

Hazai miocén ferrodolomitok genetikai vázlatja stabilizotóp-összetételük alapján

HÁMOR Tamás, HÁMORNÉ VIDÓ Mária

Pécsi Tudományegyetem
hamort4@gmail.com, vido.maria@pte.hu

The origin of Miocene ferrodolomites in the Pannonian Basin, based on their stable isotopic pattern

Abstract

In the Miocene, prevailing siliciclastic sediments of the Pannonian Basin the interbedded dolomite layers are hardly known. These dolomites are easily distinguished from the surrounding sediments on basis of their colour and greater hardness. These are 0.1–2.0 m thick grey, dark grey, more seldom light grey or greenish grey, massive or laminated rocks. The 0.1–0.2 m thin core samples could be either concretions or lenses but the few evidences where these appear in outcrops indicate that these thin layers have lateral extension. The present short study is based on the stable isotopic analysis of 95 core samples originating from 18 coreholes drilled in the 1980s. The flood plain sedimentary settings during the Late Miocene, Pannonian periodically favoured the deposition of muddy lime or even syngenetic dolomites in ponds and lagoons. As well, the negative oxygen isotopes ($\leq -5\%$) with close to zero carbon isotopes reflect a replenishment of the system by meteoric waters in case of a few samples. The delta slope and deep lacustrine depositional environment is also represented by some samples. The oxygen and carbon stable isotopic pattern of most of the studied dolomites indicates that the formation of these hard rocks were governed mainly by the bacterial diagenesis of the organic matter such as sulphate reduction (highly negative carbon isotope ratios) and methanogenesis (highly positive carbon isotope ratios). The isotopic pattern of the few older Miocene samples is in line with the diagenetic history, i.e. they indicate formation during the methanogenesis. An accurate assessment of the sedimentary facies, sequence stratigraphy, and modern petrographical and organic geochemical analyses will be required to outline a precise model on the formation of the Miocene dolomites of the Pannonian Basin.

Keywords:

Összefoglalás

A döntően sziliciklaszt-üledékekkel kitöltött Pannon-medence miocén összletében a dolomitrétegek kevésbé ismertek. E dolomitok 0,1–2,0 m vastag, sötét, síkrétegződésű vagy rétegetlen képződmények. Az 1980-as években mélyített, a medence magyarországi részét lefedő 18 fúrásban talált 95 vasas dolomitréteg stabil oxigén- és szénizotóp összetétele alapján három csoport különíthető el. Egyes esetekben a stabilizotóp-összetétel szisztematikus változása a mélységgel arra enged következtetni, hogy a sekély tavi öböl (lagúna), deltasíksági, esetenként medencelejtő és mély tavi környezetben kiülepedett mészszip és esetleges szingenetikus dolomit képződésében jelentős szerepe volt a szerves anyag diagenézisének, így a bakteriális szulfátredukciónak (negatív, $\leq -5\%$ szénizotópok) és a metanogenezisnek (pozitív, $\geq +3\%$ szénizotópok), de egyes minták esetében nem kizárható a meteorikus vagy mélyebb rétegvizek általi átkristályosodás sem ($\leq -5\%$ oxigénizotópok). Az adatbázis tartalmaz néhány idősebb miocén dolomitmintát is, amelyek adatai a diagenetikus fejlődés szempontjából (ti. metanogenezis) jól illeszkednek a pannóniai dolomitokéhoz.

Tárgyszavak: miocén vasas dolomitok, stabil szén- és oxigénizotóp, szerves anyag diagenézise

Bevezetés

A döntően sziliciklaszt-üledékekkel kitöltött Pannon-medence késő miocén (pannóniai) összletében a dolomitrétegek kevésbé ismertek (ELSTON et al. 1994; HÁMOR 1991, 1997a, 1997b; HÁMOR & HERTELENDI 1996; SZTANÓ et al. 2013; HAAS & HIPS 2020). A pannóniai összlet dolomitrétegeit JÁMBOR Áron írta le Sorkikápolna, Tököl és Lajoskomárom melletti fúrásokban (JÁMBOR & KÖRPÁSNÉ HÓDI 1971). Jelen rövid közlemény célja az adatközlés: a pannóniai és pannóniainál idősebb miocén dolomit rövid rétegtani és ásvány-kőzettani leírását, valamint stabil szén- és oxigénizotóp adatait adja 18 mélyfúrás 95 magmintája alapján (*I. melléklet*), illetve vázlatos genetikai következtetéseket tesz.

Módszerek és a vizsgált minták

A mintákat az első szerző gyűjtötte az *I. mellékletben* felsorolt és az *I. ábrán* feltüntetett folyamatos magvételes mélyfúrások magmintáiból két Országos Tudományos Kutatási Alap projekt keretében (259. sz. és F007373 sz.; HÁMOR 1991; 1997b). A mélyfúrások térbeli elhelyezkedése jól lefedi a Pannon-medence magyarországi részét, így a minták (a vastagabb rétegeket több minta képviseli) megfelelően reprezentatívnak tekinthetők.

A pannóniainál idősebb miocén (szarmata, badeni, kárpáti, ottngai) 10 dolomitréteg stabilizotóp-méréseit is elvé-

geztük (*I. melléklet*), de ezekről más vizsgálat nem készült. A stabilizotóp-méréseket 1990 és 1995 között az ATOMKI-ban HERTELENDI Ede végezte Finnigan-MAT-en alapuló, saját fejlesztésű tömegspektrométeren, nemzetközi standardokat használva (HERTELENDI 1990). Néhány anonim kontrollminta mérését nemzetközi laborokban elvégezték, jó egyezéssel. A minták döntő többsége tartalmazott kalcitot is, ezért empirikus úton határoztuk meg azt a kioldási időt, amely után a mért frakció már csak dolomit volt.

A vizsgált mélyfúrások rétegsorának és üledékföldtanának vizsgálatával ELSTON et al. (1990; 1994), HÁMOR & LANTOS (1994), JUHÁSZ et al. (1996), MAGYAR et al. (2007) foglalkoztak.

A vizsgált dolomitok 0,1–2,0 m vastag, szürke, sötét-szürke, ritkábban világosszürke, zöldesszürke, síkrétegződésű vagy rétegtelen képződmények, esetenként 1–2 deciméteres konkréciók (vö. SZTANÓ et al. 2013). A vastagabb dolomitrétegek kiterjedése elegendően nagy ahhoz – néhány száz méter –, hogy a sekély szeizmikus szelvényeken és a jó felbontású karotázsgörbéken azonosíthatók legyenek (JÁMBOR Á. szóbeli közlése).

38 dolomitminta ásvány-kőzettani és kémiai vizsgálata (MÁFI) alapján a pannóniai dolomitok átlagos karbonáttartalma 63%, amelynek 12%-a kalcit. A 10% HCl-es oldási maradékok átlagos szemcseösszetétele agyagos kőzetlisztnek felel meg (51% kőzetliszt, 46% agyag, 3% homok), a szervesanyag-tartalom átlagosan 0,22%. Az ásványos összetételben kiemelkedően legtöbb a vasas dolomit (ferrodo-



1. ábra. A vizsgált dolomitminták származási helye (mélyfúrások)

Figure 1. The location of the boreholes intersecting the studied Miocene dolomite samples

lomit) mennyisége (52,8%), minden mintában van kalcit (7,6%), egyes mintákban előfordul ankerit, dolomit, sziderit és oligonit. A többi ásványi alkotó kvarc, illit, montmorillonit, kaolin, klorit, földpát, muszkovit és pirit.

Eredmények és diszkusszió

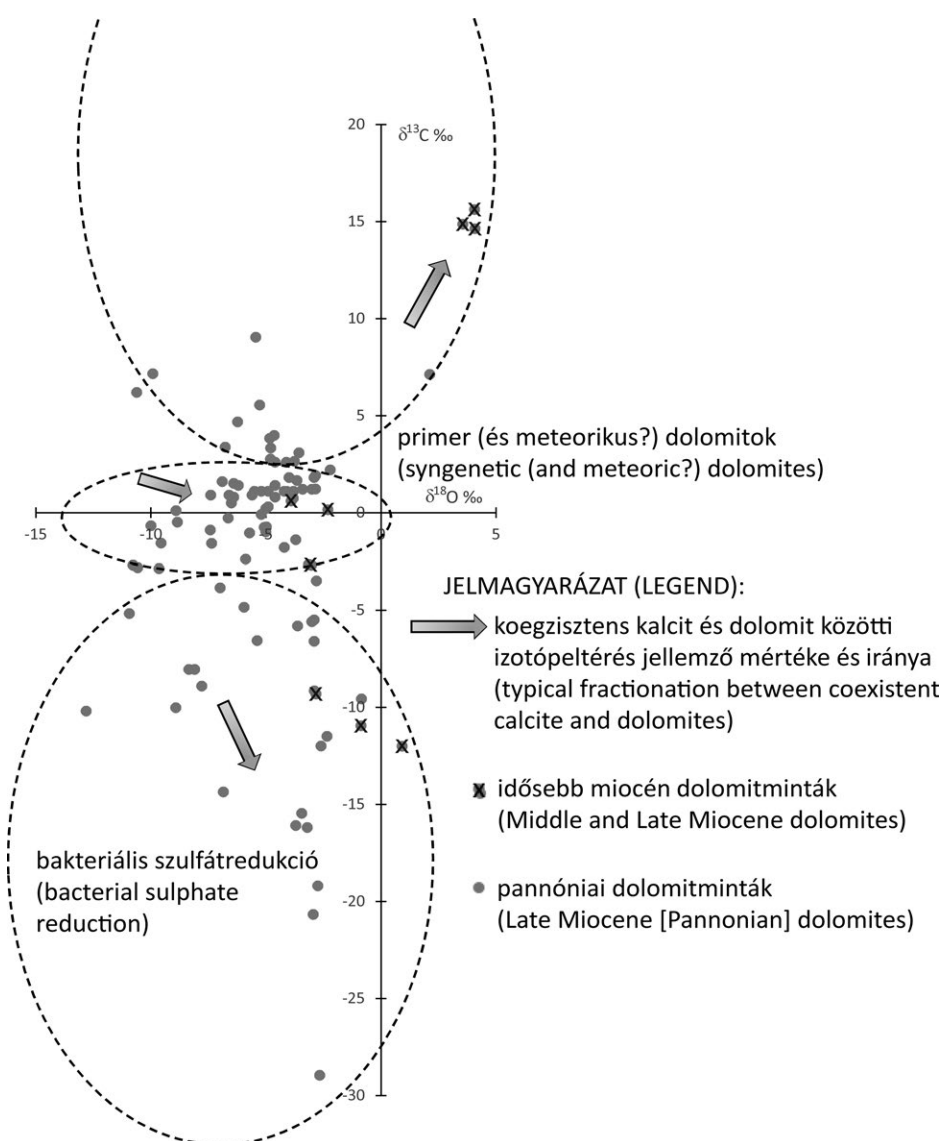
A dolomitminták szénizotóp arányai széles értéktartományban változnak ($-28,96 - +15,61\text{‰}$), az oxigénizotóp frakcionációja jóval kisebb ($-12,81 - +4,07\text{‰}$). A $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{18}\text{O}$ kétváltozós függvényen (2. ábra) három mintacsoport különíthető el az ábrán szaggatott vonalakkal vázlatosan körülhatárolva: (a) a jelentős frakcionációval járó (szénizotóp esetében könnyű izotópban dúsult) bakteriális szulfátredukció során képződött negatív, $\leq -5\text{‰}$ $\delta^{13}\text{C}$, valamint 0 és -10‰ $\delta^{18}\text{O}$ értékekkel bíró dolomitok; (b) a $+3 - 4\text{‰}$ feletti $\delta^{13}\text{C}$ értékeket és az esetenként szintén pozitív $\delta^{18}\text{O}$ arányokat mutató, metanogenezis és biogén dekarboxiláció során kivált

dolomitok; (c) korai (primér, szingenetikus) és esetlegesen meteorikus dolomitok, amelyek szénizotóp értékei a nullához közeli de oxigénizotóp arányaik viszonylag nagy szórást mutatnak. Ez utóbbi csoportban különösen a $\leq -5\text{‰}$ oxigénizotóp értékű minták értelmezése igényel további elemzést, így a meteorikus vagy mélyebb rétegvizek hatásának a vizsgálatát (GAO et al. 1992). Nem meglepő módon éppen ezek a minták a nagyobb szemcseméretű, dolomitcementált aleurolitok és homokkövek (ld. Tiszapalkonya-I 772,6 m, 882,6 m, 883,4 m, 1474 m; Kápolnásnyék-2 212,5 m; Nagylózs-1 693,6 m, 707,3 m, és 713,2 m mintái), ahol adott volt az átjárható pórustér.

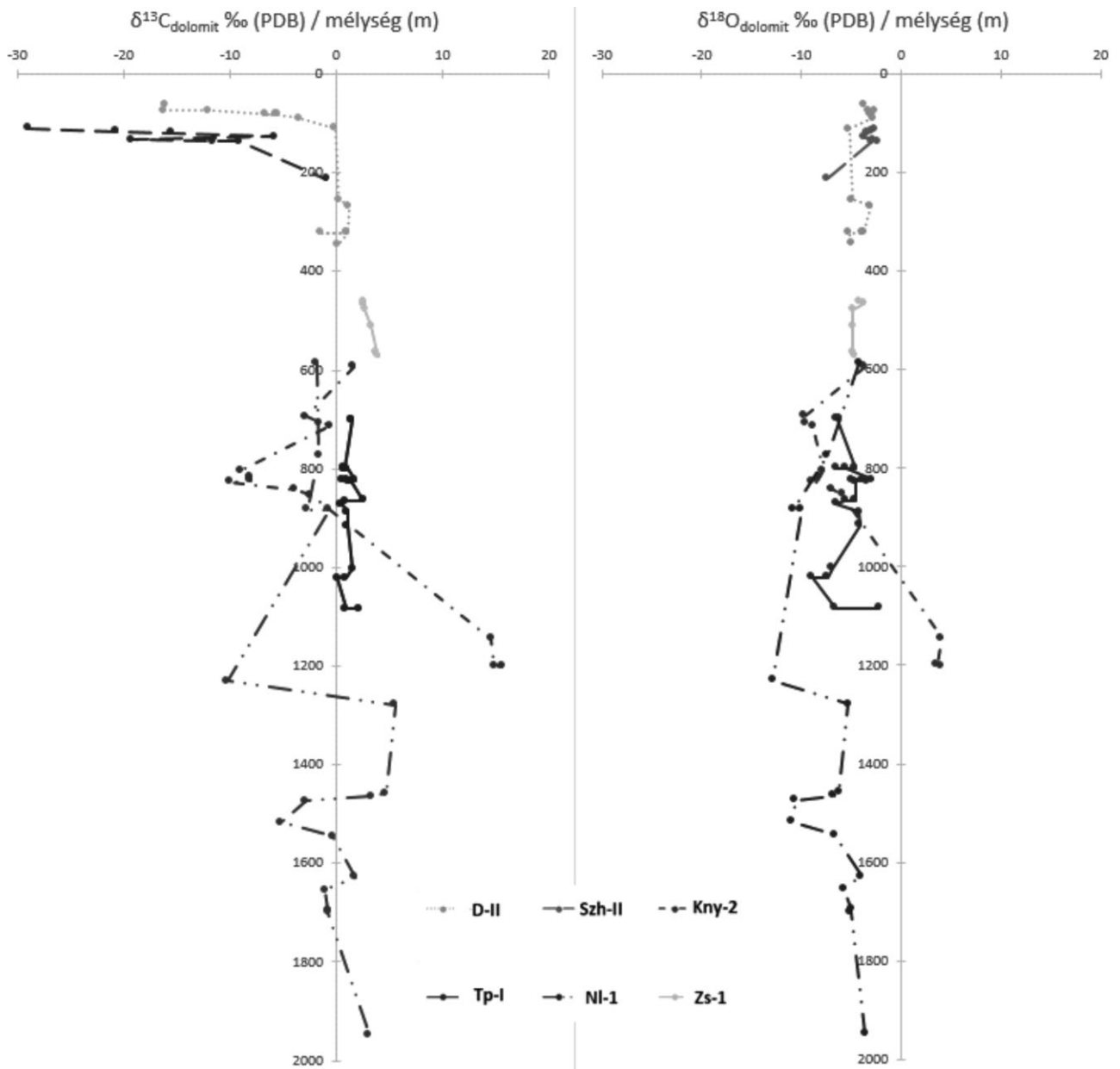
A szénizotóp összetétel a nagy szervesanyag-tartalmú közetekben az eredeti szerves anyag összetételét (HÁMOR-VIDÓ & HÁMOR 2006), és ennek bakteriális átalakulását tükrözi a diagenézis során (PETRASH et al. 2017). A karbonátok esetében a szénizotóp összetétel a megelőző karbonátfázis és a pórusvíz karbonát ion stabilizotóp-arányát tükrözi, illetve a cementfázisnál a pórusvíz izotóparánya szabja meg. A stabil oxigénizotópok frakcionációját befolyásolja az üledék pórusvíz és a rétegvizek hőmérséklete, sótartalma, a diagenetikus ásványátalakulások és regionális folyamatok (pl. geotermikus anomáliák) geofluidumai általi átkristályosodás, és a szerves anyag bakteriális diagenézise is hatással van rá.

A koezisztens kalcitok $\delta^{18}\text{O}$ értékei rendre $2 - 6\text{‰}$ -el negatívabbak a dolomitokénál, amely kisebb mértékben ($2 - 3\text{‰}$), de ismert a szakirodalomban is (pl. MCKENZIE 1981). A szénizotóp esetében összetettebb a kép, $\delta^{13}\text{C} = -5\text{‰}$ alatt a dolomitok $4 - 5\text{‰}$ -el könnyebbek, e felett azonban a dolomitok rendre nehezebbek, mint a kalcitok, néhány mintában ez 8‰ .

A szerves anyag bakteriális diagenézise és a viszonylag folyamatos süllyedéstörténet meghatározó szerepét a több dolomitréteget harántolt mélyfúrások mélység szerinti változását szemléltető ábra is alátámasztja (3. ábra). Így például a tiszapalkonyai és a nagylózszi fúrások esetében jelentős mélységintervallumban fordul elő dolomit (1300 m, illetve 600 m), a szénizotópgörbe hasonló lefutású mindkettőnél, azaz a 0 közel



2. ábra. A miocén dolomitminták stabil szén- és oxigénizotóp összetétele. Az adatokat lásd az I. mellékletben
Figure 2. The stable carbon and oxygen isotopic ratios of Miocene ferrodolomites in the Pannonian Basin



3. ábra. A vizsgált dolomitok szén- és oxigénizotóp összetételének változása a mélységgel egyes fúrási szelvényekben.

Jelmagyarázat (Legend): D-II (Duka-II), Szh-II (Szombathely-II), Kny-2 (Kápolnásnyék-2), Tp-I (Tiszapalkonya-I), NI-1 (Nagylós-1), Zs-1 (Zsira-1)

Figure 3. The change of the stable carbon and isotopic ratios with depth in the studied borehole sections)

értékekről a bakteriális szulfátredukción jelező -10‰ -re csökken, majd a mélységgel a $+5\text{‰}$ felé nő a metanogenezist jelezve. Figyelemre méltó, hogy e két fúrás esetében az oxigénizotópok is követik a szénizotópok mélység szerinti változását, amely a szerves anyag anaerob közegben történő diagenézisének ismert (SASS et al. 1991).

Az egyes fúrási szelvények jól elkülönülnek a 3. ábrán mindkét izotóp esetében, arra utalva, hogy az üledékképződési környezetnek és a diagenézisnek is vannak helyi, eltérő sajátosságai, amelyek szignifikáns hatással vannak a stabilizotóp-összetételre. E megfigyelést erősíti, hogy a több mérési ponttal bíró vastagabb, 1–2 m-es dolomitrétegeken belül kevés az eltérés az izotópösszetételben (pl. Duka-II 81,3–81,5 m; Szombathely-II 799,2–800 m, 823,1–825,4 m;

I. melléklet), tehát az üledékes környezet és a diagenézis eltérései és változásai okozzák az eltérő izotópösszetételt. Az üledékképződési környezet jelentőségét támasztja alá az is, hogy a szerző által vizsgált más mélyfúrási szelvények nem vagy csak kevés dolomitréteget harántoltak (pl. Berhida-3, illetve Iharosberény-I fúrások).

A dolomitképződés kérdéskörének teljes áttekintése meghaladja e rövid tanulmány terjedelmi korlátait, ezt HAAS & HIPS (2020) részletesen tárgyalja. A szakirodalom egybehangzó abban, hogy a vasas dolomitok képződése gyakori az eredetileg is vagy a bakteriális szulfátredukción miatti szulfátszegény és megnövekedett alkalinitású szerves anyagban és reakcióképes vasban gazdag redukív környezetben (BAKER & BURNS 1985, LAWRENCE 1991). Tavi környezetben a két

izotóp, sőt a kalcit- és a dolomitfázisok koegzisztenciája és kovarianciája is ismert (ANADON & UTRILLA 1993). A dolomitképződés enigmatikus jellegét az eredeti üledékes oldat elégtelen magnéziumtartalma és a szulfát inhibitor, illetve a bakteriális redukciójának alkalinitást növelő volta adja, így a szingenetikus primér dolomitképződés ritka (DE DECKKER & LAST 1989). Megjegyzendő, hogy a szinszedimentáció és a néhány cm-dm mélységű korai diagenézis közötti mezsgye igen keskeny, mesterségesen lehatárolt, lásd a kisebb erózió, sótartalom-változás vagy áramlások általi átszellőzés hatásait. A dolomitosodásban ezért nagy szerepe van a geofluidumok cirkulációjának, így a meteorikus és mélyebb rétegvizeknek, amelyek elsősorban az oxigénizotópra vannak hatással, de a szerves anyag érésével és késődiagenetikus ásványi átalakulásokkal összefüggésben a szénizotóp arányokban is nyomonkövethető (VARSÁNYI et al. 1997, MÁTYÁS & MATTER 1997). A stabil szén- és oxigénizotóp összetétele és ezek mélységbeli változása alapján a pannóniai dolomitok döntő hányada a szerves anyag betemetődésével és érésével kapcsolatos mikrobiális diagenézissel összefüggésben képződött a bakteriális szulfátredukció és néhány minta esetében a bakteriális metanogenezis során, alátámasztva a Judith MCKENZIE által kidolgozott dolomitképződési modellt is (BONTOGNALI et al. 2010, PETRASH et al. 2017). Az abiogén termális dekarboxilációra, amely már a szénhidrogén-képződés megindulásával esik egybe, nincs jel az adatsorban.

A hazai miocénben a dolomitok képződése csak annyiban meglepő, hogy a sziliciklaszt-dominancia mellett voltak olyan rövidebb időszakok és helyi üledékes környezetek, amelyekben lehetséges volt a karbonátok kicsapódása és ezek dolomitosodása esetenként szingenetikusán, de döntően a bakteriális szulfátredukcióval, sőt a metanogenezissel összefüggésben a diagenézis során. A részletes szerves és szervetlen ásványtani, közettani, geokémiai és üledékföldtani vizsgálatok a jövőben tisztázhatják, hogy (a) a fenti paraméterek közül melyek a döntők az egyes rétegek keletkezésében; (b) e karbonátok rendelkeznek-e szekvenciasztratigráfiai jelentőséggel, korrelálhatók-e a medencerészek-

ben, és ha igen, (c) más független paraméterekkel is alátámasztva engedik-e általánosabb őskörnyezeti és medencefejlődési következtetések levonását.

Következtetések

E rövid tanulmány a sziliciklasztos sorozatként ismert pannóniai összlet egyik atipikus, de a teljes ősföldrajzi képbe és diagenézis történetbe jól illeszkedő képződményének, a vasas dolomitoknak a stabil szén- és oxigénizotóp adatbázisát mutatja be. A sorozat felső részén jellemző tavi, deltasíksági üledékképződési környezetek, valamint a csapadék- és üledékszegényebb időszakok lehetővé tették kisebb mészszip, esetleg szinszediment protodolomitos öblök (lagúnák) kialakulását, de előfordul a mélyebb vízi környezetet jelző üledékben is a dolomitosodás, esetenként homokkövek cementanyagként. A stabil szén- és oxigénizotóp összetétele és ezek mélységbeli változása alapján a pannóniai dolomitok döntő hányada a szerves anyag betemetődésével és érésével kapcsolatos mikrobiális diagenézissel összefüggésben képződött a bakteriális szulfátredukció és kisebb részben a metanogenezis szakaszában. A harmadik mintacsoport esetében, amely nulla körüli szénizotóparányokat, de nagy $\delta^{18}\text{O}$ szórást mutat, további vizsgálatok szükségesek.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti az Országos Tudományos Kutatási Alapot a 259. sz. (HÁMOR 1991) és az F007373 sz. (HÁMOR 1997b) projektek támogatásáért, Sztanó Orsolya főszerkesztőt és az anonim bírálókat konstruktív észrevételeikért. Az első szerző külön hálával tartozik JÁMBOR Áronnak, aki pályája elején támogatta őt, és felhívta figyelmét eme egzotikus képződményekre.

Irodalom – References

- ANADON, P. & UTRILLA, R. 1993: Sedimentology and isotope geochemistry of lacustrine carbonates of the Oligocene Campins Basin, north-east Spain. – *Sedimentology* **40**, 699–720. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1993.tb01356.x>
- BAKER, P. A. & BURNS, S. J. 1985: Occurrence and formation of organic-rich continental margin sediments. – *AAPG Bulletin* **69/11**, 1917–193. <https://doi.org/10.1306/94885570-1704-11D7-8645000102C1865D>
- BONTOGNALI, T. R. R., VASCONCELOS, C., WARTHMAN, R. J., BERNASCONI, S. M., DUPRAZ, C., STROHMENGER, C. J. & MCKENZIE, J. A. 2010: Dolomite formation within microbial mats in the coastal sabkha of Abu Dhabi (United Arab Emirates). – *Sedimentology* **57/3**, 824–844. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2009.01121.x>
- DE DECKKER, P. & LAST, W. M. 1989: Modern, non-marine dolomite in evaporitic playas of western Victoria, Australia. – *Sedimentary Geology* **64**, 223–238. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(89\)90050-X](https://doi.org/10.1016/0037-0738(89)90050-X)
- ELSTON, D. P., LANTOS, M. & HÁMOR, T. 1990: Az Alföld pannóniai (s.l.) képződményeinek magnetosztratigráfiája. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1988. évről* **1**, 109–134.
- ELSTON, D. P., LANTOS, M. & HÁMOR, T. 1994: High resolution polarity records and the stratigraphic and magnetostratigraphic correlation of Late Miocene and Pliocene deposits of Hungary. – In: *Basin analysis in petroleum exploration* (eds TELEKI et al.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 111–142.

- GAO, G., LAND, L. S. & FOLK, R. L. 1992: Meteoric modification of early dolomite and late dolomitization by basinal fluids, Upper Arbuckle Group, Slick Hills, Southwestern Oklahoma. – *AAPG Bulletin* **76/11**, 1649–1664., <https://doi.org/10.1306/BDF8A92-1718-11D7-8645000102C1865D>
- HAAS J. & HIPS K. 2020: A rejtelmes dolomit. – *Földtani Közlöny* **150/2**, 233–266. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2020.150.2.233>
- HÁMOR T. 1991: Az anoxikus üledékképződés és a korai diagenézis vizsgálata stabil izotóp mérések alkalmazásával. – A 259. sz. OTKA kutatás zárójelentése /Kézirat/, Budapest, 34 p.
- HÁMOR T. 1997a: Az oxigénszegény üledékképződés és a korai diagenézis vizsgálata stabil izotóp mérések alkalmazásával. – PhD-tézis, Miskolc, 52 p.
- HÁMOR T. 1997b: Stabil izotóp mérések alkalmazása szedimentológiai és környezetvédelmi problémák megoldásában. – Az F007373. sz. OTKA kutatás zárójelentése, Budapest, 28 p.
- HÁMOR, T. & HERTELENDI, E. 1996: S, O, C isotopic signatures of the Late Miocene Pannonian lake. – *Acta Geologica Hungarica* **39**, **Suppl.**, 68.
- HÁMOR, T. & LANTOS, M. 1994: An evaluation of slump fold formation using paleomagnetic techniques. – *Sedimentary Geology* **90**, 233–240. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(94\)90040-](https://doi.org/10.1016/0037-0738(94)90040-)
- HÁMOR-VIDÓ, M. & HÁMOR, T. 2006: Sulphur and carbon isotopic composition of power supply coals in the Pannonian Basin. – *International Journal of Coal Geology* **73/3–4**, 425–447. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2006.11.002>
- HERTELENDI E. 1990: Izotópanalitikai célú műszer és módszerfejlesztések és azok alkalmazásainak eredményei. – *Kézirat*, Debreceni Egyetem, MTA ATOMKI, 163 p.
- JÁMBOR Á. & KÖRPNÉ HÓDI M. 1971: A pannóniai képződmények szintezési lehetőségei a Dunántúli-középhegység DK-i előterében. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1969. évről*, 155–192.
- JUHÁSZ, E., TÓTH-MAKK, Á., HÁMOR, T., FARKAS-BULLA, J., PHILIPS, R. L., SÜTŐ-SZENTAI, M. & RICKETTS, B. 1996: High-resolution sedimentological and subsidence analysis of the Late Neogene, Pannonian Basin, Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* **39/2**, 129–152.
- LAWRENCE, M. J. F. 1991: Early diagenetic dolomite concretions in the Late Cretaceous Herring Formation. – *Sedimentary Geology* **75**, 125–140. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.1991.105664>
- MAGYAR, I., LANTOS, M., ÚJSZÁSI, K. & KORDOS, L. 2007: Magnetostratigraphic, seismic and biostratigraphic correlations of the Upper Miocene sediments in the northwestern Pannonian Basin System. – *Geologica Carpathica* **58/3**, 277–290.
- MÁTYÁS, J. & MATTER, A. 1997: Diagenetic indicators of meteoric flow in the Pannonian Basin, Southeast Hungary. – *SEPM Spec. Pub.* **57**, 281–296. <https://doi.org/10.2110/pec.97.57.0281>
- McKENZIE, J. 1981: Holocene dolomitization of calcium carbonate sediments from coastal sabkhas of Abu Dhabi: A stable isotopic study. – *Journal of Geology* **89**, 185–198. <https://doi.org/10.1086/628579>
- PETRASH, D. A., BIALIK, M., BONTOGNALI, T. R. R., VASCONCELOS, C., ROBERTS, J. A., MCKENZIE, J. A. & KONHAUSER, K. O. 2017: Microbially catalyzed dolomite formation: From near-surface to burial. – *Earth-Science Reviews* **171**, 558–582, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.015>
- SASS, E., BEIN, A. & ALMOGI-LABIN, A. 1991: Oxygen-isotopic composition of diagenetic calcite in organic-rich rocks: Evidence for ¹⁸O depletion in marine anaerobic pore water. – *Geology* **19**, 839–842. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1991\)0192.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1991)0192.3.CO;2)
- SZTANÓ O., MAGYAR I., SZÓNOKY M., LANTOS M., MÜLLER P., LENKEY L., KATONA L. & CSILLAG G. 2013: A Tihanyi Formáció a Balaton környékén: típusszelvény, képződési körülmények, rétegtani jellemzés. – *Földtani Közlöny* **143/1**, 73–98.
- VARSÁNYI, I., MATRAY, J.-M. & KOVÁCS, L. 1997: Geochemistry of formation waters in the Pannonian Basin (southeast Hungary). – *Chemical Geology* **140**, 89–106. [https://doi.org/10.1016/s0009-2541\(97\)00045-4](https://doi.org/10.1016/s0009-2541(97)00045-4)
- Kézirat beérkezett: 2022. 09. 02.

I. melléklet

Hazai miocén dolomitminták származási helye, stabil szén- és oxigénizotóp összetétele, valamint makroszkópos közettani megnevezése
Identification data, rock type, and stable carbon and oxygen isotopic ratios of Miocene ferrodolomites of the Pannonian Basin, Hungary

Fúrás neve	Mélység (m)	Kor	Formáció*	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kalcit}} \text{‰}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{kalcit}} \text{‰}$ (PDB)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dolomit}} \text{‰}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{dolomit}} \text{‰}$ (PDB)	Kőzetleírás
Alsóvadász-1	170,2	Pa	Edelényi	-5,31	-5,08	-2,66	-3,14	vörösszürke, szemcsés elválású, meszes, dolomitos aleurolit
Duka-II	63	Pa	Tihanyi	-11,1	-4,9	-16,1	-3,7	0,1 m vastag, sötét zöldesszürke, szilánkos törésű dolomit, benne enyhén hullámos, meszes laminációval
Duka-II	73,2	Pa	Tihanyi	-10,6	-4,2	-16,2	-3,2	0,1 m vastag, szürke, szilánkos törésű agyagos, kőzetlisztes dolomit, szenesedett növényi maradványokkal
Duka-II	73,3	Pa	Tihanyi	-7,7	-5,1	-12	-2,6	előző réteg alja
Duka-II	81,3	Pa	Tihanyi	-3,4	-6,2	-5,5	-2,9	0,2 m vastag, világos zöldesszürke kagylós törésű, agyagos kőzetlisztes dolomit barnásszürke cm-es foltokkal
Duka-II	81,4	Pa	Tihanyi	-3,8	-5,8	-6,6	-2,9	előző réteg közepe
Duka-II	81,5	Pa	Tihanyi	-3,6	-6,7	-5,6	-3	előző réteg alja
Duka-II	89,4	Pa	Tihanyi	-4,7	-5,1	-3,5	-2,8	0,1 m vastag, sötét zöldesszürke, szilánkos törésű foltos, líkaesos dolomit, szenesedett növényi maradványokkal
Duka-II	110,2	Pa	Tihanyi	-0,4	-6,3	-0,1	-5,2	0,1 m vastag, szürke, vékonyan rétegzett, bioturbált agyagos dolomárga
Duka-II	254,2	Pa	Somlói	0,1	-5,8	0,3	-4,9	0,1 m vastag, szürke, apró-finomszemű, jól osztályozott, rétegzett, dolomitos kőzetlisztes homokkő
Duka-II	267,2	Pa	Somlói	1	-4,6	1,2	-3	0,1 m vastag, zöldesszürke, kagylós törésű, laminált, bioturbált dolomit szerves pettyekkel
Duka-II	321,6	Pa	Somlói	-0,5	-6,1	1,1	-3,8	0,2 m vastag, sötétszürke, dolomit-cementált homoklencsés aleurolit muszkovittal és növényi törmelékekkel
Duka-II	321,7	Pa	Somlói	-1,4	-5,2	-1,4	-3,7	előző réteg közepe
Duka-II	321,8	Pa	Somlói	-0,2	-7,2	1,1	-5,2	előző réteg alja
Duka-II	344,3	Pa	Somlói	0,1	-6,1	0,2	-5	0,1 m vastag, sötétszürke, dolomit-cementált homokos aleurolit muszkovittal és növényi törmelékekkel
Iharosberény-I	54	Pa	Hansági	-11,82	-6,97	1,91	-2,84	nincs leírás
Iharosberény-I	549,8	Pa	Tihanyi	3,15	-9,7	6,19	-10,61	0,2 m vastag, zöldesszürke, gyengén rétegzett, kemény, kagylós-szilánkos törésű dolomárga szerves pettyekkel
Iharosberény-I	599	Pa	Tihanyi	7,05	-10,31	7,15	-9,91	0,2 m vastag, szemcsés elválású kőzetlisztes dolomit
Kaskantyú-2	345,6	Pa	Zagyva	4,12	-4,14	-9,58	-0,84	5×6×2 cm-es lapított ellipszoid alakú, sötét vörösbarna kongkrécio
Kápolnásnyék-2	110,3	Pa	Tihanyi	-26,77	-3,19	-28,96	-2,66	0,1 m vastag, sötét zöldesszürke, szemcsés elválású, homokos, kőzetlisztes dolomit
Kápolnásnyék-2	116,1	Pa	Tihanyi	-17,01	-4,07	-20,68	-2,94	0,1 m vastag, sötét zöldesszürke, tömött szövetű, kőzetlisztes dolomit bioturbáció nyomaival
Kápolnásnyék-2	119,2	Pa	Tihanyi	-10,94	-5,33	-15,47	-3,44	0,1 m vastag, szürke, tömött szövetű, kőzetlisztes dolomit
Kápolnásnyék-2	127,5	Pa	Tihanyi	-7,16	-6,28	-5,82	-3,62	0,2 m vastag, sötét zöldesszürke, szemcsés elválású, homokos, kőzetlisztes dolomit
Kápolnásnyék-2	133,1	Pa	Tihanyi	-20,13	-3,36	-19,2	-2,74	0,1 m vastag, sötétszürke, közepesen osztályozott, dolomitos homokkő
Kápolnásnyék-2	135,4	Pa	Tihanyi	-10,8	-2,97	-11,5	-2,34	0,1 m vastag, szürke, tömött szövetű, kőzetlisztes dolomit
Kápolnásnyék-2	136,1	Pa	Tihanyi	-8,75	-4,54	-9,16	-2,89	0,1 m vastag, szürke, kagylós törésű kőzetlisztes dolomit
Kápolnásnyék-2	212,5	Pa	Tihanyi	-1,3	-8,3	-0,9	-7,42	0,1 m vastag, szürke, kagylós törésű kőzetlisztes dolomit
Lajoskomárom-1	66,5	Pa	Zagyva	-1,74	-5,22	-0,99	-5	3,5 m vastag, zöldes-barnásszürke, porózus és repedezett dolomit, benne pirit és mangán ooid
Nagyfőzs-1	592,7	Pa	Zagyva	-2,22	-10,77	1,65	-3,65	0,7 m vastag, szürke, kemény, tömör szövetű, 1–2 mm-es laminites, sikkregézt, kőzetlisztes dolomárga
Nagyfőzs-1	693,6	Pa	Zagyva	-2,47	-10,05	-2,87	-9,64	0,2 m vastag, sötétszürke, kemény, érdes törésű, kőzetlisztes dolomit
Nagyfőzs-1	707,3	Pa	Zagyva	-1,77	-11,35	-1,57	-9,55	0,7 m vastag, szürke, kemény, agyagos kőzetlisztes dolomit

Fúrás neve	Mélység (m)	Kor	Formáció*	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dolomit}} \text{‰ (PDB)}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{dolomit}} \text{‰ (PDB)}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dolomit}} \text{‰ (PDB)}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{dolomit}} \text{‰ (PDB)}$	Közetleírás
Nagyfőzs-1	713,2	Pa	Zagyva	-0,21	-9,22	-0,49	-8,84	0,5 m vastag, középszürke, kemény, szilánkos törésű, tömött szövétű mikrokristályos dolomit
Nagyfőzs-1	803,7	Pa	Újfalui	-7,31	-7,88	-8,91	-7,79	sötétszürke, kemény, szilánkos törésű, tömött szövétű viszonylagosan sikkregzett dolomárga
Nagyfőzs-1	816,3	Pa	Újfalui	-7,89	-9,33	-8,05	-8,1	0,35 m vastag, sötétszürke, kemény, szilánkos törésű, tömött szövétű, sikkregzett dolomárga
Nagyfőzs-1	823,3	Pa	Újfalui	-5,61	-8,56	-8,06	-8,35	sötétszürke, kemény, szilánkos törésű, tömött szövétű, sikkregzett dolomárga
Nagyfőzs-1	826	Pa	Újfalui	-7,54	-8,11	-10,03	-8,91	sötétszürke, kemény, szilánkos törésű, tömött szövétű, sikkregzett dolomit
Nagyfőzs-1	842	Pa	Újfalui	-6,9	-10,67	-3,85	-6,99	szürke, szemcsés esilámos szövétű dolomitos aleurolit
Nagyfőzs-1	853	Pa	Újfalui	-2,16	-7,36	-2,39	-5,88	szürke, kemény, tömör szövétű dolomárga
Nagyfőzs-1	1144,3	badeni	Badeni	9,26	1,45	14,63	4,09	sötétszürke, igen kemény dolomit, elválsi felületén tized-, századmilliméteres fennőt dolomikristályokkal
Nagyfőzs-1	1198,7	badeni	Badeni	6,51	-1,75	14,86	3,56	0,1 m vastag, sötétszürke dolomit, benne 2 mm-es kalctiktöltésű repedés
Nagyfőzs-1	1201,4	badeni	Badeni	11,7	0,28	15,61	4,07	0,1 m vastag, sötétszürke dolomit
Szombathely-II**	699,9	Pa	Tihanyi	1,2	-8	1,4	-6,2	0,2 m vastag dolomit
Szombathely-II	700,1	Pa	Tihanyi	1,5	-8,4	1,5	-6,4	0,2 m vastag dolomit
Szombathely-II	799,2	Pa	Tihanyi	-0,8	-9	0,8	-4,6	1,7 m vastag dolomárga
Szombathely-II	799,6	Pa	Tihanyi	0,5	-10,2	0,8	-6,4	előző réteg közepe
Szombathely-II	800	Pa	Tihanyi	0,1	-10,8	1,1	-5,5	előző réteg alja
Szombathely-II	823,1	Pa	Tihanyi	-1	-8,9	1,8	-2,9	0,8 m vastag dolomárga
Szombathely-II	823,3	Pa	Tihanyi	0,4	-8,1	1,1	-4,9	előző réteg közepe
Szombathely-II	823,5	Pa	Tihanyi	-0,4	-9,8	0,6	-3,9	előző réteg alja
Szombathely-II	825,3	Pa	Tihanyi	-0,35	-10,99	1,2	-3,4	0,2 m vastag, kőzetlisztes dolomárga
Szombathely-II	825,4	Pa	Tihanyi	-0,2	-9	1,4	-4,6	előző réteg alja
Szombathely-II	864,8	Pa	Tihanyi	0,2	-7,8	2,6	-4,6	1,5 m vastag, homokos, kőzetlisztes dolomárga
Szombathely-II	865,8	Pa	Tihanyi	0,2	-8,4	0,9	-5,6	előző réteg közepe
Szombathely-II	871,7	Pa	Tihanyi	-0,1	-9,8	0,5	-6,5	1,4 m vastag, homokos, kőzetlisztes dolomárga
Szombathely-II	887,8	Pa	Tihanyi	0	-8,3	1,1	-4,2	0,2 m vastag, homokos, kőzetlisztes dolomárga
Szombathely-II	915,8	Pa	Tihanyi	-0,2	-9,5	1,1	-4,1	0,2 m vastag, kőzetlisztes dolomárga
Szombathely-II	1002,9	Pa	Újfalui	0,8	-9,6	1,6	-6,9	0,2 m vastag, kőzetlisztes dolomit
Szombathely-II	1021,4	Pa	Újfalui	0,5	-9,4	0,9	-7,4	0,2 m vastag, kőzetlisztes dolomit
Szombathely-II	1021,6	Pa	Újfalui	-0,6	-10,2	0,1	-8,9	előző réteg alja
Szombathely-II	1083,9	Pa	Algyői	-0,2	-11	0,9	-6,6	0,9 m vastag kőzetlisztes dolomit
Szombathely-II	1084,1	Pa	Algyői	-1	-9,4	2,2	-2,2	előző réteg alja
Tihanyi-62	6,6	Pa	Tapolcai	-5,45	-6,42	-6,57	-5,38	világosszürke, limonitfoltos, szemcsés elválsi, fényes „rogvás” felületekkel átjárt, dolomitos aleurolit

Fúrás neve	Mélység (m)	Kor	Formáció*	$\delta^{13}C_{carb}$ ‰ (PDB)	$\delta^{18}O_{carb}$ ‰ (PDB)	$\delta^{13}C_{dolomit}$ ‰ (PDB)	$\delta^{18}O_{dolomit}$ ‰ (PDB)	Közvetítés
Tiszapalkonya-I	586,8	Pa	Bükkaljai	-1,29	-6,05	-1,79	-4,2	1-3 cm átmérőjű, sötétbarna tömör szövetű, mikrokrítályos (áthalmazott) dolomitkavicsok
Tiszapalkonya-I	772,6	Pa	Bükkaljai	-1,73	-11,52	-1,58	-7,36	szürkészöld, lila foltos, dolomitcementált, homokos aleurolit
Tiszapalkonya-I	882,6	Pa	Bükkaljai	-4,57	-9,21	-2,69	-10,77	zöldesszürke, barna foltos, dolomitcementált homokos aleurolit
Tiszapalkonya-I	883,4	Pa	Bükkaljai	8,3	-6,21	-0,68	-9,99	zöldesszürke, barnafoltos dolomitcementált homokos aleurolit
Tiszapalkonya-I	1230	Pa	Bükkaljai	-5,82	-10,33	-10,2	-12,81	dolomit által cementált apró szemű, rosszul osztályozott homokkő
Tiszapalkonya-I	1279	Pa	Bükkaljai	1,11	-7,18	5,54	-5,27	4 cm vastag rozsdabarna dolomitlense, belüli növényi és molluszkatormélek lenyomatával és pirított
Tiszapalkonya-I	1458	Pa	Bükkaljai	-0,18	-8,28	4,67	-6,23	szürke homokos aleurolitban 3 cm-es, barnásszürke dolomárgalense
Tiszapalkonya-I	1465,1	Pa	Bükkaljai	-1,05	-6,97	3,37	-6,77	barnásszürke, kagylós törésű agyagos dolomit 3-6 mm-es Paradaena(?) lenyomatokkal
Tiszapalkonya-I	1474	Pa	Bükkaljai	-1,01	-11,06	-2,82	-10,57	szürke, limonitfoltos, szemcsés szövetű dolomit által cementált homokos aleurolit
Tiszapalkonya-I	1517,7	Pa	Bükkaljai	-4,1	-11,01	-5,18	-10,93	fehér sötétszürke, alul vörösbarna, kemény, szilánkos törésű dolomárga
Tiszapalkonya-I	1545	Pa	Bükkaljai	-2,42	-8,8	-0,28	-6,64	2 cm vastag vörösbarna ankerites(?) agyagmárgalense, szenesedett gyökér- és szármadaradványokkal
Tiszapalkonya-I	1628	Pa	Algyői	-0,49	-7	1,8	-3,99	szürke-sötétszürke dolomitos aleurolit
Tiszapalkonya-I	1653,8	Pa	Algyői	-3,44	-9,2	-1,05	-5,71	barnásszürke dolomárga kioldódott hejű Congeria-lenyomatokkal
Tiszapalkonya-I	1694,7	Pa	Szolnoki	-3,06	-10,43	-0,74	-4,98	4 cm vastag, sötétvörösbarna dolomárgalense molluszka-lenyomatokkal
Tiszapalkonya-I	1700	Pa	Szolnoki	-1,71	-7,68	-0,76	-5,07	szürkésbarna, kemény, szilánkos-kagylós törésű dolomárga Congeria-lenyomattal
Tiszapalkonya-I	1948,4	Pa	Endrődi	-0,12	-7,24	3,08	-3,56	szürkésbarna, kemény, szilánkos-kagylós törésű laminált dolomit, rétegzésre merőlegesen üres mikrorepedések
Tohanémédi-2	38,5	Pa	Tihanyi	-11,58	-7,09	-14,37	-6,85	0,6 m vastag, szürke, szemcsés elválású, dolomitos aleurolit
Tököl-1	295	Pa	Zagyvai	-5,28	-8,25	-4,85	-5,95	0,15 m vastag, szürke, szemcsés elválású, dolomitos aleurolit
Tököl-1	611,2	Pa	Zagyvai	0,34	-8,5	0,74	-3,81	0,1 m vastag, szürke, rétegzett, meszes, dolomitos agyagos aleurolit
Zalaegerszeg-3	86,2	Pa	Toronyi	4,51	-9,88	9,03	-5,44	szürke, sejtesszerű szövetű dolomit, pórusban pirított
Zsira-1	460,4	Pa	Tihanyi	-1,34	-5,57	2,59	-4,11	világosbarna márgában 4x7 cm-es vörösbarna dolomitkonkrécio
Zsira-1	466,1	Pa	Tihanyi	-0,8	-7,23	2,64	-3,76	világosbarna márgában 4x3 cm-es vörösbarna ankeritkonkrécio
Zsira-1	477,1	Pa	Tihanyi	2,18	-4,98	2,76	-4,8	világosbarna agyagmárgás aleurolitban 8 cm-es vöröses szürkésbarna dolomitkonkrécio
Zsira-1	510,2	Pa	Tihanyi	2,96	-5,79	3,32	-4,79	világosbarna meszes aleurolitban 8 cm-es vöröses szürkésbarna dolomitkonkrécio
Zsira-1	564,8	Pa	Tihanyi	0,06	-6,38	3,83	-4,83	rétegzett, csillámos homokos aleurolitban barnásszürke, 3 cm-es ankeritlense
Zsira-1	571,2	Pa	Tihanyi	1,2	-7,04	3,98	-4,64	sötétszürke, rétegzett, szilánkos törésű dolomit + I62 nyílt litoklázisokkal
Hidasnémeti-1	544	szarmata	Zagyvai	-4,12	-7,34	0,15	-2,3	0,2 m vastag dolomárga
Hidasnémeti-1	550,3	szarmata	Zagyvai	-0,48	-9,14	1,21	-2,84	0,2 m vastag dolomárga
Ibafa-9019	330	otnangi	Szászvári	-8,83	-7,15	-2,69	-3,02	nincs leírás
Sámsónháza-16/a	534	kárpáti	Garábi	3,74	-5,07	7,12	2,12	0,1 m vastag, világosszürke dolomárga, benne mm-es gipsz(?) repedéskitöltés
Sopron-89	74	badeni	Badeni	2,13	-1,27	-10,95	-0,86	0,1 m vastag, szürke, rétegzetlen, meszes, dolomitos aleurolit sok szenesedett növényi törmelékkel
Sopron-89	92,4	badeni	Badeni	-6,64	-2,48	-12,01	0,92	3 cm vastag, szürke, rétegzetlen, meszes, dolomitos aleurolit sok szenesedett növényi törmelékkel
Sopron-89	150,1	badeni	Badeni	-5,48	-6,73	-9,32	-2,82	0,1 m vastag, szürke, lemezesen sítarétegzett, csillámos, dolomitos aleurolit

*Magyarország litosztratifikai alapegységei 1997

** A Szombathely-II fúrás mintái esetében a kőzetnév a szemcsösszetétel és DTA-vizsgálatok alapján lett meghatározva