes-mentes szakaszok viszont jól lehatárolhatók az elemzéssel. A C5 és C7-es minták szinte egyértelműen az agyagkövekhez köthetők, de a rétegsorban

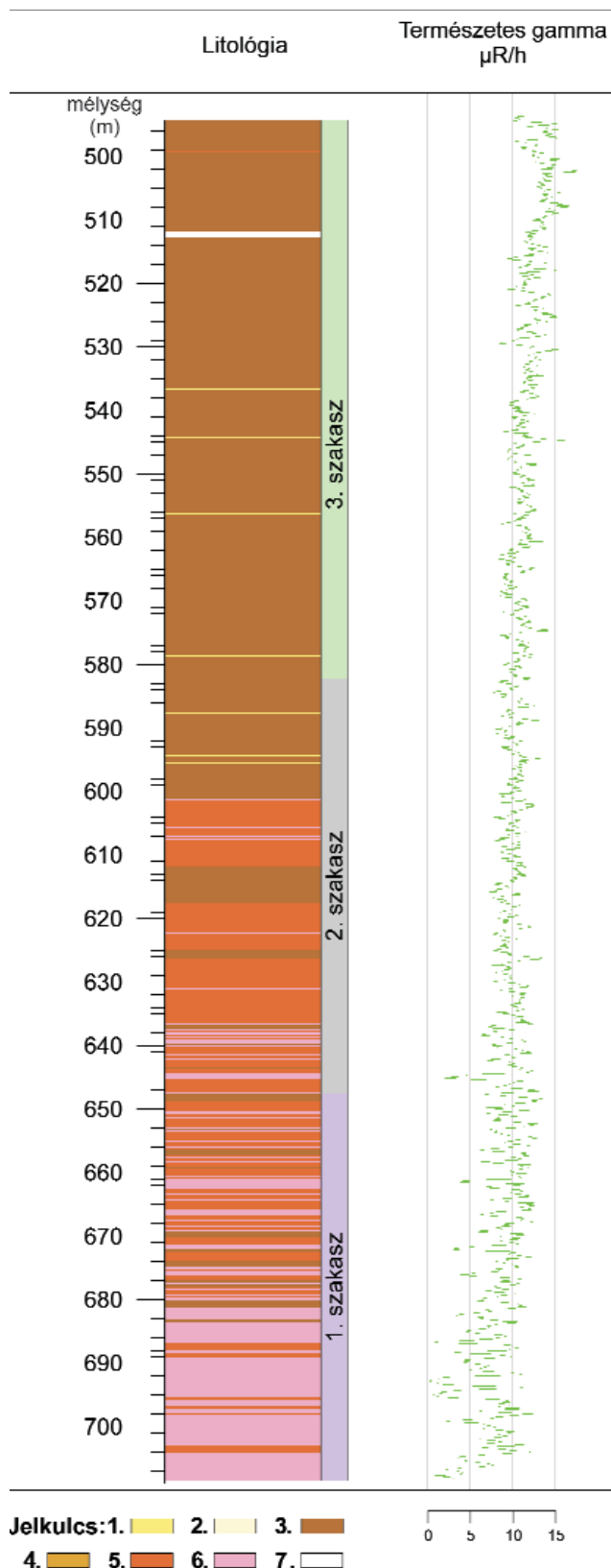
elkülönülten jelennek meg. A legfelső agyagköves szakaszon szinte csak a C7-es, míg az alatta levő kőzetanalóg szakaszon a C5-nek megfelelő színek dominálnak. A hasonló kőzetanyagú, szabad szemmel nehezen szétválasztható szakaszokat viszont jól el lehet különíteni az eljárással (agyagköves szakaszok [C7, C9–11] a rétegsor tetején).

A természetesgamma-értékek alapján kijelölhető ciklicitás

Az Ib-4 jelű fúrás lyukgeofizikai szelvényei közül a természetesgamma-értékeket vizsgáltuk, ciklussztratigráfiai tagolás céljából. A feldolgozás során a természetes gamma 10 centiméteres felbontású görbéit használtuk fel. A mért értékek spektrumanalízissel történő feldolgozása során a jellemző ciklusok vastagságát igyekeztük megadni és korrelálni a színvizsgálati eredményekkel.

A természetesgamma-szelvények jól tükrözik a kőzet agyagtartalmát, és esetenként a sugárzó anyag mennyisége szempontjából is értékelhetők. Mivel az agyagkő természetes gammasugárzása viszonylag nagy, ezért a módszer alkalmas a relatív szemcseméret meghatározására. SZARKA et al. (2003) vizsgálatai szerint a természetes gamma (TG) mért értéke és az illit százalékos aránya között a korrelációs együttható igen magas. Ebből az idézett szerzők azt a következtetést vonták le, hogy az aleurolitban levő összes gammasugárzó elem (K, U, Th) az illithez kapcsolódik, vagyis a természetesgamma-mérésből pl. az illittartalom meghatározhatóan tűnik. Ehhez kapcsolódik VARGA et al. (2006) megállapítása, amely szerint az agyagkövekben az illit + muszkovit, a hematit és a klorit mennyisége általában nagyobb, mint az albitolitokban, az aleurolitokban és a homokkövekben.

A természetesgamma-szelvény értelmezése során azt feltételeztük, hogy a formációra jellemző, néhány cm vastag, a betelepülésekben található dolomitos rétegek nem fognak megjelenni a görbéken, mivel a karotázsszondák hossza általában ennél jóval nagyobb. A szokásos mintavételi sűrűség 10 cm, tehát ez a módszer nem teszi lehetővé az ennél finomabb rétegzettség kimutatását, vagyis



4. ábra. Az Ib-4 jelű fúrás vizsgált természetesgamma-görbéje

1 - dolomit, 2 - agyagos dolomit, 3 - agyagkő, 4 - kőzetlisztes agyagkő, 5 - agyagos aleurolit, 6 - (kőzetlisztes) homokkő, 7 - maghiány

Figure 4. Borehole log of the borehole Ib-4

1 - dolomite, 2 - clayey dolomite, 3 - claystone, 4 - silty claystone, 5 - clayey siltstone, 6 - (silty) sandstone, 7 - pure core recovery

a vékonyrétegzettség csak összegzett hatásként jelentkezhet (ZILÁHI-SEBESS 2008). A dolomitrétegek kimutatására ez a módszer tehát csak közvetve alkalmazható, ahol egy hosszabb köteges szakasz jelenik meg.

A természetesgamma-szelvény szerint a szemcseméret-változás felfelé finomodó trendet mutat, azonban — főleg az Órházi Tagozatban — változó ideig tartó, kisebb-nagyobb intenzitású durvaüledék-beáramlás nyomai is megjelennek, amelyek elvétele a felsőbb szakaszokon (ott kisebb intenzitással) is követhetők (4. ábra).

A természetesgamma-szelvény azokon a szakaszokon használható igazán, ahol a „homogén” aleurolit illetve kőzetlisztes agyagkő nagy vastagságban fejlődött ki. A vizsgálat során azt is tapasztaltuk, hogy a zöld (reduktív?) rétegeknél, illetve rétegfoszlányoknál a környező szakaszokhoz képest nagyobb a természetesgamma-értéke. Egyes esetekben a nagy értékhez nem kapcsolódott makroszkóposan megfigyelhető zöldes szín, ám a jelentősen eltérő árnyalat miatt e rétegek is jól követhetők a szín-vizsgálat módszerével.

A módszer felbontásából adódóan néhány tíz centiméteres ciklusok megjelenését (homokkő/aleurolit, agyagkő/dolomit) nem vártuk az elemzés alapján, és az agyagtartalom ilyen finom léptékű változását sem. A szemcseméret alapján meghatározott ciklusvastagságok (az egy méter feletti tartományban) viszont a természetesgamma-értékek szerint is jól követhetők a fúrás teljes szelvényében. A vizsgálat eredményeit a III. táblázatban foglaltuk össze. Jól látszik, hogy a rétegsor egészére jellemző ciklusvastagságok egyenként is megjelennek az egyes szakaszokon. Erre jó példa a 12,5 méteres ciklusvastagság az Órházi Tagozatban, a 7,6 méteres a középső rétegszakaszon, valamint a 2,5–2,6 méteres ciklusvastagság az Órházi Tagozatban és a felső rétegszakaszon egyaránt. A két vastagabb ciklus (12,5 m, 7,6 m) megfeleltethető a dolomitköteges szakaszok agyagkő-dolomit ciklusának. A 2,5 méteres ciklicitást a homokkő gradált rétegzése idézi elő. A homokkőes szakaszok kivételével jelentkezett egy 3 méteres, valamint egy kb. 1,5 méter vastagságú ciklus is, ám ezeket a terepi dokumentálás során nem, csak a természetesgamma-szelvényen sikerült elkülöníteni. Ezen ciklusok az agyagtartalom változásának bizonyítékai.

A lyukgeofizikai vizsgálatokkal sikerült igazolni a színelapú vizsgálattal kimutatott jellemző ciklusok létét és azok vastagságát. Ezen felül a természetesgamma-értékek alapján meghatároztunk eddig nem ismert olyan ciklusokat is, amelyek jellemző vastagsága 3,4 m, 5,8 m és 12 m. Ezek a homogénnek tekintett rétegszakaszokon is megjelennek, tehát a természetesgamma-értékek a teljes formáció ciklusstratigráfiai elemzésére alkalmasnak bizonyultak. A fentiek alapján kijelenthető, hogy a természetesgamma-értékek vizsgálata plusz információt nyújt a kőzetről, mivel a makroszkóposan nem észlelhető agyagtartalom is mutat ciklicitást.

III. táblázat. Jellemző ciklusvastagságok az Ib-4 számú fúrás természetesgamma-értékei alapján
 Table III. Thickness distribution of the cycles using gamma ray spectral log

	Jellemző ciklusvastagságok méterben (természetes gamma alapján)					
Teljes fúrás (494,14–708,57 m)	12,5	7	2,6	3,44		
Őrházi Tagozat (647,59–708,57 m)	12,6	-	2,6	-	-	2,0
Középső sz. (582,17–647,59 m)	-	7,6	2,5	3,4	-	1,6
Felső sz. (494,14–582,17 m)	-	5,8	-	3,2	-	1,42

Összefoglalás, következtetések

Munkánkban a hazai földtani kutatásokban eddig nem alkalmazott színelemzési módszerrel — a szkennelésre alapozott digitális képfeldolgozással — próbáltunk információt nyerni a kőzetek litológiai összetételére. A tanulmányban két módszert mutattunk be, ezek alkalmazhatóságát vizsgáltuk az Ib-4 jelű fúrás által harántolt Bodai Agyagkő rétegsorában.

A módszert főleg olyan képződmények esetében érdemes alkalmazni, amelyek színüket tekintve homogének, egyveretűek. A Bodai Agyagkő kiváló példa erre, mivel benne több méter hosszú homogén, vörösbarna szakaszok vannak. A színelemzésen alapuló ciklicitás vizsgálata ezeken a részeken alkalmazható igazán, mivel a folyamatos átmenetek, kis változások a szem számára nem minden esetben vehetők észre. A formáció ciklicitása makroszkóposan egyértelmű, ám mi a korábban homogénnek leírt rétegeken belül is találtunk ciklusos szakaszokat a színvizsgálat segítségével.

A kőzet jellegzetesen barnás-vöröses színű. Ezért a ciklicitásvizsgálat szempontjából az R komponens adja a legjobb eredményeket, mivel leírja a kőzet főszínének, a vörös színnek a változási trendjét. A második legjobb, a vörössel közel azonos eredményt a G színkomponens adta, mivel a kőzet mellékszíne (a barna) a vörös és a zöld keveréke, így a zöld a barna szín trendjét jellemzi. Az R komponenssel így megállapítható, hogy a kőzet hol vörösödik, a G-vel pedig, hogy hol barnul. Mivel a kőzet nagyobb részén a vörösödés-barnulás (zöldülés) egymás ellentettje, ezért szükségszerűen közel azonos eredményt adnak. A B színsáv nem szolgáltat eredményt, mivel a kőzetben kék összetevő nem ismert, a kék mennyiségének mozgását csak a sötétedés-világosodás befolyásolja.

A másik módszerrel a kőzettípusokat próbáltuk szín alapján kategorizálni. Fő célunk itt az egyveretűnek látszó rétegek elkülönítése volt. A kőzetanilag eltérő dolomit és homokkő az alkalmazott szoftveres eljárással nem különíthető el. Az automatikus osztályozás az albitfészkes agyagkővet / aleurolitot néha homokkő kategóriába sorolja az albitfészkek világos színe miatt, azonban ahol kevesebb volt az albitfészkek összaránya, ott a kategorizálás jól működött. A makroszkóposan nehezen elkülöníthető, közel azonos típusú kőzeteket viszont jól elválasztja egymástól az eljárás színük alapján. A módszer hibája tehát, hogy egyes eltérő kőzeteket nem ismert fel különbözőnek, két típust pedig hibásan kategorizált, de a vizuálisan nehezen elkülöníthető színeket helyesen osztályozza. Azaz a makroszkóposan nehezen elkülöníthető, homogén, szerkezet nélküli szaka-

szokon a módszer segít a korrekt szín és a kőzettípus közelítő meghatározásában, de az üledékes szerkezetek már néha zavarják az algoritmust. Ezekben a kőzet igen rövid szakaszokon belül annyira változatos lehet, hogy nem áll rendelkezésre az a minimális pixelszám (terület), hogy a besorolás ténylegesen megbízható legyen, így ezeken a területeken szélsőséges esetben az is előfordulhat, hogy két típus kis kiterjedésű váltakozása, „színkeveréke” egy harmadik típushoz tűnhet statisztikailag hasonlóknak.

Az általunk alkalmazott technikával a szkennelés után igen rövid időn belül értékelt eredményeket kapunk, amely a módszer egyik fő erőssége. Másrészt a kőzet a tárolás során kiszáradhat, vagy vizet vehet fel, mely a képződmény színét utólag befolyásolja, de módszerünkkel az „eredeti” rögzített állapotot tudjuk feldolgozni és értékelni.

A bevezetésben említettük, hogy egy több száz méter hosszú fúrás színét következetesen meghatározni még a tapasztalt dokumentálók számára sem egyszerű feladat. A kőzet színének folyamatos trendszerű változására is figyelni kell. A numerikus színvizsgálattal ez a kérdés megoldódni látszik, mivel a program egy adott szint azonos szkennelési körülmények között mindig ugyanolyanok fog érzékelni, nem befolyásolják olyan hatások, amelyekre az emberi szem érzékeny (napsütés, eső, mesterséges megvilágítás), mivel a szkennert állandó és azonos fényforrást használ. Így könnyen meg tudtuk határozni az Ib-4 jelű fúrásban harántolt Bodai Agyagkő színének trendszerű változását. A trend felfelé sötétedést mutat, amely megegyezik az azzal azonos irányú szemcseméret-csökkenéssel és növekvő agyagtartalommal. Így bizonyos esetekben szemcseméret és agyagtartalom meghatározásra is alkalmazható.

A természetesgamma-értékekből kiolvasható ciklicitást is vizsgáltuk. A spektrumanalízissel kapott eredmények jó egyezést mutatnak a litológiai eredményekkel (HALÁSZ 2009). Mivel a természetesgamma-mérések alkalmasak a kőzet agyagtartalmának kimutatására, ezért úgy gondoltuk, hogy ha a természetes gamma és a színvizsgálati eredmények jól korrelálnak egymással, akkor közvetve a szín is utal a képződmény agyagtartalmára. Fontos megemlíteni, hogy a jelenlegi színvizsgálatnál nem tudjuk pontosan, hogy a kőzet milyen folyamatokon ment keresztül a diagenézis során, amely befolyásolhatta a jelenlegi színét. A természetesgamma-adatok alapján kapott ciklicitás jó egyezést mutat a színelemzéssel nyert, valamint az „etalonnak” tekintett fúrásdokumentáció szerint (kőzetan) megállapított (HALÁSZ 2009) ciklushosszakkal (IV. táblázat). A korábban leírt 12 m, 7 m, 2,5 m, 0,59 m hosszú ciklusok a színvizsgálati és geofizikai vizsgálatok alapján kiegészültek egy 1,3 m, egy 3,4 m és egy 5 m hosszú jellemezhető

IV. táblázat. A Bodai Agyagkő Ib-4 jelű fúrásban megismert ciklusainak hossza a természetes gamma és a színvizsgálati eredmények szerint
 Table IV. Thickness distribution of the cycles in borehole Ib-4 using gamma ray spectral log and colour analysis results

Kőzet		13,8	7,2	2,4	0,97	0,64	0,59	egyéb
Teljes fúrás	Tg	12,5	7,0	2,6	-	-	-	3,44
	Szín	15,47	7,12	2,6	1,34	0,67	-	-
Órházi Tagozat	Tg	12,6	-	2,6	-	-	-	-
	Szín	11,92	5,31	2,55	0,86/1,34	0,69	-	-
Középső sz.	Tg	-	7,6	2,5	1,6	-	-	3,4
	Szín	11,86	7,56	-	0,87	0,68	-	3,59
Felső sz.	Tg	-	5,8	-	1,42	-	-	3,2
	Szín	-	7,02	1,98	0,87	-	0,41	-

ciklicitással. Ezek a ciklushosszak az agyagtartalom változásának ciklusai. Ezen ciklusokat makroszkóposan nem sikerült elkülöníteni, de hagyományos módszerekkel a természetes gamma által jól jelzett agyagtartalmat sem tudjuk pontosan meghatározni.

A vizsgálat során a harántolt rétegsort három szakaszra bontottuk. A szakaszolást mind a dokumentált rétegsor, mind az automatizált kőzetfelismerés és a numerikus színvizsgálat alapján is elvégeztük. A színvizsgálat és a dokumentált rétegsor alapján eltérő szakaszhatárok adódtak. A fő különbség az Órházi Tagozat felső határának meghúzásakor mutatkozott. A litológiai értékelésnél egy bizonyos kőzettípus megjelenésénél húztuk meg a határt, hogy a jelentős fácies-változások ne befolyásolják az eredményt. (Jelen esetben ez az első dolomitréteg volt.) Az automatikus kőzetfelismerésnél a különbséget a korábban említett okok adják, melyek miatt a színelméleti módszer nem képes 100%-osan elkülöníteni a homokkő- és a dolomitbetelepüléseket.

A numerikus színelmélettel kapott sávonkénti színfüggvények alátámasztják a fúrás kőzettani szakaszolásának helyességét: a színfüggvényeknek is négy különböző átlag körül ingadozó szakasza van; mely szakaszok kezdő és végpontjai egybeesnek a kőzettani szakaszhatárokkal.

A színelmélet során használt vörös szín- és a természetes gamma-értékek korrelációs együtthatója 0,79. Ha

elfogadjuk, hogy a természetes gamma-szelvény alkalmas a relatív szemcseméret, illetve az illittartalom meghatározására — a korrelációt figyelembe véve —, akkor a színből közvetve is kapunk eredményeket azok értékére. A módszer használatának a gyakorlati alkalmazása azonban világosan bizonyítja, hogy használható és fejlesztésre érdemes eljárásról van szó.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a Mecsekérc Környezetvédelmi Zrt-nek, hogy rendelkezésünkre bocsátotta az archív és a jelenleg folyó kutatások jelentéseinek kéziratos változatait. Köszönjük a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft-nek (korábban Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht.), hogy engedélyt adott a kutatási anyagokba való betekintésre és azok felhasználására. A kutatás egy része a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. (korábban Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht.) támogatásával készült.

Szeretnék köszönetet mondani a kutatás során nyújtott érdemi segítségért KONRÁD Gyulának, ZILÁHI-SEBESS Lászlónak, valamint a lektorálásért MAROS Gyulának és UHRIN Andrásnak.

Irodalom — References

- ÁRKAI, P., BALOGH, K., MÁTHÉ, Z., DEMÉNY, A., FÓRIZS, I. & NAGY, G. 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 és környéke perm képződményeinek rétegtana. — In: BÉRCZI I. & JÁMBOR Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*, — MOL Nyrt. – MÁFI kiadvány, Budapest, 187–210.
- BARABÁS A. 1956: A mecseki perm időszaki képződmények. — *Kandidátusi értekezés*, Magyar Állami Földtani Intézet Könyvtára, 93 p.
- CHIKÁN G. & KONRÁD GY. 1982: A Nyugat-Mecseki földtani térképezés újabb eredményei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1980-ról*, 169–186.
- CHIKÁN G., CHIKÁN G.-NÉ & KÓKAI A. 1984: A Nyugati-Mecsek földtani térképe. 1:25 000. — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- CSONTOS, L., BENKOVICS, L., BERGERAT, 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* **357/1–4**, 81–102.
- EASTMAN, J. R. 2003: IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and image processing. — Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, USA. CD.
- FÜLÖP J. 1994: *Magyarország geológiája. Paleozoikum II.* — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 445 p.
- GUEDES, A., RIBEIRO, H., VALENTIM, B. & NORONHA, F. 2009: Quantitative colour analysis of beach and dune sediments for forensic applications: A Portuguese example. — *Forensic Science International* **190/1–3**, 42–51.

- GYALOG, L., FÜRI, J., BORSODY, J., MAROS, GY. & PÁSZTOR, SZ. 2010: Geological Mapping of the Bátaapáti Tunnels (A bátaapáti vágatok földtani dokumentálása) — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése* **2009**, 305–329.
- HALÁSZ, A. 2009: A Cycles and rhythms within the Boda Claystone in the borehole Ib–4. — *Central European Geology* **52/3–4**, 325–342.
- HALMAI Á. 2010: Egy színelemzési módszer bemutatása az Ibafa-4 kutatófúrás példáján. — *Kézirat*, Pécs PTE TTK Földtani Tanszék. 5 p.
- JÁMBOR Á. 1964: A Mecsek hegység alsópermi képződményei. — *Jelentés*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 113 p.
- KONRÁD GY. 1998: Jelentés a Bodai Aleurolit Formáció 1995–98. évi kutatásáról. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 102 p.
- KONRÁD, GY. 1999: The Boda Claystone Formation. — "The Geology of today for tomorrow". A satellite conference of the World Conference of Science, Excursion Guide Book, Budapest, 65–75.
- KONRÁD GY. & HÁMOS G. 2006: A magyarországi nagy aktivitású radioaktív hulladékártó telephely kijelölésének földtani szempontjai és az eddigi kutatások. — *Acta Geographica, Geologica et Meteorologica Debrecina* **1**, 33–39.
- KONRÁD GY. & SEBE K. 2010: Fiatalkorú tektonikai jelenségek új észlelései a Nyugati-Mecsekben és környezetében. — *Földtani Közlöny* **140/2**, 135–162.
- KONRÁD, GY., SEBE, K., HALÁSZ, A. & BABINSZKI, E. 2010a: Sedimentology of a Permian Playa Lake: Boda Claystone Formation, Hungary. — *Geologos* **16/1**, 27–41.
- KONRÁD GY., SEBE K., HALÁSZ A. & HALMAI Á. 2010b: A Délkelet-Dunántúl földtani fejlődéstörténete – recens analógiák. — *Földrajzi Közlemények*. **134/3**, 251–265. (<http://foldrajz.ttk.pte.hu/foldtan/dk-dunantul/> [2011.12.06])
- MAJOROS GY. (szerk.) 1999: Nagyléptékű földtani vizsgálatok, regionális tektonikai és szedimentológiai modell kidolgozása. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős 100 p.
- MAROS, GY. & PÁSZTOR, SZ. 2001: New and oriented core evaluation method: ImaGeo. — *European Geologist* **12**, 40–43.
- MÁTHÉ Z. (szerk.) 1999: Ásvány-kőzettani, kőzetgeokémiai és izotóptranszport vizsgálatok. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 153 p.
- MUNSELL, A. H. 1912: A Pigment Color System and Notation. — *The American Journal of Psychology* **23/2**, 236–244.
- PRESS, W. H., TEUKOLSKY, S. A., VETTERLING, W. T. & FLANNERY, B. P. 1992: *Numerical Recipes in C*. — Cambridge University Press. 1018 p.
- SCHWARZACHER, W. 1975: *Sedimentation Models and Quantitative Stratigraphy*. — Elsevier, Amsterdam, 382 p.
- SZARKA R., KOLLÁR L., MAJOROS GY. & LOVAS A. 2003: A BAF-ra mélyült archív fúrások geológiai és mélyfúrás-geofizikai adatainak egységes feldolgozása. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt., Adattár, Kővágószőlős.
- VARGA A., RAUCSIK B., SZAKMÁNY GY. & MÁTÉ Z. 2006: A Bodai Aleurolit Formáció törmelékeny kőzettípusainak ásványtani, kőzettani és geokémiai jellemzői. — *Földtani Közlöny* **136/2**, 201–231.
- WARREN, J. D., DENNEY, T. S. & SAVRDA, C. E. 1998: MATLAB algorithm for grayscale analysis of carbonate cyclicality: example application to Demopolis chalk (Cretaceous, Alabama). — *Computers & Geosciences* **24/10**, 923–931.
- WÉBER B. 1977: Nagyszerkezeti szelvényvázlat a Ny-Mecsekből. — *Földtani Közlöny* **107/1**, 27–37.
- WEEDON, G. 2003: *Time-Series Analysis and Cyclostratigraphy*. — Cambridge University Press, Cambridge, 259 p.
- WELLS, N. A., KONOWAL, M. & SUNDBACK, S. A. 2002: Quantitative evaluation of color measurements: II. Analysis of Munsell color values from the Colton and Green River Formations (Eocene, central Utah). — *Sedimentary Geology* **151/1–2**, 17–44.
- ZILÁHI-SEBESS L. 2008: Petrofizikai módszerfejlesztés. — *Kézirat*, ELGI adattár, Budapest, 39 p.

Kézirat beérkezett: 2011. 07. 29.