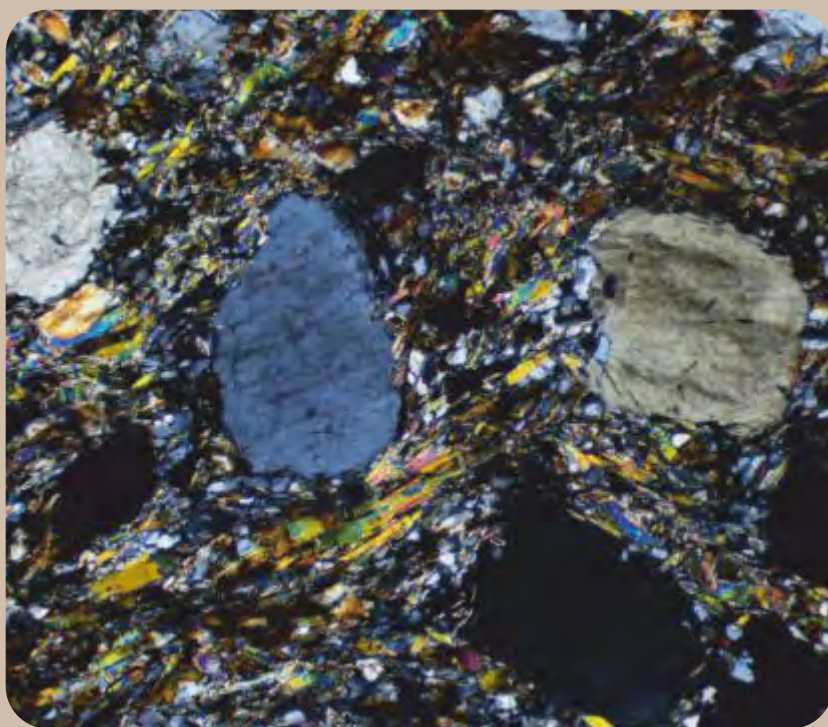


Földtani Közlöny



155/3

A Magyarhoni Földtani Társulat folyóirata
Bulletin of the Hungarian Geological Society



Budapest, 2025

Felelős kiadó

M. TÓTH Tivadar, az MFT elnöke

Főszerkesztő

SZTANÓ Orsolya

Vendégszerkesztő

M TÓTH Tivadar

Műszaki szerkesztők

BABINSZKI Edit

KOVÁCS Zoltán

BARTHA István Róbert

Nyelvi lektor

LUKOCZKI Georgina

Szerkesztőbizottság

FODOR László, FÓZY István, LUKÁCS

RÉKA, PÓSFAL Mihály, SZANYI János,

TÖRÖK Ákos

Támogatók

Magyar Tudományos Akadémia,
ANZO Perlit Kft., Biocentrum Kft.,
Colas Északkő Kft., Geo-Log Kft.,
Geoproduct Kft., Geoteam Lambda
Kft., Mecsekérc Zrt., Mineralholding
Kft., OMYA Hungária Kft., O&G
Development Kft., Perlit-92 Kft.,
TerraPeuta Kft.

A kéziratokat az alábbi felületen kérjük benyújtani

www.foldtanikozlony.hu

* * *

Responsible publisher

Tivadar M. TÓTH,

President of the Hungarian Geological Society

Editor-in-chief

Orsolya SZTANÓ

Guest Editor

Tivadar M. TÓTH

Technical editors

Edit BABINSZKI

Zoltán KOVÁCS

István Róbert BARTHA

Language editor

Georgina LUKOCZKI

Editorial board

László FODOR, István FÓZY, Réka

LUKÁCS, Mihály PÓSFAL, János SZANYI,

Ákos TÖRÖK

Sponsors

Hungarian Academy of Sciences,
ANZO Perlit Kft., Biocentrum Kft.,
Colas Északkő Kft., Geo-Log Kft.,
Geoproduct Kft., Geoteam Lambda
Kft., Mecsekérc Zrt., Mineralholding
Kft., OMYA Hungária Kft., O&G
Development Kft., Perlit-92 Kft.,
TerraPeuta Kft.

Submission of manuscripts through

www.foldtanikozlony.hu

Földtani Közlöny is abstracted and indexed in

Crossref.org

Scopus

GeoRef (Washington),

Pascal Folio (Orleans),

Zentralblatt für Paläontologie

(Stuttgart),

Referativny Zhurnal (Moscow) and

EPA, MTA REAL (Budapest)

**Tartalom — Contents**

M. TÓTH Tivadar: SZEDERKÉNYI Tibor köszöntése a munkássága előtt tisztelgő <i>Földtani Közlöny</i> -kötet megjelenése alkalmából.	179
SPRÁNITZ, Tamás, PORKOLÁB Kristóf, HENCZ Mátyás, KERESZTES Tamás, SALAMON Bondó, GILIO, Mattia, ALVARO, Matteo, BERKESI Márta: Elasztikus termobarometria – módszertani áttekintés. – <i>Elastic thermobarometry – a methodological overview</i> .	181
KONDOR, Henrietta, BRAUN, Bence Ádám, M. TÓTH, Tivadar: Architecture of the metamorphic Algyő High (SE Pannonian Basin) based on lithological interpretation of natural gamma-ray logs. – <i>A metamorf Algyő-hát (DK-Pannon-medence) kőzettani felépítése természetes gamma szelvények értelmezése alapján</i> .	195
LADÁNYI, Lili, HRABOVSKI, Ervin, SCHUBERT, Félix: Fracture-controlled paleofluid migration in the Óbánya Valley (Eastern Mecsek). – <i>Törérendszerekhez kapcsolódó paleofluidum-migráció az Óbányai-völgyben (Keleti-Mecsek)</i> .	213
SEBE Krisztina, TÓTH Emőke, SZUROMINÉ KORECZ Andrea, SELMECZI Ildikó†, MAGYAR Imre, KRIZMANIĆ, Krešimir, KONRÁD Gyula: Adatok a Mecsekalja-öv pécsi szakaszának neogén aktivitásához. – <i>Data on the Neogene activity of the Mecsek Mountains frontal fault zone in Pécs (SW Hungary)</i> .	235
SZANYI János: Javaslat a geotermikusenergia-hasznosítás fellendítésére. „ <i>Megint s megint – szünetlen</i> ”. – <i>Discussion paper on boosting geothermal energy use</i> . „ <i>Again and again – tirelessly</i> ”.	257
KOVÁCS Péter: In memoriam MÁRTONNÉ SZALAY Emőke.	265
SIMON István: In memoriam CSATH Béla.	277
Hírek, ismertetések (összeállította: PIROS Olga)	287

Első borító: A Tiszai paragneisz jellegzetes szöveti képe az algyői és ferencszállási fúrásokban.

Hátsó borító: Gejzírmező, Te Puia, Rotura, Új Zéland (SZANYI János felvétele).

Budapest, 2025

ISSN 0015-542X

Rövidített útmutató a Földtani Közlöny szerzői számára

Kérjük olvassa el részletes útmutatónkat a www.foldtanikozsoly.hu weboldalon.

A Földtani Közlönybe a földtudományok széles köréből várunk a Kárpát–Pannon térség földtani felépítésével foglalkozó magyar vagy angol nyelvű kéziratokat. Magyar nyelvű cikkek esetében annak címét, kulcsszavait, összefoglalóját, az ábrák és táblázatok címét, feliratait angol nyelven is meg kell adni, angol nyelvű cikkek esetén fordítva. Az angol nyelvű szövegek elkészítése a szerző feladata.

A kéziratot bírálatra pdf formátumban, egyetlen fájlként kell benyújtani, a szöveg mögé sorrendben elhelyezett számozott ábraanyaggal. A fájl neve a szerző nevéből és a cikk témáját lefedő néhány szóból álljon (pl. *szujo_etal_villanyi_kavicsok*). Kéziratok a fenti honlapon keresztül küldhetők be. Bármilyen technikai probléma esetén forduljon a technikai szerkesztőhöz (piros.olga@mbfsz.gov.hu) vagy a főszerkesztőhöz (sztano.orsolya@gmail.com).

Az értekezések eddig publikálatlan adatokat, új eredményeket következtetéseket közölnek, széles tudományterületi képbe helyezve. A rövid közlemények célja az adatközlés, adatmentés, vagy az új eredmény gyors közzététele. A szemle széleskörű, szakmailag közérthető áttekintést nyújt egy tudományterület új eredményeiről, vagy kevésbé ismert, új módszereiről, annak alkalmazásáról. Vitairat a vitatott cikk megjelenésétől számított hat hónapon belül küldhető be. A vitatott cikk szerzője lehetőséget kap arra, hogy válasza a vitázó cikkel együtt jelenjen meg. A gyakorlati rovatba a földtani kutatással – bányászattal kapcsolatos kéziratok kerülnek, melyek eredménye nem elsősorban tudományos értékű, hanem a szakközösség tájékoztatását, szolgálja. A **tömör fogalmazás, az állításokat alátámasztó adatszolgáltatás, a szabatos szaknyelv használata és a nem specialista olvasók érdekében a közérthetőség mindegyik műfajban alapkövetelmény.**

A KÉZIRAT TAGOLÁSA ÉS AZ EGYES FEJEZETEK JELLEMZŐI (kötelező, javasolt)

a) **Cím (magyarul, angolul)** Rövid, informatív és tárgyra törő, utal a fő mondanóra.

b) **Szerző(k), munkahelye, postacímmel (e-mail cím)**

c) **Összefoglalás (magyarul, angolul)** Kizárólag a tanulmány célját, az alkalmazott módszereket, az elért legfontosabb új eredményeket és következtetéseket tartalmazza, így önállóan is megállja a helyét. Hossza legfeljebb 300 szó. Az angol nyelvű összefoglaló lehet bővebb a magyarnál (max. 1000 szó).

d) **Tárgyszavak (magyarul, angolul)** Legfeljebb 8 szó / egyszerű kifejezés e) **Bevezetés** A munkához kapcsolódó legfontosabb korábbi szakirodalmi eredmények összefoglalása, és ebből következően a tanulmány egyértelműen megfogalmazott célja.

f) **Anyag és módszerek** A vizsgált anyag, esetleg korábbról származó adatok, a mérési, kiértékelési eszközök és módszerek ismertetése. Standard eljárások esetén csak a hivatkozott módszertől való eltérést kell megfogalmazni.

g) **Eredmények** Az új adatok és kutatási eredmények ismertetése, dokumentációja ábrákkal és táblázatokkal.

h) **Diskusszió** A kapott eredményeknek a saját korábbi eredményekkel és a szakirodalmi ismeretekkel való összevetése, beágyazása a tágabb tudományos környezetbe.

i) **Következtetések** Az új következtetések tézisszerű, rövid ismertetése az eredmények és a diskusszió ismételése nélkül.

j) **Köszönetnyilvánítás**

k) **Hivatkozott irodalom** Csak a szövegközi, az ábrákhoz és táblázatokhoz kapcsolódóan megjelenő hivatkozásokat foglalja magába (se többet, se kevesebbet).

l) **Ábrák, táblázatok és fényképtáblák (magyar és angol felirattal)** A szemléltetni kívánt jelenség, vagy összefüggés megértéséhez szükséges mennyiségű.

m) **Ábra-, táblázat- és fényképmagyarázatok (magyarul és angolul)** Az illusztrációk rövid, összefogott, tartalmában érdemi magyarázata.

FORMAI KÖVETELMÉNYEK

Értekezés, szemle maximális összesített **terjedelme** 20 nyomdai oldal (szöveg, ábra, táblázat, fénykép, tábla együttesen). Ezt meghaladó tanulmány csak abban az esetben közölhető, ha a szerző a többletoldal költségének térítésére kötelezettséget vállal. A rövid közlemények összesített terjedelme maximálisan 4 nyomdai oldal.

A **szöveg** doc, docx vagy rtf formátumban készüljön. Az alcímeknél ne alkalmazzanak automatikus számozást vagy ábécés jelölést, csak a tipográfiával jelezzék a címrendet. A hivatkozásokban, irodalomjegyzékben a SZERZŐK nevét kis kapitálissal, ősmaradványok faj- és nemzetségnéveit dőlt betűvel, fajok leíróit szintén kis kapitálissal kell írni. A kézirat szövegében az ábrákra és a táblázatokra számozásuk növekvő sorrendjében a megfelelő helyen hivatkozni kell.

A szövegközi **hivatkozások** formája RADÓCZ 1974, vagy GALÁCZ & VÖRÖS 1972, míg három vagy több szerző esetén KUBOVICS et al. 1987. Több hivatkozás felsorolásakor ezek időrendben kövessék egymást. Az irodalomjegyzék tételei az alábbi minta szerint készüljenek, szoros ábécében, ezen belül időrendben álljanak. Kérjük a folyóiratok teljes nevének dőlt betűvel történő kiírását. Ezen kívül, ha a hivatkozott műnek van DOI száma, azt meg kell adni teljes URL formátumban. Hivatkozott egyedi kiadványok esetén a mű címét kérjük dőlt betűvel szedni. Magyar szerzők idegen nyelvű publikációi esetén a vezetéknev után vesszőt kell tenni.

CSONTOS, L., NAGYMAROSY, A., HORVÁTH, F. & KOVÁC, M. 1992: Tertiary evolution of the intra-Carpathian area: A model. — *Tectonophysics* **208**, 221–241. [http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90346-8](http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951(92)90346-8)

JÁMBOR Á. 1998: A Tisza nagyszerkezeti egység karbon üledékes képződményei rétegtanának ismertetése. — In: BÉRCZI I. & JÁMBOR Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. MOL Rt. — MÁFI kiadvány, Budapest, 173–185.

VARGA A. 2009: A dél-dunántúli paleozoos–alsó-triász sziliklasztos kőzetek közettani és geokémiai vizsgálatának eredményei. — PhD értekezés, ELTE Közzétan–Geokémiai Tanszék, Budapest, 150 p.

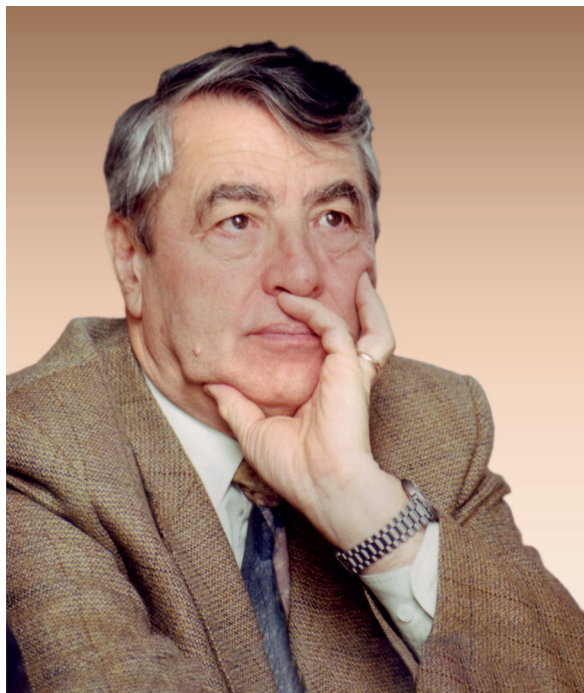
WEAVER, C. E. 1989: *Clays, Muds, and Shales*. — *Developments in Sedimentology* 44, Elsevier, Amsterdam, 819 p. [http://dx.doi.org/10.1016/s0070-4571\(08\)7036-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0070-4571(08)7036-0)

Az **ábrákat** a szerzőknek kell elkészíteni, nyomdakész állapotban és minőségben a tükörméretbe (170×240 mm) álló, vagy fekvő helyzetben beilleszthetően. A fotótábla maximális magassága 230 mm lehet. Az ábrákon a vonalvastagság 0,3 pontnál, a betűméret 6 pontnál ne legyen kisebb. Az illusztrációkat X4-nél nem frissebb CorelDraw ábraként, az Excel táblázatokat és diagramokat word vagy cdr formátumban tudjuk elfogadni. Egyéb esetben a fekete és színes vonalas ábrákat 1200 dpi felbontással, tif kiterjesztéssel, a szürkeárnyaltos fényképeket 600, a színes fényképeket 300 dpi felbontással, tif vagy jpg kiterjesztéssel kérjük beküldeni. A színes illusztrációkat a megfelelő nyomdai minőség érdekében CMYK színprofillal kérjük előállítani, ezért az online megjelenő pdf esetében előfordulhat némi színváltozás. A színes ábrák, fotótáblák nyomtatási költségeit a szerzőknek kell fedezniük. Ha a költséget a szerzők nem tudják vállalni, már benyújtáskor szürkeárnyaltos illusztrációkat használnak.

A cikk benyújtásakor, kérjük a szerzőket, hogy **nevezzenek meg legalább négy olyan szakértőt**, akik annak tartalmáról érdemi véleményt adhatnak, és adják meg e-mail címüket. A bírálatot követően a szerzőtől egy vagy két hónapon belül várjuk vissza a javított változatot, ekkor **még mindig egyetlen összesített pdf-ben** (eredeti fájl név_átdolgozott megjelöléssel). E mellé kérünk csatolni egy **tételes jegyzéket**, melyben bemutatják, hogy lektorai megjegyzéseit, tanácsait hogyan vették figyelembe, valamint esetleges egyet nem értésüknek milyen szakmailag alátámasztható indokai vannak.

A **közlésre elfogadott kéziratok szövegét, ábráit, táblázatait egyesével kérjük a szerkesztőségi felület megfelelő menüpontját használva feltölteni**. Tördelést követően a szerzők feladata a korrektúrázás. Különlenyomatokat még külön költségért nem tudunk biztosítani.

SZEDERKÉNYI Tibor köszöntése a munkássága előtt tisztelgő *Földtani Közlöny*-kötet megjelenése alkalmából



Dr. SZEDERKÉNYI Tibor a Szegedi, majd a Pécsi Tudományegyetem egyetemi tanára 2024 szeptemberében betöltötte 90. évét. A 70. születésnapja alkalmából megjelent részletes életrajza (KÓBOR & PÁL-MOLNÁR 2004) aprólékosan bemutatja azt a színes pályafutást, mely a Dél-Dunántúl ritkalelem-potenciáljának felmérésétől új-zélandi és kanadai térképező expedíciókon át az Alföld metamorf aljzatának beható kőzettani vizsgálatáig ível. A jelen kötet cikkeivel az ő munkássága előtt tisztelgnek a szerzők. Professzor úr annak a generációnak a kiemelkedő képviselője, amely a Földet számtalan szalon összekapcsolódó, nagy egységként és nem egyre kisebb területeket lefedő résztudományok diszjunkt halmazának tanulta, látta és tanította. Szerteágazó szakmai tudását, műveltségét Budapesten, az ELTE-n olyan professzorok alapozták meg, mint VADÁSZ Elemér, SZÁDECZKY-KARDOSS Elemér, TELEGDY-ROTH Károly vagy EGYED László. A tőlük kapott komplex szemlélet köszön vissza 150-nél is több publikációjából, és ezt képviselte terepi geológusként, a földtani szakigazgatásban eltöltött vezetői évek során, majd az egyetemi katedrán is. Rétegtan, geokémia, kőzettan, elmélet és gyakorlat, alap- és alkalmazott tudomány, mind ugyanazt az egy és közös célt kell, hogy szolgálják: az egész minél jobb megértését. A kötet cikkei ebben a szellemben, egyben professzor úr fő kutatási területeit is szem előtt tartva, elméleti metamorf kőzettani, Alföld kristályos aljzati, mecseki és aktuális alkalmazott földtani témákat tárgyalnak.

Szerteágazó és eredményes oktatói, kutatói tevékenységét csakúgy, mint a Magyarhoni Földtani Társulatért végzett áldozatos munkáját a Társulat tiszteleti tagsággal és jelentős kitüntetésekkel ismerte el (Lóczy Lajos Emlékplakett, 2014; Kubinyi Ágoston Emlékérem, 2018). Egykori tanítványai, kollégái, valamint a Magyarhoni Földtani Társulat elnöksége és tagsága nevében tolmácsolom köszönetemet, és kívánok jó egészséget.

Jó szerencsét!

M. TÓTH Tivadar
vendégszerkesztő

Dr. Tibor SZEDERKÉNYI, a professor at the University of Szeged and later at the University of Pécs, celebrated his 90th birthday in September 2024. His detailed biography, published on the occasion of his 70th birthday (KÓBOR & PÁL-MOLNÁR 2004), carefully details his vibrant career, which spans from assessing the rare element potential of South Transdanubia to leading mapping expeditions in New Zealand and Canada, as well as conducting in-depth petrological studies of the metamorphic basement of the Great Plain. The authors acknowledge his contributions with the articles in this volume. The professor is a distinguished representative of a generation that learned, observed, and taught the Earth as a complex interconnected entity, rather than a collection of disjointed sub-sciences covering increasingly smaller fields. His broad professional knowledge and erudition were cultivated in Budapest at ELTE under the guidance of professors such as Elemér VADÁSZ, Elemér SZÁDECZKY-KARDOSS, Károly TELEGDI-ROTH, and László EGYED. The integrated approach he acquired from them is reflected in his more than 150 publications, which he applied as a field geologist, during his administrative roles in geology, and later as a university professor. Stratigraphy, geochemistry, petrology, theory and practice, as well as basic and applied sciences, should all serve the same overarching goal: a deeper understanding of the Earth. In this spirit, and considering the professor's main research areas, the articles in this volume explore theoretical metamorphic petrology, the crystalline basement of the Great Plain, the Mecsek Mountains, and current applied geological issues.

His diverse and successful teaching and research activities, as well as his dedicated work for the Hungarian Geological Society, have been recognised by the Society with honorary membership and significant awards, including the Lóczy Lajos Memorial Plaque (2014) and the Kubinyi Ágoston Memorial Medal (2018). On behalf of his former students, colleagues, and the presidency and membership of the Hungarian Geological Society, I express my gratitude and wish him good health.

M. TÓTH, Tivadar
guest editor

KÓBOR, B. & PÁL-MOLNÁR, E. 2004: In honour of Professor Tibor Szederkényi on the occasion of his 70th anniversary. – *Acta Mineralogica-Petrographica* **445/2**, 1–6.

Elasztikus termobarometria – módszertani áttekintés

SPRÁNITZ Tamás^{1,2*}, PORKOLÁB Kristóf¹, HENCZ Mátyás¹, KERESZTES Tamás^{1,2}, SALAMON Botond³,
GILIO, Mattia⁴, ALVARO, Matteo⁴, BERKESI Márta^{1,2}

¹MTA-FI FluidsByDepth Lendület Kutatócsoport, HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet, 9400 Sopron, Csatka Endre u. 6-8.

²Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Közöttani és Geokémiai Tanszék,
Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

³Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Ásványtani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

⁴Department of Earth and Environmental Sciences, University of Pavia, Pavia, Italy

*spranitz.tamas@epss.hun-ren.hu

Elastic thermobarometry – a methodological overview

Abstract

The study of metamorphic rocks is a key to understand the ongoing plate tectonic processes, as they commonly preserve the record of several episodes of their geological evolution, like chemical or mechanical equilibrium, metamorphic reactions, fluid-rock interaction over millions (or tens of millions) of years. Inclusions (fluid, melt and mineral inclusions) entrapped in rock-forming minerals preserve chemical compositions and physical states that allow direct study of processes that occurred at higher pressures and/or temperatures, even in the subduction zone. Mineral inclusions are common in metamorphic minerals and can be trapped over a wide range of pressure and temperature (P-T) conditions during the growth of the host mineral and can be used to reconstruct the trapping conditions. The solid crystal inclusions trapped within the rock-forming minerals during growth experience different magnitudes of volume change due to their different elastic compressibility and thermal expansion coefficients. The host and inclusion minerals are therefore subject to differential volume changes during the subsequent P-T path (from entrapment at depth to surface exposure). This „passive” differential volume change result in stress buildup between the host mineral and the inclusion that is characteristic of trapping P-T. Therefore, some host-mineral inclusion pairs can be used as barometers (e.g., quartz in garnets) because of their different mechanical properties, while other pairs can be used as thermometers (zircon in garnet). The residual stress can be determined by carrying out Raman spectroscopic analyses or single-crystal X-ray diffraction, given the appropriate material constants and equations of states, which can be used to determine the trapping conditions (entrapment isomeke). Regarding its increasingly wide application, this overview presents the methodological aspects of elastic thermobarometry based on Raman spectroscopy measurements that can be applied to reconstruct P-T evolution not only of metamorphic, but magmatic rocks as well.

Keywords: *thermobarometry, entrapment conditions, metamorphic P-T history, mineral inclusion, quartz-in-garnet, zircon-in-garnet, Raman spectroscopy*

Összefoglalás

A lemeztektonikai folyamatok megértéséhez kulcsfontosságú a metamorf kőzetek vizsgálata, amelyekben a geológiai fejlődéstörténet több epizódja (kémiai vagy mechanikai egyensúly, metamorf reakciók, fluidum-kőzet-kölcsönhatás) is megőrződhet. A kőzetalkotó ásványokban csapdázódott zárványok (fluidum-, olvadék- és kristályzárványok) olyan kémiai összetételt és fizikai állapotot konzerválnak, amelyek segítségével közvetlenül vizsgálhatók a nagyobb nyomáson és/vagy hőmérsékleten, például a szubdukciós zónákban végbement folyamatok. A metamorf kőzetek ásványaiiban gyakoriak a kristályzárványok, melyek a bezáró ásvány növekedése során széles nyomás- és hőmérséklet- (P-T) tartományban csapdázódhattak, és vizsgálatukkal rekonstruálhatók a csapdázódási körülmények. A kőzetalkotó ásványok által – a növekedés során – bezárt szilárd kristályzárványokat eltérő mértékű térfogatváltozás jellemzi változó nyomás vagy hőmérséklet esetén a különböző mértékű elasztikus (rugalmas) kompresszibilitási és hőtágulási együtthatójuknak köszönhetően. Ebből kifolyólag a P-T út további szakaszaiban (a nagy mélységben történő bezáródástól a felszínre kerülésig) eltérő mértékű térfogatváltozás hat a befogadó- és zárványkristályokra. Ez a „passzív” térfogati deformáció feszültséget okoz a befogadó ásvány és a zárvány között, amelynek meghatározása lehetővé teszi a csapdázódási P-T-viszonyok megállapítását. Ezért egyes befogadó ásvány –zárvány rendszerek az eltérő mechanikai tulajdonságaik miatt barométerként (pl. kvarc gránátban), míg más párok termométerként (cirkon gránátban) használhatók. A reziduális, azaz megőrző-

dött alakváltozás – a megfelelő anyagi állandók és állapotegyenletek ismeretében – Raman-spektroszkópos vagy egykristály röntgen-diffrakciós mérésekkel meghatározható, amelynek segítségével a csapdázódási körülmények (izomek-görbe) is megadhatók. Jelen áttekintés az egyre szélesebb körben alkalmazott Raman-spektroszkópos méréseken alapuló elasztikus termobarometria módszertanát mutatja be, mely nemcsak metamorf, hanem magmás P-T fejlődés rekonstrukciójára is alkalmas.

Tárgyszavak: termobarometria, csapdázódási körülmények, metamorf P-T-fejlődéstörténet, kristályzárvány, kvarc gránátban, cirkon gránátban, Raman-spektroszkópia

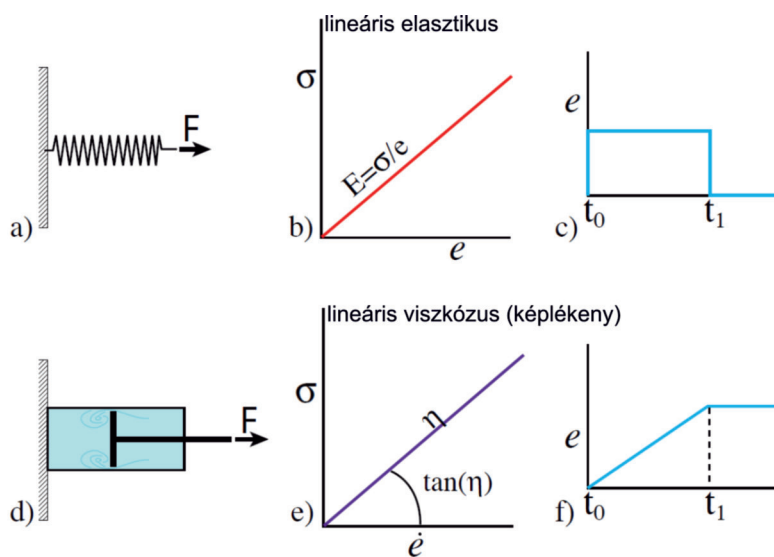
Bevezetés

Az elasztikus termobarometria módszertana a szilárd ásványok alakváltozásán, illetve az alakváltozás és a feszültség közötti kapcsolaton alapul. Ahogy a nevéből is adódik, a módszer az elasztikus deformáció tulajdonságait használja ki kristályzárványok csapdázódási nyomásának és hőmérsékletének becslésére. Az elasztikus, vagyis rugalmas deformáció jellemzője – amit az elasztikus termobarometria is felhasznál –, hogy az anyagban fellépő feszültség arányos a létrejött alakváltozással („strain”; *1. a, b ábra*). A feszültség és az alakváltozás lineáris kapcsolata ugyanis jó közelítést biztosít a végtelenül kicsi alakváltozásokra (*1. b ábra*). Képletesen fogalmazva: a rugalmas feszültség attól függ, mennyire van összenyomva (vagy széthúzva) a „rugó”, nem pedig attól, hogy milyen gyorsan nyomódott össze (vagy húzódtott szét) (*1. a, b ábra*). Az alakváltozás és az erőhatás kapcsolata lehet lineáris vagy nemlineáris, az anyag elasztikus

paramétereitől függően. A rugalmas deformáció továbbá reverzibilis, hiszen a „rugó” visszanyeri eredeti alakját az erőhatás (feszültség) megszűnése után (*1. c ábra*). Ez annak köszönhető, hogy a rugalmas deformáció során a kristályrácsbeli kapcsolatok nem szakadnak meg, hanem pusztán rövidülnek/nyúlnak. Az elasztikus deformációval ellentétben viszkózus (kristályplasztikus) deformáció esetén a feszültség az alakváltozás sebességével („strain rate”; *1. e ábra*) arányos, továbbá az alakváltozás permanens, nem reverzibilis (*1. f ábra*).

Az elasztikus termobarometria alapkonceptiója szerint egy szilárd kristályzárvány más, befogadó ásvány általi csapdázódásakor az adott (csapdázódási) nyomáson és hőmérsékleten nem jön létre különbözeti (differenciális) feszültség és alakváltozás („stress and strain”), tehát a zárvány térfogata pontosan megegyezik a befogadó ásványban lévő üreg vagy lyuk térfogatával, más szóval feszültségmentesen tölti ki azt, azaz mechanikai egyensúlyban vannak (SORBY & BUTLER 1869). A „szabad”, azaz feszültség alatt nem álló kristályokkal szemben a zárványként csapdázódott ásvány nem távolítható vagy húzódhat össze szabadon, ugyanis ebben gátolja az azt körülvevő befogadó ásvány (ALVARO et al. 2020, ANGEL et al. 2024). A nyomás-hőmérséklet (P-T) viszonyok megváltozásával, például a metamorf kőzetek exhumálódásakor, magmás kőzetek vagy xenolitok felszínre kerülésekor a befogadó ásványra és a zárványra eltérő mértékű térfogatváltozás hat (ROSENFELD & CHASE 1961). Mindez a különböző anyagok eltérő hőtágulásának és összenyomhatóságának következménye. A különböző rugalmassági tulajdonságok eltérő mértékű térfogatváltozást eredményeznek az eltérő kristályszerkezetekben. Ez a jelenség nemcsak a kőzetalkotó ásványok zárványainál, hanem például épített környezetünkben is jól megfigyelhető, amit az utcák aszfaltburkolataiba ágyazott fém csatornafedelek körül kialakult radiális repedések példáznak (*2. ábra*).

A befogadó és a zárványfázis eltérő mértékű térfogatváltozása kompressziós (pozitív) vagy tenziós (negatív) alakváltozás kialakulását okozhatja. Az alakváltozás mértékének számszerűsítése teszi lehetővé a kristályzárvány csapdázódási nyomás- és hőmérsékletviszonyainak meghatározását (*3. ábra*). Az

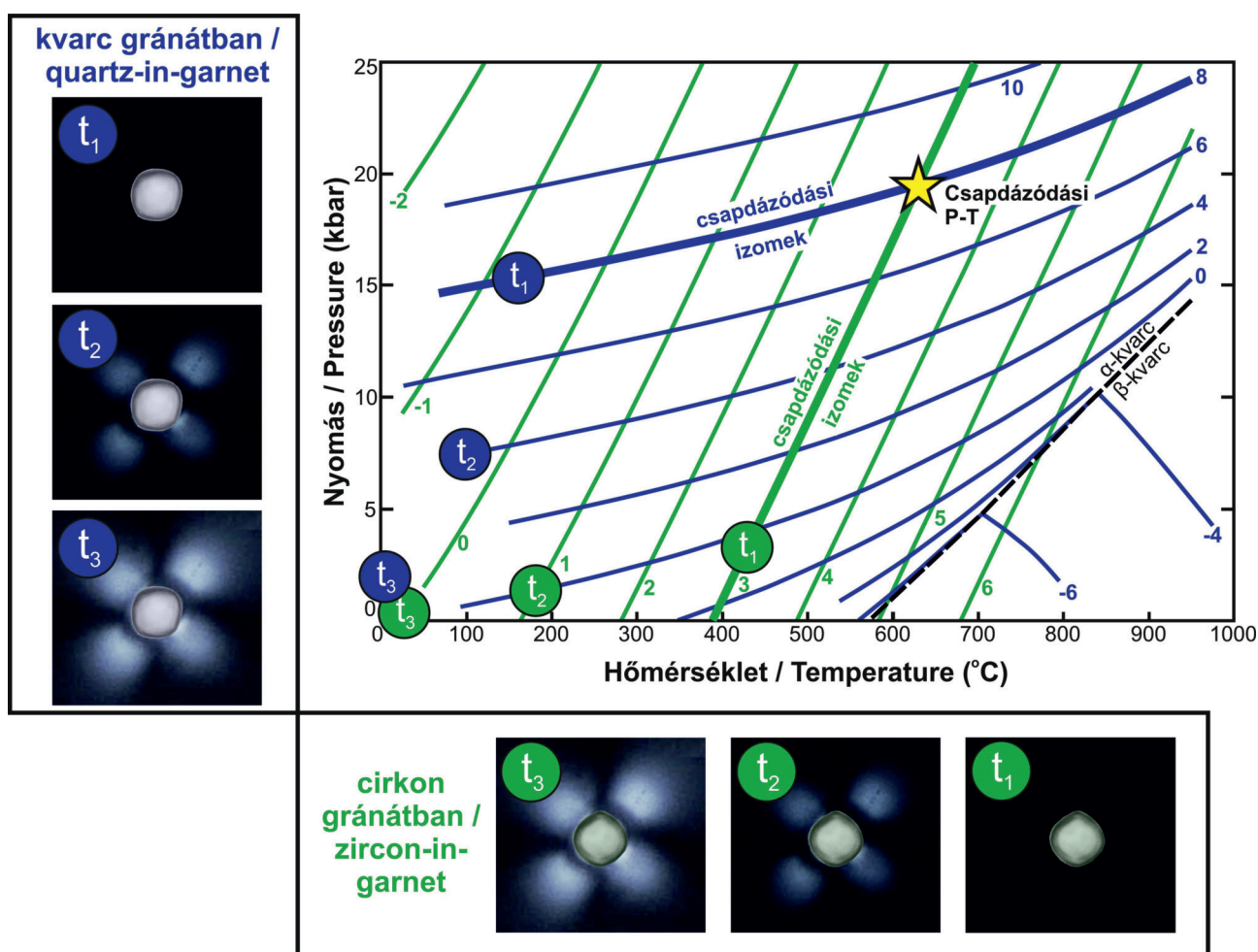


1. ábra. A rugalmas (elasztikus) és képlékeny deformáció alapvető jellemzői F erőhatásra, FOSSEN (2016) után. (a-c) A lineáris elasztikus (rugalmas) deformáció jellemzői. Elasztikus deformáció esetén a feszültség (σ) az alakváltozás (e) nagyságától és az elasztikus állandótól (E , Young-modulus vagy „merevség”) függ. Az alakváltozás reverzibilis: t_1 időpontban, az erőhatás megszűnésekor az alakváltozás ismét 0 lesz. Viszkózus deformáció esetén a feszültség az alakváltozás sebességével ($\dot{e}$) és a viszkozitásával (η) arányos, és az alakváltozás nem reverzibilis.

Figure 1. Basic characteristics of elastic and plastic deformation based on Fossen (2016). (a-c) Characteristics of linear elastic deformation. For elastic deformation, the stress (σ) depends on the magnitude of the deformation (e) and the elastic constant (E , Young's modulus or 'stiffness'). The deformation is reversible: at time t_1 , when the force is removed, the deformation returns to 0. In the case of plastic deformation, the stress depends on the rate of deformation ($\dot{e}$) and the viscosity (η), and the deformation is not reversible.

elasztikus termobarometria tehát a *befogadó* – *zárvány* rendszer eltérő rugalmassági tulajdonságokból adódó „passzív” térfogati deformációján alapul, amely a térfogatváltozásból adódó feszültséghez, nem pedig tektonikus erőkből származó differenciális feszültségekhez kötődik. A módszer egyik legfőbb előnye a klasszikus geotermobarometriai módszerekhez (kationcseré, vagy ásványátalakulási reakciókon alapuló számítások, vagy Gibbs-féle energiaminimum alapú termodinamikai modellezés) képest, hogy független a kémiai egyensúly kialakulásától és fennmaradásától, ugyanis kizárólag az alakváltozást veszi figyelembe (GILIO et al. 2021). Ugyanakkor a befogadó ásvány és a zárvány rugalmassági tulajdonságai nagymértékben függenek azok pontos kémiai összetételétől, tehát szükséges a vizsgált zárványra és a befogadó ásványra vonatkozó állapotegyenletek ismerete (ANGEL et al. 2022).

A P-T-térben csak egyetlen olyan lehetséges útvonal van, az izomek, azaz csapdázódási görbe (angolul 'isomeke'), amelynél a zárvány térfogatváltozása pontosan megegyezik az önmaga által, a befogadó ásványban kitöltött üreg/tér térfogatváltozásával (ROSENFELD & CHASE 1961, ANGEL et al. 2014). Az izomek mentén ebből következően nem lép fel nyomáskülönbség a zárvány és a befogadó ásvány között. Adott zárvány – befogadó ásvány párhoz tartozó izomek meghatározásával megadhatók a csapdázódás P-T-körülményei (4. ábra). Az ásványokra vonatkozó állapotegyenletek és rugalmassági együtthatók egyre széleskörűbben állnak rendelkezésre, így lehetőség nyílik az ásványpárok izomek-jeiire vonatkozó pontos számítások elvégzésére (KOHN et al. 2023). Ezek azt mutatják, hogy metamorf körülmények között az izomek-vonalak nem lineárisak a P-T-térben (4. ábra).



4. ábra. Az elasztikus termobarometria alkalmazásának szemléltetését bemutató P-T-diagram KOHN et al. (2023) alapján. Az egymást metsző görbék a kvarc gránátban (kék) és cirkon gránátban (zöld) zárvány – befogadó ásvány párok izomek görbéi, melyek mentén a csapdázódás történt (t_1). A görbékhez tartozó számok a zárvány légköri nyomáson mérhető reziduális nyomását jelzik (kbar-ban). Az izomek mentén (t_1) a differenciális feszültség értéke nulla, mely a P-T változással egyidejű ($t_1 \rightarrow t_2 \rightarrow t_3$) térfogatváltozás során növekszik; ezt illusztrálja a zárványok körül gyakran megfigyelhető csillagszerű interferencia koszorú keresztezett poláriszűrővel.

Figure 4. P-T diagram showing the application of elastic thermobarometry, based on KOHN et al. (2023). The intersecting curves of two inclusion – host mineral pairs: quartz-in-garnet (blue) and zircon-in-garnet (green) represent the isomeke along which the trapping occurred (t_1). The numbers associated with the curves indicate the residual pressure of the inclusion measured at atmospheric pressure (in kbar). The differential stress along the islets (t_1) is zero, increasing with the change in volume ($t_1 \rightarrow t_2 \rightarrow t_3$) with the change in P-T; this is illustrated by the star-like interference often observed around inclusions with a corona under crossed polarized light.

Habár a módszer alapjául szolgáló összefüggés már több mint 60 éve ismert (ROSENFELD & CHASE 1961), az elasztikus termobarometria alkalmazása az elmúlt évtizedekben került csak a kutatás fókuszába. Ezt igazolja a témakörhöz kapcsolódó publikációk és azok hivatkozásainak száma, mely utóbbi jelenleg meghaladja a 14 ezret (5. ábra). A módszertan dinamikus fejlődésével összhangban az elasztikus termobarometria nemcsak számos PhD doktori kutatás (MURRI 2020, GONZALEZ 2019, BONAZZI 2019, BARATELLI 2025, CAMPOMENOSI 2020), hanem a legnagyobb nemzetközi kutatási pályázatok, mint a European Research Council (ERC) Starting Grant fókuszában is állt (például a 307322 sz., INIDMEDEA rövidítésű, Fabrizio NESTOLA által vezetett [<https://www.unipd.it/en/erc-nestola-inidmedea>] vagy a 714936 sz., TRUE DEPTHS rövidítésű, Matteo ALVARO által vezetett [<https://www.mineralogylab.com/projects/true-depths/>] pályázatok).

A geológiában egyre szélesebb körben alkalmazható piezobarometria területén tapasztalható fejlődés nagymértékben köszönhető az ásványok fizikai adatainak jobb megismerésének, valamint olyan nagy precizitású műszerek fejlődésének és elérhetőségének, mint a Raman-spektroszkópia (MAZZUCHELLI et al. 2021). Ennek elméleti alapja az, hogy a zárványokban megőrződött (reziduális) alakváltozás összefüggést mutat az ugyanolyan anyagú referenciakristályra jellemző karakterisztikus Raman-sávok pozíciójával, így ez a mért eltérés (Δcm^{-1}) függvényében kiszámítható (ANGEL et al. 2019).

A jelenlegi alkalmazások azon a feltételezésen alapulnak, hogy 1) a befogadó és a zárvány ásványai elasztikusan izotrópok, és 2) a kristályzárvány alakja egy izolált gömbbel közelíthető. Ilyen körülmények között a zárványban a

stressz hidrosztatikus nyomást eredményez (CAMPOMENOSI et al. 2024). Ez határozható meg a zárvány karakterisztikus Raman-sávjainak eltolódása vagy a zárvány elemi cellatér-fogata egykristály röntgendiffrakcióval történő mérésével.

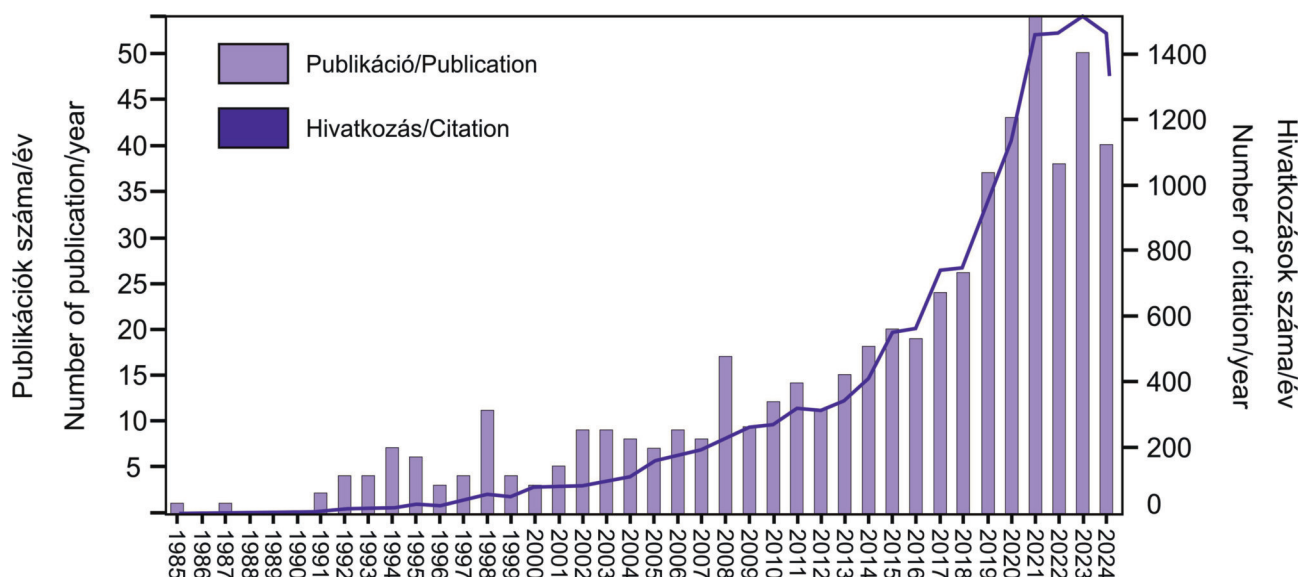
Jelen áttekintés célja, hogy az elasztikus termobarometria egyre szélesebb körben alkalmazott, Raman-spektroszkópián alapuló módszertanát a legkorszerűbb eljárások és esettanulmányok alapján mutassa be.

A mérés módszertana

A módszer elméleti háttere

Az egyes ásványok elasztikus alakváltozásainak műszeres vizsgálata és az ásványokhoz tartozó állapotegyenletek (equation of state – továbbiakban: EoS) alkotják az elasztikus termobarometria kvantitatív alkalmazásának lényegi sarokköveit.

Az EoS meghatározza, hogy hogyan változnak a befogadó és a zárványfázisok termodinamikai tulajdonságai a nyomás és a hőmérséklet függvényében. Ez megadható hőtágulási és kompresszibilitási paraméterekkel, valamint kifejezhető térfogatban (térfogati EoS) vagy kristálytani tengelyek mentén (tengely EoS). Az EoS ismerete adott ásványok esetén lehetővé teszi, hogy a Raman-spektroszkópos vizsgálatokkal mért alakváltozási értékek alapján kiszámítsuk azokat a nyomás- és hőmérsékleti viszonyokat, amelyek mellett az alakváltozási állapot egyensúlyban volt a befogadó ásvány és a zárvány között (= izomek, avagy csapdázódási görbe; KOHN et al. 2023).



5. ábra. Az elasztikus termobarometria tudománymetriai rekordja az elmúlt 40 évben a megjelent publikációk és az azokra érkezett hivatkozások éves bontása szerint. Forrás: Web of Science adatbázis (www.webofscience.com, 2025. május 20). A lekérdezés napjáig az adatbázis szerint 561 kapcsolódó (elastic thermobarometry, residual pressure, mineral inclusion kulcsszavak esetén) publikáció született, melyekre összesen 14355 hivatkozás érkezett.

Figure 5. The scientific metrics record of elastic thermobarometry over the last 40 years, by yearly breakdown of publications and citations. Source: Web of Science database (www.webofscience.com 20 May 2025). As of the date of the query, the database shows 561 related publications (for keywords elastic thermobarometry, residual pressure, mineral inclusion) with a total of 14355 citations.

Szemléltetésképpen: amennyiben egy gránát zárványa-ként előforduló kvarcban a – referencia/sztenderd kvarc-hoz képest mért – Raman-eltolódási sávok pozíciója pozitív irányba mozdul el, valamint csökken az egyes csúcsok közötti távolság, úgy kompressziós erőhatás van jelen a zárványban (ENDO et al. 2012), míg tenziós erőhatás esetében ezen jelenségek ellentéte figyelhető meg (KOHN et al. 2023). A metamorf kőzetek exhumációs P-T-útja és a befogadó ásvány (például gránát) kristályplasztikus deformációja elsősorban nagy és ultranagy nyomású rendszerek esetén döntően befolyásolhatja az eredeti csapdázódási körülmények megőrződését cirkonzárványok esetén, mely függ a zárványok kompressziós avagy tenziós feszültségi tartományba kerülésétől (lásd Esettanulmányok című fejezet és 8. ábra).

Ideális esetben mind a befogadó ásvány, mind a zárvány elasztikus értelemben izotróp, és a zárvány közelíti egy tökéletes gömb alakját (ZHONG et al. 2020). A valóságban azonban sok esetben vagy a befogadó ásvány, vagy a zárvány anizotróp (MAZZUCHELLI et al. 2019), tehát a nyomásra adott „válasza” irányfüggő. Ebben a rendszerben a Raman-eltolódásérték alapján történő nyomás meghatározása csak egy bonyolultabb inverzióval oldható meg. Az inverzió ebben az esetben azt jelenti, hogy a mért Raman-sáv eltolódásértékekből visszaszámolható az anyag ún. „merevségi tenzora” (KOHN et al. 2023). A merevségi tenzonnal azt lehet jellemezni, hogy az adott irányú nyomás milyen irányú és mértékű alakváltozást okoz egy anizotróp rendszerben. A számítások elvégzésére alkalmas szoftverekkel (például EntraPT) kiszámolható a mért Raman-eltolódásból az alakváltozás mértéke (Grüneisen tenzor; GRÜNEISEN 1926), a zárványban uralkodó átlagos mechanikai alakváltozás, majd ebből a csapdázódási (izomek) görbe (MAZZUCHELLI et al. 2019). Amennyiben a befogadó ásvány (például gránát) egyazon növekedési zónájában kétféle kristályzárvány (például kvarc és cirkon) együtt csapdázódott, az izomek-görbék metszete megadja a csapdázódási P-T-körülményeket (GILIO et al. 2022, KOHN et al. 2023, SPRÁNITZ et al. 2023). Alternatívát jelenthet a csapdázódási nyomás meghatározására, ha egy zárványhoz tartozó izomek-görbe mellett ismerjük a csapdázódási hőmérsékletet például termodinamikai egyensúly-meghatározás vagy nyomelem-termometria vizsgálatok (Zr rutilban vagy Ti kvarcban) alapján (ENDO et al. 2012, GILIO et al. 2021, KOHN et al. 2023, SPRÁNITZ et al. 2023, ZHONG et al. 2019).

Mintaelőkészítés

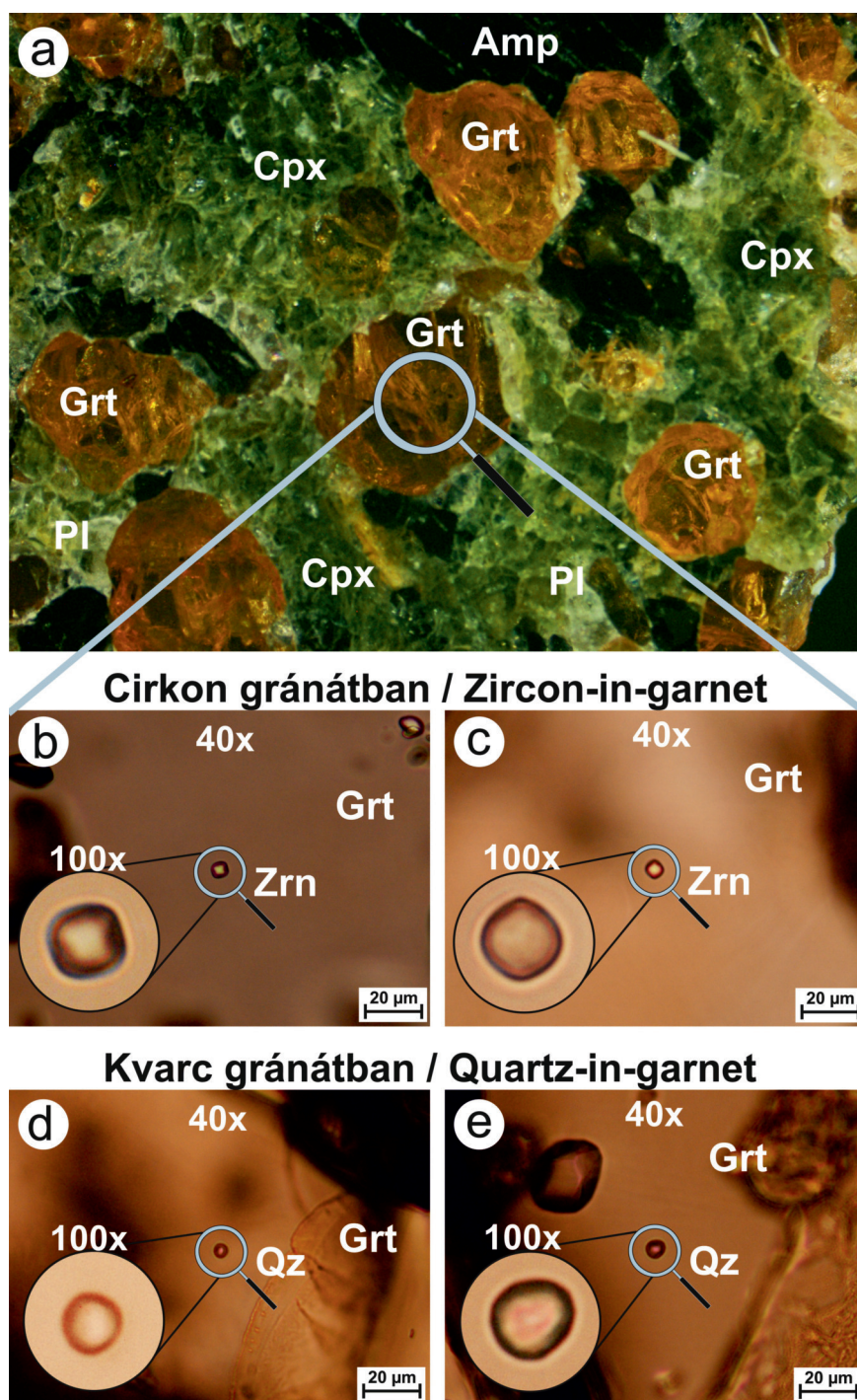
Az elasztikus termobarometriai mérések pontossága szorosan összefügg a mintaelőkészítés minőségével, melynek célja a petrográfiai elemzés mellett a megfelelő zárványok kiválasztása. A kristályzárvány-petrográfia előkészítéséhez mindkét oldalán kiválóan polírozott vastagsziszolat szükséges, mely vastagabb a fluidumzárvány-vizsgálatokhoz hagyományosan alkalmazott, kb. 100 µm-es csiszolattal. A jellemzően 200-300 µm-es csiszolatvastagság választásának oka, hogy a szigorú szöveti feltételeknek (Bo-

NAZZI et al. 2019, CAMPOMENOSI et al. 2020) megfelelő kristályzárványokat a minta nagyobb térfogatában lehessen kijelölni. A csiszolat elkészítéséhez a polírozást követően a tárgylemezről leoldható ragasztó (például pillanatragasztó) szükséges, ami kiküszöböli a Raman-spektroszkópos mérések során a ragasztó jelenlétéből fakadó háttér zavaró hatását.

A kristályzárványok kiválasztásának kritériumai

A kristályzárványok (például cirkon, kvarc, rutil) kiválasztása és dokumentálása optikai, polarizációs mikroszkopos vizsgálatokkal végezhető el. A zárványok kiválasztása szigorú kritériumok alapján valósulhat meg, elsősorban a zárványok alakja, mérete és szöveti helyzete alapján. A zárványok kiválasztásának fő szabálya, hogy a lehető legideálisabb zárvány – befogadó ásvány geometriai feltételek valósuljanak meg, például egy nagyon kis méretű (jellemzően 1-15 µm sugarú), izometrikus zárvány a befogadó ásvány „végtelen” térfogatában. Más szóval az esetleges feszültségvesztés elkerülése érdekében csak azokat a zárványokat célszerű kiválasztani BONAZZI et al. (2019) és CAMPOMENOSI et al. (2020) tanulmányaival összhangban, amelyek izoláltak, és bármely inhomogenitástól (a csiszolat felszíne, a befogadó ásvány szegélye, repedés vagy más zárvány) olyan távolságra vannak, mely meghaladja a zárványok sugarának 2-3-szorosát (6. ábra). A kiválasztott zárványoknak – lehetőség szerint – tisztának, homogénnek és zárványmentesnek kell lenniük (6. ábra). A zárványok elektron-mikroszkopos elemzéssel ellenőrzött homogén főelem-geokémiai összetétele kiemelt jelentőséggel bír, ugyanis például a cirkon 1,5-2 wt. %-os mennyiséget meghaladó Hf és U-tartalma befolyásolja a karakterisztikus Raman-sávok pozícióját (CAMPOMENOSI et al. 2020, NASDALA et al. 2002). A természetben mindazonáltal nem létezik „tökéletes” zárvány és teljes izoláltság. Ezért az elasztikus termobarometria alkalmazásakor a legjobb megközelítés a vizsgált mintában nagyobb számú (általában legalább 5-10), egyazon petrográfiai helyzetben előforduló zárvány mérése, majd a kapott reziduális nyomásértékek átlagának számítása.

A kristályzárványok kijelölése során célszerű a tárgylemezről leoldott és megtisztított, ezáltal kedvező átláthatósággal rendelkező kőzetszelet(ek)et mindkét oldaláról először kisebb (20×-os objektívet használva, tehát 10×-es okulár esetén 200-szoros), majd nagyobb (100×-os objektívet használva, tehát 10×-es okulár esetén 1000-szeres) nagyításon áteső, síkpolarizált (1N) fényben a fókuszmezlységet folyamatosan változtatva, szükség szerint kúposított fény segítségével átvizsgálni. Az elasztikus termobarometriában leggyakrabban használt, gránát zárványaként csapdázódott kvarc és cirkon elkülönítését segíti az a megfigyelés, mely szerint kisebb nagyítással (20-40× objektívvel) a cirkonzárványok általában éles kontúrral és élénkzöld-citromsárga, míg a kvarczárványok leggyakrabban elmosódott kontúrral és halványlila színárnyalattal jelennek meg (6. ábra).



6. ábra. Elasztikus termobarometriai vizsgálatokra kiválasztott kristályzárványok (b-c: cirkon, d-e: kvarc) jellemző petrográfiai tulajdonságai ÉNy-spanyolországi granulitmintában (Cabo Ortegal Komplexum). Rövidítések: Grt - gránát, Cpx - klinopiroxén, Pl - plagioklász, Amp - amfibol, Zrn - cirkon, Qz - kvarc.

Figure 6. Typical petrographic properties of mineral inclusions (b-c: zircon, d-e: quartz) selected for elastic thermobarometric analysis in a granulite sample from NW Spain (Cabo Ortegal Complex). Abbreviations: Grt - garnet, Cpx - clinopyroxene, Pl - plagioclase, Amp - amphibole, Zrn - zircon, Qz - quartz.

A mérés folyamata

A megőrződött alakváltozás meghatározásához a kvarc esetében a 128, 206, 263 és 464 cm^{-1} -nél, a cirkon esetében 201, 213, 224, 356, 438, 975 and 1009 cm^{-1} -nél megjelenő Raman-sávok nagy felbontású mérése szükséges (7. ábra).

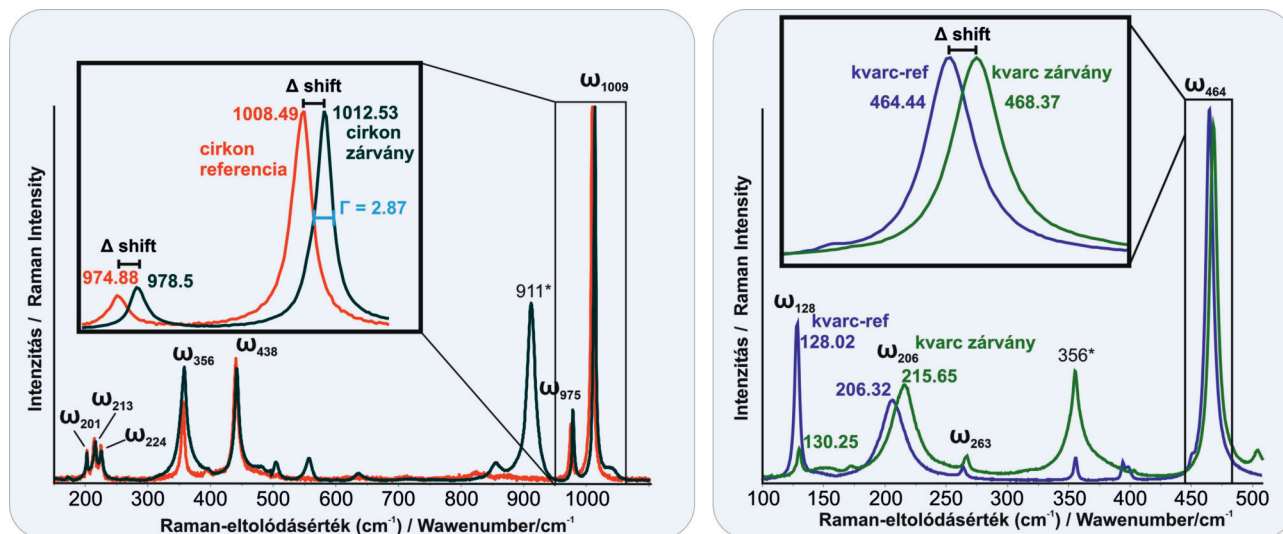
A pontelemzéshez az alábbi mérési paraméterek javasoltak: 532 nm hullámhosszú lézer, 1800 rovátka/mm-es optikai rács, 100 $\times$ objektív, 50-100 μm -es konfokális apertúra, 50-300 másodperces mérési idő, 3 $\times$ ismétlés és különböző szűrők (100%, 50%, 25%) a minták túlmelegedésének elkerülése érdekében (ZHONG et al. 2019). A javasolt 1800-as rácsozat nagy (0,7 cm^{-1}) spektrális felbontást tesz lehetővé. A zárvány méretétől és mélységétől függően célszerű a konfokális túlyukat és az adatgyűjtési időt változtatni. Ezen beállítások optimalizálása a legmegfelelőbb zárvány – befogadó ásvány Raman-sáv-intenzitásarány elérését tűzi ki célul. A kristályzárványok Raman-eltolódásértékének meghatározására szabadon álló, reziduális alakváltozástól mentes referenciakristályokat kell alkalmazni. A műszerstabilitásból eredő, esetleges sávpozíció-eltolódás kiküszöbölése és a pontos hullámszám kalibrációjának érdekében a referenciakristályokat és a neon emissziós sávokat minden egyes zárványmérést követően azokkal azonos mérési paraméterekkel szükséges lemérni.

A zárványok alakutani sajátosságaiból fakadó módosító hatások csökkentése érdekében a Raman-spektrumokat a zárványok középpontjából vagy annak jól definiált pontjából szükséges felvenni (MAZZUCHELLI et al. 2018). Az elasztikus termobarometriára csak azok a cirkonzárványok alkalmasak, amelyek 1009 cm^{-1} -nél mért Raman-sávjának félértékszélessége nem haladja meg az 5 cm^{-1} -t (CAMPOMENOSI et al. 2020). Ennek oka, hogy a módszer nagyobb mértékű sugárkárosodáson (metamiktizáción) átesett cirkonkristályoknál nem alkalmazható.

Az adatfeldolgozás menete

A reziduális alakváltozás meghatározásához elengedhetetlen a vizsgált kristályzárványok és a megfelelő

referenciakristályok Raman-spektrumainak nagy pontosságú csúcsillesztése, mivel már csekély Raman-eltolódás is számottevő különbséget eredményez az alakváltozási értékekben. E célra megbízható megoldást biztosít az OriginPro (<https://www.originlab.com>) vagy a Fityk



7. ábra. Gránátban kristályzárványként csapdázódott cirkon és kvarc karakterisztikus Raman-spektrumai. Ez az ábra a cirkon és kvarc zárványok Raman-sávjainak pozícióját (ω) egy-egy feszültségmentes referenciakristályéhoz viszonyítva mutatja be. A befogadó ásvány 356 cm^{-1} és 911 cm^{-1} -nél jelzett sávjai csillaggal vannak jelölve, míg a $\Gamma = 2.87$ a cirkon 1009 cm^{-1} -nél mérhető csúcsának a félértékszélességét jelzi (módosítva SPRÁNTZ et al. 2023 alapján).

Figure 7. Characteristic Raman spectra of zircon and quartz measured as mineral inclusion trapped in garnet. This figure shows the position (ω) of the Raman bands of zircon and quartz inclusions relative to a free unstrained reference crystal. The bands at 356 cm^{-1} and 911 cm^{-1} of the host mineral are marked with an asterisk, while $\Gamma = 2.87$ indicates the Full Width at Half Maximum of the peak measured at 1009 cm^{-1} of the zircon (modified after SPRÁNTZ et al. 2023).

(<https://fityk.nieto.pl/>) szoftver, amelyek megfelelő alkalmazása lehetővé teszi a Raman-sávok pozícióinak pontos meghatározását. A nyers Raman-spektrumok feldolgozására az alábbi lépések javasoltak: alapvonal-illesztés, mérési időre való normálás, sávpozíció és csúcs alatti terület integrálása pseudo-Voigt függvények szerint.

A Raman-sávok pozícióinak a referenciakristályokétól mért különbségei alapján – a stRAInMAN szoftver segítségével (ANGEL et al. 2019) – kiszámítható a zárványon belüli reziduális alakváltozás. A kapott alakváltozási értékek, valamint az alkalmazott anyagi állandók, elasztikus tenzorok (MURRI et al. 2018, STANGARONE et al. 2019) és állapot-egyenletek ismeretében a zárványokban megőrzött reziduális nyomás, illetve a zárvány – befogadó ásvány rendszerre jellemző csapdázódási feltételek (izomek-görbe) határozhatók meg. E görbék kiszámítására és grafikus megjelenítésére az EntraPT szoftver (MAZZUCHELLI et al. 2021; <https://www.mineralogylab.com/software/entrapt/>) nyújt korszerű és széles körben alkalmazott megoldást. Az izomek számolásához a gránát mint a legszélesebb körben alkalmazott befogadó ásvány esetén annak legújabb állapotegyenletei (ANGEL et al. 2022) javasoltak, valamint a szélsőtagokhoz tartozó értékek aktuális, mikroszondás mérés által meghatározott gránát főelem-geokémiai összetételre vonatkozó átlagszámítása szükséges.

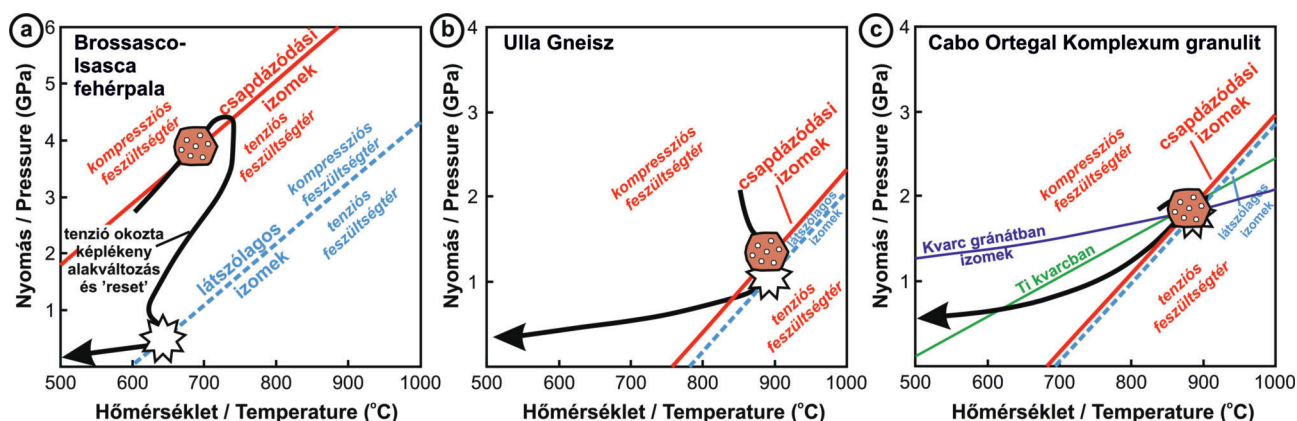
Esettanulmányok

Esettanulmányok nagy nyomású metamorf területekről

GILIO et al. (2022) a norvégiai Fjórtoft-szigeten előforduló, proterozoos Ulla gneisz formáció kvarc–gránát ér és a

kaledóniai Blåhø takaró gránát–kianit gneisz ásványain alkalmazták az elasztikus termobarometria módszerét. A kutatás során gránát zárványaként együtt előforduló (tehát egyszerre csapdázódott) kvarc- és cirkonkristályokon végeztek Raman-spektroszkópos méréseket, amelyek eredményeit Zr-alapú rutil termometriával kombinálták. Az Ulla kvarc–gránát ér gránátjának zárványdús magja és pereme eltérő P-T-körülményeket mutatott. A mag eredetileg nagyobb nyomáson (1,5–2,5 GPa, 750–800 °C) keletkezett, míg a perem 1,2 GPa és 880 °C-on újrakristályosodott. Ez utóbbi körülmény korrelál a Blåhø gneisz gránátjának csúcsmetamorf körülményeivel, mely alapján a P-T-viszonyoknál kerülhetett egymással kapcsolatba a Blåhø és az Ulla egység. Ez a megfigyelés bizonyítékul szolgál arra, hogy a szubdukció utáni exhumáció során egy késői termális esemény mindkét egységet érintette. A GILIO et al. (2022) által készített kutatás jól demonstrálja az elasztikus termobarometria alkalmazásának jelentőségét a metamorf P-T-útvonalak pontos jellemzéséhez nagy nyomású metamorf rendszerekben.

Az ultranagy nyomású (UHP) rendszerekben csapdázott cirkon ugyanakkor nem feltétlenül tükrözi megfelelően a csapdázódás P-T-körülményeit (CAMPOMENOSI et al. 2023). Ennek oka az elasztikus relaxáció, ugyanis a gránát képes kristályplasztikusan deformálódni a zárvány körül. Ennek során feloldódik/felülíródik a zárványban kialakult alakváltozás (strain reset), így az nem a csapdázódás P-T-viszonyait fogja tükrözni. Amennyiben az exhumációs P-T-út meredekebb az eredeti csapdázódási izomeknél, a cirkon relaxálódhat (újra egyensúlyba kerülhet) a gránátban (8. ábra). A zárvány tágulása ugyanis tenziós feszültségtérben a csapdázódáskor jellemző alakváltozást felülírja, így az elasztikus termobarometriai vizsgálatokkal csupán látszólagos izomek görbe állapítható meg (8. ábra). Ha azonban az exhumációs pálya laposabb, mint a csapdázódási izomek, akkor a cir-



8. ábra. Különböző HP-HT) metamorf területek P-T fejlődéstörténeti összehasonlítása a cirkon gránátban csapdázódási (piros összefüggő) és látszólagos (kék szaggatott) izomek-görbék feltüntetésével (CAMPOMENOSI et al. 2023, GILIO et al. 2022, SPRÁNITZ et al. 2023 alapján). A schematikus barna színű, zárványos gránát jelöli a 'valódi', míg a fehér csillag jelöli a zárványok látszólagos csapdázódási tartományát. a) A Brossasco-Isasca fehérpala esetén a gránátban csapdázódott cirkonzárványok a P-T-fejlődés során tenziós feszültségtérbe kerülnek, ahol a képlékeny deformáció a csapdázódáskori alakváltozás relaxációját ('reset') okozza. Ezzel szemben az Ulla Gneissben (b) és a Cabo Ortegal Komplexum granulitban (c) csapdázódott cirkonzárványokra a kőzetekre jellemző exhumációs út alapján kompressziós feszültségtér hat, mely az eredeti, csapdázódási alakváltozás-értékek megőrződésének kedvez. A Cabo Ortegal Komplexum granulit esetében ezt támogatja alá továbbá a cirkonnal egyszerre csapdázódott kvarczárványokból számolt kvarc gránátban izomek és a Ti kvarcban termométer is (SPRÁNITZ et al. 2023).

Figure 8. Comparison of P-T evolution history of different HP-HT) metamorphic terrains using zircon-in-garnet elastic thermobarometry showing both the trapping (red solid) and the apparent (blue dashed) isomeke curves, based on CAMPOMENOSI et al. (2023), GILIO et al. (2022), SPRÁNITZ et al. (2023). The schematic brown-colored garnet with inclusions indicates the 'real', while the white star indicates the apparent trapping range of inclusions. a) In the case of the Brossasco-Isasca white schist, zircon inclusions trapped in the garnet are subjected to tensile stress field during P-T evolution, where ductile deformation causes relaxation ('reset') of the strain during trapping. In contrast, zircon inclusions trapped in the Ulla Gneiss (b) and Cabo Ortegal Complex granulite (c) are subjected to compressive stress fields, based on the exhumation pathway typical of these rocks, which favour the preservation of the original trapping strain values. In the case of the Cabo Ortegal Complex granulite, this is further supported by the quartz-in-garnet isomeke calculated from quartz inclusions trapped simultaneously with zircon and also by Ti-in-quartz thermometry (SPRÁNITZ et al. 2023).

konzárványok nagyobb valószínűséggel őrzik meg az eredeti csapdázódási körülményeket, mivel a zárványok folyamatosan kompressziós feszültségi tartományban maradnak (8. ábra; CAMPOMENOSI et al. 2023, SPRÁNITZ et al. 2023). Ezzel szemben a kvarc-gránát-rendszerek izomekjei sokkal laposabbak, mint a cirkon-gránát-rendszereké, tehát termobarometriai alkalmazhatóságuk kevésbé függ az exhumációs úttól. A nagy nyomású kőzetek típusos, óramutató járásával megegyező exhumációs pályája azonnal a kompressziós feszültségi tartományba viszi a kvarczárványokat, így azok megőrizhetik az eredeti csapdázódási körülményekre utaló feszültséget és alakváltozást (CAMPOMENOSI et al. 2023), amint ezt az Ulla gneissre vonatkozó esettanulmány is jelzi (GILIO et al. 2022).

Újabb vizsgálatok rámutattak arra, hogy egy befogadó ásványban egyazon növekedési zónában megjelenő kristályzárványok elasztikus termobarometriájával megadható a velük egyszerre bezáródott fluidumzárványok csapdázódási P-T-je is (SPRÁNITZ et al. 2023). Ezzel az információval lehetőségünk nyílik arra, hogy jobban megismerjük a szubdukciós vagy egyéb nagy nyomáson/hőmérsékleten csapdázódott fluidumok tér és időbeli szerepét, ami hozzájárul ahhoz, hogy több ismeret szerezzünk a szubdukciós metamorfózisról és az illó elemek globális körforgásáról. A kvarc és cirkon kristályzárványok csapdázódási nyomás- és hőmérséklet-tartományát kétféle, egymástól független módszerrel becsülték meg. Az egyik a tisztán elasztikus termobarometriai megközelítés, melynél a kvarc gránátban izomek (barométer) és cirkon gránátban izomek (termométer) metszéspontja jelöli ki a csapdázódási körülményeket. Ezek alapján a kvarc gránátban izomek és a cirkon gránátban izomek metszése által kijelölt nyomás-hőmérsékleti tartomány

$1,8 \pm 0,2$ GPa és 880 ± 70 °C (SPRÁNITZ et al. 2023). A kristályzárványok csapdázódási körülményei megadhatók továbbá a kvarc gránátban izomek és Ti-kvarcban izopletek metszéspontja szerint ($P = 1,8 \pm 0,2$ GPa and $T = 860 \pm 70$ °C), mely módszer a cirkonalapú elasztikus termobarometriai validálását jelenti (8. ábra). Ez a csapdázódási tartomány jó egyezést mutat továbbá a vizsgált granulit csúcsmetamorf körülményeivel (PUELLES et al. 2005). A multifázisú fluidumzárványok jelenléte és tanúsága alapján tehát a vizsgált granulit csúcsmetamorf fejlődése során kulcsszerepet játszott a CO₂-gazdag fluidumok jelenléte, mindemellett olvadákfázis megjelenése a nagy hőmérséklet ellenére is kevésbé valószínűsíthető.

Esettanulmány nagy hőmérsékletű metamorf területről

GIOVANINI et al. (2024) elasztikus termobarometriát alkalmaztak (kvarc gránátban barometria és cirkon-gránát-termometria) a Sierra Valle Fértil – La Huerta területről (Argentína) származó metapélit kőzetsorozaton, mely egy korai paleozoós szubdukciós zóna részét képezi. A vizsgált kéregszelvény ideális terepet biztosít az elasztikus és a hagyományos, termodinamikai alapú geotermobarometriai módszerek összehasonlító értékelésére. A meghatározott csapdázódási nyomás- és hőmérsékletértékek 240–1330 MPa és 691–1574 °C. Ezek az értékek kizárólag az α-kvarc stabilitási tartományban képződött zárványok esetén mutattak jó összhangot a konvencionális geotermobarometriai becslésekkel. Azoknál a zárványoknál, amelyek a β-kvarc stabilitási tartományában csapdázódtak, a Raman-spektroszkópia-alapú reziduális nyomásértékek szignifikánsan túlbecsülték a ha-

gyományos módszerekkel kapott eredményeket, melyek szerint a vizsgált kőzet csúcsmetamorfózisa maximum 800–870 °C-ot érhetett el az irreálisnak tekinthető, 1500 °C-ot meghaladó hőmérsékleti értékek helyett. A pozitív (kompressziós) reziduális alakváltozást megőrző zárványok esetén a számított nyomásértékek jobban közelítették a várható csapdázódási körülményeket. A csapdázódási hőmérséklet-értékeknél jellemzőek ugyanakkor a jelentős szórás és a hagyományos termometriai módszerekkel kapott hőmérsékleteknél számottevően (több 100 °C-kal) nagyobb értékek. A nagy léptékű összehasonlító vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az elasztikus termobarometria nagy hőmérsékleten képződött kőzetek esetében torzított vagy nem megbízható csapdázódási körülményeket eredményezhet. A pontatlanságok forrásai között szerepel a kvarc α – β fázisátmenetének modellezési nehézsége, a zárványalak-módosulás, a kristályplasztikus deformáció, valamint a cirkonban fellépő sugárzás okozta károsodás (metamiktésedés) jelensége (CAMPOMENOSI et al. 2020, CESARE et al. 2021, MINGARDI et al., 2025).

Az elasztikus termobarometria alkalmazása magmás rendszereknél

Az utóbbi években az elasztikus termobarometria alkalmazása a metamorf képződmények mellett magmás környezetben is lehetővé vált, így a magmatározó-rendszerben jellemző nagy nyomás és hőmérsékleti körülmények között kristályosodó ásványok képződési körülményei is meghatározhatók (BEFUS et al. 2018, CISNEROS & BEFUS 2020). A magmás ásványok közül különösen a merevebb, kevésbé összenyomható ásványok (például olivin, piroxén) és a rugalmasabb zárványok (például apatit, plagioklász) kombinációi szolgálhatnak ígéretes *zárvány – befogadó ásvány* párokként az elasztikus termobarometria alkalmazásához.

BEFUS et al. (2018) rámutattak arra, hogy különböző földpátok karakterisztikus Raman-sávjainak változása olyan összefüggést mutat a nyomással, amelynek alapján alkalmazhatók lehetnek elasztikus termobarometriai vizsgálatoknál. A tanulmány fő célja az volt, hogy kidolgozzanak egy új, a földpátásványok Raman-spektroszkópiái vizsgálatán alapuló elasztikus termobarométert, amely alkalmas lehet a magmás (és metamorf) környezetekben kristályosodott földpátzárványok P-T-viszonyainak meghatározására. A különböző kémiai összetételű és szerkezetű földpátok Raman-aktív rezgési sávjainak nyomásfüggő eltolódásértékeinek kalibrálásával ugyanis megbízható nyomás- és hőmérsékletbecslés adható földpátzárványos rendszerekre, különösen akkor, amikor más módszerek nem alkalmazhatók. A kutatók kilenc, összetételében eltérő földpátmintán végeztek kísérleteket 3,5–3,6 GPa nyomásig. Minden vizsgált földpátösszetétel esetén lineáris eltolódást figyeltek meg magasabb frekvenciák irányába növekvő nyomás mellett. Az eredményeket rugalmas modellbe illesztve, ismert termodinamikai paraméterekkel kiegészítve a kutatás során meghatározták, hogy különböző befogadó ásványokban (például gránát, klinopiroxén, olivin) található földpátzárva-

nyok milyen nyomás-hőmérséklet viszonyokat jeleznek. A vizsgálat szerint a legmegbízhatóbb barométer az albitos plagioklász, mivel ennek hőmérséklet-érzékenysége minimális, ezt követik az alkáli földpátok és az anortitos plagioklász. Ez a kalibráció lehetővé teszi, hogy a földpátok Raman-spektroszkópos vizsgálatát különböző földtani környezetek (a magmás kőzetek mellett metamorf kőzetek, köpenyeredetű kőzetek) nyomás- és hőmérsékletviszonyainak számszerűsítésére alkalmazzák.

CISNEROS & BEFUS (2020) munkájában vulkáni környezetből (Yellowstone-kaldera) származó olivin fenokristályokban lévő apatitzárványokat vizsgáltak, ugyanis az olivin–apatit-rendszer eltérő elasztikus tulajdonságai miatt ma is őrzi a képződéskor jellemző hőmérsékleti és nyomásviszonyok nyomait. A Yellowstone esetében például a mért termobarometriai adatokból kiszámított kristályosodási körülmények többszintű magmatározó létét igazolták, vagyis a magma különböző mélységekben és eltérő időpontokban kristályosodott. A módszertannak legfontosabb korlátai vulkáni környezetben a *zárvány – befogadó ásvány* párok anizotrópiája, az esetleges átkristályosodás, illetve a mikroszkopikus repedések, melyek befolyásolhatják a mért alakváltozás állapotot. Ezért minden egyes mintát geológiai kontextusában kell értelmezni, és szükséges a laboratóriumi kalibrációk, modellezések és más termobarometriai módszerek alkalmazása is. Összességében az elasztikus termobarometria egyre fontosabb eszközzé válhat a magmás rendszerek kutatásában, mivel nemcsak a nyomás- és hőmérsékleti viszonyok feltárására alkalmas, hanem hozzájárul a vulkáni működés dinamikájának és veszélyeinek jobb megértéséhez is.

Következtetések, korlátok és jövőbeli lehetőségek

A nagy mélységben zajló geológiai folyamatok jobb megértéséhez kulcsfontosságú a kőzetképződés P-T-körülményeinek megismerése. A kőzetek komplex geológiai fejlődéstörténetének rekonstruálására számos módszert fejlesztettek ki, melyek közül a geotermobarometria a leggyakrabban alkalmazott. A hagyományos termobarometriai megközelítést általában az ásványkialakulás P-T-feltételeinek meghatározására használják. Ezek a módszerek a koegzisztens ásványegyettesekre és a kémiai összetételekre támaszkodnak, és a számítás alapfeltétele a hidrosztatikus nyomás alatti kémiai termodinamikai egyensúly (POWELL & HOLLAND 2008). Ezzel szemben a Raman-spektroszkópián alapuló elasztikus termobarometria *in situ* módszert jelent a kőzetalkotó ásványokban lévő kristályzárványok csapdázódási P-T-feltételeinek becslésére a felszíni körülmények között mérhető reziduális feszültség vagy alakváltozás alapján. Ez a módszer a zárvány és a befogadó ásvány elasztikus és hőtágulási tulajdonságainak különbözőségén alapul, és közvetlen információval szolgál a metamorf petrogenetikai folyamatok során fellépő alakváltozás (és az ebből kiszámolható nyomás) és hőmérsékleti viszonyok meghatározásához (ANGEL et al. 2019). Az elasztikus termobarometria széles-

körü alkalmazásának egyik legfőbb előnye, hogy a kémiai egyensúlytól alapvetően független, hátránya azonban, hogy jelenleg még csak kevés rendszer (zárvány – befogadó ásvány pár) esetében alkalmazható. A módszer hitelességének igazolásához a különböző ásványok karakterisztikus Raman-sávjainak szélesebb körű nyomáskontrollált kalibrációja szükséges, továbbá az elasztikus tulajdonságok P-T függvényében történő változásának pontosabb megismerése, melyhez elengedhetetlen a további kísérleti munkák elvégzése. Ezek a kísérletek jellemzően gyémánttűlős nyomáscella (diamond anvil cell = DAC) használatával a speciális előkészítés ellenére általában gyorsan elvégezhetők (KOHN et al. 2023). A legfrissebb kutatások alapján az alábbi zárvány – befogadó ásvány rendszerek is várhatóan alkalmazhatók a közeljövőben: apatit epidotban, kvarc epidotban, apatit olivinben, rutil gránátban, omfacit gránátban (CISNEROS & BEFUS 2020, CISNEROS et al. 2021, BARATELLI et al. 2025).

A megfelelő zárvány – befogadó ásvány rendszer kiválasztása mellett a módszer alkalmazhatóságának számos további korlátja van. Az alábbi lista a korábban részletezett legfőbb kiválasztási feltételek és az eredeti csapdázódási körülmények felülíródását/eltörlését eredményező hatások összefoglalójaként szolgál:

i) adott petrográfiai helyzetben elegendő számú (legalább 5-10 darab), tiszta, homogén és megfelelő szöveti paraméterekkel rendelkező zárvány kiválasztása (méret, alak, izoláltság, csiszolat felszínétől mért távolság)

ii) megfelelő minőségű Raman-spektrumok gyűjtése és nagy pontosságú sávillesztése a kiválasztott zárványokból és referenciakristályokból (alacsony háttér és nagy intenzitású sávok, nincs zavaró, átfedő hatása a befogadó ásványnak, melyekhez javasolt nagy felbontóképességgel ($<1 \text{ cm}^{-1}$) rendelkező műszer használata hosszú mérési idővel és kis ($50 \mu\text{m}$) konfokális apertúrával)

iii) a vizsgált zárvány anyagával megegyező, megfelelő referenciakristályok használata (főképp a cirkon esetében kritikus fontosságú, ugyanis a kémiai összetétel (Hf-tartalom), kristályosság és a metamiktesedés nagymértékben befolyásolja a karakterisztikus Raman-sávok eltolódásértékét, ezáltal azok különbségét is a zárványokban mértékhez képest (például Ratanakiri cirkon; SPRÁNITZ et al. 2023)

iv) cirkonzárványok vizsgálata esetén csak azok alkalmazásak, amelyek 1009 cm^{-1} -nél mért Raman-sávjának félértékszélessége nem haladja meg az 5 cm^{-1} -t, továbbá Hf-, és

U-tartalma nem haladja meg az 1,5-2 wt. %-ot (CAMPOMENOSI et al. 2020)

v) habár a kritályzárványoknál pontosan megadható azok termodinamikai sajátosságait leíró állapotegyenlete, a befogadó ásványban (például gránát) ez csupán a szélsőtagokra jellemző értékek átlagával becsülhető

vi) a csapdázódást követő, eredeti alakváltozási értéket felülíró hatások vizsgálata, például a zárványalak-módosulás/fejlődés (shape maturation; CESARE et al. 2021), viszkózus és kristályplasztikus deformáció (ZHONG et al. 2020), továbbá nagy és ultranagy nyomású metamorf rendszereknél az elasztikus feloldódás/felülíródás (elastic relaxation/reset) jelensége a zárvány-izomek és az exhumáció P-T-térbeli görbéjének viszonya alapján (CAMPOMENOSI et al. 2023).

Az elasztikus termobarometria szélesebb körben, így geológiai környezetben való alkalmazásához fontos lenne több ismeretet szerezni, többek között 1) az anizotrópia hatásáról a reziduális nyomásra; 2) a tenziós alakváltozás határértékeiről; 3) az egydimenziós elasztikus modellezés korlátairól; és a 4) nemideális geometria pontos hatásairól (KOHN et al. 2023). Amennyiben az elasztikus tulajdonságok és a csapdázódást követő zárvány és befogadó ásvány változások alaposabban és több rendszer esetén is jobban megismerhetők, az elasztikus termobarometria technikája egyedülálló közettani lehetőségeket hordoz, és különböző földköpeny, metamorf, magmás vagy akár extraterresztrikus környezetben lezajlott geológiai folyamatok P-T-viszonyainak rekonstruálását teszi lehetővé.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők szeretnék megköszönni M. TÓTH Tivadar vendégszerkesztő felkérését a kézirat elkészítésére. A rendkívül alapos, konstruktív javaslatokért és javításokért köszönettel tartozunk a kézirat bírálóinak, SCHUBERT Félixnek és KORONAI Balázsnak. BERKESI Márta, HENCZ Mátyás, PORKOLÁB Kristóf és SPRÁNITZ Tamás munkáját az MTA FI Lendület FluidsByDepth kutatási projekt (LP2022-2/2022) támogatta. A kézirat témájához kötődő kutatást BERKESI Márta és SPRÁNITZ Tamás számára a 132418 sz. FK_OTKA projekt támogatta, Porkoláb Kristóf számára a 143377 sz. PD_OTKA projekt támogatta. Jelen tanulmány a Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium 144. publikációja.

Irodalom – References

- ALVARO, M., MAZZUCHELLI, M. L., ANGEL, R. J., MURRI, M., CAMPOMENOSI, N., SCAMBELLURI, M., NESTOLA, F., KORSKOV, A., TOMILENKO, A. A., MARONE, F. & MORANA, M. 2020: Fossil subduction recorded by quartz from the coesite stability field. – *Geology* **48/1**, 24–28. <https://doi.org/10.1130/g46617.1>
- ANGEL, R. J., MAZZUCHELLI, M. L., ALVARO, M., NIMIS, P. & NESTOLA, F. 2014: Geobarometry from host-inclusion systems: The role of elastic relaxation. – *American Mineralogist* **99/10**, 2146–2149. <https://doi.org/10.2138/am-2014-5047>
- ANGEL, R. J., MURRI, M., MIHAILOVA, B. & ALVARO, M. 2019: Stress, strain and Raman shifts. – *Zeitschrift für Kristallographie-Crystal-line Materials* **234/2**, 129–140. <https://doi.org/10.1515/zkri-2018-2112>
- ANGEL, R. J., GILIO, M., MAZZUCHELLI, M. & ALVARO, M. 2022: Garnet EoS: a critical review and synthesis. – *Contributions to Mineralogy and Petrology* **177/5**, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s00410-022-01918-5>
- ANGEL, R. J., ALVARO, M. & FERRERO, S. 2024: A brief history of solid inclusion piezobarometry. – *European Journal of Mineralogy* **36/3**, 411–415. <https://doi.org/10.5194/ejm-36-411-2024>
- BARATELLI, L. 2025: *The interplay between cation ordering and elasticity of omphacites to unravel P-T paths of metamorphic rocks.* – Doktori értekezés. Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra e dell'ambiente, Università di Pavia, 261 p.
- BARATELLI, L., MURRI, M., ALVARO, M., MIHAILOVA, B., BALLARAN, T. B., DOMENEGHETTI, M. C. & CÁMARA, F. 2025: The effect of cation ordering in omphacite on the phonon compressibility: A step towards Raman elastic geothermobarometry. – *Chemical Geology* **122650**. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2025.122650>
- BEFUS, K. S., LIN, J. F., CISNEROS, M. & FU, S. 2018: Feldspar Raman shift and application as a magmatic thermobarometer. – *American Mineralogist* **103/4**, 600–609. <https://doi.org/10.2138/am-2018-6157>
- BONAZZI, M. 2020: *Elastic geobarometry methods: validation through synthesis and characterization of host-inclusion pairs by means of Raman spectroscopy.* – Doktori értekezés. Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra e dell'ambiente, Università di Pavia, 103 p.
- BONAZZI, M., TUMIATI, S., THOMAS, J. B., ANGEL, R. J. & ALVARO, M. 2019: Assessment of the reliability of elastic geobarometry with quartz inclusions. – *Lithos* **350**, 105201. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105201>
- CAMPOMENOSI, N. 2020: *Elastic-thermobarometry: methods and applications to ultrahigh pressure metamorphic rocks.* – Doktori értekezés. Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra Università degli studi di Genova, 244 p.
- CAMPOMENOSI, N., RUBATTO, D., HERMANN, J., MIHAILOVA, B., SCAMBELLURI, M. & ALVARO, M. 2020: Establishing a protocol for the selection of zircon inclusions in garnet for Raman thermobarometry. – *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials* **105/7**, 992–1001. <https://doi.org/10.2138/am-2020-7246>
- CAMPOMENOSI, N., ANGEL, R. J., ALVARO, M. & MIHAILOVA, B. 2023: Resetting of zircon inclusions in garnet: Implications for elastic thermobarometry. – *Geology* **51/1**, 23–27. <https://doi.org/10.1130/g50431.1>
- CAMPOMENOSI, N., ANGEL, R. J., MIHAILOVA, B. & ALVARO, M. 2024: Mineral host inclusion systems are a window into the solid-state rheology of the Earth. – *Communications Earth & Environment* **5/1**, 660. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01814-9>
- CESARE, B., PARISATTO, M., MANCINI, L., PERUZZO, L., FRANCESCHI, M., TACCHETTO, T., REDDY, S., SPIESS, R., NESTOLA, F. & MARONE, F. 2021: Mineral inclusions are not immutable: Evidence of post-entrapment thermally-induced shape change of quartz in garnet. – *Earth and Planetary Science Letters* **555**, 116708. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116708>
- CISNEROS, M. & BEFUS, K. S. 2020: Applications and limitations of elastic thermobarometry: Insights from elastic modeling of inclusion–host pairs and example case studies. – *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* **21/10**. <https://doi.org/10.1029/2020gc009231>
- CISNEROS, M., BARNES, J. D., BEHR, W. M., KOTOWSKI, A. J., STOCKLI, D. F. & Soukis, K. 2021: Insights from elastic thermobarometry into exhumation of high-pressure metamorphic rocks from Syros, Greece. – *Solid Earth Discussions* **2020**, 1–27.
- CRAWFORD, M. L. & HOLLISTER, L. S. 1986: Metamorphic fluids: the evidence from fluid inclusions. – In: *Fluid–Rock Interactions during Metamorphism*, 1–35. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4896-5_1
- ENDO, S., WALLIS, S. R., TSUBOI, M., TORRES DE LEÓN, R. & SOLARI, L. A. 2012: Metamorphic evolution of lawsonite eclogites from the southern Motagua fault zone, Guatemala: insights from phase equilibria and Raman spectroscopy. – *Journal of Metamorphic Geology* **30/2**, 143–164. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.2011.00960.x>
- FOSSEN, H. 2016: *Structural Geology*. – Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781107415096>
- GILIO, M., ANGEL, R. J. & ALVARO, M. 2021: Elastic geobarometry: How to work with residual inclusion strains and pressures. – *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials* **106/9**, 1530–1533. <https://doi.org/10.2138/am-2021-7928>
- GILIO, M., SCAMBELLURI, M., ANGEL, R. J. & ALVARO, M. 2022: The contribution of elastic geothermobarometry to the debate on HP versus UHP metamorphism. – *Journal of Metamorphic Geology* **40/2**, 229–242. <https://doi.org/10.1111/jmg.12625>
- GIOVANINI, E., BEFUS, K. S., OTAMENDI, J. E., CRISTOFOLINI, E., GUERREIRO, T. & CISNEROS, M. 2024: Elastic thermobarometry on metapelites across the crustal section of the Famatinian Arc, Argentina. – *Contributions to Mineralogy and Petrology* **179/4**, 35. <https://doi.org/10.1007/s00410-024-02115-2>
- GONZALEZ, J. P. 2019: *Applications of Elastic Modeling, Thermobarometry, and Thermal History Modeling to (Ultra) high-Pressure Metamorphic Rocks.* – Doktori értekezés, Syracuse University, 191 p.
- GRÜNEISEN, E. 1926: Zustand des festen Körpers. – *Thermische Eigenschaften der Stoffe*, 59 p. https://doi.org/10.1007/978-3-642-99531-6_1
- KOHN, M. J., MAZZUCHELLI, M. L. & ALVARO, M. 2023: Elastic thermobarometry. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **51/1**, 331–366. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-031621-112720>
- MAZZUCHELLI, M. L., BURNLEY, P., ANGEL, R. J., MORGANTI, S., DOMENEGHETTI, M. C., NESTOLA, F. & ALVARO, M. 2018: Elastic geothermobarometry: Corrections for the geometry of the host-inclusion system. – *Geology* **46/3**, 231–234. <https://doi.org/10.1130/g39807.1>

- MAZZUCHELLI, M. L., REALI, A., MORGANTI, S., ANGEL, R. J. & ALVARO, M. 2019: Elastic geobarometry for anisotropic inclusions in cubic hosts. – *Lithos* **350**, 105218. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105218>
- MAZZUCHELLI, M. L., ANGEL, R. J. & ALVARO, M. 2021: EntraPT: An online platform for elastic geothermobarometry. – *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials* **106/5**, 830–837. <https://doi.org/10.2138/am-2021-7693ccbyncnd>
- MINGARDI, G., GASC, J., ARDIT, M., ANGEL, R. J., CRICHTON, W. A., DRUZHBIN, D., AUBREY, J., SCHUBNEL, A. & ALVARO, M. 2025: New experimental constraints on seismic velocities and densities across the – quartz transition at deep crustal conditions. – *Contributions to Mineralogy and Petrology* **180/3**, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00410-025-02206-8>
- MURRI, M. 2020: *From Raman elastic geobarometry to impact structures: the role of oriented stresses*. – Doktorati értekezés. Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra e dell' Ambiente, Università di Pavia, 225 p.
- MURRI, M., MAZZUCHELLI, M. L., CAMPOMENOSI, N., KORSÁKOV, A. V., PRENCIPE, M., MIHAILOVA, B. D., SCAMBELLURI, M., ANGEL, R. & ALVARO, M. 2018: Raman elastic geobarometry for anisotropic mineral inclusions. – *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials* **103/11**, 1869–1872. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2022.106716>
- NASDALA, L., LENGAUER, C. L., HANCHAR, J. M., KRONZ, A., WIRTH, R., BLANC, P. & SEYDOUX-GUILLAUME, A. M. 2002: Annealing radiation damage and the recovery of cathodoluminescence. – *Chemical Geology* **191/1–3**, 121–140. [https://doi.org/10.1016/s0009-2541\(02\)00152-3](https://doi.org/10.1016/s0009-2541(02)00152-3)
- O'BRIEN, P. J. 2008: Challenges in high-pressure granulite metamorphism in the era of pseudosections: reaction textures, compositional zoning and tectonic interpretation with examples from the Bohemian Massif. – *Journal of Metamorphic Geology* **26/2**, 235–251. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.2007.00758.x>
- POWELL, R. & HOLLAND, T. J. B. 2008: On thermobarometry. – *Journal of Metamorphic Geology* **26/2**, 155–179. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.2007.00756.x>
- PUELLES, P., ÁBALOS, B. & GIL IBARGUCHI, J. I. 2005: Metamorphic evolution and thermobaric structure of the subduction-related Bacariza high-pressure granulite formation (Cabo Ortegal Complex, NW Spain). – *Lithos* **84/1–2**, 125–149. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2005.01.009>
- ROSENFELD, J. L. & CHASE, A. B. 1961: Pressure and temperature of crystallization from elastic effects around solid inclusions in minerals? – *American Journal of Science* **259/7**, 519–541. <https://doi.org/10.2475/ajs.259.7.519>
- SORBY, H. C. & BUTLER, P. J. 1869: I. On the structure of rubies, sapphires, diamonds, and some other minerals. – *Proceedings of the Royal Society of London* **17**, 291–302. <https://doi.org/10.1098/rspl.1868.0050>
- SPRÁNITZ, T., PADRÓN-NAVARTA, J. A., SZABÓ, Cs., SZABÓ, Á. & BERKESI, M. 2022: Abiotic passive nitrogen and methane enrichment during exhumation of subducted rocks: primary multiphase fluid inclusions in high-pressure rocks from the Cabo Ortegal Complex, NW Spain. – *Journal of Metamorphic Geology* **40/8**, 1291–1319. <https://doi.org/10.1111/jmg.12666>
- SPRÁNITZ, T., SZABÓ, Cs., GILIO, M., ALVARO, M., BLÁŽEKOVÁ, M., KONEČNÝ, P., VÁCZI, T. & BERKESI, M. 2023: Estimation of PT entrapment conditions of a subduction fluid using elastic thermobarometry: A case study from Cabo Ortegal Complex, Spain. – *Lithos* **448**, 107171. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2023.107171>
- STANGARONE, C., ANGEL, R. J., PRENCIPE, M., CAMPOMENOSI, N., MIHAILOVA, B. & ALVARO, M. 2019: Measurement of strains in zircon inclusions by Raman spectroscopy. – *European Journal of Mineralogy* **31/4**, 685–694. <https://doi.org/10.1127/ejm/2019/0031-2851>
- ZHONG, X., ANDERSEN, N. H., DABROWSKI, M. & JAMTVEIT, B. 2019: Zircon and quartz inclusions in garnet used for complementary Raman thermobarometry: application to the Holsnøy eclogite, Bergen Arcs, Western Norway. – *Contributions to Mineralogy and Petrology* **174/6**, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00410-019-1584-4>
- ZHONG, X., MOULAS, E. & TAJČMANOVÁ, L. 2020: Post-entrapment modification of residual inclusion pressure and its implications for Raman elastic thermobarometry. – *Solid Earth* **11/1**, 223–240. <https://doi.org/10.5194/se-11-223-2020>
- Kézirat beérkezett: 2025. 06. 23.

Architecture of the metamorphic Algyő High (SE Pannonian Basin) based on lithological interpretation of natural gamma-ray logs

KONDOR, Henrietta¹, BRAUN, Bence Ádám², M. TÓTH, Tivadar¹

¹Department of Geology, University of Szeged, Egyetem st. 2, H-6722 Szeged, Hungary

²Fugro Austria GmbH, Einödstraße 13, H-8600 Bruck an der Mur, Austria

E-mail: kondor.henrietta@gmail.com (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5103-1083>),
braunbence000@gmail.com, mtoth@geo.u-szeged.hu (ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1012-1095>)

A metamorf Algyő-hát (DK-Pannon-medence) kőzettani felépítése természetes gamma szelvények értelmezése alapján

Összefoglalás

A Pannon-medence részét képező Algyő-hát metamorf aljzata az egyik legjelentősebb szénhidrogén-rendszer részét képezi Magyarországon délekeleti területén. A múlt században több mint 100 kutatófúrás érte el a terület aljzatát, melyek jelentős mennyiségű magmintát és lyukgeofizikai adatot szolgáltatnak. Jelen tanulmány során a lyukgeofizikai adatok áttekintése és elemzése lehetővé tette a fő metamorf kőzettípusok és a geofizikai mérési adatok közötti kapcsolatrendszer feltárását, ezáltal a magmintákból nyert információk térbeli kiterjesztését. A területen a geofizikai–kőzettani korrelációhoz a természetes gamma intenzitás–szelvény bizonyult a legalkalmasabbnak. Ez a szelvény különösen érzékeny az egyes kőzettípusok ásványos és kémiai összetételére, és hatékony a nagy léptékű kőzettani azonosításban. Az eredmények jelentős kőzettani eltéréseket tártak fel az aljzatban, amelyeket a gamma intenzitások változásai jellemeznek. A teljes területre vonatkozó lyukgeofizikai szelvények megerősítik az Algyő-hát háromszatú blokkos felépítését. A gránátos–kianitos gneisz domináns északnyugati és délkeleti terület magasabb gamma intenzitással jellemezhető, mint a kis fokú kőzetekből álló központi terület, ahol alacsony gamma intenzitások tapasztalhatók. A teljes terület elemzése a délkeleti területen magas gamma intenzitású anomáliákat tárt fel. A petrográfiai és lyukgeofizikai adatok alapján a délkeleti terület fő kőzettípusa a gránátos–kianitos gneisz, amelyben alacsony gamma intenzitással jellemezhető gránátos amfibolitizónák is azonosíthatók. A gneisztömegben belül magasabb gamma intenzitással rendelkező metagranit jelentkezett. E kőzet a gneiszbe nyomult fiatal gránit/granodiorit intrúziós teléreként értelmezhető, amelyek jelentős hatást gyakorolhattak a befogadó gneisz ásványos és kémiai összetételére. Ennek eredményeként a gránátos–kianitos gneiszben metasomatizált zónák alakultak ki, amelyek metasomatizált gneiszként kerültek elkülönítésre. A lyukgeofizikai adatok és magminták együttes értelmezése nagymértékben hozzájárult a terület komplex kőzettani felépítésének és szerkezetfejlődésének megértéséhez.

Tárgyszavak: Algyő-hát, lyukgeofizika, természetes gamma szelvény, kőzettani azonosítás

Abstract

The metamorphic basement of the Algyő High, located in the Pannonian Basin, is a reservoir unit within an important hydrocarbon system in the SE part of Hungary. Over the past century, more than 100 exploration wells have reached the basement in the area, providing a substantial number of core samples and well-log data for analysis. This study reviewed and analysed well-log data from these boreholes to establish correlations between primary metamorphic rock types and wireline logs, enhancing the spatial information derived from core samples. For geophysical–lithological correlation, natural gamma-ray intensity logs were considered the most suitable for this area. These logs are sensitive to lithological variations and are effective for large-scale lithological identification. Our results reveal significant lithological variations within the basement, reflected in variations in gamma-ray intensities. The well-log data for the entire area confirm that the basement of the Algyő High comprises three major blocks. The northwest and southeast portions of the area, dominated by garnet–kyanite gneiss, exhibit higher gamma intensities compared to the central region, which is characterised by low-grade metamorphic rocks and lower gamma intensities. The analysis of the entire region revealed anomalies in gamma intensities in the southeastern part. Focusing on this area, the petrographic and well-log data indicated that the basement is dominated by garnet–kyanite gneiss with zones of garnetiferous amphibolite with low gamma intensities. Within the gneiss mass, metagranite with higher gamma intensities was identified. This rock type is interpreted as young granite/granodiorite intrusive dykes. These intrusions may have affected the mineralogical and chemical composition of the host gneiss, resulting in metasomatised zones within the garnet–kyanite gneiss realm, which are interpreted as metasomatised gneiss. The analysis of wireline data in conjunction with core samples provides new insights into the complex lithological composition and structural evolution of the area.

Keywords: Algyő High, well-logging, natural gamma logs, lithology identification

Introduction

The crystalline basement of the Pannonian Basin exhibits a complex geological structure. Previous studies have demonstrated that the Variscan basement comprises blocks with distinct metamorphic histories, resulting from multiphase tectonic evolution from the Mesozoic to the Neogene. During the later stages of Neogene basin evolution, uniform subsidence led to the burial of these fault-segmented crystalline basement blocks beneath thick sedimentary sequences. While these Neogene sediments have proven to be important hydrocarbon reservoirs, recent research has emphasised the critical role of the basement in fluid storage and migration (SCHUBERT et al. 2007, M. TÓTH 2008, NAGY et al. 2013, MOLNÁR et al. 2015, M. TÓTH & VARGÁNÉ TÓTH 2020, M. TÓTH et al. 2021). This highlights the importance of gaining a comprehensive understanding of the geological characteristics and structural evolution of the crystalline basement.

Investigations into these metamorphic formations are typically conducted using drill cores and well-logging. Although core samples provide detailed lithological information, their spatial coverage is restricted to a narrow zone surrounding the borehole. In contrast, geophysical measurements, such as wireline logging, allow for the continuous characterisation of the entire rock column penetrated by the well, thereby expanding the lithological information. In recent decades, well-logging has become a highly advanced tool in sedimentology, and it is used to determine lithology, fluid content, and various petrophysical properties. More recently, wireline logs have also been applied to characterise mineralogically and structurally complex igneous and metamorphic rock bodies (BARTETZKO et al. 2005, PECHNIG et al. 2005, FISER-NAGY et al. 2014, MOLNÁR et al. 2015, M. TÓTH & VARGÁNÉ TÓTH 2020, HASAN & M. TÓTH 2023). The Algyő High, located in the central part of Hungary's main hydrocarbon system, represents a key example (MAGYAR et al. 2006). Its basement has been penetrated by over 100 exploration wells over the past century; however, these predominantly reached only the uppermost part of the metamorphic basement. Consequently, although lateral lithological correlations can be established, the deeper levels remain unexplored. In a previous study, KONDOR & M. TÓTH (2021) characterised and classified the principal rock types of the Algyő High. Through comprehensive petrographic analyses of drill cores, they identified distinct metamorphic histories and spatial relationships between these rock types.

The present study aims to establish correlations between primary metamorphic rock types and wireline logs, enhancing and expanding the spatial information derived from core samples. In this study, all available well-log data were reviewed and analysed, and the most suitable methods for the area were applied. This integrated approach significantly improved the understanding of the lithological composition and structural framework of the region. Furthermore, the lithological characteristics of the SE part of the Algyő High were re-evaluated as part of this interpretation.

Geological setting

The basement of the Tisza–Dacia Mega-unit, located in the Pannonian Basin, comprises Variscan rocks with varied metamorphic histories. During the Lower Cretaceous compression phase, the Tisza–Dacia Mega-unit was divided into four NW-facing nappes: the Mecsek, Villány–Bihor, Békés–Codru, and Biharia Nappe Systems (HAAS 2001, CSONTOS & VÖRÖS 2004). Geophysical interpretations suggest that the Middle Miocene syn-rift extension initiated low-angle normal fault systems, forming asymmetric half-graben structures and exposing metamorphic core complexes (TARI et al. 1992, TARI 1996). The subsequent post-rift thermal sag and compressional phase reactivated these normal faults, leading to the uplift of metamorphic highs.

The Algyő High (AH) is an elevated, NW–SE-oriented metamorphic dome located approximately 2.5–3.0 km below the present surface in southeastern Hungary. Miocene faults bound this basement high, separating it from the Makó Trough to the east and the Szeged Basin to the west (Figure 1).

Previous studies indicate that the basement of the AH primarily consists of gneiss, mica schist, chlorite schist, and epidote-bearing rocks. Additionally, the host gneisses contain amphibolite lenses and pegmatite and aplite dykes associated with felsic magmatism (JUHÁSZ 1969, SZALAY 1977, SZEDERKÉNYI 1984, T. KOVÁCS & KURUCZ 1984, KONDOR & M. TÓTH 2021). SZALAY (1977) identified the young granite bodies within a narrow zone of the Variscan crystalline formations, interpreting them as having formed during a post-peak-metamorphic event. T. KOVÁCS & KURUCZ (1984) described mylonitic granite bodies in the southeastern AH, which SZEDERKÉNYI (1984) referred to as the Deszk Migmatite Formation, associating them with a possibly Late Cretaceous magmatic event.

According to a comprehensive petrological study by KONDOR & M. TÓTH (2021), the AH area consists of blocks with distinct metamorphic histories. They proposed that the north-western and southeastern parts of the region predominantly consist of garnet–kyanite gneiss associated with garnetiferous amphibolite, interpreted as disaggregated blocks of the same rock body. The central part of the region is characterised by well-defined segments of epidote orthogneiss and chlorite schist (Figure 2).

According to previous publications, the gneiss rocks were affected by polyphase metamorphism (SZALAY 1977; SZEDERKÉNYI 1984; T. KOVÁCS & KURUCZ 1984; HORVÁTH & ÁRKAI 2002; LELKES-FELVÁRI et al. 2003, 2005; KONDOR & M. TÓTH 2021). LELKES-FELVÁRI et al. (2003, 2005) proposed that the rocks were subjected to an early high-temperature/low-pressure metamorphism, forming andalusite. Based on this model, the first metamorphic event was overprinted under amphibolite facies conditions, during which the early andalusite transformed into kyanite. Based on thermobarometric calculations by HORVÁTH & ÁRKAI (2002), the first metamorphic event (M1) affecting the garnet–kyanite gneiss is characterised by staurolite appearance at 520–

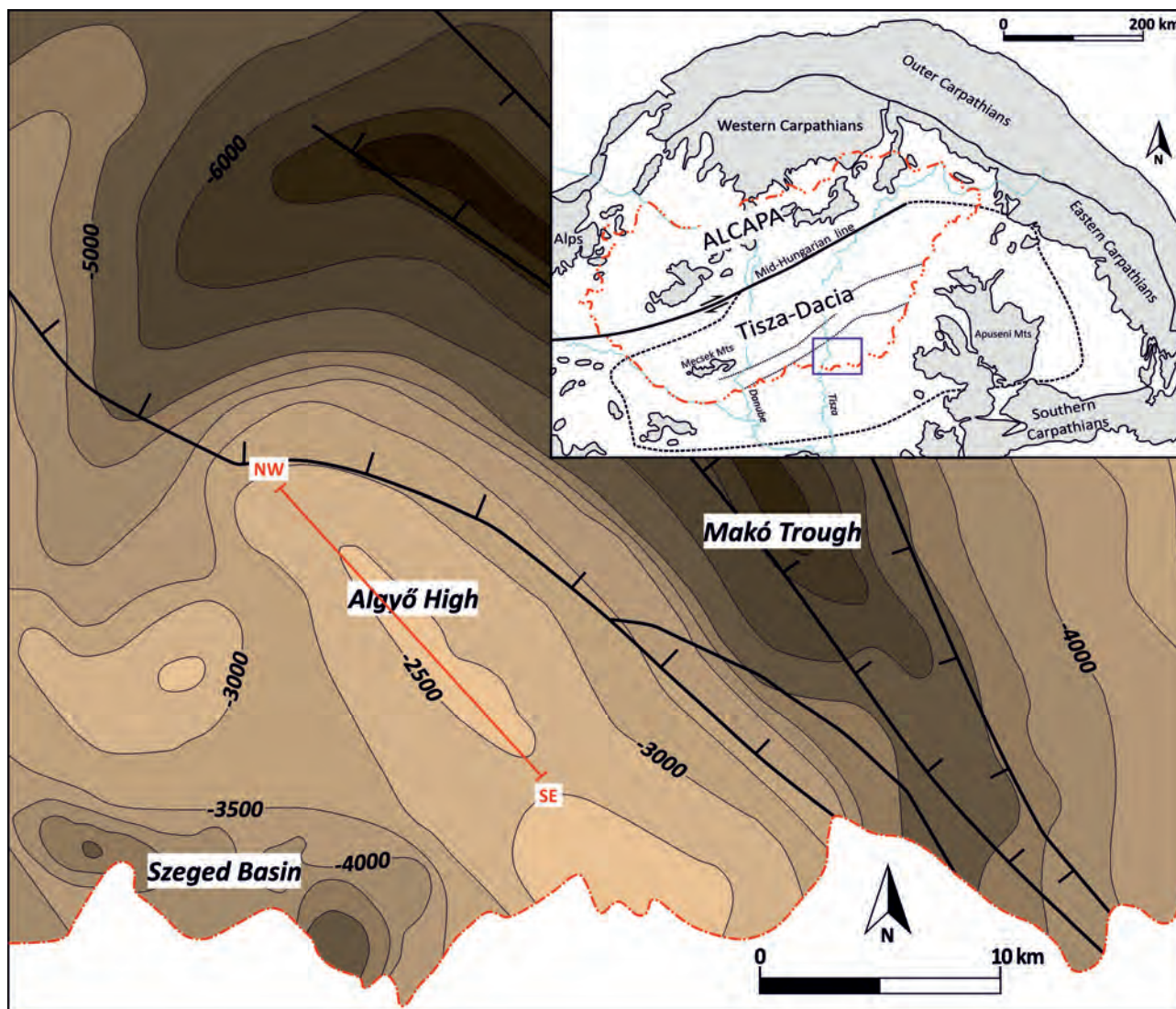


Figure 1. Location of the Algyó High and the surrounding pre-Cenozoic basement (modified after HAAS et al. 2010) inside the Carpathian–Pannonian region (after CSONTOS et al. 1992). The NW–SE line indicates the location of the geological cross-section shown in Figure 2.

1. ábra. Az Algyó-hát és környezetének prekainozoos alaphegységi helyzete (HAAS et al. 2010 után módosítva) a Kárpát–Pannon régióban (CSONTOS et al. 1992 után módosítva). A piros vonal a 2. ábrán bemutatott földtani szelvény nyomvonalát jelöli

560 °C and 820–1010 MPa. The second event (M2) yielded peak conditions of 650–680 °C and 500–600 MPa, which resulted in kyanite formation replacing staurolite. Based on TWQ modelling, KONDOR & M. TÓTH (2021) proposed the second event was a contact metamorphic (metasomatic) process linked to an igneous intrusion. During this process, fine-grained kyanite aggregates formed at the expense of garnet. They consider the presence of post-kinematic tourmaline in a gneiss terrane as further evidence of the contact overprint. Based on garnet Sm–Nd data, LELKES-FELVÁRI et al. (2003) determined the first metamorphic event to be Permian in age (273 ± 7 Ma). The second event, confirmed through Ar–Ar plateau ages on secondary muscovite crystals, as a Late Cretaceous, eo-Alpine regional metamorphic overprint, established at 82–95 Ma (LELKES-FELVÁRI et al. 2003) and 68.4–84.3 Ma (BALOGH & PÉCSKAY 2001).

The central part of the AH consists of chlorite schist and epidote orthogneiss, which are characterised by markedly

different metamorphic evolutions compared to the polymetamorphic gneiss domain (SZALAY 1977, T. KOVÁCS & KURUCZ 1984, KONDOR & M. TÓTH 2021). The microtextural features of the epidote orthogneiss suggest an intrusive granitoid protolith with greenschist facies (~400 °C) retrograde metamorphism. In contrast, the chlorite schist underwent metamorphism along a low-grade progressive pathway. The peak conditions are estimated to have been in the chlorite-biotite zone, followed by a post-metamorphic, metasomatic overprint (KONDOR & M. TÓTH 2021). Based on the suggested metamorphic evolution of these two low-grade rocks, they are interpreted as two distinct blocks with different metamorphic histories (KONDOR & M. TÓTH 2021).

The Cretaceous compressional phase in this region resulted in the formation of nappe systems in both the Mesozoic cover formations and the Variscan crystalline basement (TARI et al. 1999, 2003). According to the current model, the structural build-up of the adjacent Dorozsma High (DH)

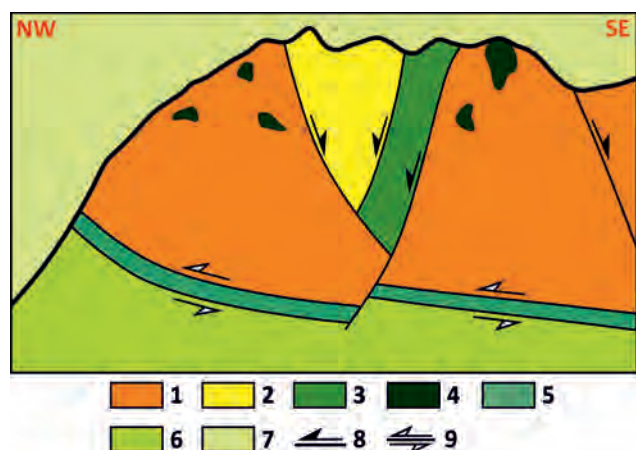


Figure 2. Schematic geological structure of the Algyő High (modified after KONDOR & M. TÓTH 2021). The location of the NW-SE cross-section is shown in Figure 1. (1) garnet-kyanite gneiss, (2) epidote orthogneiss, (3) chlorite schist, (4) garnetiferous amphibolite, (5) dolomite marble, (6) amphibolite-dominated block, (7) Neogene sediments, (8) Miocene normal faults, (9) Alpine thrust sheet

2. ábra. Az Algyő-hát sematikus geológiai szerkezete (KONDOR & M. TÓTH 2021 után módosítva). A NW-SE szelvény nyomvonalát az 1. ábra jelöli. (1) gránátos-kyanitos gneisz, (2) epidotos ortogneisz, (3) kloritpala, (4) gránátos amfibolit, (5) dolomitmárvány, (6) amfibolit-domináns blokk, (7) neogén üledékek, (8) miocén normál vetők, (9) alpi takaró határ

was formed due to this event. Here, from top to bottom, garnet-kyanite gneiss, dolomite marble, and an amphibolite-dominated rock body characterise the basement, where the intensively deformed dolomite marble cataclasite zone is interpreted as a large-scale, Early Cretaceous nappe border (M. TÓTH 2008, M. TÓTH & VARGÁNÉ TÓTH 2020). Considering the petrological similarities between the garnet-kyanite gneiss of AH and DH, KONDOR & M. TÓTH (2021) suggest a three-part structure for the AH similar to that of the DH, implying an Alpine thrust sheet beneath the garnet-kyanite gneiss block (Figure 2).

Previous studies showed that, during the Late Cretaceous, the entire region was subject to intrusion by granite/granodiorite ('banatite') bodies (SZEDERKÉNYI 1984, BERZA et al. 1998, NEUBAUER 2002, ZIMMERMAN et al. 2008, REISER 2015). SZEDERKÉNYI (1984) suggests that the young dykes within the gneiss body, the crystallisation of tourmaline and secondary muscovite, the polymetallic sulphide mineralisation, as well as the positive Mo, Sn and W anomaly, are all linked to 'banatite' magmatism. Earlier studies also evaluate the granite bodies in the SE part of AH as young intrusions (SZALAY 1977, T. KOVÁCS & KURUCZ 1984). KONDOR & M. TÓTH (2021) interpret the tourmaline crystallisation documented in the garnet-kyanite gneiss and the metasomatic overprint of the chlorite schist as being connected to the hydrothermal overprint of these granite intrusions. However, no age data regarding these intrusions are available at present.

The AH has a metamorphic core complex structure (TARI et al. 1999) formed by Middle Miocene syn-rift extensional processes (RUMPLER & HORVÁTH 1988, POSGAY et al. 1996). During this phase, blocks with different metamorphic histories were probably juxtaposed along post-metamorphic

normal faults (KONDOR & M. TÓTH 2021) (Figure 2). This stage was followed by a post-rift thermal sag phase, during which the entire region became covered by thick Neogene sediments (HORVÁTH & TARI 1999), hosting large amounts of hydrocarbon. Based on analogues, the brittle fault zones between the blocks with differing metamorphic evolution in the AH area may play an essential role in fluid migration from the adjacent deep sub-basins or could even act as reservoirs (KONDOR & M. TÓTH 2021).

Data availability

Open-hole well logs

A total of 102 boreholes have penetrated the basement of the AH area. Out of these wells, only 66 have well-log data available, with core samples accessible from 41. In the case of 19 wells, neither core samples nor well-logs are available (Figure 3).

The available wireline geophysical data are derived from two distinct technological eras:

i) The older logs, dating back to the 1960s and early 1970s, originated from the early days of hydrocarbon exploration in the area. Core sampling was typically performed during this period, as the boreholes served exploratory purpose.

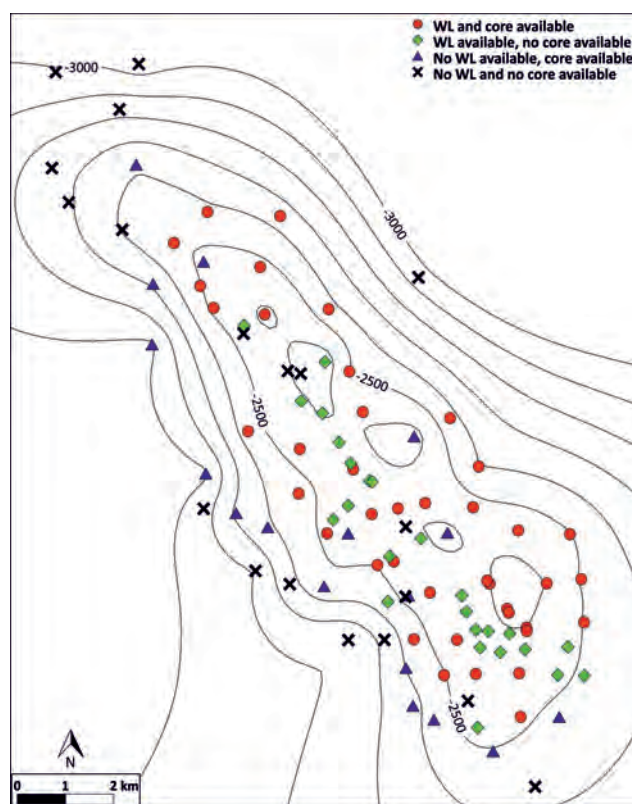


Figure 3. Point map showing the availability of drillcores and well-logs (WL) from the Algyő High area

3. ábra. Az Algyő-hát területéről származó fúrómagok és lyukgeofizikai adatok elérhetőségének ponttérképe

ii) The more modern logs come from the late 1970s and early 1980s. During this period, core sampling was not performed as these wells were drilled for hydrocarbon production.

In the case of the older types of well-logs, data include natural gamma-ray intensity (NGR [CGU]), neutron gamma (NGPOR [CNU]), spontaneous potential (SP [mv]), microlog potential and microlog gradient (RESMP and RESMG [ohmm]). According to the drilling completion reports, resistivity measurements were conducted in many boreholes using conventional Soviet BKZ tools. However, the well-log data were not accessible in these instances. Data included in the newer types of logs comprise natural gamma-ray intensity (NGR [API], neutron porosity [NNPOR [V/V%]], rock density (RHOB [g/cm³]), acoustic travel time (AT [μs/ft]) and microlaterolog resistivity (RESMLL [ohmm]).

Given the availability of wireline data associated with core sampling information, their applicability in a metamorphic formation, as well as the reliability of calibrations and measurements, the NGR [CGU] well-log is considered the most suitable for geological–geophysical investigations in this area. Among the available logging methods, NGR is the most sensitive to the mineralogical and chemical composition of rocks, which is essential for distinguishing between different types of metamorphic rocks. This log is particularly effective for large-scale lithological identification and provides comprehensive geological correlation and data enhancement coverage.

Natural gamma-ray log interpretation

The measurement of natural gamma-ray intensity is based on the detection of radiation from the natural decay of radioactive isotopes within the formations. Gamma activity is primarily controlled by the type and quantity of radioactive elements and rock density. The most common sources of gamma radiation are potassium (⁴⁰K), thorium (²³²Th), and uranium (²³⁸U) (SERRA 1984). This method is widely used in sedimentology, and is also applicable to distinguish igneous and metamorphic rock types (PECHNIG et al. 2005, BARTETZKO et al. 2005, LUO & PAN 2010). The level of emitted gamma radiation strongly depends on mineralogical and chemical composition. Rocks rich in K-feldspar, biotite, muscovite, or clay minerals (e.g., illite) show increased gamma activity. In felsic igneous rocks and orthogneisses, gamma intensity is mainly influenced by K-feldspar content, whereas in paragneisses and some mafic rocks, it is influenced by biotite and white mica content (PECHNIG et al. 2005). In igneous rocks, potassium and uranium content have a particularly strong impact on gamma emission, with felsic magmatites typically showing higher uranium content than mafic rocks (LARSEN et al. 1954). According to BARTETZKO et al. (2005), elevated NGR values in metamorphic rocks may also reflect metasomatic or hydrothermal overprinting.

For NGR logs, two datasets with different calibrations are available. In most boreholes, measurements were expressed in Conditional Gamma Units [CGU] using early-

generation tools. As only a small number of wells include measurements in standardized American Petroleum Institute [API] units, and no borehole contains NGR data in both API and CGU formats – with the necessary standardization coefficients unknown – no reliable correlation can be established between the two log types. In earlier gamma-ray logging practices, the CGU scale was developed as a localized, project-specific standard rather than a universal API-based one. The process began with the identification of reference intervals. These zones were confirmed through lithological descriptions or core analyses. These reference layers served as calibration points for the natural gamma-ray logs. An empirical relationship was then established between NGR values and clay content (in reality potassium (⁴⁰K) and/or thorium (²³²Th), and uranium (²³⁸U), derived from the reference intervals. Based on this relationship, a conditional CGU scale was defined for the study area, translating NGR values into corresponding lithologies. Once established using selected reference boreholes, this CGU scale was applied to other wells in the same area. It is important to note that early gamma-ray tools were not API-standardized, lacked consistent calibration blocks, and had varying sensitivities. Consequently, the CGU logs provide primarily qualitative insights and were not intended to represent absolute radioactivity; rather, they served as a relative, lithology-oriented classification based on inferred natural radioactive-element content.

Core samples and thin sections

In a previous study, KONDOR & M. TÓTH (2021) characterised and classified the principal rock types of the AH area, each with a distinct metamorphic history, based on comprehensive petrographic analyses of drill cores. Based on these previous results, the petrographic features of the SE part of the AH were characterised and specified by reanalysing available core samples. In this region, 36 boreholes reached the metamorphic basement, and core samples for petrographic analysis were obtained from 21 of these. A total of 46 thin sections were reanalysed from these cores, typically two or more per borehole. The aim of the petrographic characterisation was to determine the mineralogical composition, microtexture, and microstructure of each rock type, which served as a basis for reconstructing their qualitative metamorphic evolution. The thin sections were analysed using an Olympus BX41 polarisation microscope.

Methodology

Although multivariate statistical analyses, particularly discriminant analysis, have been widely applied in recent years to differentiate metamorphic rocks based on their well-log responses (FISER-NAGY et al. 2014, MOLNÁR et al. 2015a, HASAN & M. TÓTH 2023), its applicability in this area is quite limited. Using all available NGR [CGU] data, a large-scale, 3D block model of the entire AH region was created in RockWorks15 modelling software with a voxel resolution of

25×25×1 metres. A representative cross-section, illustrating the main structural features of the entire area, was derived from the 3D model. The interpretation of this dataset is based on the petrological results of KONDOR & M. TÓTH (2021). The resulting map allows the identification of large-scale lithological variations and potential anomalies. Focusing on the SE part of the area, a more detailed 3D block model was constructed from the NGR [CGU] dataset, with a voxel resolution of 8×8×0.8 metres, using the same software. This provided enhanced insights into the geological structures of the area. Based on the interpolated model, cross-sections were generated in multiple directions, covering the entire SE part of the AH. Following this, the available thin sections were reanalysed, resulting in a refined and expanded petrographic characterisation of this region. The primary rock types could be identified by analysing core samples and thin sections. These results enable the correlation of petrographic and wireline log data, facilitating the reconstruction of the internal structure of the basement in the SE part.

In both 3D modelling scenarios, the anisotropic Inverse Distance Weighted (IDW) method was used as the interpolation algorithm. According to the fundamental principle of IDW, the influence of known data points decreases with distance from the prediction point, meaning that closer points have a greater impact on the interpolated value. The anisotropic IDW modelling, a specific application of the IDW method, involves the software searching for the nearest control point within each 90-degree sector, also known as an octant, around the node. The distance weight function was consistently set to a power of 2.

Only drill cores that could be clearly identified and classified through petrographic analysis were selected to establish correlations between metamorphic rock types and well-logs. By comparing the results from these core sample analyses with the NGR [CGU] logs, it was possible to ascertain the quasi-characteristic CGU values for the specific rock types. This correlation between geophysical and petrological data allows for the identification of the entire metamorphic rock column, even in boreholes lacking lithological data, and reveals spatial relationships among different rock types.

Results

General NGR characteristics of the AH area

The NW–SE oriented profile of the AH represents the distribution of average NGR [CGU] values based on the 3D model of the entire area (Figure 4). Along the profile, no significant vertical variations are observed; changes in natural gamma-ray intensity are primarily studied horizontally. Based on the map, data from the NW and SE parts can be compared with good approximation, showing average NGR values between 8 and 16 CGU. Exceptionally high gamma intensities (20–30 CGU) can be observed in a well located in the SE part of the area. No similar anomalies are observed in any other parts of the area. In contrast, lower values dominate the central part of the AH, typically ranging from 4 to 8 CGU, enclosed by zones with decreasing intensity towards the NW and SE directions, with values ranging from 2 to 4 CGU.

General NGR characteristics of the SE part of AH

Six profiles were generated for the SE part of the AH based on the 3D model (Figure 5). Cross-sections along these profiles reveal the general distribution of NGR [CGU] values measured in the boreholes. Where available, rock types identified from core samples were also indicated in the drill-logs. Boreholes without core sampling were marked in black (Figure 6).

Due to the shallow depth of the wells, the study of lithological changes in the vertical direction could only be conducted to a very limited extent. The comparison of natural gamma intensities is primarily feasible horizontally. Based on the obtained results, the NGR [CGU] wireline data in the area are generally characterised by values between 10 and 16 CGU, with small zones of lower values (e.g., 6–10 CGU in Well-6) can also be observed in a few wells. In some wells, natural gamma intensities are above average, ranging from 16 to 22 CGU. A significantly high gamma intensity (CGU > 22) was recorded in the Well-4.



Figure 4. NW–SE cross-section across the Algyő High displaying the distribution of natural gamma-ray intensity (NGR) [Conditional Gamma Units (CGU)] values. Black lines indicate the locations of boreholes. The point map of the area illustrates the A–A' cross-section line and the wells with NGR [CGU] data. The vertical scale of the cross-section is exaggerated 2×. MD: measured depth

4. ábra. A természetes gamma intenzitás (natural gamma-ray intensity: NGR) [Feltételes Gamma Egység (Conditional Gamma Units: CGU)] értékek eloszlását mutató ÉNy–DK irányú szelvény az Algyő-hát területén. A fekete vonalak a fúrások helyét jelölik. A terület ponttérképe az A–A' szelvény nyomvonalát és az adatokat szolgáltató fúrási pontok helyét jelöli. A szelvény függőleges méretaránya kétszeres nagyságú. Az 'MD: measured depth' a mért mélységet jelöli

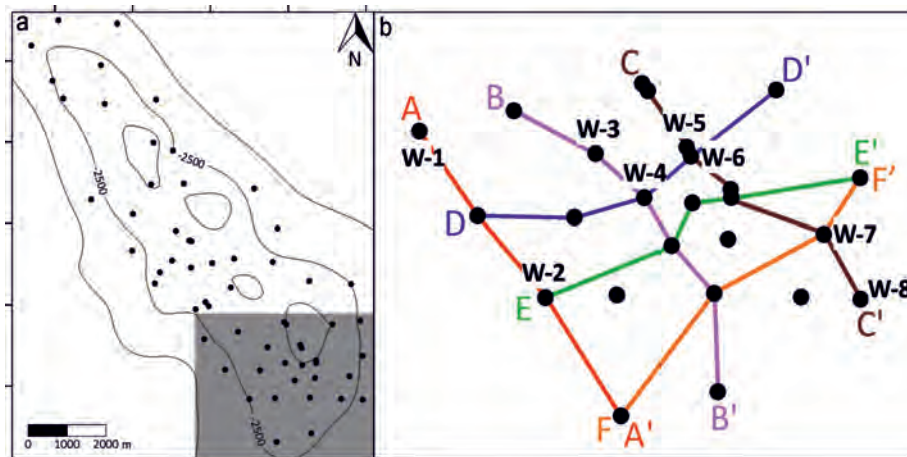


Figure 5. a) Point map displaying the well locations with natural gamma-ray intensity (NGR) data [Conditional Gamma Units (CGU)]. The grey square marks the studied SE part of the area. b) Point map showing the lines of cross-sections.

5. ábra. a) A természetes gamma intenzitás (natural gamma-ray intensity: NGR) adatokat [Feltételes Gamma Egység (Conditional Gamma Units: CGU)] szolgáltató fúrásokat jelölő ponttérkép. A szürke négyzet a vizsgált DK-i területet jelöli. b) A metszetek nyomvonalait jelölő ponttérkép.

Petrographic characteristics of the SE part of AH

In their previous work, KONDOR & M. TÓTH (2021) identified two main rock types in the SE part of the AH area: garnet–kyanite gneiss and garnetiferous amphibolite. The petrographic characteristics of these rocks are briefly described based on their analysis. In addition, the characteristics of the newly identified metagranite are described in detail.

The garnet–kyanite gneiss primarily consists of quartz, potassium feldspar, biotite and muscovite, with garnet porphyroblasts and fine-grained kyanite aggregates. Rutile, ilmenite, and zircon are accessory phases. In some samples, undeformed and unoriented tourmaline crystals are also present. The main foliation is defined by bands rich in biotite and muscovite and bands containing elongated quartz and feldspar grains (Figure 7 a). Garnet porphyroblasts appear as large, slightly elongated grains alongside small, idioblastic garnet grains. Fine-grained kyanite aggregates typically replace garnet blasts or align parallel to the foliation planes (Figure 7 a, b). S–C fabrics, mica fishes, and feldspar σ -clasts were also observed. Chloritisation of biotite and garnet, and sericitisation of feldspar grains are typical alterations.

The garnetiferous amphibolite is slightly oriented and characterised by nematoblastic/ poikiloblastic textures. The rock-forming minerals are green or dark brown prismatic amphibole crystals, and inclusion-rich, resorbed garnet porphyroblasts. Less frequent phases included quartz, plagioclase feldspar and biotite (Figure 7 c, d). Accessory minerals are rutile and titanite. The foliation plane is defined by the oriented amphibole and biotite grains (Figure 7 c).

The main mineral phases of metagranite are potassium feldspar, plagioclase feldspar, quartz, muscovite, sericite, and subordinately biotite. Zircon, apatite, and garnet are accessory phases. The rock has an equigranular texture and is slightly foliated, defined by sericite bands, oriented muscovite and biotite flakes, and elongated quartz and feldspar

fishes and feldspar σ -clasts are present (Figure 7 h).

Discussion

Geological interpretation of the NGR characteristics of the AH area

The comprehensive petrological study of KONDOR & M. TÓTH (2021) revealed that the crystalline basement of the AH region consists of blocks with diverse metamorphic histories juxtaposed along post-metamorphic structural boundaries. This segmented structure is further evidenced by the large-scale NW–SE oriented geophysical cross-section derived from wireline data (Figure 8 a). The NW and SE parts of the area are predominantly composed of medium-grade garnet–kyanite gneiss (KONDOR & M. TÓTH 2021). By analysing well-log data from these two areas, the two petrographically similar blocks can be compared with good approximation, except for a high-value anomaly observed in one borehole in the SE part. The average NGR values in these regions range between 8–16 CGU, corresponding to the medium-grade garnet–kyanite gneiss-dominated block (Figure 8 b). The similarities in NGR characteristics confirm that the NW and SE parts of the area represent disaggregated blocks of the same rock body.

In contrast, the central region has significantly lower NGR values than the NW and SE parts. According to KONDOR & M. TÓTH (2021), this central area consists of a low-grade epidote orthogneiss block with a well-defined chlorite schist zone to the SE (Figure 2). Due to the differences in petrographic features and metamorphic evolution, these rock types are assumed to be separated by post-metamorphic structural boundaries. Based on the geophysical cross-section (Figure 8 a), the centre of the area is characterised by slightly higher values (4–8 CGU), which are surrounded by

grains (Figure 7 e). Large, tabular, idiomorphic or hypidiomorphic feldspar crystals with polygonal (120°) textures are frequently observed (Figure 7 f). Based on the optical properties of feldspar grains, potassium feldspar dominates the rock, while plagioclase feldspar is present in smaller quantities. Sericitisation of potassium feldspar is characteristic, while plagioclase feldspar can be identified as polysynthetic twins or myrmekitic grains (Figure 7 f, g). Additionally, microcline crystals with perthitic texture are common. Quartz grains are typically recrystallised and sub-grained. Zircon can be observed as idiomorphic crystals. In some samples, the rock is intensively deformed; mica

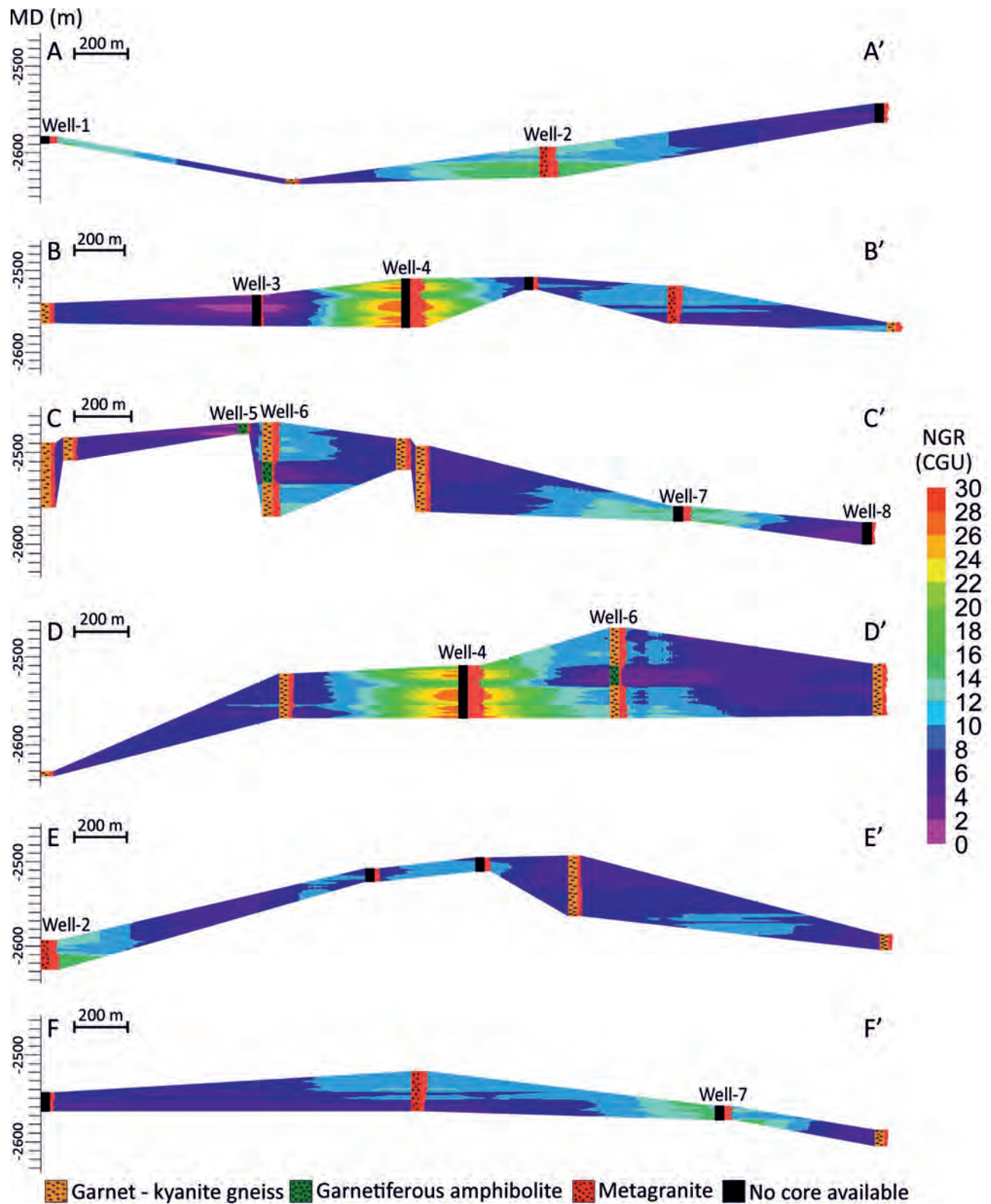
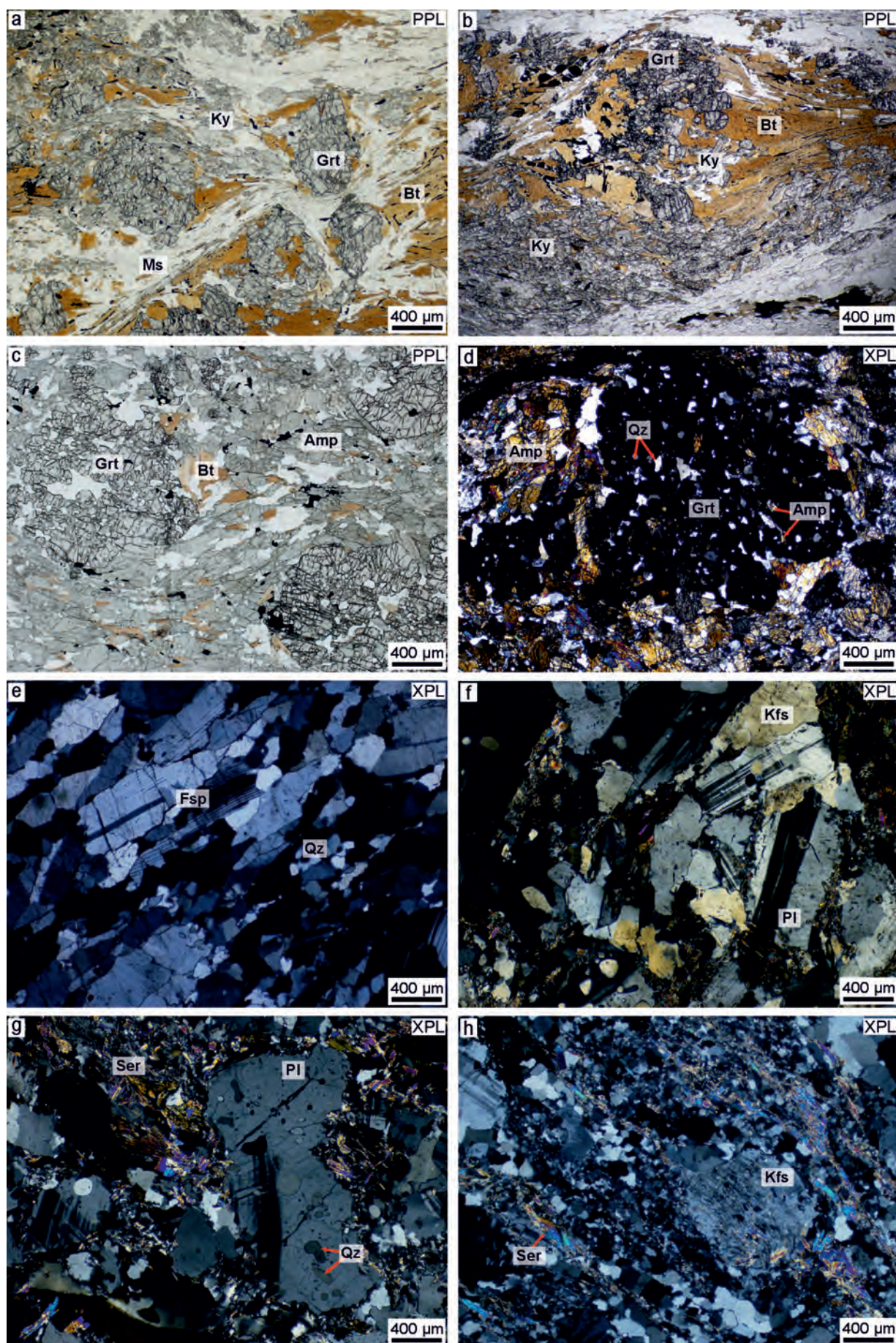


Figure 6. Cross-sections across the SE part of Algyó High illustrate the distribution of natural gamma-ray intensity (NGR) values [Conditional Gamma Units (CGU)] measured in boreholes. The rock types identified from the available core samples are marked along the boreholes. Boreholes without core samples are marked in black. The vertical scale of the cross-section is exaggerated 2×. MD: measured depth

6. ábra. Az Algyó-hát DK-i területén mélyült fúrásokban mért természetes gamma intenzitás (natural gamma-ray intensity: NGR) [Feltételes Gamma Egység (Conditional Gamma Units: CGU)] értékek eloszlását ábrázoló szelvények. A fúrások mentén a fúrásból elérhető magminták alapján azonosított kőzettípusok kerültek feltüntetésre. A szelvény függőleges méretaránya kétszeres nagyítású. Az 'MD: measured depth' a mért mélységet jelöli



← **Figure 7.** Petrographic features of the main rock types. a-b) Typical textures of garnet-kyanite gneiss. a) Muscovite and biotite bands define the foliation, with kyanite aggregates replacing garnet porphyroblasts. b) Kyanite aggregates along biotite bands parallel to foliation planes. c-d) Typical textures of garnetiferous amphibolite. c) Oriented amphibole and biotite crystals, and resorbed garnet porphyroblasts. d) Inclusion-rich garnet blast. e-h) Typical textures of metagranite. e) Elongated quartz and feldspar crystals define the foliation. f) Plagioclase twins in polygonal texture. g) Myrmekitic feldspar grain. h) Deformed feldspar α -clast and sericite bands. PPL: plane polarised light, XPL: crossed polarised light. Mineral abbreviation after WHITNEY & EVANS (2010)

← **7. ábra.** A fő kőzettípusok petrográfiai jellemzői. a-b) A gránátos-kyanitos gneisz jellegzetes szöveti jellemzői. a) Foliációt jelölő muszkovit- és biotitsávok, valamint gránát porfiroblasztokat helyettesítő kyanit aggregátumok. b) A biotitos szalagok mentén, foliációs síkokkal párhuzamosan orientálódó kyanit aggregátumok. c-d) A gránátos amphibolit jellegzetes szöveti jellemzői. c) Irányított amphibol- és biotitkristályok rezorbeált gránát porfiroblasztokkal. d) Zárványokban gazdag gránátblaszt. e-h) A metagranit jellegzetes szöveti jellemzői. e) A folációt jelölő, nyúlt kvarc- és földpátkristályok. f) Polygonális szövetű plagioklász-ikerkristályok. g) Mirmekites földpátszemce. h) Deformált földpát α -klaszt és szericites szalagok. PPL: 1N, XPL: +N. Ásványi rövidítések WHITNEY & EVANS (2010) alapján

zones of decreasing gamma-ray intensities (2–4 CGU) in both the SE and NW directions. In the SE part, chlorite schist is associated with gamma values of both 2–4 CGU and 4–8 CGU, based on core samples. Similarly, in the NW direction, epidote orthogneiss is linked to gamma values of 2–4 CGU and 4–8 CGU. Considering the geophysical–petrographic correlations, the low-grade metamorphic rocks in the central region cannot be distinguished based on their gamma intensities, which can be associated with their similar chemical composition. Based on the detailed petrographic description by KONDOR & M. TÓTH (2021), the rock-forming minerals of chlorite schist are quartz and chlorite, while epidote orthogneiss is primarily composed of quartz, plagioclase

feldspar, muscovite, and chloritised biotite. Additionally, significant amounts of epidote and clinozoisite have formed in the rock due to the retrograde alteration of plagioclase feldspar. In both rock types, the rock-forming minerals are potassium-free, which may explain the low gamma intensities.

The results of the NGR [CGU] well-log analyses for the entire area confirm that the basement of the AH region is composed of blocks with different petrographic characteristics. Significantly different geophysical and lithological features characterise the NW and SE parts of the area compared to the central region. The NW and SE parts predominantly comprise medium-grade garnet-kyanite gneiss, which exhibits higher gamma intensities than the central region, dominated by low-grade rocks and low gamma intensities (Figure 8 b). According to KONDOR & M. TÓTH (2021), these three blocks were probably juxtaposed along post-metamorphic normal faults during the Miocene syn-rift extensional processes, although they may also reflect different nappe units. However, based on the geophysical interpretation, the three main blocks can be well-defined, but the two low-grade blocks cannot be distinguished based on their gamma intensities. The post-metamorphic normal fault between them can only be inferred based on their petrological characteristics.

Lithological characteristics of the SE part of AH

The 3D model of the entire area revealed an anomaly with exceptionally high gamma intensities in the SE part of the AH area (Figure 4). Focusing on this part, the refined 3D block model highlights additional wells with higher gamma

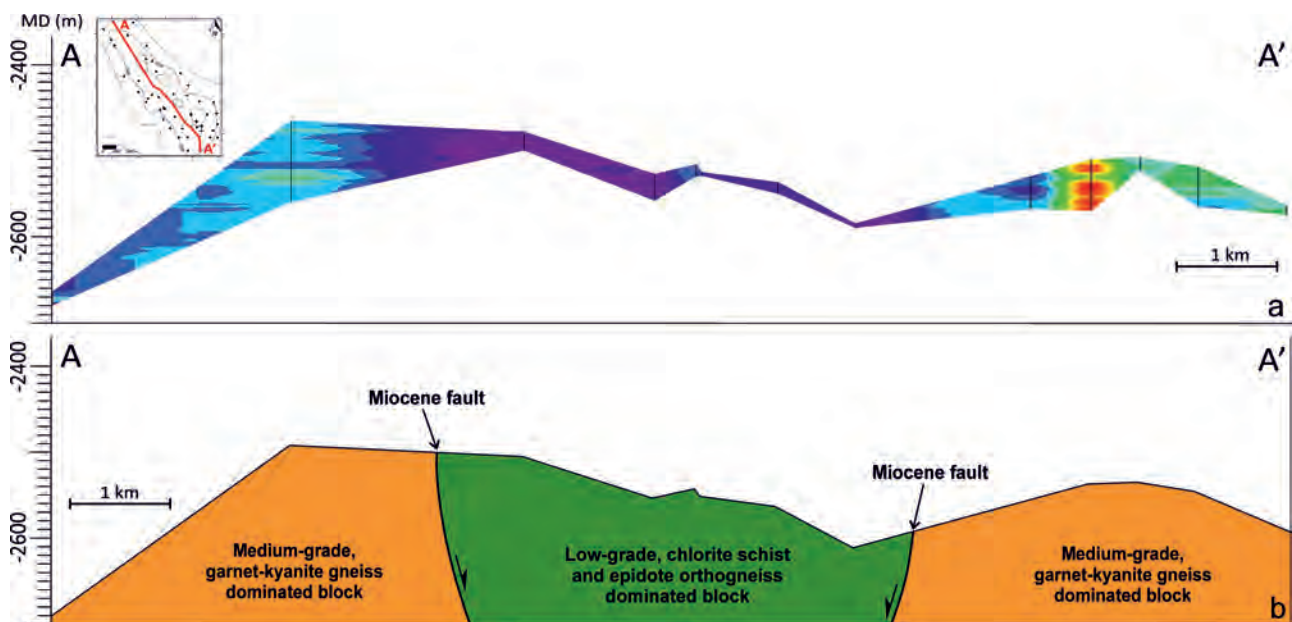


Figure 8. NW-SE cross-section of the Algyó High region. a) Cross-section across the Algyó High displaying the distribution of natural gamma-ray intensity (NGR) values [Conditional Gamma Units (CGU)]. Black lines indicate the locations of boreholes. The point map of the area illustrates the A-A' cross-sections line and the wells with NGR [CGU] data. MD: measured depth. b) Geological interpretation of the natural gamma-ray intensity in conjunction with the previous petrological interpretation by KONDOR & M. TÓTH (2021). The vertical scale of the cross-sections is exaggerated 2×.

8. ábra. Az Algyó-hát ÉNy-DK irányú szelvénye. a) A természetes gamma intenzitás (natural gamma-ray intensity: NGR) [Feltételes Gamma Egység (Conditional Gamma Units: CGU)] értékek eloszlását mutató szelvény. A fekete vonalak a fúrások helyét jelölik. A terület ponttérképe az A-A' szelvények nyomvonalát és az adatokat szolgáltatató fúrási pontok helyét jelöli. Az 'MD: measured depth' a mért mélységet jelöli. b) A természetes gamma intenzitás-értékek földtani értelmezése, figyelembe véve KONDOR & M. TÓTH (2021) korábbi kőzettani értelmezését. A szelvények függőleges méretaránya kétszeres nagyságú.

intensities than the average (*Figure 6*). A detailed petrographic analysis was conducted to understand the NGR characteristics of this sub-area. The analysis identified three different rock types with unique mineralogical compositions: garnet–kyanite gneiss, garnetiferous amphibolite and metagranite. The most common lithology is garnet–kyanite gneiss. According to previous publications, this gneiss mass was affected by polyphase metamorphism (SZALAY 1977; SZEDERKÉNYI 1984; T. KOVÁCS & KURUCZ 1984; HORVÁTH & ÁRKAI 2002; LELKES-FELVÁRI et al. 2003, 2005; KONDOR & M. TÓTH 2021). The first, amphibolite facies regional metamorphic event, is represented by relic biotite and muscovite flakes, large garnet porphyroblasts, and rutile grains. The second event is characterised by fine-grained kyanite aggregates replacing garnet porphyroblasts. KONDOR & M. TÓTH (2021) proposed that the second event was a contact metamorphic (metasomatic) process associated with an igneous intrusion, which may have also resulted in tourmaline crystallisation. Garnetiferous amphibolite has been identified only in a few core samples. Peak metamorphic conditions are defined by rock-forming green or dark brown amphibole crystals, inclusion-rich garnet porphyroblasts, and rutile grains. The presence of this mineral assemblage suggests peak conditions corresponding to the middle amphibolite facies. Although mineralogical compositions and protoliths of the garnet–kyanite gneiss and garnetiferous amphibolite are different, these rock types evolved simultaneously under peak amphibolite facies metamorphic conditions (KONDOR & M. TÓTH 2021). The petrographic features and the qualitative metamorphic evolution of the metagranite significantly differ from those of the garnet–kyanite gneiss and garnetiferous amphibolite. The rock-forming minerals and accessories represent the minerals of the protolith, while purely metamorphic minerals were not found. Microtextural features of the metagranite, such as the presence of microcline, idiomorphic zircon crystals, myrmekitic plagioclase feldspars, and crystals with polygonal microtextures, all indicate the intrusive, magmatic origin of the rocks (VERNON & COLLINS 1988).

Correlation of lithology and NGR values in the SE part of the AH area

As previously demonstrated, the NGR log is quite sensitive to the mineralogical and chemical composition of rocks. Radioactivity is primarily emitted from potassium, thorium, and uranium. Accordingly, potassium-bearing minerals, such as K-feldspar, biotite, and muscovite, as well as uranium-bearing minerals, such as zircon, can increase the gamma-ray intensity of the rocks. In contrast, the absence or small amounts of these minerals can reduce gamma radiation. Consequently, the NGR values observed in the boreholes serve as reliable indicators of the chemical and mineralogical composition of the surrounding rock mass, thus allowing the geophysical–lithological correlation.

The three main rock types in the SE part of the AH area are characterised by distinct mineralogical compositions.

The main mineral phases in the garnet–kyanite gneiss are biotite, muscovite, quartz, and K-feldspar, while amphibolite is dominated by amphibole, plagioclase and garnet. Metagranite primarily comprises K-feldspar and quartz, with subordinate plagioclase feldspar and muscovite, and contains a minor amount of biotite. Regarding the primary composition of the garnet–kyanite gneiss, the main source of gamma radiation are the micas with a secondary contribution from feldspars. In the garnetiferous amphibolite, the gamma radiation essentially depends on a small amount of biotite. In metagranite, gamma radiation primarily originates from the dominant K-feldspar, with a secondary contribution from the mica content. Additionally, as an accessory phase, zircon may contribute to the gamma radiation of metagranite. Considering the mineralogical composition of these rock types, the highest gamma intensity is expected in boreholes intersecting metagranite. In contrast, the lowest gamma intensity is likely to occur in garnetiferous amphibolite. The gamma intensity is expected to range between the highest and lowest values for garnet–kyanite gneiss.

Based on petrographic analyses of core samples, garnet–kyanite gneiss is present in most boreholes. The typical gamma intensities in these boreholes range from 10 to 14 CGU (*Figure 6*). However, zones with higher gamma intensities (14–18 CGU), as observed in Well-6, can also be found inside the gneiss mass. A core sample from the upper part of Well-6 (–2492 to –2500 metres) revealed garnet–kyanite gneiss, associated with a nearly consistent gamma intensity of 14–16 CGU. Between depths of –2510 and –2533 metres, the gamma intensity decreases to 6–10 CGU, corresponding to core samples identified as garnetiferous amphibolite. Subsequently, the well-log shows higher CGU values (14–18 CGU), similar to those in the upper zone (*Figure 6*). Core samples from the lower zone also revealed garnet–kyanite gneiss. In Well-2, although the upper zone shows slightly lower gamma values (14–18 CGU), an increase is observed in the bottom section (18–22 CGU) (*Figure 6*). Core sampling consistently revealed the entire rock column as metagranite; however, there is a slight variation in the CGU range. Similarly, higher values (18–22 CGU) are observed in other boreholes, such as Well-1 and Well-7, where the positive anomaly can also be associated with metagranite.

The typical gamma-ray intensities of garnet–kyanite gneiss range from 10 to 14 CGU, while those of metagranite generally vary between 18 and 22 CGU. However, intermediate gamma values (14–18 CGU) are also observed within the garnet–kyanite gneiss and metagranite units, leading to uncertainties in lithological identification based on CGU values alone. In boreholes that intersect metagranite, lower CGU values are often recorded in the upper sections of the rock column. These reduced values (16–18 CGU) may indicate a weathered top zone of the metamorphic basement. Low-temperature alteration processes, such as K-feldspar sericitisation and potassium leaching due to its mobile behaviour, can decrease the K-content, resulting in reduced gamma values.

Conversely, the higher gamma values (14–18 CGU) observed in garnet–kyanite gneiss adjacent to granite-dominated zones (*Figure 6*) may be attributed to a different mechanism. Changes in natural gamma-ray intensity can reflect metasomatic or hydrothermal alterations in metamorphic rocks (BARTETZKO et al. 2005). This effect is most pronounced in boreholes intersecting garnet–kyanite gneiss to the southeast and east of Well-4 (e.g., Well-6). In contrast, in boreholes to the northeast and west, these elevated values were not observed. Elevated gamma intensities typically indicate increased K-content, often associated with potassium metasomatism. Such metasomatising fluids usually originate from magmatic or low-temperature aqueous systems (ENNIS et al. 2000). In this context, the subareas with 14–18 CGU values within garnet–kyanite gneiss-dominated zones are interpreted as metasomatised regions. The close spatial association between these zones suggests that the metasomatic overprint likely resulted from the granitoid magmatism itself.

Gamma intensities in Well-4 are exceptionally high, ranging from 22 to 31 CGU, suggesting the presence of metagranite (*Figure 6*). Nevertheless, the specific chemical anomaly responsible for these elevated intensities remains unclear in the absence of spectral gamma-ray measurements. While potassium significantly contributes to gamma radiation, uranium and thorium can also play a role. The concentrations of these radioactive elements are primarily determined by the mineralogical composition but can be modified by post-magmatic processes. Metasomatic alteration due to hydrothermal activity can modify the concentration and distribution of radioactive elements within the formations, thereby influencing gamma radiation levels (BARTETZKO et al. 2000, LUO & HEPING 2010).

In the vicinity of granite intrusions, hydrothermal fluids can increase gamma intensities in the surrounding host rocks and also inside the granitoid body (ZIELINSKI & MEIER 1988). Thorium, being relatively insoluble, contributes less to these enhancements (CSÓKÁS 1993). In contrast, as a mobile element, uranium can be readily transported by hydrothermal or subsurface waters and accumulate, particularly in veins. Since uranium has a significantly higher gamma radiation output per unit weight than potassium (CSÓKÁS 1993), its enrichment could markedly increase gamma intensity. Therefore, the elevated gamma values observed in Well-4 may be attributed to metasomatic and hydrothermal processes that affected the formation. So, the borehole is interpreted as hydrothermally altered metagranite.

The core samples in Well-6 and Well-5 revealed garnetiferous amphibolite associated with lower gamma intensities ranging from 6–10 CGU (*Figure 6*). A similar zone with low values was recognised in an additional borehole (Well-3), which is also assumed to be garnetiferous amphibolite.

Based on the petrographic correlation of the well-logs, the rock types in all boreholes were identified by considering composition (*Figure 9*). As a result, the observed gamma intensities indicate that metagranite is associated with the highest values, whereas the lowest values characterise garnetiferous amphibolite. Although the gamma intensities of

garnet–kyanite gneiss are higher than those of amphibolite but lower than those of metagranite, zones with higher gamma intensities were also identified inside the gneiss mass, which were interpreted as metasomatised gneiss.

After re-evaluation, histogram analyses were conducted for the identified rock types, providing statistical data for their distinct characteristics (*Figure 10*). The largest population characterises the garnet–kyanite gneiss. It exhibits a mean natural gamma-ray intensity of 12 CGU, ranging from 9 to 14 CGU, aligning closely with typical observed values of 10–14 CGU. In contrast, garnetiferous amphibolite shows the lowest NGR values, ranging from 6 to 11 CGU, with a mean of 9 CGU. The metasomatised gneiss represents the transition between garnet–kyanite gneiss and metagranite, and it is associated with a mean NGR value of 16 CGU, ranging from 13 to 19 CGU. Gamma values of 16–18 CGU primarily represent the weathered top zone of metagranite. The metagranite has the highest NGR values, ranging from 16 to 22 CGU, and it has the smallest population, with a mean NGR value of 19 CGU. The values detected in Well-4 are presented separately and identified as hydrothermally altered metagranite. This borehole is characterised by outlier NGR values, with a wide range and high variability. The mean NGR value of this population is 27 CGU in the 20–32 range.

Spatial correlation

The compiled geological cross-sections represent the spatial distribution of the primary lithologies (*Figure 11*). Based on the geophysical–lithological correlation, in addition to the main lithotypes – garnet–kyanite gneiss, metagranite, and amphibolite – a new rock type, metasomatised gneiss, has been distinguished. The garnet–kyanite gneiss dominates the SE part of the AH area, intercalated by garnetiferous amphibolite in some boreholes in narrow zones. KONDOR & M. TÓTH (2021) proposed that the garnetiferous amphibolite represents mafic magmatic dykes that crosscut the host gneiss body and that both rock types underwent comparable metamorphic evolution.

Metagranite is an intrusive igneous granitoid rock identified in several boreholes in well-defined areas. Previous studies have also described young granite bodies intruding the gneiss and mica schist formations in the SE part of AH (SZALAY 1977, T. KOVÁCS & KURUCZ 1984, SZEDERKÉNYI 1984). SZEDERKÉNYI (1984) suggested that these intrusions are linked to the Late Cretaceous ‘banatite’ magmatism that affected the entire region. Considering the petrographic features and the metamorphic evolution of the garnet–kyanite gneiss and metagranite, in conjunction with previous interpretations, the metagranite can be interpreted as younger granitoid dykes that penetrated the gneiss mass. A large granite body related to ‘banatite’ magmatism has been documented to the south of AH in the Ferencszállás area (SZEDERKÉNYI 1984, T. KOVÁCS & KURUCZ 1984). The metagranite bodies locally occurring within the garnet–kyanite gneiss are likely related to this large-scale granitoid intrusion.

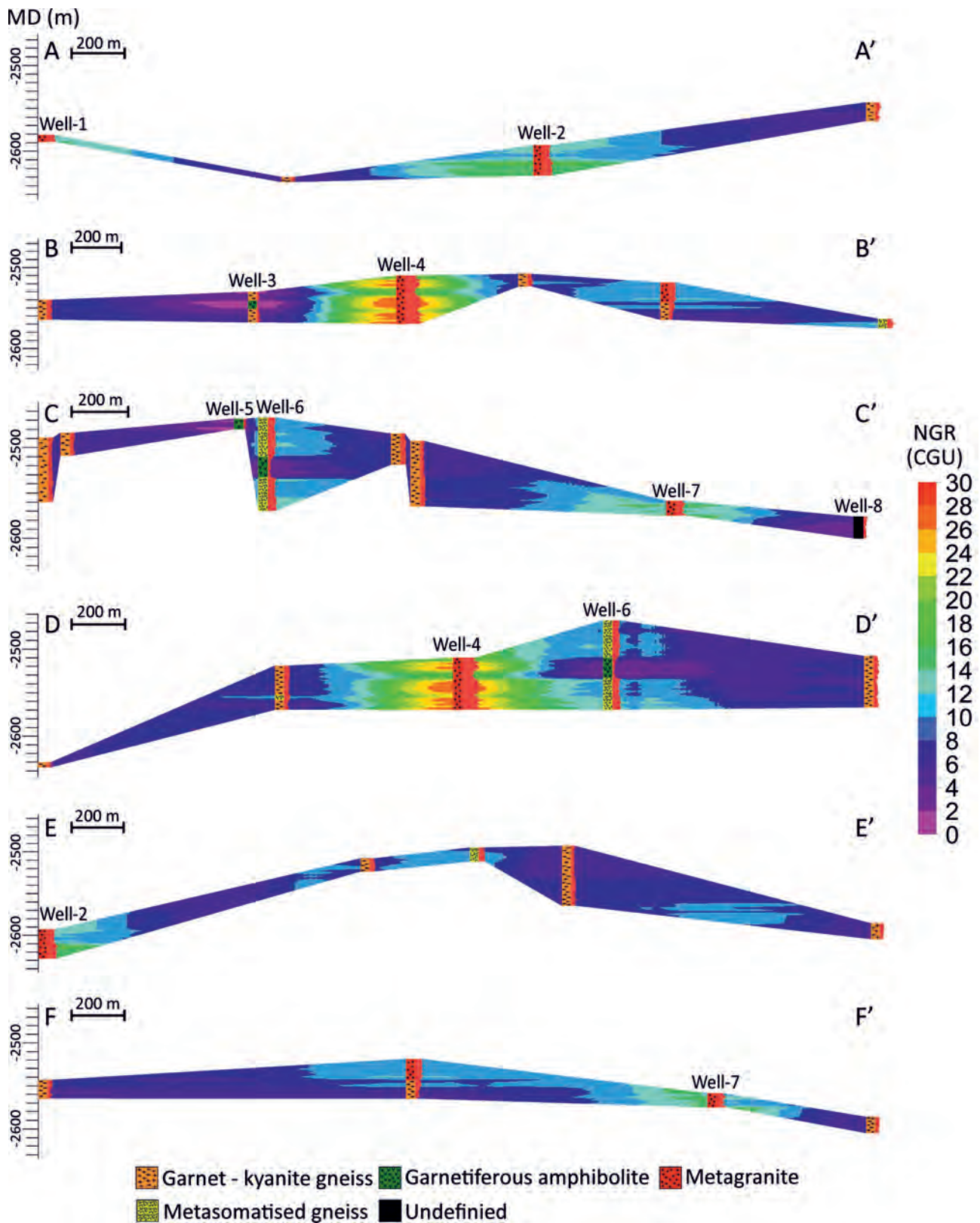


Figure 9. Reinterpreted cross-sections across the SE part of Algyő High showing the distribution of natural gamma-ray intensity (NGR) [Conditional Gamma Units (CGU)] values. The rock types in all boreholes were identified by considering typical CGU values. The vertical scale of the cross-sections is exaggerated 2×. MD: measured depth

9. ábra. Az Algyő-hát DK-i területén mélyült fúrásokban mért természetes gamma intenzitás (natural gamma-ray intensity: NGR) [Feltételes Gamma Egység (Conditional Gamma Units: CGU)] értékeinek eloszlását ábrázoló újraértelmezett szelvények. A jellemző Feltételes Gamma Egység (CGU) értékei alapján minden fúrásban azonosításra kerültek a fő kőzettípusok. A szelvények függőleges méretaránya kétszeres nagyságú. Az 'MD: measured depth' a mért mélységet jelöli

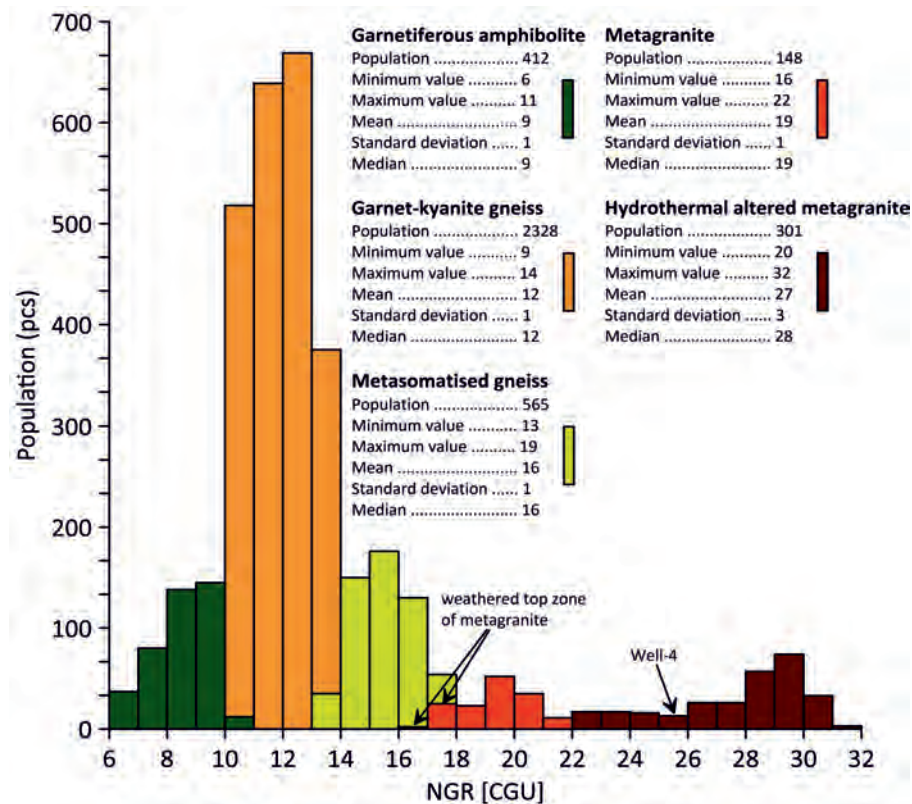


Figure 10. Statistical evaluation of the natural gamma-ray intensity (NGR) [Conditional Gamma Units (CGU)] characterising the main rock types of the SE part of Algyő High

10. ábra. Az Algyő-hát DK-i részének fő kőzettípusait jellemző természetes gamma intenzitásának (natural gamma-ray intensity: NGR) [Feltételes Gamma Egység (Conditional Gamma Units: CGU)] statisztikai értékelése

These granitoid bodies in the area have likely influenced the mineralogical and chemical composition of the surrounding host gneiss. Hydrothermal fluids associated with these intrusions may have metasomatised the host rock and remobilised certain elements. As previously discussed, the zones with increased gamma intensities observed in the garnet-kyanite gneiss are likely the result of metasomatic processes linked to these granitoid intrusions. These zones, which primarily occur in the surroundings of the metagranite bodies, have been identified as metasomatised gneiss (Figure 11).

Conclusion

Over the past few decades, several boreholes have penetrated the crystalline basement of the Algyő High (AH) region, yielding substantial core samples and well-log data. This study re-evaluates the crystalline basement using an integrated approach that combines well-log interpretation, core analysis, and petrographic observations.

Among the available wireline logs, natural gamma-ray intensity [CGU] logs proved to be the most suitable for geophysical–lithological correlation in this area.

Based on the NGR [CGU] log data, the AH metamorphic basement comprises three major blocks, consistent with earlier petrological studies. Higher gamma-ray intensities (8–16 CGU) were recorded in the NW and SE parts, which are predominantly composed of medium-grade garnet-ky-

anite gneiss, while the central region is dominated by low-grade lithologies showing lower gamma-ray values (2–8 CGU).

Gamma-ray anomalies were identified in the SE part of the area. Petrographic analysis of core samples and thin sections revealed three principal rock types in this region: garnet-kyanite gneiss, garnetiferous amphibolite, and metagranite.

Geophysical–lithological correlations show that garnet-kyanite gneiss is the dominant rock type in the SE block, with typical gamma-ray intensities of 10–14 CGU. This gneiss mass is intercalated with garnetiferous amphibolite characterised by lower values (6–10 CGU).

The metagranite exhibits the higher gamma-ray intensities (18–22 CGU) and is interpreted as representing younger granite/granodiorite intrusive dykes within the host gneiss. These magmatic bodies locally altered the mineralogical and chemical composition of the gneiss, producing metasomatised zones.

The results highlight the importance of integrating geophysical and lithological data to improve understanding of the complex structure and metamorphic evolution of the AH basement.

As existing wells reached only the uppermost part of the metamorphic basement, current interpretations are limited to lateral structures, with deeper levels remaining unexplored. To address this limitation, the incorporation of reflection seismic data is recommended.

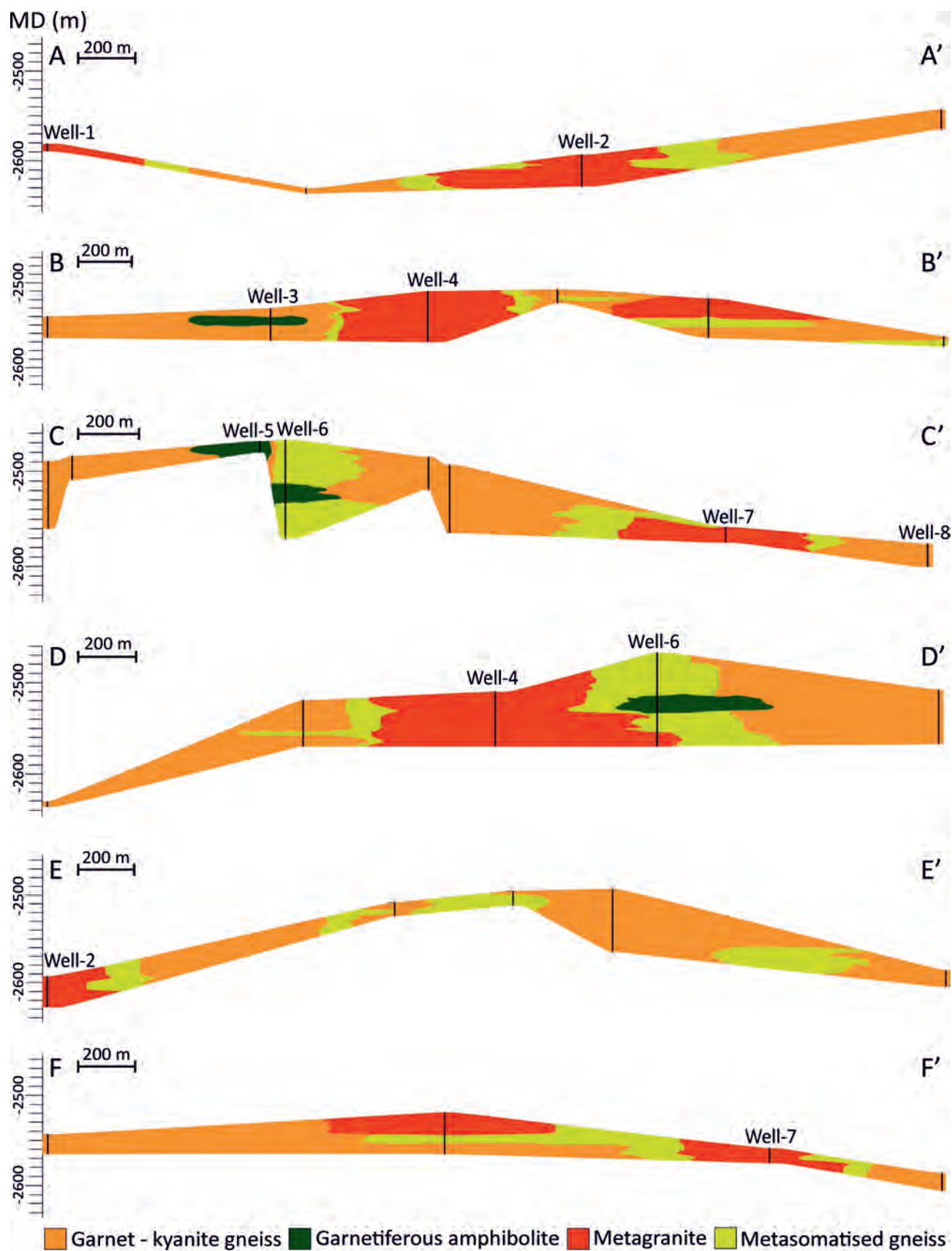


Figure 11. Geological cross-sections representing the spatial distribution of the main rock types based on geophysical-lithological correlation. The vertical scale of the cross-sections is exaggerated 2×. MD: measured depth

11. ábra. A geofizikai-kőzettani korreláció alapján meghatározott fő kőzettípusok térbeli eloszlását mutató geológiai szelvények. A szelvények függőleges méretaránya kétszeres nagyságú. Az "MD: measured depth" a mért mélységet jelöli

Acknowledgement

The MOL Hungarian Oil and Gas Company is thanked for providing thin sections, core samples, and wireline logs for investigation. We are grateful to Gábor TARI, Wolfgang

HUJER, and an anonymous reviewer for their constructive comments on the manuscript. This research was funded by the National Research, Development and Innovation Office, grant number K-138919.

References – Irodalom

- BALOGH, K. & PÉCSKAY, Z. 2001: K/Ar and Ar/Ar geochronological studies in the PANCARDI region. – *Acta Geologica Hungarica* **44/2–3**, 281–299.
- BARTETZKO, A., DELIUS, H. & PECHNIG, R. 2005: Effect of compositional and structural variations on log responses of igneous and metamorphic rocks. I: mafic rocks. – *Geological Society, London, Special Publications* **240**, 255–278. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2005.240.01.19>
- BERZA, T., CONSTANTINESCU, E. & VLAD, S. 1998: Upper Cretaceous magmatic series and associated mineralization in the Carpathian-Balkan orogen. – *Resource Geology* **48**, 291–306. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.1998.tb00026.x>
- CSÓKÁS J. 1993: *Mélyfűrészi geofizika*. – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- CSONTOS, L. & VÖRÖS, A. 2004: Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **210**, 1–56. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.033>
- CSONTOS, L., NAGYMAROSY, A., HORVÁTH, F. & KOVÁČ, M. 1992: Cenozoic evolution of the Intra-Carpathian area: A model. – *Tectonophysics* **208/1–3**, 221–241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90346-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90346-8)
- ENNIS, D. J., DUNBAR, N. W., CAMPBELL, A. R. & CHAPIN, C. E. 2000: The effects of K-metasomatism on the mineralogy and geochemistry of silicic ignimbrites near Socorro, New Mexico. – *Chemical Geology* **167**, 285–312. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(99\)00223-5](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(99)00223-5)
- FISER-NAGY, Á., VARGÁNÉ TÓTH, I. & M. TÓTH, T. 2014: Lithology identification using open-hole well-log data in the metamorphic Kiskunhalas-NE hydrocarbon reservoir, South Hungary. – *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* **49/1**, 57–78. <https://doi.org/10.1007/s40328-013-0037-1>
- HAAS, J. 2001: *Geology of Hungary*. – Eötvös University Press, Budapest.
- HAAS, J., BUDAI, T., CSONTOS, L., FODOR, L. & KONRÁD, GY. 2010: *Pre-Cenozoic Geological Map of Hungary 1:500 000*. – Hungarian Geological Institute. <https://map.mbfisz.gov.hu/preterc500/>
- HASAN, M. L. & M. TÓTH, T. 2023: Localization of potential migration pathways inside a fractured metamorphic hydrocarbon reservoir using well log evaluation (Mezősas field, Pannonian Basin). – *Geoenergy Science and Engineering* **225/24**, 211710. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.211710>
- HORVÁTH, F. & TARI, G. 1999: IBS Pannonian Basin project: a review of the main results and their bearings on hydrocarbon exploration. The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogene. – *Geological Society, London, Special Publication* **156**, 195–213. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1999.156.01.11>
- HORVÁT, P. & ÁRKAI, P. 2002: Pressure-temperature path of metapelites from the Algyő–Ferencszállás area, SE Hungary: thermobarometric constraints from coexisting mineral assemblages and garnet zoning. – *Acta Geologica Hungarica* **45/1**, 1–27. <https://doi.org/10.1556/ageol.45.2002.1.1>
- JUHÁSZ Á. 1969: A Duna–Tisza köze mélységi magmás és metamorf képződményei. – *Földtani Közlemények* **99**, 320–336.
- KONDOR, H. & M. TÓTH, T. 2021: Contrasting metamorphic and post-metamorphic evolutions within the Algyő basement high (Tisza Mega-unit, SE Hungary). Consequences on structural history. – *Central European Geology* **64/2**, 91–112. <https://doi.org/10.1556/24.2021.00004>
- LARSEN, E. S., Jr., & PHAIR, G. 1954: The distribution of uranium and thorium in igneous rocks. – In: *Nuclear Geology*. J. Wiley & Sons, New York, 75–89.
- LELKES-FELVÁRI, Gy., FRANK, W. & SCHUSTER, R. 2003: Geochronological constraints of the Variscan, Permian-Triassic and eo-Alpine (Cretaceous) evolution of the Great Hungarian Plain basement. – *Geologica Carpathica* **54**, 267–280.
- LELKES-FELVÁRI, Gy., SCHUSTER, R., FRANK, W. & SASSI, R. 2005: Metamorphic history of the Algyő High (Tisza Mega-unit, basement of Great Hungarian Plain) – a counterpart of crystalline units of the Koralpe-Wölz nappe system (Austroalpine, Eastern Alps). – *Acta Geologica Hungarica* **48**, 371–394. <https://doi.org/10.1556/ageol.48.2005.4.2>
- LUO, M. & PAN, H. 2010: Well Logging Responses of UHP Metamorphic Rocks from CCSD Main Hole in Sulu Terrane, Eastern Central China. – *Journal of Earth Science* **21/3**, 347–357. <https://doi.org/10.1007/s12583-010-0098-9>
- M. TÓTH T. 2008: *Repedezett, metamorf fluidumtárolók az Alföld aljzatában*. – MTA doktori értekezés, Szeged.
- M. TÓTH, T. & VARGÁNÉ TÓTH, I. 2020: Lithologically controlled behaviour of the Dorozsma metamorphic hydrocarbon reservoir (Pannonian Basin, SE Hungary). – *Journal of Petrol Science and Engineering* **195**, 107748. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107748>
- M. TÓTH, T., FISER-NAGY, Á., KONDOR, H., MOLNÁR, L., SCHUBERT, F., VARGÁNÉ TÓTH, I. & ZACHAR, J. 2021: Az Alföld metamorf aljzata: a köztes tömegtől a tarka mozaikig. – *Földtani Közlemények* **151/1**, 3–26. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2021.151.1.3>

- MAGYAR, I., FOGARASI, A., VAKARCS, G., BUKÓ, L. & TARI, G. 2006: The largest hydrocarbon field discovered to date in Hungary: Algyő. – In: GOLONKA, J. & PÍCHA, F. (eds): *The Carpathians and their Foreland: Geology and Hydrocarbon Resources: AAPG Memoir* **84**, 619–632. <https://doi.org/10.1306/985734M843142>
- MOLNÁR, L., M. TÓTH, T. & SCHUBERT, F. 2015: Structural controls on the petroleum migration and entrapment within faulted basement blocks of the Szeghalom Dome (Pannonian Basin, SE Hungary). – *Geologia Croatica* **68/3**, 247–259. <https://doi.org/10.4154/GC.2015.19>
- NAGY, Á., M. TÓTH, T., VÁSÁRHELYI, B. & FÖLDES, T. 2013: Integrated core study of a fractured metamorphic HC-reservoir; Kiskunhalas-NE, Pannonian Basin. – *Acta Geodaetica et Geophysica* **48/1**, 53–75. <https://doi.org/10.1007/s40328-012-0008-y>
- NEUBAUER, F. 2002: Contrasting Late Cretaceous to Neogene ore provinces in the Alpine–Balkan–Carpathian–Dinaride collision belt. The Timing and Location of Major Ore Deposits in an Evolving Orogen. – *Geological Society, London, Special Publications* **204**, 81–202. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.204.01.06>
- PECHNIG, R., DELIUS, H. & BARTETZKO, A. 2005: Effect of compositional and structural variations on log responses of igneous and metamorphic rocks. II: acid and intermediate rocks. – *Geological Society, London, Special Publications* **240**, 279–300. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2005.240.01.20>
- POSGAY, K., TAKÁCS, E., SZALAI, I., BODOKY, T., HEGEDŰS, E., JÁNVÁRINÉ, K. I., TÍMÁR, Z., VARGA, G., BÉRCZI, I. & SZALAY, Á. 1996: International deep reflection survey along the Hungarian Geotraverse. – *Geophysical Transactions* **40/1–2**, 1–44.
- REISER, M. K. 2015: *The tectonometamorphic evolution of the Apuseni Mountains during the Cretaceous, Investigation on the interplay between tectonics and surface processes in the build-up of a source area*. – Dissertation, University of Innsbruck.
- RUMPLER, J. & HORVÁTH, F. 1988: Some representative seismic reflection lines from the Pannonian basin and their structural interpretation. The Pannonian basin – A study in basin evolution. – *AAPG, Memoir* **45**, 53–169. <https://doi.org/10.1306/M45474C13>
- SCHMID, S. M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M. & USTASZEWSKI, K. 2008: The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. – *Swiss Journal of Geosciences* **101**, 139–183. <https://doi.org/10.1007/s00015-008-1247-3>
- SCHUBERT, F., DIAMOND, L. W. & M. TÓTH, T. 2007: Fluid-inclusion evidence of petroleum migration through a buried metamorphic dome in the Pannonian Basin, Hungary. – *Chemical Geology* **244**, 357–381. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.05.019>
- SERRA, O. 1984: Fundamentals of Well-Log Interpretation. – *Developments in Petroleum Science*, 15A, Elsevier, Amsterdam.
- SZALAY, Á. 1977: Metamorphic-granitogenic rocks of the basement complex of the Great Hungarian Plain, Eastern Hungary. – *Acta Mineralogica-Petrographica* **23/1**, 49–69.
- SZEDERKÉNYI, T. 1984: *Az Alföld kristályos aljzata és földtani kapcsolatai*. – MTA doktori értekezés, Szeged.
- T. KOVÁCS, G. & KURUCZ, B. 1984: *A Dél-Alföld mezozoikumnál idősebb képződményei*. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 15–19.
- TARI, G. 1996: Extreme crustal extension in the Rába River extensional corridor (Austria/Hungary). – *Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten in Österreich* **41**, 1–17.
- TARI, G., HORVÁTH, F. & RUMPLER, J. 1992: Styles of extension in the Pannonian Basin. – *Tectonophysics* **208**, 203–219. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90345-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90345-7)
- TARI, G., DÖVÉNYI, P., DUNKL, I., HORVÁTH, F., LENKEY, L., STEFANESCU, M., SZAFIÁN, P. & TÓTH, T. 1999: Lithospheric structure of the Pannonian Basin derived from seismic, gravity and geothermal data. The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogene. – *Geological Society, London, Special Publication* **156**, 215–250. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.12>
- TARI, G., BADA, G., BOOTE, D., KRÉZSEK, Cs., KOROKNAI, B., KOVÁCS, G., LEMBERKOVICS, V., SACHSENHOFER, R. & TÓTH, T. 2003: The Pannonian Super Basin: A brief overview. – *AAPG Bulletin* **107/8**, 1391–1417. <https://doi.org/10.1306/02172322098>
- VERNON, R. H. & COLLINS, W. J. 1988: Igneous microstructures in migmatites. – *Geology* **16**, 1126–1129. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1988\)016<1126:IMIM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1988)016<1126:IMIM>2.3.CO;2)
- WHITNEY, D. L. & EVANS, B. W. 2010: Abbreviations for names of rock-forming minerals. – *American Mineralogist* **95**, 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- ZIELINSKI, R. & MEIER, A. 1988: The association of uranium with organic matter in Holocene peat: An experimental leaching study. – *Environmental Science* **3/6**, 631–643. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(88\)90095-9](https://doi.org/10.1016/0883-2927(88)90095-9)
- ZIMMERMAN, A., STEIN, H. J., HANNAH, J. L., KOŽELJ, D., BOGDANOV, K. & BERZA, T. 2008: Tectonic configuration of the Apuseni–Banat–Timok–Srednogorie belt, Balkans–South Carpathians, constrained by high precision Fe–Os molybdenite ages. – *Mineralium Deposita* **43**, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s00126-007-0149-z>

Fracture-controlled paleofluid migration in the Óbánya Valley (Eastern Mecsek)

LADÁNYI, Lili^{1,2}, HRABOVSKAI, Ervin^{1,3}, SCHUBERT, Félix¹

¹Department of Geology, University of Szeged

²HUN-REN Biological Research Center, Szeged

³Department of Mineralogy and Geology, University of Debrecen

E-mail: ladanyi.lili.02@szte.hu

Törésrendszerekhez kapcsolódó paleofluidum-migráció az Óbányai-völgyben (Keleti-Mecsek)

Összefoglalás

Az elmúlt két évtizedben a Mecsek-hegység területén több triász és jura képződményben azonosítottak szénhidrogén-tartalmú paleofluidum-migrációra utaló nyomokat. Jelen tanulmány a legkeletebbi ismert előfordulást vizsgálja, amelyet a részben cementált törésrendszerek képviselnek az Óbányai-völgyben. Célunk ezen törésrendszerek kialakulási körülményeinek rekonstrukciója volt. Klasszikus szerkezetföldtani módszereket alkalmazva megkíséreltük azonosítani a repedésrendszert kialakító szerkezetfejlődési eseményeket. Eredményeink alapján két deformációs fázist azonosítottunk: a) egy redőképződést és b) egy ezt követő, balos eltolódást. A völgyben megfigyelt redőhöz kapcsolódó kőzettrések és vetők elméleti irányait meghatároztuk, majd ezeket összevetettük a terepi orientációs adatokkal. Elemzéseink alapján több, a redőződéshez kapcsolódó törési irányt, kalciteret és vetőbreccsát azonosítottunk. Hat érgeneráció fluidumzárvány-petrográfiai vizsgálata vizes és szénhidrogén-tartalmú fluidumzárványok jelenlétét igazolta. Eredményeink arra utalnak, hogy a szénhidrogén-tartalmú fluidummigráció a redőződéshez kapcsolódó négy elméleti törési sík egyikéhez kapcsolható. Noha a fluidumzárványok csupán korlátozott információt nyújtanak a fluidummigráció hőmérsékleti viszonyairól, több érszöveti sajátosság arra utal, hogy a törésrendszer fejlődése során a képződményben időszakosan megemelkedett fluidumnyomás uralkodott.

Tárgyszavak: szénhidrogén-migráció, breccsaér, tektonikus erek, redőződés, balos oldaleltolódás

Abstract

Over the past two decades, traces of hydrocarbon-bearing paleofluid migration have been detected in several Triassic and Jurassic formations in the Mecsek Mountains. This study focuses on the easternmost known hydrocarbon occurrence, represented by a partially cemented fracture network in the Óbánya Valley, with the aim of reconstructing the formation conditions of the fracture system. Classical structural geological methods were employed to characterize the evolution of this fracture system. As a result, two distinct deformation phases were identified: a) a folding event, and b) a subsequent left-lateral displacement. Theoretical orientation of fractures associated with the observed folds were determined and compared with field measurements. This approach allowed us to define several fault orientations and fault breccias, as well as to link calcite veins to a folding process. Fluid inclusion petrography revealed the presence of both aqueous and hydrocarbon-bearing fluid inclusions within six distinct vein generations. These findings suggest that hydrocarbon-bearing fluids migrated along one of the four deformation-related fracture sets in this fracture system. Although the nature of the fluid inclusion assemblages provides only limited constraints on the thermal conditions during fluid migration, several vein structures suggest episodic increases in fluid pressure during the system's evolution.

Keywords: hydrocarbon migration, breccia veins, tectonic veins, folding, sinistral strike-slip fault

Introduction

Fracture systems play a crucial role in subsurface fluid migration, influencing the movement of water, hydrocarbons, and other fluids (MORETTI 1998, NELSON 2001). In sedimentary rocks, such as marls, fractures serve as high-permeability pathways, significantly enhancing fluid flow beyond what is achievable through primary porosity alone (BERKOWITZ 2002). However, it is essential to acknowledge the diverse range of fracture types – including cracks, fissures, joints and faults – whose fluid conductivity can vary to extreme degrees (BERKOWITZ 2002). ODLING (1997) observed that joint systems composed of multiple, differently oriented sets often form well-connected networks, whereas fault systems, due to their density and orientation, tend to form one oriented network. Interestingly, such fracture sets can develop during progressive folding stages (RAMSAY 1967), allowing enhanced fluid migration within the affected rock units. The mineralised fractures not only record the mechanisms of vein formation (BONS et al. 2012), but also provide valuable insights into the physicochemical conditions of paleofluid migration along fold-related fracture networks (MUNZ 2001, FISCHER et al. 2009). FISCHER et al. (2009) studied fracture-controlled paleofluid migration within a large-scale detachment fold in Mexico, using fluid inclusions in quartz and calcite veins. Their findings highlighted that even in extensively fractured formations, hydrologic systems can exhibit significant outcrop-scale heterogeneities, complicating the reconstruction of fluid migration events across broader areas. In the present study, understanding vein systems and fractures is essential for reconstructing the structural evolution and paleofluid migration in the study area.

Traces of hydrocarbon migration in fracture systems have been reported from several places in the Mecsek area over the past decade (e.g., LUKOCZKI et al. 2012, HAN et al. 2022, HRABOVSKÍ et al. 2023). The co-genetic occurrence of petroleum and aqueous fluid inclusions has not only allowed for the estimation of migration temperature but, in some cases, has also provided insights into the source rock of the petroleum-bearing fluids. Recently, LADÁNYI et al. (2023) reported that, in addition to the previously studied sites, Mesozoic formations in the northeastern segment of the Mecsek Mts. were also affected by hydrocarbon migration.

Here we present the results of a detailed structural analysis of the Óbánya Valley, with special regards to the calcite-cemented fracture system within the Komló Calcareous Marl Formation. Structural measurements, as well as petrographic and microanalytical methods were used to classify the calcite veins and establish, to the extent possible, the relative chronology of their formation. Furthermore, we correlated the identified fracture and vein generations with folding events recognised in the area (e.g., PÜSPÖKI et al. 2012). Lastly, we reconstructed the temporal relationship between petroleum-bearing fluid migration and the history of fracture formation and cementation in the study area.

Geological background

The study area is situated within the Tisza Mega-unit, which forms the southern segment of the Pannonian Basin. During the early stages of the Alpine orogenic cycle, the Tisza Mega-unit was positioned along the southern margin of the Eurasian continental plate, representing the northern shelf of the Tethys Ocean (HAAS et al. 2012). As a result of regression, by the end of the Triassic, the marine environment gradually transitioned into freshwater conditions, leading to the deposition of fluvial, lacustrine, and marsh sediments at the Triassic–Jurassic boundary (NAGY 1969). During this period, coal deposits formed, which are characteristic lithological units in the Mecsek area. The proportion of fine-grained siliciclastic and carbonate sediments fluctuated in response to sea-level changes, resulting in the rhythmic alternation of spotted marl, calcareous marl, and argillaceous limestone. By the end of the Middle Jurassic, Mediterranean faunal elements began to appear and spread across the region due to the detachment of the Tisza Mega-unit from the European Plate (GÉCZY 1973, VÖRÖS 1993). It is presumed that rifting, initiated during the Late Triassic, culminated in extensive alkaline basaltic magmatism during the Early Cretaceous. The resultant Late Mesozoic volcanic successions of the Mecsek Mountains form a dominant north-east-southwest trending belt approximately 250 km in length and 50 km in width (BILIK 1980, KUBOVICS et al. 1990, HARANGI & ÁRVÁNE-SÓS 1993).

South of this volcanic zone lies the study area, the north-east-southwest trending Óbánya Valley, which holds geological interest because it exposes all the Jurassic formations of the Kisújbánya perisyncline. The valley runs parallel to the Döngölt Ditch, north of the Réka Valley. Near the village of Óbánya, the stratigraphic sequence predominantly consists of grey, spotted, bituminous, silty, and calcareous marl, along with clayey limestone. These deposits belong to the Toarcian–Bajocian Komló Calcareous Marl Formation (BÖCKH 1880, HETÉNYI 1966, CSÁSZÁR & HAAS 1983, GALÁ CZ et al. 1992, HAAS 1994, NÉMEDI VARGA 1998, RAUCSIK 2012). Further towards the village of Kisújbánya, the stratigraphy transitions into the Bathonian–Callovian Óbánya Limestone Formation, characterised by greenish, reddish, and grey marl, calcareous marl, and nodular limestone (HETÉNYI 1966, CSÁSZÁR & HAAS 1983, VELLE DITS et al. 1986, GALÁ CZ et al. 1992, HAAS 1994, NÉMEDI VARGA 1998, RAUCSIK 2012). Continuing along the valley towards the village of Kisújbánya, the succession is dominated by the light-coloured, chert-bearing limestone of the Callovian–lower Kimmeridgian Fonyászó Limestone Formation, with a gradual decrease in chert content southwestward (BÖCKH 1880, VELLE DITS et al. 1986). According to GALÁ CZ et al. (1992), carbonate rock sequences of Kimmeridgian–Tithonian age are present near Kisújbánya, classified as part of the Kisújbánya Limestone Formation (HAAS 1994).

The structure of the Mecsek is characterised by complex anticline–syncline fold systems, with fold axes predominantly oriented northeast–southwest (BENKOVICS et al. 1997,

CSONTOS et al. 2002). In the Máza-Dél-Váralja-Dél area, PÜSPÖKI et al. (2012) also observed folds with northeast–southwest-trending axes while investigating the Mecsek coal and the transgression-related thinning of coal sequences. These complex folds may have formed during the Cretaceous due to two distinct compression events, resulting in the development of east–west-trending folds (BERGERAT & CSONTOS 1988) and slightly asymmetric folds with northeast–southwest axes (NÉMEDI VARGA 1983, BERGERAT & CSONTOS 1988). Later, during the syn-rift phase of the development of the Pannonian Basin (~15 Ma), left-lateral transensional movements (NÉMEDI VARGA 1983) led to the formation of pull-apart basins along the north and south boundaries of the mountain range (WEIN 1967, PETRIK 2009). The uplift of the Mecsek and Villány Mountains began in the early Pannonian (Late Miocene–Pliocene; FODOR et al. 1999; SEBE 2009, 2021; SZTANÓ & MAGYAR 2023; SEBE & PAZONYI 2025).

Methods

During the field surveys, orientation data of bedding planes as well as mineralised and unmineralised fractures were measured in the Óbánya Valley using a Freiberg compass and the FieldMove Clino mobile application. The collected data were graphically analysed using the Stereonet 11 software. After the macroscopic description of the collected hand specimens, 30- μ m thin sections were prepared from seven samples. Microscopic petrographic observations were conducted using an Olympus SZX-7 polarising stereomicroscope, an Olympus BX-41 polarising microscope, and a Reliotron VII cathodoluminescence (CL) device mounted on an Olympus BX-43 microscope. To differentiate vein-forming carbonate phases, the thin sections were treated with acidic solutions of alizarin red S and potassium ferricyanide following the method of DICKSON (1965). The interpretation of carbonate staining was based on the findings of LINDHOLM & FINKELMAN (1972), where a pink colouration in calcite indicates an FeO content of $\leq 0.5\%$, classifying it as iron-free, whereas a blue coloration suggests an FeO content above this threshold, indicating iron-bearing calcite. UV-fluorescent petrography and microspectroscopic analyses were performed using a 100 W mercury vapour light source equipped with an Olympus U-MNU2 filter cube (excitation wavelength: 360–380 nm, dichroic filter: 400 nm, cutoff filter: 420 nm). Fluorescence spectra were recorded using an Ocean Insight (OceanOptics) QEPRO spectrometer connected to an Olympus BX-41 polarising microscope. Spectra were acquired from a 2 μ m diameter spot with an 8 s acquisition time using the OceanView software and the data were normalised to their maximum intensity for comparability. To describe fluid inclusions, the terminology recommended by DIAMOND (2003) was followed. Microthermometric analysis of fluid inclusions was conducted using a Linkam MDS600 heating-freezing stage attached to an Olympus BX-41 polarising microscope. The system was

calibrated with synthetic fluid inclusions in quartz at reference temperatures of -56.6 °C, 0.0 °C, and 374 °C. The vapour to liquid phase ratio of fluid inclusions was determined based on 2D microscopic images analysed with ImageJ 1.53 software and are expressed as vapour area% referring to the percent area of the vapour phase within a liquid-dominant fluid inclusion. Micro X-ray fluorescence (μ XRF) mapping was carried out using a Horiba Jobin Yvon XGT-5000 X-ray fluorescence spectrometer, equipped with a Rh X-ray source operating at 30 kV and 0.5 mA. All analyses described above were conducted at the Department of Geology, University of Szeged.

Results

Field observations

Sampling was conducted at eight outcrops within the Óbánya Valley. The host rock of the studied vein samples (OB20/01–OB20/08) is primarily fine-grained marl with an earthy appearance, classified as part of the Komló Calcareous Marl Formation (*Figure 1*). The vein openings generally do not exceed 10 cm in width, while the vein-forming crystals display a parallel arrangement perpendicular to the vein walls, reaching a maximum length of approximately 3 cm. The tectonic veins of the Óbánya Valley predominantly consist of white and grey calcite crystals (*Figure 2A*).

During the field measurements, we recorded bedding planes and the orientation data of both filled and unfilled fractures, as presented in *Appendix 1* and *Appendix 2*, and summarised in *Table 1*. In the valley area, calcite cemented fractures can be classified into four distinct orientation sets (*Figure 1B*). Near the Bodzás Spring, the dip directions of the bedding planes exhibit significant variation (*Figure 1B*). At outcrop OB20/06 and OB20/07, sedimentary layers and fractures cemented by calcite were observed. Near the Bodzás Spring, a fold with an axis orientation of $200^\circ/18^\circ$ was identified, consistent with preliminary exploration results (LADÁNYI 2021).

In three outcrops (OB20/01, OB20/05, OB20/08), calcite cementing the fractures consists of alternating grey and white zones, which are nearly parallel to each other and to the vein walls (*Figure 2A*). The grey calcite crystals range in size from 1 to 5 mm, whereas the white calcite grains vary between 0.2 and 3 cm.

Outcrop OB20/03 reveals breccia veins (*sensu* BONS 2000) consisting of white calcite cement and host rock fragments. Additionally, in this outcrop, calcite slickenfibres appear at the interface between the vein and the host rock over a section of nearly 40 cm (*Figure 2B*). The orientation of the fault plane is $332^\circ/84^\circ$, and the pitch of the slickenfibres is 22° WSW, indicating a sinistral displacement (*Figure 2B*). Within the breccia vein, clasts frequently form larger, spherical clusters (*Figure 2C*). The clasts of the host rock consist of brownish, micritic marl with wackestone–packstone fabric containing abundant recrystallised radiolarians, bositria,

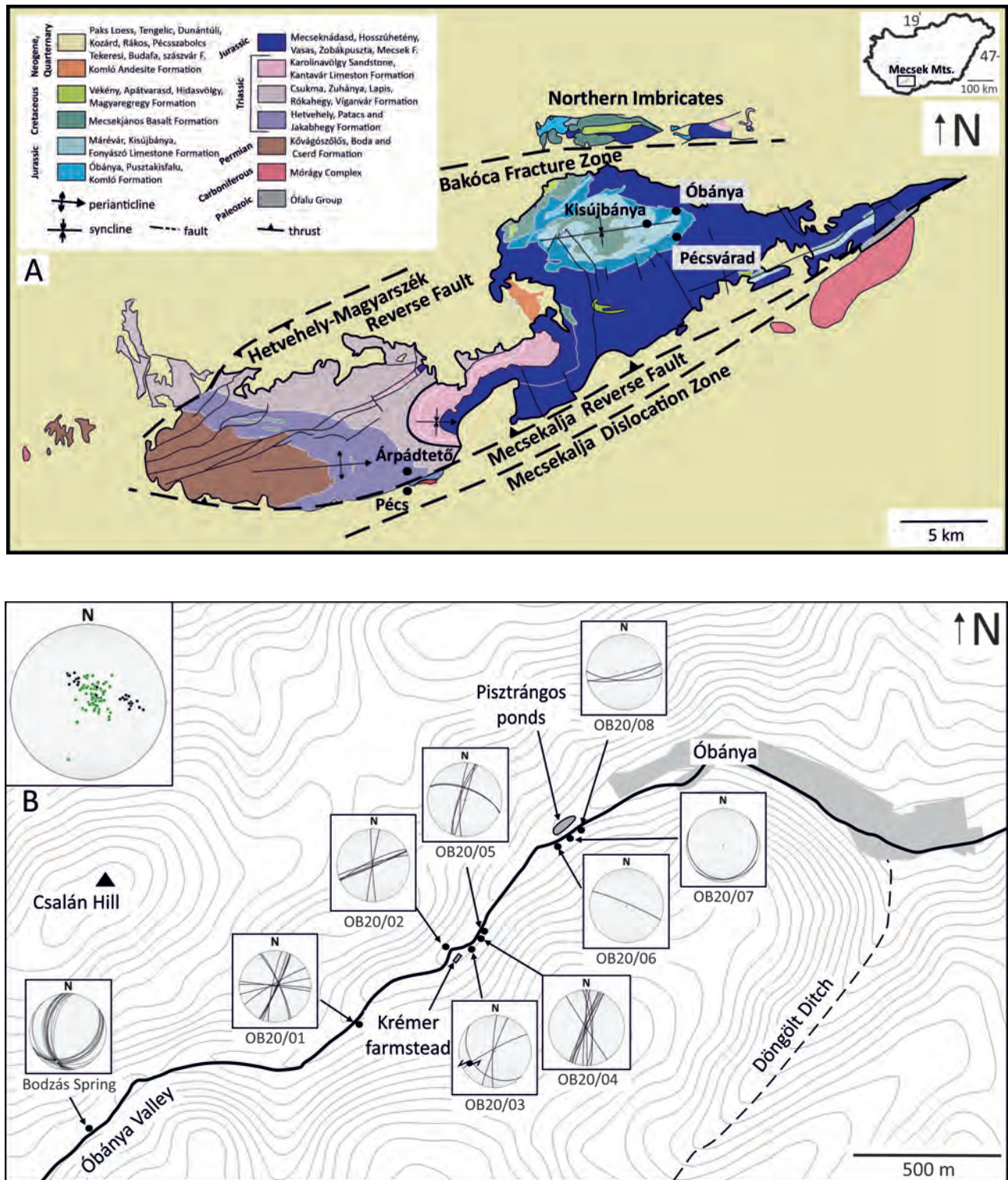


Figure 1. A) Geological map of the Mecsek Mountains (modified after KONRÁD et al. 2010). The red rectangle indicates the Óbánya Valley shown in Figure B. B) Sampling points in the Óbánya Valley. For the Bodzás Spring site, bedding planes are displayed on the stereogram, while calcite veins are indicated at the sampling points (OB20/01–OB20/08). The stereograms are lower hemisphere projections. The stereogram in the upper left corner shows the orientation data of bedding planes recorded in the valley, represented as pole points. Green points indicate measurements of bedding planes from the valley, while black points correspond to bedding planes measured at the Bodzás Spring.

1. ábra. A) A Mecsek-hegység geológiai térképe (KONRÁD et al. 2010, módosítva). A piros téglalap a B ábrán látható Óbányai-völgyet jelöli. B) Mintavételi helyek az Óbányai-völgyben. A sztereogramok Schmidt-félgömbön, alsó vetítéssel készültek. A Bodzás-forrás esetében a sztereogramon a réteglapok vannak ábrázolva, míg a mintavételi helyek esetében (OB20/01–OB20/08) a kalciterek. A bal felső sztereogramon a völgy területén rögzített réteglapok orientációs adatai láthatók póluspontként ábrázolva. A zöld pontok a völgy teljes hosszán mért rétegeket, míg a fekete pontok a Bodzás-forrásnál mért rétegeket jelölik.

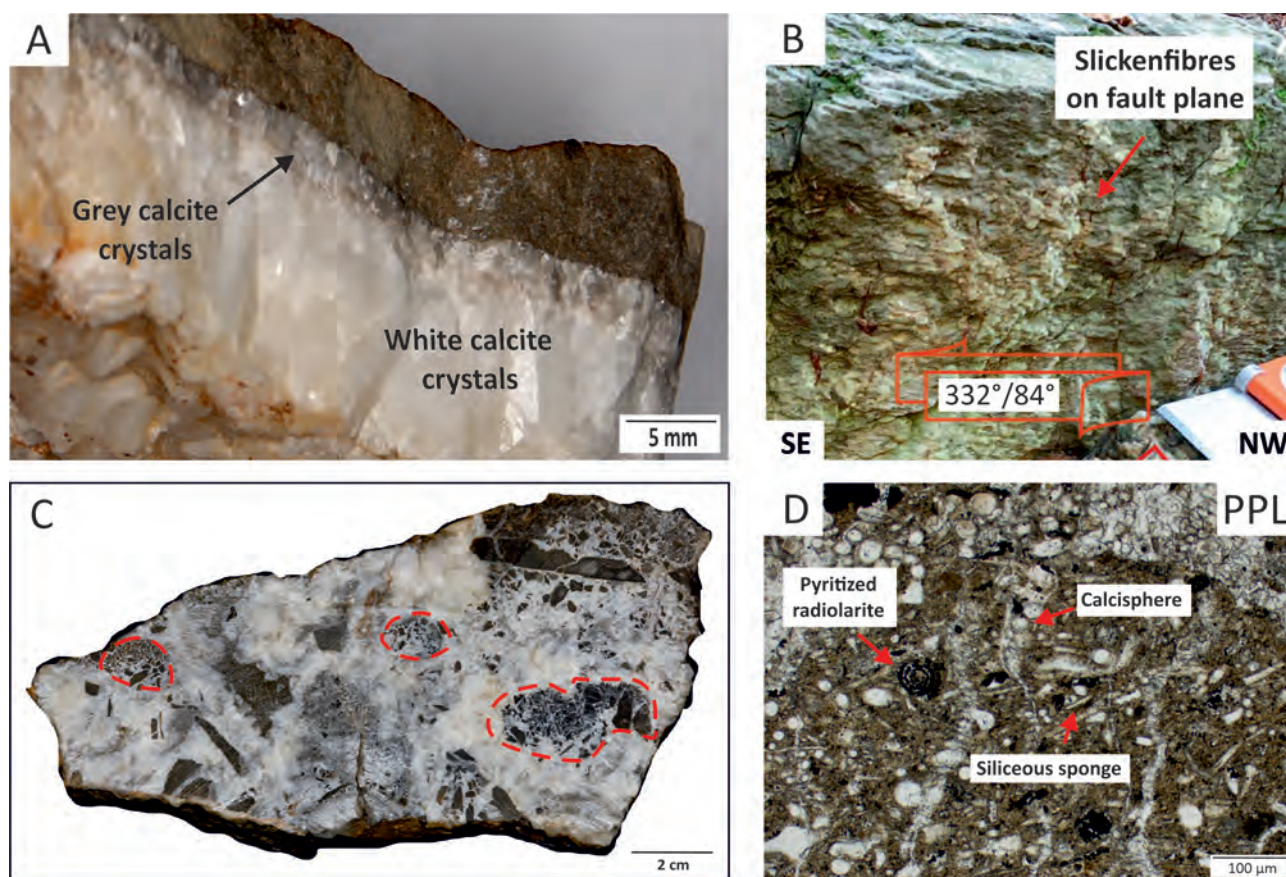


Figure 2. A) Nearly parallel white and grey calcite zones in sample OB20/01. B) A 30–40 cm long surface covered by calcite slickenfibres (sample site OB20/03). Red arrows indicate the direction of displacement on the fault plane, which has an orientation of $332^{\circ}/84^{\circ}$. C) Angular wall rock clasts within the breccia vein (sample OB20/03), with red dashed lines marking the boundaries of the wall rock clasts. D) Recrystallised microfossils in the host rock (PPL – plane-polarised light). Red arrows highlight characteristic components of the host marl.

2. ábra. A) Együtt közel párhuzamos lefutású, fehér és szürke színű kalcitónák az OB20/01 mintában. B) 30–40 cm hosszú ásványlépcsőket tartalmazó vetősík (OB20/03 mintavételi hely). A piros nyílak az elmozdulás irányát jelölik, a vetősík orientációja $332^{\circ}/84^{\circ}$. C) Szögletes mellékkőzetzárványok a breccsaérben (OB20/03 minta). A piros szaggatott vonalak a mellékkőzetzárvány-halmazok határát jelölik. D) A mellékkőzetben megjelenő, átkristályosodott mikrofossziliák (1N felvétel).

silica spicules, and calcite spherules. The radiolarians are frequently pyritised (Figure 2D). The spaces between the wall rock clasts are filled with white calcite, which also contains small (<1 cm) fragments of the host rock.

Vein petrography

In the Óbánya Valley, six vein generations have been identified based on the morphology of calcite crystals and the presence of host rock clasts. Figure 3 displays the paragenetic sequence of these vein generations, and Table 1 summarises their microstructural characteristics. The six generations of calcite are presented in the established relative sequence.

Core-rim calcite vein type

The Cal_{CR} (core-rim) calcite vein generation consists of crystals with lighter inner (core) domains, ranging from 50 to 200 µm in diameter, and darker outer (rim) zones, measuring 100–300 µm in width. This vein generation predominantly exhibits an NNE–SSW to ENE–WSW strike orientation (Table 1). The blocky and occasionally elongate blocky

crystals (*sensu* BONS 2000) display a gradual increase in size from the vein wall toward the centre, reaching up to 2.5 mm. Crystal growth is typically oriented toward the vein centre (Figure 4A). In some instances, the dark outer portions of the crystals contain multiple nucleation sites (Figure 4B). The core-rim domains are distinguishable under polarised light, cathodoluminescence (CL) and UV-fluorescence imaging (Figure 4B, C). Carbonate staining reveals a similar blue hue in both domains, suggesting that both the core and the rim consist of iron-rich calcite.

This vein generation exhibits macroscopic and microscopic deformation in samples OB20/06, OB20/07a, and OB20/07b (Figure 4A). Adjacent to the calcite veins, a dark brownish-grey zone is observed (Figure 4A). The crystals of Cal_{CR} terminate within this zone in euhedral shape, suggesting the formation of this dark zone postdating the Cal_{CR} vein generation. Micro-XRF mapping indicates that this dark zone has elevated aluminium and silicon content compared to the Cal_{CR} vein generation (Figure 4D). Unlike the host rock, the phase with elevated aluminium and silicon content lacks microfossils but is characterised by laminated structure.

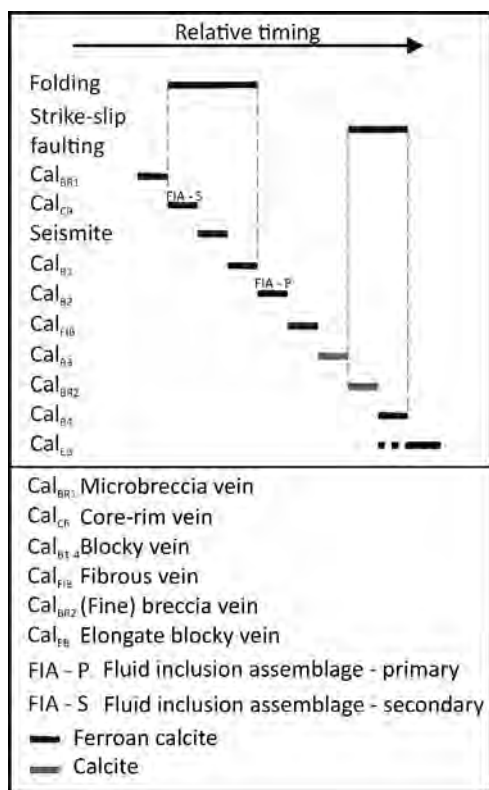


Figure 3. Deformation and cementation events and their inferred relative sequence in the Óbánya Valley. The individual lines represent the relative timing of vein generations. Due to the absence of cross-cutting relationships, the temporal position of the Cal_{EB} vein generation remains uncertain. FIA-P represents primary, whereas FIA-S refers to secondary hydrocarbon-bearing fluid inclusion assemblages. The vertical dashed lines indicate the vein generations affected by folding and left-lateral strike-slip displacement.

3. ábra. Az Óbányai-völgyben azonosított deformációs és cementációs események feltételezett relatív sorrendje. Az egyes vonalak az érgenerációk egymáshoz viszonyított időbeli viszonyát jelölik. A Cal_{EB} érgeneráció időbeli elhelyezkedése metsződési viszonyok hiányában bizonytalan. Az FIA-P az elsődleges genetikájú, míg az FIA-S a másodlagos genetikájú, szénhidrogén-tartalmú zárványgyűjtéseket jelöli. A függőleges szaggatott vonalak a redőződés és a balos oldaleltolódás által érintett érgenerációkat jelzik.

Breccia vein type I (Cal_{BR1})

In the studied area of the valley, two breccia vein generations (Cal_{BR1} and Cal_{BR2}) were distinguished based on clast size and the iron content of the cementing calcite. One of the breccia vein generations, Cal_{BR1} , is characterized by iron-rich calcite with a blocky texture (Figure 5). The Cal_{BR1} vein generation is only observable at microscopic scale, and its orientation remains unknown, but most vein generations intersect this vein generation (Figure 5). The calcite crystal size reaches approximately 200 μm , while the clasts derived from the host rock range from 0.1 to 1 mm in length. The clasts exhibit both angular and rounded morphologies. The Cal_{BR2} vein will be presented later.

Blocky calcite vein type

Calcite veins exhibiting blocky textures ($\text{Cal}_{\text{B1-4}}$) are oriented NNE–SSW and ENE–WSW (Table I). Four genera-

tions of Cal_{B} were identified, distinguished by the iron content and orientation of the calcite (Figure 3). These veins consist of multiple subparallel zones (Figure 6A), with boundaries marked by bands of host rock inclusions $\leq 50 \mu\text{m}$ in size (Figure 6A). The outermost zone consists of calcite crystals $\leq 100 \mu\text{m}$ in diameter, followed inward by a zone of blocky calcite crystals that progressively increase in size towards the vein centre (Figure 6A). Within the inner part of the vein, the blocky grains reach sizes up to 6 mm. Carbonate staining reveals two distinct calcite zones with differing iron contents, alternating within the vein (Figure 6A). The calcite crystals in both the iron-free and the iron-rich zones exhibit syntaxial growth morphology, indicating that the crystal growth initiated from the vein walls and progressed toward the centre (BONS 2000, BONS et al. 2012). The alternation of iron-free and iron-rich zones suggests a change in fluid chemistry during vein crystallisation. Therefore, the zones shown in Figure 6A may have formed during multiple precipitation phases. Regardless of iron content, type I and type II deformation twins (*sensu* BURKHARD 1993; FERILL et al. 2004) are observed in the calcite crystals (Figure 6A, B). Some calcite grains display growth zonation, marked by solid inclusions of the host rock trapped along zone boundaries (Figure 6B). The growth direction of calcite crystals and zonation patterns are highlighted in CL images (Figure 6C), where variations in CL activity distinguish the different zones.

Fibrous calcite vein type

Similar to the Cal_{BR1} vein generation, the Cal_{FIB} vein generation can only be observed at microscopic scale, and its orientation is not known, but it intersects most generations of veins. The Cal_{FIB} veins consist of fibrous calcite crystals that are oriented perpendicular to the vein wall and parallel to each other (Figure 4). These veins are typically $\leq 2 \text{ mm}$ thick and often occur in subparallel arrangement.

Based on observations from samples OB20/07a and OB20/07b, veins of this generation are approximately perpendicular to, and frequently intersect the Cal_{BR1} , Cal_{B} , and Cal_{CR} vein generations (Figure 5). The calcite fibres range from 0.1 to 1.5 mm in length, and in most cases, they grow toward the vein wall (Figure 5). Carbonate staining indicates that the Cal_{FIB} veins are composed of iron-rich calcite.

Breccia vein type II (Cal_{BR2})

The second breccia generation (Cal_{BR2}) predominantly exhibits a NE–SW strike orientation (Table I). Calcite crystals within Cal_{BR2} veins display a blocky texture (Figure 7A) and range in size from 50 μm to 3 mm. The clasts have both rounded and angular morphologies. Clast clusters, enclosed by inclusion-free calcite cement, can reach up to 4 mm in size (Figure 7A, B); however, certain areas contain fine-grained fragments ($\leq 50 \mu\text{m}$) as well.

Occasional type I, II, and IV deformation twins (*sensu* BURKHARD 1993) are observed in the calcite grains (Figure 7A, C). In some regions, calcite crystals display growth zonation, with zone boundaries marked by solid inclusions of the host rock (Figure 7C). Among the host rock clasts and the

Table I. Summary of the texture, orientation and characteristics of the fluid inclusions in the studied vein phases. The stereograms show the orientations specific to a given vein generation in black, while the four fracture planes associated with the observed fold are indicated in red (TWISS & MOORES 1992). The stereograms were created using a lower hemisphere projection. PPL – plane-polarised light; N.d. – no data; FIA – fluid inclusion assemblage.

I. táblázat. Az ércementek szöveteinek, orientációjának és a bennük található fluidumzárványok jellemzőinek összefoglalása. A sztereogramokon szereplő fekete főkörök az adott érgenerációra jellemző orientációkat reprezentálják, míg a piros szín a redőződéshez kapcsolható négy törési síkot jelöli (TWISS & MOORES 1992). A sztereogramok Schmidt-félgömbön, alsó vetítéssel készültek. PPL – párhuzamosan polarizált fény; N.d. – nincs adat; FIA – fluidumzárvány-együttes.

Veins	Typical vein orientations	Fluid inclusions assemblages (FIAs)	Cement mineralogy and crosscutting relations
Core-rim vein (Cal_{CR})		Secondary hydrocarbon FIA PPL: yellowish-brownish colour UV: yellow/blue fluorescence colour Size: $\leq 3 \mu m$ Vapour area% = 10–20	Ferroan calcite
Microbreccia vein (Cal_{BR1})	N.d.	N.d.	Ferroan calcite
Blocky vein (Cal_{B1-4})		Primary FIA PPL: yellowish-brownish colour; dark brownish colour UV: yellow/blue fluorescence colour; red fluorescent colour Size: $\leq 5 \mu m$ (yellow/blue); 8–12 μm (red) Vapour area% = 10–20 (yellow/blue); 50–90 (red)	Ferroan calcite
		Secondary FIA PPL: yellowish-brownish colour; reddish-brownish colour UV: yellow fluorescence colour; red fluorescence colour Size: $\leq 3 \mu m$ (yellow); $> 8 \mu m$ (red) Vapour area% = 10–30 (yellow); 60–90 (red) Th= 58–101 °C (n=11)	Ferroan calcite; crosscut Cal_{CR}
		N.d.	Calcite
Fibrous vein (Cal_{FB})	N.d.	N.d.	Ferroan calcite; crosscut Cal_{BR1} and $Cal_{B1,2}$
Fine breccia vein (Cal_{BR2})		Secondary FIA PPL: colourless Size: 2–5 μm	Calcite; crosscut Cal_{B1-3}
		Secondary FIA PPL: colourless Size: $\leq 5 \mu m$ Vapour area% = 10–30	
Elongate blocky vein (Cal_{EB})		N.d.	Ferroan calcite

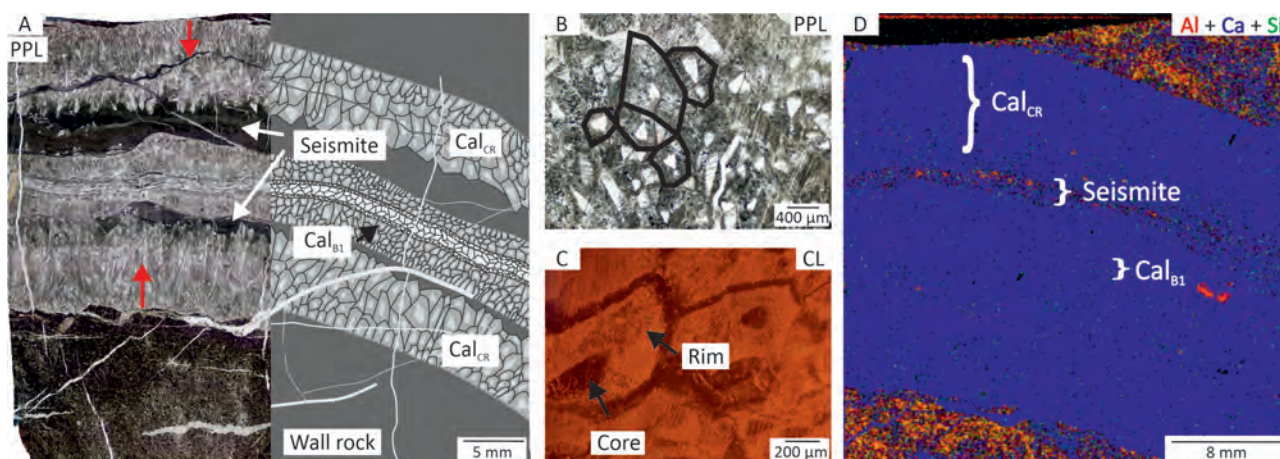
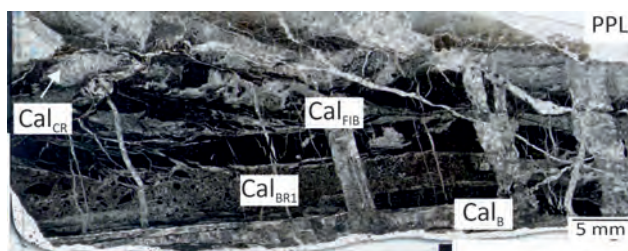


Figure 4. A) The folded Cal_{CR} and Cal_B vein generations, as well as the “seismite” in PPL images. The Cal_B vein generation intersects the Cal_{CR} vein generation at different orientations. Red arrows indicate the growth direction of calcite grains. A schematic figure of the different vein generations is shown on the right side of the figure. B) Multiple nuclei are observed in the periphery of the calcite grains forming the vein. The black line marks the boundary of the rims (thus, the grains). C) The core-rim structure in CL. D) Representative elemental distribution from Figure A. Differences in Al, Ca, and Si composition distinguishes the Cal_{CR} and the Cal_{B1} vein generations from the seismite zone. PPL – plane-polarised light; CL – cathodoluminescence.

4. ábra. A) A redőződött Cal_{CR} és Cal_B érgenerációk, valamint a közöttük elhelyezkedő szeizmit IN felvételen. A Cal_B érgeneráció eltérő orientációkban metszi a Cal_{CR} érgenerációt. A piros nyilak a kalcitszemcsék növekedési irányát jelölik. Az ábra jobb oldalán a minta sematikus ábrázolása látható. B) Az érkötő kalcitszemcsék peremi részein belül helyenként több mag figyelhető meg (IN felvétel). A fekete vonal a peremek, azaz a szemcsék határát jelöli. C) A mag-perem szerkezet CL-felvételen. D) Mikro-XRF-elemtérkép az A) ábrán bemutatott területről. Az Al, Ca és Si elemtérképek kijelölik a Cal_{CR} és Cal_{B1} érgenerációk, valamint a szeizmit zóna határait. CL – katód-lumineszcencia.



← **Figure 5.** In the OB20/07b sample contains the Cal_{CR} , Cal_B , Cal_{FIB} , and Cal_{BR1} vein generations. Based on crosscutting relationships, Cal_{BR1} is considered one of the earliest vein-forming events in the area, whereas Cal_{FIB} is likely among the youngest vein generations. PPL – plane-polarised light.

← **5. ábra.** Az OB20/07b mintában a Cal_{CR} , Cal_B , Cal_{FIB} és Cal_{BR1} érgenerációk azonosíthatók (IN felvétel). A metsződési viszonyok alapján a Cal_{BR1} a terület egyik legidősebb érgenerációjának tekinthető, míg a Cal_{FIB} feltehetően az egyik legfiatalabb érgeneráció.

calcite grains cementing the fracture, fragments appearing to be older calcite veins are also present (Figure 7A). These vein fragments consist of multiple parallel zones that are sharply separated from each other by host rock clasts. Carbonate staining reveals that the calcite cement forming the Cal_{BR2} vein generation is iron-free, whereas the older vein fragments consist of iron-rich calcite (Figure 7D).

Elongate blocky calcite vein type

Along the valley, a calcite vein generation composed of elongate blocky crystals (Cal_{EB}) follows a WSW–ENE strike (Table I). Similar to the Cal_B veins, these veins are composed of subparallel zones, separated by bands of host rock inclusions at their boundaries (Figure 8). Fine-grained calcite

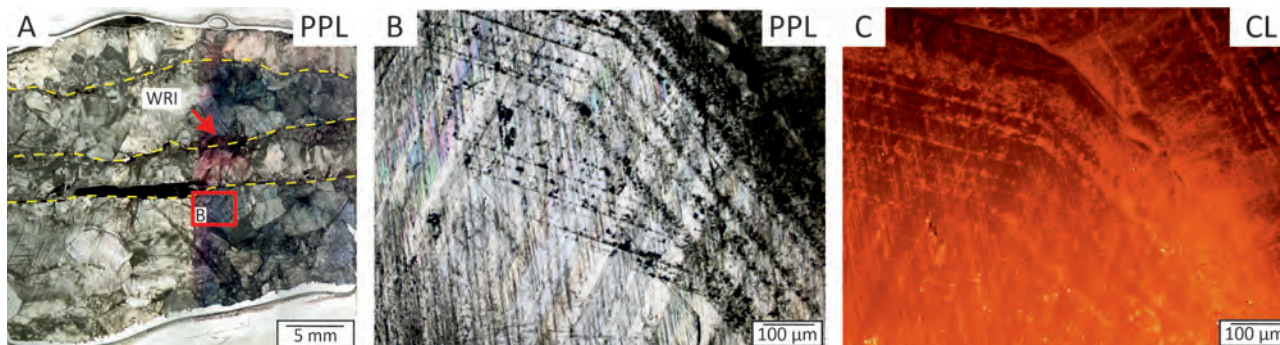


Figure 6. Typical texture of the Cal_B vein generation in PPL. A) The boundaries of the parallel zones are marked by wall rock inclusions (WRI). The blue and pink colours indicate alternating bands of iron-rich and iron-free calcite observed based on carbonate staining. The yellow dashed line marks the boundaries of the zones. B) Growth zones marked by wall rock inclusions. C) CL image of B showing the wall rock inclusion planes.

6. ábra. A Cal_B érgeneráció jellemző szövete IN felvételen. A) Az egymással párhuzamos zónák határát mellékközetzárványok (WRI) jelölik ki. Karbonátfestés alapján a kék szín a vasas, míg a rózsaszín a vasmentes kalcit jelenlétét mutatja. A sárga szaggatott vonal a zónák határát jelöli. B) Mellékközetzárványok által kijelölt növekedési zónák. C) A B) ábrán látható mellékközetzárvány-síkok CL-felvételen.

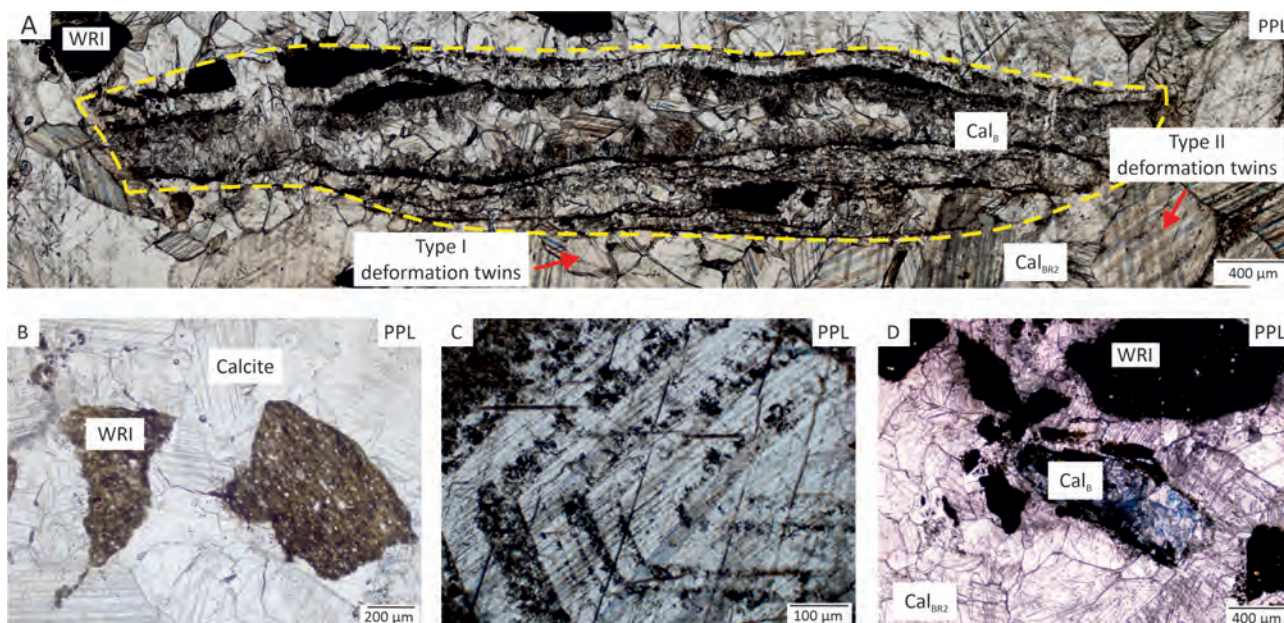


Figure 7. Typical texture of the $\text{Cal}_{\text{BR}2}$ vein generation in PPL. A) Type I and II deformation twins in blocky calcite grains. A fragment of an older vein is observed within a $\text{Cal}_{\text{BR}2}$ calcite vein. The yellow dashed line marks the boundary of the vein fragment. B) Larger clasts of host rock enclosed in the calcite vein. C) Wall rock inclusions situated in the growth zones of the grains. D) Detail of the $\text{Cal}_{\text{BR}2}$ vein after carbonate staining. The blue areas indicate the presence of iron-rich calcite, while the pink areas indicate iron-free calcite. WRI – wall rock inclusion; PPL – plane-polarised light.

7. ábra. A $\text{Cal}_{\text{BR}2}$ érgeneráció jellemző szövete 1N felvételeken. Az A) ábrán I. és II. típusú deformációs ikek láthatók tömbös kalcitszemcséken. A nagyobb méretű kalcitszemcsék között egy idősebb ér töredéke figyelhető meg. A sárga szaggatott vonal az értöredék határát jelöli. B) Nagybobb méretű mellékkőzetklasztok kalcitszemcsék között (1N felvétel). C) A szemcsék növekedési zónáit mellékkőzetből származó zárványok jelzik (1N felvétel). D) A $\text{Cal}_{\text{BR}2}$ ér részlete karbonátfestést követően. A kék részek vasas, míg a rózsaszín részek vasmentes kalcit jelenlétét igazolják. WRI – mellékkőzetzárvány.

crystals ($<50 \mu\text{m}$) are oriented nearly perpendicular to the vein walls, classified as loser grains (BONS 2000). In contrast, some crystals widen toward the vein centre, reaching lengths up to 1 mm, corresponding to winner grains (BONS 2000; Figure 8). Carbonate staining confirms that all zones within the vein are composed of iron-rich calcite.

Fluid inclusion petrography

Fluid inclusion assemblages (FIAs) of both primary and secondary origin are observed in the Cal_{CR} , Cal_{B} , $\text{Cal}_{\text{BR}1}$ and $\text{Cal}_{\text{BR}2}$ vein generations. Fluid inclusions are classified into

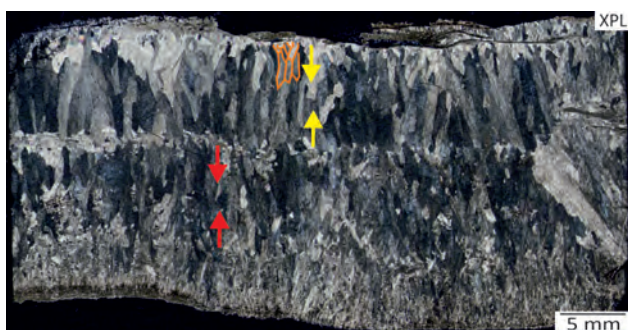


Figure 8. Elongate blocky calcite crystals in the Cal_{EB} vein generation. The orange line indicates the grain boundaries, while the red and yellow arrows indicate the direction of crystal growth. XPL – cross-polarised light.

8. ábra. Megnyúlt, tömbös kalcitkristályok a Cal_{EB} érgenerációban (+N felvétel). A narancssárga vonal a szemcsék határát, míg a piros és sárga nyilak a szemcsék növekedési irányát jelölik.

types based on their colour, UV fluorescence characteristics and type of phases – liquid (L) or vapour (V) – they contain (Table II).

The aqueous fluid inclusions were classified into two groups based on the type of phases present: liquid (L) and liquid+vapour (L+V). Liquid fluid inclusions occur within Cal_{B} , the peripheral zone of Cal_{CR} , as well as in the $\text{Cal}_{\text{BR}1}$ and $\text{Cal}_{\text{BR}2}$ vein generations (Figure 9A, B). These inclusions, typically ranging from 2 to 5 μm in size, exhibit elongate, round, or rectangular morphologies. They appear colourless under normal light and show no fluorescence under UV illumination. The inclusions are commonly arranged in planes oriented obliquely with respect to the calcite crystal boundaries, with multiple intersecting planes within the same crystal. In the $\text{Cal}_{\text{BR}2}$ vein generation, a small number of L+V fluid inclusions are also present alongside the dominant liquid inclusions. These L+V inclusions, $\leq 5 \mu\text{m}$ in size, similarly appear colourless under normal light and lack fluorescence under UV illumination. They are arranged in planes that are not parallel to crystal boundaries or vein walls, suggesting a secondary origin for both the liquid and liquid + vapour inclusions. The vapour area% of the L+V fluid inclusions varies between 10 and 30%.

Hydrocarbon-bearing fluid inclusions can be classified as primary (FIA-P) or secondary (FIA-S) according to their genetic origin. The Cal_{B} vein generation hosts primary, liquid + vapour fluid inclusions with irregular morphologies, classified into distinct FIAs based on their spatial distribution. Multiple parallel planes, typically observed along the

Table II. Summary of selected fluid inclusion parameters. FIA-AQ – aqueous fluid inclusion assemblage; FIA-P – primary fluid inclusion assemblage; FIA-S – secondary fluid inclusion assemblage; L – liquid; V – vapour; n.d. – no data; N.A. – not applicable.

II. táblázat. A fluidumzárványok egyes paramétereinek részletes bemutatása táblázat formájában. FIA – AQ – vizes fluidumzárvány-együttes; FIA-P – elsődleges fluidumzárvány-együttes; FIA-S – másodlagos fluidumzárvány-együttes; L – folyadék; V – gőz; n.d. – nincs adat; N.A. – nem releváns.

	FIA-AQ		FIA-P		FIA-S	
Liquid	water		hydrocarbon			
Genetics	secondary		primary		secondary	
Phases	L	L+V	L+V	L+V	L+V	L+V
Size (µm)	2–5	≤5	≤5	8–12	≤3	>8
PPL	colourless	colourless	yellowish-brown	brownish-reddish	yellowish-brown	brownish-reddish
UV	colourless	colourless	yellow or blue	red	yellow or blue	red
Vapour area%	0	10–30	10–20	50–90	10–30	60–90
T _h (°C) (L+V→L)	N.A.	n.d.	n.d.	n.d.	58–101	n.d.
Vein generation	Cal _B Cal _{CR} Cal _{BR1} Cal _{BR2}	Cal _{CR} Cal _{BR2}	Cal _B	Cal _B	Cal _B Cal _{CR}	Cal _B

vein walls, contain inclusions of varying size and colour (Figure 10A). Numerous fluid inclusions smaller than 5 µm are present, with a fluid phase exhibiting a pale yellowish-brown colour under transmitted light (Figure 10A). Under UV illumination, these inclusions display yellow or blue fluorescence (Figure 10B). The vapour area% of these inclusions ranges between 10 and 20%, regardless of fluorescence colour. Few fluid inclusions occur within the FIA, whose fluid phase appears dark brownish-reddish under trans-

mitted light. These inclusions, typically 8–12 µm in size, exhibit reddish fluorescence under UV illumination (Figure 10B), with a vapour area% varying between 50 and 90%.

In both the Cal_B and Cal_{CR} vein generations, these hydrocarbon-bearing FIAs are typically arranged in planes that intersect calcite grain boundaries, indicating their secondary origin (FIA-S) (Figure 10C, D). Due to their small size, primary fluid inclusions within the Cal_B vein generation were unsuitable for homogenisation temperature measurements;

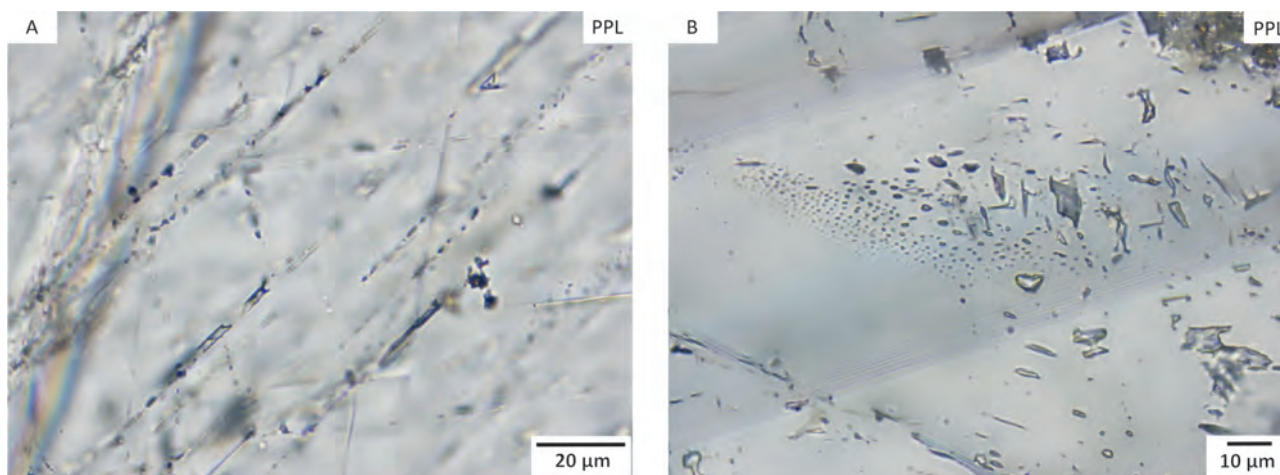


Figure 9. Fluid inclusions in the Cal_{BR2} vein generation. A) Liquid-phase inclusion planes running parallel to each other. B) Elongate, round, and rectangular fluid inclusions taken as composite photo of an extended depth of field. PPL – plane-polarised light.

9. ábra. Fluidumzárványok a Cal_{BR2} érgenerációban 1N felvételeken. A) Egymással párhuzamos lefutású, fluidumzárványokból álló síkok. B) Megnyúlt, lekerekített téglalap alakú fluidumzárványok kiterjesztett mélységelességű, kompozit felvételen.

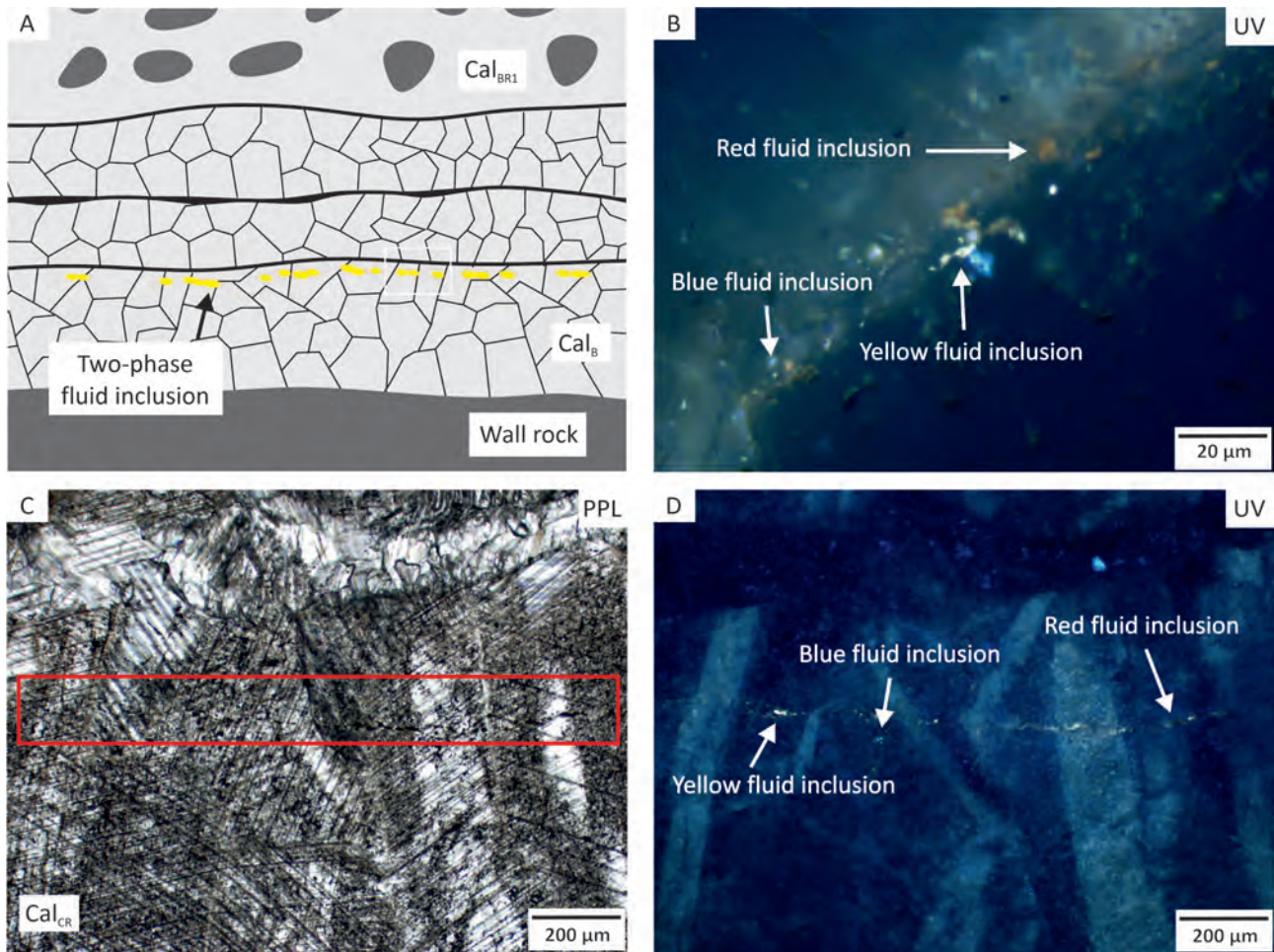


Figure 10. A) Schematic representation of a fluid inclusion assemblage (yellow) parallel to the vein wall in the Cal_B vein generation. The white rectangle delineates the location of the texture shown in Figure B. Liquid + vapour phase fluid inclusions of different colours under UV light in the Cal_B vein generation. C) A fluid inclusion band highlighted by the red rectangle crosscuts the grains of the Cal_{CR} vein generation. D) The same area as in C) under UV light, showing predominantly yellow-fluorescing fluid inclusions. Under UV illumination, the core and rim regions of the crystals in this vein generation exhibit different shades of blue. PPL - plane-polarised light.

10. ábra. A) Sematikus ábra a Cal_B érgenerációban megjelenő, érfallal párhuzamos fluidumzárvány-együttesről (1N felvétel). A fehér téglalap a B ábra szöveti helyzetét jelöli. B) Folyadék-gőz fázisú, különböző színű fluidumzárványok UV-fény alatt a Cal_B érgenerációban. C) A piros téglalappal jelölt fluidumzárványsáv elmettzi a Cal_{CR} érgeneráció szemcséit. D) A C) ábrán látható terület UV-fény alatt, ahol túlnyomórészt sárgán fluoreszkáló fluidumzárványok figyelhetők meg. UV-gerjesztés hatására az ezen érgenerációhoz tartozó szemcsék magja és peremi része eltérő árnyalatú kék fluoreszcenciát mutat.

however, secondary fluid inclusions ($n = 11$) yielded $T_h(L+V \rightarrow L)$ values ranging from 58 to 101 °C (Figure 11). In the other FIAs the fluid inclusions were too small to be suitable for microthermometric measurements.

UV-fluorescence microspectroscopy was performed on primary, hydrocarbon-bearing fluid inclusions (FIA-P) in

samples OB20/07a and OB20/07b from the Cal_{B2} vein generation. In these samples, a single plane hosts an assemblage of inclusions displaying three visually distinct fluorescence colours (Figure 10B). The maximum fluorescence intensity wavelength (λ_{max}) for the yellow-fluorescent inclusions at the vein margin is 535–536 nm, while the blue-fluorescent inclusions exhibit values ranging from 485 to 521 nm. The red-fluorescent inclusions show λ_{max} values between 554 and 644 nm (Figure 12).

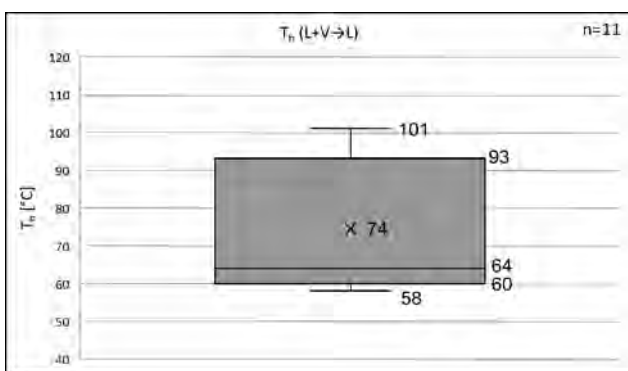


Figure 11. Temperatures of homogenization (T_h) of the gas phase into the liquid phase determined by microthermometric measurements of secondary fluid inclusions exhibiting yellow fluorescence. In the diagram, the box represents the first and third quartiles of the dataset, while the "X" and the horizontal line within the box indicate the mean and median values.

11. ábra. A másodlagos genetikus, sárga fluoreszcenciát mutató, a folyadékfázisba homogenizálódó fluidumzárványok homogenizációs hőmérsékletei (T_h). A diagramokon az interkvartilis terület a minta első és harmadik kvartiliséit ábrázolja, míg az "X" és az interkvartilis területen belüli vízszintes vonal az átlagértéket és a mediánt jelöli.

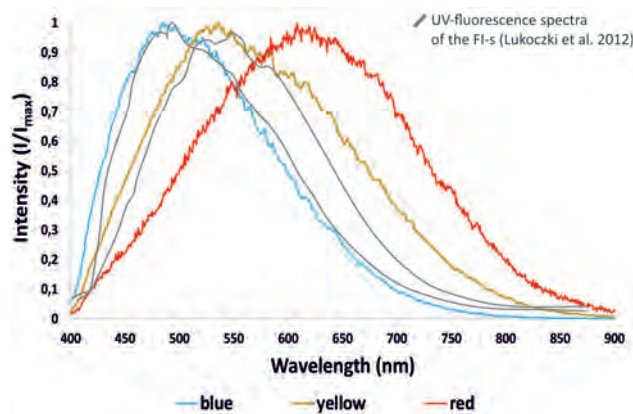


Figure 12. Characteristic spectra of fluid inclusion assemblages exhibiting three different fluorescence colours in sample OB20/07b. The grey curves represent the characteristic UV spectra of hydrocarbon-bearing fluid inclusions described by LUKOCZKI et al. (2012).

12. ábra. A három különböző fluoreszcens színű fluidumzárvány-együttes jellemző spektruma az OB20/07b mintákban. A szürke görbék LUKOCZKI et al. (2012) által leírt, szénhidrogén-tartalmú fluidumzárványok jellemző UV-fluoreszcens spektrumait jelölik.

Discussion

Traces of folding and brittle deformation

At Bodzás Spring, the strata on either side of the stream exhibit significantly different dip directions (*Appendix 1*), resulting in a cylindrical fold geometry, with an axis of $200^\circ/18^\circ$ (LADÁNYI 2021). Fractures can form within folds in four distinct orientations, each associated with the folding process (e.g., RAMSAY 1967, TWISS & MOORES 1992, DAVIS et al. 2011, FOSSEN 2016). One of these planes is parallel to the fold axial plane, while another is perpendicular to it, creating an intermediate spacing pattern within the folded layers. The remaining two planes typically form a conjugate pair, with each plane intersecting the one perpendicular to the fold axial plane at an acute angle (*Figure 13A, B*). Most of the fractures observed in the valley align closely with these four characteristic fracture planes of the fold (*Table 1*). Based on these observations, the orientation of the calcite vein generations Cal_{CR} , $\text{Cal}_{\text{B1-4}}$, and Cal_{BR2} can be attributed

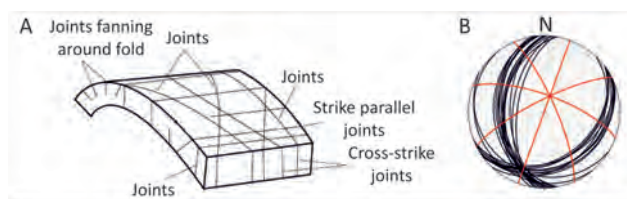


Figure 13. A) Fracture systems and conjugate fault pairs that develop on fold limbs (modified after VAN DER PLUIJM & MARSHAK 2004). B) The orientation data of bedding planes measured near Bodzás Spring (black lines) and the four theoretical fracture planes related to folding (red lines) are plotted on the stereogram. The stereographic projection was drawn on Smidt net, lower hemisphere.

13. ábra. A) Redőzárványokon kialakuló közettrésrendszerek és konjugált vetőpárok (VAN DER PLUIJM & MARSHAK 2004, módosítva). B) A Bodzás-forrás közelében mért réteglapok orientációs adatai (fekete főkörök) és a redőződéshez kapcsolódó négy elméleti törési sík stereogramon ábrázolva. A stereogram Schmidt-félgömbön, alsó vetítéssel készült.

to fracture systems related to the folding process in the vicinity of Bodzás Spring (*Table 1*).

At sampling sites OB20/06 and OB20/07, calcite veins underwent micro-scale folding along with the host rock. These deformed veins belong to the Cal_{B1} and Cal_{CR} vein generations (*Figure 4A*). The deformation of the veins indicates that they formed either prior to or synchronously with folding, classifying them as pre- or synkinematic relative to the folding event. Adjacent to the calcite veins, a dark brownish-grey zone is observed, which is folded (*Figure 4A*). This type of fracture filling was referred to as a “seismite” by SEILACHER (1969) and may form during seismic events when fractured host rocks liquefy and intrude into open fractures (LUNINA 2019).

At outcrop OB20/03 (*Figure 1B*), a vertical fault plane covered by calcite slickenfibres preserves evidence of sinistral strike-slip faulting (*Figure 2B*). Along this mineralised surface, a breccia vein is present (*Figure 2B*). Microscopic examination of this Cal_{BR2} vein generation reveals the presence of older, fragmented vein material alongside host rock clasts (*Figure 7A*). It is inferred that during the sinistral displacement, not only host rock fragments, but also vein fragments may have become detached and transported away from the vein wall. These displaced vein fragments are composed of iron-rich calcite crystals, as indicated by carbonate staining. The crystals exhibit syntaxial growth nearly perpendicular to the vein wall, widening progressively toward the vein interior. Notably, these vein fragments lack hydrocarbon-bearing fluid inclusions, suggesting that this hydrocarbon-free fluid migration preceded the sinistral displacement, and resulted in the precipitation of iron-rich calcite crystals. These iron-rich crystals are likely associated with the Cal_{B1} vein generation.

The Cal_{FIB} and Cal_{BR1} vein generations cannot be precisely oriented within the structural framework. Consequently, their relative timing can only be inferred through microscopic crosscutting relationships, which suggest that both veins predate the sinistral displacement. However, based on crosscutting relationships, Cal_{BR1} veins formed prior to the $\text{Cal}_{\text{B1-4}}$ vein generations, while the Cal_{FIB} veins postdate the Cal_{B2} vein generation (*Figure 5A, Figure 3*).

The orientation of the Cal_{EB} vein generation does not correlate with the theoretical fracture sets associated with folding (*Table 1*). These observations suggest that the formation of the Cal_{EB} veins must be unrelated to the folding process. Furthermore, crosscutting relationships between the Cal_{EB} veins and other vein generations are unknown. Based on these observations, Cal_{EB} is likely one of the youngest vein generations present in the valley area (*Figure 3*).

Classification of breccia vein generations

According to BONIS (2000), the term “breccia” when describing veins refers to veins containing clasts of varying sizes derived from the host rocks. In the studied valley, calcite veins containing a large proportion of clasts from the host lithology are classified as breccia veins. Clast size is a

fundamental criterion for distinguishing breccia types, with various authors proposing different classification schemes. According to SPRY (1969), breccias with clasts exceeding 5 mm are designated as tectonic breccias, while those with clasts between 5 mm and 1 mm are classified as fine-grained breccias, and those with clasts smaller than 1 mm are termed microbreccias. HIGGINS (1971) proposed a boundary of 0.2 mm between microbreccia and cataclasites. LAZNICKA (1988) distinguished mesobreccia from microbreccia based on a clast size threshold of 2 mm. The mineralogical composition of the cement and the crystallographic orientation have minimal influence on breccia classification (WOODCOCK & MORT 2008). Based on these criteria, two distinct breccia types have been identified within the valley: Cal_{BR1} and Cal_{BR2} (Table 1). The Cal_{BR1} vein generation predominantly contains clasts smaller than 1 mm (Figure 5), categorizing them as microbreccia. In contrast, the Cal_{BR2} vein generation features clasts up to 4 mm in size (Figure 7B, D), classifying them as fine breccia. Both breccia types contain angular and rounded clasts, suggesting that brecciation involved not only mechanical fragmentation but also chemical processes (JEBRAK 1997).

Within the Cal_{BR2} vein generation, clasts frequently form larger, spherical clusters (Figure 2C). These smaller clasts are typically fused and appear to be "floating" within the calcite cement, a characteristic feature of floating clast breccias (CHAUVET 2019), as shown in Figure 2C. This mosaic arrangement of clasts suggests hydraulic brecciation driven by elevated fluid pressure, as described by JEBRAK (1997). Floating clast breccias are typically associated with episodic hydraulic fracturing, leading to multiple cycles of brecciation and cementation (CHAUVET 2019).

Fluid events

By analysing fluid inclusions trapped within calcite crystals, we aimed to determine the relative timing and physico-chemical conditions of fluid migration events associated with mineral vein formation and structural evolution.

FIA-P and FIA-S fluid inclusions consist of fluorescent, liquid + vapour inclusions clearly visible under UV illumination (Figure 10), observed in the Cal_{B2} and Cal_{CR} vein generations. The blue, yellow, and red fluorescent inclusions contain hydrocarbons and occur as primary inclusions in the Cal_{B2} vein generation (Figure 10A, B; Figure 3) and as secondary inclusions in the Cal_{CR} vein generation (Figure 10C, D; Figure 3). The fluorescence colour of fluid inclusions is controlled by the relative proportions of aromatic and heteroatomic compounds within the hydrocarbon-bearing fluid and their ratio to normal alkanes (BERTRAND et al. 1986, OXToby 2002, SKAARE et al. 2011). The presence of three different fluorescence colours suggests the entrapment of hydrocarbon fluids with different compositions. The geochemical characteristics of migrating hydrocarbon-bearing fluids are largely influenced by the nature of their source rock and the thermal maturity of the hydrocarbons (MCLIMANS 1987, KIHLE 1995, BLANCHET et al. 2003). According

to KIHLE (1995), immature oils usually fluoresce in the yellow-red spectrum under UV light, whereas fluorescence shifts towards the blue spectrum with increasing thermal maturity. Alteration processes such as water washing and biodegradation can modify the chemical composition of hydrocarbons, often resulting in a red shift in fluorescence (GEORGE et al. 2001). SKAARE et al. (2011) also reported a correlation between the fluorescence colour of fluid inclusions and the °API gravity of the hydrocarbon phase. Based on this correlation, the fluorescence spectra of inclusions in the Cal_{B2} vein generations were analysed (Figure 14), providing insights into hydrocarbon inclusions with varying °API gravities.

In the Cal_{B2} vein generation, fluid inclusions displaying different UV fluorescence colours are closely associated along the same growth zones. The occurrence of fluid inclusions within a single FIA exhibiting different UV fluorescence colours has previously been documented in calcites from the TSZ quarry near Pécsvárad (LUKOCZKI et al. 2012). Given that hydrocarbon fluids typically exist as a homogeneous phase under subsurface conditions, the presence of petroleum inclusions with variable compositions within the same growth zone appears to contradict FIA theory (CHI et al. 2021). Selective adsorption of distinct hydrocarbon components during fluid inclusion entrapment can lead to minor compositional variations, resulting in fluorescence heterogeneity (PIRONON & BOURDET 2008).

When fluid inclusions of different fluorescence colours occur within a single FIA, yet the coexistence of multiple hydrocarbon-bearing fluids of different compositions in the fracture system at the time of entrapment is unlikely, micro-scale segregation on the surface of the precipitating mineral is the most plausible explanation. This mechanism accounts for the spatial association of fluid inclusions with variable

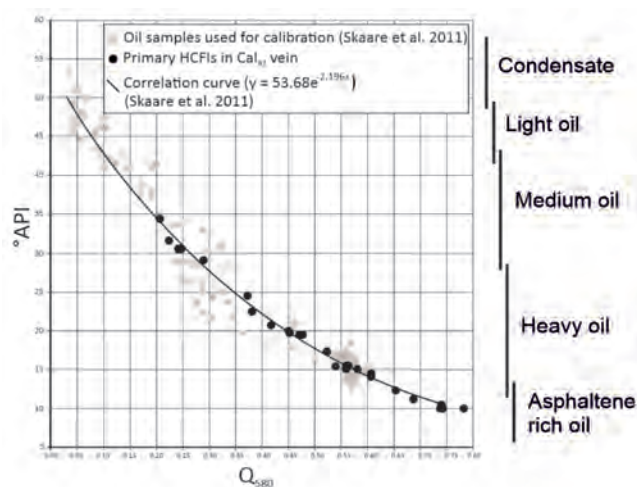


Figure 14. Correlation between the fluorescence colour of hydrocarbon-containing fluid inclusions and °API density (grey dots), as determined by SKAARE et al. (2011). Black dots represent primary hydrocarbon-containing fluid inclusions with different fluorescence colour in the Cal_{B2} vein generation.

14. ábra. SKAARE et al. (2011) által meghatározott összefüggés a szénhidrogén-tartalmú fluidumzárványok fluoreszcens színe és °API sűrűsége között (szürke pontok). A fekete pontok a Cal_{B2} érgenerációban található eltérő fluoreszcens színnel rendelkező, elsődleges szénhidrogén-tartalmú fluidumzárványokat jelölik.

fluorescence colours along the same planes or growth zones. The fluorescence spectra of the yellow and blue inclusions – interpreted as primary and secondary in origin, respectively (Figure 12A) – exhibit strong similarities to those documented in samples from Pécsvárad (LUKOCZKI et al. 2012). In addition to UV fluorescence spectroscopic analysis of calcite samples from Pécsvárad, microthermometric measurements were performed, revealing that the $T_h(L+V \rightarrow L)$ of hydrocarbon inclusions varied between 30 and 100 °C (LUKOCZKI et al. 2012). In the case of the Cal_{B2} vein generation analysed in this study, $T_h(L+V \rightarrow L)$ values of secondary inclusions ranged from 58 to 101 °C (Figure 11). At Árpádtető, located southwest of the Óbánya Valley and Pécsvárad quarry, LUKOCZKI & SCHUBERT (2014) described hydrocarbon-bearing fluid inclusions that appear yellowish-brown under normal light, but fluoresce blue under UV light. For these inclusions, the $T_h(L+V \rightarrow L)$ values ranged from 76 to 114 °C. The study did not clearly identify the potential source rock of the hydrocarbons.

In case of Pécsvárad, based on the organic matter type and thermal maturity of the host rock (Hosszúhetény Calcareous Marl Formation), it has been inferred that the hydrocarbon source rock responsible for fluid migration in the fracture systems was likely the marl itself. HAN et al. (2022) further supported this interpretation, based on biomarker analyses of hydrocarbon-bearing inclusions in marl and fracture-filling calcite from the Pécsvárad quarry.

To date, no organic geochemical investigations have been carried out on the marl and clayey limestone formations of the Komló Calcareous Marl Formation within the valley area. Consequently, there is no direct evidence that the hydrocarbons in the calcite veins were derived from these host rocks. The organic content of the Rékavölgy Siltstone (formerly Óbánya Aleurolite) Formation in the Réka Valley – running nearly parallel to the Óbánya Valley – was investigated by VARGA et al. (2007). Based on total organic carbon (TOC) content and the quantity of hydrocarbons released during pyrolysis, the black shale of the formation is considered an excellent petroleum source rock under suitable conditions, despite the strata currently exposed on the surface not having reached the oil generation window ($R_o = 3.89$ – 8.12% in laminated rock types, $R_o = 2.14$ – 3.29% in thin-bedded varieties). Additionally, a liptinite-rich interval of the Mecsek Coal Formation can also be considered a potential petroleum source rock, though its oil-generating potential is relatively low (TISSOT & WELTE 1984).

BADICS & VETŐ (2012) modelled the thermal maturity of these formations using borehole data from the northern foreland of the Mecsek and concluded that Early Jurassic formations there reached the oil window during the Cretaceous, implying the potential for oil generation at that time. However, while the source rock for the hydrocarbons trapped in these inclusions is likely among these three potential petroleum source rocks (Mecsek Coal Formation, Hosszúhetény Calcareous Marl Formation, and the Rékavölgy Siltstone Formation) the exact origin of the hydrocarbons in the calcite veins of the Óbánya Valley remains undetermined.

Among the samples from the Óbánya Valley area, the Cal_{B2} vein generation contains hydrocarbon-bearing fluid inclusions of primary (syntectonic) origin relative to vein formation. These inclusions are distributed along multiple parallel planes adjacent to the vein wall (Figure 10A, B), indicating that hydrocarbon migration was associated with this vein generation. However, orientation data suggest that the formation of the Cal_{B2} veins is linked to the folding, implying that the trapping of hydrocarbon inclusions occurred syntectonically relative to the folding event. The Cal_{CR} vein generation predates the Cal_{B2} vein generation, meaning that fluid inclusions identified as primary in the younger veins can be reinterpreted as secondary inclusions along minor fractures in the older vein generation based on their similar petrographic characteristics (Figure 3). Since there are no direct data available on the timing of vein formation, it can only be correlated with larger-scale tectonic events affecting the area. The presence of primary hydrocarbon-bearing fluid inclusions is associated with folding, which most likely developed during a Cretaceous deformation event. The organic-rich formations identified in the vicinity of the study area all predate this Cretaceous tectonic event. Therefore, any of these formations could potentially have acted as the source rock for the hydrocarbon-bearing fluids that migrated into the valley.

Non-fluorescent, liquid-phase fluid inclusions occur in the Cal_{B1-4}, Cal_{CR} (peripheral zone), Cal_{BR1}, and Cal_{BR2} vein generations (Figure 9). These inclusions range from 2 to 5 µm in size and are presumed to contain aqueous fluids. According to GOLDSTEIN & REYNOLDS (1994), such small, liquid-phase aqueous inclusions typically form below 50 °C. This suggests that these secondary fluid inclusions were likely trapped near the surface during a later-stage fluid migration event in the valley. The liquid-phase inclusions are typically arranged in planes that do not correspond to growth zones, indicating their secondary origin through fracture healing. Their small size, liquid-phase nature, and inferred low trapping temperature (below 50 °C) are indicative of a shallow fluid flow event.

Conclusions

In our study, we examined whether the fractures and veins observed along the Óbánya Valley, or specific groups of them, can be linked to expected fracture pattern related to folding, assuming that the large-scale fold geometry and orientation across the valley are similar to those identified at Bodzás Spring. In the Óbánya Valley, both a calcite-cemented fracture network and unmineralized cracks are present. Based on textural and microstructural characteristics, six vein generations have been identified, with their relative formation sequence established, except for Cal_{EB} (Figure 3). The veins and textural features suggest that Cal_{BR1} formed prekinematically relative to folding. In contrast, the orientation of the other vein generations aligns with fractures associated with a single deformation event (Figure 3; Figure

13A, B). The valley area underwent a sinistral displacement after folding, likely leading to the formation of the Cal_{BR2} vein generation (Figure 3).

Both aqueous and hydrocarbon-bearing fluid inclusions were trapped within the veins. Hydrocarbon-bearing inclusions of primary origin occur in Cal_{B2}, while secondary hydrocarbon inclusions are present in the Cal_{CR} veins. This observation is interpreted as evidence indicating that the hydrocarbon-bearing fluid inclusion in both vein generations was associated with the same fluid flow event. This suggests that the migration of hydrocarbon-bearing fluids occurred postkinematically relative to the folding event. Under UV illumination, these fluid inclusions exhibit blue, yellow, and red fluorescence, indicative of the presence of multiple oil types. Their close spatial association within the same FIA implies that a single hydrocarbon-bearing fluid migrated through the fracture system, with micro-scale fractionation occurring during fluid entrapment resulting in the various fluorescent colours.

To date, no Rock-Eval pyrolysis or TOC measurements have been published on the Komló Calcareous Marl Formation in the valley area. Previous studies have identified the

Hosszúhetény Calcareous Marl Formation (LUKOCZKI et al. 2012, HAN et al. 2022) and the Rékavölgy Siltstone Formation (BADICS & VETŐ 2012) as excellent petroleum source rocks based on the maturity of their organic matter. Given that all potential source rocks are older than the deformation event possibly associated with hydrocarbon migration, unequivocally determining the origin of the parent fluid is currently not possible with the available data.

Acknowledgements

We thank Béla RAUCSIK and Sándor KÖRMÖS for their helpful advice on the topic of this manuscript. We also thank the National Research, Development and Innovation Office, National Scientific Research Funding Programme K-138919, for supporting the study. Finally, we thank Viktor GRANYÁK of the Department of Geology, University of Szeged, for preparing thin sections and providing helpful advice. We are grateful for the constructive and inspiring comments of Georgina LUKOCZKI, Gyula MAROS and László FODOR on the manuscript.

References – Irodalom

- BADICS, B. & VETŐ, I. 2012: Source rocks and petroleum systems in the Hungarian part of the Pannonian Basin: The potential for shale gas and shale oil plays. – *Marine and Petroleum Geology* **31**, 53–69. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2011.08.015>
- BENKOVICS, L., MANSY, J.-L., CSONTOS, L. & BERGERAT, F. 1997: Folding in the Abaliget road cut (Mecsek Mts). – *Acta Geologica Hungarica* **40/4**, 425–440.
- BERGERAT, F. & CSONTOS, L. 1988: Brittle tectonics and paleostressfields in the Mecsek and Villány Mountains (Hungary): correlations with the opening mechanisms of the Pannonian Basin. – *Acta Geologica Hungarica* **31/1–2**, 81–100.
- BERKOWITZ, B. 2002: Characterizing flow and transport in fractured geological media: A review. – *Advances in Water Resources* **25**, 861–884. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(02\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(02)00042-8)
- BERTRAND, P., PITTON, J.-L. & BERNAUD, C. 1986: Fluorescence of sedimentary organic matter in relation to its chemical composition. – *Organic Geochemistry* **10**, 641–647. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(86\)90061-6](https://doi.org/10.1016/0146-6380(86)90061-6)
- BILIK, I. 1980: Lower Cretaceous submarine (rift) volcanism in South Transdanubia (South Hungary). – In: BISZTRICSÁNY, E. & SZEIDOVITZ, GY. (eds): *Proceedings of the 17th Assembly of the European Seismological Congress*, 563–576, Akadémiai Kiadó, Budapest. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-99662-6.50042-3>
- BLANCHET, A., PAGEL, M., WALGENWITZ, F. & LOPEZ, A. 2003: Microspectrofluorimetric and microthermometric evidence for variability in hydrocarbon fluid inclusions in quartz overgrowths: implications for inclusion trapping in the Alwyn North field, North Sea. – *Organic Geochemistry* **34**, 1477–1490. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2003.08.003>
- BONS, P. D. 2000: The formation of veins and their microstructures. – In: JESSELL, M. W. & URAI, J. L. (eds): *Stress, Strain and Structure: a volume in honour of Win D. Means*. Volume 2, Journal of the Virtual Explorer <https://doi.org/10.3809/jvirtex.2000.0007>
- BONS, P. D., ELBURG, M. A. & GOMEZ-RIVAS, E. 2012: A review of the formation of tectonic veins and their microstructures. – *Journal of Structural Geology* **43**, 33–62. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.07.005>
- BÖCKH J. 1880: *Adatok a Mecsekhegység és dombvidéke jurakorabeli lerakódások ismeretéhez – I. Stratigraphiai rész.* – Magyar Tudományos Akadémia könyvkiadóhivatal, 24–36.
- BURKHARD, M. 1993: Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonical regime: a review. – *Journal of Structural Geology* **15**, 351–368. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(93\)90132-t](https://doi.org/10.1016/0191-8141(93)90132-t)
- CHAUVET, A. 2019: Structural control of ore deposits: The role of pre-existing structures on the formation of mineralised vein systems. – *Minerals* **9**, 56 <https://doi.org/10.3390/min9010056>
- CHI, G., DIAMOND, L. W., LU, H., LAI, J. & CHU, H. 2021: Common problems and pitfalls in fluid inclusion study: A review and discussion. – *Minerals* **11/1**, 7 <https://doi.org/10.3390/min11010007>
- CSÁSZÁR G. & HAAS J. (eds) 1983: *Magyarország litosztatográfiai formációi.* – MÁFI, 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**, 81–102. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(02\)00363-3](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00363-3)
- DAVIS, G. H., REYNOLDS, S. J. & KLUTH, C. F. 2011: *Structural Geology of Rocks and Regions*. – John Wiley and Sons, New York, 148 p.
- DICKSON, J. A. D. 1965: A Modified Staining Technique for Carbonates in Thin Section. – *Nature* **205**, 587 (1965). <https://doi.org/10.1038/205587a0>
- DIAMOND, L. W. 2003: Glossary: Terms and symbols used in fluid inclusion studies. – In: SAMSON, I., ANDERSON, A. & MARSHALL, D. (eds): *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation* – Mineralogical Association of Canada Short Course Series, **32**.
- FERILL, D. A., MORRIS, A. P., EVANS, M. A., BURKHARD, M., GROSHONG, R. H. & ONASCH, C. M. 2004: Calcite twin morphology: a low-temperature deformation geothermometer. – *Journal of Structural Geology* **25**, 1521–1529. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2003.11.028>
- FISCHER, M. P., HIGUERA-DÍAZ, I. C., EVANS, M. A., PERRY, E. C. & LEFTICARIU, L. 2009: Fracture-controlled paleohydrology in a map-scale detachment fold: Insights from the analysis of fluid inclusions in calcite and quartz veins. – *Journal of Structural Geology* **31**, 1490–1510. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2009.09.004>
- FODOR, L., CSONTOS, L., BADA, G., GYÖRFI, I. & BENKOVICS, L. 1999: Tertiary tectonic evolution of the Pannonian Basin System and neighbouring orogens: a new synthesis of palaeostress data. – In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. *Geological Society, London, Special Publications* **156**, 295–334. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1999.156.01.15>
- FOSSEN H. 2016: *Structural Geology*. – Cambridge University Press, Cambridge, 123 p. <https://doi.org/10.1017/9781107415096>
- GALÁCZ A., HABLY L. & SZENTE I. 1992: *Kirándulásvezető a Magyarhoni Földtani Társulat Őslénytani-Rétegtani Szakosztályának 1992. június 19–20-i mecseki terepbejárásához*. – Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, 17 p.
- GEORGE, S. C., RUBLE, T. E., DUTKIEWICZ, A. & EADINGTON, P. E. 2001: Assessing the maturity of oil trapped in fluid inclusions using molecular geochemistry data and visually-determined fluorescence colours. – *Applied Geochemistry* **16**, 451–473. [https://doi.org/10.1016/s0883-2927\(00\)00051-2](https://doi.org/10.1016/s0883-2927(00)00051-2)
- GÉCZY, B. 1973: Plate tectonics and paleogeography in the East-Mediterranean Mesozoic. – *Acta Geologica Hungarica* **17**, 421–428.
- GOLDSTEIN, R. H. & REYNOLDS T. J. 1994: Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals. – *SEPM Society for Sedimentary Geology* **31**. <https://doi.org/10.2110/scn.94.31>
- HAAS J. 1994: *Magyarország földtana, mezozoikum* – Egyetemi jegyzet, ELTE Kiadó, 119 p.
- HAAS, J., HÁMOR, G., JÁMBOR, Á., KOVÁCS, S., NAGYMAROSY, A. & SZEDERKÉNYI, T. 2012: *Geology of Hungary*. – Springer, 244 p. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21910-8_2
- HAN, Y., NOAH, M., LÜDERS, V., KÖRMÖS, S., SCHUBERT, F., POETZ, S., HORSFIELD, B. & MANGELSDORF, K. 2022: Fractionation of hydrocarbons and NSO-compounds during primary oil migration revealed by high resolution mass spectrometry: Insights from oil trapped in fluid inclusions. – *International Journal of Coal Geology* **254**, 103974. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.103974>
- HARANGI SZ. & ÁRVÁNÉ-SÓS E. 1993: A Mecsek hegység alsókréta vulkáni kőzetei I. Ásvány és kőzettan (Early Cretaceous volcanic rocks of the Mecsek mountains, South Hungary I. Mineralogy and petrology). – *Földtani Közlöny* **123/2**, 129–165.
- HETÉNYI R. 1966: A mecseki középsőliász tagolása. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1964. évről*, 23–27.
- HIGGINS, M. W. 1971: Cataclastic Rocks. – *Professional Paper, United States Geological Survey* **687**, 97 p. <https://doi.org/10.3133/pp687>
- HRABOVSZKI E., KÖRMÖS S., TÓTH E., STEINBACH G., M. TÓTH T. & SCHUBERT F. 2023: Ásványos erek a Kantavári kőfejtőben. – In: RAUCSIKNÉ VARGA A. (szerk.): *13. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés: Előadás- és poszterkivonatok*. Szegedi Tudományegyetem TTIK, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, 13–14.
- JEBRAK, M. 1997: Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits; A review of mechanisms, morphology and size distribution. – *Ore Geology Reviews* **12**, 111–134. [https://doi.org/10.1016/s0169-1368\(97\)00009-7](https://doi.org/10.1016/s0169-1368(97)00009-7)
- KIHLE, J. 1995: Adaptation of fluorescence excitation-emission micro-spectroscopy for characterisation of single hydrocarbon fluid inclusions. – *Organic Geochemistry* **23**, 1029–1042. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(95\)00091-7](https://doi.org/10.1016/0146-6380(95)00091-7)
- KONRÁD GY., SEBE K., HALÁSZ A. & HALMAI Á. 2010: A Délkelet-Dunántúl földtani fejlődéstörténete – recens analógiák. – *Földrajzi Közlemények* **134/3**, 251–265.
- KUBOVICS, I., SZABÓ, Cs., HARANGI, SZ. & JÓZSA, S. 1990: Petrology and petrochemistry of Mesozoic magmatic suites in Hungary and adjacent areas – an overview. – *Acta Geodaetica, Geophysica et Montanistica*, **25/3–4**, 345–371.
- LADÁNYI L. 2021: *Szerkezetföldtani és petrográfiai megfigyelések az Óbányai-völgyben (Kelet-Mecsek)*. – szakdolgozat, Szegedi Tudományegyetem, 49 p.
- LADÁNYI L., HRABOVSZKI E. & SCHUBERT F. 2023: Töréses és képlékeny szerkezeti elemekhez kapcsolódó érrendszerek az óbányai Öreg-patak völgyben (Keleti-Mecsek). – In: RAUCSIKNÉ VARGA A. (szerk.): *13. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés: Előadás és poszter kivonatok* Szegedi Tudományegyetem TTIK, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, 37.
- LAZNICKA, P. 1988: Breccias and Coarse Fragmentites. Petrology, Environments, Associations, Ores. – *Developments in Economic Geology Series* **25**. Amsterdam, Elsevier, 832 p.
- LINDHOLM, R. C. & FINKELMAN, R. B. 1972: Calcite staining: Semiquantitative determination of ferrous iron. – *Journal of Sedimentary Research* **42/1**, 239–242. <https://doi.org/10.1306/74d724fa-2b21-11d7-8648000102c1865d>
- LUKOCZKI, G. & SCHUBERT, F. 2014: Traces of hydrocarbon migration in the Central Mecsek Mountains. – *Földtani Közlöny* **144/4**, 403–407.
- LUKOCZKI G., SCHUBERT F. & HÁMORNÉ V. M. 2012: Szénhidrogén-migráció nyomai Pécsvárad környékén (Mecsek hegység). – *Földtani Közlöny* **142/3**, 229–242.
- LUNINA, O. 2019: An overview of clastic dikes: significance for earthquake study. – *Geodynamics & Tectonophysics* **10/2**, 483–506. <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2019-10-2-0423>

- McLIMANS, R. K. 1987: The application of fluid inclusions to migration of oil and diagenesis in petroleum reservoirs. – *Applied Geochemistry* **2**, 585–603. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(87\)90011-4](https://doi.org/10.1016/0883-2927(87)90011-4)
- MORETTI, I. 1998: The role of faults in hydrocarbon migration. – *Petroleum Geoscience* **4/1**, 81–94. <https://doi.org/10.1144/petgeo.4.1.81>
- MUNZ, I. A. 2001: Petroleum inclusions in sedimentary basins: systematics, analytical methods and applications. – *Lithos* **55**, 195–212. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00045-1](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00045-1)
- NAGY E. 1969: A Mecsek hegység alsóliász kőszénösszlete. – *Földtan – Ösföldrajz – MÁFI Évkönyv* **51/2**, 289–318.
- NELSON, D. R. 2001: An assessment of the determination of depositional ages for precambrian clastic sedimentary rocks by U-Pb dating of detrital zircons. – *Sedimentary Geology* **141–142**, 37–60. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00067-7](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00067-7)
- NÉMEDI VARGA Z. 1983: A Mecsek hegység szerkezetalakulása az alpi hegységképződési ciklusban. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1981 évről*, 467–484.
- NÉMEDI VARGA Z. 1998: A Mecsek és a Villányi egység jura képződményeinek rétegtana. – In: BÉRCZI I. & JÁMBOR Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. MOL Rt. – MÁFI, Budapest, 319–336.
- ODLING, N. E. 1997: Scaling and connectivity of joint systems in sandstones from western Norway. – *Journal of Structural Geology* **19/10**, 1257–1271. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(97\)00041-2](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(97)00041-2)
- OXTOBY, N. H. 2002: Comments on: Assessing the maturity of oil trapped in fluid inclusions using molecular geochemistry data and visually-determined fluorescence colours. – *Applied Geochemistry* **17/10**, 1371–1374. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00026-4)
- PETRIK A. 2009: A villányi-hegységi mezozoos képződmények mikrotektonikai méréseinek értelmezése. – *Földtani Közlöny* **139/3**, 217–236.
- PIRONON, J. & BOURDET, J. 2008: Petroleum and aqueous inclusions from deeply buried reservoirs. Experimental simulations and consequences for overpressure estimates. – *Geochimica et Cosmochimica Acta* **72**, 4916–4928. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.07.019>
- PÜSPÖKI, Z., FORGÁCS, Z., KOVÁCS, ZS., KOVÁCS, E., SOÓS-KABLÁR, J., JÁGER, L., PUSZTAFALI, J., KOVÁCS, Z., DEMETER, G., MCINTOSH, R. W., BUDAY, T., KOZÁK, M. & VERBÓCI, J. 2012: Stratigraphy and deformation history of the Jurassic coal bearing series in the Eastern Mecsek (Hungary). – *International Journal of Coal Geology* **102**, 35–51. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.07.009>
- RAMSAY, J. G. 1967: *Folding and Fracturing of Rocks*. – McGraw-Hill, New York, 568 p. <https://doi.org/10.1126/science.160.3826.410>
- RAUSIK B. 2012: Komlói Mészmarja Formáció. – In: FÖZY I. (szerk.): *Magyarország litosztatigráfiai alapegységei – Jura*. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, 174–176.
- SEBE, K. 2021: Structural features in the Miocene sediments of the Pécs-Danitzpuszta sand pit (SW Hungary). – *Földtani Közlöny* **151/4**, 411–422. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2021.151.4.411>
- SEBE, K. & PAZONYI, P. 2025: Late Neogen-Quaternary exhumation of the Tisza unit basement carbonates based on paleontological data: Villány Hills, SW Pannonian Basin. – *Földtani Közlöny* **155/1**, 21–35. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2025.155.1.21>
- SEILACHER, A. 1969: Fault-graded beds interpreted as seismites. – *Sedimentology* **13**, 155–159. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1969.tb01125.x>
- SKAARE, B. B., KIHLE, J. & TORSVIK, T. 2011: Biodegradation of crude oil as potential source of organic acids in produced water. – In: LEE, K. & NEFF, J. (eds): *Produced Water: Environmental Risks and Advances in Mitigation Technologies*. Springer, New York, 115–126. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0046-2_4
- SPRY, A. 1969: *Metamorphic Textures*. – Pergamon Press, Oxford, 350 p. <https://doi.org/10.1180/minmag.1970.037.291.19>
- SZTANÓ O. & MAGYAR I. 2023: Neogén – Felső miocén – pliocén. – In: BABINSZKI E., PIROS O., CSILLAG G., FODOR L., GYALOG L., KERCS-MÁR ZS., LESS GY., LUKÁCS R., SEBE K., SELMECZI I., SZEPESI J. & SZTANÓ O. (szerk.): *Magyarország litosztatigráfiai egységeinek leírása II. – Kainozoos képződmények*. Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága, Budapest, 117–119.
- TISSOT, B. & WELTE, D. H. 1984: *Petroleum formation and occurrence*. – Springer-Verlag, New York, 699 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-87813-8>
- TWISS, R. J. & MOORES, E. M. 1992: *Structural Geology*. – Freeman and Company, New York, 532 p. <https://doi.org/10.1002/gj.3350290408>
- VAN DER PLUUM, B. & MARSHAK, S. 2004: *Earth Structure: An Introduction to Structural Geology and Tectonics*. – Norton & Company, New York, 656 p.
- VARGA A., RAUSIK B., HÁMORNÉ V. M. & ROSTÁSI Á. 2007: Az Óbányai Aleurolit Formáció fekete palájának izotóp-geokémiai és szénhidrogén-genetikai jellemzése. – *Földtani Közlöny* **137/4**, 449–472.
- VELLEDITS, F., HÍVES, T. & BÁRSONY, E. 1986: A Jurassic–lower Cretaceous profile in Óbánya valley (Mecsek Mts., Hungary). – *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis, Section Geologica* **26**, 159–175.
- VÖRÖS, A. 1993: Redefinition of the Reitzli Zone at its type region (Balaton area, Hungary) as the basal zone of the Ladinian. – *Acta Geologica Hungarica* **36/1**, 15–31.
- WEIN GY. 1967: Délkelet-Dunántúl hegyszerszerkezeti egységeinek összefüggései az óalpi ciklusban. – *Földtani Közlöny* **97/3**, 286–293.
- WOODCOCK, N. H. & MORT, K. 2008: Classification of fault breccias and related fault rocks. – *Geological Magazine* **145/3**, 435–440. <https://doi.org/10.1017/S0016756808004883>

Appendix 1 – 1. melléklet

Appendix 1. Orientation data measured at the Bodzás Spring and sampling points, as well as notes on the outcrops.

1. melléklet. A Bodzás-forrásnál és a mintavételi pontoknál mért orientációs adatok, valamint a feltárásokra vonatkozó jegyzetek.

Sampling point	Dip direction	Dip angle	Note	Stream side
Bodzás Spring	263°	37°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	266°	41°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	262°	44°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	260°	41°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	266°	39°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	275°	46°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	276°	56°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	270°	46°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	272°	47°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	269°	53°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	272°	44°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	278°	61°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	265°	34°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	280°	45°	Bedding plane, small fold	left
Bodzás Spring	144°	37°	Bedding plane, small fold	right
Bodzás Spring	153°	27°	Bedding plane, small fold	right
Bodzás Spring	158°	27°	Bedding plane, small fold	right
Bodzás Spring	146°	26°	Bedding plane, small fold	right
Bodzás Spring	143°	35°	Bedding plane, small fold	right
Bodzás Spring	211°	18°	Bedding plane, small fold	right
Bodzás Spring	231°	11°	Bedding plane, small fold	right
Bodzás Spring	133°	27°	Bedding plane, small fold	right
Bodzás Spring	145°	34°	Bedding plane, small fold	right
Bodzás Spring	154°	23°	Bedding plane, small fold	right
Bodzás Spring	149°	21°	Bedding plane, small fold	right
Bodzás Spring	155°	34°	Bedding plane, small fold	right
OB20/01	347°	88°	Calcite vein, Sample 1	right
OB20/01	67°	80°	Fracture	right
OB20/01	64°	80°	Fracture plane	right
OB20/01	116°	86°	Calcite	right
OB20/01	3°	87°	Calcite vein, 1 cm	right
OB20/01	116°	84°	Calcite plane	right
OB20/01	8°	89°	Calcite vein	right
OB20/01	329°	84°	Calcite	right
OB20/01	281°	84°	Calcite	right
OB20/01	110°	88°	Calcite vein	right
OB20/01	114°	85°	Calcite	right
OB20/02	280°	88°	Fracture	left
OB20/02	266°	88°	Fracture plane	left
OB20/02	249°	6°	Layer	left
OB20/02	247°	11°	Layer	left
OB20/02	158°	88°	Fracture plane	left

Appendix 1 – 1. melléklet

Appendix 1. continued

1. melléklet folytatása

Sampling point	Dip direction	Dip angle	Note	Stream side
OB20/02	156°	87°	Fracture	left
OB20/02	156°	87°	Fracture	left
OB20/02	337°	89°	Calcite 1 cm	left
OB20/02	334°	80°	Fracture	left
OB20/02	344°	85°	Calcite vein, Sample 2	left
OB20/02	212°	16°	Layer	right
OB20/03	333°	84°	Fracture, Sample 3	right
OB20/03	273°	85°	Fracture plane	right
OB20/03	225°	33°	Fracture plane	right
OB20/03	291°	87°	Fracture plane	right
OB20/04	297°	86°	Thin calcite vein 15 cm	left
OB20/04	116°	87°	Sample 4, thin calcite vein	left
OB20/04	192°	14°	Layer	left
OB20/04	174°	15°	Layer	left
OB20/04	293°	88°	Fracture	left
OB20/04	237°	89°	Fracture plane	left
OB20/04	84°	80°	Fracture	left
OB20/04	90°	77°	Fracture plane	left
OB20/04	275°	86°	Thin calcite vein	left
OB20/04	291°	82°	Thin vein	left
OB20/04	288°	89°	Thin vein, 4. Sample	left
OB20/04	269°	90°	Calcite vein, many zones + Sample 4	left
OB20/05	106°	89°	Sample 5, Thin vein	left
OB20/05	291°	79°	Thin vein	right
OB20/05	288°	76°	Thin calcite vein	right
OB20/05	20°	66°	Fracture	right
OB20/05	21°	64°	Fracture plane	right
OB20/05	275°	81°	Fracture plane	right
OB20/06	23°	85°	Sample 6, zoned folded vein, Calc _R vein generation	left
OB20/07	205°	10°	Shear plane, highly unstable	right
OB20/07	136°	11°	Sample 7, reverse fault, calcite, Calc _{BR1}	right
OB20/08	168°	75°	Calcite vein	left
OB20/08	166°	86°	Calcite vein	left
OB20/08	182°	72°	Calcite vein	left

Appendix 2 – 2. melléklet

Appendix 2. Orientation data of bedding planes from the Óbánya Valley.

2. melléklet. Réteglapok orientációs adatai az Óbányai-völgyből.

Measurement point	Dip direction	Dip angel
1/1	235°	28°
1/3	316°	16°
1/4	313°	15°
1/5	223°	29°
1/5	237°	21°
1/5	237°	19°
1/6	222°	38°
1/6	222°	28°
1/7	263°	37°
1/7	266°	41°
1/7	262°	44°
1/7	260°	41°
1/7	266°	39°
1/7	275°	46°
1/7	276°	56°
1/7	270°	46°
1/7	272°	47°
1/7	269°	53°
1/7	272°	44°
1/7	278°	61°
1/7	265°	34°
1/7	280°	45°
1/7	144°	37°
1/7	153°	27°
1/7	158°	27°
1/7	146°	26°
1/7	143°	35°

Measurement point	Dip direction	Dip angel
1/7	211°	18°
1/7	231°	11°
1/7	133°	27°
1/7	145°	34°
1/7	154°	23°
1/7	149°	21°
1/7	155°	34°
1/8	177°	25°
1/8	172°	27°
1/8	177°	25°
1/8	179°	28°
1/9	204°	18°
1/9	210°	19°
1/10	207°	23°
1/10	222°	11°
1/11	203°	09°
1/13	221°	25°
1/13	243°	18°
1/13	213°	16°
1/15	266°	12°
1/15	266°	14°
1/15	282°	24°
1/15	264°	17°
2/1	313°	10°
2/1	324°	11°
2/2	305°	27°
2/2	290°	22°

Appendix 2 – 2. melléklet

Appendix 2. continued
2. melléklet folytatása

Measurement point	Dip direction	Dip angel
2/2	310°	29°
2/2	296°	26°
2/3	294°	08°
2/3	304°	14°
2/3	292°	10°
2/6	280°	05°
2/6	285°	05°
2/6	237°	05°
2/7	193°	11°
2/7	263°	08°
2/9	298°	06°
2/9	252°	14°
2/11	317°	04°
2/11	331°	03°
2/12	280°	05°
2/12	298°	04°
2/13	19°	67°
2/14	232°	07°
2/14	263°	08°
2/15	201°	10°
2/15	157°	16°
2/15	168°	09°
2/16	249°	06°
2/16	247°	11°
2/16	212°	16°
2/17	248°	09°
2/17	213°	09°

Measurement point	Dip direction	Dip angel
2/18	266°	05°
2/18	218°	07°
2/20	161°	15°
2/20	166°	18°
2/21	194°	19°
2/21	148°	15°
2/22	192°	14°
2/22	174°	15°
2/25	209°	22°
2/25	197°	19°
2/25	205°	19°
2/25	179°	16°
2/25	205°	15°
2/26	29°	25°
2/26	28°	24°
2/28	232°	19°
2/28	190°	28°
2/28	100°	13°
2/29	15°	09°
2/29	39°	09°

Adatok a Mecsekalja-öv pécsi szakaszának neogén aktivitásához

SEBE Krisztina^{1,2}, TÓTH Emőke³, SZUROMINÉ KORECZ Andrea³, †SELMECZI Ildikó⁴,
MAGYAR Imre^{1,5,6}, KRIZMANIĆ, Krešimir⁷, KONRÁD Gyula⁸

¹HUN-REN-MTM-ELTE Paleontológiai Kutatócsoport, 1431 Budapest, Pf. 137; sebekrisztina.geo@gmail.com

²ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Budapest

³ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Őslénytani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C.
emoke.mohr@ttk.elte.hu; kaszuroka@gmail.com

⁴Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, 1154 Budapest, Stefánia út 14.

⁵MOL Nyrt., Budapest, immagyar@mol.hu; ⁶Magyar Nemzeti Múzeum Közgűjteményi Központ, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest

⁷INA-Industrija nafte d.d., Lovinčičeva 4, HR-10000 Zagreb, Croatia; kkriza010760@gmail.com

⁸7675 Kővágóttós, Dózsa György u. 12.; konradgyula@t-email.hu

Data on the Neogene activity of the Mecsek Mountains frontal fault zone in Pécs (SW Hungary)

Abstract

The Mecsekalja Dislocation Zone forming the southern – southeastern margin of the Mecsek Mts. is a complex fault zone that reactivated several times. We studied examining temporary outcrops within the fault zone in the city of Pécs to gain information on Neogene tectonic activity. We constrained the age of the exposed rocks using lithological analogies, micropaleontological investigations and mollusc biostratigraphy, and identified lower Sarmatian sediments as well as those deposited in two time intervals within the Pannonian. The observed deformations – tilting, folds, mostly reverse faults, basement overthrusting – refer to NNW–SSE compression. Induced by a relatively stable stress field, one or two early Sarmatian and three or four later deformation events could be identified: before, during and after the late Pannonian sedimentation (8–6.5 Ma). In the Pannonian, movements certainly took place after 10–9.6 Ma, but Sarmatian sediments possibly deformed (also) before that time. While in the Sarmatian most of the Pannonian Basin underwent active rifting, the Mecsek experienced compression. No extensional deformation could be detected in the area in the last 10 million years, basin inversion seems to have started here in the first half of the Pannonian age. The deformation of resistant coarse sediment in the western part of Pécs could influence modern topography.

Keywords: *Mecsek, Sarmatian, Pannonian, basin inversion*

Összefoglalás

A Mecsek déli-délkeleti peremét alkotó Mecsekalja-öv széles, bonyolult felépítésű, többször felújult szerkezeti zóna. Neogén aktivitását a közelmúltban Pécsen létesült ideiglenes feltárások segítségével vizsgáltuk. A feltárt összletek korát mikropaleontológiai vizsgálatok és molluszk-biosztratigráfia, ezek híján kőzettani analógiák segítségével határoztuk meg. A vizsgált helyszíneken alsó szarmata, valamint a pannóniai emelet két különböző szintjébe sorolható üledékeket azonosítottunk. A bennük megfigyelhető szerkezetek – kibillenés, redők, vetők – általában ÉÉNy–DDK-i irányú összenyomásra utalnak. E deformáció következtében a prekainozoos alaphegység a neogén üledékekre tolódott. A változatlan jellegű feszültségmező hatására egy vagy két kora szarmata és három vagy négy későbbi deformációs időszakot tudunk elkülöníteni: a késő pannóniai (8 és 6,5 Ma közé eső) üledékképződést megelőzően, azzal egy időben, valamint azt követően. A pannóniai korszakban biztosan zajlott mozgás 10–9,6 Ma után, de lehetséges, hogy a szarmata üledékek ez előtt (is) deformálódtak a korszakon belül. Míg a szarmatában a Pannon-medence más részein aktív riftesedés folyt, a Mecseket már kompresszió érte. A területen az utóbbi 10 millió évben nem igazolható extenziós szerkezetalakulás, a medenceinverzió itt valószínűleg már a pannóniai korszak első részében megkezdődött. Pécs nyugati részén a rövidülés a hegységelőtéri durvatörmelék üledékek feltorlasztásával a mai domborzatot is befolyásolta.

Tárgyszavak: *Mecsek, szarmata, pannóniai, medenceinverzió*

Bevezetés

A Mecsek déli-délkeleti peremét alkotó Mecsekalja diszlokációs öv akár több km széles, bonyolult felépítésű, többször felújult szerkezeti zóna, amelyben változatos paleozoos, mezozoos és kainozoos kőzetek kerültek egymás mellé tektonikus mozgások hatására (VADÁSZ 1935; WEIN 1966, 1967; SZEDERKÉNYI 1977; CSONTOS et al. 2002a, b; M. TÓTH et al. 2005; BALLA & GYALOG 2009; KONRÁD & SEBE 2010; SEBE et al. 2016) (1. ábra). Az öv eredetileg Pécs belterületén volt legjobban feltárva. Részletes térképezése elsősorban az 1970-es években folyt (SZEDERKÉNYI 1970; SOMOGYI 1976a; CHIKÁNNÉ JEDLOVSZKY 1978a; CHIKÁNNÉ JEDLOVSZKY & KÓKAI 1980, 1982). A városi környezetben a sűrű beépítés megnehezíti a földtani vizsgálatokat, így minden nagyobb új feltárásnak jelentősége lehet. Az elmúlt években több építkezés zajlott Pécsen földtani szempontból fontos helyszíneken, amelyek jelentős méretű ideiglenes feltárásokat eredményeztek. Jelen cikkben néhány olyan feltárást mutatunk be a Mecsekalja-öv pécsi szakaszáról, amelyek új adatokat szolgáltatnak a szerkezeti zóna kainozoos fejlődéstörténetének ismeretéhez.

Vizsgált terület és módszerek

A vizsgált feltárások a hegységperemi vetőzónában helyezkednek el, a pécsi szakasz nagy részén elosztva (1. ábra). A rövid életű feltárásokat lehetőség szerint az építkezések előrehaladásának ütemében dokumentáltuk. Az üledékes egységek leírása mellett mértük a szerkezeti elemeket, valamint mintákat gyűjtöttünk őslénytani (puhatestű-fauna, mikrofauna és mikroflóra) vizsgálatokhoz, melyek elsődleges célja a kor meghatározása volt. A begyűjtött puhatestűmaradványokat a Magyar Természettudományi Múzeum Őslénytani és Földtani Tárában helyeztük el, az Ürögi határúton gyűjtötteket INV 2025.278–315., 327., a PTE orvosi karról származókat INV 2025.316–326. leltári számok alatt. A Havi-hegy sziklafalát drónnal fényképeztük. A sztereo-

gramok készítéséhez Jacques ANGELIER „Tector 1994” programcsomagját használtuk (ANGELIER 1994), a síkokat Schmidt-féle alsó félgömbi vetületben ábrázoltuk. A folytonos vonalak töréseket, a szaggatottak rétegdőléseket jelölnek. A feltárásokat földtani környezetük figyelembevételével értelmeztük. Az egyes feltárások környékének észleléseit bemutató térképrészleteken az archív feltárások foltjai szegély nélküliek, a saját észlelések fekete szegéllyel jelennek meg.

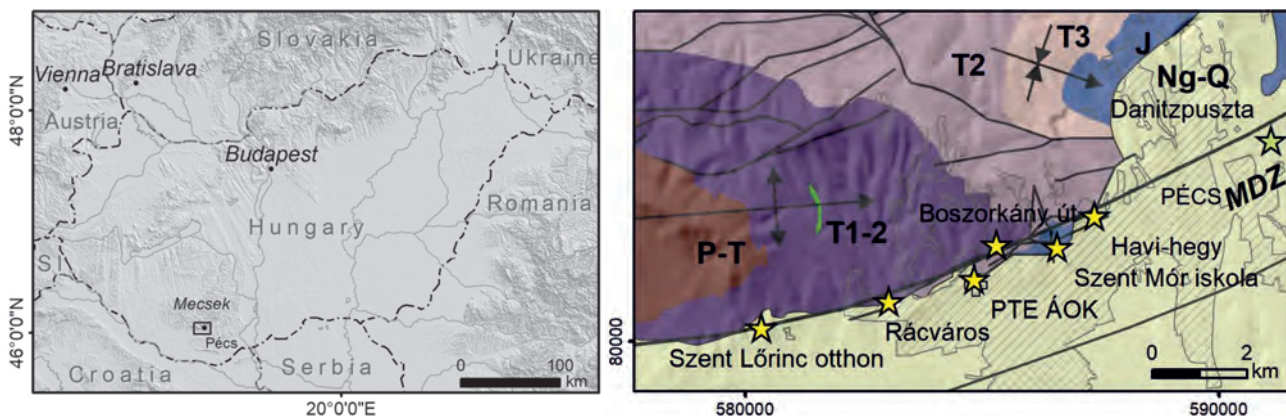
A feltárások leírása

1. Szent Lőrinc Gondozóotthon

A feltárás leírása

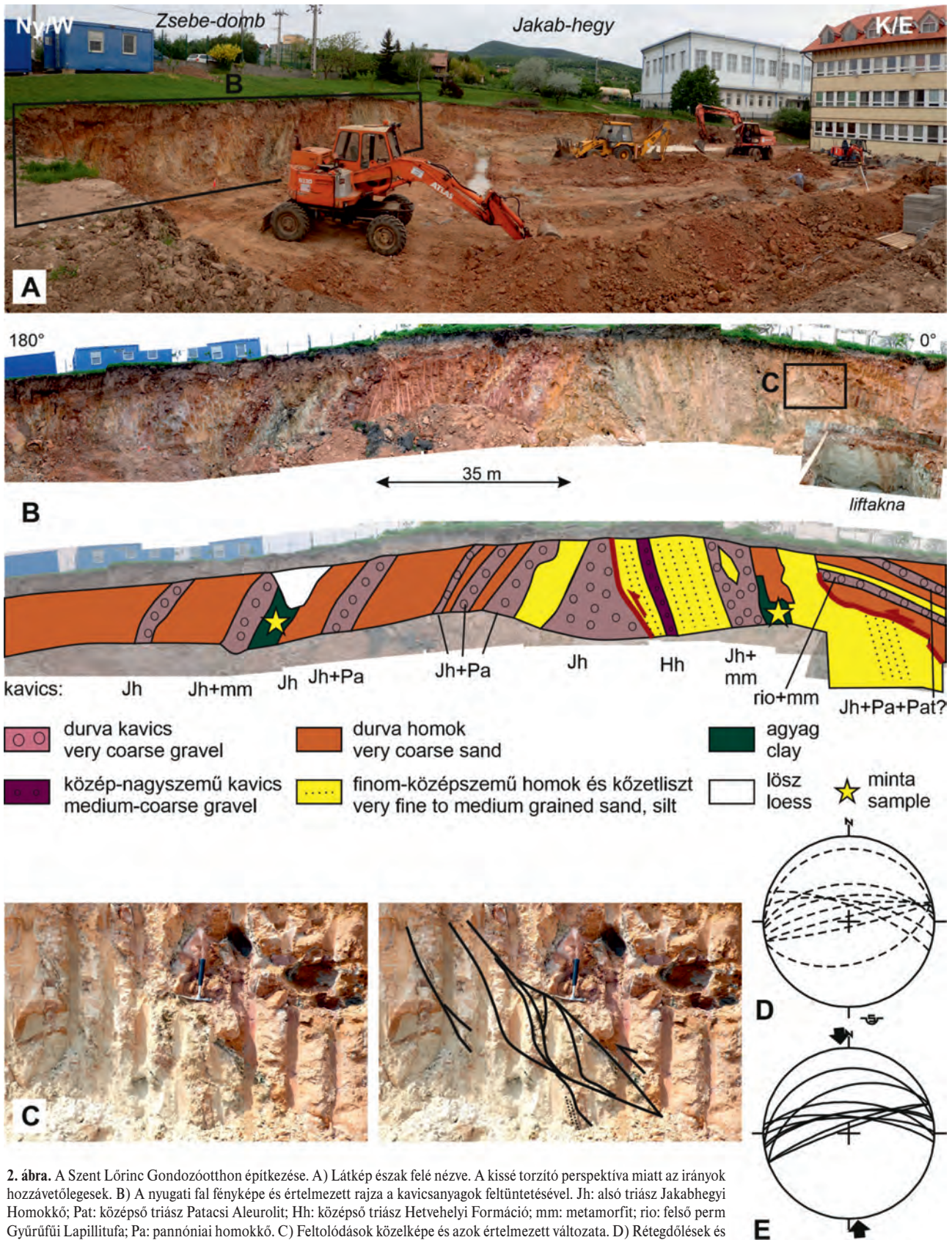
Pécs nyugati peremén a Szentlőrinci út 17. sz. alatti gondozóotthont [EOV 580342, 80296; 1. ábra] 2018-ban új épülettel bővítették. Az épület alapját a jórészt felső miocén üledékekből felépülő, környezetéből kiemelkedő Zsebe-domb keleti oldalába vágták (2. ábra). A leghosszabb, nyugati falban meredekre állított, feltorlódott pannóniai törmelékes rétegsor tárult fel.

Az egyes rétegek anyaga jellemzően közepesen–jól osztályozott, uralkodó szemcseméretük az agyagtól a tömbökig terjed. Az agyagrétegek sötétszürkék, esetleg fekete-sárga tarkák, szénült növénytörmelékkel. A homokrétegek változatos színűek, a durvábbak jellemzően vörösek. A durvatormелékes rétegekben a szemcsék mérete 50 cm-ig terjed. Anyagukban az alsó triász vörös, kovás kötésű Jakabhegyi Homokkő alig–jól koptatott darabjai uralkodnak (2. ábra B). Egyes rétegekben emellett előfordulnak az alsó miocén Szászvári Formációból áthalmozott, jól koptatott metamorf (gneisz, csillámpala) és perm riolit kavicsok, valamint újrafeldolgozott pannóniai homokkő- és aleuolitdarabok. Egy kavicsréteg kizárólag a középső triász Hetvehelyi Formáció lila és szürke agyagkő, valamint gipsz anyagú, közepesen–jól koptatott törmelékéből áll. A feltárt üledéksor déli kétharmada meredeken dől dél felé. Ezzel egy szintén me-



1. ábra. A vizsgált feltárások elhelyezkedése (sárga csillagok). Földtani alaptérkép KONRÁD & SEBE (2010) nyomán. P-T: Perm-triász; T1-2: alsó–középső triász; T2: középső triász; T3: felső triász; J: jura; Ng-Q: neogén-kvarter kőzetek. EOV koordináta-rendszer.

Figure 1. Location of the studied outcrops (yellow stars). Base geological map after KONRÁD & SEBE (2010). P-T: Permian-Triassic; T1-2: Lower-Middle Triassic; T2: Middle Triassic; T3: Upper Triassic; J: Jurassic; Ng-Q: Neogene-Quaternary rocks. Numbers indicate coordinates in Hungarian system.



2. ábra. A Szent Lőrinc Gondozóotthon építkezése. A) Látkép észak felé nézve. A kissé torzító perspektíva miatt az irányok hozzávetőlegesek. B) A nyugati fal fényképe és értelmezett rajza a kavicsanyagok feltüntetésével. Jh: alsó triász Jakabhegyi Homokkő; Pat: középső triász Patacsi Aleurolit; Hh: középső triász Hetvehelyi Formáció; mm: metamorfit; rio: felső perm Gyűrűfüi Lapillitufa; Pa: pannóniai homokkő. C) Feltolódások közelképe és azok értelmezett változata. D) Rétegdőlések és E) feltolódások sztereogramja.

Figure 2. Construction site of Szent Lőrinc Nursing Home. Due to the somewhat distorted perspective directions are approximate. A) View towards north. B) Photo and interpretation of the western wall, with clast materials indicated. Jh: Lower Triassic Jakabhegy Sandstone; Pat: Middle Triassic Patacs Siltstone; Hh: Middle Triassic Hetvehely Fm.; mm: metamorphic rocks; rio: Upper Permian Gyűrűfüi Lapilli Tuff; Pa: Pannonian sandstone. C) Close-up of reverse faults and the interpreted version of the image. D) Stereoplot of bedding dips and E) of reverse faults.

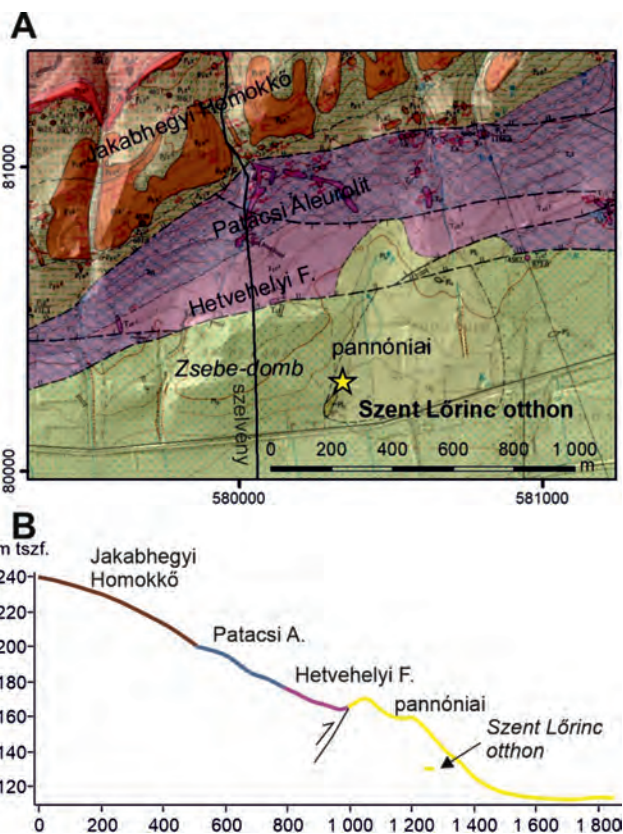
redék, valamint egy laposabb dőlésű rétegcsoport érintkezik északi dőlésű síkok mentén (2. ábra B–E). Az északabbi sík mentén kisebb nyírt szeletek is megfigyelhetők voltak, amelyek határán szürke agyagsávok húzódtak. A két határsíkot feltolódásként értelmeztük, bár a délebbinél a mozgásnak nem találtuk konkrét jelét.

Ősмарadványok

Az agygrétegekből palinológiai vizsgálatra vett minták nem tartalmaztak dinoflagellátákat, amelyek a korbesoroláshoz segítséget nyújthattak volna. SZABÓ (1972b) szerint a Zsebe-domb üledéke a legfiatalabb pannóniai homoktesthez tartozik, hasonlóan a pellérdi vízkutató fúrásokban feltárt homokhoz, ahol a P. 13. sz. fúrásban (Pellérd K–5) 29,3–31,7 méterből BARTHA F. *Limnocardium sturi* és *Prososthenia radmanesti* faunát határozott meg. A „*Limnocardium sturi*” faj a Dáciai-medence endemikus pontusi faunájához tartozik, és nagyon közel áll a Pannon-tó *Prosodacnomya vutskitsi* fajához (vagy azonos is lehet vele). Ennek alapján az előfordulás kora 7,1 millió évnél fiatalabb lehet. A Zsebe-domb és a Pellérdi-medence között lévő vetők azonban óvatosságra intenek a fúrásokban megállapított kor automatikus kiterjesztését illetően.

Elsődleges értelmezés

A durva, változó mértékben koptatott törmelék tartalmazó rétegsor a Pannon-tó parti, hullámveréses övében rakódhatott le. A kavicsanyag a közvetlen közelből származik. Az alsó triász Jakabhegyi Homokkő és a középső triász Patacsi Aleurolit és Hetvehelyi Formáció ma is felszínen van a domb északi oldalán (3. ábra). Perm riolit anyagú kavics származhat akár a Jakabhegyi Homokkőből. Érdekesebb a metamorfitek (gneisz, csillámpala) előfordulása, amelyek az alsó miocén Szászvári Formációban jellemzők. Ez az összlet a Nyugat-Mecsek déli oldalán sehol nincs meg felszínen, csak hegységperemi fúrás tárta fel a Mecsek-alja-övben (1428 sz. uránérckutató fúrás; VIRÁGH et al. 1959, SOMOGYI 1959, KONRÁD 2024). Jellegzetes kavicsanyaga azonban számos helyen megjelenik áthalmazva a pannóniai peremi üledékek kavicsrétegeiben (SZABÓ 1972b, SEBE et al. 2016), a Zsebe-domb közvetlen környezetében perm riolit, valamint jura és kréta mészkő-kavicsok formájában (SZABÓ 1972b). A késő miocén során tehát a Szászvári Formáció még megtalálható volt a területen. A kizárólag a Hetvehelyi Formáció anyagából felépülő kavicsréteg azt mutatja, hogy ez az egyébként kevésbé ellenálló képződmény hirtelen nagy mennyiségű törmelékanyagot szolgáltatott. Valószínű, hogy az üledékképződés során is zajlott a Mecseket felépítő prekainozoos képződményeknek a hegység déli előterére történő rátolódása. Egy rátolódásos mozgás során a Hetvehelyi Formáció sávja is felszínre került és anyaga bele tudott pusztulni a Pannon-tóba. Hasonló jelenséget nyugatabbra is megfigyeltek Pécsen, amikor új kőzetanyag jelent meg nagy mennyiségben egy-egy pannóniai rétegben (SEBE et al. 2016). SZABÓ (1972b) szintén szinszediment pannóniai mozgásokra következtetett a területen az abráziós képződmények anyagai és a pannóniai és alaphegységi kőzetek egymáshoz viszonyított helyzete alapján.



3. ábra. A) A Zsebe-domb földtani környezete. Alaptérkép: SZABÓ (1972a). B) Domborzati szelvény a Zsebe-dombon keresztül (nyomvonal az A ábrán).

Figure 3. Geological and topographic setting and of the studied outcrop. Base map: SZABÓ (1972a).

A rétegsorban a fiatalodás irányát nem tudtuk megállapítani. További értelmezési lehetőséget kínál, ha átbuktatást is lehetségesnek tartunk. Lehetséges, hogy a legészakabbi rétegcsoport erősen átbuktatott, a középső kevésbé, míg a legdélebbi normális településű. Ebben az esetben az egységek az üledékképződés során formálódó redő (growth fold) részei lehetnek, ahol a legidősebb északi rétegcsoportra a fiatalabbak rálapolódtak, miközben folyamatosan billent ki és részben erodálódott a rétegsor. Hasonló szerkezeteket írtak le a Pireneusokból (FORD et al. 1997), az Alpokból (ORTNER et al. 2016), valamint a közelben Pécs-Danitzpusztáról (CSONTOS et al. 2002, SEBE 2021). Az északabbi határvonal később – a nyírt lencsék alakja alapján – feltolódásként is működhetett. A két feltolódást tartalmazó modellel megegyezően ez az értelmezés is az üledékképződés során zajló, ÉENy–DDK-i összenyomásra utal.

A bemutatott feltárás magyarázatot adhat arra, hogy miért emelkedik ki környezetéből a Zsebe-domb, még az északon határos alaphegységi kőzeteknél is magasabbra (3. ábra B). A dombot jelentős részben a Jakabhegyi Homokkő anyagából álló, változó mértékben koptatott hömpölyök-tömbök alkotják, amit a kertművelők falak és kerítések építéséhez használtak fel (4. ábra). A domb északi oldalában a triász Hetvehelyi Formáció a pannóniai üledékekre tolódott (SZABÓ 1972a; 3. ábra), az elmozdulás nagysága SZABÓ (1972b) szerint „mélyfúrási adatok”, vélhetőleg az alaphegység megfúrt tetőfelszíne alapján 60–80 m lehet. A domb mögötti



4. ábra. A felhasználási módok jól mutatják a Jakabhegyi Homokkő anyagú tömbök mennyiségét a Zsebe-dombon. A gyerekek 110 cm magasak.

Figure 4. Ways of domestic use illustrate well the amount of Triassic sandstone cobbles and boulders in the Upper Miocene sediments of Zsebe-domb. Kids for scale are 110 cm tall.

nyerget alkotó triász kőzetek felszíne ugyanakkor alacsonyabban van, mint a pannóniai összleté. A domb megőrződésében a rétegsorban találhatók, az erózióknak ellenálló Jakabhegyi Homokkő tömbök játszhatták a kulcsszerepet. A feltorlódt, nagy tömegű Jakabhegyi Homokkő ellenáll az erózióknak, míg a rátolt, kis keménységű Hetvehelyi Formáció könnyebben pusztul.

2. Rácváros, Ürögi határút

A feltárás leírása

Pécs nyugati részén, Rácvárosban az Ürögi határút és a belőle kiágazó Cserebogár dűlő alja pannóniai homokot tár fel, amelyre északról a középső triász Hetvehelyi Formáció agyagmárgája tolódott (FERENCZI 1937, SZABÓ 1972a, KONRÁD & SEBE 2010) (1. ábra). 2019 nyarán a korábbi feltárástól lefelé, délkeletre [EOV 583071, 80830] támfalépítés miatt letisztították az útbevágást, ahol további szerkezeti jelenségek váltak láthatóvá, és nagy mennyiségű puhatestű-maradvány került elő (5. ábra).

A feltárásban néhány jellegzetes réteget betűkkel jelöltünk (5. ábra). Ezeket követve több deformációs esemény nyomai látszanak. A fal DK-i végében a d réteget rátolódás veti el, ami talán az e réteget is érinti, de az f réteg már lefedi (5. ábra A, bal lent). Egy nagyobb feltolódáscsoport (5. ábra A harmadánál) aztán az f réteg lerakódása után a teljes eddigi rétegsort elveti, a függőleges elmozdulás mértéke 4–5 m lehet. A feltolódás síkjában felismerhetők az a jelű réteg limonittal cementált, elvonszolt darabjai. A rátolt blokkban egy rámpaantiklinális rajzolódik ki, aminek az ÉNy felé dőlő szárnya kibillent, amikor ez a blokk rákúszott a rámpáratolódásra. A rétegsorban efölött a dőlésszög újra lecsökken

kissé: a c és d közötti réteg vastagsága ÉNy felé nő, alatta és fölötté a rétegek nagyjából párhuzamosak (5. ábra A). Ezek a mozgások az üledékképződéssel egy időben zajlottak. A rétegsorban lévő kavicszintek anyaga minden esetben a homokra feltolt Hetvehelyi Formáció koptatatlan törmeléke (5. ábra B). Ezek a jelenségek mind kapcsolódhatnak ahhoz a folyamathoz, ahogy ÉÉNy–DDK-i összenyomás hatására a Mecsek a déli előterére tolódott. Bizonytalan a feltárás északnyugati részében megfigyelt normálvető (5. ábra E) hovatartozása, de akár az is lehet ezen folyamat terméke.

Ősmaradványok

A mikropaleontológiai vizsgálatra vett minta nem tartalmazott ősmaradványt. A vörös színű, limonitos homokban egyes rétegekben tömegesen fordulnak elő puhatestű vázák lenyomatai (6. ábra). Az alábbi fajokat határoztuk meg: *Lymnocardium ferrugineum* (Brusina), *Lymnocardium schmidtii* (Hörnes), *Lymnocardium diprosopum* (Brusina), *L. cf. szaboi*, *Congeria rhomboidea* Hörnes, *C. balatonica*, *Gastropoda* sp. A leggyakoribb, tömegesen előforduló faj a *L. ferrugineum*, ezt követi a *L. schmidtii*, míg a többi forma kifejezetten ritka. A kagylók sokszor kettős teknővel foszszilizálódtak.

Elsődleges értelmezés

A *L. ferrugineum* jelenléte alapján az üledék a *Prosodacnomya dainellii* molluszka biozónába tartozik, és 7,6–7,1 millió évvel ezelőtt rakódhatott le a Pannon-tó litorális zónájában (MAGYAR & KATONA 2023). A rövidülési mozgások ebben az időszakban zajlottak.

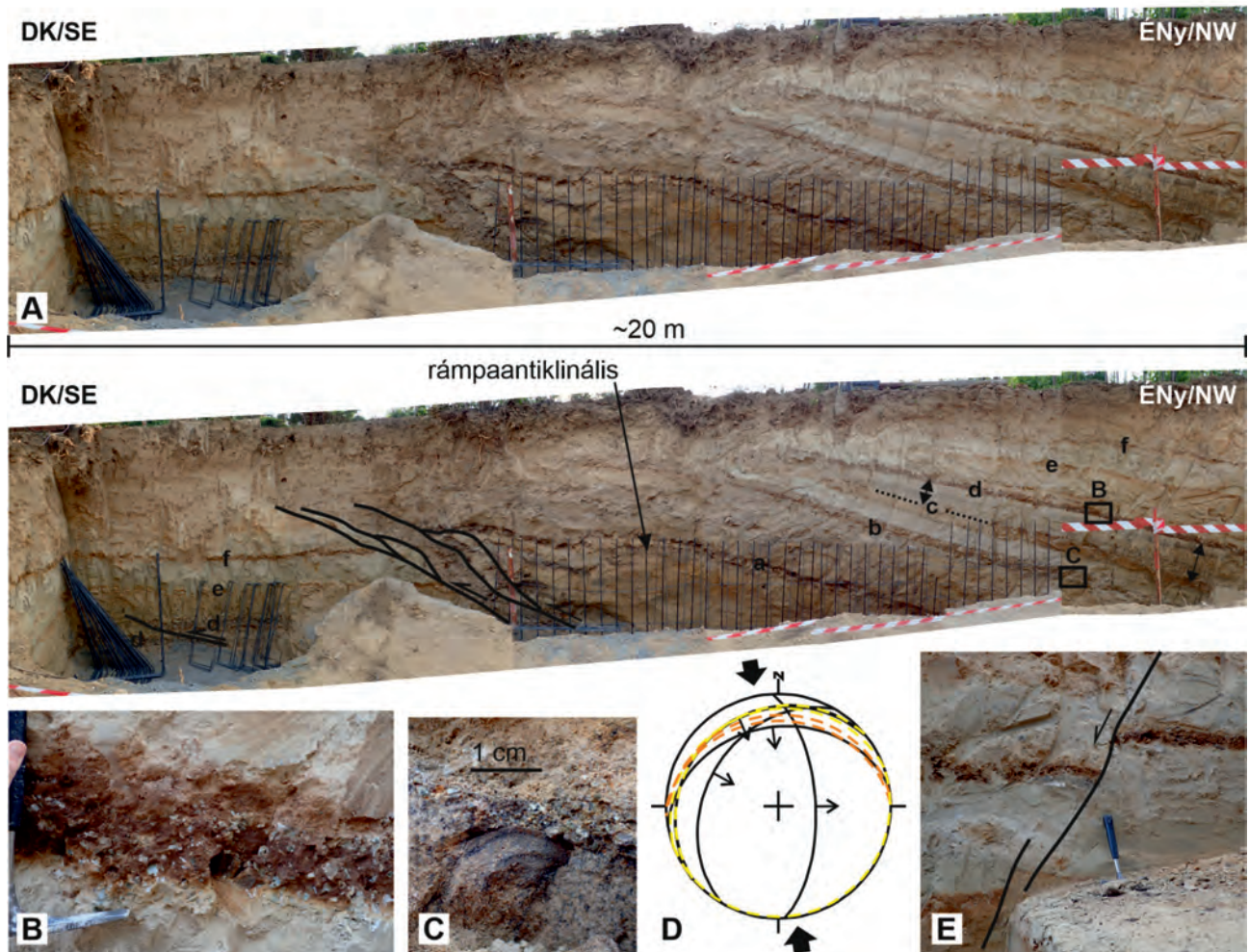
3. Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar

A feltárás leírása

A Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar új épületének alapját 2018. szeptember-októberében készítették [EOV 584905, 81360; 1. ábra]. A kb. 110×40 m kiterjedésű és 3–7 m mély alapozási gödör tanulmányozására október elején nyílt lehetőség. A gödör alján legfeljebb 1,2 m vastagságban pannóniai üledék tárult fel (7. ábra). Anyaga sárgásszürke vagy világosszürke, keresztrétegzett homok, kőzetlisztes homok, illetve a rétegsor tetején foltokban rétegszerűen vagy cipókban homokkő. A szemcseméret kőzetlisztől középszemű homokig terjed. A homokban puhatestűek rossz megtartású héjmaradványai, a homokkőben lenyomatai és kőbelei látszanak. A feltárt néhány réteg NyDNy felé dől kb. 20 fokkal.

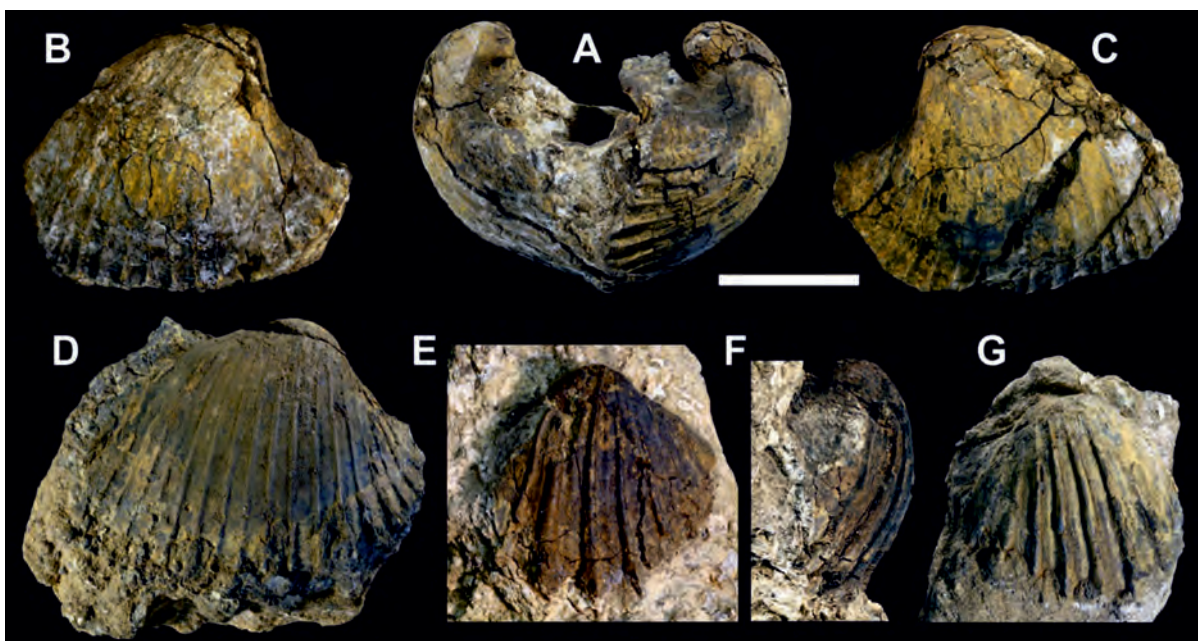
Ősmaradványok

A homokkőben található héjlenyomatok alapján az alábbi puhatestűeket azonosítottuk (8. ábra): *Lymnocardium cf. conjungens* (Hörnes), *Lymnocardinae* sp. 1., *Lymnocardinae* sp. 2., *Congeria cf. czjzeki* Hörnes, *Congeria cf. hemiptycha* Brusina, *Lymnocardium cf. schedelianum*, *?Parvidacna* sp., *Gastropoda* sp. A homokkő ennek alapján a L.



5. ábra. A rácvárosi feltárás. A) A fal alsó részének látképe tektonikai jelenségekkel. A képen látható szakasz kb. 20 m hosszú. B) Az eltérő dőlésű rétegcsoportok határán lévő d réteg, koptatatlan Hetvehelyi Dolomit törmelékkel. C) *Lymnocardium ferrugineum* kőbele a b réteg alján. D) A mért szerkezeti elemek sztereogramja. Narancssárgával az idősebb, sárgával a fiatalabb rétegek dölése. E) Átlépő vető a szelvény északnyugati részén, az A ábrától ÉNy-ra kb. 8 méterre.

Figure 5. Outcrop in Pécs-Rácváros. A) Lower part of the road cut with tectonic features. Photographed segment is ~20 m long. B) Layer C with angular clasts from the Triassic Hetvehely Formation thrust upon the sands not far from here. C) Internal mould of *Lymnocardium ferrugineum* at the base of layer b. D) Stereoplot of measured structural features. Orange marks the dip of older, while yellow that of the younger beds. E) Stepover normal fault ~8 metres NW of fig. A.

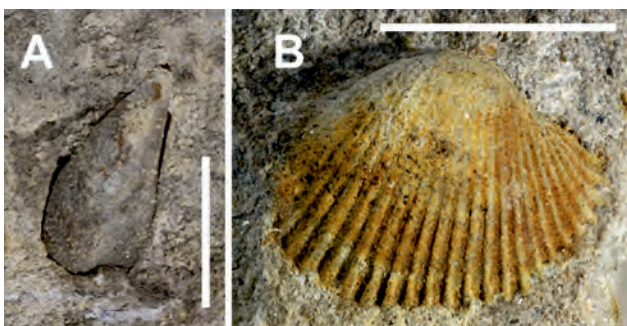




7. ábra. A PTE orvosi kar új épületének alapozása 2018 októberében. A nyilak egy réteg lefutását jelölik.

Figure 7. Construction site of the new building of the University of Pécs, Faculty of Medicine in October 2018. Arrows mark a single bed.

conjungens zóna felső részébe tartozik, kora kb. 10–9,6 Ma. A kőzet a Pannon-tó litorális zónájában képződhetett (bár a *C. czjzeki* tipikus szublitorális faj, egy-egy példányban néha előfordul sekélyvízi homokban is).



8. ábra. Kagylókőbelek a Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar épületének alapozási gödréből. A: *Congeria* cf. *czjzeki* Höernes (INV 2025.323.); B: *Lymnocardium* cf. *conjungens* (Höernes). Az aránymérték 1 cm.

Figure 8. Bivalve moulds from the construction site of the University of Pécs, Faculty of Medicine. A: *Congeria* cf. *czjzeki* Höernes (INV 2025.323.); B: *Lymnocardium* cf. *conjungens* (Höernes) (INV 2025.322.). Scale bar is 1 cm.

A közvetlisztes homokkőből kiiszapolt mintában a mikrofoszsziliák főként jó és közepes megtartású kagylósrákkettősteknők és -félteknek voltak. A kagylósrákkfaunában a legnagyobb egyedszámban a *Hemicytheria* (*Hemicytheria folliculosa*, *H. reticulata*) és a *Cyprideis* (*Cyprideis kapfensteinensis*) genusok díszített, vastag héjú egyedei jelentek meg. A Cytheroidea főcsaládot az említett két díszített for-

← 6. ábra. Kagylókőbelei a rácvárosi feltárásból. A-D: *Lymnocardium schmidti* (Höernes). Páros teknő elülső nézetben (A), ugyanannak a példánynak (INV 2025.315.) a jobb (B) és bal (C) teknője oldalirányból, és egy jobb teknő (INV 2025.313.) oldalirányú képe (D). E-G: *Lymnocardium* (*Budmania*) *ferrugineum* (Brusina). Jobb teknő (INV 2025.314.) oldalsó (E) és hátsó (F) nézetből; bal teknő oldalsó nézetből (G; INV 2025.310.). Az aránymérték 3 cm.

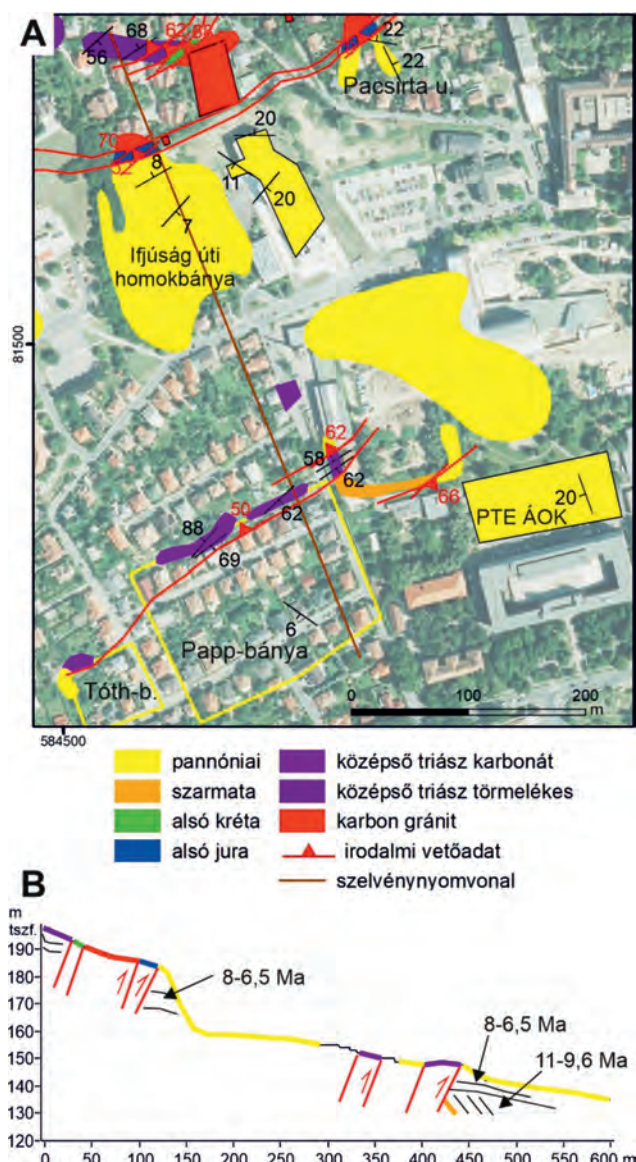
← Figure 6. Bivalve moulds from the Rácváros outcrop. A-D: *Lymnocardium schmidti* (Höernes). Double valves in anterior view (A), lateral view of the same specimen (INV 2025.315.), right (B) and left (C) valves, and lateral view of a right valve (D; INV 2025.313.). E-G: *Lymnocardium* (*Budmania*) *ferrugineum* (Brusina). Lateral (E) and posterior (F) view of a right valve (INV 2025.314.); (G) lateral view of a left valve (INV 2025.310.). Scale bar is 3 cm.

mán kívül az *Euxinocythere lacunosa* és *Loxoconcha rhombovalis* fajok példányai képviselték. A Cyprididae család képviselői közül a *Herpetocyprilla hieroglyphica* és *Amplocypris* sp. nagy méretű, sokszor törött példányai jelentek meg. Előfordultak a Candonidae családba tartozó alakok is: *Candona* (*Propontoniella*) *candeo*, *Candona* (*Caspiolla*) sp. és *Candona* (*Reticulocandona*) sp. A kagylósrákok mellett a mintában puhatestű héjtöredékeket és bemosott foraminiferákat is (*Elphidium* sp.) lehetett találni.

A kagylósrákkfauna alapján az építkezés során feltárt rétegek a *Propontoniella candeo* intervallum zónába sorolhatók, ami alátámasztja a puhatestűek alapján megállapított, idősebb pannóniai kort. Ezt a kagylósrákkzónát sikerült még Pécs környékén a pécs-danitzpusztai feltáráásban is azonosítani, ahol hasonló összetételű ostracodaegyüttes került elő (CSOMA et al. 2021). A kagylósrákegyüttes „partközeli”, maximum 10–15 m vízmélységű litorális vagy sekély szublitorális, jól szellőzött brakkvízi (9–16% sótartalmú) környezetet jelez (CSOMA 2023).

Elsődleges értelmezés

A mostani feltárással nyugat felé szomszédos telkek helyén volt korábban a FERENCZI (1937, 4. és 5. ábra) által említett Papp-féle homokbánya, attól nyugatra pedig a Tóth-bánya (9. ábra). FERENCZI a Papp-bányát két szintre osztotta (9. ábra B). Az alsó összlet meredek (az 5. ábráján ~40 fok délies áldőlésű), puhatestűi hasonló kort jeleznek, mint az építkezésről előkerült ősmaradványok (*Lymnocardium conjungens* kron, 11–9,6 Ma). A felső, enyhébb (10 fok körüli) dőlésű összlet kora FERENCZI szerint a Rácvárosban és a Pacsirta utcában feltárt összletével egyezik meg, melyek a *Congeria rhomboidea* puhatestűzónába tartoznak, 8 millió évnél fiatalabbak (SEBE et al. 2016). Ezen adatok több deformációs eseményről tanúskodnak. A mostani épületalapozásnál és a Papp-bánya alsó részében feltárt, idősebb pannóniai összlet kibillenése a felső összlet lerakódása előtt kellett történnjen. A korbesorolás bizonytalanságát (a *L. conjungens* kron hosszát) figyelembe véve ez az esemény akár egykorú is lehet a Pécs-Danitzpusztán (1. ábra) jól behatárolható korú, 10,2–10 Ma között történt szinszediment rövidüléssel, melynek során a Mecsek a déli előterére tolódott (KLEB 1973, BENKOVICS 1997, SEBE 2021). Az Ifjúság úti homokbányában a pannóniai üledék lerakódása alatt (8–6,5 Ma között) aktívák voltak azok a vetők, amelyek mentén az alaphegység szeletei feltolódtak (SEBE et al. 2016). A Papp-bányában a triász mészkő rátolódása a pannóniai homokra az üledékképződés (valahol 8–6,5 Ma között) után kellett történnjen.



9. ábra. A PTE ÁOK-feltárás a korábban észlelt feltárások közt, 2004-es légifelvétel fölött. A korábbi észlelések elsősorban SOMOGYI (1976a, c, 1977), kis részben CHIKÁNNÉ JEDLOVSKÝ & KÓKAI (1980), VADÁSZ (1935) és saját adatok alapján.

Figure 9. Location of the construction site of the University of Pécs (PTE ÁOK) among outcrops observed in the past. Previous observations mostly from SOMOGYI (1976a, c, 1977), some data from CHIKÁNNÉ JEDLOVSKÝ & KÓKAI (1980), VADÁSZ (1935) and own data.

4. Boszorkány út 2.

A feltárás leírása

2019. augusztus-szeptemberben a Bálicsi út és a Pollack strand között társasház alapozásához ástak munkagödört [EOV 585300, 82044] (1. ábra). Északnyugati, 32xkb. 30 m-es része erősen gyűrt, törmelékes rétegsort tárt fel, melynek alsó, idősebb része a feltárás északi részében függőleges, illetve átbuktatott helyzetben jelent meg (10. ábra).

A rétegsorban az alábbi egységeket lehetett elkülöníteni (10. ábra):

1. Világos vörösbarna agyag, benne kevés homok és szórta kavicsok. A kavicsanyag kvarc (darakavics) és triász mészkő (1-3 cm, közepesen-jól koptatott).

2. Az agyagra eróziós felszínnel a keleti falban zöldesszürke, kavicsos durvahomok települ. Kavicsok 6 cm-ig, közepesen koptatott triász mészkő, darakavicsméretben kvarc is. Az északi falban durvahomok mátrixú kavicsal indul a rétegcsoport, 1-10 cm-es triász mészkőkavicsokból.

3. Sötét zöldesszürke, helyenként vörösbarna-tarka homokos agyag, szórta közepesen koptatott triász mészkő kavicsokat tartalmaz 5-6 cm méretig. Az északi falban ez is kavicsal kezdődik, 1-10 cm-es triász mészkőkavicsokból, a mátrix megegyezik a fedő agyaggal.

4. Agagtól kavicsos homokig terjedő szemcseméretű rétegek váltakozása, túlnyomórészt homok, helyenként gyengén cementált homokkő. A kavicsok jól koptatott triász mészkőből vannak, max. néhány cm-esek. Az egység felső határa egy limonitos kavicsos homokréteg.

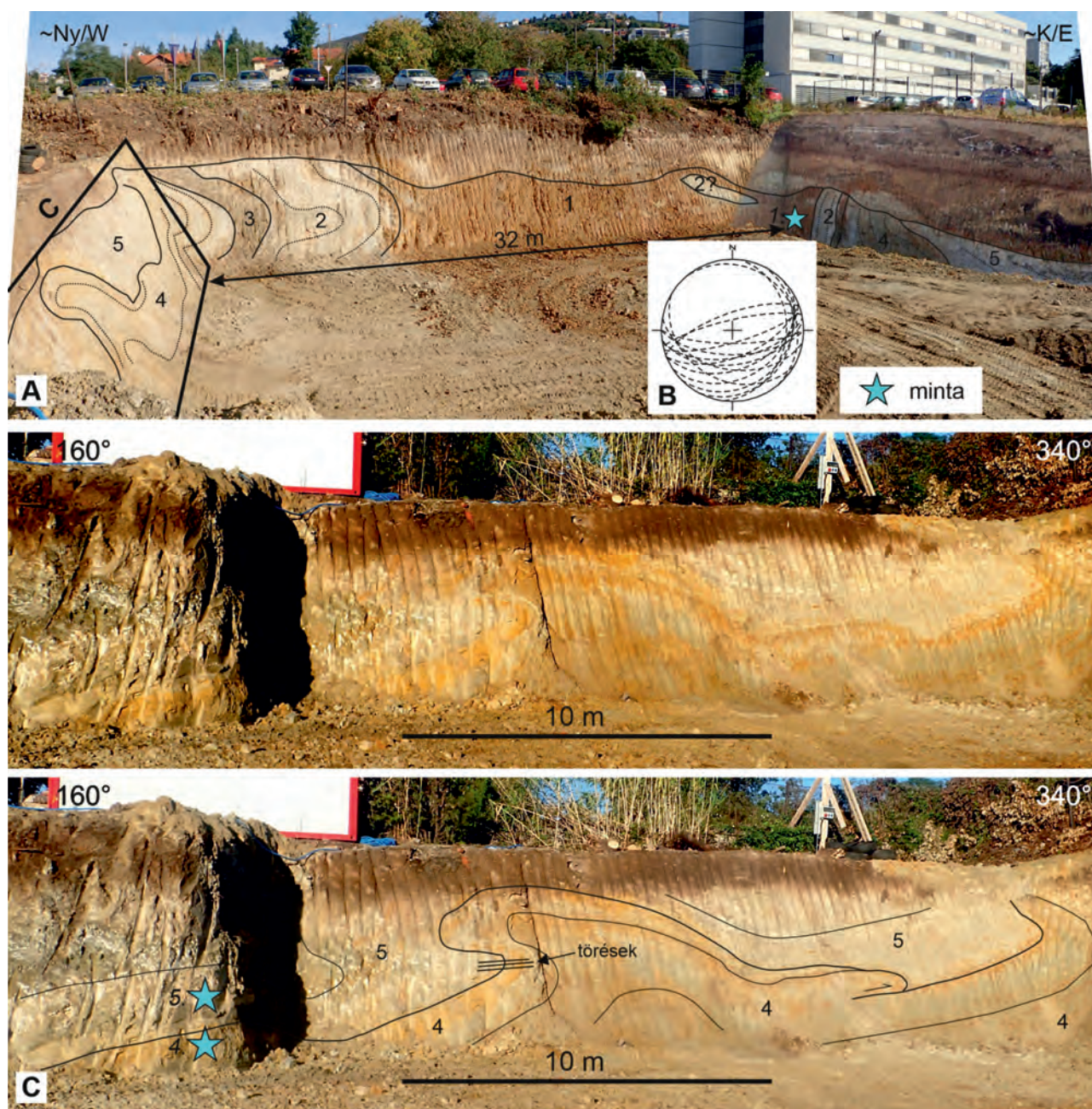
5. Oldalirányban gyorsan változó anyagú egység. A nyugati fal déli részén szürkészöld, mészfoltos agyag, ami észak felé kőzetlisztes homokba, majd kavicsos homokba megy át. A keleti falban agyagos homoktól homokos kavicsig terjed a szemcseméret. A kavicsanyag szemcsemérete maximum 3 cm, anyaga főleg közepesen-jól koptatott triász mészkő, kevés kvarccal és valószínűleg triász anhidrittel.

Ósmaradványok

A munkagödör 4. és 5. egysége tartalmazott értékelhető mikrofaunát. A 4. egység sárga kőzetlisztes finomhomok-rétegeiből nagy gyakoriságban éllel rendelkező *Elphidium*-félék (*Elphidium macellum* és *E. fichtelianum*) és kagylósrák-kettősteknők kerültek elő (*Senesia vadaszi*, *Aurila mehesi* és *Loxoconcha* sp.). Előfordultak még csiga- és kagylóembriók, valószínűleg bemosott szivacsstűk és tengerisüntűskék is a mintában.

Az 5. egység szürkészöld mészfoltos agyagrétegei hasonló összetételű, de gazdagabb mikrofaunát tartalmaztak, ami a környezeti paraméterek megváltozásával hozható összefüggésbe, a vízmozgatottsággal és az aljzatminőség megváltozásával. A foraminifera-vázak közepes és jó megtartásúak voltak, az élt viselő *Elphidium*-félék (*Elphidium macellum*, *E. crispum* és *E. fichtelianum*) dominanciája jellemezte az együtttest itt is, bár kis példányszámban megjelennek az él nélküli formák is (*Porosonion granosum*). A mikrofaunában az imperforált porcelánvázú *Miliolina*-félék egyedeivel is találkozhatunk (*Pseudotriloculina consobrina*, *Affinetrina cubanica*). Kevés kagylósrák, főként kettősteknők kerültek elő a vizsgált mintából. A meghatározott taxonok a következők voltak: *Aurila mehesi*, *Loxoconcha* sp., *Callistocythere egregia* és *Xestoleberis fuscata*. Az iszapolási maradvány egyéb fossziliákat is tartalmazott, kevés szivacsstűt, csiga- és kagylóembriókat és áthalmazott süntűskéket.

Az *Aurila mehesi* indexfosszília jelenléte alapján a vizsgált rétegek a kora szarmatában, kb. 12,65–12 millió év között rakódhattak le a TÓTH (2009) által felállított szarmata kagylósrák-zonációt alapul véve. A mikrofauna sekély (néhány 10 m mély), meleg, mérsékelt sekélytengeri környeze-



10. ábra. A Boszorkány út 2/1 társasház építkezése. A) A feltárás látkepe É felé nézve. A számokkal jelölt rétegcsoportok leírása a szövegben. B) A mért rétegdőlések sztereogramja. C) Gyúrt rétegek a nyugati falban.

Figure 10. Construction site of Boszorkány út 2/1. A) Panorama looking towards N. Units marked with numbers are described in the text. B) Stereonet of measured bedding dips. C) Folded layers in the western wall.

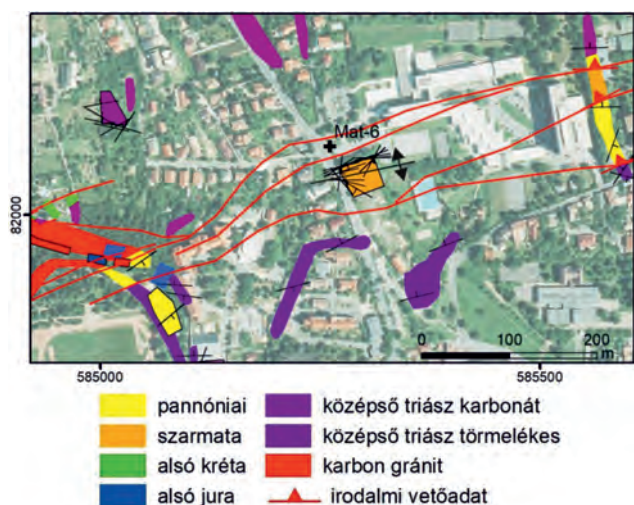
tet jelez gazdag alga- vagy tengerifű-közösséggel az aljazaton. Hasonló korú szarmata kagylósrák- és foraminifera-együttesek kerültek elő a Zsámbéki-medencéből és budapesti lelőhelyekről (GÖRÖG 1992, TÓTH 2008, TÓTH & GÖRÖG 2008).

Elsődleges értelmezés

A kavicsanyag alapján az üledék felhalmozódásakor a lepusztulási területen megtalálható volt középső triász mészkő (a legnagyobb mennyiségben), valamint kisebb arányban alsó kréta bazalt és középső triász evaporit. Ezeknek a kőzeteknek ma is vannak feltárásaik a közelben (11. ábra), és a

feltárás északi oldalán mélyült Mat-6 térképező fúrás is középső triász mészkövet ért. Az oldalirányban gyorsan változó üledék alapján a partvonal igen közel volt, és változatos lefutású és/vagy meredekségű lehetett.

Az egyes rétegek vastagságának változása felveti, hogy a rétegsor gyűrődése az üledékképződés során, a kora szarmatában történt vagy már akkor megkezdődött. A 4. egység felső rétegcsoportja rálapolódik az alatta lévő rétegek felszínére és dél felé vastagodik, ami szintén jellemző a szinsediment gyűrődésre (ORTNER et al. 2016). A környékbeli feltárások ugyanakkor arra utalnak, hogy a szarmata üledék-



11. ábra. A Boszorkány úti feltárás elhelyezkedése a korábban észlelt feltárások között, 2004-es légifelvételen ábrázolva. A korábbi észlelések SOMOGYI (1976a, c, 1977), CHIKÁNNÉ JEDLOVSKY (1978c), CHIKÁN & CHIKÁNNÉ (1978) és saját adatok alapján.

Figure 11. Location of the Boszorkány út construction site among outcrops observed in the past. Previous observations from SOMOGYI (1976a, c, 1977), CHIKÁNNÉ JEDLOVSKY (1978c), CHIKÁN & CHIKÁNNÉ (1978) and own data.

képződés után további deformáció érte a területet. 250 m-re innen, megközelítőleg csapásirányban, ÉK felé SOMOGYI dokumentált egy hosszú feltárást a Damjanich utca északi oldalán (11. ábra keleti peremén; SOMOGYI 1976c, 1977 4683 sz. feltárása), ahol pannóniai homok érintkezik vető mentén a feltárás déli végén található triász mészkővel, és a homokba két, szintén északi dőlésű vető között szarmata mészkő ékelődik. Ez arra mutat, hogy még a késő miocén üledékképződés után is történtek itt kompressziós vagy eltolódásos mozgások.

5. Szent Mór iskola

A feltárás leírása

2017 nyarán a Szent Mór Iskolaközpont Papnövelde utcai egységének udvarán tornaterem-építés miatt ástak épületalapot [EOV 586595, 81997]. A kb. 35×30 m-es feltárásban összesen kb. 80 m hosszú és max. 6 m magas falfelületen dél felé kibillent szarmata és pannóniai rétegsor került napvilágra (12. ábra).

A feltárás északi (ÉNy-i) kétharmadát szarmata rétegsor alkotja. Jellemző litofáciasei, melyek a rétegsorban többször előfordulnak:

- Sárgásfehér, homokos „cerithiumos durvamészkő”. Porózus, díszített tornyoscsigák (*Granulolabium?*) lenyomataival és kőbeleivel. Szórtan 3–10 cm-es, jól koptatott középső triász mészkő kavicsokat tartalmaz.
- Szürkésfehér, laminált mészmárga.
- Zöldesszürke, kemény, homokos agyagmárga, nagy méretű ostreákkal (*Crassostrea gingensis*), csiga- és kagylókőbelekkel, valamint apró kagylóhéjtöredékekkel.
- Szürke, jól osztályozott, bioklasztos homok, a szemcsék anyaga kisebb részben kvarc, nagyobb részben mészhéjtör-

melék, uralkodóan durvahomok-darakavics szemcseméretben. *Pomatias* aff. *consobrina* operculumokat tartalmaz.

- Szürke, homokos agyag, rossz megtartású planispirális csigával (*Gyraulus?*), *Pomatias* aff. *consobrina* operculumokkal (12. ábra B).

- Világos sárgásbarna, tömött mészkő (mikrit), egyes padokban nagy méretű ostreákkal.

A szarmata és pannóniai összlet közötti határ csapása KÉK–NyDNy-i, nem párhuzamos a rétegzéssel. A két egység között szögdiszkordancia figyelhető meg: a határ alatt a szarmata mészkő dőlése 170/65, fölötté a pannóniai homoké 195/45 körüli (12. ábra C, D).

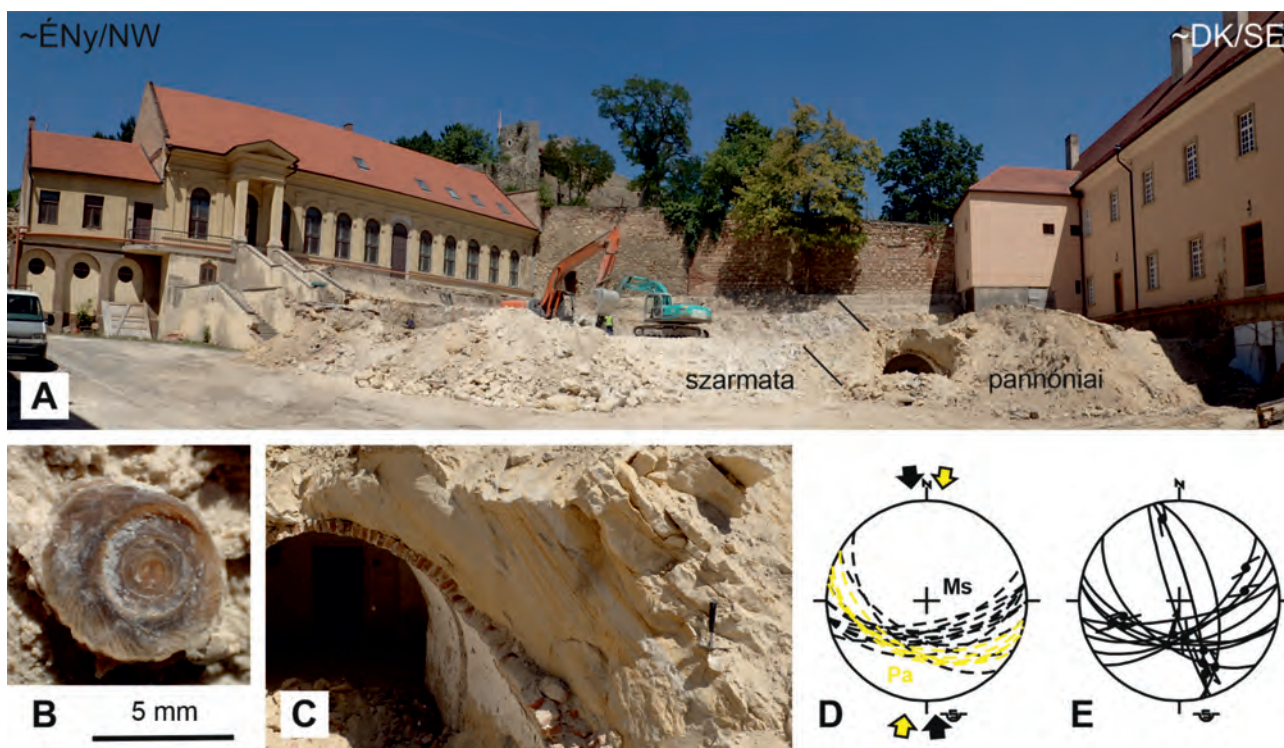
A mészkőre közel sík eróziós felszínnel kb. fél méter vastag konglomerátum települ. A max. 15 cm-es, jól koptatott kavicsok anyaga középső triász és szarmata mészkő, az apróbbak (2–3 cm) közt kvarc is előfordul. A pannóniai összlet többi részét kereszttrétegzett vagy síklemezes, közép-durvaszemű homok, aprókavicsos homok alkotja, helyenként bioturbáció nyomaival, 5–20 cm vastag rétegekkel. A finomabb szemű rétegek meszesek, keményebbek, a durvábbak inkább limonitosak.

A szarmata összletben több helyen lehetett vetőket megfigyelni (12. ábra E). Főleg agyagos rétegekben fordultak elő, sokszor réteglap menti elmozdulás eredményeként jöttek létre. Legtöbbjük ferde mozgásról – eltolódásról és feltolódásról – tanúskodik, ahol a horizontális komponens az erősebb. A karcok rossz megtartásúak, sok helyen a mozgás iránya nagyon bizonytalanul vagy nem volt megállapítható. A feszültségmező-számítás emiatt nem vezetett eredményre.

Ősmeradványok

A világos sárgásbarna mészkő számos puhatestű-maradványt, köztük osztrigákat (*Crassostrea* sp.) tartalmazott. A mészkőből készült vékonycsiszolatokban a puhatestűeken kívül számos foraminifera-metszettel (*Miliolina*-félék, *Elphidium* sp.) lehetett találkozni (13. ábra), ami meleg sekélytengerben való lerakódásra utal. *Microcodium* is lehetett a mintában azonosítani, aminek a megjelenése a sekélytengeri és egyéb mészkövekben széleskörű, utólagos talajosodásra utal. A mészkövek felszínre kerülésekor a talajosodás korai szakaszában megtelepedő növények gyökérszövetének átalakulásával jön létre (KOSIR 2004).

A szürke, bioklasztos kőzetlisztes homokból nagy mennyiségben foraminifera-vázak és kevés kagylósrák is előkerült. Az ostracoda-vázak egy része erősen koptatott kettős teknő volt (*Cyprideis?* sp. és *Aurila?* sp.), de jó megtartású félteknők is előkerültek (*Aurila merita*, *Tenedocythere cruciata* és *Xestoleberis* sp.). A foraminifera-együttes csaknem felét az *Elphidium*-félék (*Elphidium macellum*, *E. obtusum*, *E. crispum*) teszik ki. Emellett kisebb mennyiségben megjelennek az *Ammonia beccarii* és a *Nonion bogdanowiczii* egyedei. A *Miliolina*-félék közepes megtartásúak, a *Cycloforina* sp. és *Quenqueloculina* sp. taxonokat sikerült elkülöníteni. A nagyforaminiferák közül a *Borelis melo melo* gömbölyded vázaival is találkozhatunk. A vizsgált mintából egyéb ősmaradványok is előkerültek. A kagyló- és csigaembriók, operculumok és bryozoatelep-töredékek mellett



12. ábra. A Szent Mór Iskolaközpont építkezése. A) A feltárás látképe északkelet felé nézve. B) *Pomatias* aff. *consobrina* operculum szarmata homokos agyagból. C) Kibillent pannóniai homok. D, E) A feltárásban mért rétegdőlések, valamint a szarmata összletben mért vetők sztereogramja. Ms: szarmata; Pa: pannóniai.

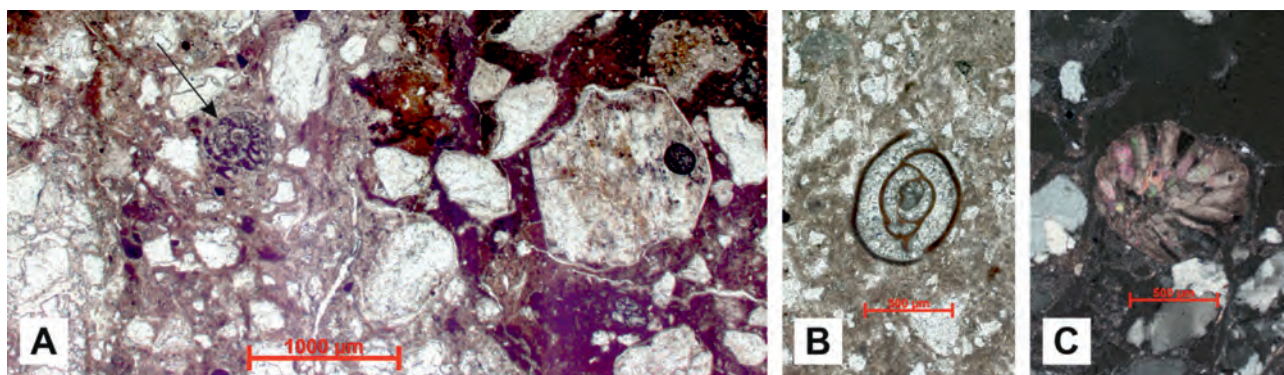
Figure 12. Construction site of Szent Mór school. A) View of the outcrop towards northeast. B) *Pomatias* aff. *consobrina* operculum from Sarmatian sandy clay. C) Tilted Pannonian sand. D, E) Stereoplot of bedding dips of the outcrop and of faults measured in the Sarmatian beds. Ms: Sarmatian beds; Pa: Pannonian.

egyértelműen áthalmozott vörösalga-, szivacs- és süntüsketörödékek is megjelennek.

A szürke agyagból az említettekhez nagyon hasonló, csak jobb megtartású és diverzebb együttes került elő. A foraminifera-együttest itt is az élt viselő és tüskés *Elphidium*-félék (*Elphidium macellum*, *E. aculeatum*, *E. crispum*, *E. fichtelianum*) dominálják, de megjelennek az él nélküli formák is (*Elphidium obtusum*, *E. hauerinum* és *Porosonion granosum*). Emellett találkozhatunk a *Lobatula lobatula* és az *Ammonia beccarii* egyedeivel is. A porcelánvázú foraminiferákat a *Varidentella rotunda*, *Cycloforina* sp., *Quinqueloculina* sp. és a *Borelis melo melo* példányai kép-

viselik. A foraminiférák mellett a kagylósrákok is változatos megtartást mutatnak. Erősen koptatott kettősteknők formájában találkozhatunk a *Xestoleberis tumida*, *Loxococoncha* sp. és *Callistocythere* sp. taxonok példányaival. Csak az *Aurila merita* jelenik meg jó megtartású félteknőként. A mintában szintén vannak bryozoatelep-törödékek, kagyló- és csigaembriók, operculumok és bemosott szivacs- és süntüsketörödékek.

A vizsgált rétegek a kora szarmatában rakódhattak le az *Aurila merita* jelenléte alapján. A faj csak az alsó szarmatában, a *Cytheridea hungarica*–*Aurila mehesi* kagylósrákszónában fordul elő (TÓTH 2009). Koruk így megegyezik a



13. ábra. A Szent Mór Iskolaközpont építkezésén feltárt szarmata mészkő mikrofossziliái. A) Szöveti kép *Elphidium* sp.-vel (nyílal jelölve); B) Miliolidae; C) Microcodium. B-C léptéke 500 mikron.

Figure 13. Microfossils in the Sarmatian limestones of the Szent Mór school. A) Texture photo with *Elphidium* sp.; B) Miliolidae; C) Microcodium. Scale bar for B-C is 500 microns.

Havi-hegy mészkővének korával, ahol a vastag héjú, nagy ostreák szintén megjelennek (SEBE et al. 2015), bár HÁMOR (1970) nem említi őket a Havi-hegy leírásánál. A meghatározott kagylósrakok és foraminiferák jó része epifita életmódot folytathatott, valószínűleg egy tengerifű-közösség fosszilizálódott elemei. Hasonló, ma élő közösségeket írtak le a Földközi-tengerből (LANGER 1993, MURRAY 1991). Ilyen leletanyag gyakori a magyarországi alsó szarmata képződményekben (GÖRÖG 1992, TÓTH 2008, TÓTH & GÖRÖG 2008). A mikrofauna sekélytengeri (vízmélység <50 m alatti), meleg, mérsékelt, közel normál sótartalmú, jól szellőző környezetre utal. A kiválogatott ősmaradványok nagyobb hányada koptatott, sérült példány volt, ami erősen mozgatott üledékgyűjtőre utal. Néhány jó megtartású egyed is előfordult, ami összemosásra enged következtetni. A szimbiontákkal együtt élő porcelánvázú nagyforaminiferák, a *Borelisek* jelenléte a mintában inkább a felső badeni képződményekből való bemosódásra utal, mintsem in situ megőrződésre, bár utóbbira is van példa (GAGIĆ 1983).

Elsődleges értelmezés

A két feltárt összlet közti szögdiszkordancia (kora) szarmata és (késő) pannóniai közti mozgásra utal, míg a pannóniai homok dőlése az üledékképződést követő eseményre. Mindkét deformációt létrehozhatta az az É–D-ies kompresszió, amelynek hatására a Mecsek az előtere felé tolódott.

Feltűnő, hogy mind a szarmata, mind a pannóniai üledékben az alaphegységi eredetű kavicsokat csak középső triász mészkő képviseli, miközben a feltáráshoz legközelebb ma paleozoos gránit és metamorfitek, valamint alsó jura márga és homokkő bukkan a felszínre (14. ábra). A legközelebbi triász feltárás 350 m-re ÉÉNy-ra található. A 300 m-re NyDNY-ra elhelyezkedő Bt-7 fúrásban a pannóniai homok alatti szarmata faunás mészkő fillitre települt (CHIKÁNNÉ JEDLOVSZKY & KÓKAI 1980; a fúrás Pécs 4/7 néven szere-

pel), keletebbre, a Havi-hegy környékén pedig alsó jura üledékekre. A szarmata mészkőben a kristályos és jura kavicsok hiánya így nem annak tudható be, hogy csak később kerültek felszínre, lepusztulási helyzetbe ezek az összletek, hanem a szarmata elöntés során hamar lefedődhetek. A szarmata utáni mozgások nemcsak az addig lerakódott üledékes rétegsor kibillenését okozhatták, hanem tagolt domborzatot és helyenként eltérő mértékű eróziót is. Míg a pannóniai homok a Szent Mór iskola feltárázásában és a Bt-7 fúrásban szarmata mészkőre települt, a kettő között, a feltárástól 100 m-re Ny-ra mélyült Ph-2 fúrásban közvetlenül paleozoos fillitre (CHIKÁNNÉ JEDLOVSZKY & KÓKAI 1980).

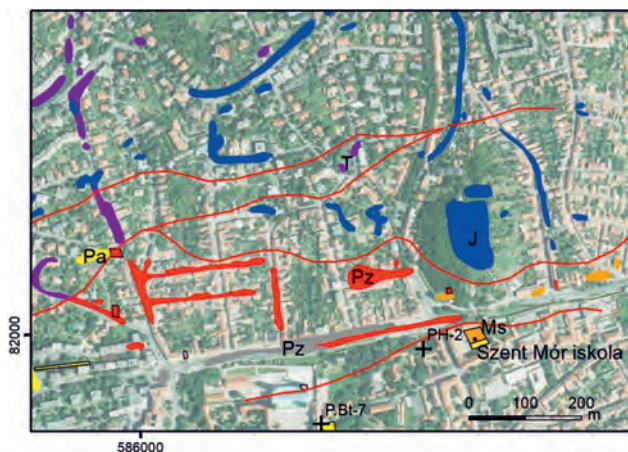
Havi-hegy

A feltárások leírása

A Havi-hegy szarmata mészkőszirtje Pécs jellegzetes tájképi része (1. ábra, 16. ábra A). A közelmúltban néhány építkezés feltárta a mészkő fekvésében települő vagy vele részben összefogazódó törmelékeny képződményeket.

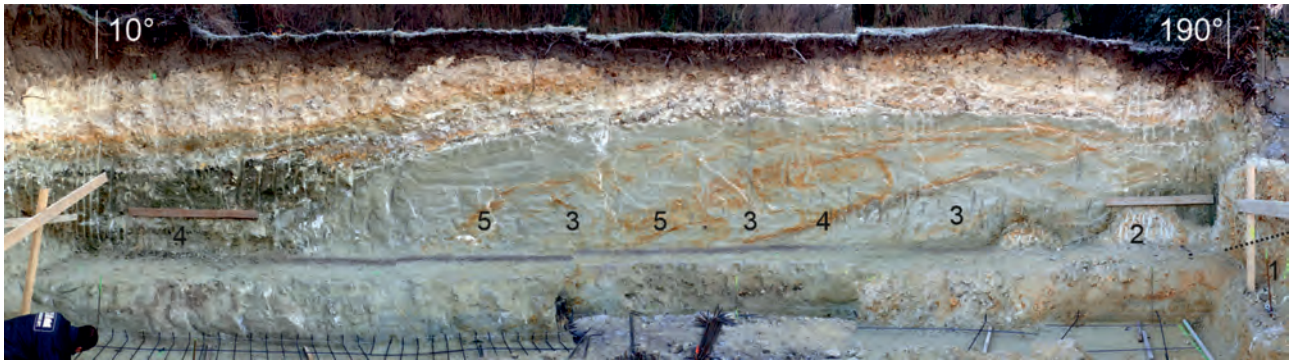
A legnagyobb mesterséges feltáráshoz, a hegy nyugati felén, a Hegyalja u. 114. ház helyének oldalában 2015-ben a Szent Mór iskola alapozásához hasonló kőzettípusokat lehetett megfigyelni: szürkésárga, homokos kavicsot, 2-3 cm-es, alig-közepesen koptatott kvarc, metamorf és mészkő kavicsokkal (15. ábra A 1); szürke, gumós, héjtörédes mészkövet (2); zöldesszürke, agyagos homokot durvahomok szemcseméretig (3); barnászöld, homokos agyagot (4); valamint szürkészöld, homokos kavicsot, 0,5-1 cm-es kvarc és metamorf kavicsokkal (5). A kavicsrétegeken bizonytalanul 340/20 dőlést lehetett mérni, de a legfőbb két réteg (5, 4) az ÉK-i sarokban ÉK-ies dőlést mutatott. Délebbre, a Hegyalja u. 86. ház alapjánál az utcáról hasonló rétegsor látszott délies, 20-25° körüli (ál)dőléssel. A hegy túloldalán, a Zerge utca keleti oldalán hasonló kőzettípusok fordultak elő, lencsésen, összefogazódva, mellettük és részben alattuk több m vastag mészkőpaddal. Az erősen csillámos, akár 0,5 cm-es muszkovitpikkelyeket tartalmazó homok- és kavicsrétegekben itt is előfordultak jól koptatott triász mészkő kavicsok.

A Havi-hegy szerkezetét illetően NAGY & HÁMOR (1964) sűrű redősort ábrázol a területre (16. ábra B), közöttük szoros redőkkel. A szarmata mészkő fölött a késő miocénben legfeljebb 200-300 méter fedő lehetett (~400 m tszf. magasságig; SEBE et al. 2013), ez a betemetettség messze nem elég ahhoz, hogy a már kőzetté vált, rideg mészkő folytonosan deformálódjon és szoros redőkbe gyűrődjön. Amennyiben az ábrázolt szerkezeti kép helytálló, a gyűrődésnek még a kőzet teljes megszilárdulása előtt, a szarmata korszakban kellett történnie. A kérdés tisztázása céljából bejártuk a mészkőtest területét, megfigyelve a rétegek kapcsolatait és a lehető legtöbb helyen rétegdőlést mérve. Tapasztalataink fő vonásaiban megegyeztek a NAGY & HÁMOR (1964) által felvázolt képpel: hasonló rétegdőléseket mértünk (16. ábra A), és a redőket formáló rétegcsoportok sokáig követhetők voltak. A fő eltérés a hegy északi végén jelentkezett, ahol nevezett szerzők a meredek, ÉNy-ias dőlésű rétegeket egy anti-



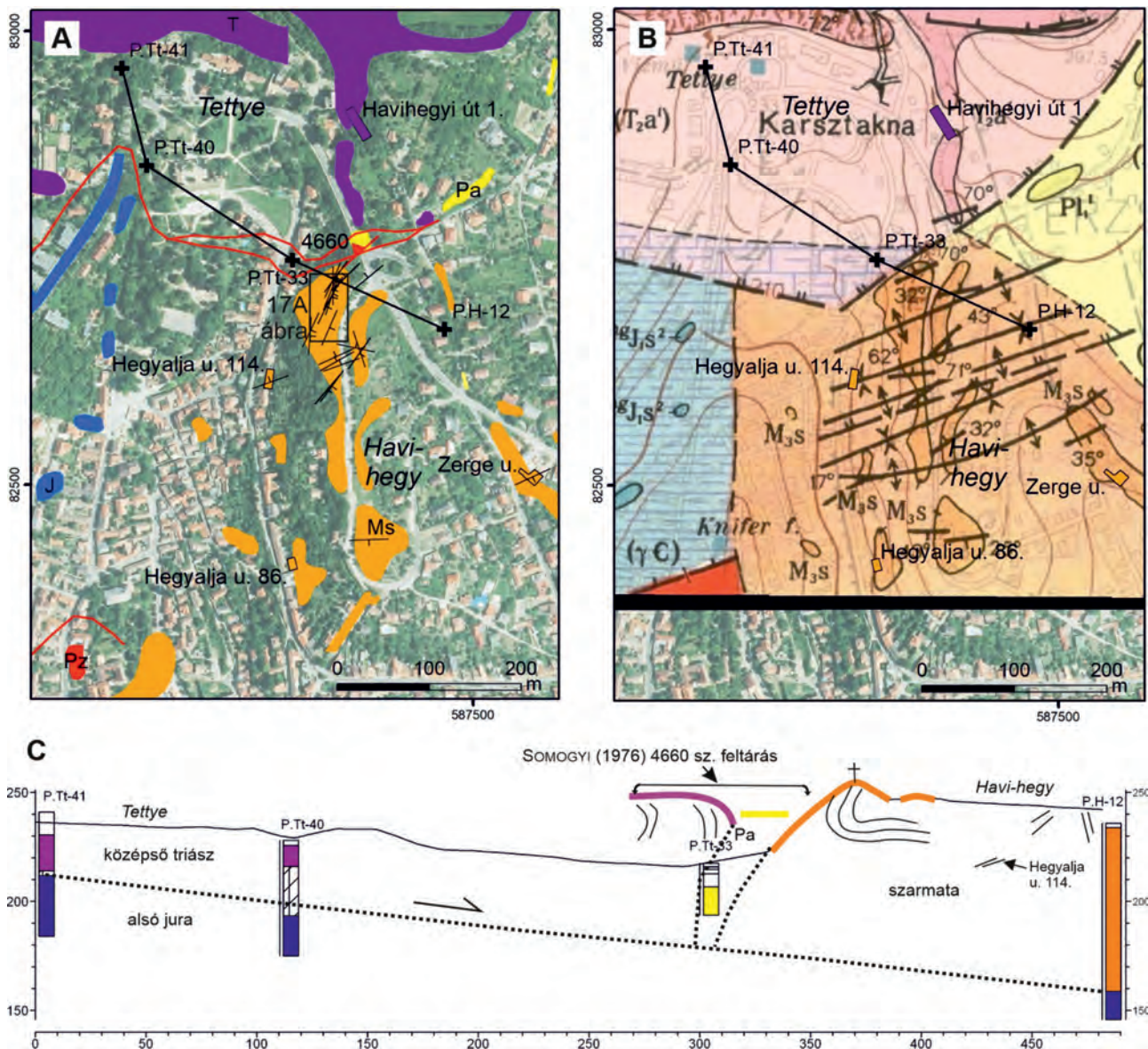
14. ábra. A Szent Mór iskola elhelyezkedése a korábban észlelt feltárások között, 2004-es légifelvétel alapon. A korábbi észlelések NAGY & HÁMOR (1964), SZEDERKÉNYI (1970), SOMOGYI (1976a) és saját megfigyelések alapján. Pz: Paleozoikum; T: triász; J: jura; K: kréta; M2s: szarmata; Pa: pannóniai.

Figure 14. Location of the Szent Mór school among outcrops observed in the past. Previous observations based on NAGY & HÁMOR (1964), SZEDERKÉNYI (1970), SOMOGYI (1976a) and own data. Pz: Paleozoic; T: Triassic; J: Jurassic; K: Cretaceous; M2s: Sarmatian; Pa: Pannonian.



15. ábra. A Hegyalja u. 114. feltárása a Havi-hegyen. A feltárás helyét a 16. ábra mutatja. A számok magyarázata a szövegben.

Figure 15. Construction site at Hegyalja u. 114. on Havi Hill. For the location see Fig. 16, for the explanation of numbers see the text.



16. ábra. A) A havi-hegyi feltárások elhelyezkedése a korábban észlelt feltárások között, 2004-es légifelvétel fölött. A korábbi észlelések CHIKÁNNÉ JEDLOVSKY (1978b), CHIKÁNNÉ JEDLOVSKY & KÓKAI (1982), NAGY & HÁMOR (1964) és saját adatok alapján. Pz: Paleozoikum; T: triász; J: jura; Ms: szarmata; Pa: pannóniai. B) A Havi-hegy NAGY & HÁMOR (1964) térképén. C) Szelvény a Tettyén és Havi-hegyen keresztül, a térképeken látható nyomvonalon. A színes vonalak a kibúváásokat jelölik; a rétegzés a szelvény déli végén bevetített.

Figure 16. A) Location of outcrops around Havi Hill among outcrops observed in the past. Previous observations from CHIKÁNNÉ JEDLOVSKY (1978b), CHIKÁNNÉ JEDLOVSKY & KÓKAI (1982), NAGY & HÁMOR (1964) and own data. Pz: Paleozoic; T: Triassic; J: Jurassic; Ms: Sarmatian; Pa: Pannonian. B) The hill in the map of NAGY & HÁMOR (1964). C) Cross-section along the line indicated in the maps. Colour lines indicate outcrops. Bedding near the southern end of the profile is projected.

klinális északi szárnyaként értelmezték, hasonlóan VADÁSZ (1935) véleményéhez. A mészkövet oldalról, csapásirányból szemlélve egyértelművé vált (17. ábra), hogy szinklinálisról van szó, amelynek északi szárnya átbuktatott. Ezt a szárnyat párhuzamos, vízszinteshez közeli helyzetű síkok metszik, amelyek mentén a felső közetszelet mai helyzetében laposan dél felé csúszott (17. ábra). Mind e nagy szinklinálisnak, mind a hegy tetején a mérésekből kirajzolódó redőknek a tengelye ÉK felé dől (17. ábra B). A redők ÉNy–DK-i kompresszió hatására jöhetnek létre az ÉK-i billenés előtt. Egyes rétegtalpokon Mohr-párokat alkotó, a rétegzésre nagyjából merőleges litoklázisok sorozata figyelhető meg, amelyek eredeti helyzetükbe visszaforgatva szintén ÉNy–DK-i összenyomásra utalnak (17. ábra C). Néhány kisebb feltolódás erre közel merőleges kompressziót valószínűsít, ezek a rétegsor keleties kibillenésével lehetnek egykorúak (17. ábra C).

A szinklinális északi szárnyát metsző síkok jelenlegi helyzetükben dél felé mutató áttolódásnak tűnnek, és keleties dőlésük van (17. ábra A, E). Karcokat nem találtunk rajtuk. Úgy tűnik, hogy dél felé, a magasabb helyzetű, fiatalabb rétegek felé nem folytatódnak, ami szinszediment vetőmozgásra utalna. Ha feltesszük, hogy a síkok a redőződés előtt keletkeztek, és a helyi rétegdőlések alapján visszaforgatjuk őket eredeti helyzetükbe, akkor ÉÉNy-i dőlésű, meredek, normál komponensű vetőket kapunk (17. ábra E, bal lent). Csapásuk ez esetben megegyezik a Mecsek-alja-öv vetőinek itteni csapásával, meredekségükből pedig arra következtethetünk, hogy a mozgásnak oldalirányú összetevője is lehetett. Mivel a rétegsor fiatalabb részét nem érintik, szinszediment tágulást, valószínűleg transzzenziót jeleznének. Ha azt feltételezzük, hogy a redőződés után, de még az ÉK-i kibillenés előtt jöttek létre, akkor a redőtengely dőlése alapján kell visszabillentenünk őket ahhoz, hogy eredeti helyzetüket lássuk. Ez esetben (17. ábra jobb lent) DK-ies dőlésű, tehát ÉNy-ias vergenciájú, igen lapos rátolódásokat kapunk. Az ÉNy–DK-ies összenyomás megegyezik a redőződést okozó hatással, az ÉNy-i vergencia, azaz a hegy felé tolódás azonban nem túl valószínű. Harmadik feltételezésünk az lehet, hogy a jelenlegi az eredeti helyzetük (17. ábra E, fent). Ekkor a redősor kibillenése után, ÉK–DNy-i összenyomás hatására jöhetett létre a rétegeken ma látható eltolódás, azaz tulajdonképpen a billenés folytatásaként. Nehezen magyarázható viszont, hogy a deformáció miatt csak a rétegsor alsó részét érintette volna.

A Havi-hegy mészkő rétegsorának legfelső tagját képező nagyostreás mészmárgapad puhatestűit és mikrofaunáját már 2015-ben leírták, de korát a szarmatán belül nem sikerült biztosan megállapítani (SEBE et al. 2015). A mikrofauna partközeli, 10 m-nél sekélyebb, instabil, inkább fluktuáló sótartalmú környezetre utalt. Mivel ez a pad zárja a rétegsort és behatárolja a mészkőtest és a deformációk korát, a réteget újrvizsgáltuk a kor pontosítása céljából. A kioldott mikrofauna-együttesben foraminiferák és kagylósrákok is megjelennek. A foraminiferák közül nagy gyakorisággal fordul elő a tágtűrűsű *Ammonia beccarii* faj, de megjelennek mellette a *Porosonion granosum* egyedei és a *Miliolina*-félék is (*Quinqueloculina* sp. és *Varidentella* sp.). A főként kettős

teknőkként megmaradt kagylósrákvázak alapján a következő taxonokat sikerült azonosítani: *Aurila* sp. és *Senesi vadaszi*. Utóbbi taxon előfordulása alapján a vizsgált rétegek a kora szarmatában rakódtak le. Ez összhangban van azzal, hogy a szarmata képződményekben ritka, nagy méretű osztrigákat általában az alsó szarmatából ismerjük (pl. *Crassostrea*-töredékeket a Stájer-medencéből a szarmata bázisáról; HARZHAUSER & PILLER 2004).

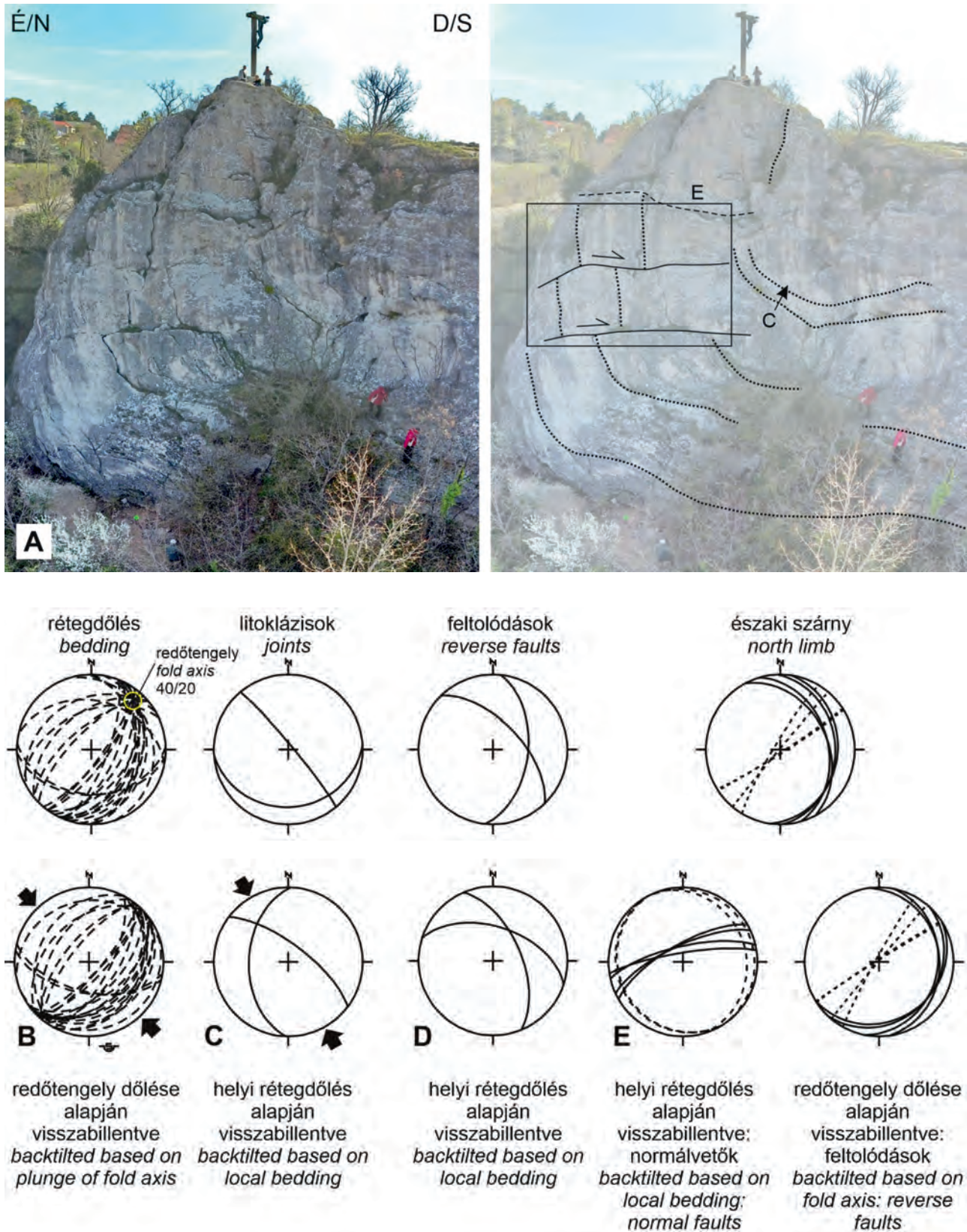
A Havi-hegytől valamivel északra, a Havihegyi út 1. háznál 2020-ban készült bevágás középső triász Lapisi Mészkővet, valamint annak törmelékét tárta fel (18. ábra). A Lapisi Mészkő a feltárás két végében jelent meg, erősen gyűrt, nehezen követhető rétegekkel. A két blokk közt 13–14 m vastag kemény, mészcementált, osztályozatlan mészkőbreccsa volt látható, amit mindkét oldalon agyagot is tartalmazó vetőzóna határolt. A délebbi, 346/36 dőlésű, 0,5 m széles vető nagyobb részét mészkőtörmelék, déli 10 cm-et barnásszürke agyag töltötte ki. Az agyagrétegből vett mintából kevés mikrofosszília került elő, melyek főként 0,5 cm-es, *Bythinia*-félékhez tartozó csiga operculumok voltak. A kagylósrákok közül a *Candona* genust sikerült azonosítani. Az ősmaradvány-együttes neogén édesvízi, tavi, esetleg folyóvízi környezetre utal. *Bithynia tentaculata* operculumokat BODA (1959) említi a várpalotai szarmatából, és a Mecsekben is tartalmaz édesvízi rétegeket a szarmata rétegsor (SZUROMI-KORECZ et al. 2021). Ez alapján a mintázott összlet tartozhat a szarmatába, bár a rendelkezésre álló adatok alapján ez biztosan nem állapítható meg.

Elsődleges értelmezés

A törmelékes rétegek metamorf és kis részben triász mészkő kavicsanyaga alapján a kora szarmatában az alaphegységi köztettek hasonló helyzetben lehettek a maihoz (16. ábra A), elérhető közelségben.

A szarmata rétegsor uralkodóan folytonosan deformálódott, számottevő betemetettség nélkül. Ennek a mészkő teljes megszilárdulása (közetté válása) előtt meg kellett történnie. A réteglapok a szinklinálisban gyakran hullámosak, egyenetlenek, nehezen követhetők. A szinklinális északi szárnyát metsző lapos vetők és a réteglapokat metsző konjugált litoklázisok is hullámosak. Kevés a réteglap menti csúszófelület a hegyen, ami utólagos gyűrődés során jellemző. E tulajdonságok megerősíthetik a „félkemény” állapotban történt deformációt. (Hasonló jelenségeket szintén litorális mészkőben írtak le a Budai-hegységben is (MAGYARI 1997).) A mészkő a rétegsor legtetőjén található nagy ostreás pad alapján a kora szarmatában rakódott le, 12,65 és kb. 12 millió év között (RAFFI et al. 2020). Ekkor képződhetek a nagy szinklinális (17. ábra) északi szárnyát metsző vetők, eredetileg normálvetőként, és a gyűrődésnek is nagyjából ekkor kellett történnie. A redősor később kibillent ÉK felé, amihez további kisebb feltolódások kialakulása társult.

A szarmata és a középső triász mészkő a Havi-hegy északi végénél ma tektonikusan érintkezik (NAGY & HÁMOR 1964; 16. ábra B). A középső triász mészkő szarmatára való „pikkelyes reátolódását” már VADÁSZ (1935) felismerte. A feltolódás koráról későbbi adatok szolgáltatnak információt.



17. ábra. A Havi-hegy északi végének gyűrt alsó szarmata mészkőve. A) Látkép délnyugatról a hegy északi részén. A feltárás helyzetét lásd 16. ábra A. B) A mészkővön mért rétegdölések sztereogramjai. C) A mészkőrétegeket metsző, Mohr-párokat alkotó litoklázisok sztereogramjai. D) A mért feltolódások sztereogramjai. E) A szinklinális északi szárnyának lapos síkjai és rétegdölései.

Figure 17. Folded lower Sarmatian limestone of Havi Hill. A) View from southwest at the northern end of the ridge. For site location see Fig. 16 A. B) Stereoplots of bedding dips. C) Conjugate joints crosscutting the layers. D) Reverse faults. E) Flat planes and bedding dips in the north limb of the syncline.



18. ábra. A Havihegyi út 1. feltárása. A feltárás helyét a 16. ábra mutatja. A) A feltárás látképe. A fal ~25 m hosszú. B) Az agyagos vetőzónák sztereogramja. C) Bithyniidae operculum.

Figure 18. Construction site at Havihegyi út 1. For the location see Fig. 16. A) Photo of the site. Outcrop is ~25 m long. B) Stereoplot of clayey fault zones. C) Bithyniidae operculum.

SOMOGYI (1976c) a Tettyéről „a Haviboldogasszony-hegy felé haladó műút mentén” „az anizuszi és szarmata mészkő között, pikkelyként becsípve 25 m hosszban, sárga pannóniai homok (aprószemű)” jelenlétét észlelte (16. ábra A; 4660 sz. feltárás), emellett leírta, hogy a triász és a szarmata mészkő ÉNy-i dőlésű sík mentén érintkezik. Bár a feltárást alaposan dokumentálta, ez a megfigyelés nem került fel a két évvel később elkészült építésföldtani térképre (CHIKÁN et al. 1978). Pedig az építésföldtani térképezéshez mélyült fúrások összecsengtek a megfigyeléssel: a feltárással csapásban a Tt-33 fúrás a kvarter alatt elérte a pannóniai homokot. Ez alapján legalább a rövidülés egy részének a pannóniai üledékképződés után kellett történnie.

A Tettyén két fúrás (Tt-40 és Tt-41) harántolta a középső triász mészkő alatt az alsó jura márga-homokkő összletet (CHIKÁNNÉ JEDLOVSKY 1978b) (16. ábra C). A triász karbonátok alsó jurára tolódása alapvetően a kréta közepére tehető, amikor a Mecsek mai szerkezetének fő vonásai kialakultak (CSONTOS & VÖRÖS 2004). Ekkor jöhettek létre a triász mészkő peremén a DK felé átbuktatott redők, amelyek ma is megfigyelhetők a Havi-hegyre vezető út bevágásában (16. ábra C). A csúszási sík a neogénben felújulhatott. A hegységelőtérben, így a Havi-hegyen és tőle keletre, a szarmata üledéksor rátelepül az alaphegységre: kis részben kristályos kőzetekre, nagy területen alsó jurára. A szarmatában több helyen megtalálható középső triász mészkő kavicsanyag alapján a triászt is fedhette egy időben. A neogén mozgások során a triász tovább tolódhatott az előtér felé, és felgyűrhetette a szarmata sorozat északi részét. A mozgást elősegíthette a fekvő jura összlet márgás mivolta, de a deformáció egy részét felvehették a szarmata rétegsoron belüli törmelekes szakaszok is.

A triász és a szarmata közé a pannóniai homok becsípődése egy későbbi fázisban történhetett. Ahogy a Havi-hegynél, tőle keletre a hegységperemen is az jellemző, hogy a felső miocén üledékek részben lefedik a triász és szarmata kőzeteket, részben tektonikusan becsípve, a triász alatt találhatók meg (SOMOGYI 1976c, 1977). Ennek korához adhatnak adatot a közelben, ÉK felé elhelyezkedő pannóniai feltárások, amelyek FERENCZINÉ (1937) Zelms-, Lazarovits-, Sigrist- és Polgár-bányaként szerepeltek. Ezekből SÜMEGHY ha-

tározása alapján FERENCZI (1937) olyan puhatestű-faunákat ismertet, amelyekben vegyesen fordulnak elő idősebb és fiatalabb pannóniai fajok, minden bizonnyal a pontatlan határozások miatt. A *Melanopsis fossilis* (= *martiniana*), *M. rarispina*, *Tinnyea vasarhelyii*, *Congerina zsigmondyi*, *C. partschii*, *Lymnocardium* cf. *tegulatum*, *L.* cf. *majeri* (valószínűleg *L. winkleri*) fajok jelenléte alapján véleményünk szerint ezek a rétegek a *Lymnocardium conjungens* zóna fiatalabb részébe tartozhatnak, hasonlóan a Pécs-Danitzpusztán feltárt márga rétegsor felső részéhez (10,5-10,2 Ma). Feltételezzük, hogy a faunalistákban téves határozás miatt szerepelnek ennél fiatalabb fajok, például a *Congerina triangularis* és a *Pseudocatillus* cf. *simplex*. A *Viviparus* nemzetség jelenléte két feltárásban is zavarba ejtő, ez a nemzetség ugyanis nem ismert az idősebb pannóniai rétegekből, ugyanakkor nehezen keverhető össze más pannóniai csigával.

A Havihegyi út 1. alatti feltárás alapján a neogén vetős mozgások nemcsak a triász összlet határán zajlottak, hanem attól nem túl távol a Lapis Mész köbelsőbb részeit is érintették.

Az eredmények megvitatása

A vizsgált helyszínek egy nyugat-keleti szelvény mentén helyezkednek el, lefedve a Mecsekalja-öv pécsi szakaszának nagyobb részét. Pannóniai üledékek a teljes hosszban, szarmata csak a keleti részen fordult elő. Az egyes feltárásokban tett megfigyelések alapján következtetéseket tehetünk a terület neogén fejlődéstörténetére vonatkozóan.

Eseménytörténet

A szarmata képződmények mikropaleontológiai vizsgálata minden érintett feltárásban kora szarmata kort mutatott. Ez összhangban van CHIKÁN (1991) azon megfigyelésével, hogy a Nyugat-Mecsekben a szarmata emelet felső része hiányzik. Üledékfolytonos szarmata–pannóniai átmenet csak a déli hegységelőtérben, illetve a hegység keletebbi részén, az alaphegységi beöblösödések kitöltő neogén rétegsorokban figyelhető meg (SZEDERKÉNYI 1963, HÁMOR 1970, CSO-

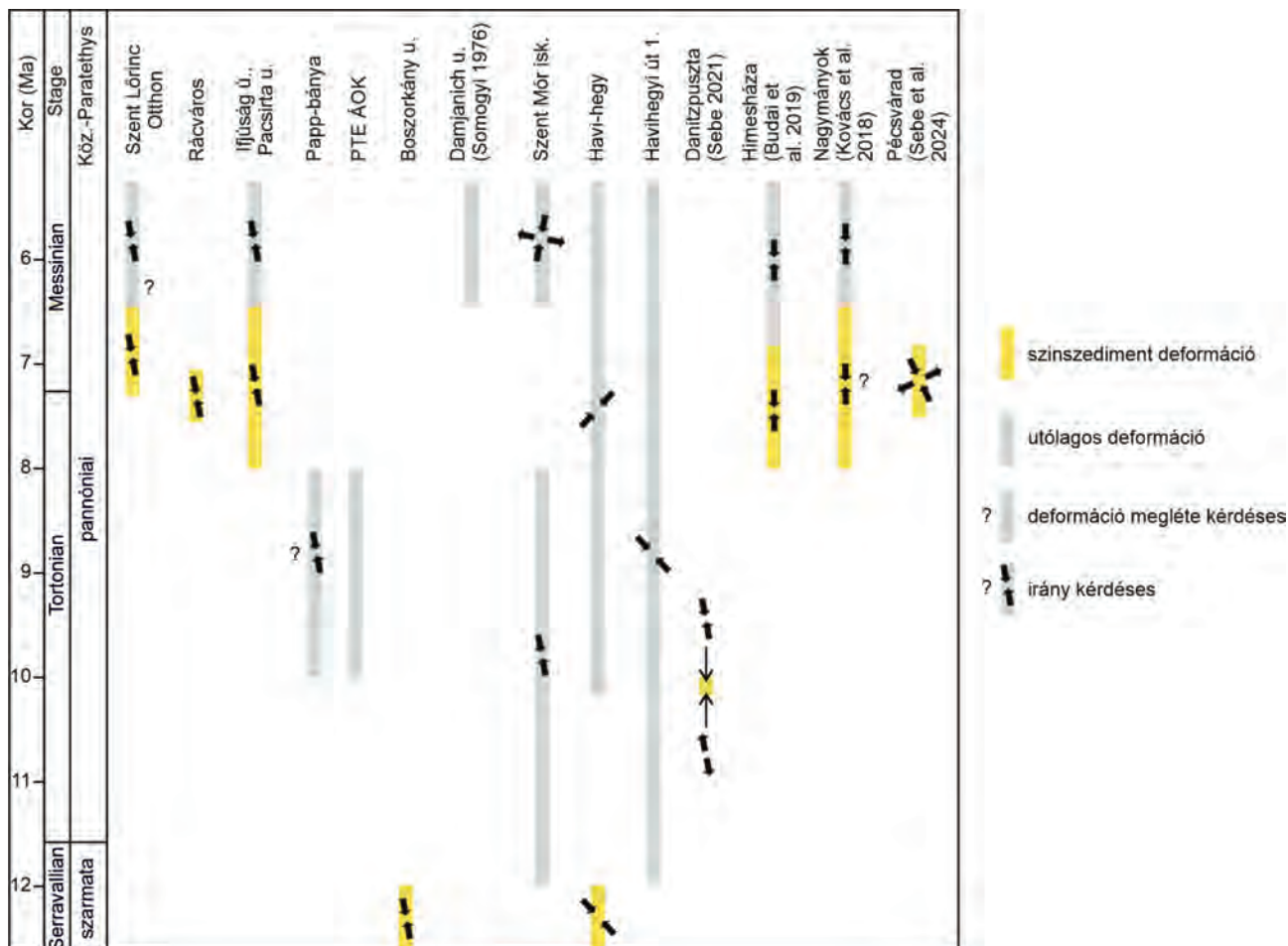
MA et al. 2021). A szarmata tengerelöntés idején a Mecsek-peremi part meredek és tagolt lehetett, időnként jelentősebb édesvíz-befolyással. A partvonalat alkotó közzettettek térbeli mintázata a maihoz hasonló képet mutathatott.

Az eddig lerakódott képződmények még a szarmata korszakban, a teljes közzetté válás előtt meggyűrődtek a Boszorkány úton és a Havi-hegyen. A redőtengelyek (É)ÉNy–(D)DK-i irányú összenyomást mutatnak, összhangban az eddigi szerkezetföldtani rekonstrukciókkal (CSONTOS et al. 2002a, KONRÁD & SEBE 2010) (19. ábra).

Az idősebb pannóniai képződmények szórványosan fordulnak elő Pécsen. A most vizsgált feltárások közül a PTE orvosi kar építkezése képviseli ezeket, az itt feltárt üledék 10–9,6 Ma között rakódhatott le a Pannon-tó sekély vizében. Archív adatok alapján hasonló korú a szomszédos Papp-bánya alsó egysége, valamint a Havi-hegytől ÉK-re található pannóniai feltárások. Az említett feltárások és talán a Szent Mór iskola szarmata rétegsora is még a fiatalabb pannontavi üledékek lerakódása előtt deformálódtak. A jellemzően délies irányú billenés alapján a deformáció É–D-ies összenyomás hatására történhetett, a szarmata rétegsorban eltolódásokat és réteglap menti elcsúszásokat is okozva. Az is lehetséges, hogy a szarmata összlet kibillenése ennél koráb-

ban zajlott, akár a 10,2–10 Ma közt Pécs–Danitzpusztán (1. ábra) történt feltolódásos mozgással (SEBE 2021) egyidejűleg vagy akár azt megelőzően.

A széles elterjedésű, a Mecsek peremén mindenütt megtalálható fiatalabb pannóniai homokösszlet koráról a puhatestű-maradványok alapján a rácvárosi feltárásból és a PTE környékéről rendelkezünk információval. Koruk előbbi helyen 7,6–7,1 Ma közé, a Papp-bányában és a közeli Mat-40 fúrásban (SEBE et al. 2016) 8–6,5 Ma közé tehető. A jelölt időszakban az üledékképződéssel egyidejű mozgások zajlottak, melyek során a Mecsek, illetve itt a peremi pikkelyövben annak egyes szeletei a déli előtérre tolódtak. Ezek megnyilvánulását látjuk az egyes rétegekben megjelenő monomikt, koptatatlan alaphegységi törmelékanyagban a Szent Lőrinc Otthon feltárárásában és Rácvárosban (valamint a PTE ÁOK feltárástól északra lévő Ifjúság úti homokbányában; SEBE et al. 2016), Rácvárosban a rétegdőlés változásában és a szinszediment feltolódásokban, és erre utalnak SZABÓ (1972b) fúrési adatokból végzett szerkesztései Rácváros és a Zsebe-domb között. A Pécsről keletre végzett megfigyelések (pl. Pécsvárad, Himesháza; KONRÁD & SEBE 2010, CSONTOS et al. 2002a, BUDAI et al. 2019) hasonló eredményeket adtak.



19. ábra. A vizsgált feltárások szerkezeti elemeiből következtetett deformációs időszakok

Figure 19. Deformation intervals inferred from the studied outcrops

A pannóniai üledékképződést követő kompressziós deformáció szinte minden feltárásban tetten érhető. A Szent Mór iskolánál a felső miocén homok kibillenése jelzi, az összes többi helyszínen vagy közvetlen közelükben pedig alaphegységi, egy esetben (a Boszorkány úttól keletre) szarmata kőzetek tolódtak a pannóniai üledékekre. Lehetséges, hogy a Havi-hegyi redők keleties kibillenése is e fázis következménye. A Havi-hegytől északra található Misina–Tübestömb triász karbonátjai ugyanis az É–D-ies összenyomás elől keleti irányban kiszökve tolódtak rá a Pécsbányai-medence felső triász – alsó jura törmeléken. A pannóniai üledékképződés után (LEDŐ et al. 2013), és ez a mozgás kiválthatta az előtér billenését is. A posztpannóniai deformáció széles körben kimutatható volt a tágabb környéken: a Mecsekalja-öv keleti folytatásában, a Mórággyi-rög északi részén (MAROS et al. 2004), a Kelet-Mecsekben az Északi-pikkelyben (WEIN 1961, TARI 1992), valamint a hegység déli előterében is (NAGY & NAGY 1976).

Geodinamikai háttér

A Kárpát-medence tercier szerkezetfejlődésének fő irányítója az Európa–Afrika (Adriai-tüske) közeledés, a környező hegységkeret alatt a szubdukció és a felső lemez(ek) deformációja, riftesedés, főleg keleties irányú megnyúlás és merőleges rövidülés formájában (FODOR et al. 1999, HORVÁTH et al. 2006). A hagyományos felosztás szerinti színrift, posztrift és neotektonikus (medenceinverzióval járó) fázisokkal kapcsolatban a közelmúlt kutatásai arra mutattak rá, hogy a medencefejlődés szakaszai egy nagyobb medencén belül nem egyidősek, határuk diakron, és maga a riftesedés is vándorol a medencén belül (BALÁZS et al. 2016, 2024; ORAVECZ et al. 2024).

A vizsgált területen észlelt legidősebb, kora szarmata kompressziós deformáció a hagyományos beosztás szerinti tágulós, vetős árokfejlődéses színrift fázisra esik. A Mecsekben eddig nem írtak le ebből az időszakból rövidüléssel járó szerkezetalakulást. A Bakonyban a Telegdi-Roth-vonal mentén és Csesznek környékén tapasztaltak szarmatára, esetleg kora pannóniaira datálható transzpressziós mozgást (FODOR et al. 1999, KISS & FODOR 2007, FODOR 2010). A szarmata–pannóniai határon sok helyen figyeltek meg a Kárpát-medencében diszkordanciát és rövidülési deformációt („poszt-szarmata inverzió”), így a közelben a Kelet-Mecsekben (BENKOVICS 1997) és Horvátország északi részén is (TOMLJENOVIC & CSONTOS 2001), amit az alábukás megszűnésével és a medencealjzatot alkotó lemezek európai peremhez való ütközésével magyaráztak (HORVÁTH 1995, 2007). A Mecsekalja-öbben most leírt kora szarmata rövidülés ezt korábban valamivel megelőzi – esetleg lehet ennek oka a Mecsek Adriai-tüskéhez való közeli helyzete.

A következő, a pannóniai korszak első felére tehető rövidülés már a hagyományos értelemben vett posztrift fázisra esik, amelyre süllyedés és mérsékelt extenzió lenne jellemző. A pannóniai korszak elején valóban süllyedés volt jellemző a területre, mélyült a Dráva-medence (SEBE et al. 2010), szinszediment extenziót írtak le a Pécsbányai-medencében és Horvátország északi medencéiben (TOMLJENO-

VIĆ & CSONTOS 2001, CSONTOS et al. 2002b). A Mecsekben az utolsó kimutatható extenziós (transzteniós) fázis 10,2–10 Ma közt zajlott (Pécs-Danitzpuszta; SEBE 2021), amit még ugyanebben a rövid időszakban erőteljes kompresszió váltott fel. Ezt követően sehol sem lehetett már egyértelműen megnyúlásos deformációt dokumentálni. A Pannomedence neotektonikus inverzióját az eddigi publikációk 8,5–8 Ma körülre tették annak délnyugati részén (TOMLJENOVIC & CSONTOS 2001, CSONTOS et al. 2002a, FODOR et al. 2005, HORVÁTH et al. 2006, UHRIN et al. 2009, BALÁZS et al. 2016). Úgy tűnik, hogy a Mecsekben már 10 millió évvel ezelőtt elkezdődhetett a medenceinverzió. A korai időpontban szerepe lehet a Kárpát-medencére nyomást gyakorló Adriai-tüske közelségének.

A neotektonikai időszakot és benne a mai feszültségmezőt a modellezések szerint a Mecsek környékén ÉK–DNy-i (KOROKNAI et al. 2023b szerint ÉÉK–DDNy-i) legnagyobb vízszintes feszültségtengely és a Mecsekalja-öv mentén balos eltolódás jellemzi (KOROKNAI et al. 2023a, BÉKÉSI et al. 2023, PORKOLÁB et al. 2023). A feltárásokban dokumentált szerkezeti elemekből jellemzően ÉÉNy–DDK-i legnagyobb vízszintes feszültségre tudunk következtetni, ami a Mecsekalja-öv vizsgált szakaszán szinte tiszta összenyomást eredményez. Elképzelhető, hogy a regionális feszültségmező ugyan ÉK–DNy-ias, ám a Mecsek a helyi viszonyok miatt nem ennek megfelelően viselkedik. A hegység szerkezeti határait jelentő vetőzónák, a Mecsekalja-öv és a Bakócai-vető a hegység DNy-i végénél összefutnak (HAAS et al. 2010). A Mecseknek nincs helye a Mecsekalja-öv mentén balos (nyugatias) elmozdulásra, így inkább fölfelé préselődik ki környezetéből, alapvetően feltolódásos mozgással. Földrengés-fészekmechanizmus alapján NyÉNy–KDK-i legnagyobb vízszintes főfeszültségtengelyt rekonstruáltak a Nyugat-Mecsekben, míg a hegység déli előterében ÉK–DNy-it (BÉKÉSI et al. 2023). Ezek arra mutatnak, hogy a helyi tényezőknek jelentős szerepük van a konkrét vetőkinematika és a lokális feszültségmező meghatározásában.

Következtetések

A vizsgált feltárásokban egy vagy két kora szarmata és három vagy négy későbbi deformációs időszakot tudunk elkülöníteni a késő pannóniai (8 és 6,5 Ma közé eső) üledékképződést megelőzően, azzal egy időben, valamint azt követően. A pannóniai korszakban biztosan zajlott mozgás 10–9,6 Ma után, de lehetséges, hogy a szarmata üledékek ez előtt (is) deformálódtak. A mozgások általában ÉÉNy–DDK-i irányú összenyomásra utalnak. A PTE ÁOK pannóniai homokjának keleties dőlése helyi jelenség lehet, mert tőle keletre és északra is déli-es-délkeleties irányú feltolódásokat ismerünk (FERENCZI 1937, SOMOGYI 1976b, CHIKÁN et al. 1979). Pécs nyugati részén a rövidülés feltorlasztotta a hegységelőtéri ellenálló, durvatörmeléken üledékeket, a mai domborzatot is befolyásolva.

Az adatok azt mutatják, hogy a Mecsek környékén már a szarmatában és a pannóniai korszak első felében is jelen volt összenyomásos szerkezetalakulás.

Köszönetnyilvánítás

Írásunkkal tisztelni kívánunk SZEDERKÉNYI Tibor munkássága előtt. Tudományos kutatói tevékenysége elsősorban a Tiszai-főegységhez, azon belül is főként a Mecsekhez kötődik. Kezdeményezésére indult meg a Mecsekalja diszlokációs öv részletes kutatása, az általa szerkesztett térkép azóta is kiindulási alapja a témakörben végzett kutatásoknak. A MÁFI Déldunántúli Területi Földtani Szolgálatának vezetésekor megszervezte a pécsi és Pécs környéki építkezésekkel létesült feltárások dokumentálását. A földtani szervezet átalakulása után a Pécsi Tudományegyetemen általa alapított Földtani (ma Földtani és Meteorológiai) Tanszéken folytattuk ezeket a megfigyeléseket, amelynek eredménye a jelen tanulmány is.

Köszönjük DEZSŐ Józsefnek és MAREK Erikának (PTE), valamint HÁMOS Gábornak és CSURGÓ Gergelynek (ME-CSEKÉRC Zrt.), hogy felhívták a figyelmünket egyes feltárásokra; MARSI Péternek (MOL Nyrt.) a vékonycsiszolatok készítését; KATONA Lajosnak a puhatestűek fényképezését; GREGORITS Máténak a havi-hegyi mérésekben nyújtott segítséget. Köszönjük CSONTOS László és HÉJA Gábor Herkules lektoroknak, valamint FODOR László szakszerkesztőnek a kézirat véleményezését és javító szándékú észrevételeiket. A munkát támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal 148576 és 143787 sz. projektje, valamint az MTA gyermeket nevelő kutatókat támogató ösztöndíja. Ez a tanulmány az MTA–MTM–ELTE Paleontológiai Kutatócsoport 423. közleménye.

Irodalom – References

- ANGELIER, J. 1994: Paleostress analysis of small-scale brittle structures. – In: HANCOCK, P. (ed.): *Continental Deformation*. Pergamon Press, Oxford, 53–100.
- BALÁZS, A., MATENCO, L., MAGYAR, I., HORVÁTH, F. & CLOETINGH, S. 2016: The link between tectonics and sedimentation in back-arc basins: new genetic constraints from the analysis of the Pannonian Basin. – *Tectonics* **35**, 1526–1559. <https://doi.org/10.1002/2015TC004109>.
- BALÁZS, A., ORAVECZ, É., BARTHA, A., FODOR, L., MAGYAR, I. & SZTANÓ, O. 2024: Tectonostratigraphic models of an extensional back-arc basin: inferences for the evolution of the Pannonian Basin System. – *Geological Society London Special Publications* **554**. <https://doi.org/10.1144/SP554-2024-83>
- BALLA Z. & GYALOG L. (szerk.) 2009: *A Mórággyi-rög északkeleti részének földtana*. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 283 p.
- BÉKÉSI, E., PORKOLÁB, K. & WÉBER, Z. 2023: Stress field of the Pannonian region (Feszültségmező a Pannon-térségben). – *Földtani Közönlöny* **153/4**, 309. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2023.153.4.mapB>
- BENKOVICS, L. 1997: *Étude structurale et géodynamique des monts Buda, Mecsek et Villány (Hongrie)*. – Doktori értekezés, Université des Sciences et Technologies de Lille, 230 p.
- BODA J. 1959: A magyarországi szarmata emelet és gerinctelen faunája. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **47/3**, 567–862.
- BUDAI, S., SEBE, K., NAGY, G., MAGYAR, I. & SZTANÓ, O. 2019: Interplay of sediment supply and lake level changes on the margin of an intrabasinal basement high in the Late Miocene Lake Pannon (Mecsek Mts., Hungary). – *International Journal of Earth Sciences* **108**, 2001–2019. <https://doi.org/10.1007/s00531-019-01745-3>
- CHIKÁN G. 1991: A Nyugati-Mecsek kainozóos képződményei. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **72**, Budapest, 281 p.
- CHIKÁN G. & CHIKÁN G.-né 1978: *Pécs város építésföldtani térképsorozata. Mecsekalja (3. sz.) 1:5 000-es méretarányú térképlap. Földtani észlelési térkép*. – Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- CHIKÁN G., CHIKÁN G.-né & KÓKAI A. 1978: *Pécs város építésföldtani térképsorozata. Pécsszabolcs (6. sz.) 1:10 000-es méretarányú térképlap. Földtani észlelési térkép*. – Kézirat, SzTFH Adattár, Budapest.
- CHIKÁN G., CHIKÁN G.-né & KÓKAI A. 1979: *Pécs város építésföldtani térképsorozata. Patacs (10. sz.) 1:10 000-es méretarányú térképlap. Fedetlen földtani térkép*. – Kézirat, SzTFH Adattár, Budapest.
- CHIKÁNNÉ JEDLOVSZKY M. 1978a: *Pécs város építésföldtani térképsorozata. Pécsszabolcs (6. sz.) 1:10 000-es méretarányú térképlap. Földtani észlelési magyarázó. I–III. kötet*. – Kézirat, SzTFH Adattár, Budapest, 602 p.
- CHIKÁNNÉ JEDLOVSZKY M. 1978b: *Pécs építésföldtani térképsorozata. Tettye 1:5 000-es méretarányú térképsorozata. Földtani észlelési magyarázó. I–III. kötet*. – Kézirat, SzTFH Adattár, Budapest, 562 p.
- CHIKÁNNÉ JEDLOVSZKY M. 1978c: *Pécs város építésföldtani térképsorozata. Magyarázó a Mecsekalja /3/ jelű térképlaphoz*. – Magyar Állami Földtani Intézet, 409 p.
- CHIKÁNNÉ JEDLOVSZKY M. & KÓKAI A. 1980: *Pécs város építésföldtani térképsorozata. Patacs (10. sz.) 1:10 000-es méretarányú térképlap. Földtani észlelési magyarázó*. – Kézirat, SzTFH Adattár, Budapest, 1017 p.
- CHIKÁNNÉ JEDLOVSZKY M. & KÓKAI A. 1982: *Pécs város építésföldtani térképsorozata. 5. sz. lap, Magyarürög (M=1:10 000). Földtani észlelési magyarázó*. – Kézirat, SzTFH Adattár, Budapest, 1409 p.
- CSOMA V. 2023: A Pannon-tó DNY-i és erdélyi részmedencéinek kagylósrákjai: taxonómiai, biosztratigráfiai, öskörnyezeti és geokémiai vizsgálatok. – *Doktori értekezés*, ELTE TTK FFI Őslénytani Tanszék

- CSOMA, V., MAGYAR, I., SZUROMI-KORECZ, A., SEBE, K., SZTANÓ, O., BUCZKÓ, K. & TÓTH, E. 2021: Pannonian (late Miocene) ostracod fauna from Pécs-Danitzpuszta in Southern Hungary. – *Földtani Közöny* **151/3**, 305–326. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2021.151.3.305>
- CSONTOS, L. & VÖRÖS, A. 2004: Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **210**, 1–56. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.033>
- CSONTOS, L., BENKOVICS, L., BERGERAT, F., MANSY, J.-L. & WÓRUM, G. 2002a: 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. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(02\)00363-3](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00363-3)
- CSONTOS, L., MÁRTON, E., WÓRUM, G. & BENKOVICS, L. 2002b: Geodynamics of SW-Pannonian inselbergs (Mecsek and Villány Mts, SW Hungary): Inferences from a complex structural analysis. – *EGU Stephan Mueller Special Publication Series* **3**, 227–245. <https://doi.org/10.5194/smssps-3-227-2002>
- FERENCZI I. 1937: Adatok a Pécs környéki harmadkori medencerész földtani viszonyainak ismertetéséhez. – *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1929-32-ről*, 365–406.
- FODOR L. 2010: *Mezozoos-kainozoos feszültségmezők és törésrendszerek a Pannon-medence ÉNy-i részén – módszertan és szerkezeti elemzés.* – MTA doktori értekezés, 167 p.
- FODOR, L., CSONTOS, L., BADA, G., GYÖRFI, I. & BENKOVICS, L. 1999: Tertiary tectonic evolution of the Pannonian Basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of palaeostress data. – In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications 156, 295–334. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.15>
- FODOR, L., BADA, G., CSILLAG, G., HORVÁTH, E., RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., PALOTÁS, K., SÍKHEGYI, F., TIMÁR, G., CLOETINGH, S. & HORVÁTH, F. 2005: An outline of neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian Basin. – *Tectonophysics* **410**, 15–41. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.06.008>
- FORD, M., WILLIAMS, E. A. & ARTONI, A. 1997: Progressive evolution of a fault-related fold pair from growth strata geometries, Sant Llorenç de Morunys, SE Pyrenees. – *Journal of Structural Geology* **19/34**, 413–441. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(96\)00116-2](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(96)00116-2)
- GAGIĆ, N. 1983: Representatives of the genus *Borelis* in the Badenian and Lower Sarmatian of Yugoslavia. – *Anuarul Institutului de geologie și geofizică* **59**, 169–181.
- GÖRÖG, Á. 1992: Sarmatian foraminifera of the Zsámbék Basin, Hungary. – *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eötvös nominate, Sectio Geologica* **29**, 31–153.
- GRENERCZY, Gy., KENYERES, A. & FEJES, I. 2000: Present crustal movement and strain distribution in Central Europe inferred from GPS measurements. – *Journal of Geophysical Research* **105/B9**, 21835–21846. <https://doi.org/10.1029/2000JB900127>
- HAAS J., BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L. & KONRÁD Gy. 2010: *Magyarország pre-kainozoos földtani térképe 1:500 000.* – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- HARZHAUSER, M. & PILLER, W. E. 2004: Integrated stratigraphy of the Sarmatian (Upper Middle Miocene) in the western Central Paratethys. – *Stratigraphy* **1/1**, 65–86. <https://doi.org/10.29041/strat.01.1.04>
- HÁMOR G. 1970: A Kelet-Mecseki miocén. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **53/1**, 371 p.
- HORVÁTH, F. 1995: Phases of compression during the evolution of the Pannonian Basin and its bearing on hydrocarbon exploration. – *Marine and Petroleum Geology* **12**, 837–844. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(95\)98851-U](https://doi.org/10.1016/0264-8172(95)98851-U)
- HORVÁTH F. 2007: *A Pannon-medence geodinamikája. Eszmetörténeti tanulmány és geofizikai szintézis.* – MTA doktori értekezés, Budapest, 240 p.
- HORVÁTH, F., BADA, G., SZAFIÁN, P., TARI, G., ÁDÁM, A. & CLOETHING, S. 2006: Formation and deformation of the Pannonian basin: Constraints from observational data. – In: GEE, D. G. & STEPHENSON, R. A. (eds): *European Lithosphere Dynamics*, Geological Society, London, *Memoirs* 32, 191–206. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.11>
- KISS, A. & FODOR, L. 2007: Miocene dextral transpression along the Csesznek Zone of the northern Bakony Mountains (Transdanubian Range, western Hungary). – *Geologica Carpathica* **58/5**, 465–475.
- KLEB B. 1973: A mecseki pannon földtana (Geologie des Pannons im Mecsek). – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **53/3**, 750–943.
- KONRÁD Gy. 2024: *A mecseki permotriász képződmények litosztratiográfiája és szerkezeti helyzete.* – Kézirat, Mecsekérc Zrt. Adattár, 228 p.
- KONRÁD Gy. & SEBE K. 2010: Fiatal tektonikai jelenségek új észlelései a Nyugati-Mecsekben és környezetében. – *Földtani Közöny* **140/2**, 445–468.
- KOROKNAI, B., WÓRUM, G., TÓTH, T., KOROKNAI, Zs., FEKETE-NÉMETH, V. & KOVÁCS, G. 2020: Geological deformations in the Pannonian Basin during the neotectonic phase: New insights from the latest regional mapping in Hungary. – *Earth-Science Reviews* **211**, 103411. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103411>
- KOROKNAI B., WÓRUM G., TÓTH T., KOROKNAI Zs., NÉMETH V. & KOVÁCS G. 2023a: A neotektonikus fázis deformációi Magyarországon. – *Földtani Közöny* **153/4**, 313–334. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2023.153.4.313>
- KOROKNAI, B., BÉKÉSI, E., BONDÁR, I., CZECZE, B., GYÓRI, E., KOVÁCS, G., PORKOLÁB, K., TÓTH, T., WESZTERGOM, V., WÉBER, Z. & WÓRUM, G. 2023b: Seismotectonic map of Hungary. – *Földtani Közöny* **153/4**, p. 353. <http://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2023.153.4.mapD>
- KOSIR, A. 2004: *Microcodium* Revisited: Root Calcification Products of Terrestrial Plants on Carbonate-Rich Substrates. – *Journal of Sedimentary Research* **74/6**, 845–857. <https://doi.org/10.1306/040404740845>
- LANGER, M. R. 1993: Epiphytic foraminifera. – *Marine Micropaleontology* **20**, 235–265. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(93\)90035-V](https://doi.org/10.1016/0377-8398(93)90035-V)
- LEDÓ, T., KONRÁD, Gy. & SEBE, K. 2013: Extrusional deformation along a major transpressional mountain front: Mecsek Mts., SW Hungary. – In: *Abstract book, 11th Meeting of the Central European Tectonic Studies Group (CETeG)*, Várgesztes, Hungary, 24–27. April 2013, 42–43.

- MAGYAR, I. & KATONA, L. 2023: Taxonomic revision of the Lake Pannon cockle subgenus *Lymnocardium* (*Budmania*) BRUSINA, 1897. – *Geologia Croatica* **76/1**, 37–46.
- MAGYARI Á. 1997: Törökugrató: késő-eocén szinszediment pozitív virágszerkezet a Budai-hegység DNY-i peremén. – *Földtani Közlöny* **128/4**, 555–572.
- MAROS Gy., KOROKNAI B., PALOTÁS K., FODOR L., DUDKO A., FORIÁN-SZABÓ M., ZILAHÍ-SEBESS L. & BÁN-GYÖRÝ E. 2024: A Mórággyi-rög ÉK-i részének tektonikai elemzése és szerkezetalakulása. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003-ról*, 371–401.
- MURRAY, J. W. 1991: *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. – Longman Scientific & Technical, Essex, England, 397 p. <https://doi.org/10.4324/9781315846101>
- M. TÓTH T., KOVÁCS G., SCHUBERT F. & DÁLYAY V. 2005: Az ófalui „migmatit” eredete és deformációtörténete. – *Földtani Közlöny* **135/3**, 331–352.
- NAGY E. & HÁMOR G. 1964: *Magyarország földtani térképe, 10000-es sorozat, Pécsbányatelep*. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- NAGY E. & NAGY I. 1976: A Villányi-hegység triász képződményei. – *Geologica Hungarica, Series Geologica* **17**, 111–228.
- ORAVECZ, É., BALÁZS, A., GERYA, T., MAY, D. A. & FODOR, L. 2024: Competing effects of crustal shortening, thermal inheritance, and surface processes explain subsidence anomalies in inverted rift basins. – *Geology* **52/6**, 447–452. <https://doi.org/10.1130/G51971.1>
- ORTNER, H., KOSITZ, A., WILLINGSHOFER, E. & SOKOUTIS, D. 2016: Geometry of growth strata in a transpressive fold belt in field and analogue model: Gosau Group at Muttekopf, Northern Calcareous Alps, Austria. – *Basin Research* **28**, 731–751. <https://doi.org/10.1111/bre.12129>
- PORKOLÁB K., BÉKÉSI E., BROERSE, T., KENYERES A. & WÉBER Z. 2023: Regionális feszültségmező és deformációs sebesség a Pannon-medence térségében: új adatrendszerek és térképek bemutatása. – *Földtani Közlöny* **153/4**, 299–308. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2023.153.4.299>
- RAFFI, I., WADE, B. S. & PÁLIKE, H. 2020: The Neogene period. – In: GRADSTEIN, F. M., OGG, J. G., SCHMITZ, M. D. & OGG, G. M. (eds): *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier, 1141–1215. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00029-2>.
- SEBE K. 2021: Structural features in the Miocene sediments of the Pécs-Danitzpuszta sand pit (SW Hungary). – *Földtani Közlöny* **151/4**, 411–422. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2021.151.4.411>
- SEBE, K., CSILLAG, G., DULAI, A., GASPARIK, M., MAGYAR, I., SELMECZI, I., SZABÓ, M., SZTANÓ, O. & SZUROMI-KORECZ, A. 2015: Neogene stratigraphy in the Mecsek region. – In: BARTHA, I.-R., KRIVÁN, Á., MAGYAR, I. & SEBE, K. (szerk.): *Neogene of the Paratethyan Region. 6th Workshop on the Neogene of Central and South-Eastern Europe. An RCMNS Interim Colloquium. Programme, Abstracts, Field Trip Guidebook*. 2015.05.31–06.03, Orfű. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, 102–124. ISBN 978-963-8221-57-5
- SEBE K., KONRÁD Gy. & HORVÁTH J. 2016: Tektonikai jelenségek a Mecsek-alja-öv pannóniai rétegeiben: Pécs, Ifjúság útja és környéke. – *Természetföldrajzi Közlemények a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi Intézetéből* **2015/1**, 1–11.
- SEBE, K., SZABÓ, M., SZENTESI, Z., PANDOLFI, L., JANKÓ, N. & MAGYAR, I. 2024: Fossils from the Upper Miocene (Pannonian) sands of the Pécsvárad sand pit (Eastern Mecsek Mts., SW Hungary). – *Geološki anali Balkanskoga poluostrva* **85/1**, 49–71, <https://doi.org/10.2298/GABP240228007S>
- SELMECZI I. 2023: Somlóvársárhelyi Formáció. – In: BABINSZKI E., PIROS O., CSILLAG G., FODOR L., GYALOG L., KERCSMÁR Zs., LESS Gy., LUKÁCS R., SEBE K., SELMECZI I., SZEPESI J. & SZTANÓ O. (szerk.): *Magyarország litosztratiográfiai egységeinek leírása II. Kainozoos képződmények. Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága*, Budapest, p. 72.
- SOMOGYI J. 1959: *Földtani napló a 1428 jelű fúrásról*. – Kézirat, Mecsekérc adattár, Pécs, 26 p.
- SOMOGYI J. ?1976a: *Pécs-Makár 1:10000 észlelési térkép*. – Kézirat, SzTFH adattár.
- SOMOGYI J. ?1976b: *Pécs-Makár 1:10000 földtani térkép*. – Kézirat, SzTFH adattár.
- SOMOGYI J. 1976c: *Pécs-Makár, Pécsbányatelep M=1:10 000-es földtani térképre eső feltárások leírása [L-34-61-C-d-2 Pécs földtani térkép feltárásainak leírása]*. – Kézirat, SzTFH adattár, Budapest, 255 p.
- SOMOGYI J. 1977: *Pécs-Makár, Pécsbányatelep M=1:10 000-es földtani térképekre eső feltárások és kutatóárkok rajzos dokumentációja*. – Kézirat, Mecsekérc Zrt. adattár (J-0630), 24 p.
- SZABÓ J. 1972a: *Magyarország földtani térképe, 10000-es sorozat, Cserkút*. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- SZABÓ J. 1972b: *Magyarország földtani térképéhez. 10000-es sorozat, Cserkút*. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 41 p.
- SZEDERKÉNYI T. 1963: Üledékképződési időtartamszámítás a délmecseki szarmata rétegekben. – *Földtani Közlöny* **93/1**, 54–62.
- SZEDERKÉNYI T. 1970: *A mecsek-alja vonal földtani térképe Pécs városában*. – Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet Dél-dunántúli Területi Szolgálat, Pécs.
- SZEDERKÉNYI, T. 1977: Geological evolution of South Transdanubia (Hungary) in Paleozoic time. – *Acta Mineralogica-Petrographica Szeged* **23/1**, 3–14.
- SZUROMI-KORECZ, A., MAGYAR, I., SZTANÓ, O., CSOMA, V., BOTKA, D., SEBE, K. & TÓTH, E. 2021: Various marginal marine environments in the Central Paratethys: Late Badenian and Sarmatian (middle Miocene) marine and non-marine microfossils from Pécs-Danitzpuszta, southern Hungary. – *Földtani Közlöny* **151/3**, 275–305. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2021.151.3.275>
- TARI, G. 1992: Late Neogene transpression in the Northern Thrust Zone, Mecsek Mts., Hungary. – *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eötvös nominatae, Sectio Geologica* **29**, 165–187.
- TOMLJENIĆ, B. & CSONTOS, L. 2001: Neogene–Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac basins, Croatia). – *International Journal of Earth Sciences* **90**, 560–578. <https://doi.org/10.1007/s005310000176>
- TÓTH, E. 2008: Sarmatian (Middle Miocene) ostracod fauna from the Zsámbék Basin, Hungary. – *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eötvös nominatae, Sectio Geologica* **36**, 101–151.

- TÓTH E. 2009: Őskörnyezeti változások a Középső-Paratethysben a szarmata folyamán a mikrofauna őslénytani és geokémiai vizsgálata alapján. – *Doktori értekezés*, ELTE Őslénytani Tanszék, Université Claude Bernard Lyon 1, Budapest/Lyon, 153 p.
- TÓTH, E. & GÖRÖG, Á. 2008: Sarmatian foraminifera fauna from Budapest (Hungary). – *Hantkeniana* **6/6**, 187–217.
- UHRIN A., MAGYAR I. & SZTANÓ O. 2009: Az aljzatdeformáció hatása a pannóniai üledékképződés menetére a Zalai-medencében. – *Földtani Közlöny* **139/3**, 273–282.
- VADÁSZ E. 1935: *A Mecsekhegység*. – Magyar Királyi Földtani Intézet, Budapest, 180 p.
- VIRÁGH K., KÁLLAI A. & KONDA J. 1959: Jegyzőkönyv. Az 1428-as számú furás befejezése. – Kézirat, Mecsekérc adattár, Pécs, 4 p.
- WEIN Gy. 1961: A szerkezetalakulás mozzanatai és jellegei a Keleti-Mecsekben. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **49/3**, 759–768.
- WEIN Gy. 1966: Pécs hegységszerkezeti képe. – *Dunántúli Tudományos Gyűjtemény* **56**, 7–16.
- WEIN Gy. 1967: Délkelet-Dunántúl hegységszerkezete. – *Földtani Közlöny* **97**, 371–395.
- Kézirat beérkezett: 2025. 04. 29.

Javaslat a geotermikusenergia-hasznosítás fellendítésére „Megint s megint – szünetlen”

SZANYI János

Szegedi Tudományegyetem, Geológia Tanszék
E-mail: szanyi@iif.u-szeged.hu

Discussion paper on boosting geothermal energy use „Again and again – tirelessly”

Abstract

Increasing the use of geothermal energy is crucial to the energy transition, particularly in the heating and cooling sector. Hungary's favourable geological conditions and well-developed district heating network provide an excellent basis for this. However, as stated in the Hungarian State Audit Office's report on this topic, the legal environment needs to be changed. I have formulated my proposed amendments with this in mind.

„The sum of the matter is this: what needs to be improved or changed in our laws because they provide the impetus for the development of our society. Examining this will be the focus of my proposal.” (SZÉCHENYI 1833)

Keywords: geothermal energy

Összefoglalás

A geotermikusenergia-hasznosítás növelése meghatározó az energiaátmenet folyamatában, különösen a fűtés-hűtés szektorban. Magyarország földtani adottságai és a kiépített távhőhálózat kiváló alapot ad ehhez. A jogszabályi környezet azonban változtatásra szorul, mint azt a témával foglalkozó állami számvevőszéki jelentés megállapította. Ennek figyelembevételével fogalmaztam meg módosítási javaslataimat.

„Az egész dolog veleje abban áll: Mit kelljen tehát javítani, mit változtatni törvényinkben, mert azok adják a köz erőműnek az impulzust. S ennek vizsgálata leend az előttem fekvő próbamunka tartalma.” (SZÉCHENYI 1833)

Tárgyszavak: geotermikus energia

Bevezetés

Írásom műfaja kissé eltér a *Földtani Közlöny* gyakorlatától, de nem előzmény nélküli. Korábban is előfordultak javaslatok és vitára ösztönző írások, például mindjárt a *Közlöny* harmadik évfolyamában, melyben ZSIGMONDY Vilmos az artézi kutak létesítésének fontosságát terjesztette a folyóirat olvasótáborára elé, ekképpen: „Hazánk jelenlegi pénzügyi viszonyainál fogva tervem keresztülvitele hamarjában alig lévén várható, célszerűnek tartottam azt a tisztelt társulatnak bemutatni, – nehogy az eszme – ha a társulat azt helyesnek és üdvösnek elismerné, az acták között elporladoz-

zon...” (ZSIGMONDY 1873). Energiaközpontú társadalmunkban a geotermikus energia hazai hasznosítási arányának növelése hasonló fontosságú, mint 150 évvel ezelőtt a lakosság ivóvízzel való ellátása. Javaslatom ezt célozza. Megtisztelő, hogy írásom a SZEDERKÉNYI professzor munkássága előtt tisztelgő kötetben jelenik meg, mivel kutató- és oktatótevékenységének meghatározó része az alkalmazott földtudományokhoz kötődik, és élénken foglalkoztatta a geotermikus energia hasznosítási lehetőségeinek vizsgálata (RÓNAKI & SZEDERKÉNYI 1966, 1968; HEALY & SZEDERKÉNYI 1974; SZEDERKÉNYI 2003), továbbá ő volt első mesterem.

A kormány által 2024-ben elfogadott Nemzeti Földhő Hasznosítási Konceptió szerint a helyben, alacsony üzemeltetési költség mellett elérhető geotermikus energiaforrások kihasználásának növelése hozzájárul Magyarország energiaszuverenitásának fokozásához, a kibocsátásmentes energiatermeléshez és az energiaárak megfizethető szinten tartásához, s ezek a geotermiát a kapcsolódó támogatási programokkal a magyar zöldgazdaság húzóágazatává tehetik. Az Állami Számvevőszék (ÁSZ) „Geotermikus energia hasznosítása Magyarországon – Stratégiai, jogi és pénzügyi feltételrendszer” című elemzése arra kereste a választ, hogy ez mennyiben valósult meg (VARGHA 2025a). A 2025. januárjában közzé tett jelentést az ÁSZ képviselői 2025. április 16-án mutatták be a Geotermikus Klaszter ülésén, a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH) székházában. A rendezvényen részt vettek az állami szervek, a geotermikus szakmai szervezetek, az érintett vállalkozások és kutatóintézetek képviselői, azaz a teljes szakmai spektrum. Ugyanakkor a jelentés nyilvánosságra kerülése óta eltelt több mint fél évben nem jelent meg a jelentés kifogásait érintő jogszabály-módosítási javaslat vagy tervezet.

Mivel az ÁSZ elemzése olyan problématerképet nyújt, amelynek alapján a szak- és közpolitikai gondolkodás új lendületet vehet, időszerű a geotermikus energiával kapcsolatos szabályozás módosítására javaslatot tenni és a szakmai közönség elé tární. Írásom két részre oszlik, az elsőben az ÁSZ észrevételit veszem sorra az előadáson elhangzottak szerint, majd a második részben javaslataimat adom közre.

Az ÁSZ-jelentés megállapításai tématerületenként

Szabályozási reform

Az 1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról (bányatörvény) 2023. évi módosítását nem előzte meg szakstratégia megalkotása, bár szakmai hatásvizsgálat történt.

A jogszabályi reform célja a geotermikus kutatás és kitermelés egyszerűsítése volt, ugyanakkor továbbra is komplex és többszereplős az engedélyezési eljárás. Az energetikai célú hasznosítókat az SZTFH hatásköre alá vonták, míg a gyógyvíz- és mezőgazdasági hasznosítás engedélyezését továbbra is a vízügyi hatóság keretében tartotta. Sőt, lehetővé tette a saját hőtermelési célú kutatást, akár már kutatási engedéllyel rendelkező területeken is.

Az energetikai célú kutatást végzők és a korábbi kitermelési joggal rendelkezők érdekeinek védelme fejleszthető. A geotermikus védőidom szélesebb körű alkalmazása előrelépés, de mivel a 2023 előtt létesült kitermelőhelyeket nem határolja le geotermikus védőidom, célszerű lenne megfontolni a kitermelő helyek egységes kezelését.

A Geotermikus Energia Bizottság (GEB) rendeltetése szerint komplex gazdasági, környezeti és energiapiaci szempontokat vizsgál, nem hatóságként jár el, ügyintézési határidők nem kötik, eljárásának időtartama nem számít bele a

beérkező kérelem elbírálásába, állásfoglalását az SZTFH köteles figyelembe venni. Célszerű lenne ezen szempontokat törvényi szinten megjeleníteni.

Geotermikus kutatás, támogatás, nyilvántartás és ellenőrzés

Állami támogatás akár pályázati, akár más mechanizmus alapján csak szigorú szakmai, pénzügyi és integritási garanciák mellett nyújtható.

A feltételrendszer kidolgozása a mindenkori támogatást nyújtó szervezet felelőssége, amelynek során gondoskodni kell arról, hogy a támogatások ne ösztönözzék a sikertelen kutatófúrásokat, valamint a minimumra legyen mérsékelhető a pazarlás és az észszerőtlen gazdálkodás kockázata.

Az ország nem rendelkezik geotermikusenergia-hasznosítást támogató egységes kútnyilvántartással. Miközben arról több intézmény is nyilvántartásokat vezet, sem az SZTFH, sem a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság nem tartja nyilván teljes körűen a kutak tényleges, aktuális kitermelését.

Előrelépés lenne az Országos Vízügyi Főigazgatóság, a vízügyi hatóság, az SZTFH Földtani Szolgálat, valamint SZTFH Országos Bányakapitányság nyilvántartásainak egységesítése.

Visszasajtolás

640 termelő kútra 53 visszasajtoló kút jut. 2027-től azonban már minden uniós tagállamnak biztosítania kell a teljes körű termálvíz-visszasajtolást. Jelenleg nem ismert a magyar állam stratégiája ezen kihívás kezelésére.

Távhőszabályozás

A gázalapon hőtermelő távhőszolgáltatók változó költségeinek nagy részét a gáz teszi ki, ennek költségkénti elismerése lényegében automatikus. A geotermikus energia használata esetén ismétlődő vitát jelent az indokolt költségek elismertetése. Ma üzletileg nem racionális egy pénzügyi befektetőnek a távhőszolgáltatásba fektetni. A távhőszolgáltató által vásárolt geotermikus energia és a meg nem vásárolt földgáz közötti rés közvetlenül az államnak lesz haszon. Abból, hogy a távhőszolgáltató olcsóbban szerzi be a primer energiahordozót, nem profitál, hiszen a következő évben annyiival kevesebb támogatást fog a MEKH megállapítani.

2013 óta a geotermikus termelők 4,5%-os bruttó eszköz-arányos nyereségkorláthoz kötött, önköltségi alapon meghatározott hatósági áron értékesítettek a távhőszolgáltatónak. 2024 októberében a nyereségkorlát mértékét az állampapírpiazi hozamokhoz igazította a jogalkotó, így 4,5-9% között mozoghat.

A jelentés sommás megállapítása: a pazarlás és a korrupció kockázatainak megfelelő ellensúlyozására van szükség (VARGHA 2025b).

Javaslat a geotermikusenergia-szektor fejlődési korlátainak felszámolására

Véleményem egybecseng az ÁSZ megállapításaival. A bányatörvény 2023. év március 1-én hatályba lépett módosításának az volt a vezérgondolata, hogy a bányászati joggyakorlat hézagmentesen ráhúzható legyen a geotermikus szektorra. Pedig a termálvíztermelés még a hozzá legközelebb álló szénhidrogén-termeléstől is eltér abban a tekintetben, hogy nem jelölhető ki a műrevaló telep egyértelmű határa, azaz a meglévő és tervezett létesítmények egymásra hatását figyelembe kell venni. Ezt példázza például a termálvizekből kinyerhető kritikus elemek készletének meghatározása, melyhez módosított metodikát kellett kidolgozni a UNFC-2009 szerinti osztályozásban (FALCONE et al. 2025, SZANYI & MADARÁSZ 2025). Ezért sem valósulhat meg, hogy a kutatási kérelemhez a vízügyi ágazat érdemi hozzájárulást adjon, mert amíg nem ismert az új termelő és visszasajtoló létesítmények helye és hozama, addig nem tud a vízkészlet rendelkezésre állásáról érdemi nyilatkozatot adni. Pontosán ezért kellett a budapesti termálkarszt területén felfüggeszteni a kérelmek elbírálását, és az SZTFH-nak hidrodinamikai és hőtranszport-modellvizsgálattal megállapítani, mely területekre adható ki engedély (KUN et al. 2024). Továbbá az új szabályozás egy kalap alá vette a 300 m-es hőtermelő és 5000 m-es túlnyomásos tárolóból termelő rendszerek engedélyeztetését. Pedig az elv, hogy egységes szabályozás alá vonja a geotermikus szektort, eleve nem teljesülhetett, mert a mezőgazdasági és gyógyászati célú hasznosítás nem került a bányatörvény hatálya alá. A zavart fokozza, hogy a komplex hasznosítás miatt a hasznosítási módok keverednek. Ezek orvoslására tématerületenként az alábbiakat javaslom.

Szabályozási reform – javaslat

A módosítás alappillére, hogy minden geotermikusenergia-hasznosításra tervezett kút létesítése (energetikai, balneológiai, gyógyászati, mezőgazdasági) és a geotermikus célú kutatás egyaránt a bányatörvény hatálya alá tartozzon. Az engedélyezési eljárást *két szintre* célszerű bontani: földtani kutatásra és kútlétesítésre (mélyfúrás). Ugyanis lényeges területi különbségek vannak a geotermikus adottságok ismertségében, különösen a Dunántúli Formációcsoport összeletei esetében. Ezek a területeken, köszönhetően a korábbi szénhidrogén- és/vagy geotermikus kutatásoknak, általában konkrét helyen szeretnének kutat létesíteni (pl. távhő-, balneológiai vagy mezőgazdasági hasznosítási céllal), esély sincs, hogy akár pár száz m-rel távolabb állítsák fel a tornyot. Ezekben az esetekben sokkal lényegesebb a meglévő kutakkal való előzetes egymásrahatás-szimuláció, ami elsősorban kútlétesítési probléma, tehát ezekben az esetekben a földtani kutatás elhagyható az alábbiak szerint.

A jelenlegi előírás szerinti földtani kutatási engedélykérelmeket, mint *első szint*, ki kellene egészíteni hőpiaci hasznosítási tervvel. Ennek tartalmaznia kellene a tervezett kitermelt hő- (beleértve az esetleges hűtési) energia hasznosí-

tására vonatkozó szándéknyilatkozatot, valamint a kutatás pénzügyi fedezetét. Ugyanis egyáltalán nem életszerű, hogy valaki úgy vállal akár több milliárd forint értékű kutatást, hogy annak hasznosítására nincs előzetes egyezsége. (Bár a jelenlegi szabályozás szerint is meg kell nevezni a tervezett hasznosítás módját, ezt semmilyen dokumentummal nem kell alátámasztani.) A kérelemnek továbbá tartalmaznia kellene az érintett önkormányzat vagy önkormányzatok nyilatkozatát arról, hogy érdemi tájékoztatást kaptak, és támogatják vagy ellenzik-e a projektet. (Az önkormányzatok helyzetbe hozása ugyanis kimaradt a jelenleg hatályos jogszabályból.) Franciaországban például 2026-tól kiemelt státuszt élveznek a geotermikusenergia-használat után érdeklődő önkormányzatok (CARIAGA 2025). Ebben az adott önkormányzat jelezheti, hogy geotermikusenergia-hasznosítást tervez, aminek ismeretében a hatóság mérlegelheti, hogy az adott területet kizárja a kutatási engedélyből. Optimális esetben a kérelmező bevonja az adott önkormányzatot a tervezett projektbe. Egyébként Bécsben és Münchenben a városi közműcég (Stadtwerke) a geotermikus kutatás jogosítottja (GAB 2022, GeoTief Wien 2022), az szerződik mindenkiel. A földtani kutatás ebben a fázisban elsősorban felszíni geofizikai vizsgálatokat jelent, de meglévő kutakban is végezhető vizsgálat, ha annak tulajdonosa ehhez hozzájárul. A hatályos jogszabállyal összhangban a földtani kutatás ideje maximum két év lehet, maximum 400 km² területen, de a terület lehatárolásának földtani alapokon kell nyugodnia. Indokolt esetben a kutatás ideje egyszer meghosszabbítható a kutatási idő maximum felével, ez esetben azonban a területet korlátozni kellene a kutatási terület maximum 50 km²-es részére. A *geotermikus kutatás kizárólagos*, sem kutatási engedélyt, sem kútfúrési engedélyt nem kaphat a kutatási területre más, kivéve, ha a kutatás jogosítottja ehhez hozzájárul. A kutatás lezárultával le kell határolni a célrezervoárt kutatási blokkokra; egy blokk maximum 50 km² lehet. Van lehetőség több blokk lehatárolására is, de a folytatásban (lásd második szint) blokkonként legalább 2 kút fúrása kötelező. Az első szint kutatási jelentéssel zárul, amelynek folytatás esetén tartalmaznia kell a tervezett kutak helyét és azok létesítési engedély kérését.

A *második szint* a fúrások, azaz kutakra vonatkozó (termelő-visszasajtoló) létesítési engedély kérése (amely használatra lehet akár zárt rendszerű, tehát víztermelés nélküli). Ennek természetesen tartalmaznia kell a földtani és hidrogeológiai viszonyok ismertetését. *Fontos, hogy a kérelmezőnek legyen lehetősége közvetlenül a második szinttel indulni, azaz egyből kút létesítését kérni.* Ezt teheti minden olyan esetben, amikor földtanilag és hidrogeológiaiailag jól ismert területen meglévő hőpiacot kíván ellátni. Ilyen esetekben ugyanis a kúthelyek egyértelműen meghatározhatók. (Ez jellemző az Alföld jelentős részén, elsősorban a Dunántúli Formációcsoport képződményeit hasznosító rendszerek esetén.) Amennyiben a hatóság szerint a dokumentáció nem elégséges, kötelezheti a kérelmezőt földtani kutatás lefolytatására a kút létesítése előtt. Ebben a fázisban kellene a vízügyi hatóságnak nyilatkoznia a vízkészlet rendelkezésre állásáról és a meglévő rendszerek esetleges érintettségé-

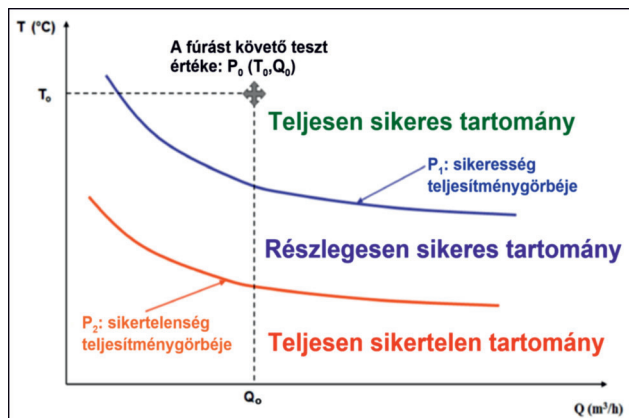
ről. Továbbá szükséges lenne az érintett önkormányzatok nyilatkozatát csatolni arról, hogy érdemi tájékoztatást kaptak, és támogatják vagy ellenzik a projektet, esetleg érintettek benne (abban az esetben, ha nem volt előzetes kutatási fázis, ahol ezt már megtették). A második fázis időtartama egy kút vagy kútpár esetén két év, ami újabb kutak létesítésével fél évvel meghosszabbodik, tehát 3 kút két és fél év, 4 kút három év stb. Ez az engedély is hosszabbítható, de a második év végéig egy kút fúrását meg kell kezdeni. Ezzel a megalapozott földtani kutatásra és kútlétesítésre az eddigi 15–20 hónapos gyakorlat helyett legalább 4 év állna a kérelmező részére. A második szint geotermikus védőidom kijelölésével zárul.

A meglévő, 300 m-nél mélyebb geotermikus rendszerek tulajdonosait kötelezni kellene, hogy 3 éven belül geotermikus védőidom meghatározását megalapozó dokumentációt nyújtsanak be. A támogatásukra pénzügyi alapot kellene létrehozni, melyből a kérelmezőknek 30%-os támogatás adható. Ennek elkészítése egyébként a rendszer üzemeltetőinek is érdeke, ugyanis ezzel szerez valódi kizárólagosságot a terület geotermikus hasznosítására.

Ebben az engedélyezési eljárásban a *Geotermikus Energia Bizottságnak nem lenne szerepe, meg lehetne szüntetni*, ami orvosolná az ÁSZ-jelentés kifogásait is.

Geotermikus kutatás, támogatás, nyilvántartás – javaslat

A geotermikus projektek hosszú élettartamúak, és magas kezdeti tőkeigénnyel, ugyanakkor alacsony és jól tervezhető működési költségekkel jellemezhetők. A kockázatkezelés nehézsége, hogy a kutatási fázis a legdrágább és egyben a legkockázatosabb is (KASSEM et al. 2025). A helyzet hasonló a szénhidrogén-kutatáshoz azzal a lényeges különbséggel, hogy a sikeres geotermikus projekt esetén a befektetett tőke megtérülése (ROI – Return on Investment) sokkal lassabb, mint a szénhidrogén esetében, továbbá a befektető – gyakran a hasznosító maga – legtöbbször ezzel az egy projekttel rendelkezik, azaz nincs lehetősége más nyereséges projektből kitermelni a sikertelen projektbe fektetett összeget. Ezen okok miatt nagy tőkeigényű és magas kockázatú projektek kivitelezésébe kevés befektető vág bele, és a pénzintézetek sem nyújtanak hitelt. Ezért szükség lenne egy kockázati tőkealap létrehozására (BOISSAVY 2020), melyben a biztosítási szerződés megkötésekor a projektfejlesztő és a kockázati alapkezelő/biztosító részletesen rögzítik az összes feltételt. Ezek a feltételek elsősorban a sikeresség/sikertelenség kritériumaira és a fedezet mértékére vonatkoznak (1. ábra). A biztosítási szerződéskérelmek elbírálása, illetve a konkrét káresemények biztosítási ügyintézése független külső szakértők tevékenységén alapulna, ugyanakkor az alap működtetését állami szervek felügyelnék. Az alap a GEORISK Európai uniós projekt magyar példákon is kidolgozott metodikáján alapulva (KARYTSAS et al. 2021) mintegy 15 milliárd Ft feltöltésével hozható létre, ami kb. 10 évig biztosítaná a működését. A kalkuláció évi 10 új kút fúrásán alapul, melyből 6 db. hőszolgáltató kút (átlagos fúrási költsé-



1. ábra. A kockázatkezelés alapjául szolgáló sikeresség megállapításának kritériumrendszere egy adott kút esetén (BOISSAVY 2018 alapján)

Figure 1. The criteria system for determining success rate as a basis for risk management for a given well (Based on BOISSAVY 2018)

ség: 1 milliárd Ft) és 4 db. magas hőmérsékletű elektromos áram termelő kút (átlagos fúrási költség: 2,5 milliárd Ft), melyek közül évi 1-1 db. sikertelen (előbbi esetben 16,6%-os, utóbbi esetben 25%-os sikertelenség). Kutanként 10%-os biztosítási díj befizetése és 80% biztosítási díj kifizetése mellett évenként 1,2 milliárd veszteség keletkezik, tehát 10 év alatt mintegy 12 milliárd Ft. Bár célszerűbb lenne egy európai szintű kockázati alap létrehozásáért lobbizni, ugyanis a magyar geotermikus piac viszonylag kicsi egy ilyen alap hatékony működéséhez. Ahogy az ÁSZ-jelentés is utal rá, korábban olyan projektek is kaptak támogatást, amelyek megvalósítása, megtérülése eleve kudarcra volt ítélve. A kockázatkezelő alap segíthetne a nem megfelelően előkészített projektek kiszűrésében, mivel ma már elvétve készül geotermikus rendszer, támogatás, elsősorban európai uniós támogatás nélkül. A támogatásban részesülő projekteknek ugyanis kötelező lenne a kockázatkezelő alapba való belépés, így a projekt befogadása biztosítékot jelentene a projekt szakmai megalapozottságára. Fontos megemlíteni, hogy a kiírás előtt álló KEHOP Plusz 4.2.4. „Geotermikus fúrási kockázatok csökkentése” című pályázat csak részben kezeli a problémát, összemosza a támogatást és a kockázatkezelést, bár kétségtelenül előrelépést jelent.

A földtanilag kevésbé megkutatott területeken végzett kutatás extra költségére, pl. magfúrási, extra túlnyomásos tárolók vizsgálata, a kutatás jogosítottja támogatást kaphatna, francia példa szerint (BOISSAVY 2020). Ugyanakkor az így szerzett információt publikussá kell tenni. Ezzel egyrészt segítenénk a beruházót, másrészt bővülne a geotermikus adatbázis. Ennek finanszírozása is része lehetne a kockázatkezelő alapnak.

A geotermikus kutatás Magyarországon szétaprózott, néhány egyetemre és 1–2 nagyobb vállalatra szorítkozik. Az egyetemeken alig 1–2 fő (talán a Szegedi Tudományegyetem kivétel) foglalkozik geotermikus kutatással. Célszerű lenne ezeket a kutatókat egy hálózatba kapcsolni, mielőtt számuk a kritikus szint alá csökken. A kutatáson kívül közös geotermikus képzést kellene létrehozni, ahol a diákok utaz-

nak akár féléves rotációs jelleggel az oktatási központok között. A képzést állami támogatással kellene elindítani, de a finanszírozásból részt kellene vállalniauk a geotermiával foglalkozó vállalkozásoknak is. Ez vonatkozik a doktori képzésre is.

Adatbázisok szempontjából, köszönhetően az elődöknek, jó helyzetben vagyunk. Több mint 150 év adatai állnak rendelkezésre részben a vízügyi, részben a földtani-geofizikai adattárakban (SZANYI et al. 2021, NÁDOR 2023). Azonban az adatok elérhetősége különböző. Ezen segítene egy egységes földtani-geofizikai-hidrogeológiai adattár létrehozása. A mai mesterséges intelligencia használatán alapuló döntéshozatal óriási távlatokat nyit egy egységes adatbázis előtt. Ennek létrehozásával kiküszöbölhetők a különböző módon nyilvántartott adatok ellentmondásai (ebben is segít a mesterséges intelligencia), és az adatbázis tetszőlegesen strukturálhatóvá válik. Ehhez szükség van a még papíralapú adatok digitalizálásának folytatására és egy rendszerbe foglalására. A hozzáférési szintek definiálása is fontos része a feladatnak.

Visszasajtolás, ellenőrzés – javaslat

A visszasajtolás problematikája a magyarországi geotermikusenergia-hasznosítás Achilles-sarka. A termálvíz visszasajtolása Európa nagy részén általános gyakorlat (AXELSON 2012, KAMILA et al. 2021, RENAUD et al. 2024). Bár kötelező visszasajtolás szinte sehol sincs előírva, pontosan meg van határozva, hogy milyen vízkémiai és hőmérsékletértékek esetén lehet felszíni befogadóba engedni a termálvizet. Svájcban ez pl. a vízfolyás hőmérséklete + legfeljebb 3 °C, a „pisztáng-régió” jellegű szakaszokon legfeljebb +1,5 °C lehet (Swiss Water Protection Ordinance 2020). Mivel az energetikai hasznosítású hévízkutak vízminősége nem teljesíti a megadott követelményeket, ezeket vissza kell sajtolni. Bár ott is gyakran merülnek fel problémák és a visszasajtolási technológia folyamatos fejlesztést igényel (LUO et al. 2023), Európa nyugati felén nem üzemelhet úgy energetikai hasznosítású termálvízkút, hogy a lefűtött vizét ne sajtolná vissza.

A hosszú távú, fenntartható visszasajtolási cél eléréséhez mind a jogi környezet, mind a műszaki előírások módosítása szükséges. A kellő ellenőrzés hiánya a termálkútépítésre is jellemző, így a szakszerűtlenül épített termálkutak (átfejtődő rétegvizek, iszappal eltömött rétegek stb.) környezeti és üzemeltetési kockázatot jelentenek. Az ellenőrzés kiépítése és szankciók bevezetése nélkül a folyamat megfordíthatatlan. Ehhez a kérdéskörhöz tartozik a tervezői, kivitelezői és üzemeltetési jogosultságok tisztázása. A szakmai jogosultságok rendbetételével biztosítható lenne, hogy a kutatás, tervezés, kivitelezés és üzemeltetés fázisaiban megfelelő tudású, a szakmai szervezetek által regisztrált és ellenőrzött személyek vegyenek részt, akik számon kérhetők.

Első körben az összes termálkutat, a visszasajtolókat is, távadós vízhozam- és hőfokmérővel kell felszerelni, amely valós időben küldi az adatot a vízügyi hatóságnak. Jelenleg a szolgáltatott adatok nem ellenőrzöttek, emiatt a hasznosított energiamennyiséget és a visszasajtoló vízmennyiséget is

jelentősen túlbecsüljük. (A meglévő geotermikus rendszerek szinte kivétel nélkül távvezérelt rendszerben működnek, azaz minden paraméter digitálisan rögzített, ezért csak távadót kell felszerelni, hogy a vízhasználat valós időben követhető legyen a hatóság által. Ennek költsége kutanként pár százezer forint.) Ehhez jogszabály-módosítás sem szükséges, az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, az új, illetve megújított vízjogi engedélyekben ezt már elő is írja.

A meglévő visszasajtoló kutak adatainak elemzésével, a korábbi tapasztalatokat figyelembe véve, ki kell dolgozni a homokkőbe történő visszasajtolás módszertanát és az ehhez kapcsolódó műszaki előírásokat. Ehhez kiváló mintaterület Szeged, ahol az elmúlt 15 évben 22 visszasajtoló kút létesült (SZANYI et al. 2024).

A felszíni vízfolyásokba történő termálvíz-bebocsátás büntetési tételének évenkénti emelésére lenne szükség, a fokozatosság elvének betartásával, a kiindulási 3%-ról 100%-ra 2030. január 1-ig, ahogy az a felfüggesztett 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendeletben is szerepelt. (Bár itt az eredeti határidő 2027. december 31. volt, de az már tarthatatlan.) E szerint a kizárólag energiahasznosítás céljából történő termálvíz kitermelése esetén (ide tartozik a mezőgazdasági hasznosítás döntő, illetve a balneológiai hasznosítás jelentős része is) az átmeneti időszakban a megállapított kibocsátási határérték feletti kibocsátás után számított teljes bírság:

- a második évtől a megállapított bírság 5%-ában,
- harmadik évtől a megállapított bírság 25%-ában,
- negyedik évtől a megállapított bírság 50%-ában,
- ötödik évtől a megállapított bírság 75%-ában.

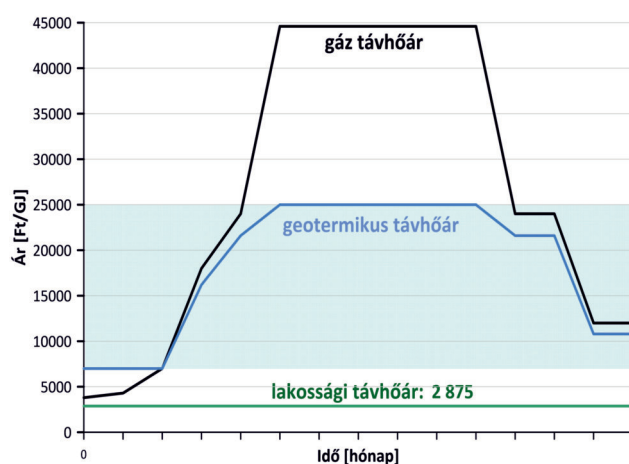
Pénzügyi alap létrehozása visszasajtoló kutak fúrására. Javasolt támogatási ráta 50%, ami hozzávetőleg 180 milliárd forint állami kiadást jelentene (mintegy 300 visszasajtoló kút létesítése esetén, 1,2 milliárd Ft átlagos fúrási költséggel számolva), szakmai alapú szakértői bírálóbizottság felügyelete mellett. Az első 3 évben mintegy 60 milliárd Ft kiadás kalkulálható, ami 100 kút fúrását jelentené.

Távhőszabályozás – javaslat

Bár ez a téma nem geológiai szakmai kérdés, de mégis foglalkozni kell vele, mert a jelenlegi árszabályozás mellett nem érdemes geotermikus energiát a távhőbe becsatornázni. Így ennek a problémának kezelése nélkül pont arra nem fogjuk használni a geotermikus energiát, amire a legalkalmasabb (LENKEY et al. 2008, SZANYI et al. 2021). Az ÁSZ-jelentés is megállapítja, hogy amíg a gázalapon hőt termelő távhőszolgáltatók változó költségeinek elismerése lényegében automatikus, addig a geotermikus energiát használóké állandó vita tárgya. Ennek azért van jelentősége, mert az állam kompenzálja a lakossági ár és a beszerzési ár közötti különbséget.

A geotermikus energiából megtermelt energia ára viszonylag jól meghatározható, elsősorban az elektromos áram árának van rá hatása. A geotermikus szektorba fektetők is szeretnék profitot elérni. Ezért a nyereség korlátértékének meghatározása helyett a németországi gyakorlatot érdemes alapul venni (AFK Geothermie 2025). Ott, bár tartományon-

ként és szolgáltatóként az árszámítás eltér, az általános elv az, hogy a geotermikus energiából megtermelt hőenergia ára a gáz, az olaj és az elektromos áram árának kombinációja. Hasonló módon kellene az árindexet meghatározni úgy, hogy az így kapott érték 0,9-szerese legyen a geotermikus távhőár egy minimum és maximum érték meghatározása mellett. Azaz amikor a fosszilis energia-hordozók ára nagyon alacsony, akkor se mehesse a geotermikus távhőár a minimum érték alá. Ugyanakkor ha az energiamix alapján számított távhőár meghaladná a plafonként megállapított összeget, akkor a távhő ára nem mehetne e fölé. A módosítás lényege, hogy a geotermikus energiából előállított távhő ára csillapítva követi a gáz árat, de csak egy konkrét tartományon belül mozoghat, ami nagyban segítené a pénzügyi terv készítését is. Erre mutat egy elvi példát a 2. ábra.



2. ábra. Példa a geotermikus energiából előállított távhő árának számítására: kék sáv jelzi azt a tartományt, ahol a geotermikus energiából előállított távhő ára mozoghat

Figure 2. Example of calculation of the price of district heating produced from geothermal energy. The blue band indicates the range within which this price may vary

Összegzés

A hazai geotermikusenergia-hasznosítás több mint 150 éves múltra tekint vissza. A jogalkotó jól látta, hogy szabályozása változtatásra szorul. Az utóbbi mintegy másfél évben történtek öröndetes előrelépések a geotermikus szektor fejlődésében, legújabbban például a fűrási kockázat csökkentésére létrehozandó alap tekintetében. De ezek nem állítják tartós fejlődési pályára a geotermikus szektort, ahogy erre az ÁSZ jelentése is rámutatott. Ennek eléréséhez ugyanis szerkezeti változásra és pénzügyi forrásra van szükség. Előzetes kalkulációm szerint a támogatási igény 3 évre mintegy 80 milliárd Ft, amiből a visszasajtoló kutak létesítésének ösztönzése 60 milliárd forintot tesz ki. Emellett természetesen szükség lenne konkrét projektfinanszírozásokra is szakmai bírálatokon alapuló, nyitott határidejű, korrekt pályázati rendszerrel, amelyben egyenlő eséllyel pályázhat valamennyi geotermikus beruházó. A javasolt intézkedések a meglévő rendszerek üzemeltetését biztosítják, és megadják a hosszú távú fejlődés lehetőségét. Visszasajtolás nélkül számos rendszert le kellene állítani, és előrelépés helyett visszacsúszás következne be. Legfontosabb lépésnek a különböző geotermikus hasznosítások egységes szabályozását tartom, és a kizárólagosság biztosítását. Ezek nélkül ugyanis nem koherens a rendszer, ráadásul ezek a változtatások igénylik a legkevesebb anyagi ráfordítást.

A felvázolt gondolatok nem újszerűek, különböző elemeit többen felvetették (Portfolio 2024). Ami újnak számít, hogy igyekeztem koherens rendszerbe foglalni ezeket az elemeket úgy, hogy a geotermikus szektor szabályozása transzparensabb és kiszámíthatóbb legyen. A közölt módosítási javaslatok vitaalapnak tekintendők. Reményeim szerint írássom segíti a geotermikus szektor fejlesztésével kapcsolatos vita elindulását, akár a *Földtani Közlemények* hasábjain, akár szakmai fórumokon. Indítatásom hasonló volt, mint Széchenynek: „Nincs nagyobb kín, mint néhai boldog napokról emlékezni magunk okozta nyomorúságban.” (SZÉCHENYI 1833)

Irodalom – References

- AFK GEOTHERMIE 2025: https://afk-geothermie.de/anschluss-und-waermelieferleistung/?utm_source=chatgpt.com
- AXELSON, G. 2012: Role and Management of Reinjection. – *Short Course on Geothermal Development and Geothermal Wells, organized by UNU-GTP and LaGeo, in Santa Tecla, El Salvador*, March 11-17, 2012. <https://rafhladan.is/bitstream/handle/10802/8536/UNU-GTP-SC-14-29.pdf?sequence=1>
- BOISSAVY, C. 2018: The successful geothermal risk mitigation system in France from 1980 to 2015. – *European Geologist* 43. <https://eurogeologists.eu/european-geologist-journal-43-boissavy-the-successful-geothermal-risk-mitigation-system-in-france-from-1980-to-2015/>
- BOISSAVY, C. 2020: Report reviewing existing insurance schemes for geothermal – *European Union's Horizon 2020 research and innovation programme No 818232* – GEORISK. https://www.georisk-project.eu/wp-content/uploads/2020/02/D3.1_Report-reviewing-geothermal-risk-mitigation-schemes-v2.pdf
- CARIAGA, C. 2025: France has published a list of concrete measures to support the geothermal action plan which targets a 4x increase in geothermal heating by 2035 – *Think Geoenergy*. <https://www.thinkgeoenergy.com/france-publishes-list-of-concrete-measures-to-accelerate-geothermal-development/>

- FALCONE, G., BEARDSMORE, G., CONTI, P., KASTL, S., MIJNLIEFF, H., NÁDOR, A., USSHER, G., BROMMER, M., GRIFFITHS, G. & TULSIDAS, H. 2025: 8 Years on: Incremental Impact of Worldwide Implementation of the United Nations Framework Classification for Geothermal Energy Resources. – PROCEEDINGS, 50th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 10-12, 2025 SGP-TR-229.
- GAB 2022: Tiefengeothermie für Bayern Mit heimischer Wärme in eine saubere Zukunft. – *Geothermie-Allianz Bayern Technische Universität München*. <https://geothermie-allianz.de/en/press-and-media/>
- GEO TIEF WIEN 2022: Energy research project of Wien Energie. – <https://geotief.com/ueber/projektbeschreibung>
- HEALY, J. & SZEDERKÉNYI, T. 1974: Geology of Waimangu geothermal field, /a review/. – *NZ. Dep. Sci. Indust. Res. Bull.* **166**, 7–32.
- KAMILA, Z., KAYA, E. & ZARROUK, S. J. 2021: Reinjection in geothermal fields: An updated worldwide review 2020. – *Geothermics* **89**, 101970, ISSN 0375-6505, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101970>
- KASSEM, M. A., MOSCARIELLO, A. & HOLLMULLER, P. 2025: Navigating risk in geothermal energy projects: A systematic literature review. – *Energy Reports* **13**, 696–712. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.12.052>.
- KARYSTAS, S. et al. 2021: Study on risk insurance schemes, with corrective measures – European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement. – No GEORISK-818232
file:///C:/Users/szany/szany/Downloads/D-4.4-Study-on-risk-insurance-schemes-and-correctives-measures.pdf
- KUN É., SZÉKVÖLGYI K., SZABÓ Zs., TÓTH Gy., MEKKER J., ROTÁRNÉ SZALKAI Á., SZÓCS T., GÁL N. & VÁRI Z. 2024: A budapesti termálkarszt fenntartható hasznosítását megalapozó, döntéstámogatói célú hidrodinamikai és hőtranszport modellvizsgálat folyamata és eredményei. – *XXX. Almássy Endre Konferencia a Felszín Alatti Vizekről, konferenciakiadvány*, 135–153.
https://fava.hu/siofok2024/FAVA_kiadvany_2024.pdf
- LENKEY, L., ZSEMLE, F., MÁDL-SZÓNYI, J., DÖVÉNYI, P. & RYBACH, L. 2008: Possibilities and limitations in the utilization of the Neogene geothermal reservoirs in the Great Hungarian Plain, Hungary. – *Central European Geology* **51/3**, 241–252.
<https://doi.org/10.1556/ceugeol.51.2008.3.6>
- LUO, W., KOTTSOVA, A., VARDON, P. J., DIEUDONNÉ, A. C. & BREHME, M. 2023: Mechanisms causing injectivity decline and enhancement in geothermal projects. – In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **185**. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113623>
- NÁDOR, A. 2023: Science-based data service to accelerate geothermal developments in Hungary. – *European Geologist* **56**.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10463604>
- NEMZETI FÖLDHŐ HASZNOSÍTÁSI KONCEPCIÓ 2024: <https://kormany.hu/dokumentumtar/nemzeti-foldho-hasznositasi-koncepcio>
Portfolió 2024. <https://www.portfolio.hu/uzlet/20240429/a-lakasok-futesenel-lehetne-nagyon-alakitani-a-geotermiaival-egyetlen-kut-furasa-nelkul-is-duplazhatnank-683251>
- RENAUD, T. et al. 2024: Novel approach for modelling low enthalpy geothermal in deep sedimentary aquifers: a case study of 40 years of production data in the Dogger formation. – *Geotherm Energy* **12**, 44. <https://doi.org/10.1186/s40517-024-00328-z>
- RÓNAKI L. & SZEDERKÉNYI T. 1966: Az ország egyik legnagyobb vízhozamú hévízfeltárása Szigetváron. – *Pécsi Műszaki Szemle* **11/4**, 1–8.
- RÓNAKI L. & SZEDERKÉNYI T. 1968: Termálvíz feltárási lehetőségek Pécssett és környékén. – *Pécsi Műszaki Szemle* **13/4**, 14–19.
- Swiss Water Protection Ordinance 2020: GSchV, SR 814.201, Gewässerschutzverordnung.
https://lex.weblaw.ch/lex.php?norm_id=814.201&source=sr&lex_id=23922
- SZANYI, J. & MADARÁSZ, T. 2025: The Horizon Europe CRM-geothermal project: *Deliverable 2.5 – Report on resource calculation according to the UNFC (1.0)*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17003372>
- SZANYI J., NÁDOR A. & MADARÁSZ T. 2021: A geotermikus energia kutatása és hasznosítása Magyarországon az elmúlt 150 év tükrében. – *Földtani Közlöny* **151/1**, 79–102. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2021.151.1.79>
- SZANYI, J., KOVÁCS, B. & ABDULHAQ, H. A. 2024: Harnessing geothermal energy in Hungary. – *Geological Society, London, Special Publications* **555**. <https://doi.org/10.1144/SP555-2024-22>
- SZÉCHENYI I. 1833: *Stádium*. <https://mek.oszk.hu/06100/06135/html/stadium001.html>
- SZEDERKÉNYI, T. 2003: Lower Cretaceous thermal water aquifers in the neighbourhood of Baja, South Hungary. – *Investierung and Wirtschaft* **24**, 49–55.
- VARGHA B. (szerk.) 2025a: Elemzés – A geotermikus energia hasznosítása Magyarországon, Stratégiai, jogi és pénzügyi feltételrendszer. – *Állami Számvevőszék*. https://www.asz.hu/dokumentumok/Geotermia_ELEMZES.pdf
- VARGHA B. 2025b: Elemzés – A geotermikus energia hasznosítása Magyarországon, Stratégiai, jogi és pénzügyi feltételrendszer. – *Állami Számvevőszék*, Előadás a Magyar Geotermia Klaszter 2025. április 16-i ülésén.
- ZSIGMONDY V. 1873: Emlékirat az Alföldön fúrandó artézi kút tárgyában. – *Földtani Közlöny* **3/1–2**, 20–37.
- Kézirat beérkezett: 2025. 08. 18.

MÁRTONNÉ SZALAY Emőke 1940–2025

MÁRTONNÉ SZALAY Emőke 1940-ben született Budapesten. A Fürst Sándor Általános Gimnáziumban (Budapest, Rákoshegy) érettségizett. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán geológusként végzett 1963-ban. Első és egyetlen hazai munkahelye az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet volt. 1973 és 1975 között Nigériában élt, és az ottani Ahmadu Bello Egyetem Földtani Tanszékének oktatójaként dolgozott. Az ELGI-ben gyakorolt szakterülete a paleomágneses kutatások terepi és laboratóriumi munkáinak irányítása és a mérési eredmények tektonikai értelmezése volt. Számtalan európai és Európán túli nemzetközi együttműködés szervezője és résztvevője, aminek köszönhetően több országban is dolgozott. Paleomágneses kutatásaiban elsősorban a Kárpát-medence és környezete mozgástörténetét vizsgálta, figyelemmel kísérve és befogadva egyéb, a tektonikai folyamatokat a paleomágnességtől függetlenül vizsgáló szakterületek eredményeit is. Ez a szakmai feladat nem íróasztal mellett végzett elméleti tevékenység, hanem a paleomágneses értelmezéseket minden esetben komoly terepi előkészület és fizikai munkát igénylő terepi mintagyűjtés, majd nagy pontosságot és rutint feltételező, hosszú laboratóriumi mintaelemzés előzi meg. A tevékenység magas szintű gyakorlása korszerű, jól felszerelt paleomágneses laboratórium meglétét igényli, amelynek az ELGI-n belüli létrehozása, nemzetközi szintre való fejlesztése és folyamatos karbantartása SZALAY Emőke nevéhez fűződik. Az infrastruktúra kihasználásával a laboratórium a tektonikai folyamatok elemzésén túl ma már a levegőben szállított por feldúsulásának vizsgálata révén a környezetvédelemmel kapcsolatban is eredményes kutatásokat végez. Emőke munkáját számos hazai és nemzetközi pályázati forrás támogatta.

Rendszeresen publikált, cikkeinek száma 171. Tudományos munkái főleg geofizikai, geodinamikai, tektonikai témákkal foglalkozó hazai és nemzetközi szakfolyóiratokban jelentek meg (pl. *Tectonophysics*, *International Journal of Earth Sciences*, *Geologica Carpathica*, *Földtani Közlöny*, *Magyar Geofizika*). Igen gyakran társszerzőkkel publikált, a társszerzői a szakterület legnevesebb szakértőinek köréből kerültek ki. Nemzetközi ismertségét és elismertségét mutatja, hogy publikációinak kumulatív impaktfaktora 67.9, idézettsége kimagasló (2300 független idézet, Hirsh indexe 21). 1991 óta a Földtudomány Doktora.

A szakmai munka mellett a közéleti tevékenységekből is kivette a részét. A teljesség igénye nélkül: 1960-tól a Magyarhoni Földtani Társulat, majd 1963-tól a Magyar Geofizikusok Egyesületének tagja, tagja volt az European Union of Geosciences, Arthur Holmes-émlékérem bizottságának, a Galicia Tectonic Groupnak, az OTKA Földtudomány 1 zsűrijének, alapító tagja az ELTE TTK Földtudományi Doktori Iskolának, tagja volt az *Acta Geologica Hungarica – Central European Geology* szerkesztőbizottságának, illetve elnöki tisztséget töltött be a Magyar Geofizikusok Egyesülete Általános Geofizikai szakosztályában. Tevékenységét Egyed László-émlékéremmel, Eötvös Loránd-émlékéremmel, a Szlovák Tudományos Akadémia Dionýz Štúr-ezüstérmével, két esetben pedig MTA Akadémiai-díjjal ismerték el. Az elismerések sorát 2008-ban a Pro Geophysica-émlékérem zárta.

A búcsúzó kollégák nevében,
Kovács Péter

The last coffee break

Farewell from Dr. Emő Márton

It may be out of the blue after a decade of not hearing a word from me. I have many things I would like to tell you. Having a coffee together for the very last time would be amazing.

We would sit once more at the small desk in the tiny room functioning both as a sample preparation place, kitchen, and dining room of the first, and up to date, only Paleomagnetic Laboratory in Hungary – your creation, without doubt something to be proud of, and maybe a second home for a lifetime.

The smell of the freshly made coffee from a particular brand (your favorite and the only type that is “allowed” in the laboratory) fills the air. The cups are already on the table. Let's have a short break.

I remember when I first arrived at the Paleomagnetic Laboratory. It felt like entering a different realm, a sanctuary filled with knowledge, profession, challenges, and hard work. There were cries and laughs, and beyond that, curiosity, care, and overall love for any magnetic research. It was your domain.

You may not recall the first time we met. Such memories are blurry for me too, partly because of the decades that passed, and partly because the excitement was spiced with anxiety about a manuscript I came to discuss with you. That anxiety might be understandable. You were my reviewer, and the study was rejected for good reasons.

The first visit was followed by many.

We just started our coffee break, and those cups are still almost full. I may have more time to talk. Time for some confession and sharing memories.

You taught me many methods of paleo and rock magnetic investigations, which became one of the foundations of my scientific life. But what I learned from you was more. It was a particular way of doing research. Beyond the methods, your creative, precise, and often critical thinking sets an example to follow.

There was one case that I will never forget. I was in trouble due to some biased-looking experimental results. After desperately re-measuring the samples numerous times, I gave up and looked for an alternative explanation that I could present to you. With the submission deadline being close and maybe with a lot of doubts in your mind, you gave me an “ultimatum”: if I can prove my hypothesis, I am in. I am among the co-authors of the study. I never faced such a challenge before, moved mountains, and in the end, I got your approval. Until today, I have kept that publication in my heart among my favorites.

Our coffees are getting cold, and we are running out of time way too fast!

Overall, I always felt you were unstoppable. And you really were unstoppable considering your achievements. I can list many of your studies, many of which scientists from Hungary and around the world worked on together with you. Scientists have been referring to them as fundamental works, citing them, learning from them, and using them during lectures and in other educational and research activities.

The list speaks for itself and easily explains and summarizes why I am looking up to you, respecting you, and trying to follow your path, even if it was not (it has not been ever), the easiest and always cheerful one.

I am certain that I am not the only one, but others, possibly generations of paleomagnetists, and Earth scientists from other fields, are thinking the same.

I believe that for many who studied and worked in the Paleomagnetic Laboratory, the possible difficulties and “struggling” that appeared while repeating measurements over and over again, or during writing, rewriting, and re-rewriting one of the studies, melt in the flow of time. What remains is appreciation and acknowledgment of those times of learning and the knowledge received from you.

And finally, I am convinced that your influence crossed the border long ago, and it is everywhere, all around the world. From Spain to Japan, researchers involved in any magnetic studies recognized your name while I was explaining my research history in the field.

The history in which, without any doubt, you are one of the most influential parts.

I am talking too much. The leftover coffee is getting cold. Let's drink it up, or leave it on the desk. I will take care of it. I have to go back to work now. Please, it is time for you to take some well-deserved rest after decades of dedication, hard work, and an accomplished scientific career.

Dear Professor, I will never forget you!

Thank you for everything, and rest in peace!

24th of August, 2025, Kobe, Japan

Balázs BRADÁK

MÁRTONNÉ SZALAY Emőke publikációinak jegyzéke

1967

MÁRTON P. & MÁRTON-SZALAY E. 1967: Paleomágneses vizsgálatok hazai bazaltkőzeteken. – *Magyar Geofizika* **8/2–3**, 68–76.

1968

MÁRTON-SZALAY E. 1968: Néhány vulkáni, ill. szubvulkáni kőzet remanens és indukált mágnesezettségének viszonya. – *Geophysical Transactions* **18/1–2**, 35–42.

MÁRTON-SZALAY E. 1968: A paleomágneses vizsgálatok földtani jelentősége. – *Transactions of the Hungarian Academy of Sciences* **1968/2**, 143–152.

MÁRTON, P. & MÁRTON-SZALAY, E. 1968: Paläomagnetische Untersuchungen an Basaltlaven von Ungarn. – *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **12/1–4**, 291–305.

MÁRTON P. & MÁRTON-SZALAY E. 1968: Cserhát hegységi andezitek áttekintő paleomágneses vizsgálata. – *Magyar Geofizika* **9/6**, 224–230.

1969

MÁRTON, P. & MÁRTON-SZALAY, E. 1969: Geologische Verwendungen der paläomagnetischen Forschungen in Ungarn. – *Geophysical Transactions* **18/4**, 79–84.

MÁRTON P. & MÁRTON-SZALAY E. 1969: Áttekintő paleomágneses vizsgálatok Mátra hegységi andeziteken. – *Földtani Közlöny* **98**, 166–180.

MÁRTON, P. & MÁRTON-SZALAY, E. 1969: Palaeomagnetic investigation of magmatic rocks from the Mecsek Mountains, Southern Hungary. – *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eötvös nominatae, Sectio Geologica* **12/1968**, 67–80.

MÁRTON P. & MÁRTON-SZALAY E. 1969: Paleomágnesség és tektonika a K-i Mecsek hegységben. – *Magyar Geofizika* **10/5**, 216–220.

1970

MÁRTON-SZALAY E. 1970: A paleomágnesség földtani vonatkozásai. – *Transactions of the Hungarian Academy of Sciences* **1970/3**, 329–332.

MÁRTON, P. & MÁRTON-SZALAY, E. 1970: Secular changes, polarity epoch and tectonic movements as indicated by palaeomagnetic studies of Hungarian rock samples. – *Pure and Applied Geophysics* **79**, 151–161.

1971

MÁRTON-SZALAY E. 1971: Harmadkori vulkáni hegységeink paleomágneses kutatása. – *Transactions of the Hungarian Academy of Sciences* **1971/2–4**, 321–329.

MÁRTON P. & MÁRTON-SZALAY E. 1971: Paleomágneses vizsgálatok a Börzsöny hegységben. – *Magyar Geofizika* **12/2–3**, 77–83.

1972

DAYEM, M. A., MÁRTON, P. & MÁRTON-SZALAY, E. 1972: Thermomagnetic analysis and optical examination of postorogenic basalts from Hungary. – *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eötvös nominatae Sectio Geologica* **15**, 7–15.

MÁRTON, E., MÁRTON, P., ROMANESCU, D., GLEVASSKAYA, A. N., TSYKORA, U. N., ORLICKY, I., PAGACH, V., PASHTEKA, V. & JANAK, F. 1972: Palaeomagnetism of volcanogene formations of the Carpathian region. – *Geophysichesky Sbornik* **45**, 3–8.

MÁRTON P. & MÁRTON-SZALAY E. 1972: Paleomágneses mérések a Tokaj-hegységben. – *Magyar Geofizika* **13/6**, 219–226.

1976

MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1976: A paleomagnetic study of the Nigerian volcanic provinces. – *Pure and Applied Geophysics* **114**, 61–69.

1977

ANDO, J., KIS, K., MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1977: Palaeomagnetism of the Börzsöny Mountains, Hungary. – *Pure and Applied Geophysics* **115**, 979–987.

1978

BALLA Z. & MÁRTON-SZALAY E. 1978: A Börzsöny vulkáni összleteinek paleomágneses rétegsora. – *Magyar Geofizika* **19/2**, 51–59, **19/3**, 114–120.

MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1978: Tectonic implication of a new palaeomagnetic result from the Jurassic of the Transdanubian Central Mountains. – *Tectonophysics* **45**, T1–T6.

MÁRTON-SZALAY E. & MÁRTON P. 1978: A Dunántúli-középhegység és a Villányi-hegység mezozoós paleopólusainak eltéréséről. – *Magyar Geofizika* **19/4**, 129–136.

1979

MÁRTON-SZALAY E. 1979: Mecseki granitoid kőzetek paleomágneses vizsgálata. – *Általános Földtani Szemle* **13**, 71–94.

1980

- BALLA Z. & MÁRTON-SZALAY E. 1980: A Börzsöny és a Dunazug-hegység magnetosztratigráfiája. – *Geophysical Transactions* **26**, 57–77.
- MÁRTON, E. 1980: Multicomponent remanent magnetization of migmatites, Mórág area, SW Hungary. – *Earth and Planetary Science Letters* **47**, 102–112.
- MÁRTON, E., MÁRTON, P. & HELLER, F. 1980: Remanent magnetization of a Pliensbachian limestone sequence at Bakonycsernye, Hungary. – *Earth and Planetary Science Letters* **48**, 218–226.
- MÁRTON, P. & MÁRTON-SZALAY, E. 1980: The slow variations of the Earth's magnetic field as known from indirect observations (in Hungarian). – *Special publication of the Astronautical Department of the MTESZ* (Hungarian Technical and Scientific Association); Lectures from the I. Planetology seminar, Budapest, 47–59.

1981

- MÁRTON, E. 1981: Tectonic implications of paleomagnetic data for the Carpatho/Pannonian region. – *Earth Evolution Sciences* **1/3–4**, 257–264.
- MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1981: Mesozoic paleomagnetism of the Transdanubian Central Mountains and its tectonic implications. – *Tectonophysics* **72**, 129–140.

1982

- MÁRTON, E. 1982: Late Jurassic – Early Cretaceous magnetic stratigraphy from the Sümeg section, Hungary. – *Earth and Planetary Science Letters* **57**, 182–190.
- MÁRTON-SZALAY E. & MÁRTON P. 1982: A litoszféra mozgásainak rekonstrukciója paleomágneses adatok alapján. – *Transactions of the Hungarian Academy of Sciences* **15/3–4**, 256–276.

1983

- MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1983: A refined apparent polar wander curve for the Transdanubian Central Mountains and its bearing on the Mediterranean tectonic history. – *Tectonophysics* **98**, 43–57.
- MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1983: Jurassic – Lower Cretaceous Magnetostratigraphy in Hungary. – *Annuaire de l'Institut de Géologie et de Géophysique, Bucuresti* **63**, Travaux du XII-ème Congrès de l'Association Géologique Carpatho-Balkanique. 93–100.
- MÁRTON, E. & VELJOVIC, D. 1983: Paleomagnetism of the Istria peninsula, Yugoslavia. – *Tectonophysics* **91**, 73–87.

1984

- MÁRTON, E. 1984: Paleomagnetism of Paleozoic granitoids and connected metamorphic rocks in Hungary. – *IGCP5 Newsletter* **6**, Barcelona.
- MÁRTON-SZALAY E. 1984: A Velencei-hegység magmás kőzeteinek paleomágnessége. – *Magyar Geofizika* **25**, 48–56.

1985

- MÁRTON, E. 1985: Tying the basalts from the Transdanubian Central Mountains to the standard polarity time scale. – In: KRETZOI, M. & PÉCSI M. (eds): *Problems of the Neogene and Quaternary*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 99–108.
- MÁRTON, E. 1985: Tectonic implications of paleomagnetic results for the Carpatho-Balkan and adjacent areas. – In: DIXON, J. E. & ROBERTSON, A. H. F. (eds): *The Geological evolution of the Eastern Mediterranean. Geological Society Special Publications* **17**, 645–654.
- MÁRTON, E. & ELSTON, D. P. 1985: Structural rotations from paleomagnetic directions of some Permo-Triassic redbeds, Hungary. – *Geophysical Transactions* **31**, 217–230.
- MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1985: Tectonic and palaeoclimatic aspects of palaeomagnetism studies in the Transdanubian Central Mountains. – *Acta Geologica Hungarica* **28/1–2**, 59–70.

1986

- BURLATSKAYA, S. S., MÁRTON, P. & MÁRTON, E. 1986: Izmenenyije naprezennostyi drevnyeyo geomagnitno polja na territorii Vengrii (in Russian). – *Izvesztyiya Akademii nauk SSSR Fizika Zemli*, 106–109.
- BURLATSKAYA, S. P., MÁRTON, P. & MÁRTON, E. 1986: The variation of ancient geomagnetic-field intensity for the territory of Hungary. – *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity* **38/12**, 1369–1372.
- GLEVASSZKAJA, A. M., MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1986: Paleomagnitnaja Kartirovaniye neogenovih vulkanitov na territorii szovjetsz-kovo zakarpatyija i Vengrii (in Russian). – *Geofiziceszkije Isledovanyija Litoszferi*, 35–44. Naukova Dumka Kijev.
- KORPÁS, L. & MÁRTON-SZALAY, E. 1986: Basaltvolcanological reconstruction in the Transdanubian Range of Hungary. – *Memorias VI. Congreso Latinoamericano de Geologia* Bogota, Columbia, 153–161.
- MÁRTON, E. 1986: Paleomagnetism of igneous rocks from the Velence Hills and Mecsek Mountains. – *Geophysical Transactions* **32**, 83–145.
- MÁRTON, E. 1986: The problems of correlation between magnetozones and Calpionellid zones in late Jurassic – early Cretaceous sections. – *Acta Geologica Hungarica* **29**, 125–131.

1987

- MÁRTON, E. 1987: Paleomagnetism and tectonics in the Mediterranean region. – *Journal of Geodynamics* **7**, 33–57.
- MÁRTON, E. 1987: Results of paleomagnetic studies on the ophiolites from the Bükk Mts. – *Annual Report of the Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary for 1986*, 233–235.

- MÁRTON, E. & ELSTON, D. P. 1987: Tectonic rotations south of the Bohemian Massif from palaeomagnetic directions of Permian red beds in Hungary. – *Tectonophysics* **139**, 43–51.
- MÁRTON, E. & VELJOVIĆ, D. 1987: Paleomagnetism of Cretaceous carbonates from the northwestern part of the Dinaric fold belt. – *Tectonophysics* **134**, 331–338.
- MÁRTON, E., MÁRTON, P. & D'ANDREA, M. 1987: Some aspects of tectonic implications of Mediterranean palaeomagnetism. – *Rendiconti della Società Geologica Italiana* **9**, 137–142.
- MÁRTON E., MÁRTON P. & LESS Gy. 1987: Az Aggtelek–Rudabányai-hegység triász utáni rotációja paleomágneses adatok alapján. – *Magyar Geofizika* **28/1**, 1–19.
- MÁRTON, E., MAURITSCH, H. J. & PAHR, A. 1987: Paläomagnetische Untersuchungen in der Rechnitzer Fenstergruppe. – *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft* **80**, 185–205.
- MÁRTON, E., MAURITSCH, H. J. & TARLING, D. 1987: Pre-Alpine paleomagnetic results of the Alpine–Mediterranean belt: compilation, discussion, interpretation. – In: FLÜGEL, H. W., SASSI, F. P. & GRECU, P. (eds): Pre-Variscan and Variscan events in the Alpine–Mediterranean mountain belts. *Mineralia Slovaca Monography*, Alfa, Bratislava, 351–360.

1988

- MÁRTON, E. 1988: Paleomagnetism – An Overview of the Central Mediterranean. – In: RAKÚS, M., DERCOURT, J. & NAIRN, A. E. M. (eds): Evolution of the northern margin of Tethys: The results of IGCP Project 198. Vol. I. *Mémoires de la Société Géologique de France, Nouvelle Serie* **154**, 223–244.
- MÁRTON, E., MÁRTON, P. & LESS, Gy. 1988: Paleomagnetic evidence of tectonic rotations in the Southern margin of the Inner West Carpathians. – *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **52**, 256–266.

1989

- MÁRTON, E. 1989: Relative movements of the Alps, the Carpathian–Pannonian region and the Dinarids with respect to stable Europe and Africa as indicated by paleomagnetic results. – *Extended abstracts, XIV Congress of Carpatho-Balkan Geological Association, Sofia*, 545–547.
- MÁRTON, E. 1989: Villány Hills: a step towards the definition of a Mesozoic apparent polar wander curve. – *Annual Report of the Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary for 1987*, 152–158.
- MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1989: A compilation of paleomagnetic results from Hungary. – *Geophysical Transactions* **35/1–2**, 117–133.
- MÁRTON, E., MILICEVIC, V. & VELJOVIC, D. 1989: Paleomagnetic results from the Kvarner Islands. – *Annual Report of the Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary for 1987*, 159–161.

1990

- MÁRTON, E. 1990: Kinematics of the principal tectonic units of Hungary from paleomagnetic observations. – *Acta Geodaetica, Geophysica et Montanistica Hungarica* **25/3–4**, 387–397.
- MÁRTON, E. 1990: Paleomagnetic studies on the Miocene volcanic horizons at the southern margin of the Bükk Mts. – *Annual Report of the Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary for 1988–89*, 211–217.
- MÁRTON, E. & MAURITSCH, H. J. 1990: Structural applications and discussion of a paleomagnetic post-Paleozoic data base for the Central Mediterranean. – *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **62**, 46–59.
- MÁRTON, E. & NARDI, G. 1990: The Apulian Region has been part of Africa? New Paleomagnetic results from Murge. – *De Frede Napoli*, 1–12.
- MÁRTON, E., MILICEVIC, V. & VELJOVIC, D. 1990: Paleomagnetism of the Kvarner islands, Yugoslavia. – *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **62**, 70–81.
- MÁRTON, E., PAPANIKOLAOU, D. J. & LEKKAS, E. 1990: Paleomagnetic results from the Pindos, Paxos and Ionian zones of Greece. – *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **62**, 60–69.
- MAURITSCH, H. J., MÁRTON, E. & PAHR, A. 1990: Paläomagnetische Ergebnisse aus den Fenstern von Bernstein, Rechnitz und Eisenberg. – *Exkursionsführer der Österreichische Geologische Gesellschaft* **13**, 55–62.

1991

- MÁRTON, E. & MAURITSCH, H. J. 1991: Penninic windows at the eastern end of the Alps and their relation to the intra-Carpathian basins – Comment. – *Tectonophysics* **194**, 183–186.
- MAURITSCH, H. J., MÁRTON, E. & PAHR, A. 1991: Palaeomagnetic investigations in highly metamorphosed rocks: Eastern Alps (Austria and Hungary). – *Geophysical Transactions* **36/1–2**, 49–65.

1992

- MÁRTONÉ SZALAY E. & MAURITSCH, H. J. 1992: Az alpi–kárpáti–dinári tektonikai rendszer paleomágneses irányai. – *Általános Földtani Szemle* **26**, 283–295.
- MÁRTON, E., PAGÁC, P. & TÚNYI, I. 1992: Paleomagnetic investigations on late Cretaceous–Cenozoic sediments from the NW part of the Pannonian Basin. – *Geologica Carpathica* **43/6**, 363–368.

1993

- MÁRTON, E. 1993: Paleomagnetism in the Mediterranean from Spain to the Aegean: a review of data relevant to Cenozoic movements. –

In: MANTOVANI, E., MORELLI, A. & BOSCHI, E. (eds): *Recent Evolution and Seismicity of the Mediterranean region*. Kluwer Academic Publisher, *NATO ASI Series C* **402**, 367–402.

MÁRTON, E. 1993: The itinerary of the Transdanubian Central Range: An assessment of relevant paleomagnetic observations. – *Acta Geologica Hungarica* **37/1–2**, 135–151.

1994

MÁRTON, E. & MILICEVIC, V. 1994: Tectonically oriented paleomagnetic investigation in the Dinarids, between Zadar and Split. – *Geophysical Transactions* **39/4**, 227–232.

MÁRTON, E. & NARDI, G. 1994: Cretaceous palaeomagnetic results from Murge (Apulia, Southern Italy): tectonic implications. – *Geophysical Journal International* **119/3**, 842–856.

KOVÁČ, M., KRÁL', J., MÁRTON, E., PLAŠIENKA, D. & UHER, P. 1994: Alpine uplift history of the Central Western Carpathians: geochronological, paleomagnetic, sedimentary and structural data. – *Geologica Carpathica* **45/2**, 83–96.

1995

MÁRTON, E. & CIMERMAN, F. 1995: Paleomagnetism of Oligocene andesite tuffs near Peracica (Slovenia). – *Razprave I. razreda SAZU* **36**, 277–285.

MÁRTON, E. & FODOR, L. 1995: Combination of palaeomagnetic and stress data – a case study from North Hungary. – *Tectonophysics* **242**, 99–114.

MÁRTON, E., DROBNE, K., CIMERMAN, F., COSOVIC, V. & KOŠIR, A. 1995: Paleomagnetism of Latest Maastrichtian Through Oligocene Rocks in Istria (Croatia), the Karst Region, and S of the Sava Fault (Slovenia). – *First Croatian Geological Congress, 18–21.10.1995, Opatija, Croatia; Proceedings 2*, 355–360.

MÁRTON, E., VASS, D. & TÚNYI, I. 1995: Mladoterciérne rotácie megajednotky Pelso a pril'ahlych Centrál'nych Západných Karpát. – In: HAMRŠMÍD, B. (ed.): *New results in Tertiary of West Carpathians II.*, MND Hodonín, 97–108.

MAURITSCH, H. & MÁRTON, E. 1995: Escape models of the Alpine–Carpathian–Pannonian region in the light of palaeomagnetic observations. – *Terra Nova* **7/1**, 44–50.

DROBNE, K., OGORELEC, B., BARATTOLO, P., DOLONEC, T., PLENICAR, M., TURNŠEK, D., SUCCHI-STOLFA, M. L. & MÁRTON, E. 1995: The Dolenja Vas section, (Upper Maastrichtian, Lower and Upper Danian, Thanetian). – IGCP 286. Paleobenthos Trieste, 6–8 giugno 1994, Excursionguide. *Atti del Museo Geologico-Paleontologico di Monfalcone, Quaderno Speciale* **3**, 99–115.

PÉCSKAY, Z., LEXA, J., SZAKÁCS, A., BALOGH, K., SEGHEDI, I., KONECNY, V., KOVÁCS, M., MÁRTON, E., KALICIAK, M., SZÉKY-FUX, V., PÓKA, T., GYARMATI, P., EDELSTEIN, O., ROSU, E. & ZEC, B. 1995: Space and time distribution of Neogene – Quaternary volcanism in the Carpatho–Pannonian region. – *Acta Vulcanologica* **7/2**, 15–28.

1996

MÁRTON E. 1996: A paleomágneses módszer tektonikai alkalmazásának lehetőségei és nehézségei. – In: HAAS J. (szerk.): *Magyarázó Magyarország földtani térképe a kainozóikum elhagyásával és Magyarország szerkezetföldtani térképe című térképlapokhoz, 1:500 000*. A Magyar Állami Földtani Intézet Térképmagyarázói, MÁFI, Budapest, 135–144.

MÁRTON, E. & HAAS, J. 1996: Ancient platform carbonates with well-developed Lofer-cyclicity: new candidates for magnetostratigraphy and geodynamically oriented paleomagnetism. – *Geophysical Journal International* **126**, 253–262.

MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1996: Large scale rotations in North Hungary during the Neogene as indicated by palaeomagnetic data. – In: MORRIS, A. & TARLING, D. H. (eds): *Palaeomagnetism and Tectonics of the Mediterranean Region. Geological Society Special Publication* **105**, 153–173.

MÁRTON, E., VASS, D. & TÚNYI, I. 1996: Rotation of the South Slovak Paleogene and Lower Miocene rocks indicated by paleomagnetic data. – *Geologica Carpathica* **47/1**, 31–41.

MÁRTON P. & MÁRTON E. 1996: Belső-kárpáti tektonikai egységek harmadkori mozgástörténetének kutatása paleomágneses és egyéb módszerekkel. – *Magyar Geofizika* **36** (különszám), 13–18.

TÚNYI, I. & MÁRTON, E. 1996: Indications for large Tertiary rotation in the Carpathian – Northern Pannonian region outside the North Hungarian Paleogene Basin. – *Geologica Carpathica* **47/1**, 43–49.

DROBNE, K., OGORELEC, B., DOLENEC, T., MÁRTON, E. & PALINKAŠ, L. 1996: Biota and Abiota at the K/T Boundary in the Dolenja Vas Sections, Slovenia. – In: DROBNE, K., GORICAN, Š. & KOTNIK, B. (eds): *The Role of Impact Processes in the Geological and Biological Evolution of Planet Earth. Abstracts & Geology of West Slovenia & Field Guide*. ZRC SAZU, Ljubljana, 163–179.

VASS, D., TÚNYI, I. & MÁRTON, E. 1996: Young Tertiary rotation of the megaunit Pelso and neighbour units of the West Carpathians. – *Slovak Geological Magazine* **96/3–4**, 363–367.

1997

JELEN, B., MÁRTON, E., FODOR, L., BÁLDI, M., ČAR, J., RIFELJ, H., SKABERNE, D. & VRABEC, M. 1997: Paleomagnetic, Tectonic and Stratigraphic Correlation of the tertiary Formations in Slovenia and Hungary along the Periadriatic and Mid-Hungarian Tectonic Zone (Preliminary Communication). – *Geologija* **40**, 325–331.

MÁRTON, E. 1997: Paleomagnetic aspects of plate tectonics in the Carpatho–Pannonian region. – *Mineralium Deposita* **32**, 441–445.

MÁRTON E. 1997: A paleomágneses kutatás. – In: KARÁTSZON D. (főszerk.): *Pannon Enciklopédia, Magyarország Földje*. Kertek 2000 Kiadó, Budapest, 418–419.

MÁRTON, E., BUDAI, T., HAAS, J., KOVÁCS, S., SZABÓ, I. & VÖRÖS, A. 1997: Magnetostratigraphy and biostratigraphy of the Anisian–Ladinian boundary section Felsőörs (Balaton Highland, Hungary). – *Albertiana* **20**, 50–57.

1998

- MÁRTON, E. 1998: The bending model of the Transdanubian Central Range (Hungary) in the light of Triassic palaeomagnetic data. – *Geophysical Journal International* **134**, 625–633.
- MÁRTON E. 1998: Mezozoós karbonátplatformok: magneto-ciklosztratigráfia, geodinamika. – *Magyar Geofizika* **39** (OTKA különszám), 14–15.
- MÁRTON, E. & PÉCSKAY, Z. 1998: Correlation and dating of the Miocene ignimbritic volcanics in the Bükk foreland, Hungary: complex evaluation of paleomagnetic and K/Ar isotope data. – *Acta Geologica Hungarica* **41/4**, 467–476.
- KOVÁČ, M. & MÁRTON, E. 1998: To rotate or not to rotate: Palinspastic reconstruction of the Carpatho–Pannonian area during the Miocene. – *Slovak Geological Magazine* **42/2**, 75–85.
- FODOR, L., JELEN, B., MÁRTON, E., SKABERNE, D., ČAR, J. & VRABEC, M. 1998: Miocene–Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic Line and surrounding area – Implications for Alpine–Carpathian extrusion models. – *Tectonics* **17/5**, 690–709.
- KOVÁČ, M., NAGYMAROSY, A., OSZCZYPKO, N., CSONTOS, L., SLACZKA, A., MARUNTEANU, M., MATENCO, L. & MÁRTON, E. 1998: Palinspastic reconstruction of the Carpathian–Pannonian region during the Miocene. – In: RAKÚS, M. (ed.): *Geodynamic development of the Western Carpathians*. Geological Survey of Slovak Republic, Dionýz Štúr Publishers, Bratislava. 189–217.
- SZAKÁCS, A., SEGHEDI, I., ZELENKA, T., MÁRTON, E., PÉCSKAY, Z. & PÓKA, T. 1998: Miocene acidic explosive volcanism in the Bükk Foreland, Hungary: identifying eruptive sequences and searching for search location. – *Acta Geologica Hungarica* **41/4**, 413–435.

1999

- MÁRTON, E. 1999: Diagenesis in platform carbonate rocks: a palaeomagnetic study of an upper Triassic – lower Jurassic section, Tata (Hungary). – In: TARLING, D. H. & TURNER, P. (eds): *Palaeomagnetism and Diagenesis in Sediments. Geological Society Special Publications* **151**, 157–165.
- MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1999: Tectonic aspects of a paleomagnetic study on the Neogene of the Mecsek Mountains. – *Geophysical Transactions* **42/3–4**, 159–180.
- MÁRTON, E., MASTELLA, L. & TOKARSKI, A. K. 1999: Large counterclockwise rotation of the Inner West Carpathian Paleogene Flysch – evidence from paleomagnetic investigation of the Podhale Flysch (Poland). – *Physics and Chemistry of the Earth (A)* **24/8**, 645–649.
- MÁRTON, E., PAVELIĆ, D., TOMLIJENVIĆ, B., PAMIĆ, J. & MÁRTON, P. 1999: First paleomagnetic results on Tertiary rocks from the Slavonian Mountains in the Southern Pannonian Basin, Croatia. – *Geologica Carpathica* **50**, 273–279.
- STORETVEDT, K. M., MÁRTON, E., ABRANCHES, M. C. & ROTHER, K. 1999: Alpine remagnetization and tectonic rotations in the French Pyrenees. – *Geologische Rundschau* **87**, 658–674.

2000

- JELEN, B., ŠIMUNIĆ, A., DROBNE, K., SKABERNE, D., ČOSOVIĆ, V., AVANIĆ, R., BÁLDI-BEKE, M., CIMERMAN, F., ČAR, J., FODOR, L., KEDVES, M., MÁRTON, E., MONOSTORI, M., PAVLOVEC, R., PLACER, L., ŠIKIĆ, L., TOUMARKINE, M., TURNŠEK, D. & ZAGORŠEK, K. 2000: Eocene in NE Slovenia and NW Croatia. – *Annali dell'Università di Ferrara* **8**, suppl., 95–147.
- KARÁTSÓN, D., MÁRTON, E., HARANGI, SZ., JÓZSA, S., BALOGH, KAD., PÉCSKAY, Z., KOVÁCSVÖLGYI, S., SZAKMÁNY, Gy. & DULAI, A. 2000: Volcanic evolution and stratigraphy of the Miocene Börzsöny Mountains, Hungary: An integrated study. – *Geologica Carpathica* **51/5**, 325–343.
- KOVÁČ, M., MÁRTON, E., ŠEFARA, J., KONECNÝ, V. & LEXA, J. 2000: Miocene development of the Carpathian chain and the Pannonian Basin: Movement trajectory of lithospheric fragments, subduction and diapiric uprise of asthenospheric mantle. – *Slovak Geological Magazine* **6/2–3**, 77–84.
- MÁRTON, E. 2000: The Tisza megatectonic unit in the light of paleomagnetic data. – *Acta Geologica Hungarica* **43/3**, 329–343.
- MÁRTON, E., KUHLEMANN, J., FRISCH, W. & DUNKL, I. 2000: Miocene rotations in the Eastern Alps – Paleomagnetic results from intra-montane basin sediments. – *Tectonophysics* **323**, 163–182.
- MÁRTON, E., MANSY, J.-L., AVERBUCH, O. & CSONTOS, L. 2000: The Variscan belt of N France – S Belgium: geodynamic implications of new paleomagnetic data. – *Tectonophysics* **324**, 57–80.
- MÁRTON, E., VASS, D. & TÚNYI, I. 2000: Counterclockwise rotations of the Neogene rocks in the East Slovak Basin. – *Geologica Carpathica* **51/3**, 159–168.

2001

- MÁRTON, E. 2001: Tectonic implications of Tertiary paleomagnetic results from the PANCARDI area (Hungarian contribution). – *Acta Geologica Hungarica* **44/2–3**, 135–144.
- PÓSFAL, M., CZINER, K., MÁRTON, E., MÁRTON, P., BUSECK, P. R., FRANKEL, R. B. & BAZYLINSKI, D. A. 2001: Crystal-size distributions and possible biogenic origin of Fe sulfides. – *European Journal of Mineralogy* **13**, 691–703.

2002

- MÁRTON E. & FODOR L. 2002: A Dunántúli-középhegység mozgásai a harmadkorban a környezetében lévő tektonikai egységekhez képest: komplex paleomágneses és mikrotektonikai vizsgálatok. – *Magyar Geofizika* **43** (OTKA különszám), 27–29.
- MÁRTON, E., FODOR, L., JELEN, B., MÁRTON, P., RIFELJ, H. & KEVRIĆ, R. 2002: Miocene to Quaternary deformation in NE Slovenia: complex paleomagnetic and structural study. – *Journal of Geodynamics* **34**, 627–651.
- MÁRTON, E., PAVELIĆ, D., TOMLIJENVIĆ, B., AVANIĆ, R., PAMIĆ, J. & MÁRTON, P. 2002: In the wake of a counterclockwise rotating Adriatic microplate: Neogene paleomagnetic results from Northern Croatia. – *International Journal of Earth Sciences* **91**, 514–523.

- MÁRTON, E., ZUPANČIĆ, N., PÉCSKAY, Z., TRAJANOVA, M. & JELEN, B. 2002: Paleomagnetism and new K–Ar ages of the Pohorje igneous rocks. – *Geologica Carpathica* **53** (special issue) CD.
- TÚNYI, I. & MÁRTON, E. 2002: Cenozoic paleomagnetic rotations in the Inner West Carpathians. – *Geologica Carpathica* **53** (special issue), 128–129.
- BAUMGART-KOTARBA, M., MARCAK, H. & MÁRTON, E. 2002: Rotation along transverse transforming Orava strike-slip fault in the light of geomorphological, geophysical and paleomagnetic data (Western Carpathians). – *Geologica Carpathica* **53** (special issue) CD.
- CSONTOS, L., MÁRTON, E., WÓRUM, G. & BENKOVICS, L. 2002: Geodynamics of SW Pannonian inselbergs (Mecsek and Villány Mts, SW Hungary): inferences from a complex structural analysis. – *EGU Stephan Mueller Special Publication Series* **3**, 1–19.
- FODOR, L., JELEN, B., MÁRTON, E., RIFELJ, H., KRALIĆ, M., KEVRIĆ, R., MÁRTON, P., KOROKNAI, B. & BÁLDI-BEKE, M. 2002: Miocene to Quaternary deformation, stratigraphy and paleogeography in Northeastern Slovenia and Southwestern Hungary. – *Geologija* **45/1**, 103–114.
- FODOR, L., JELEN, B., MÁRTON, E., ZUPANČIĆ, N., TRAJANOVA, M., RIFELJ, H., PÉCSKAY, Z., BALOGH, K., KOROKNAI, B., DUNKL, I., HORVÁTH, P., HORVAT, A., VRABEC, M., KRALIĆ, M. & KEVRIĆ, R. 2002: Connection of Neogene basin formation, magmatism and cooling of metamorphics in NE Slovenia. – *Geologica Carpathica* **53** (special issue), 199–201.
- KOVÁCS, S., BREZSNYÁNSZKY, J., BUDA, G., HAAS, J., SZEDERKÉNYI, T., CSÁSZÁR, G., HARANGI, SZ., MÁRTON, E., NAGYMAROSY, A., PELIKÁN, P. & TÖRÖK, Á. 2002: Tectonostratigraphic terranes and zones juxtaposed along the Mid-Hungarian line: their contrasting evolution and relationships. – *Geologica Carpathica* **53** (special issue) CD.
- MÁRTON P., MÁRTON E. & BENKOVICS L. 2002: A Tisza-egység a harmadkorban: paleomágnesség és tektonika. – *Magyar Geofizika* **43** (OTKA különszám), 10–11.
- PÓKA, T., ZELENKA, T., MÁRTON, E., PÉCSKAY, Z. & SEGHEDI, I. 2002: Miocene volcanism of Cserhát Mts. (N. Hungary): an integrated volcanotectonic–geomorphologic study. – *Geologica Carpathica* **53** (special issue) CD.
- ZUCHIEWICZ, W., TOKARSKI, A. K., JAROSIŃSKI, M. & MÁRTON, E. 2002: Late Miocene to present day structural development of the Polish segment of the Outer Carpathians. – *EGU Stephan Mueller Special Publication Series* **3**, 185–202.

2003

- MÁRTON, E. 2003: IAGA-report, Paleomagnetism. – In: VERŐ, J. (ed.) Hungarian National report on IAGA 1999–2002. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* **38**, 163–164.
- MÁRTON, E. & FODOR, L. 2003: Tertiary paleomagnetic results and structural analysis from the Transdanubian Range (Hungary); sign for rotational disintegration of the Alcapa unit. – *Tectonophysics* **363/3–4**, 201–224.
- MÁRTON, E., DROBNE, K., ČISOVIĆ, V. & MORO, A. 2003: Palaeomagnetic evidence for Tertiary counterclockwise rotation of Adria. – *Tectonophysics* **377/1–2**, 143–156.

2004

- MÁRTON, E. 2004: Paleomagnetism of Permian–Triassic sections, Bükk Mts, Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* **47/4**, 341–347.
- MÁRTON, E., ABRANCHES, M. C. & PAIS, J. J. P. 2004: Iberia in the Cretaceous: new palaeomagnetic results from Portugal. – *Journal of Geodynamics* **38**, 209–221.
- MÁRTON, E., CSONTOS, L., MANSY, J.-L. & BERGERAT, F. 2004: Indication for counterclockwise declination deviation in the Cretaceous of the North Paris Basin. – *Bulletin de la Société Géologique de France* **175/3**, 249–255.
- MÁRTON, E., TOKARSKI, A. K. & HALÁSZ, D. 2004: Late Miocene counterclockwise rotation of the Pieniny andesites at the contact of the Inner and Outer West Carpathians. – *Geologica Carpathica* **55/5**, 411–419.
- BAUMGART-KOTARBA, M., MARCAK, H. & MÁRTON, E. 2004: Rotation along the transverse transforming Orava strike-slip fault: based on geomorphological, geophysical and paleomagnetic data (Western Carpathians). – *Geologica Carpathica* **55/3**, 219–226.
- PÓKA, T., ZELENKA, T., SEGHEDI, I., PÉCSKAY, Z. & MÁRTON, E. 2004: Miocene volcanism of the Cserhát Mts. (N. Hungary): Integrated volcano-tectonic, geochronologic and petrochemical study. – *Acta Geologica Hungarica* **47/2–3**, 221–246.
- SEGHEDI, I., DOWNES, H., SZAKÁCS, A., MASON, P. R. D., THIRLWALL, M. F., ROȘU, E., PÉCSKAY, Z., MÁRTON, E. & PANAIOTU, C. 2004: Neogene–Quaternary magmatism and geodynamics in the Carpatho–Pannonian region: a synthesis. – *Lithos* **72**, 117–146.
- TÚNYI, I., MÁRTON, E., VASS, D. & ŽEC, B. 2004: Results of paleomagnetic study in the Vihorlatské vrchy Mts. (East Slovakia). – *Scripta Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Masarykianae Brunensis* **31–32/2001–2002**, 129–132.

2005

- MÁRTON, E., PAVELIĆ, D., TOMLJENIĆ, B., MÁRTON, P. & AVANIĆ, R. 2005: Paleomagnetic investigations in the Croatian part of the Pannonian basin: a review. – *Acta Geologica Hungarica* **48/2**, 225–233.
- TÚNYI, I., MÁRTON, E., ŽEC, B. & VASS, D. 2005: Paleomagnetism of Neovolcanics of the Vihorlatské vrchy Mts. – *Mineralia Slovaca* **37**, 268–271.
- TÚNYI, I., ŽEC, B., MÁRTON, E. & VASS, D. 2005: New paleomagnetic measurements from southern part of the Slanské vrchy Mts. – *Mineralia Slovaca* **37**, 288–291.
- ZELENKA T., PÓKA T., MÁRTON E. & PÉCSKAY Z. 2005: A tari dácittufa típuszselvényének felülvizsgálata. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2004*, 73–84.

2006

- CONVERT, P., MÁRTON, E. & HAAS, J. 2006: Palaeomagnetic evidence for megabreccia horizon in the Upper Jurassic sequence of Eperkés Hill, Transdanubian Range, Hungary. – *Acta Geologica Hungarica – Central European Geology* **54/1**, 43–56.

- MÁRTON, E. 2006: Paleomagnetic evidence for Tertiary counterclockwise rotation of Adria with respect to Africa. – In: PINTER, N., GRENERCZY, Gy., WEBER, J., STEIN, S. & MEDAK, D. (eds): *The Adria microplate: GSP Geodesy, Tectonics and Hazards*. NATO Science Series **IV-61**, 71–80.
- MÁRTON E. & MÁRTON P. 2006: Környezetszennyezés detektálása mágneses szuszceptibilitás mérésekkel. – *Magyar Geofizika* **47**, 27–30.
- MÁRTON E., FODOR L. & MAGYAR I. 2006: Bádeni utáni vízszintes mozgások a Kárpát-medencében, komplex paleomágneses és mikro-tektonikai tanulmány. – *Magyar Geofizika* **47**, 178–182.
- MÁRTON, E., JELEN, B., TOMLJENIĆ, B., PAVELIĆ, D., POLJAK, M., MÁRTON, P., AVANIĆ, R. & PAMIĆ, J. 2006: Late Neogene counterclockwise rotation in the SW part of the Pannonian Basin. – *Geologica Carpathica* **57**, 41–46.
- MÁRTON, E., TRAJANOVA, M., ZUPANČIĆ, N. & JELEN, B. 2006: Formation, uplift and tectonic integration of a Periadriatic intrusive complex (Pohorje, Slovenia) as reflected in magnetic parameters and palaeomagnetic directions. – *Geophysical Journal International* **167**, 1148–1159.
- MÁRTON P., MÁRTON E., BABINSZKI E. & KISS L. F. 2006: Környezeti hatások kutatása a vasszulfid tartalmú üledékek mágneses tulajdonságai alapján. – *Magyar Geofizika* **47**, 183–186.
- PÉCSKAY, Z., LEXA, J., SZAKÁCS, A., SEGHEDI, I., BALOGH, K., KONEČNÝ, V., ZELENKA, T., KOVACS, M., PÓKA, T., FÜLÖP, A., MÁRTON, E., PANAIOTU, C. & CVETKOVIĆ, V. 2006: Geochronology of Neogene magmatism in the Carpathian arc and intra-Carpathian area: a review. – *Geologica Carpathica* **57/6**, 511–530.
- TOKARSKI, A., ŚWIERCZEWSKA, A., ZUCHIEWICZ, W., MÁRTON, E., HURAI, V., ANCKIEWICZ, A., MIHALIK, M., SZELIGA, W. & RAUCH-WŁODARSKA, M. 2006: Conference excursion 1: Structural development of the Magura Nappe (Outer Carpathians): From subduction to collapse. – *GeoLines* **20**, 145–164.

2007

- BABINSZKI, E., MÁRTON, E., MÁRTON, P. & KISS, L. F. 2007: Widespread occurrences of greigite in the sediments of Lake Pannon: implications for environment and magnetostratigraphy. – *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* **252**, 626–636.
- KARÁTSÓN, D., OLÁH, I., PÉCSKAY, Z., MÁRTON, E., HARANGI, Sz., DULAI, A. & ZELENKA, T. 2007: Miocene volcanism in the Visegrád Mountains (Hungary): an integrated approach to regional volcanic stratigraphy. – *Geologica Carpathica* **58/6**, 541–563.
- LESIĆ, V., MÁRTON, E. & CVETKOV, V. 2007: Paleomagnetic detection of Tertiary rotations in the Southern Pannonian Basin (Fruška Gora). – *Geologica Carpathica* **58/2**, 185–193.
- MÁRTON, E. 2007: Correlation of Miocene volcanics in the area of the North Hungarian Paleogene basin by the combination of paleomagnetic marker horizons and magnetic polarities. – *Joannea – Geologie und Paläontologie* **9**, 63–65.
- MÁRTON, P. & MÁRTON, E. 2007: Archaeomagnetism and palaeomagnetism. – In: SZARKA, L. & VERŐ, J.: Hungarian national report on IAGA 2003–2006. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* **42/1**, 10–13.
- MÁRTON, E., TISCHLER, M., CSONTOS, L., FÜGENSCHUH, B. & SCHMID, S. M. 2007: The contact zone between ALCAPA and Tisza–Dacia megatectonic units of Northern Romania in the light of new paleomagnetic data. – *Eclogae Geologicae Helveticae* **100**, 109–124.
- MÁRTON, E., VASS, D., TÚNYI, I., MÁRTON, P. & ZELENKA, T. 2007: Paleomagnetic age assignment of the ignimbrites from the famous fossil footprints site, Ipolytarnóc (close to the Hungarian–Slovakian boundary). – *Geologica Carpathica* **58/6**, 531–540.
- MÁRTON, E., ZELENKA, T. & MÁRTON, P. 2007: Paleomagnetic correlation of Miocene pyroclastics of the Bükk Mts. and their forelands. – *Central European Geology* **50/1**, 47–57.
- PÁLFY, J., DEMÉNY, A., HAAS, J., CARTER, E. S., GÖRÖG, Á., HALÁSZ, D., ORAVECZ-SCHEFFER, A., HETÉNYI, M., MÁRTON, E., ORCHARD, M. J., OZSVÁRT, P., VETŐ, I. & ZAJZON, N. 2007: Triassic/Jurassic boundary events inferred from integrated stratigraphy of the Csővár section, Hungary. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **244**, 11–33.

2008

- KLUCIAROVA, D., MÁRTON, P., PICHLER, V., MÁRTON, E. & TÚNYI, I. 2008: Pollution detected by magnetic susceptibility measurements aided by the stemflow effect. – *Water, Air & Soil Pollution* **189/1–4**, 213–223.
- MÁRTON, E. 2008: Paleogeography and paleomagnetism. – In: RASSER, M. W. & HARZHAUSER, M. (eds): Paleogene and Neogene of Central Europe. In: McCANN, T. (ed.): *The Geology of Central Europe*. Geological Society, London. 1033–1035.
- MÁRTON, E., ČISOVIĆ, V., MORO, A. & ZVOKAK, S. 2008: The motion of Adria during the Late Jurassic and Cretaceous: New paleomagnetic results from stable Istria. – *Tectonophysics* **454/1–4**, 44–53.
- MÁRTON E., MÁRTON P. & ZAJZON N. 2008: Környezeti mágnesség – mágneses részecskék szerepe az antropogén porszennyezés detektálásában. – *Földtani Közlöny* **138/1**, 97–106.
- TOMLJENIĆ, B., CSONTOS, L., MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 2008: Tectonic evolution of the northwestern Internal Dinarides as constrained by structures and rotation of Medvednica Mountains, North Croatia. – In: SIEGESMUND, S., FÜGENSCHUH, B. & FROITZHEIM, N. (eds): Tectonic Aspects of the Alpine–Dinaride–Carpathian System. *Geological Society, London, Special Publication* **298**, 145–167.

2009

- BABINSZKI E. & MÁRTON E. 2009: A greigit, mint a paleomágneses jel hordozójának azonosítása mágneses módszerekkel, a Pannon-tó üledékeiben. – *Földtani Közlöny* **139/2**, 445–468.
- BRADÁK, B., MÁRTON, E., HORVÁTH, E. & CSILLAG, G. 2009: Pleistocene climate and environmental reconstruction by the paleomagnetic study of loess–paleosol sequence (Cérna Valley, Vértesacs, Hungary). – *Central European Geology* **52/1**, 31–42.
- MÁRTON E. 2009: Paleomágneses adatok. – In: BUDAI, T. & FODOR, L. (szerk.): *A Vértes földtana. Magyarózó a Vértes földtani térképéhez (1:50 000)*. Magyarországi tájegységi térképsorozata. 151–155.
- MÁRTON, E. & MORO, A. 2009: New paleomagnetic results from imbricated Adria: Ist Island and related areas. – *Geologia Croatica* **62/2**, 107–114.

- MÁRTON, E., RAUCH-WŁODARSKA, M., KREJČÍ, O., TOKARSKI, A. K. & BUBÍK, M. 2009: An integrated palaeomagnetic and AMS study of the Tertiary flysch from the Outer Western Carpathians. – *Geophysical Journal International* **177**, 925–940.
- MÁRTON, E., JELEŃSKA, M., TOKARSKI, A. K., SOTÁK, J., KOVÁČ, M. & SPIŠIAK, J. 2009: Current-independent paleomagnetic declinations in flysch basins: a case study from the Inner Carpathians. – *Geodynamica Acta* **22/1–3**, 73–82.

2010

- GRABOWSKI, J., HAAS, J., MÁRTON, E. & PSZCZÓŁKOWSKI, A. 2010: Magneto- and biostratigraphy of the Jurassic/Cretaceous boundary in the Lókút section (Transdanubian Range, Hungary). – *Studia Geophysica et Geodaetica* **54**, 1–26.
- MÁRTON, E., ZAMPIERI, D., GRANDESSO P., ČOSOVIĆ, V. & MORO, A. 2010: New Cretaceous paleomagnetic results from the foreland of the Southern Alps and the refined apparent polar wander path for stable Adria. – *Tectonophysics* **480**, 57–72.
- MÁRTON, E., BRADÁK, B., RAUCH-WŁODARSKA, M. & TOKARSKI, A. K. 2010: Magnetic anisotropy of clayey and sandy members of Tertiary flysch from the Silesian and Skole nappes. – *Studia Geophysica et Geodaetica* **54**, 121–134.
- MÁRTON, E., ČOSOVIĆ, V., BUCKOVIĆ, D. & MORO, A. 2010: The tectonic development of the Northern Adriatic region constrained by Jurassic and Cretaceous paleomagnetic results. – *Tectonophysics* **490**, 93–102.
- MORO, A., ČOSOVIĆ, V. & MÁRTON, E. 2010: Geološka građa otoka Ista i okolnih otočića. – In: FARIČIĆ, J. (ed.): *Otoci Ist i Škarda (Ist and Skarda islands)*. Sveučilište u Zadru (University of Zadar), Zadar, 93–97. ISBN 978-953-7237-75-2

2011

- BALLA Z., MÁRTON E. & GULÁCSI Z. 2011: A Dél-Dunántúl kréta szubvulkáni teléreinek koráról paleomágneses mérések alapján. – *Földtani Közlemény* **141/3**, 233–250.
- BRADÁK, B., THAMÓ-BOZSÓ, E., KOVÁCS, J., MÁRTON, E., CSILLAG, G. & HORVÁTH, E. 2011: Characteristics of Pleistocene climate cycles identified in Cérna Valley loess–paleosol section (Vértesacs, Hungary). – *Quaternary International* **234**, 86–97.
- MÁRTON, E., TOKARSKI, A. K., KREJČÍ, O., RAUCH, M., OLSZEWSKA, B., TOMANOVÁ PETROVÁ, P. & WÓJCIK, A. 2011: “Non European” paleomagnetic directions from the Carpathian Foredeep at the southern margin of the European plate. – *Terra Nova* **23**, 134–144.
- MÁRTON, E., ZAMPIERI, D., KÁZMÉR, M., DUNKL, I. & FRISCH, W. 2011: New Paleocene–Eocene paleomagnetic results from the foreland of the Southern Alps confirm decoupling of stable Adria from the African plate. – *Tectonophysics* **504**, 89–99.
- MÁRTON, E., SIPOS, P., NÉMETH, T. & MAY, Z. 2011: Transport of pollutants around a high building: integrated magnetic, mineralogical and geochemical study. – *6th Congress of the Balkan Geophysical Society, Conference Proceedings & Exhibitor's Catalogue* (European Association of Geoscientists & Engineers 2011, Houten, ISBN 978-90-73834-16-3), **B9**, 1–6.

2012

- MÁRTON, E., TOMLIJENIĆ, B., PAVELIĆ, D., PETHE, M. & JELEN, B. 2012: Magnetic fabric of Late Miocene clay-rich sediments from the southern Pannonian basin. – *International Journal of Earth Sciences* **101**, 879–888.
- MÁRTON, E., SIPOS, P., ZAJZON, N., SZENTMARJAY, T., LAUTNER, P. & PETHE, P. 2012: Magnetic monitoring, geochemical and mineralogical analysis of settled dust from North and Central Transdanubia, Hungary. – *Central European Geology* **55/4**, 347–364.
- MÁRTON, E., LESIĆ, V. & CVETKOV, V. 2012: First magnetic measurements on PM10 filters from two stations in Serbia and comparison of the results with those from nine Hungarian stations. – In: KOMATINA-PETROVIĆ, S. (ed.): *Proceedings, Geosciences and Environment, The 3rd International Professional Conference*. ISBN 978-86-913953-6-0. Association of Geophysicists and Environmentalists of Serbia (AGES), Beograd. 76–79.
- SIPOS, P., KOVÁCS-KIS, V., MÁRTON, E., NÉMETH, T., MAY, Z. & SZALAI, Z. 2012: Lead and zinc in the suspended particulate matter and settled dust in Budapest, Hungary. – *European Chemical Bulletin* **1/11**, 449–454.
- SIPOS, P., MÁRTON, E., NÉMETH, T., KOVÁCS-KIS, V., MAY, Z. & SZALAI, Z. 2012: Mineral phases containing heavy metals in the suspended dust from Budapest, Hungary. – *ICHMET 2012 Abstracts, E3S Web of Conferences, HM in the Atmosphere III*, 1–4.

2013

- LESIĆ, V., MÁRTON, E., CVETKOV, V. & TOMIĆ, D. 2013: Magnetic anisotropy of Cenozoic igneous rocks from the Vardar zone (Kopaonik area, Serbia). – *Geophysical Journal International* **193**, 1182–1197.
- MÁRTON, E., GRABOWSKI, J., PLAŠIENKA, D., TÚNYI, I., KROBICKI, M., HAAS, J. & PETHE, M. 2013: New paleomagnetic results from the Upper Cretaceous red marls of the Pieniny Klippen Belt, Western Carpathians: evidence for general CCW rotation and implications for the origin of the structural arc formation. – *Tectonophysics* **592**, 1–13.
- ZAJZON, N., MÁRTON, E., SIPOS, P., KRISTÁLY, F., NÉMETH, T., KOVÁCS-KIS, V. & WEISZBURG, T. G. 2013: Integrated mineralogical and magnetic study of magnetic airborne particles from potential pollution sources in industrial-urban environment. – *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* **8/1**, 179–186.
- ZAJZON, N., MÁRTON, E., SIPOS, P., PETHE, M., NÉMETH, T., KOVÁCS-KIS, V. & URAM, J. 2013: Tracking magnetic pollutants by integrated mineralogical and magnetic analyses of airborne particles in urban environment. – *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* **8/4**, 221–229.

2014

- MÁRTON, E., ČOSOVIĆ, V. & MORO, A. 2014: New stepping stones, Dugi otok and Vis islands, in the systematic paleomagnetic study of the Adriatic region and their significance in evaluations of existing tectonic models. – *Tectonophysics* **611**, 141–154.
- ROETZEL, R., DE LEEUW, A., MANDIĆ, O., MÁRTON, E., NEHYBA, S., KUIPER, K. F., SCHOLGER, R. & WIMMER-FREY, I. 2014: Lower Miocene

- (upper Burdigalian, Karpatian) volcanic ashfall at the south-eastern margin of the Bohemian Massif in Austria – New evidence from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -dating, palaeomagnetic, geochemical and mineralogical investigations. – *Austrian Journal of Earth Sciences* **107/2**, 2–22.
- SIPOS-BENKŐ, K., MÁRTON, E., FODOR, L. & PETHE, M. 2014: An integrated magnetic susceptibility anisotropy (AMS) and structural geological study on Cenozoic clay rich sediments from the Transdanubian Range. – *Central European Geology* **57/1**, 21–52.
- SIPOS, P., MÁRTON, E., MAY, Z., NÉMETH, T. & KOVÁCS KIS, V. 2014: Geochemical, mineralogical and magnetic characteristics of vertical dust deposition in urban environment. – *Environmental Earth Sciences* **72**, 905–914.

2015

- BIRÓ, T., KARÁTSZON, D., MÁRTON, E., JÓZSA, S. & BRADÁK, B. 2015: Paleoflow directions of a subaqueous lahar deposit around the Miocene Keserűs Hill lava dome complex (North Hungary) as constrained by photo-statistics and anisotropy of magnetic susceptibility (AMS). – *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **302**, 141–149.

2016

- KISS, D., MÁRTON, E. & TOKARSKI, A. K. 2016: An integrated paleomagnetic and magnetic anisotropy study of the Oligocene flysch from the Dukla nappe, Outer Western Carpathians, Poland. – *Geologica Carpathica* **57/6**, 595–605.
- MÁRTON, E., PAVELIĆ, D., VRANJKOVIĆ, A. & ČOSOVIC, V. 2016: Reappraisal of the palaeomagnetism of the Miocene intramontane Pag and Drniš-Sinj basin, External Dinarides (Croatia). – *Tectonophysics* **676**, 125–134.
- MÁRTON E. 2016: Paleomágneses jelzőszintek és mágneses polaritás, avagy mit mond a paleomágnesség az ipolytarnóci vulkanitok koráról. – In: GUBA SZ. & SZARVAS I. (szerk.): *Ösmaradványok nyomában, Ipolytarnóc földtani megismerése I.* (ISBN 978-963-9817-66-1) Bükk Nemzeti Park Igazgatósága, Eger, 77–84.
- MÁRTON, E., GRABOWSKI, J., TOKARSKI, A. K. & TÚNYI, I. 2016: Palaeomagnetic results from the fold and thrust belt of the Western Carpathians: an overview. – In: PUEYO, E. L., CIFELLI, F., SUSSMAN, A. J. & OLIVA-URCIA, B. (eds): *Palaeomagnetism in Fold and Thrust Belts: New Perspectives. Geological Society, London, Special Publications* **425**, 7–36.
- TOKARSKI, A. K., MÁRTON, E., SWIERCZEWSKA, A., FHEED, A., ZASADNI, J. & KUKULAK, J. 2016: Neotectonic rotations in the Orava-Nowy Targ Intramontane Basin (Western Carpathians): An integrated palaeomagnetic and fractured clasts study. – *Tectonophysics* **685**, 35–43.

2017

- CSÁNYI K., FARSANG A. & MÁRTON E. 2017: Ülepedő porok nehézfém tartalmának és mágneses szuszceptibilitásának vizsgálata hársfa levelek segítségével Szegeden. – In: BLANKA, V. & LADÁNYI, Zs. (szerk.), *Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században. A VII. Magyar Tájökológiai Konferencia Tanulmányai*, ISBN 978-963-306-542-6, Szegedi Tudományegyetem Földrajz és Földtudományi Intézet, 78–88.
- KOVÁČ, M., MÁRTON, E., OSZCZYPKO, N., VOJTKO, R., HÓK, J., KRÁLIKOVÁ, S., PLAŠIENKA, D., KLUČIAR, T., HUDÁČKOVÁ, N. & OSZCZYPKO-CLOWES, M. 2017: Neogene palaeogeography and basin evolution of the Western Carpathians, Northern Pannonian domain and adjoining areas. – *Global and Planetary Change* **155**, 133–154.
- MÁRTON, E., ZAMPIERI, D., ČOSOVIC, V., MORO, A. & DROBNE, K. 2017: Apparent Polar Wander Path for Adria extended by new Jurassic paleomagnetic results from its stable core: tectonic implications. – *Tectonophysics* **700–701**, 1–18.

2018

- KOVÁČ, M., MÁRTON, E., KLUČIAR, T. & VOJTKO, R. 2018: Miocene basin opening in relation to the north-eastward tectonic extrusion of the ALCAPA Mega-Unit. – *Geologica Carpathica* **69/3**, 254–263.
- LESIĆ, V., MÁRTON, E., JOVANOVIĆ, D., LUKOVIĆ, A. & CVETKOV, V. 2018: Paleomagnetic results from Timok magmatic complex, Eastern Serbia. – In: GANIĆ, M., CVETKOV, V., VULIĆ, P., ĐURIĆ, D. & ĐURIĆ, U. (eds): *17th Serbian Geological Congress, Book of Abstracts*, (ISBN:978-86-86053-20-6) Serbian Geological Society, Belgrade, 747–751.
- MÁRTON, E. 2018: Hungarian contribution to the research of palaeomagnetism and magnetic anisotropy (2015–2018) – IAGA Division I: Internal magnetic fields. – *Geomatikai Közlemények* **21**, 61–64.
- MÁRTON, E., FODOR, L., KÖVÉR, SZ., LESIĆ, V., ĐERIĆ, N. & GERZINA SPAJIC, N. 2018: New paleomagnetic results from the Inner Dinarides, SW Serbia. – In: GANIĆ, M., CVETKOV, V., VULIĆ, P., ĐURIĆ, D. & ĐURIĆ, U. (eds): *17th Serbian Geological Congress, Book of Abstracts*, (ISBN:978-86-86053-20-6) Serbian Geological Society, Belgrade, 752–756.
- SIPOS, A. Á., MÁRTON, E. & LÁSZLÓ, F. 2018: Reconstruction of early phase deformations by integrated magnetic and mesotectonic data evaluation. – *Tectonophysics* **726**, 73–85.

2019

- LESIĆ, V., MÁRTON, E., GAJIC, V., JOVANOVIĆ, D. & CVETKOV, V. 2019: Clockwise vertical-axis rotation in the West Vardar zone of Serbia: tectonic implications. – *Swiss Journal of Geosciences* **112**, 199–215.
- MÁRTON, E., PLAŠIENKA, D., MADZIN, J., GRABOWSKI, J., BUČOVÁ, J., AUBRECHT, R. & PUTIŠ, M. 2019: A new era of the paleomagnetic research in the pre-Cenozoic of the Central Western Carpathians: concepts, first results and ongoing studies. – In: BROSKA, I., KOHÚT, M. & TOMAŠOVÝCH, A. (eds): *Proceedings of the Geologica Carpathica 70 Conference*. (ISBN 978-80-85754-42-1) Earth Science Institute of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava, 33–36.

2020

- BIRÓ, T., HENCZ, M., NÉMETH, K., KARÁTSZON, D., MÁRTON, E., SZAKÁCS, A., BRADÁK, B., SZALAI, Z., PÉCSKAY, Z. & KOVÁCS, I. J. 2020:

A Miocene Phreatoplinian eruption in the North-Eastern Pannonian Basin, Hungary: the Jató Member. – *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **401**, 106973.

FODOR, L., MÁRTON, E., VRABEC, M., KOROKNAL, B., TRAJANOVA, M. & VRABEC, M. 2020: Relationship between magnetic fabrics and deformation of the Miocene Pohorje intrusions and surrounding sediments (Eastern Alps). – *International Journal of Earth Sciences* **109**, 1377–1401.

MÁRTON, E. 2020: Last scene in the large scale rotations of the Western Carpathians as reflected in paleomagnetic constraints. – *Geology, Geophysics and Environment* **46/2**, 109–133.

MÁRTON, E., MADZIN, J., PLAŠIENKA, D., GRABOWSKI, J., BUČOVÁ, J., AUBRECHT, R. & PUTIŠ, M. 2020: New paleomagnetic constraints for the large-scale displacement of the Hronic nappe system of the Central Western Carpathians. – *Journal of Geodynamics* **141–142**, 101796

PÜSPÖKI, Z., FOGARASSY-PUMMER, T., THAMÓ-BOZSÓ, E., BERÉNYI, B., CSERKÉSZ-NAGY, Á., SZAPPANOS, B., MÁRTON, E., LANTOS, Z., NÁDOR, Á., FANCSIK, T., STERCEL, F., TÓTH-MAKK, Á., MCINTOSH, R. W., SZÓCS, T. & FARAGÓ, E. 2020: High-resolution stratigraphy of a Quaternary fluvial deposit based on magnetic susceptibility variations (Jászság Basin, Hungary). – *Boreas* **49**, 181–199.

2021

HENCZ, M., BIRÓ, T., CSERI, Z., KARÁTSÓN, D., MÁRTON, E., NÉMETH, K., SZAKÁCS, A., PÉCSKAY, Z. & KOVÁCS, I. J. 2021: A Lower Miocene pyroclastic-fall deposit from the Bükk Foreland Volcanic Area, Northern Hungary: Clues for an eastward-located source. – *Geologica Carpathica* **72/1**, 26–47.

MADZIN, J., MÁRTON, E., STAREK, D. & MIKUŠ, T. 2021: Magnetic fabrics in the turbidite deposits of the Central Carpathian Paleogene Basin in relation to sedimentary and tectonic fabric elements. – *Geologica Carpathica* **72/2**, 134–154.

PÜSPÖKI, Z., FOGARASSY-PUMMER, T., THAMÓ-BOZSÓ, E., FALUS, Gy., CSERKÉSZ-NAGY, Á., SZAPPANOS, B., MÁRTON, E., LANTOS, Z., SZABÓ, S., STERCEL, F., TÓTH-MAKK, Á., MCINTOSH, R. W., SZÓCS, T., PÁLÓCZY, P. & FANCSIK, T. 2021: High-resolution stratigraphy of Quaternary fluvial deposits in the Makó Trough and the Danube–Tisza Interfluve, Hungary, based on magnetic susceptibility data. – *Boreas* **50/1**, 205–223.

2022

KARÁTSÓN, D., BIRÓ, T., PORTNYAGIN, M., KISS, B., PAQUETTE, J.-L., CSERI, Z., HENCZ, M., NÉMETH, K., LAHITTE, P., MÁRTON, E., KORDOS, L., JÓZSA, S., HABLY, L., MÜLLER, S. & SZARVAS, I. 2022: Large-magnitude (VEI ≥ 7) ‘wet’ explosive silicic eruption preserved a Lower Miocene habitat at the Ipolytarnóc Fossil Site, North Hungary. – *Scientific Reports* **12**, 9743.

MÁRTON, E., TOLJIĆ, M. & CVETKOV, V. 2022: Late and post-collisional tectonic evolution of the Adria–Europe suture in the Vardar Zone. – *Journal of Geodynamics* **149**, 101880.

MÁRTON, E., PIPÍK, R., STAREK, D., KOVÁCS, E., VIDHYA, M., ŚWIERCZEWSKA, A., TOKARSKI, A. K., VOJTKO, R. & SCHLÖGL, S. 2022: Enhancing the reliability of the magnetostratigraphic age assignment of azimuthally nonoriented drill cores by the integrated application of palaeomagnetic analysis, field tests, anisotropy of magnetic susceptibility, and the evolution of the endemic fauna as documented on the upper Miocene limnic deposits of the Turiec Basin (Western Carpathians). – *AAPG Bulletin* **106/4**, 803–827.

MÁRTON, E., ČOSOVIĆ, V., IMRE, G. & VELKI, M. 2022: Changing directions of the tectonic structures, consistent paleomagnetic directions at the NE imbricated margin of Stable Adria. – *Tectonophysics* **843**, 229594.

2023

MÁRTON, E. 2023: Hungarian contribution to palaeomagnetism and magnetic anisotropy (2019–2022) – Division I – Part I. – *Publications in Geomatics* **25**, 51–54.

VELKI, M., MÁRTON, E., CVETKOV, V. & KÖVÉR, Sz. 2023: Paleomagnetic contribution to resolving the tectonic evolution of the Drina–Ivanjica Unit, Internal Dinarides. – *Geologica Carpathica* **74/5**, 423–440.

2024

MÁRTON, E., CVETKOV, V., BANJEŠEVIĆ, M., IMRE, G., PAČEVSKI, A. 2024: Tectonic evolution of the Circum–Moesian orocline of the Carpatho–Balkanides: Paleomagnetic constraints. – *Journal of Geodynamics* **162**, 102058.

2025

KARÁTSÓN, D., LAHITTE, P., PORTNYAGIN, M., PALOTAI, M., JÓZSA, S., MÁRTON, E., TÓTH, E., ERDEI, B., NOMADE, S., NÉMETH, K., IVÁN, L., KRASZNAI, M., VÖRÖS, F., BIRÓ, T., PAQUETTE, J.-L., HABLY, L., HÍR, J., PRAKFAI, P., KISS, J., PÉCSKAY, Z., FRICK, D. A. & HENCZ, M. 2025: A 13.06 Ma widespread ignimbrite in the Pannonian Basin captured a snapshot of shallow marine to coastal environment in Central Paratethys. – *Scientific Reports* **15**, 23528.

MÁRTON, E., HAAS, J., IMRE, G., VELKI, M. & FODOR, L. 2025: New Mesozoic APWP for Adria aided by data from the Transdanubian Range Unit – Tectonic interpretation in the Europe–Africa geodynamic system. – *Gondwana Research* **137**, 274–298.

CSATH Béla
1927–2025

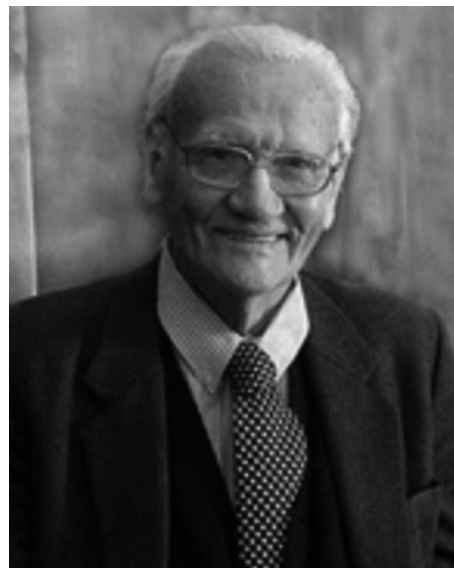
CSATH Béla elemi és középiskolai tanulmányait Zalaegerszegen végezte el. A II. világháborút követően nyugati fogságba került, szabadulása után Zalaegerszegen, a Deák Ferenc Gimnáziumban érettségizett. 1946 szeptemberében kezdte meg bányamérnöki tanulmányait Sopronban, a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, de a diplomáját már a Miskolci Nehézipari Egyetemen kapta meg 1951. szeptember 14-én. Jubileumi bányamérnöki díszoklevelei: aranydiploma (2001), gyémántdiploma (2011), vasoklevél (2016), rubinoklevél (2021).

Friss diplomásként az olajiparban kezdett dolgozni. Első munkahelye a Bázakerettyei Kőolajtermelő Vállalatnál, Obornakon, Újfaluban volt. Az 1950-ben felfedezett nagylengyeli olajmező fejlődésének köszönhetően Gelénházán vállalt munkát mint fúrómérnök. Az ott eltöltött három év után a Kőolaj- és Földgázbányászati Vállalat (KFV) komlóói szénkutatási bérfűrásának volt üzemvezetője. Miután felszámolták ezt a részleget, Kővágószőlősen uránérckutatási és -feltárási munkálatokat irányított szintén üzemvezetői beosztásban. 1957-ben a szénfűrásokat végző Tokodi Mélyfúró Vállalatnál a Tokodi Üzem vezetőjeként dolgozott. A vállalat felszámolása után maradt a fűrási szakmában, csak annak egy másik területén. Az 1958-ban megalakult Vízkutató és Kútúró Vállalathoz ment dolgozni, ahol termelési előadói munkakörben tevékenykedett. A mélyfűrási szakmai oktatásban is részt vállalt, a területhez való erős kötődésének köszönhetően a fűrási szakma megbecsülését és hivatás-szeretetét tanulták tőle a fiatal szakemberek.

1961-től a nagymélységű geotermikus célú fűrások irányítását végezte. Három évig irányította (1960, 1966–67) a mongol vízkutató expedíciót. Ennek feladata kisebb módosításokkal 13 éven keresztül a következő volt: a hazai körülményektől eltérő éghajlati és hidrogeológiai viszonyok között a mongol fél által kijelölt területeken a nagy gyakorlattal rendelkező magyar szakembereknek magyar fúróberendezésekkel, valamint vízkutatási-, fűrási és kútépítési komplex módszerek alkalmazásával legalább 30 l/min hozamú kutakat kellett létesíteniük.

A Vízkutató és Fúró Vállalat 1970 szeptembere óta dolgozott Jugoszláviában. CSATH Béla a VIKUV központjából koordinálta a jugoszláviai fűrási munkákat 1970–1974 között (Vruci-fürdő, Arandjelovac, Mladenovac, Szabadka). 1972-ben Csehszlovákiával Szlovákia területén mélyítendő geotermikus (hévíz-) kutatófűrások komplex vizsgálatainak kivitelezésére és a vonatkozó dokumentumok elkészítésére kötöttek szerződést. Ennek alapján a geotermikus kutatás (1973–1991) eredményei a következők voltak: i) a Dunai-medencében, vagyis a Pozsony–Galánta–Érsekújvár–Komárom által közbezárt részeken 10 hévízkutató mélyfűrás létesült, ii) a Bécsi-medence peremvidékén egy fűrás mélyült, iii) a Topolcsányi–Bánovcei-medencében egy fűrást mélyítettek, iv) a Liptói-medencében három fűrásra került sor, v) a lévai területen a podhajszkai strandfürdő újabb hévízkútja épült visszaszajtolási céllal. Ezen munkák befejezése után CSATH Béla a vállalat ceglédi és debreceni üzemvezetőségének központi ügyeit intézte 1989. december 31-ig, nyugdíjba vonulásáig.

CSATH Béla fontos szerepet játszott az 1968. október 11-én átadott Zsigmondy Vilmos Emlékszoba anyaggyűjtésében és a kiállítás megnyitásában, melynek első vezetője dr. DOBOS Irma főgeológus volt. DOBOS Irma távozása után 1975-től CSATH Béla vette át az emlékszoba vezetését. Az ő gyarapításának és a VIKUV támogatásának is köszönhetően 1975-től már Zsigmondy Vilmos Gyűjtemény néven vezette a gyűjteményt. Elkezdte a „fűrász” ZSIGMONDY Vilmos vízkútúró vállalkozásának utódjául kinevezett ZSIGMONDY Béla gépészmérnök anyagával is bővíteni az anyagot. Nevéhez fűződik a Zsigmondy-családfa adatainak gyűjtése, és a még élő Zsigmondy leszármazottak találkozóin is részt vett. A rendszerváltást követően, 1992-ben a Zsigmondy Vilmos Gyűjtemény a Magyar Olajipari Múzeum (MOIM) tulajdonába került, közvetítőként ebben is fontos szerepet vállalt. A Magyar Olajipari Múzeummal már akkor felvette a kapcsolatot, amikor 1969. szeptember 27-én megnyitotta kapuit mint Dunántúli Olajipari Múzeum, majd a későbbiekben is jó kapcsolatot ápol mind



TÓTH Ferencsel, mind annak utódjával, TÓTH Jánossal, a MOIM igazgatóival. Nyugdíjasként 1993-tól 2009 nyaráig a MOIM szaktanácsadójaként tevékenykedett, mialatt változatlanul irányította a gyűjteményi munkát is. Havonta egy hetet töltött Zalaegerszegen a Zsigmondy Vilmos Gyűjtemény rendezésével. Próbálta úgy időzíteni a zalaegerszegi tartózkodásait, hogy minél több MOIM-rendezvényen is részt tudjon venni.

A rendszerváltást követően JÁRMAI Ervin, BENKE István és CSATH Béla kezdték el újraéleszteni a Szt. Borbála-kultuszt Magyarországon.

Az OMBKE-nek 1955-től volt tagja, ahol a Kőolaj-, Földgáz- és Vízbányászati Szakosztály Vízfúrási Helyi Szervezetének 1972-től 37 éven át titkára, majd elnöke volt, közben az OMBKE történeti bizottságának vezetői teendőit is ellátta 1981 és 1996 között. 1962 óta volt tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak, valamint 1991-től a Magyarhoni Földtani Társulatnak, ahol a szakosztályi történeti bizottságokban tevékenykedett. Az OMBKE-ben végzett munkájáért Szentkirályi Zsigmond- és Zsigmondy Vilmos-émlékérmet kapott. 1992-től lett az egyesület tiszteleti tagja és tulajdonosa a Szent Borbála- és a Bogdánfy Ödön-émlékéremnek, a Pro Aqua-éremnek, valamint az ezüستfokozatú Magyar Olajiparéért kitüntetésnek. Az OMBKE 40 éves egyesületi tagságáért 1995-ben, majd az 50 éves egyesületi tagságáért 2005-ben Sóltz Vilmos-émlékérmet kapott. Az OMBKE Kőolaj-, Földgáz- és Vízbányászati Szakosztálya, a MOL Nyrt. és a Magyar Olajipari Múzeum Alapítvány által kétévenként meghirdetett pályázatokon három alkalommal nyerte el a legmagasabb értékű Papp Simon-émlékdíjat. Szakirodalmi munkássága: könyv, könyvrészlet, szakmai és ipartörténeti tanulmányok, dolgozatok, szaklapokban megjelent cikkek stb. (655 db), emellett 357 alkalommal tartott előadást túlnyomórészt víz- és olajbányászati témákban.

Utolsó éveiben is aktívan dolgozott, írta a cikkeket és előadásokat is, melyekre már nem tudott elmenni, de valaki mindig felolvasta helyette. 2024-ben feleségének és az első házasságából született gyermekének halála nagyon megviselte, de a munka elterelte figyelmét a fájdalomról. 2025. június 19-én, életének 98. évében otthonában hunyt el, és vele együtt egy fejezet is véget ért a magyar kőolaj-, földgáz- és vízbányászat történetének kutatásában.

Jó szerencsét!

SIMON István

CSATH Béla publikációinak jegyzéke

1959

CSATH B. 1959: Egy-két szó a „Yet” perforálásról. – *Földtani Kutatás* **2/2**, 13–16.

1962

CSATH B. 1962: Termásvízvizkutatás. – *Földtani Kutatás* **4/1**, 1–4.

CSATH B. 1962: A hévízkutak korszerű kiképzése és termelésbe állítása. – *Földtani Kutatás* **5/3–4**, 21–27.

CSATH B. 1962: Vízkutatás Mongóliában. – *Bányászati Lapok* **95/1**, 54–59.

1964

CSATH B. 1964: Hidraulikus rétegrepesztéses vízhozamnövelő eljárás. – *Hidrológiai Közöny* **44/4**, 189–192.

1965

CSATH B. 1965: *Hévízkút fúrasi és termelésbe állítási technológia*. – OVF Vízkutató és Fúró Vállalat, Műszaki Fejlesztési Osztály, Budapest, 84 p.

1966

CSATH B. & SOMLAI F. 1966: Adatok Jugoszlávia kútfúró iparáról. – *Hidrológiai Tájékoztató* **6/1**, 137–138.

1968

CSATH B. 1968: A mongóliai vízkutatás 10 esztendeje. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **1(101)/9–10**, 296–304.

1971

CSATH B. 1971: Mély hévízkutak kiképzése. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **4(104)/5**, 130–135.

1972

CSATH B. 1972: Szénhidrogén-termelésünk alakulása 1971-ben. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **5(105)/4**, p. 126.

CSATH B. 1972: A Vízkutató Szakcsoport tisztújító ülése. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **5(105)/6**, p. 190.

CSATH B. 1972: A Vízkutató Szakcsoport előadó ülése. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **5(105)/9**, p. 286.

1973

CSATH B. 1973: A vízfúrasi szakcsoport előadóülése (Budapest, 1972. november 20.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **6(106)/2**, p. 47.

CSATH B. 1973: A vízfúrasi szakcsoport előadóülése (Budapest, 1972. december 15.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **6(106)/4**, p. 123.

CSATH B. 1973: A Vízfúrasi Szakcsoport klubnapja (Budapest, 1973. február 14.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **6(106)/5**, p. 161.

CSATH B. 1973: A vízfúrasi szakcsoport előadóülése (Visegrád, 1973. május 11.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **6(106)/8**, p. 254.

CSATH B. 1973: Freibergi Bányász-Kohász Napok (1973. május 16–19.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **6(106)/9**, 287–288.

CSATH B. 1973: A hévízkutak kútféj kiképzésének kialakulása. – *Földtani Kutatás* **16/1–2**, 110–124.

CSATH B. & IHAROS M. 1973: Az 1921–1923-ban lemélyített első budafapusztai mélyfúrás. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **6(106)/1**, p. 13–20.

HOBOT J., MÓZES E., SOMLAI F. & CSATH B. 1973: *A mongóliai magyar vízkutatás és feltárás története 1957–1970*. – VIZDOK, Budapest, 304 p.

1974

CSATH B. 1974: 25 éves az államosított vízkútfúró ipar. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **7(107)/3**, 82–93.

CSATH B. 1974: A Vízfúrasi Szakcsoport zalai tanulmányútja, múzeumlátogatása. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **7(107)/4**, p. 126.

CSATH B. 1974: A Vízfúrasi Szakcsoport előadóülése (Budapest, 1973. november 30.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **7(107)/5**, p. 156.

CSATH B. 1974: A Vízfúrasi Szakcsoport szlovákiai kirándulása (1974. május 31. – június 2.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **7(107)/11**, p. 349.

CSATH B. 1974: A vízfúrasi szakcsoport előadóülése (Visegrád, 1974. június 28.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **7(107)/11**, p. 349.

CSATH B. 1974: A Vízkutató és Fúró Vállalat befejezte jugoszláviai termál-, ásvány- és ivóvízkutatásait. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **7(107)/12**, p. 382.

CSATH B. 1974: 50 évvel ezelőtt indult meg a szénhidrogén-kutatás Hajdúszoboszlón. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **7(107)/12**, 353–357.

1975

CSATH B. 1975: A hajdúszoboszlói termálvíz fél évszázad előtti feltárása és a fürdőváros fejlődése. – *Hidrológiai Közöny* **55/9**, 417–421.

1976

CSATH B., HOLLANDY J. & KÓTA K. 1976: *Mélyfúró és kútüzemeltető szakmai ismeretek III.* – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 250 p.

IHAROS M. & CSATH B. 1976: Állami szénhidrogén-kutatások Karcag térségében 1927–1930 között. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **9(109)/9**, 276–283.

CSATH B. 1976: Vízfúrási Szakcsoport (Budapest, 1975. október 1.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **9(109)/1**, p. 31.

CSATH B. 1976: Megemlékezés a hajdúszoboszlói hévíz fél évszázad előtti feltárásáról. – *Hidrológiai Tájékoztató* **16/1**, 44–48.

CSATH B. 1976: Előadóülés az algyői mező felfedezésének 10 éves jubileuma alkalmából (Szeged, 1975. október 15.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **9(109)/1**, p. 12.

CSATH B. 1976: A Vízfúrási Szakcsoport előadóülése (Budapest, 1976. április 7.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **9(109)/7**, p. 222.

1977

CSATH B. 1977: A Vízfúrási Szakcsoport kirándulása Kelet-Szlovákiába (1976. augusztus 19–21.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **10(110)/1**, p. 20.

CSATH B. 1977: Szemelvények a Békés megyei vízkutatás és feltárás fejlődéséről a századfordulótól. – *Hidrológiai Közöny* **57/3**, 140–146.

CSATH B. 1977: Megemlékezés Zsigmondy Béla sírjánál. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **10(110)/4**, p. 126.

1978

CSATH B. 1978: Kincstári szénhidrogén-kutató fúrás Tiszaörs határában. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **11(111)/3**, 83–86.

CSATH B. 1978: Száz éve fejeződött be a városligeti fúrás. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **11(111)/1**, p. 31.

CSATH B. 1978: Adalékok a hévízkutatás történetéhez. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **11(111)/12**, 371–373.

1979

CSATH B. 1979: Tízéves a Zsigmondy Vilmos emlékszoba Visegrádon. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **12(112)/1**, p. 6.

CSATH B. 1979: Ünnepi megemlékezés. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* 1979. **12(112)/1**, p. 15.

CSATH B. 1979: Zsigmondy Vilmos emlékszoba Visegrádon. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **112/8**, 566–569.

1980

CSATH B. 1980: Az első artézi díszkutak. – *Magyar Vízgazdálkodás* **20/11–12**, 28–29.

CSATH B. & KORIM K. 1980: Termálkút-fúrás Vácott. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **13(113)/1**, p. 5, 11.

CSATH B. 1980: 100 évvel ezelőtt készült el az Alföld első artézi kútja Hódmezővásárhelyen. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **13(113)/7**, p. 224.

CSATH B. 1980: Százhusz évvel ezelőtt kezdődött. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **13(113)/3**, p. 94.

CSATH B. 1980: Diószegi Béla köszöntése. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **13(113)/2**, p. 63.

1981

CSATH B. 1981: Zsigmondy Vilmos. – *Bányásztörténet*, Borsodi Szénbányák Miniaturkönyv, Miskolc, 144 p.

CSATH B. 1981: Újra megnyitotta kapuit a Központi Bányászati Múzeum. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/2**, p. 64.

CSATH B. 1981: A geotermikusenergia-kutatás helyzete Jugoszláviában. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/3**, p. 70.

CSATH B. 1981: A hódmezővásárhelyi kút-fúró dinasztia. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/3**, 87–94.

CSATH B. 1981: A VIKUV apentai telepén levő új hévízkút. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/4**, p. 100.

CSATH B. 1981: A vízfúrási szakcsoport előadó ülése. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/5**, p. 136.

CSATH B. 1981: 8. Nemzetközi hidrogeológiai kollokvium. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/5**, p. 147.

CSATH B. 1981: Az artézi víz szerepe a Dél-Alföld vízellátásában. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/6**, p. 187.

CSATH B. 1981: A mélyfúrás és vízkutatás a XIX. század második felében – a magyarországi vízbányászat kialakulása: a Zsigmondyak kora. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/7**, 221–224.

CSATH B. 1981: A mélyfúrás és vízkutatás a XIX. század második felében – a magyarországi vízbányászat kialakulása: a Zsigmondyak kora. – *Földtani Kutatás* **24/4**, 81–83.

CSATH B. 1981: 100 éves az első nyilvános célú artézi kút Hódmezővásárhelyen. – *Hidrológiai Tájékoztató* **21/1**, 10–11.

- CSATH B. 1981: Megemlékezés a hódmezővásárhelyi, 100 éve elkészült az Alföld első artézi kútjáról. – *Hidrológiai Közlöny* **61/4**, 145–148.
- CSATH B. 1981: Beszámoló a VI. vízügyi történeti napokról. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/11**, p. 350.
- CSATH B. 1981: Vezetőségválasztás a vízfűrés szakcsoportnál. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/12**, p. 377.
- CSATH B. 1981: Hévízfeltáró fúrások 1980-ban. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/7**, 223–224.
- CSATH B. 1981: A VIKUV által készített hévízkutak Törökbálinton és Tamásiban. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **14(114)/11**, p. 346.

1982

- KELEMEN J. & CSATH B. 1982: Jugoszláviai tanulmányutak. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **15(115)/9**, 286–287.
- CSATH B. & SOMLAI F. 1982: Köszöntjük a 80 éves Posch Jenőt. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **15(115)/10**, p. 319.
- CSATH B. & POGÁNY L. 1982: XXXII. bányászati-kohászati napok a freibergi Bányászati Akadémián (1981. június 23–26.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **15(115)/5**, 159–160.
- CSATH B. 1982: 50 éve fejeződött be a Debrecen I. fúrás. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **15(115)/11**, 347–350.

1983

- CSATH B. 1983: *A Zsigmondyak szerepe a magyar vízkutatás és fúrás történetében.* – Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet, Budapest, 100 p.
- CSATH B. 1983: Előadóiülés Debrecenben. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **16(116)/3**, p. 94.
- CSATH B. 1983: A magyar vízkutatás pártfogói. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **16(116)/12**, 379–381.
- CSATH B. 1983: Az OMBKE történeti bizottságának 1982. I. félévi munkája. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **16(116)/6**, p. 166.
- CSATH B. 1983: 100 éve kezdtek el a hódmezővásárhelyi Nagy András János-féle artézi kút fúrását. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **16(116)/7**, 221–222.
- CSATH B. 1983: Iharos Miklós (1895–1983). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **16(116)/10**, p. 319.
- CSATH B. 1983: Megemlékezés a VIKUV 25 éves műszaki fejlődéséről. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **16(116)/11**, 347–348.
- CSATH B. 1983: Jubileumi emlékülés. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **16(116)/3**, p. 90.
- CSATH B. 1983: Vízbányászati szekció az OMBKE kőolaj-, földgáz- és vízbányászati szakosztályának XVIII. vándorgyűlésén (Siófok, 1982. szeptember 10–12.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **16(116)/8**, 249–251.
- CSATH B. 1983: Bányászati emlékek és múzeumok az NDK-ban. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **16(116)/2**, p. 46.
- CSATH B. 1983: 100 éve kezdődött a hódmezővásárhelyi Nagy András János-féle artézi kút fúrása. – *Hidrológiai Tájékoztató* **23/2**, 6–8.
- CSATH B. 1983: A bányamérnök és „fúrász” Zsigmondy Vilmos. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **116/1**, 58–62.

1984

- CSATH B. 1984: Oktatás, szakemberképzés a vízbányászatban. – *Kézirat*, Tanulmány, Budapest, 114 p.
- CSATH B. 1984: Az alföldi kincstári szénhidrogén-kutatások eredménye. – *Földtani Tudománytörténeti Évkönyv* **11**, 159–166.
- CSATH B. 1984: A debreceni hévíz fél évszázad előtti feltárása. – *Hidrológiai Közlöny* **64/2**, 123–128.
- CSATH B. 1984: A történeti bizottság II. szemináriuma (Ajka, 1983. szeptember 8–9.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **17(117)/3**, 91–92.

1985

- CSATH B. 1985: A KFSZV helyi szervezetének évnnyitó ülése. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **18(118)/1**, 31–32.
- CSATH B. 1985: A kohászat műszaki alkotói panteonjának felavatása. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **18(118)/5**, p. 159.
- CSATH B. 1985: A fűrómérnökök és fűrótechnikusok európai vándorgyűlései a múltban (1885–1925). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **18(118)/9**, 268–277.
- CSATH B. 1985: Szakosztályunk vízfűrés helyi szervezetének ülése. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **18(118)/9**, p. 267.
- CSATH B. 1985: Rendezvények a magyar műszaki felsőoktatás 250. jubileumi évében. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **18(118)/9**, 282–283.
- CSATH B. 1985: Beszámoló az ICOHTEC 11. szimpozionjáról. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **18(118)/8**, 250–251.
- CSATH B. 1985: Negyven éve fejezték be a Tiszakürt-1. kutatófúrását. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **18(118)/10**, 316–317.
- CSATH B. 1985: Vezetőségválasztás a vízfűrés helyi szervezetnél. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **18(118)/12**, 382–383.

1986

- CSATH B. 1986: Zsigmondy Béla szerepe a magyar vízbányászatban. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **19(119)/10**, 316–317.
- CSATH B. 1986: A mélyfűrés és a vízkutatás európai története, valamint a magyarországi vízbányászat kialakulása a XIX. század végéig. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **19(119)/10**, 304–306.
- CSATH B. & RADÓCZ Gy. 1986: A mélyfűrésos szénkutatás kezdetei Magyarországon. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **19(119)/10**, 310–311.

1987

- CSATH B. 1987: Az OMBKE történeti bizottságának ülése. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **20(120)/4**, p. 126.
 CSATH B. 1987: Elismerés. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **20(120)/1**, p. 17.

1988

- CSATH B. 1988: Zsigmondy Vilmos. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **121/5**, p. 350.
 CSATH B. 1988: A hazai mélyfúrás fejlődése 1918–1938 között, különös tekintettel a földgáz- és a kőolajkutatásra. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **21(121)/4**, 118–121.
 CSATH B. 1988: A hazai vízbányászati fúrási dolgozók baleset-elhárítási oktatásának története. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **21(121)/10**, 314–318.
 CSATH B. & Ősz Á. 1988: Látogatás tengeri fúróberendezésnél, Jugoszláviában 1987. november 18–20. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **21(121)/6**, 185–186.
 CSATH B. 1988: A kincstári szénhidrogén-kutatások az 1920-as években. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **21(121)/6**, 183–184.
 CSATH B. 1988: Zsigmondy Vilmos-emlékülés és szoboravatás Dorogon. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **121/9**, 647–648.
 CSATH B. 1988: Megemlékezés. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **21(121)/9**, p. 284.

1989

- KORIM K. & CSATH B. 1989: Tanulmányút az olaszországi Larderellóban és részvétel a firenzei geotermikus szemináriumon. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **22(122)/10**, 318–319.
 CSATH B. 1989: Emlékünnepség. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **22(122)/12**, p. 378.
 CSATH B. 1989: A Magyar Hidrológiai Társaság Küldöttgyűlése [Szolnok, 1988. október 11.]. – *Hidrológiai Közöny* **69/2**, 116–121.
 CSATH B. 1989: Ifjabb Faller Gusztáv, a mélyfúrástechnika szakembere. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **122/8**, 564–566.

1990

- CSATH B. 1990: Részvétel az ICOHTEC XVIII. nemzetközi kongresszusán. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **23(123)/11**, 350–351.
 CSATH B. 1990: Horváth István (1897–1990). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **23(123)/6**, p. 191.

1991

- CSATH B. 1991: *A nagylengyeli olajmező hőskora (1952. 03. 01. – 1955. 04. 01.)*. – Kőolaj- és Földgázbányászati Vállalat, Zalaegerszeg, 63 p.
 CSATH B. 1991: A „Zsigmondy Béla Klub” emlékülése. – *Hidrológiai Tájékoztató* **32/1**, p. 61.
 CSATH B. 1991: Az egykori Nagyági Bányaiskola alapszabályzata. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **124/5–6**, 318–321.
 CSATH B. 1991: Zsigmondy Béla szerepe a magyar vízfeltárásban. – *Hidrológiai Közöny* **71/6**, 372–376.
 CSATH B. 1991: Zsigmondy Béla szerepe a hazai vízkutatás és -fúrás történetében. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **24(124)/9**, 270–285.
 CSATH B. 1991: Magyarország vízkutatói – Megemlékezés Mazalán Pálról. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **24(124)/5**, 154–158.
 CSATH B. 1991: A „szárnyasfúrás” Hódmezővásárhelyen. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **24(124)/8**, 250–255.

1992

- CSATH B. 1992: Adalékok dr. Papp Simon egyesületi rehabilitációjához. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **125/5–6**, 309–310.
 CSATH B. 1992: További adatok Szeged város 1879. utáni újjáépítésének történetéhez. – *Hidrológiai Közöny* **72/1**, p. 60.
 CSATH B. 1992: A kőolaj-, földgáz- és vízbányászati szakosztály története. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **25(125)/6**, 182–192.

1993

- CSATH B. 1993: A vándorgyűlések története. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **26(126)/7**, 213–216.
 CSATH B. 1993: Egy kútkészítő, aki külföldön tanulta és gyakorolta a szakmát, Bürgermeister Antal munkássága. – *Hidrológiai Tájékoztató* **33/2**, p. 4.
 CSATH B. 1993: A városligeti kút fúrása 1868-ban, 125 éve kezdődött. – *Hidrológiai Közöny* **73/6**, 368–371.
 CSATH B. 1993: Az OMBKE 100 éves története. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **26(126)/2**, 56–58.

1994

- CSATH B. 1994: 125 évvel ezelőtt kezdődött a Városliget 1. számú fúrás. – *Hidrológiai Tájékoztató* **34/1**, 52–53.
 CSATH B. 1994: 150 éves M. CH. Combes bányaműveléstani könyve. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **127/6**, 679–681.

1995

- BUDA E. & CSATH B. 1995: A magyar szénhidrogénipar arcképcsarnoka I. – *Múzeumi Közlemények* 5. Magyar Olajipari Múzeum, Zalaegerszeg, 76 p.

CSATH B. 1995: Visszapillantás az OMBKE történeti bizottságának tevékenységére. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **128/5**, 441–445.

CSATH B. 1995: Vízre telepített fúrások Magyarországon. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **28(128)/9**, 359–367.

1996

CSATH B. 1996: Egy ismét felújított kútszobor, most Jászberényben. – *Hidrológiai Tájékoztató* **36/1**, p. 36.

CSATH B. 1996: Évfordulóink a műszaki és természettudományokban. – *Hidrológiai Tájékoztató* **36/1**, p. 47.

CSATH B. 1996: A Nemzetközi Technikatörténeti Bizottság (ICOHTEC) 23. budapesti szimpoziona. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **129/6**, 620–623.

CSATH B. 1996: Hozzászólás dr. Vitális György: „Hidrológiai gondolatok Magyarország millicentenáriuma” című cikkéhez. – *Hidrológiai Tájékoztató* **36/2**, p. 17.

VÁMOS É. K. & CSATH B. 1996: A Nemzetközi Technikatörténeti Bizottság XXIII. szimpóziuma Budapesten, 1996. augusztus 7–12. – *Technikatörténeti Szemle* **22**, 287–291.

1997

CSATH B. 1997: A vízbányászat helyzete a milleniumkor és az azt megelőző években. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **30(130)/9**, 239–245.

1998

CSATH B. 1998: Zsigmondy Béla 1848–1916. (Zsigmondy Béla születésének 150. évfordulója alkalmából tartott emlékülés előadásai). – *Múzeumi Közlemények* 9. Magyar Olajipari Múzeum, Zalaegerszeg, 40 p.

CSATH B. 1998: Zsigmondy Béla emlékülés. – *Hidrológiai Tájékoztató* **38/1**, 52–53.

CSATH B. 1998: 40 éve alakult a Vízkutató és Kútúró Vállalat. – *Hidrológiai Tájékoztató* **38/1**, p. 46.

CSATH B. 1998: Zsigmondy Vilmos részvétele az 1848–49-es szabadságharcban a bánsági Resicán. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kohászat* **131/7–8**, 262–264.

CSATH B., SZEMÁN A. & MOLNÁR L. 1998: A legrégebb magyar nyelvű bányászati irat. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **131/4**, 326–329.

CSATH B. 1998: Zsigmondy Béla születése 150. évfordulójára emlékezünk. – *Hidrológiai Tájékoztató* **38/1**, 6–7.

1999

CSATH B. 1999: Magyarország nyugat-dunántúli régiója hévízfeltárásának története. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **32(132)/5**, 99–102.

CSATH B. 1999: A magyarországi vízkutatás és az Országos Földtani Főigazgatóság kapcsolata. – *Hidrológiai Tájékoztató* **39/1**, 18–22.

CSATH B. & JÁRMAI G. 1999: *A Kőolaj-, Földgáz- és Vízbányászati Szakosztály és elődszervezeteinek története (1941–1996)*. – Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, Budapest.

2000

CSATH B. 2000: Mikoviny Sámuel selmecbányai vízgazdálkodási munkálatai. – *Hidrológiai Tájékoztató* **40/1**, 65–68.

2001

CSATH B. 2001: Szalamander ünnepség Selmecbányán. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **134/2**, 75–76.

CSATH B. 2001: A „Zsigmondy Vilmos Gyűjtemény”. – *Hidrológiai Tájékoztató* **41/1**, 12–13.

CSATH B. 2001: A hajdúszoboszlói hévíz 75 évvel ezelőtti feltárása. – *A Földrajz Tanítása* **9/2**, 15–19.

FEJÉR L., CZEGLÉDI Gy., DOBOS I., CSATH B. & PATAKI N. 2001: 75 éve mélyült a Hajdúszoboszló I. sz. városi mélyfúrás. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **34(134)/6–7**, 77–86.

2002

CSATH B. 2002: Schmidt Eligius Róbert a szegedi Anna-kút fúrásánál. – *Hidrológiai Tájékoztató* **42/1**, 29–31.

2003

CSATH B. 2003: A szolnoki hő- és gázforrás. – *Hidrológiai Közlöny* **83/5**, 289–290.

CSATH B. 2003: 75 éve készült a szolnoki Tisza Szálló hévízkútja. – *Hidrológiai Tájékoztató* **43/1**, 48–50.

CSATH B. 2003: A magyar szabványok kialakulásának története a vízkutakkal, illetve a vízkutató fúrásokkal kapcsolatban. – *Hidrológiai Tájékoztató* **43/1**, 5–10.

CSATH B. 2003: A német bányászköszöntés. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **136/2**, p. 100.

CSATH B. 2003: Vízkutak, illetve vízkutató fúrások létesítésére vonatkozó magyar szabványok kialakulása. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **36(136)/5–6**, 63–65.

CSATH B. 2003: A szolnoki hő- és gázforrás. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **36(136)/7–8**, 98–99.

CSATH B. 2003: Szobrok Zsigmondy Vilmosról. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **36(136)/11–12**, 149–151.

2004

CSATH B. 2004: Az „Alma mater” történetének két évfordulója. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **37(137)/7–8**, 88–91.

2005

- CSATH B. 2005: Adalékok Baráth István, Kiss Bertalan „A mélyfúrási geofizika története Magyarországon” című tanulmányához. – *Magyar Geofizika* **46/2**, 77–78.
- CSATH B. 2005: A Zsigmondy-dinasztia, a három generáció. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **38 (138)/2**, 4–6.
- CSATH B. 2005: 75 évvel ezelőtt fejeződtek be a Hajdúszoboszló–II. és a Karcag–II. sz. kincstári fúrások. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **38 (138)/5–6**, 16–19.

2006

- CSATH B. 2006: A Tápé–I jelű fúrás története. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **39(139)/7–8**, 1–5.

2007

- CSATH B. 2007: Zsigmondy Vilmos szerepe a buziásfürdői fúrásoknál. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **40(140)/7**, 12–13.
- CSATH B. 2007: Zsigmondy Vilmos szerepe a buziásfürdői fúrásoknál. – *Hidrológiai Tájékoztató* **47/1**, 59–60.
- CSATH B. 2007: Beszámoló az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) IX. Bányászati-, Kohászati és Földtani Konferenciájáról, Buziásfürdő, 2007. március 29. – április 1. – *Hidrológiai Tájékoztató* **47/1**, 68–69.

2008

- CSATH B. 2008: Díszes artézi kútfejek az Alföldön. – *Bányásztörténeti Közlemények* **3/5(1)**, p. 61.
- CSATH B. 2008: 70 éve alakult a Magyar–Amerikai Olajipari Részvénytársaság. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **41(141)/6**, 1–8.
- CSATH B. 2008: A karcag–berekfürdői fúrások története. – *Természet Világa* **139/12**, 556–557.
- CSATH B. 2008: A karcag–berek I-es és II-es számú fúrás története. – *Hidrológiai Tájékoztató* **48/1**, 31–32.
- CSATH B. 2008: Tudományos emlékülés Pávai Vajna Ferenc emlékére. – *Hidrológiai Tájékoztató* **48/1**, p. 62.
- CSATH B. & JÁRMAI G. 2008: *A Kőolaj-, Földgáz- és Vízbányászati Szakosztály és elődszervezeteinek története (1997–2007)*. – Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, Budapest, 48 p.

2009

- CSATH B. 2009: A Vándorgyűlések története III. (1993-tól 2008-ig). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **42(142)/6**, 14–21.

2010

- CSATH B. 2010: Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület közgyűléseinek számozása. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **143/6**, 55–58.

2011

- CSATH B. 2011: Száz éve, 1911. január 17-én iktatták be az első kőolaj- és földgáztörvényt. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **44(144)/1**, 1–7.

2012

- CSATH B. 2012: „Tablók albuma, 1955–2000” Papp Ferenc, Feri bácsi (1901–1969). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **45(145)/2**, 21–22.
- CSATH B. 2011: 70 éve alakult a Dunántúli Olajvidéki Osztály. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **44(144)/6**, 25–31.
- CSATH B. 2012: A Budafapuszta–„0”-tól a Budafapuszta–1, –2-ig. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **45(145)/7**, 19–21.

2013

- BARABÁS L. & CSATH B. 2013: A zalakarosi fürdő születése. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **46(146)/1**, 24–30.
- CSATH B. & SIMON I. 2013: A „FÚRÁSZ” Zsigmondy Vilmos élete és műve. – Magyar Olaj- és Gázipari Múzeum, Zalaegerszeg, 99 p.
- CSATH B. 2013: 50 éves a Péch Antal-emlékérem. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **46(146)/1**, p. 48.
- CSATH B. 2013: 50 éves a Péch Antal-emlékérem. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kohászat* **146/4**, p. 48.
- CSATH B. 2013: 100 évvel ezelőtt alkalmazták Magyarországon először a „Parker–Rotary” rendszerű fúróberendezést. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **46(146)/5**, 2–13.
- CSATH B. 2013: Nekrológ (Halmágyi Károly 1915–2013). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **46(146)/6**, p. 27.

2014

- CSATH B. 2014: *Megkésve, de nem elfeledve*. – Montanpress, Budapest, 244 p.
- CSATH B. 2014: Id. Ősz Árpád: „A meddő olajipari fúrások – Termálfürdők”. – *Hidrológiai Tájékoztató* **2014/1**, p. 75.
- CSATH B. 2014: A 100 éves egbelli olajmező története 1914 és 1918 között. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **147/2**, 1–26.
- CSATH B., PAPP P. & SZABÓ Z. 2014: Száz éve indult a magyarországi kőolajbányászat – Egbellen. – *Természet Világa* **145/11**, 515–517.
- CSATH B. 2014: Larroude-Saáry Éva. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **47(147)/5**, p. 25.

CSATH B. 2014: Az OMBKE, a MFT és a MGE egbelli jubileumi szakmai napja (Budapest, 2014. május 7.). – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **47(147)/5**, 26–27.

2015

CSATH B. 2015: A magyarországi petróleum (kőolaj) kutatások a m. Kir. Földművelésügyi Minisztérium, a M. Kir. Pénzügyminisztérium, valamint a M. Kir. Földtani Intézet tükrében. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **48(148)/2**, 9–18.

CSATH B. 2015: Megemlékezés Zsigmondy Vilmos „Bányataná”-ra, megjelenésének 150. évfordulója alkalmából, különös tekintettel az artézi kutak tárgyalására. – *Hidrológiai Tájékoztató* **2015/1**, 4–6.

2016

CSATH B. 2016: Zsigmondy Vilmos Bányatanának megjelenési körülményei. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **149/2**, 39–41.

CSATH B. 2016: A két „Bányatan”. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **147/3**, 20–23.

CSATH B. 2016: Emlékezés Zsigmondy Bélára halálának 100. évfordulója alkalmából. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **149/4**, 30–31.

CSATH B. 2016: 150 éves a Harkány–1 számú fúrás. – *Hidrológiai Tájékoztató* **2016/1**, p. 56.

CSATH B. 2016: Emlékezés a 100 éve elhunyt Zsigmondy Béla fúrómérnökre. – *Hidrológiai Tájékoztató* **2016/1**, p. 8.

CSATH B. 2016: A fúrótelepi irodáktól a Nagykanizsa, Vár u. 8. sz. alatti irodaházig. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **149/5–6**, 14–16.

CSATH B. 2016: Rövid életű szaklapjaink: „A bánya” és a „Jó szerencsét!” – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **149/4**, 32–34.

2017

CSATH B. 2017: 80 éves a szénhidrogén termelés a mai Magyarországon. A kincstári eredménytől (Kissármás–I.) az Eurogasco sikeréig (Budafapuszta–2). – Montanpress, Budapest, 160 p.

CSATH B. 2017: Emlékezzünk Kovács F. Lajosra. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **150/1**, 70–71.

CSATH B. 2017: A Wanderbuchtól a munkakönyvig. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kohászat*, **150/4**, 45–46.

CSATH B. 2017: Fúróberendezés-váltás a magyarországi nagymélységű szénhidrogén-kutatás és -feltárás terén 1935-ben. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **150/6**, 17–19.

2018

CSATH B. 2018: 150 évvel ezelőtt jelent meg a Péch Antal által alapított Bányászati és Kohászati Lapok első száma. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **151/1–2**, 20–21.

2019

CSATH B. 2019: A egbelli torziósinga-mérések és hatásuk a szénhidrogén-kutatókora. – *Honismeret* **47/5**, 19–21.

2020

CSATH B. 2020: Id. Lóczy Lajos szénhidrogén-kutatói tevékenységének áttekintése. – *Földtani Közlöny* **150/3**, 473–478.

CSATH B. 2020: A „Szent Borbála megemlékezés” hiteles története – 30 évvel ezelőtt történt a Borbála-napi megemlékezések elindítása. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **153/1**, 24–26.

2021

CSATH B. 2021: 80 éve mélyült a Lovászi–1 sz. fúrás. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat* **154/1–2**, 50–51.

2023

CSATH B. & JÓZSA S. 2023: A fénymikroszkóp rövid története és magyarországi használatának elterjedése a geológia területén. – *Földtani Közlöny* **153/1**, 71–80.

2024

CSATH B. & SIMON I. 2024: Zsigmondy Vilmos, a Kárpát-medence földtani felépítésének és nyersanyagkincseinek sokoldalú kutatója. – *Földtani Közlöny* **154/1**, 73–80.

Hírek, ismertetések

Összeállította: PIROS Olga

Események, rendezvények

Geotúrák a Művészetek Völgye Fesztiválon

A Bakony és a Balaton-felvidék földtani értékeinek népszerűsítésére immár 11 éve geotúrákon vehet részt a nagyközönség a Művészetek Völgye Fesztiválon. Idén is hét geotúrát vezetünk a Magyarhoni Földtani Társulat, ezen belül az Észak- és Közép-dunántúli Területi Szervezet képviselőiben. Puláról két kört indítottunk: délelőtt a pulai kettős maar és az alginitbánya került bemutatásra, délután a Tálodi-erdőben csodálhattuk meg a Vázsonyi-sédre épített gát-halastó együttest, a mésztufa lépcsőket és a jellegzetes lukacsos, *Planorbarius*-csigák kőbeleivel díszes Vázsonyi Mészkövet. A Vigántpetendre átvezető túrán a különleges Csórompuszta „inverz panorámáját” és a Plébánia Galéria vendégszeretét élvezhettük, így a földtani mellett a falu néprajzi és szakrális értékeivel is találkoztunk. Monostorapáti környékén két unikális „geolátnivaló” is terítékre került: a Hawaii-szigeteket idéző lávafröccskúp pillekönnyű, hólyagos bazaltjai és a „kürtő közeli fácies” lebilincselő formakincse. Ugyanezen az alkalmon az Árpád-kori Magyarország egyik leggazdagabb bencés apátságának romjainál töltekezhettünk a pazar, faragott építőkövek sokszínűségében. Az évtizede zajló régészeti ásatás izgalmas részleteit is meghallgathattuk a helyi alapítvány egyik legaktívabb tagjának tolmácsolásában. Kapolcs térségében a Királykő bazaltoszlopaikat és az Eger-vízbe csatlakozó forrásokat csodálhattuk meg, melyek számos ősmaradványt hoznak a Fekete-hegy különböző rétegeiből a *Conger*-teknőktől a *Planorbarius*-kőbelekig. Taliándörögd határában a katedrális méretű Szent András-templomrom megmaradt építőköveit és a 13–14. század kőépítészének technikai bravúrait tekintettük meg, az Öcs környékére vezető geobotanikai túránkon pedig értékes vizes élőhelyeket, szurdokerdőt és a kapcsolódó bazaltos formakincset élvezhettük.

Ezúton is köszönetünket fejezzük ki Bús Gabriellának, aki a taliándörögi Plébánia Galériában és Gulyás Erzsébetnek, aki az Almád-monostori ásatásnál gazdagította geotúránkat.

Aki utólag szeretne velünk tartani a hat településről induló és azok környékét bemutató „virtuális geotúratáborba”, rákereshet a társulat honlapjának naptármoduljában az adott napra kattintva.

1. Július 19. Délelőtt: Bazaltbarangolás–krátertavas geotúra Puláról. Délután: Geotúra a tálodi szerzetesek nyomában. <https://foldtan.hu/events/event-1683/>

2. Július 21. Geotúra Kapolcs és Vigántpetend kincseinek nyomában. <https://foldtan.hu/events/event-1673/>

3. Július 22. Monostorapáti geotúra Vulkánusz gyöngyszemei mentén és Almád monostorának világába.

<https://foldtan.hu/events/event-1674/>

4. Július 23. Hétforrás geotúra Kapolcsról.

<https://foldtan.hu/events/event-1675/>

5. Július 24. Geotúra a Dörögdi-medence földtani és kulturális kincsei között.

<https://foldtan.hu/events/event-1676/>

6. Július 27. Geobotanikai túra Öcs térségében.

<https://foldtan.hu/events/event-638/>

A geotúrákhoz kapcsolódó fotóalbumokat CSERNY Tibor készítette. Ezek linkjei elérhetők visszamenőleg honlapunk naptármoduljában, az adott túra leírászövegében.

SÁRDY Julianna

Földtani alapismeretek hátrányos helyzetű gyermekeknek az Angyaljártat Közalapítvány táborában

A Magyarhoni Földtani Társulat társadalmi felelősségvállalási terve értelmében igyekszik halmozottan hátrányos helyzetű kistérségekbe, az ott élő gyermekekhez is eljuttatni a földtani alapismereteket. Ezért az idei évtől együttműködünk az Angyaljártat Közalapítvánnyal, akik rászoruló gyermekeknek tartanak ingyenes nyári táborokat. A táborokra Nógrád vármegyében, Dorogházán került sor.

Hatalmas élmény volt látni az érdeklődést, a lelkesedést és a tehetséget. A tudomány összehoz, hidakat épít. A tanuláshoz társadalmi helyzettől függetlenül minden gyermeknek joga van.

Akik társulatunkat akár tagdíjuk befizetésével, akár 1%-os felajánlásukkal, akár egyszeri adománnyal támogatják, ezt a tevékenységünket is segítik.

Köszönjük!

BODOR Emese Réka

Személyi hírek

Gyászír

Fájdalommal tudatjuk, hogy

CSATH Béla (1927–2025)

KORPÁSNÉ HÓDI Margit (1941–2025)

MÁRTONNÉ SZALAY Emőke (1940–2025) elhunyt.

Emlékük szívünkben és munkáinkban tovább él!

Tartalom — Contents

M. TÓTH Tivadar: SZEDERKÉNYI Tibor köszöntése a munkássága előtt tisztelgő <i>Földtani Közlöny</i> -kötet megjelenése alkalmából.	179
SPRÁNITZ, Tamás, PORKOLÁB Kristóf, HENCZ Máttyás, KERESZTES Tamás, SALAMON Botond, GILIO, Mattia, ALVARO, Matteo, BERKESI Márta: Elasztikus termobarometria – módszertani áttekintés. – <i>Elastic thermobarometry – a methodological overview</i> .	181
KONDOR, Henrietta, BRAUN, Bence Ádám, M. TÓTH, Tivadar: Architecture of the metamorphic Algyő High (SE Pannonian Basin) based on lithological interpretation of natural gamma-ray logs. – <i>A metamorf Algyő-hát (DK-Pannon-medence) kőzettani felépítése természetes gamma szelvények értelmezése alapján</i> .	195
LADÁNYI, Lili, HRABOVSKI, Ervin, SCHUBERT, Félix: Fracture-controlled paleofluid migration in the Óbánya Valley (Eastern Mecsek). – <i>Törésszerekhez kapcsolódó paleofluidum-migráció az Óbányai-völgyben (Keleti-Mecsek)</i> .	213
SEBE Krisztina, TÓTH Emőke, SZUROMINÉ KORECZ Andrea, SELMECZI Ildikó†, MAGYAR Imre, KRIZMANIĆ, Krešimir, KONRÁD Gyula: Adatok a Mecsekalja-öv pécsi szakaszának neogén aktivitásához. – <i>Data on the Neogene activity of the Mecsek Mountains frontal fault zone in Pécs (SW Hungary)</i> .	235
SZANYI János: Javaslat a geotermikusenergia-hasznosítás fellendítésére. „ <i>Megint s megint – szünetlen</i> ”. – <i>Discussion paper on boosting geothermal energy use. „Again and again – tirelessly”</i> .	257
KOVÁCS Péter: In memoriam MÁRTONNÉ SZALAY Emőke.	265
SIMON István: In memoriam CSATH Béla.	277
Hírek, ismertetések (összeállította: PIROS Olga)	287

