

A Bodai Agyagkő Formáció ciklusos felépítése lyukgeofizikai szelvények alapján

HALÁSZ AMADÉ

PTE TTK Környezetföldrajzi és Tájvédelmi Tanszék, Pécs
E-mail: tade@gamma.ttk.pte.hu

Jelen tanulmány a karotázsgörbék alkalmazhatóságáról szól a Bodai Agyagkő ciklusvizsgálatában. A Bodai Agyagkővet harántolt 3 fúrás (Ib-4, BAT-4, BAT-5) ciklicitásvizsgálatát végeztem el a karotázsszelvények felhasználásával. A lyukgeofizikai vizsgálatok kiegészítik a korábbi eredményeket (Halász 2009, Halász, Halmi 2012) és a rétegsor további tagolását teszik lehetővé. A ciklicitást jellemzően az agyagtartalom változásában sikerült kimutatni. A természetes gamma- és fajlagosellenállás-értékek alapján meghatároztam eddig nem ismert olyan ciklusokat, amelyek jellemző vastagsága 7 m és 12 m. Ezek elsősorban a homogén agyagkőnek leírt rétegekben jelennek meg, tehát a természetes gamma-értékek alkalmasak a formáció ciklussztratigráfiai elemzésére. Megállapítottam, hogy a számított albittartalom a többi módszerrel elért eredményekkel korrelál, azonban többletinformációt nem nyújt azokhoz képest.

Halász, A.: Cycle stratigraphic analysis of the Boda Claystone Formation by using high-resolution well log data

The present cycle stratigraphic study is based on high-resolution well log data. Geophysical well logs proved the existence of characteristic cyclic units detected by other methods (Halász, Halmi 2012) and also the thickness of the comprising cycles (Halász 2009). I reported cyclicity in the clay content of the formation. Based on natural gamma and resistivity values, I defined previously unknown cycles with thicknesses of 7 m and 12 m. I could apply this to units considered as homogeneous, thus the natural gamma values can be used in the cycle stratigraphic analysis of the formation. I stated that it is not worth carrying out cycle analyses based on calculated albite contents during future studies, because it gives no extra information compared to other methods.

Beérkezett: 2012. június 29.; *elfogadva:* 2012. augusztus 31.

1. Bevezetés

A nagy aktivitású radioaktív hulladékok egyik potenciális befogadó kőzetének, a Bodai Agyagkő Formációnak (BAF) és földtani környezetének, a Nyugat-Mecseknek a kutatása több évtizedre nyúlik vissza. A megfelelő tárolóhely kiválasztása szempontjából fontos tényező a képződmény horizontális és vertikális tagolódása és homogenitása. A Bodai Agyagkő Formáció esetében a ciklicitásvizsgálat ebben a témakörben nyújt hasznosítható ismereteket. A korábban egyhangúnak leírt rétegsor (Jámbor 1964) öt makroszkóposan (és a fő kőzetalkotó komponensek alapján) elkülöníthető kőzetből épül fel (Máthé 1999), e kőzettani tulajdonságok szerint tagolható. A lyukgeofizikai módszerek használatával a makroszkóposan nem észlelhető kőzettani változások is megismerhetővé válnak, és további tagolást tesznek lehetővé, ezáltal pontosabb képet adva a térbeli változékonyságról. Vizsgálatom célja tehát a képződmény részletesebb tagolása a geofizikai paraméterek segítségével.

2. Vizsgálati módszerek

A ciklussztratigráfiai elemzéshez az Ib-4, a BAT-4 és a BAT-5 lyukgeofizikai szelvényeit vizsgáltam. A feldolgozás során a természetes gamma-, fajlagosellenállás- (10 és 40 cm-es felbontásban), neutronporozitás-, valamint a számított albittartalom-görbéket használtam fel. A neutronporozitás- és a fajlagosellenállás-értékeket mindhárom, az albitot a BAT-4, BAT-5 számú fúrásban, a természetes gamma-értéket pedig csak az Ib-4 számú fúrásban tudtam értelmezni a rendelkezésre álló adatok alapján. A mért és számított értékek spektrumanalízissel történő feldolgozása során a jellemző ciklusok vastagságát igyekeztem meghatározni.

A természetes gamma-szelvények jól tükrözik a kőzet agyagtartalmának változását, esetenként mennyiségi értékelést is lehetővé téve. Mivel az agyagkő gamma-sugárzása viszonylag nagy, a mérés alkalmas a szemcseméret meghatározására. Szarka et al. (2003) vizsgálatai szerint a természetes gamma (TG) $\mu\text{R/h}$ -ban mért értéke és az illit száza-

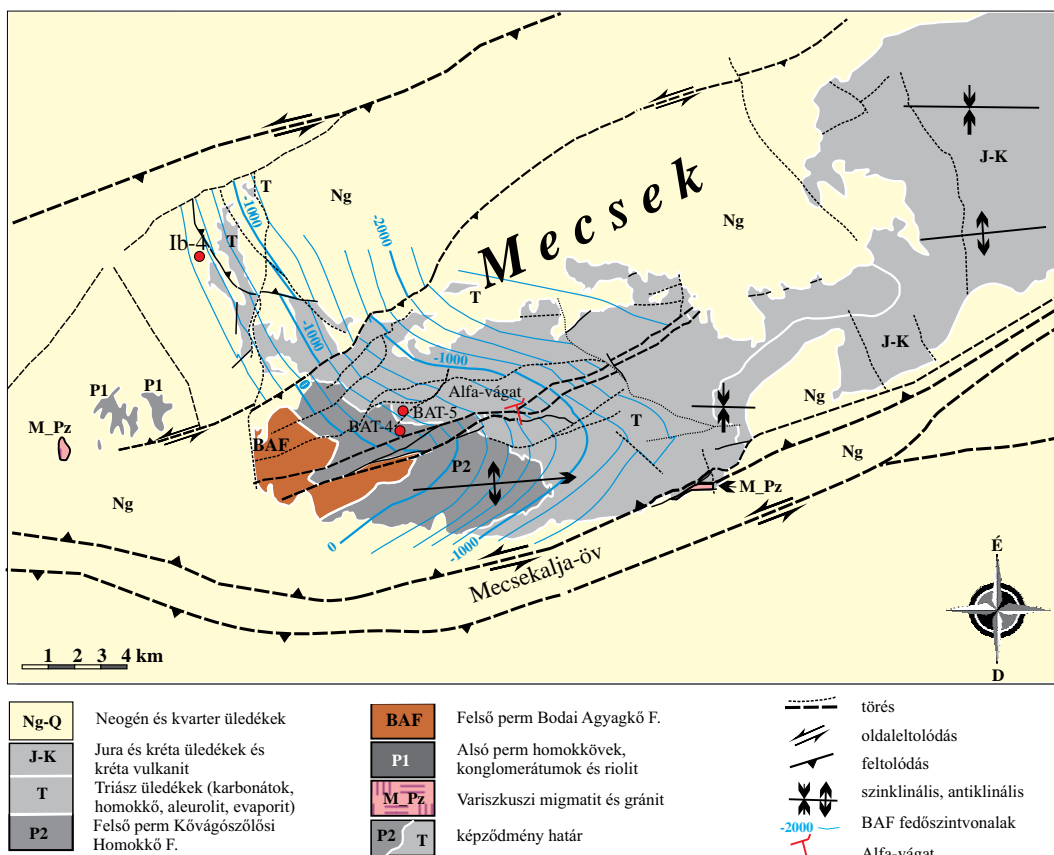
lékos aránya között a korrelációs együttható igen nagy. Eből azt a következtetést vonták le, hogy a természetes gamma mérésből pl. az illittartalom meghatározhatónak tűnik. Varga et al. (2006) megállapítása szerint az agyagkövekben az illit + muszkovit mennyisége általában nagyobb, mint az albitolitokban, az aleurolitokban és a homokkövekben, ami alátámasztja Szarka et al. (2003) eredményeit. Az összgamma-karotázsmérések alapján kimutatható ciklicitást befolyásolhatják a nyugat-mecseki perm képződményekben ismert uránanomáliák (Barabás 1956). A mérési eredményekre hatással lehet a circondulás is (Hurley, Faribau 1957). A formáció jellemzése szempontjából fontos agyagtartalom mérését viszont az agyagásványokhoz köthető K is befolyásolja, emiatt a spektrális gamma-mérések pontosabb eredményt mutatnának.

A formáció albittartalma igen jelentős, amely részben „fészkek” formájában, részben kötőanyag formájában van jelen, 13–59% között változó mennyiségben (Máthé 1999). Kötőanyag formájában makroszkóposan nem azonosítható, kimutatására azonban a lyukgeofizikai módszerek alkalmazhatók. A BAT-4 és BAT-5 geofizikai mérési adataiból számított albittartalom alapján próbáltam ciklusokat kimutatni. Az elsődleges vizsgálat során kiderült, hogy az albittartalom kiválóan korrelál a mátrixsűrűséggel (0,993), a

rendelkezésre álló dokumentációból azonban nem derült ki, hogy az albittartalom mérése milyen módszerrel történt. Az albittartalom mennyisége a BAT-4 és BAT-5 fúrásban valószínűleg számított érték. Az albittartalom-számítás a neutronporozitás- és sűrűségmérések keresztábrájának (*cross-plot*) felhasználásával készült (Zilahi-Sebess 2008). A használt közetmodell két mátrixkomponensből (albit és illit-hematit) és a porozitásból áll. A porozitásmentes pontok az albit- és illit-hematit (illit + hematit állandó arányú keverék) pontot összekötő egyenes szakaszra esnek (Maros et al. 2008).

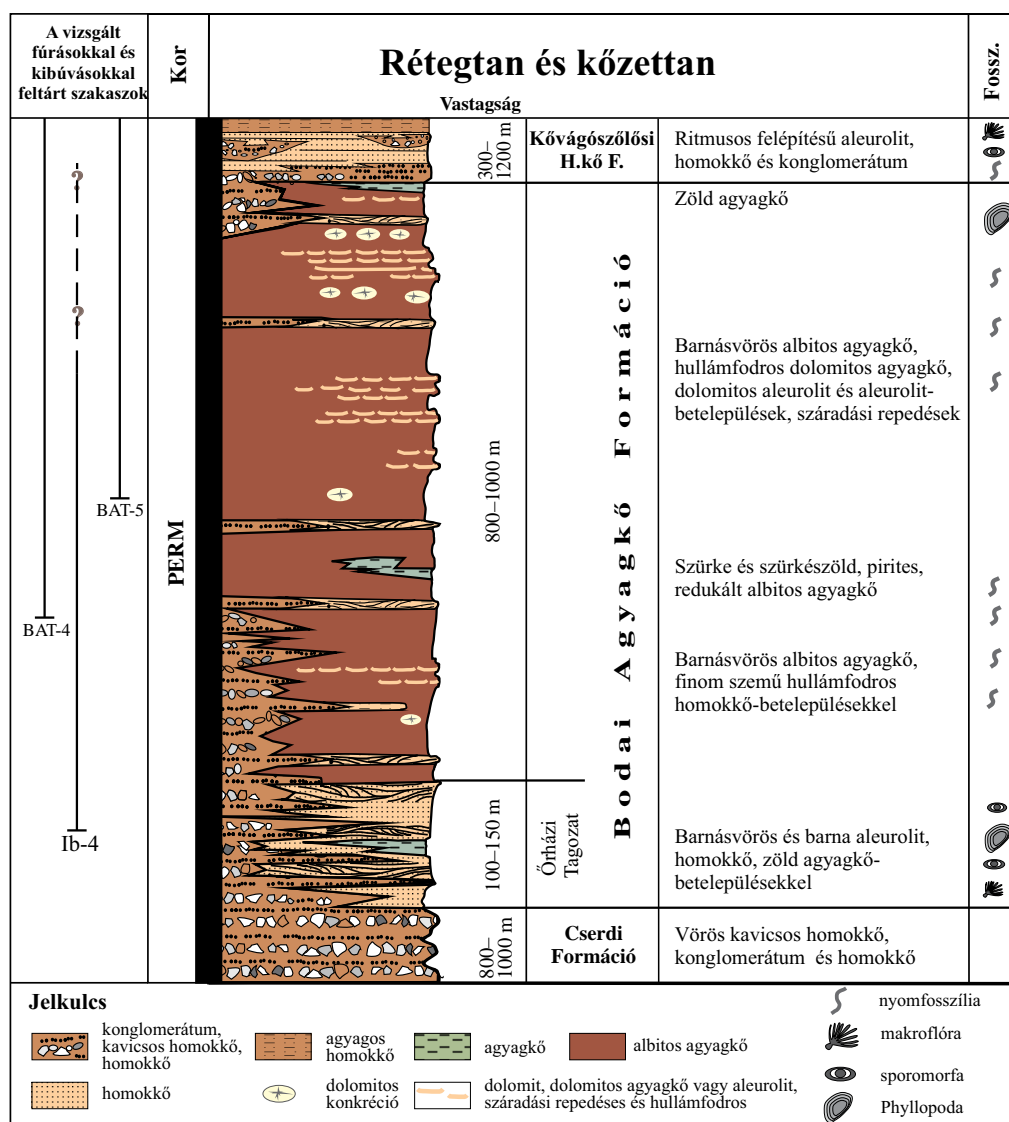
3. Földtani háttér

A Bodai Agyagkő Formáció a Tiszai-főegységben a Nyugati-Mecsek prekainozoos aljzatának (1. ábra) jellemző képződménye (Jámbor 1964, Haas et al. 2010), amely először Barabás (1956) kandidátusi értekezésében különül el 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.



1. ábra A Nyugati-Mecsek és környékének földtani térképe a Bodai Agyagkő felszíni elterjedésével és a vizsgált fúrásokkal (készült Weber 1977, Chikán, Konrád 1982, Chikán et al. 1984, Konrád 1996, Csontos et al. 2002 és Konrád, Sebe 2010 alapján)

Figure 1 Geological map with depth contours of the top of the BCF and with the examined boreholes



2. ábra | A Bodai Agyagkő elvi rétegoszlopa a fedő és fekü képződmények feltüntetésével (Konrád 1999)

Figure 2 | Idealised lithological column of the BCF

2010a). A Bodai Agyagkő létrejötté egy olyan sós tóhoz köthető (Demény et al. 1996), mely a kristályos aljzat hosszú ideje tartó denudációjának következtében enyhén lejtő morfológiájú környezetben foglalt helyet (Konrád et al. 2010b).

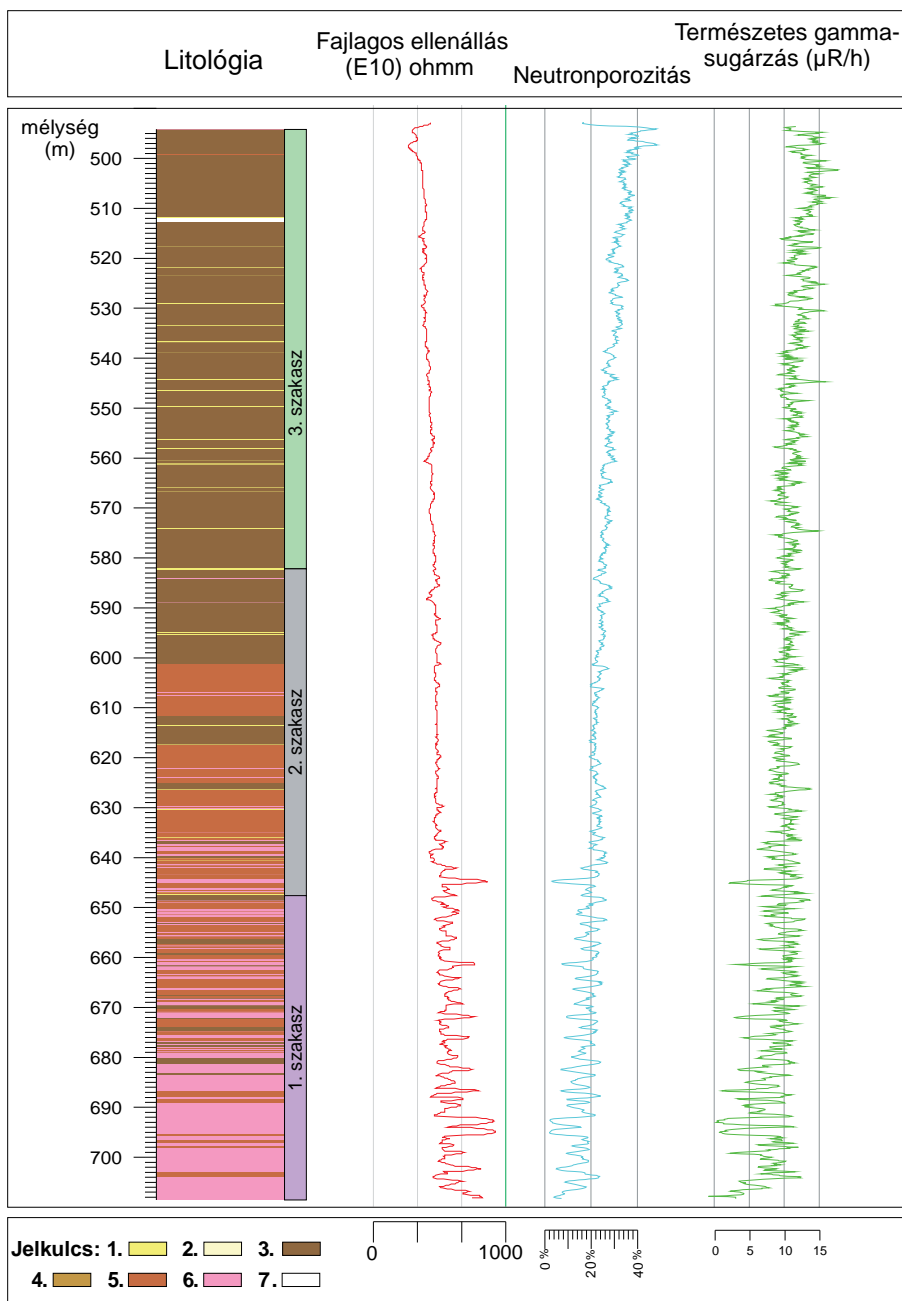
A térképezési adatok alapján (Konrád 1999) a formációt három fő litosztratigráfiai alegységre lehet elkülöníteni (2. ábra):

Alsó: Őrházi Tagozat, korábban „átmeneti rétegek”. Barna, vörösbarna, csillámos homokkő, amelyben aleurolit- és agyagkő-betelepülések találhatóak. Vastagsága 100–150 m.

Középső: vörösbarna, albitos, kőzetlisztes agyagkő, melyben kalcit, dolomit, vagy albit kötőanyagú aleurolit és finom szemű homokkőrétegek, valamint dolomit, dolomitos agyagkőrétegek települnek. Fokozatos rétegváltozással fejlődik ki az Őrházi Tagozatból. Vastagsága 350–450 m.

Felső: albitos agyagos aleurolit, kőzetlisztes agyagkő, száradási repedéses dolomitbetelepülésekkel és dolomit-kongréciókkal. 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, valamint azok között számos átmeneti típust különítettek el (Barabás, Barabásné Stuhl 1998, Konrád 1998, Máthé 1999, Árkai et al. 2000, Varga et al. 2006, Konrád et al. 2010a). Az elkülönített fő litofáciesek közötti különbségek nem mindig élesek, sőt gyakoribbak az átmeneti típusok. Az agyagkő és az aleurolit kevert típusainak elkülönítése a terepi dokumentálás gyakorlatában nem könnyű feladat. E típusok uralják döntően a formáció rétegsorát, a dolomitos és a homokkőves rétegek ezekben közbe-településként figyelhetők meg. Kivétel ez alól az Őrházi Tagozat, amelyben a homokkő a domináns kőzettípus, és a



3. ábra | Az Ib-4 számú fúrás vizsgált karotázsgörbéi (Halász, Halmi 2012). Jelkulcs: 1. dolomit, 2. agyagos dolomit, 3. agyagkő, 4. kőzetlisztes agyagkő, 5. agyagos aleurolit, 6. (kőzetlisztes) homokkő, 7. maghiány
Figure 3 | Borehole logs of Ib-4 well. Legend: 1. dolomite, 2. clayey dolomite, 3. claystone, 4. silty claystone, 5. clayey siltstone, 6. (silty) sandstone, 7. missing core

finomabb szemű frakciók képviselik a betelepülések jelentős hányadát.

4. Eredmények

4.1. Az Ib-4 számú fúrás ciklicitáselemzése lyukgeofizikai módszerekkel

Az Ib-4 számú fúrás esetében az említett természetes gammat és neutronporozitást, valamint a fajlagosellenállás-

görbéket vizsgáltam (3. ábra). A neutronporozitás-érték és a kőzet albittartalmának korrelációja alapján elvégeztem ezek ciklusainak feldolgozását is a spektrumanalízis módszerével.

Azt feltételeztem, hogy a formációra jellemző, általában néhány cm vastag betelepülések (dolomitos rétegek és kötegek) hatása nem fog megjelenni a geofizikai görbéken, mivel a nagyobb szondahossz (10 cm) és az ahhoz kapcsolódó kisebb vertikális felbontóképesség az ennél vékonyabb rétegek kimutatását nem teszi lehetővé. Ez alól kivétel a – néhány centiméteres felbontású – mikroszondás ellenállás-

mérés, illetve a lyukfalleképező módszerek (akusztikus lyukfal-televízer). A hagyományos módszereknél a vékony rétegzettség csak összegzett hatásként jelentkezhet, azonban következtetni lehet rá, hiszen a 10 és 40 cm szondahosszú konvencionális elektromos szondák indikációja is látványosan különbözhet, ha a két szondahossz közé esik a rétegek vastagsága. A dolomitos rétegek kimutatására ez a módszer tehát csak közvetve alkalmazható, ahol pedig egy hosszabb köteges rétegcsoport jelenik meg, ott a természetes gamma-görbékben is jelentkezik változás.

4.1.1. A természetes gamma-szelvények ciklicitás szempontú értékelése

A természetes gamma- és a fajlagosellenállás-görbék együttes elemzése alapján a szemcseméret-változás felfelé finomodó trendet mutat, azonban – főleg az „átmeneti rétegek” – változó ideig tartó, kisebb-nagyobb intenzitású üledék-beáramlás nyomai lehetnek, amelyek elvétele a felsőbb réteggösszletekben (ott kisebb intenzitással) is követhetők.

A természetes gamma-szelvény elsősorban azokon a szakaszokon használható tagolásra, ahol a homogén szerkezetűnek leírt aleurolit, illetve kőzetlisztes agyagkő nagy vastagságban fejlődött ki. Ezeken a szakaszokon a természetes gamma-szelvény látványosan ciklusos rajzolatot mutat. Tehát az agyagtartalomra érzékeny természetes gamma grafikonján jelentkeznek a finom változások. A 3. ábra jól mutatja, hogy felfelé a ciklusok egyre vékonyabbak, ami a lerakódási idő rövidülését, vagy a beszállított üledék mennyiségének csökkenését jelentheti. Az ábrán látszik, hogy nem teljesen egyforma ciklusokról van szó, ami részben a mérés módszeréből, részben a ciklusok földtani felépítése közötti eltérésekből adódik.

A módszerből adódó különbséget az okozhatja, hogy egy adott mélységpontban a természetes gamma értékének kb. 70%-át a lyukfaltól számított kb. 15 cm távolságon belüli környezet határozza meg. A gamma-értéknek a kálium megközelítőleg az egyharmadát teszi csak ki, vagyis elég jelentős részben a nagy fajlagos felületen redukív környezetben adszorbeálódott urán-, illetve az agyagfrakcióhoz kötődő tóriumtartalmú ásványok szerepe is jelentős az agyagok természetes gamma-aktivitásában (Hurley, Faribau 1957). Ez összességében azt eredményezi, hogy a természetes gamma értéke a szállított üledékek esetén valamilyen módon a fajlagos felülettel arányos, mivel a lerakódás/ülepedés közbeni jelentős permeabilitás mellett végbemenő folyamat eredmé-

nyét látjuk, vagyis ezzel válik olyan tökéletes agyagindikátorrá a természetes gamma, hogy makroszkóposan az ilyen finomságú változások már nem is láthatók.

A vizsgálat során azt is tapasztaltam, hogy a zöld (reduktív?) rétegeknél, rétegfoszlányoknál a környező rétegekhez képest nagyobb a természetes gamma értéke, jellemzően 20 ($\mu\text{R/h}$) körüli. Egyes esetekben azonban a nagy természetes gamma-értékhez nem kapcsolódott makroszkóposan megfigyelhető zöldes réteg. Az Ib-4 számú fúrás ásványkőzet-tani vizsgálataiban során mindössze egy mintában (G-4234) találtak a kérdéses jelenséggel (Kovács 2005). A minta alapszíne vörösesbarna, melyet zöldeskék foltok tarkítanak. Ezek színhatára éles, azonban az anyag minőségében nem mutatkozik változás a vékonycsiszolat alapján.

A formáció kronosztratigráfiai tagolásának problematikája miatt a ciklusok időtartamát (*time series*) nem, de a mélységet (*depth series*), vagyis a ciklusok vastagságát lehetett vizsgálni (Halász 2009). A természetes gamma-mérés agyagtartalommal szembeni érzékenysége makroszkóposan nem felismerhető ciklicitást mutathat. A rendelkezésre álló adatbázisból a PAST nevű program algoritmusát használva (Press et al. 1992) Lomb-periodogramokat állítottam elő. A periodogram „Frequency” tengely egysége az $1/x$ egység), ahol az x a kapott érték méterben (pl. a 0,1 frekvencia a 10 m-es vastagságnak felel meg). A véletlenszerű hibákat kiszűrtem, majd a 0,01 és 0,05 szignifikanciaszintnek megfelelő csúcsokat értékeltem.

A módszer felbontásából adódóan néhány tíz centiméteres ciklus (homokkő/aleurolit, agyagkő/dolomit) nem várható az elemzés alapján, és az agyagtartalom ilyen finom léptékű változása sem. A szemcseméret alapján meghatározott ciklusvastagságok (az egy méter feletti tartományban) a természetes gamma-értékek szerint is jól követhetők a fúrás teljes szelvényében. A vizsgálat eredményeit az 1. táblázatban foglaltam össze. Jól látszik, hogy a rétegsor egészére jellemző ciklusvastagságok (Halász 2012) egyenként is megjelennek az egyes réteggösszletekben. Erre jó példa a 12,5 m-es ciklusvastagság az Őrházi Tagozatban, a 7,6 m-es a középső réteggösszletben, valamint a 2,5–2,6 m-es ciklusvastagság az Őrházi Tagozatban és a felső réteggösszletben egyaránt. A homokkőves rétegek kivételével jelentkezett egy 3 m-es, valamint egy kb. 1,5 m vastagságú ciklus is. Ezeket a ciklusokat a terepi dokumentálás során nem, csak a természetes gamma-szelvényen sikerült elkülöníteni, ezért úgy gondolom, hogy azok az agyagtartalom makroszkóposan nem követhető változásait tükrözik.

1. táblázat. Jellemző ciklusvastagságok az Ib-4 sz. fúrás természetes gamma-értékei alapján

	Jellemző ciklusvastagságok méterben					
Közettan	13,8	7,2	2,4	0,97	0,64	0,59
Teljes fúrás	12,5	7,0	2,6	3,44	–	–
Őrházi Tagozat	12,6	–	2,6	–	–	2,0
Középső sz.	–	7,6	2,5	3,4	–	1,6
Felső sz.	–	5,8	–	3,2	–	1,42

4.1.2. A fajlagosellenállás-szelvények ciklicitás szempontú értékelése

A fajlagosellenállás-szelvények közül a részletesebb, 10 cm-es felbontásút elemeztem. A mérés során kapott értéket – az egyes kőzetek fajlagos ellenállásán túl – számos egyéb tényező is befolyásolja (porozitás, pórusokban található fluidum). Általánosságban elmondható, hogy a homok(kő) (fluidumtartalomtól nagyon függő) és a dolomit ellenállása nagy, míg az agyag(kő) ellenállása kisebb. A karotázsgörbe és a rétegoszlop összevetése alapján ez az összefüggés jól látszik (3. ábra). A dolomitos betelepülések csak abban az esetben jelentkeznek a karotázsszelvényen, ha kötegekben csoportosulnak, és jelentősen eltérő kőzetanyagú azok fedője és fekéje. A görbén jól látszik a litológia alapján megválasztott első és második, valamint második és harmadik rétegösszlet határa. A második rétegösszletben egyre kevesebb a magas érték (100–600 ohmm), majd a harmadik rétegösszletben a görbe lefutása egyenletesebbé válik a vékony dolomitos betelepülések és az agyagos/kőzetlisztes köztípusok váltakozása miatt. Az elméletileg nagyobb értéket mutató dolomitok vastagsága nem éri el az elméleti mérési küszöböt, emiatt azok megjelenése is ritkább.

Az ellenállásértékek alapján meghatározott jellemző ciklusvastagságokat a 2. táblázatban foglaltam össze. Az első sorban szintén a litológia alapján kapott vastagságértékeket tüntettem fel.

A fúrómag alapján meghatározott köztípusok ciklusai a 2 m-es vastagság felett jó egyezést mutatnak a fajlagosellenállás-szelvényen elkülönített ciklusokkal. A 11 m-nél vastagabb ciklusok csak a dolomitbetelepüléses felső rétegösszletre jellemzők, míg a 7–8 m-es vastagság szinte a teljes fúrásra. E két vastagabb ciklus jelenléte megfeleltethető a dolomitköteges rétegek agyagkő/dolomit ciklusának. A 2,5 m-es ciklicitást a homokkő gradált rétegzése idézi elő.

Az Őrházi Tagozatban sikerült azonosítani egy, a földtani dokumentálás során nem észlelhető 16 m-es ciklicitást is, amely a homokos (agyagos) aleuolitrétegek és a több méter vastag homokkőrétegek váltakozásából adódik a fúrás legalsó rétegösszletében (3. ábra). Az ellenállásértékek spektrumanalízise alapján jól tagolható a rétegsor és a jellemző ciklicitás is követhető.

4.1.3. Az albittartalom alapján kijelölhető ciklicitás

A neutronaktivációs módszer feldolgozását azért alkalmaztam, mert ígéretes kísérletek folynak az albittartalom e módszerrel történő meghatározására (Lovas et al. 2005). Az Ib-4 fúrás esetében az albittartalom kimutathatósága azonban nem tökéletes, mivel a módszer valójában a Na-tartalmat jelzi. Az Ib-4 jelű fúrás rétegsorából ismert nátriumtartalmú analcím is, tehát ebben a fúrásban e kettő összegzett arányát mutatja. A neutronszelvényekből (a BAT-4 és BAT-5 számú fúrás esetében is) csak bonyolult számításokkal sikerült előállítani az albittartalomra utaló görbét, de a kettő jó korrelációja miatt nem tekinthetem el annak vizsgálatától. A módszer előnye, hogy a kőzet kémiai összetevőiről szolgáltat információt, míg hátránya, hogy a mérés során kapott eredmények kiértékelési metodikája nem teljesen megoldott (Lovas et al. 2005). A feldolgozás során figyeltem fel arra, hogy a neutronporozitás- és a természetes gamma-értékek jól korrelálnak egymással (0,83), ez utóbbira jellemző kiugró értékek a porozitásgörbén azonban „simítottabban” jelennek meg. A korábban meghatározott rétegösszlethatárok (amelyek egy-egy nagyobb ciklus határainak tekinthetők) a neutronszelvényen is jól követhetők, igaz, nem olyan markánsan, mint az ellenállásgörbén.

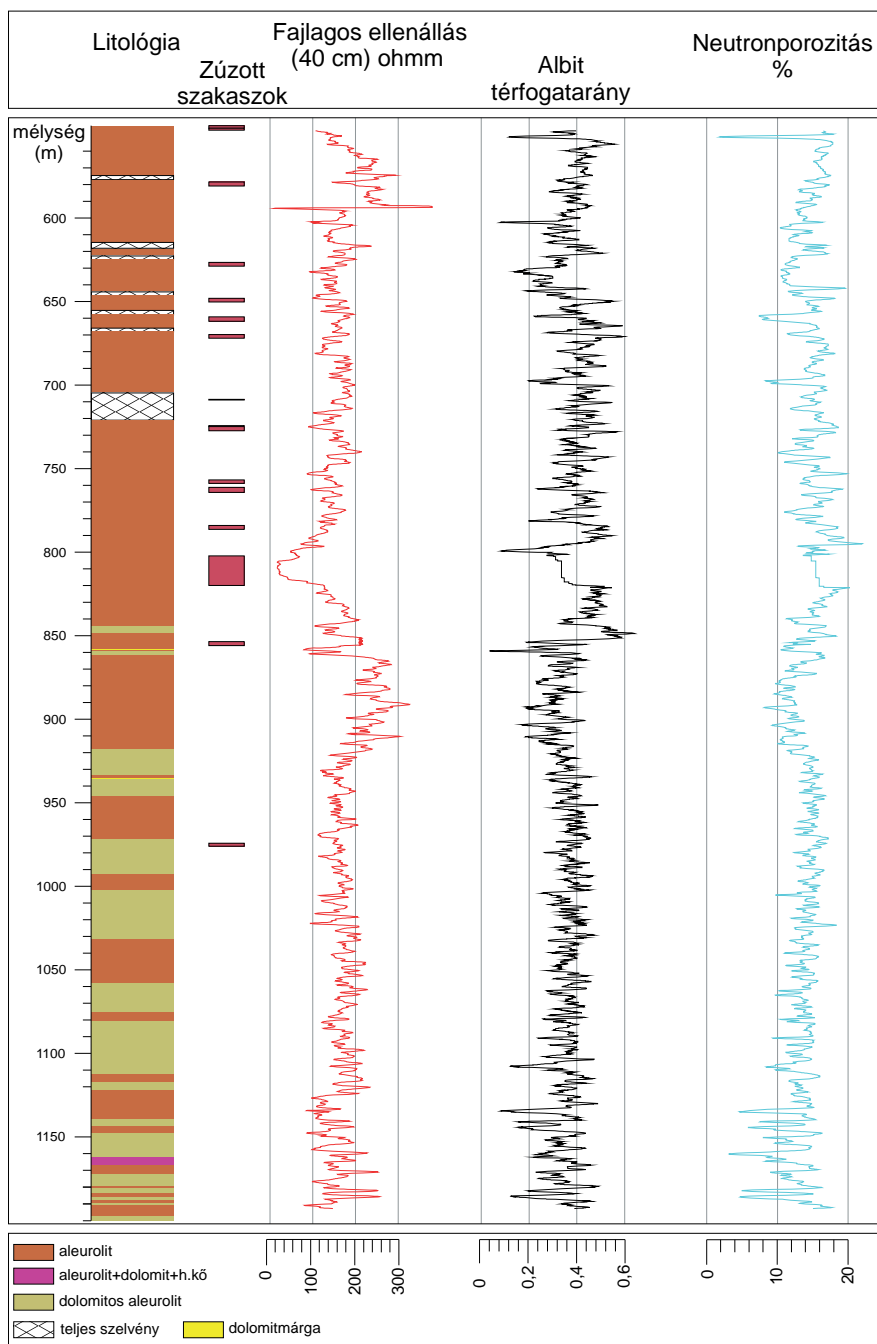
A Lomb-periodogram segítségével számolt jellemző vastagságok (3. táblázat) érdekes eredményt hoztak. A természetes gamma-görbével való jó korreláció alapján, ah-

2. táblázat. Jellemző ciklusvastagságok az Ib-4 sz. fúrás fajlagosellenállás-értékei alapján

	Jellemző ciklusvastagságok méterben					
Kőzetan	13,8	7,2	2,4	0,97	0,64	0,59
Teljes fúrás	12,2	8,4	2,0	1,6	–	16,5
Őrházi Tagozat	–	8,3	2,5	–	–	16,4
Középső sz.	–	7,6	2,5	–	–	–
Felső sz.	11,2	5,5	–	–	–	–

3. táblázat. Jellemző ciklusvastagságok az Ib-4 sz. fúrás neutronporozitási értékei alapján

	Jellemző ciklusvastagságok méterben					
Kőzetan	13,8	7,2	2,4	0,97	0,64	0,59
Teljes fúrás	12,8	–	2,6	3,2	1,33	27,0
Őrházi Tagozat	14,3	5,5	–	3,2	–	16,4
Középső sz.	–	7,6	2,5	3,1	1,5	–
Felső sz.	12,4	–	–	–	–	16,2



4. ábra A BAT-4 sz. fúrás vizsgált karotázsgörbéi

Figure 4 Borehole logs of BAT-4 well

hoz hasonló ciklusvastagságot vártam (12,2, 7,5, 3,2 és 2,6 m), azonban a felső rétegösszletben a 12,4 m a legvékonyabb várható ciklus a számítás alapján. A neutronaktívációs módszerekkel kapott eredmény elméletileg utal a kőzet albittartalmára, azonban a kisléptékű ciklusos változások ezzel a módszerrel nem mutathatók ki. Számolni kell azzal a ténnyel, hogy a neutronszelvényeken az albitos és dolomitos betelepülések egyaránt nagy értékeket mutatnak, amelyeket a spektrumanalízis során nem lehet szétválasztani.

4.2. A BAT-4 és a BAT-5 sz. fúrás ciklicitáselemzése lyukgeofizikai módszerekkel

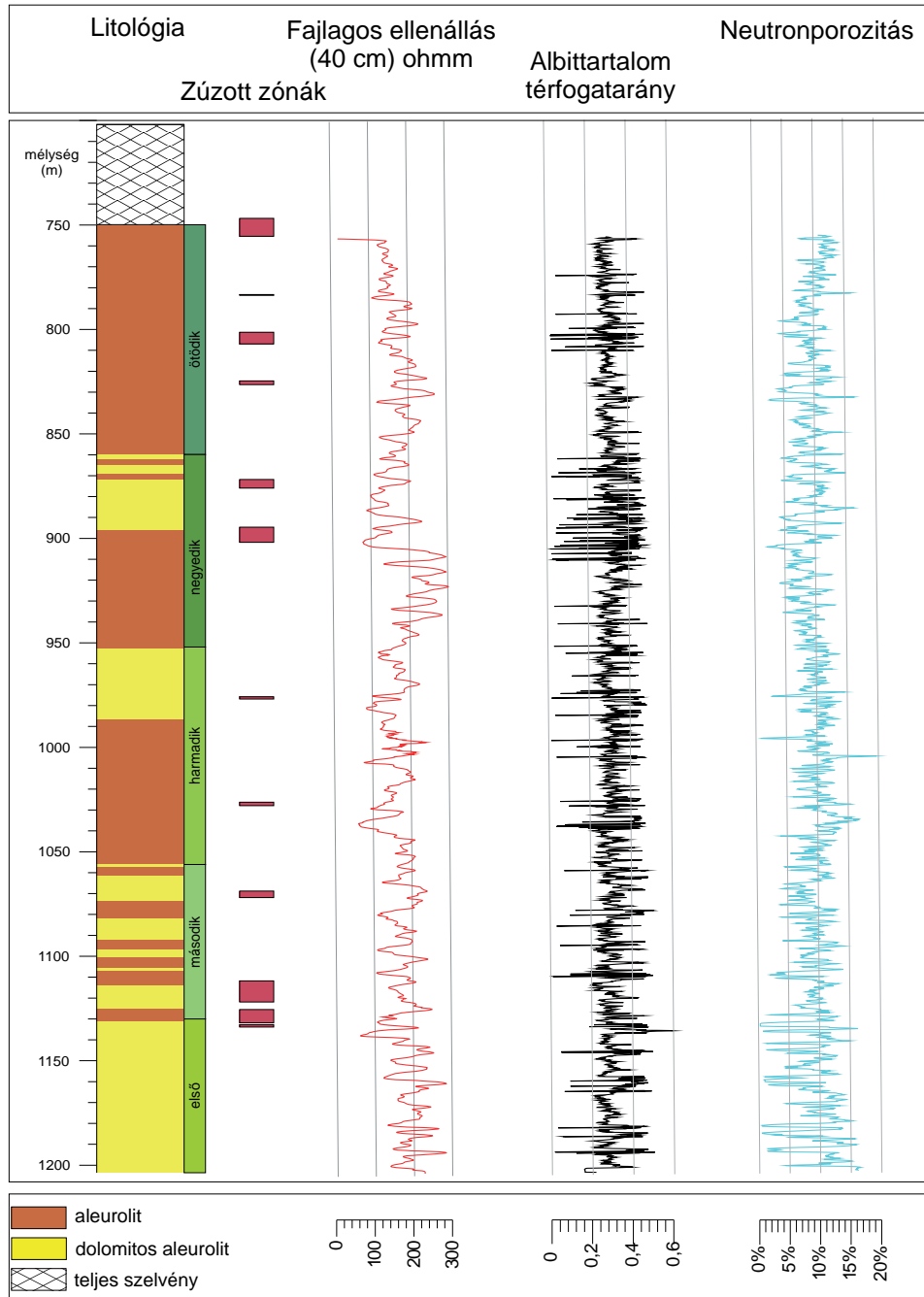
A BAT-4 sz. fúrás rendelkezésre álló karotázsgörbéiből a fajlagos ellenállást, a számított albittartalmat (a továbbiakban ezt értem albittartalom alatt) és a neutronporozitást vizsgáltam. Az albittartalom geofizikai módszerekkel történő meghatározására már történtek korábban kísérletek, részben a neutronaktívációs módszer, részben a mátrixsűrűség felhasználásával (4. ábra). Ebben a fúrásban az albit és

4. táblázat. Jellemző ciklusvastagságok a BAT-4 sz. fúrás geofizikai értékei alapján

Jellemző ciklusvastagságok méterben				
E40	27,0	16,5	7,8	3,9
Albit	20,3	–	8,7	5,4
N. porozitás	–	14,2	8,4	–

a mátrixsűrűség korrelációja 0,993 volt, míg az albittartalom és a neutronporozitás korrelációja csupán 0,658.

A rétegsorra jellemző ciklicitás az aleurolit/dolomit és a homokkő/aleurolit/dolomit ciklusok váltakozásából adódik,



5. ábra | A BAT-5 sz. fúrás vizsgált karotázsgörbéi

Figure 5 | Borehole logs of BAT-5 well

5. táblázat. Jellemző ciklusvastagságok a BAT-5 sz. fúrás geofizikai értékei alapján

	Jellemző ciklusvastagságok méterben				
E40	47,2	25,2	15,15	6,1	
Albit	29,7	11,7	8,5	5,1	2,1
N. porozitás	27,7		8,7	6,5	

ám azok vastagságát csak közelítőleg lehetett megadni, mivel a földtani leírás nem tartalmaz erre vonatkozó pontosabb adatokat. Az előző fúráshoz hasonlóan itt is a spektrumanalízist használtam a ciklusvastagságok megállapításához, amelyeket a 4. táblázatban foglaltam össze.

A fajlagos ellenállást tekintve a 8 és 16 m körüli értékek jó egyezést mutatnak az Ib-4 fúrásban megismert vastagságokkal, azonban a 27 m hosszúságú ciklusokat eddig nem sikerült igazolni, ahogy az albittartalom alapján jelentkező 20 m-eseket sem. A neutronporozitás értékek alapján megjelenő 14 és 8 m-es ciklusok szintén megtalálhatók az Ib-4 számú fúrásnál, azonban az ott gyakori 1,5–3,2 m közöttiek itt egyáltalán nem mutathatók ki.

A BAT-5 fúrásban (5. ábra) is kiszámoltam az albittartalom és a neutronporozitás, valamint mátrixsűrűség korrelációs kapcsolatát. Az utóbbival újra nagy, 0,995, míg a neutronporozitással csupán –0,338 korrelációs értéket kaptam. Ezek szerint ebben a fúrásban a számított albittartalom és a neutronporozitás között gyenge a korreláció.

Az ellenállásszelvények alapján az eddig is ismert ciklusvastagságok jelentek meg, kiegészülve egy 47,2 m-es ciklussal (5. táblázat). Ez utóbbi megfeleltethető az aleurolit és dolomitos aleurolit váltakozásának. A számított albittartalom szerint a BAT-4 fúrás eredményeihez hasonló értékeket kaptam, ami jó korrelációs lehetőségre utal. Egyedül itt mutatkozott az Ib-4 rétegsorára nagyon jellemző, 2 m körüli ciklus, amely a homok/aleurolit és agyagkő/dolomit típusok vastagságának felel meg. A neutronporozitásból számított vastagságok mindegyike ismert a korábbi fúrásokból, azonban az Ib-4 számú fúrásban megismert vékonyabb ciklusok itt hiányoznak.

5. Összefoglalás, következtetések

A mélyfúrás geofizikai szelvényekből kiolvasható ciklicitás elemzésével a BAF kutatása során korábban nem foglalkoztak. A munka során a ciklicitás szempontjából fontos tulajdonságokról információt adó adatsorokat vizsgáltam: a természetes gamma, a fajlagos ellenállás, a neutronporozitás és a számított albittartalom értékének változásait. Elsődleges célom volt a makroszkóposan nem vagy nem pontosan meghatározható agyag- és albittartalom-változás ciklicitásának meghatározása.

Az Ib-4 jelű fúrás fajlagos ellenállás és a neutronporozitás görbéi alapján jól elkülöníthetők a korábban meghatározott rétegösszlethetők (Halász 2010). A neutronaktivációs módszerek közül a neutronporozitási értékek alapján ko-

rábban történtek próbálkozások az albittartalom meghatározására. Emiatt tettem kísérletet az albittartalomtól függő ciklicitás meghatározására, amely fenntartásokkal kezelendő. A BAT-4 és BAT-5 sz. fúrásnál rendelkezésre állt az albittartalom-görbe, amelyen sikerült ciklusokat kimutatni, ám azok litológiai ellenőrzésére jelen munka nem terjedt ki.

Az Ib-4 jelű fúrásban a litológia szerint meghatározott ciklusvastagságok jól követhetők a természetes gamma-adatok alapján is, amelyek az agyagtartalom-változás 3 és 1,5 m vastag ciklusait jelölik. Így a természetes gamma-értékek vizsgálata eredménnyel használható a ciklusok kimutatásában. A felső rétegösszletből eddig nem ismert 8–10 m körüli ciklusok jelenléte igazolható a spektrumanalízis segítségével. Az ellenállás- és neutronporozitás-görbék alátámasztják a litológia alapján meghatározott ciklusok létezését a két méteres tartomány felett, sőt, ki is egészül egy 3,2 és egy 16 m-es ciklussal. A 16 m körüli érték az Őrházi Tagozatban követhető jobban, míg a 3,2 m részben az átmeneti, részben a középső rétegösszletre jellemző, ahol homok-köréteggként vagy betelepülésként van jelen.

A két BAT jelű fúrás karotázsszelvénye alapján az 5, 8 és 16 m körüli ciklusvastagság volt domináns, ami jó egyezést mutat az Ib-4 számú fúrásban megismert ciklusokkal. Lényegi különbség az Ib-4 számú fúráshoz képest, hogy a 20 m és az a feletti vastagság is jelentkezett, míg az 5 m alatti értékek csak egy esetben (BAT-5 albittartalom görbe). A görbék alapján is hasonló értékek olvashatók le, ám az albittartalom lefutásában néhol sűrűn jelentkező, 0,5–1 m-ként megfigyelhető kiugró értékek a Lomb-periodogramon nem mutatkoznak.

A különböző lyukgeofizikai szelvények alapján meghatározott ciklusvastagságok jól korrelálhatók egymással és a fúrásban dokumentált ciklusokkal, valamint a makroszkóposan nem látható tulajdonságok alapján is sikerült a képződést tovább tagolni.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom a Mecsekérc Környezetvédelmi Zrt.-nek, hogy rendelkezésemre bocsátotta az archív és a jelenleg folyó kutatások jelentéseit. Köszönöm a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. (korábban Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht.) vezetőinek, hogy engedélyt adtak a kutatási jelentésekbe való betekintésre és azok felhasználására. A kutatás egy része az RHK Kft. támogatásával készült.

Szeretnék köszönetet mondani a kutatás során nyújtott érdemi segítségért Konrád Gyulának és Halmai Ákosnak, valamint a lektorálást Zilahi-Sebess Lászlónak és dr. Szabó Norbert Péternek.

Hivatkozások

- 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. & Jámor 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 Könyvtár, 93 o.
- 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., Wórum 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
- Demény A., Fórizs I., Máthé Z., 1996: A Preliminary Stable Isotope Study on a Potential Radioactive Waste Repository Site in the Mecsek Mountains, Southern Hungary. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 10, 1415–1417
- Fülöp J., 1994: Magyarország geológiája. Paleozoikum II. 445 o.
- Haas J., Budai T., Csontos L., Fodor L., Konrád Gy., 2010: Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1 : 500 000 [Pre-Cenozoic geological map of Hungary, 1 : 500 000]. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest
- Halász A. 2009: A Cycles and rhythms within the Boda Claystone in the borehole Ib-4. *Central European Geology* 52/3–4, 325–342
- Halász A., 2011: A Bodai Aleurolit Formáció ciklussztratigráfiai vizsgálata. PhD disszertáció, Pécsi Tudományegyetem, 134 o.
- Halász A., Halmai Á., 2012: Homogén kőzetek színelapú elemzésének módszere az Ibafa Ib-4 fúrásban harántolt Bodai Agyagkő Formáció példáján. *Földtani Közlöny* 142/2, 125–136
- Hurley P. M., Faribau H. W., 1957: Abundance and Distribution of Uranium and Thorium in Zircon, Sphene, Apatite, Epidote and Monazite in Granite Rocks. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 38 p.
- Jámor Á., 1964: A Mecsek hegység alsópermi képződményei. Jelentés. Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 113 o.
- Konrád Gy., Hámos G., 2006: A magyarországi nagy aktivitású radioaktív hulladéktároló telephely kijelölésének földtani szempontjai és az eddigi kutatások. *Acta Geographica, Geologica et Meteorologica* 1, 33–39
- Konrád Gy., 1996: Jelentés a Bodai Aleurolit Formáció 1995–96. évi földtani térképezéséről. – Kutatási jelentés (J-2743), kézirat, Mecsekérc Zrt. adattár, Kővágószőlős, 44 o.
- Konrád Gy., 1998: Jelentés a Bodai Aleurolit Formáció 1995–98. évi kutatásáról. Kézirat, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 102 o.
- 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, pp. 65–75
- Konrád Gy., Sebe K., 2010: Fialat 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, Poland*. 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/>)
- Kovács B., 2005: Az Ib-4 számú fúrás alaphegységi képződményeinek ásvány-kőzettani vizsgálatai. Vékonycsiszolatos vizsgálatok. BAF projekt jelentés, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős. 65 o.
- Lovas A., Szarka R., Kollár L., Henézi F. R., 2005: Az albit lyukgeofizikai módszerekkel történő kimutatási lehetőségek vizsgálata. Kézirat, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős. 180 o.
- Majoros Gy. (szerk.), 1999: Nagyléptékű földtani vizsgálatok, regionális tektonikai és szedimentológiai modell kidolgozása. Kézirat, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős 100 o.
- Maros Gy., Andrásy L., Zilahi-Sebess L., Máthé Z., 2008: Determination of the well-logging model of the Boda Aleurolite Formation (BAF) based on core analyses with the laser-induced plasma spectrometer ImaGeo-LIPS. *First break* 26, 129–139
- Máthé Z. (szerk.), 1999: Ásvány-kőzettani, kőzetgeokémiai és izotóptraszport vizsgálatok Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 153 o.
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P., 1992: *Numerical Recipes in C*. Cambridge University Press. 1018 p.
- Szarka R., Kollár L., Majoros Gy., Lovas A., 2003: A BAF-ra mélyült archív fúrások geológiai és mélyfúrás-geofizikai adatainak egységes feldolgozása. Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős.
- Varga A., Raucsik B., Szakmány Gy., Máté Z., 2006: A Bodai Aleurolit Formáció törmelékes kőzettípusainak ásványtani, kőzettani és geokémiai jellemzői. *Földtani Közlöny* 136/2, 201–231
- Wéber B., 1977: Nagyszerkezeti szelvényvázlat a Ny-Mecsekből. *Földtani Közlöny* 107/1, 27–37
- Zilahi-Sebess L., 2008: Petrofizikai módszerfejlesztés. Budapest, ELGI adattár, 39 o.