

Földtani Közlöny



152/3

A Magyarhoni Földtani Társulat folyóirata
Bulletin of the Hungarian Geological Society



Budapest, 2022

Felelős kiadó

M. TÓTH Tivadar, az MFT elnöke

Főszerkesztő

SZTANÓ Orsolya

Műszaki szerkesztőkBABINSZKI Edit
KOVÁCS Zoltán
BARTHA István Róbert**Nyelvi lektor**

LUKOCZKI Georgina

Szerkesztőbizottság

CSERNY Tibor, FODOR László, FÓZY István, PÓSFAL Mihály, SZAKMÁNY György, SZANYI János, TÖRÖK Ákos

TámogatókMagyar Tudományos Akadémia,
Baumit Kft., Biocentrum Kft., Colas
Északkő Kft., Elgoscár 2000 Kft.,
Geo-Log Kft., Geoproduct Kft.,
Geoteam Kft., Josab Hungary Kft.,
Mecsekérc Zrt., Mineralholding Kft.,
Mol Nyrt., OMYA Hungária Kft.,
O&G Development Kft., Perlit-92
Kft., Terrapeuta Kft., VIKUV Zrt.,
ANZO Perlit Kft., Kvarchomok
Bányászati és Feldolgozó Kft.**A kéziratokat az alábbi felületen kérjük benyújtani**

www.foldtanikozlony.hu

* * *

Responsible publisherTivadar M. TÓTH,
President of the Hungarian Geological
Society**Editor-in-chief**

Orsolya SZTANÓ

Technical editorsEdit BABINSZKI
Zoltán KOVÁCS
István Róbert BARTHA**Language editor**

Georgina LUKOCZKI

Editorial boardTibor, CSERNY, László FODOR, István
FÓZY, Mihály PÓSFAL, György SZAK-
MÁNY, János SZANYI, Ákos TÖRÖK**Sponsors**Hungarian Academy of Sciences,
Baumit Kft., Biocentrum Kft., Colas
Északkő Kft., Elgoscár 2000 Kft.,
Geo-Log Kft., Geoproduct Kft.,
Geoteam Kft., Josab Hungary Kft.,
Mecsekérc Zrt., Mineralholding Kft.,
Mol Nyrt., OMYA Hungária Kft.,
O&G Development Kft., Perlit-92
Kft., Terrapeuta Kft., VIKUV Zrt.,
ANZO Perlit Kft., Kvarchomok
Bányászati és Feldolgozó 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)

Földtani Közlöny



152/3

**A Magyarhoni Földtani Társulat folyóirata
Bulletin of the Hungarian Geological Society****Tartalom — Contents**

BÉRCZI István, MINDSZENTY Andrea: In memoriam Dr. DANK Viktor	195
PAPP, Richard Z., TOPA, Boglárka A., ZAJZON, Norbert: Study on andorite-series minerals from the Meleg Hill, Velence Mts., Hungary. – <i>Az andoritsor ásványainak vizsgálata a velencei-hegységi Meleg-hegy területéről.</i>	201
KAPUI Zsuzsanna, MIKLÓS Dóra Georgina, KERESZTURI Ákos, SZABÓ Beáta, WASSER Paula, JÓZSA Sándor: Miről árulkodnak a szállított ásványszemcsék mikromorfológiai bélyegei? – <i>What do the micromorphological features of transported mineral grains tell us?</i>	213
VÖRÖS, Attila, BUDAI, Tamás, MAKÁDI, László, BERCSÉNYI, Miklós, FÖLDVÁRI, Gabriella, PINTÉR, Zsolt, SZABÓ, Márton: Rediscovery of a classic Middle Triassic fossil site of the Balaton Highland (Transdanubian Range, Hungary): cephalopods, brachiopods and vertebrate remains from the Akol Hill at Barnag. – <i>A Balaton-felvidék egyik klasszikus középső triász ősmaradvány-lelőhelyének újrevizsgálata: a barnagi Akol-domb cephalopoda-, brachiopoda- és gerincesfaunája.</i>	233
KONCZ István: A Magyarországon 1935–1985 közötti időszakban felfedezett kőolaj- és földgáz-előfordulások, valamint ezek sajátosságai. – <i>Oil and gas occurrences discovered in Hungary in period 1935 to 1985, and their features.</i>	259
KUN Éva, ZILAHÍ-SEBESS László, SZANYI János: A Battonya–Pusztaföldvári-hát térségének nagy entalpiájú geotermikus energia vagyona (II. rész): kútpárral történő hasznosítás UNFC-2009 kód szerinti osztályozása. – <i>The high enthalpy geothermal energy resource of the Battonya–Pusztaföldvár High (Part II): UNFC-2009 code classification in case of well-doublet utilization.</i>	279
Hírek, ismertetések (összeállította: CSERNY Tibor)	297

*Első borító: Sárgás- vörös, agyagos mészkő (Vászolyi F.) vas-mangán kérgekkel és bekérgezett ősmaradványokkal (Beyrichites cadoricus és egy nautilida) (fotó: BERCSÉNYI Miklós)**Hátsó borító: A vízutató Tápé–1 fúrás vadkitörése 1965-ben (forrás: HORVÁTH Janina, Szegedi Tudományegyetem, Földtani Tanszék)***Budapest, 2022****ISSN 0015-542X**

Rövidített útmutató a Földtani Közlöny szerzői számára

Kérjük olvassa el részletes útmutatónkat a www.foldtanikozlony.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 tárgyira törő, utal a fő mondandóra.

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 korábbi 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 fényképmagyarzatok (magyarul és angolul) Az illusztrációk rövid, összefogott, tartalmában érdemi magyarzata.

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 többetoldal 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 nemzetségeit dőlt betűvel, fajok leírót 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 publi- kációi esetén a vezetőknév 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 Tiszai 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 sziliciklasztos kőzetek közzettani és geokémiai vizsgálatának eredményei. — PhD értekezés, ELTE Közzettan–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)

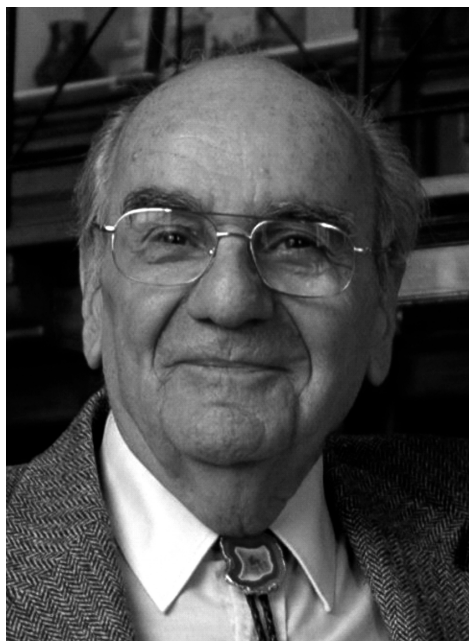
Az **ábrákat** a szerzőknek kell elkészíteni, nyomdakész állapotban és minőségben a tükörméretbe (170×240 mm) álló, vagy fekvő helyzetben beilleszthetően. A fotótábla maximális magassága 230 mm lehet. Az ábrákon a vonalvastagság 0,3 pontnál, a betűméret 6 pontnál ne legyen kisebb. Az illusztrációkat 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 szürkeárnyalatos fényképeket 600, a színes fényképeket 300 dpi felbontással, tif vagy jpg kiterjesztéssel kérjük beküldeni. A színes illusztrációkat a megfelelő nyomdai minőség érdekében CMYK színprofilal 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 szürkeárnyalatos 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 lektoraiak 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 korrekktúrázás. Különlönyomatokat még külön költségért sem tudunk biztosítani.

In memoriam

DR. DANK Viktor



1926–2021

2021. december 07-én, életének 96. évében elhunyt dr. DANK Viktor rubindiplomás geológus, a Magyar Tudományos Akadémia doktora, a Magyarhoni Földtani Társulat négy cikluson át volt elnöke, az egykori Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt Állami Díjas kutatási vezérigazgató-helyettese, a volt Központi Földtani Hivatal elnöke, az Eötvös Loránd Tudományegyetem professzora, sokunk kedves barátja.

A közel egy évszázadot felölelő életpályáról a reneszánsz ember ideálja, az Uomo universale, a „sokoldalú ember” jut eszünkbe. A jelent és a múltat, a természetet és a klasszikus irodalmat, a művészetet és az államvezetés (no meg a hadvezetés) tudományát egyaránt ismerő, ép testben ép lelket hordozó, tudós embertípus, aki látja saját művészetének lehetőségeit, de tisztában van a lehetőségek művészetével is, méltán volt és marad a csodálat tárgya.

Veszprémben született, apai ágon német, anyai ágon francia ősöket felmutató családban. Iskoláit Szegeden végezte, 1944-ben érettségizett a Piarista Gimnáziumban. A repülést szenvedélyesen szerető fiatalembert, aki akkorra már a vitorlázó repülésben és az ejtőernyőzésben is nevet szerzett,

azonnal felvették a Repülő Akadémiára. A hadi események miatt hamarosan Németországba kellett áttelepülniük. 1945-ben amerikai hadifogságba esett, és egy vallóniai szénbányában vājárként dolgoztatták.

A hadifogságból hazatérve, az akkor szerveződő politikai rendszer szemében nemkívánatos katonai múltja ellenére – világnézetükben eltérő elveket valló, de emberi, szakmai szolidaritásukban megingathatatlan két, néhai professzorunk támogatásával – 1947-ben elkezdhetette tanulmányait a Szegedi Tudományegyetemen. Ezt 1949–1951 között az ELTE-n fejezte be geológus oklevelet szerezve. 1952–1953-ban a Magyar Állami Földtani Intézet tudományos kutatója volt, hagyományos térképezési feladatokkal és konkrét lignit-kutatási célokkal foglalkozott. Ezt követően néhány hónapig az Országos Földtani Főigazgatóságon mint főelőadó tevékenykedett.

1954-ben került az olajiparba. Éppen időben ahhoz, hogy aktív részese lehessen a magyarországi kőolaj- és földgáz-kutatás és kitermelés vitathatatlanul legsikeresebb időszakának. Első állomáshelyén, Bázakerettyén kutatási és termelésgeológiai feladatokon egyaránt dolgozott mint beosztott

geológus, később osztályvezető, majd vállalati főgeológus. Ezzel a szerencse mellészegődött, mert el kellett sajátítania a társtudományok (mélyfúrás és felszíni geofizika, olajmérnöki ismeretek) alapjait is. Ezen ismeretek birtokában világosan meg tudta fogalmazni, milyen föld alatti szerkezeteket és üledékes alakulatokat kell keresni, amelyekkel kapcsolatban korábbi tapasztalatai alapján rendszerint kőolajat/földgázt találtak.

1960-ban Budapestre került, az újonnan alakult Országos Kőolaj- és Gázipari Trösztbe. Megadott számára, hogy legaktívabb éveiben itt tevékenykedhetett. Osztályvezető, főosztályvezető, majd 1964 és 1984 között kutatási vezérigazgató-helyettes, főgeológus beosztásokban irányította a hazai kőolaj- és földgázkutatásokat. Ez idő alatt 245 millió tonna kőolajnak megfelelő kitermelhető szénhidrogénvagyont azonosítottak, fedeztek fel, tettek hozzáférhetővé a fúrások. Ez az időszak máig az ország legeredményesebb szénhidrogén-kutatási periódusa. Az 1970-es évek közepétől mintegy 10 éven keresztül ez évi kétmillió tonna kőolaj és hatmilliárd m³ földgáz kitermelését jelentette. Az ekkoriban felfedezett mezők többsége – bár életciklusuk vége felé járva – még ma is termel.

DANK Viktor korán elkezdett tudományos munkásságának eredményei a sikeres kőolaj- és földgázkutatások földtani megalapozását szolgálták.

1957-ben „A budafai szénhidrogén-tároló szerkezet mélyföldtani és termelésgeológiai vizsgálata, különös tekintettel a másodlagos termelési módszerek gazdasági kihatására” c. disszertációjával az ELTE-en egyetemi doktori címet szerzett.

1963-ban „A Délalföld kőolajföldtani viszonyai és szénhidrogén kutatási perspektívái” c. disszertációja alapján kapta meg a Műszaki Tudományok Kandidátusa akadémiai fokozatot.

1963–1964-ben Milánóban az ENI (Ente Nazionale di Idrocarburi) posztgraduális továbbképzőt végezve is ez a kérdés foglalkoztatta. A képzés zárásaként „A Pannóniai- és a Pó-medence összehasonlító szénhidrogénföldtani vizsgálata” címmel írt vizsgadolgozatot.

A két utóbbi tanulmány korszakos jelentőségét az adta, hogy az 1960-as évek elején még parázs viták folytak szakmai körökben arról, hogy milyen mértékben kívánatos a Dunától keletre jelentős szénhidrogén-kutatási erőforrásokat lekötöni. 1965-ben, az algyői mező felfedezésével a vita eldőlt. A mező teljes kiépítésének döntő szakasza 1972-re fejeződött be. DANK Viktor három vezető társával együtt 1973-ban Állami Díjat kapott az ország máig is legnagyobb kőolaj- és földgázmezőjének felfedezéséért és termelésbe állításáért. 1988-ban „A magyarországi kőolaj- és földgáz kutatások földtudományi alapjai (1964–1984)” c. szintézisének nyilvános vitája alapján kiérdemelte a földtudományok doktora akadémiai tudományos fokozatot. A disszertáció fontos összegző dokumentuma e sikeres korszaknak.

1984–1990 között a Központi Földtani Hivatal elnökeként hatósági feladatokat látott el. Az egész országban folyó földtani munkálatok irányításakor is sikeresen hasznosította a kutatásirányítás területén korábban megszerzett tapasztalatait.

Ipari és tudományos munkája mellett egyaránt fontos szerepet játszott az oktatás, a szakmai közélet, a tudományszervezés, a közművelődés terén is.

Oktatás: 1965-től 2008-ig tanította a Kőolajföldtan c. tárgyat az Eötvös Loránd Tudományegyetem geológus hallgatóinak. Bár formailag részfoglalkozású professzor volt, sugárzott róla, hogy az EGYETEM – csupa nagybetűvel – nagyon fontos volt számára. Az elméleti alapozás és a gyakorlati, ipari kutatásirányítás folyamatos összekapcsolása tette minden óráját igazán hitelessé. Ezzel, mintegy 50 évvel megelőzve korát, informálisan megteremtette a – manapság is sok helyen még döcögő – duális képzés korai formáját. A nyersanyagkutatás fortélyait konkrét példákon úgy tudta bemutatni, hogy hallgatói tátott szájjal figyelték minden mondatát.

Szerette ezt a feladatot, és a hallgatók is szerették az óráit, szerették, hogy elkísérte őket azokra a tanulmányi kirándulásokra, ahol igazi fúrótornyot láthattak, megismerkedhettek a kutatás rendszerével, a mintatárolás fontosságával, és ahol megtapasztalhatták, mennyire tisztelik és szeretik lelkes professzorukat a kutatás sűrűjében küzdő „hétköznapi” geológusok, akik maguk is többnyire egykori hallgatói voltak.

Más formában is segítette az ELTE-en folyó szénhidrogénföldtani oktatást. Egyik fő alapítója volt az 1996-ban, egykori tanítványaival együtt létrehozott Papp Simon Alapítványnak, amely az elmúlt 25 év alatt, az egyre szűkülő állami támogatást kipótolva, a MOL Ny. Rt. pénzügyi támogatásának köszönhetően lehetővé tette az oktatás színvonalának fenntartását és bővítését. 82 éves volt, amikor ő maga kérte felmentését a további órátartás kötelezettsége alól, ereje teljében hagyta abba, s adta át a stafétabotot.

Szakmai közélet: A Magyar Geofizikusok Egyesülete (MGE) és az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület (OMBKE) tagsága mellett hangsúlyozandó, hogy a Magyarhoni Földtani Társulatnak 1949-től tagja, 1966–1972 között társelnöke, 1972–1986 között pedig négyszer megválasztott elnöke. E tisztségében is – saját ipari tapasztalatai alapján – minden lehető fórumon támogatta a tudományos eredményeknek az ipari gyakorlatba való átültetését. Álljon itt egy idézet 1973-ból:

„Egy tudományos egyesület értékét tagjai munkáinak összértéke fejezi ki. [...] egyre-másra jelennek meg az alapvető munkák a nyersanyagokról, az egyetemi tankönyvek, tágul a földtani vizsgálatokba vont társtudományok köre... Jelentősebb szintézisek jelennek meg a vidéken, az iparban működők tollából is... A Társulat [...] felismeri a tenni-valókat, előadás sorozatokat szervez az egyetemekkel, az iparral, főhatóságokkal, társegyesületekkel karöltve. Közben szakosztályok szűntek meg és szakosztályok jönnek létre, esetleg ugyanazok a szakosztályok. És nincs ebben semmi különös. Ha még nem értek meg a feltételek valamelyikére, jobb, ha megszűnik, az élet megkövetelte szükséglet újra létrehozza, ha kell.”

Ezek a gondolatai még ma is vállalhatók.

Tudományszervezés: 1966–1974 között az MTA Kőolaj-, Földgáz-, Víz- és Bányászati Bizottságának elnöke és más bizottságokban tag.

Közművelődés: Az életciklus elején álló ifjakért és a végén elhelyezkedő nyugdíjasokért különösen sokat tett. Az 1990-ben egyik újjraalapítója és 2006-ig elnöke volt a Magyar Természettudományi Társulatnak. 1996–2012 között vezette a Magyar Olajipari Múzeum Alapítvány Kuratóriumát. Egyik alapítója és 2006–2011 között elnöke, majd „Örökös Tiszteletbeli Elnöke” volt a Budapesti Olajos Hagyomány-őrző Körnek (BOK) egyaránt törődve az iparág tárgyában, valamint a még élő munkatársak személyében, emlékeikben és kulturális hagyományaikban megtestesülő múltjával.

Szerteágazó tevékenységét számos iparági, állami és egyesületi kitüntetéssel ismerték el. Többek között: Kiváló Műszaki Dolgozó (1955), a Földtani Kutatás Kiváló Dolgozója (1965), Munka Érdemérem (1959), Munka Érdemrend arany fokozata (1968), Állami Díj (1973), Bányász Szolgálati Érdemérem gyémánt fokozata (1986), Magyar Köztársaság Csillagrendje (1990), Magyar Köztársasági Érdemrend „Középkereszt” kitüntetés (2006).

A Magyarhoni Földtani Társulat, a Magyar Geofizikusok Egyesülete, a Magyar Földrajzi Társaság, a Kubai Földtani Társulat tiszteleti tagja. A Magyarhoni Földtani Társulattól 1973-ban emlékgyűrűt, 1978-ban MTESZ-díjat, 1986-ban „Pro Geologia Applicata” emléklakettet, 2015-ben Kubinyi Ágoston-emlékérmét kapott. 2015-ben ő maga alapított díjat a Magyarhoni Földtani Társulatban az iparban dolgozó fiatal geológusok támogató elismerésére. Szerencsére engedélyezte nevének használatát, így a „Dank Viktor Díj” is őrzi emlékét.

A Magyar Természettudományi Társulat tagsága az „Örökös Tiszteletbeli Elnök” címet adományozta neki. Birtokosa a „Hevesy György”, „Herman Ottó”, „Teleki Pál”, „Bugát Pál – Szentágothai János” társulati emlékérmeknek.

A Magyar Olajipari Múzeum munkásságát Born Ignác-emlékéremmel és 40 éves Jubileumi Emlékéremmel, valamint „Örökös Tiszteletbeli Elnök” címmel ismerte el.

A nemzetközi szinten több külföldi tudományos társaság, program, és tudományos programszervezet tagja volt. Többek között a Horvát Tudományos és Művészeti Akadémia tagja (1968), az IUGS Geodynamics Project magyarországi felelőse (1984), az IUGS Kutatásfejlesztési Tanács tagja (1986–1990). Számos hazai és nemzetközi rendezvényen, Geológiai és Petróleum Világkongresszuson vett részt és tartott előadásokat, esetenként a magyar delegáció vezetője volt.

Ilyen teljes életet élni, ennyi és ilyen sokrétű feladatot ellátni valóban csak egy jó kapcsolatteremtő és jó kommunikátor egyéniség tud. DANK Viktor egyik készségnek sem volt híján. Emberségből, jó kedélyből, az élet tiszteletéből és szeretetéből összetevődő szípkázó humorával, hamiskás mosolyával, nagy tapasztalatával és bölcsességével nagyon mélyen beágyazódott közösségünkbe. Latinos műveltsége, irigylésre méltó nyelvtudása (német, olasz, orosz, francia, angol) révén középpont tudott lenni nemzetközi porondon is. Ő volt az, aki a hivatalos tárgyalások befejeztével szellemességével is el tudta varázsolni, meg tudta nevetetni azokat, akikkel fél órával azelőtt még heves szakmai vitában állt, mert anyanyelvükön tudott hozzájuk szólni és sztorizni.

Befejezésül álljon itt búcsúüzenetének rövid részlete, melyet az utolsó útra készülve 2021-ben állított össze nekünk, a nekrológ íróinak címezve:

„Ezt az igazán rövid összefoglalót egy hosszú pályafutásról azért írtam meg, hogy ha akad valaki majd, aki a szakma nevében búcsút venne tőlem, annak ne kelljen fáradoznia az adatok keresgélésével... Persze nem minden adatot írtam bele, de nem akarom, hogy unalomba fulladjon a temetési aktus attól, hogy olyan hosszú. Azt sem lehet tudni, hogy akkor meleg lesz-e vagy hideg, mert az is befolyásolja ám az idő múlásának érzékelését. A temetésre való összegyűjtés amúgy meg úgyis arra szolgál, hogy rég nem látott kedves ismerősök találkozzanak, elbeszélgessenek, örüljenek annak, hogy ők még élnek és aggódom, hogy vajon kinek mondja majd az Égi Kvízmeister, hogy: kérem a következőt!”

Ilyen derűs lélekkel készült az Égből érkező behívó átvételére. Tudta, hogy izgalmas kalandokban bővelkedő, hosszú földi zarándoklatának lezárulta azt jelzi: a továbbiakban már odaát van rá szükség. Igaz, családját, feleségét, Veronikát, leányát, Magdát, unokáját, Viktort (aki szeretett nagypapja tiszteletére második vezetéknevénként felvette a Dank nevet), akik mindvégig áldozatos és óvó szeretettel vették körül, most itt kellett hagynia, de odaátról, egy másik dimenzióból szemlélve a világot, mindent megértve, ugyanúgy szeretheti őket, mint eddig. Reménykedhetünk benne, hogy ha bölcs gondolatait, szakmai hagyatékát megőrizzük; szellemisége, emberi példája még sokáig velünk marad.

Dr. DANK Viktor publikációinak jegyzéke

1965

DANK Viktor 1965: A dél-alföldi szénhidrogénkutatások legújabb eredményei. – *Földtani Kutatás* 8/4, 1–8.

1966

DANK Viktor 1966: Kőolaj- és földgázkutatásunk 1965. évi eredményei és 1966. évi tervei. – *Földtani Kutatás* 9/2, 1–7.

DANK Viktor & BÁN ÁKOS 1966: Az algyői kőolaj- és földgázelőfordulás földtani viszonyai és termeltetésének elvei. – *Földtani Kutatás* 9/ksz, 1–25.

1967

DANK, Viktor, DÓCZI, ANDRÁS & MUCSI, Mihály 1967: Über die pliozänen und pleistozänen Sedimentbildungs-verhältnisse der Grossen Tiefebene. – *Acta Universitatis Szegediensis: Acta Geographica* **7**, 55–57.

1968

DANK Viktor 1968: Emlékezés dr. Kertai Györgyre. – *Földtani Kutatás* **11/3–4**, 1–3.

1970

DANK Viktor 1970: Szénhidrogének genetikája, migrációja, felhalmozódása. – *Földtani Kutatás* **13/1**, 1–5.

1971

DANK, Viktor, BODZAY, István 1971: Geohistorical background of the potential hydrocarbon reserves in Hungary. – *Acta Mineralogica-Petrographica* **20/1**, 57–70.

1974

DANK V., HINGL József, SZABÓ György & BÉRCZI István 1974: A nagymélységű szénhidrogén-kutatás helyzete Magyarországon. – *Földtani Kutatás* **17/4**, 1–10.

1976

DANK V. 1976: A magyarországi szénhidrogén-földtani kutatás értékelése és perspektívái. – *Földtani Kutatás* **19/4**, 3–10.

1977

DANK Viktor 1977: Tektonikai szemléletünk alakulása és problémái. – *Földtani Közlöny* **107/3–4**, 290–294.

1980

DANK Viktor 1980: A földtani kutatás dolgozói a XXX. Bányásznap alkalmából köszöntik a bányászokat. – *Földtani Kutatás* **23/4**, 1–4.

DANK Viktor 1980: Elnöki megnyitó: Ősföldrajzi Anket, 1978. XI. 9–10. – *Földtani Közlöny* **110/3–4**, 320–322.

DANK Viktor 1980: A kőolaj-világkongresszusok. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **113/8**, 251–254.

DANK Viktor 1980: A földtani kutatás készül a VI. ötéves tervre (az 1980. III. 12-i közgyűlés elnöki megnyitója). – *Földtani Közlöny* **110/3–4**, 311–314.

1981

DANK Viktor 1981: Szénhidrogén-kutatási eredmények az V. ötéves tervben, feladatok a VI. ötéves tervre, perspektívák a távolabbi jövőre vonatkozóan. – *Földtani Kutatás* **24/2**, 9–19.

DANK Viktor 1981: Fokozzuk az ásványi nyersanyagok földtani kutatásának hatékonyságát (Az 1981. március 18-i Tisztújító Közgyűlés megnyitója). – *Földtani Közlöny* **111/3–4**, 389–398.

1982

DANK Viktor 1982: A neogén medencealjzatban található szénhidrogén felhalmozódások szerepe reménybeli készleteink felfedezésében. – *Magyar Geofizika* **23/4**, 121–133.

DANK Viktor 1982: A szénhidrogén-kutatás közép és hosszú távú terveinek tudományos háttere. – *A Magyar Tudományos Akadémia Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának Közleményei* **15/1–2**, 131–160.

DANK Viktor 1982: Elnöki megnyitó (1982. III. 7.). – *Földtani Közlöny* **112/4**, 309–311.

1983

DANK Viktor 1983: A hazai kőolajföldtan kedvezőtlen világgazdasági közegben. – *Földtani Közlöny* **113/4**, 285–288.

DANK Viktor 1983: A füzesgyarmati gázkitörés. – *Békési Élet* **18/2**, 151–155.

DANK Viktor 1983: Elnöki megnyitó. – *Földtani Kutatás* **26/2–3**, 3–4.

DANK Viktor 1983: *Kőolajföldtan*. – ELTE TTK egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Bp. 508 p.

1984

DANK Viktor 1984: Társadalmi szerv lett a Magyarhoni Földtani Társulat (Elnöki megnyitó, 1984. III. 14.). – *Földtani Közlöny* **114/4**, 411–416.

DANK Viktor 1984: Szénhidrogénkincs Békés megyében. – *Alföldi Tanulmányok* **8**, p. 17.

DANK Viktor 1984: Előadói ülés az MTA dísztermében. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **117/10**, 317–319.

1985

DANK Viktor 1985: 40 éve alakult meg a MTESZ elődje (Elnöki megnyitó. 1985. III. 13.). – *Földtani Közlöny* **115/4**, 349–352.

DANK Viktor 1985: Meg nem újuló fosszilis energiahordozóink. – *Magyar Tudomány* **92/7–8**, 528–536.

1986

- DANK Viktor 1986: A rétegtan és a nyersanyagkutatások. – *Földtani Közlöny* **116/2**, 97–110.
- DANK Viktor 1986: Elnöki megnyitó. – *Földtani Közlöny* **116/1**, 1–3.
- DANK Viktor 1986: A VI. ötéves tervidőszak eredményei és a VII. ötéves tervi célkitűzések a földtani kutatások terén. – *Földtani Kutatás* **29/1**, 21–28.
- DANK Viktor 1986: Üdvözlő beszéd a Magyar Hidrológiai Társaság 1985. október 3-i vezetőségválasztó küldöttközgyűlésén. – *Hidrológiai Tájékoztató* **26/1**, p. 8.
- DANK Viktor 1986: Elnöki megnyitó. – *Földtani Közlöny* **116/4**, 321–325.
- DANK Viktor 1986: Adalékok Vadász Elemér portréjához. – *Földtani Közlöny* **116/3**, 287–298.

1987

- DANK Viktor, JÁMBOR Áron 1987: A magyarországi kunsági (Pannóniai s. str.) emeletbeli képződmények általános földtani jellegei. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **69/1**, 9–18.
- BÉRCZI István, DANK, Viktor, GAJDOS István, PAP Sándor, RÉVÉSZ István, SZENTGYÖRGYI Károly, VÖLGYI László 1987: Ablagerungen der Kunság-Stufe (Pannonien s. str.) auf der Grossen Ungarischen Tiefebene. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **69/1**, 198–211.
- DANK, Viktor, JÁMBOR, Áron 1987: Allgemeine geologische Merkmale der Ablagerungen des Pannonien s. str. (Kunság-Stufe) in Ungarn. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **69/1**, 19–25.
- BÉRCZI István, DANK Viktor, GAJDOS István, PAP Sándor, RÉVÉSZ István, SZENTGYÖRGYI Károly, VÖLGYI László 1987: Az Alföld kunsági (Pannóniai s. str.) emeletbeli képződményei. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **69/1**, 179–197.
- BARDÓCZ, Béla, BÍRÓ, Ernő, DANK, Viktor, MÉSZÁROS, László, NÉMETH, Gusztáv, TORMÁSSY, István 1987: Pannonien s. str. – Bildungen der transdanubischen Beckengebiete. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **69/1**, 167–177.
- BARDÓCZ Béla, BÍRÓ Ernő, DANK Viktor, MÉSZÁROS László, NÉMETH Gusztáv, TORMÁSSY István 1987: A dunántúli medenceterületek kunsági (Pannóniai s. str.) emeletbeli képződményei. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **69/1**, 149–166.
- DANK Viktor 1987: A VII. ötéves terv földtani kutatási feladatai. – *Földtani Közlöny* **117/3**, 193–201.
- DANK Viktor 1987: Köszöntő. – *Földtani Kutatás* **30/1–2**, 1–8.
- DANK Viktor 1987: 100 éve született dr. Papp Simon kőolajgeológus. – *Földtani Kutatás* **30/1–2**, 105–110.
- DANK Viktor 1987: A földtani tudomány helyzetképe. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **120/11–12**, 323–328.
- DANK Viktor 1987: The role of Neogene deposits among the mineral resources in Hungary. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **70/1**, 9–17.

1988

- DANK Viktor 1988: Dr. Kertai György olajgeológus, akadémikus (1912–1968). – *Földtani Kutatás* **31/1**, 3–16.
- DANK Viktor 1988: Alkalmazott földtani kutatás a Dél-Alföldön. – *Mérnökgeológiai Szemle* **2**, 65–76.

1989

- DANK, Viktor 1989: The International Council of Scientific Unions (ICSU). – *Földtani Kutatás* **32/4**, 80–86.
- DANK Viktor 1989: Bányaföldtani szolgálatok helyzete és problémái. – *Földtani Kutatás* **32/1–3**, 17–21.
- DANK Viktor 1989: Bandat Horst. – *Földrajzi Múzeumi Tanulmányok* **7**, 61–64.
- DANK Viktor 1989: Bányásznap kiadvány. – *Földtani Kutatás* **32/4**, 1–7.
- DANK Viktor 1989: „Nekünk is marad tennivaló”. Beszélgetés dr. Dank Viktorral, a Központi Földtani Hivatal elnökével (Németh Géza interjúja). – *Természet Világa* **120/2**, 59–62.

1990

- DANK Viktor 1990: Távérzékelés földtani és ipari alkalmazása. – *Földtani Kutatás* **33/3**, p. 3.
- DANK Viktor 1990: Az algyői szénhidrogéntelepek felkutatása és geológiai viszonyai. – *Kőolaj és Földgáz, Bányászati és Kohászati Lapok* **123/23**, 3–20.

1996

- DANK Viktor 1996: Papp Simon emlékezete. – *Természet Világa* **127/5**, 233–234.

1997

- DANK Viktor 1997: 60 éves a magyar kőolajtermelés: 1937–1997. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **130/10**, 257–266.

1998

- DANK Viktor 1998: A 150 éves Magyarhoni Földtani Társulat és az olajipar. – *Természet Világa* **129/ksz. 2**, 70–74.

2002

- DANK Viktor 2002: A Magyar Nemzeti Múzeum és a Magyar Természettudományi Társulat korai kapcsolatai. – *Természet Világa* **133/ksz. 2**, 18–20.

2006

DANK Viktor 2006: „Föld mélyén és felhők között”, Interjú dr. Dank Viktorral, a MOIM Alapítvány Kuratórium elnökével – *MOL Panoráma* **3/3**.

2009

DANK Viktor 2009: Szerecz Ferenc (1933–2009). – *Magyar Geofizika* **50/2**, p. 100.

2014

DANK Viktor 2014: A magyar olajbányászat második virágkora. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **147/5**, 17–23.

2016

DANK Viktor 2016: Algyőre mentem volna... – *Természet Világa* **147/4**, p. 160.

DANK Viktor 2016: Az Algyő környéki olajmező felfedezése. Első rész. – *Természet Világa* **147/3**, 104–107.

DANK Viktor 2016: Az Algyő környéki olajmező felfedezése. Második rész. – *Természet Világa* **147/4**, 156–159.

BÉRCZI ISTVÁN, MINDSZENTY Andrea

Study on andorite-series minerals from the Meleg Hill, Velence Mts., Hungary

PAPP, Richard Z.^{1*}, TOPA, Boglárka A.², ZAJZON, Norbert³

¹University of Miskolc, Institute of Mineralogy and Geology; askprz@uni-miskolc.hu

²University of Miskolc, Institute of Mineralogy and Geology; boglarka.topa@uni-miskolc.hu

³University of Miskolc, Institute of Mineralogy and Geology; nzajzon@uni-miskolc.hu

*Correspondence: askprz@uni-miskolc.hu

Az andoritsor ásványainak vizsgálata a velencei-hegységi Meleg-hegy területéről

Összefoglalás

A Meleg-hegy (Velencei-hegység) paleogén korú hidrotermás breccsájának északkeleti, antimonitban gazdag részéből származó breccsaminták elektronmikroszkopos vizsgálata során két új, a területről eddig nem ismert ásványfajt találtunk. Az ásványok a lillianit homológ sorba tartozó andoritsor tagjainak bizonyultak. Kémiai összetételük és az andorit helyettesítési százalékuk (L%) alapján andorit VI-ként és roschinitként azonosíthatók.

Az andorit VI 6 kénatomra normált képlete az átlagos kémiai összetétel alapján $\text{Ag}_{1.06}\text{Cu}_{0.04}\text{Pb}_{0.80}\text{Sb}_{2.49}\text{Bi}_{0.22}\text{As}_{0.3}\text{S}_6$ (L% = 102,65 – 109,84), a roschinit 96 kénatomra normált képlete $\text{Ag}_{17.23}\text{Cu}_{0.53}\text{Pb}_{10.4}\text{Hg}_{0.04}\text{Zn}_{0.04}\text{Fe}_{0.02}\text{Sb}_{39.73}\text{Bi}_{5.52}\text{As}_{5.98}\text{S}_{96}$ (L% = 119,52 – 123,48). Eredményeink arra utalnak, hogy a korábban alkalmazott összehasonlító $(\text{Ag}_2\text{S} + \text{Cu}_2\text{S})-(\text{Sb}_2\text{S}_3 + \text{Bi}_2\text{S}_3 + \text{As}_2\text{S}_3) - (\text{PbS} + \text{HgS} + \text{FeS} + \text{ZnS} + \text{CdS})$ háromszögdiagram nem elégséges az andoritsor ásványainak pontos elkülönítéséhez az Me^+ , Me^{2+} és Me^{3+} kationok esetében megjelenő változó elemhelyettesítések miatt. Ez alapján kijelenthető, hogy az andorit helyettesítési százalék (L%) és az andorit homológ érték (N) kiszámítása minden esetben elengedhetetlen az andoritásványok fajszintű meghatározásához.

Tárgyszavak: andorit VI; kémiai változatosság; roschinit; szulfosó; Velencei Gránit Formáció

Abstract

During the last decades, different sulphosalts were observed in several samples that were investigated from the Meleg hill, Velence Mts. The investigated sample of this study was collected from the less studied north-eastern, stibnite-rich part of the hydrothermal breccia at the Meleg Hill. Based on the results of electron microprobe analysis, we found that the sample contained two sulphosalt minerals of the andorite series that have not been described from Hungary before. The andorite series is a subgroup of the lillianite homologous series. The individual minerals, andorite VI and roschinite, within the andorite series were identified on the basis of their chemical composition and the andorite substitution percentage (L%).

Andorite VI has $\text{Ag}_{1.06}\text{Cu}_{0.04}\text{Pb}_{0.80}\text{Sb}_{2.49}\text{Bi}_{0.22}\text{As}_{0.3}\text{S}_6$ average chemical formula (normalized to six sulphur atoms) and L% = 102.65–109.84, whereas roschinite has $\text{Ag}_{17.23}\text{Cu}_{0.53}\text{Pb}_{10.4}\text{Hg}_{0.04}\text{Zn}_{0.04}\text{Fe}_{0.02}\text{Sb}_{39.73}\text{Bi}_{5.52}\text{As}_{5.98}\text{S}_{96}$ average chemical formula (normalized to 96 sulphur atoms) and L% = 119.52–123.48. Our results suggest that the formerly used comparative ternary diagrams of the system $(\text{Ag}_2\text{S} + \text{Cu}_2\text{S})-(\text{Sb}_2\text{S}_3 + \text{Bi}_2\text{S}_3 + \text{As}_2\text{S}_3) - (\text{PbS} + \text{HgS} + \text{FeS} + \text{ZnS} + \text{CdS})$ is not adequate to differentiate the andorite-series minerals from each other, due to the highly variable element substitution of Me^+ , Me^{2+} and Me^{3+} cations. The andorite substitution percentage (L%) and the andorite homologue order value (N) are always necessary to calculate to distinguish the mineral species.

Keywords: andorite VI; chemical variability; roschinite; sulphosalt; Velence Granite Formation

Introduction

In the last few years, numerous samples were collected from the southern part of Meleg Hill, Velence Mountains, Hungary (Figure 1). The sampling aimed to collect minerals for different Hungarian mineral collections (e.g., Herman Ottó Museum in Miskolc, Hungary) and for the CriticEl project between 2012–2014 to assess potential mineral deposits in Hungary. They were studied with scanning electron microscopy (SEM) and electron microprobe analysis (EPMA), but only one of them contained andorite-series minerals.

Andorite-series minerals (Table I) usually crystallize in low-temperature polymetallic hydrothermal veins in a stibnite, sphalerite, quartz, pyrite, tetrahedrite, pyrrargyrite comprising the paragenesis in the final stage of mineralization after the precipitation of stibnite (OZDÍN & SEJKORA 2009, PRŠEK et al. 2009). Their significance in ore-forming processes is currently unknown due to their complex structure and difficulties in their identification.

In some earlier studies, andorite VI may have been referred to as senandorite, andorite IV quatranderite and the copper-rich variety of andorite VI, nakaséite.

The aim of this work was to identify these minerals and understand their genetic significance. These newly found minerals, andorite VI and roshchinite, have not been described in detail and nor mentioned previously from Hungary due to the very detailed chemical measurements which are required to distinguish them from each other. The average chemical composition of these minerals is similar (Table I); therefore, special parameters, such as andorite homologue order value [N] and substitution percentage [L%], are used for their distinction. These values can be calculated from the chemical composition. The chemical composition also causes problems during the measurements, because the PbM and the SK (and the HgM) lines overlap on the energy-dispersive spectrum, therefore the EDX systems are not suitable for quantification of these elements. Moreover, the minute size (mainly 0.5–15 µm and only occasionally 30–50 µm) of the grains and the chemical inhomogeneity also cause difficulties during the measurements.

Geological setting

The Meleg Hill is situated in the Velence Mountains, in Hungary. The Velence Mts., in turn, is situated on the Southern margin of the Transdanubian Mountain Range (TMR) along the Periadriatic–Balaton Line (PABL).

The TMR was originally situated between the Eastern and Southern Alps and in the late Paleogene to Early Neogene it moved out from the Alpine collision zone. This process was also accompanied by the right-lateral displacement of the Velence Mountains to its current position (BALLA 1985, KÁZMÉR & KOVÁCS 1985, CSONTOS & VÖRÖS 2004, BENKÓ et al. 2014).

The Velence Mountains can be divided into two main igneous rock units. The intrusion of the western part con-

sists of the rocks of the Permian Velence Granite Formation, meanwhile, the eastern part is built up by the rocks of the Oligocene Nadap Andesite Formation (Palaeogene Volcanic Unit – PVU). Both igneous units were intruded into the rocks of the Ordovician to Devonian Lovas Slate Formation.

From geochemical and geochronological points of view, the granite of the Velence Mts. is comparable to other A-type granites along the PABL formed after the Variscan orogeny (BUDA et al. 2004, UHER & BROSKA 1994, GYALOG & HORVÁTH 2004). According to studies of BUDA (1993), MOLNÁR et al (1995) and Molnár (1997), this granite was formed at a pressure of 2 kbar and in the temperature range of 550–690 °C.

In the late stage of the crystallization of the granite, aplite and granite porphyry dykes were formed by the intrusion of the residual melt. These dykes are oriented north-east-southwest throughout the whole granite body (JANTSKY 1957, HORVÁTH et al. 2004)

The PVU is situated in the eastern part of the Velence Mountains, east from the Nadap Line. The hydrothermally altered andesitic stratovolcanic sequence is underlain by a diorite intrusion.

The area of the Velence Mountains was affected by several different hydrothermal alteration events during the Permian, the Triassic and the Paleogene periods (MOLNÁR et al. 1995; MOLNÁR 1996, 1997, 2004; BENKÓ et al. 2008, 2012, 2014; TÓTH 2016; KOVÁCS et al. 2019, 2020). The Permian, Triassic and Paleogene hydrothermal events distinguished by characteristic clay mineral and fluid inclusion assemblages are summarized in Table II.

In the hydrothermal breccia of Meleg Hill, two different element enrichments can be observed: (1) enargite-bearing siliceous alteration with different fahlores are characteristic in the north-western part and (2) antimony-rich minerals including stibnite, (Ag)-Sb-Pb sulphosalts and antimony

→ **Figure 1.** A: Location of Meleg Hill, Velence Mountains; B: Geological map of the Velence Mountains (GYALOG 2005a, 2005b); C: Schematic geological map of Meleg Hill after TÓTH (2016) and the occurrence of the andorite-series minerals

Legend: 1 = artificial fill; 2–17 = Pleistocene and Holocene formations; 18 = Pannonian Tihany Formation; 19–21 = Pannonian sediments; 22 = Oligocene Pázmánd Metasomatite Member of the Nadap Andesite Formation; 23 = Oligocene Sorompóvölgy Andesite Member of the Nadap Andesite Formation; 24 = Upper Cretaceous Budakeszi Picrite Formation; 25 = Cretaceous quartz vein; 26 = Lower Permian Velence Granite Formation; 27 = Lower Permian Pákozdi Granite Porphyry Member of the Velence Granite Formation; 28 = Lower Permian Kisfalud Microgranite Member of the Velence Granite Formation; 29 = Silurian–Devonian Bencehegy Microgabbro Formation; 30 = Ordovician–Devonian Lovas Slate Formation; 31 = Hydrothermal breccia at the Meleg Hill area; 32 = Granite porphyry in the Velence Granite Formation; 33 = Aplite and microgranite in the Velence Granite Formation; 34 = Nadap Line; 35 = Nadap–Lovasberény road; 36 = Enargite-bearing siliceous alteration at Meleg Hill; 37 = Stibnite rich hydrothermal breccia at Meleg Hill; 38 = Locality of the investigated sample; Abbreviation: Szfv. = Székesfehérvár

→ **I. ábra.** A: A Velencei-hegység elhelyezkedése; B: A Velencei-hegység és északi előterének földtani térképe (GYALOG 2005a, b alapján). C: A Meleg-hegy sematikus geológiai térképe TÓTH (2016) alapján és az andorit-sor ásványainak előfordulása
Jelmagyarázat: 1 = mesterséges feltöltés; 2–17 = pleisztocén és holocén formációk; 18 = pannóniai Tihanyi Formáció; 19–21 = pannóniai üledékek; 22 = középső–első eocén Nadapi Andezit Formáció Pázmándi Metaszomatit Tagozata; 23 = középső–felső eocén Nadapi Andezit Formáció Sorompóvölgyi Andezit Tagozata; 24 = felső kréta Budakeszi Pikrit Formáció; 25 = kréta kvarctelér; 26 = alsó perm Velencei Gránit Formáció; 27 = alsó perm Velencei Gránit Formáció Pákozdi Gránitporfir Tagozata; 28 = alsó perm Velencei Gránit Formáció Kisfaludi Mikrogránit Tagozata; 29 = szilur-devon Bencehegyi Mikrograbbro Formáció; 30 = ordóvícium-devon Lovasi Agyagpala Formáció; Szfv.-i blokk = Székesfehérvári blokk

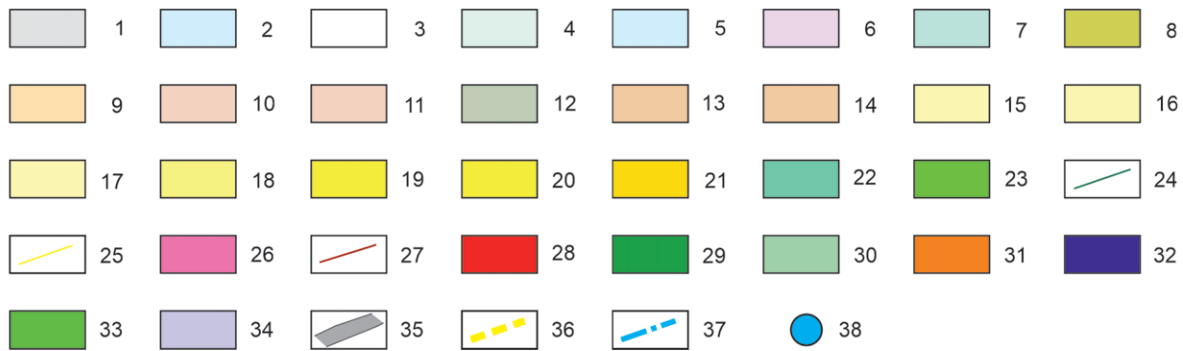
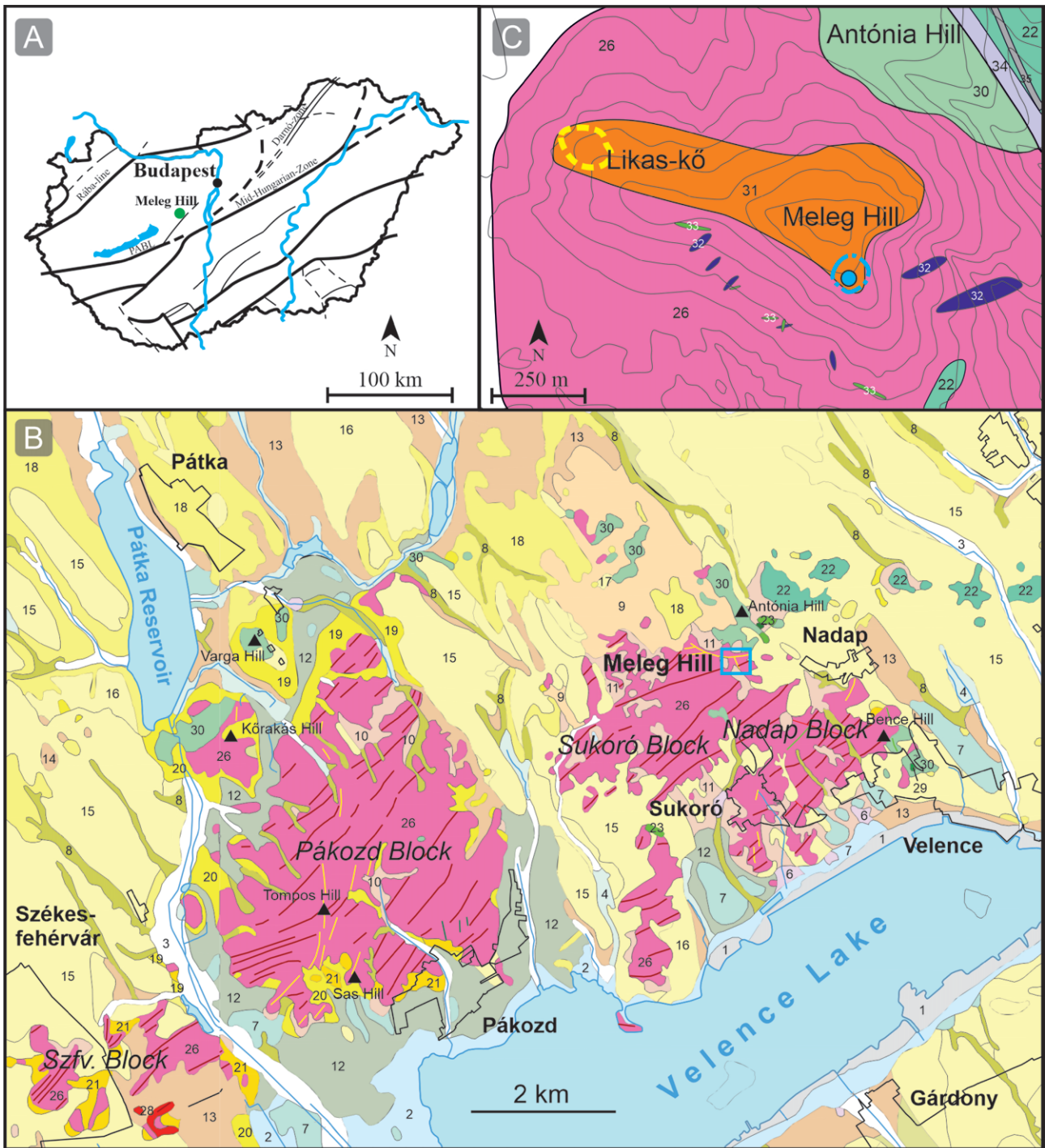


Table I. Minerals of the andorite-series with their chemical composition, space group, substitution percentage (L%) and andorite homologue order value (N) (MOÉLO et al. 2013, PAŽOUT 2017)*I. táblázat.* Az andoritsor ásványainak kémiai összetétele, tércsoportjuk, helyettesítési százalékuk (L%), valamint andorithomológ értékük (N) (MOÉLO et al. 2008, PAŽOUT 2017)

Name	Chemical composition	Space group	L%	N
uchucchacuaite	Pb ₃ MnAgSb ₅ S ₁₂	<i>Pmnm</i>	And ₅₀	4
fizélyite	Ag ₅ Pb ₁₄ Sb ₂₁ S ₄₈	<i>P2₁/n</i>	And _{62.5}	4
ramdohrite	(Cd,Mn,Fe)Ag _{5.3} Pb ₁₂ Sb _{21.5} S ₄₈	<i>P2₁/n</i>	And _{68.75}	4
andorite IV	Ag ₁₃ Pb ₁₈ Sb ₄₇ S ₉₆	<i>P2</i>	And _{93.75}	4
andorite VI	AgPbSb ₅ S ₆	<i>Pmn2₁</i>	And ₁₀₀	4
arsenquatranderite	Pb _{12.8} Ag _{17.6} Sb _{38.08} As _{11.52} S ₉₆	<i>P2₁/b</i>	And ₁₁₀	4
roshchinite	Pb ₁₀ Ag ₁₉ Sb ₅₁ S ₉₆	<i>Pnma</i>	And ₁₁₅	4
oscarkempffite	Pb ₄ Ag ₁₀ Sb ₁₇ Bi ₉ S ₄₈	<i>Pnca</i>	And ₁₂₄	4
clino-oscarkempffite	Pb ₆ Ag ₁₅ Sb ₂₁ Bi ₁₈ S ₇₂	<i>P2₁/b</i>	And ₁₂₅	4
jasrouxite	Pb ₄ Ag ₁₆ Sb ₂₄ As ₁₆ S ₇₂	<i>P-1</i>	And _{136.5}	4

oxides are dominant in the southern part (Figure 1/C). The antimony oxides were produced during the alteration processes of the original Sb-rich ore. The investigated andorite-series mineral-bearing sample was collected from this latter zone of the hydrothermal breccia.

Analytical methods and sample preparation

During sample preparation, polished surface mounts were made. The samples were vacuum impregnated in Araldite epoxy resin. Once solidified, they were cut and their surface was ground under dry condition on SiC abrasive paper and polished with diamond paste (6 µm, 3 µm, 1 µm, 1/4 µm) under wet conditions. Alcohol-based lubricant was used to

avoid any oxidation of the sample surface during the process.

The analytical measurements (SEM and EMPA) were performed at the Department of Mineralogy and Geology and at the 3D Lab at the University of Miskolc. Further EMPA analyses were made at the Department of Electron Microanalysis, Geological Institute of Dionýz Štúr in Bratislava, Slovakia.

Electron microprobe measurements were performed on a JEOL JXA-8600 Superprobe with upgraded SAMX software, 20 kV acceleration voltage and 20 nA beam current (Miskolc) and with

a Cameca SX-100 microprobe with 25 kV acceleration voltage and 10 nA beam current (Bratislava). Table III contains the analyser crystal types and standards that were used during the wavelength-dispersive X-ray spectroscopic (WDX) measurements.

The SEM images were taken with a Thermo Scientific Helios G4PFIB XCe, Xe Plasma Focused Ion Beam Scanning Electron Microscope, equipped with an EDAX Team Pegasus system (Octane detector), with 15–20 kV acceleration voltage and 3.2–13 nA beam current. The acceleration voltage and the beam current were modified according to the method of use (imaging or chemical measurement).

Due to the size of the minerals examined, optical microscopy was not used for further mineral identification.

Table II. Summary of the hydrothermal events of Velence Mts. based on BENKÓ et al. (2014) and KOVÁCS et al. (2019); P = Permian, T = Triassic, Ol₁ = Lower Oligocene*II. táblázat.* A Velencei-hegység hidrotermális eseményeinek összefoglalása BENKÓ et al. (2014) és KOVÁCS et al. (2019) alapján; P = perm, T = triász, Ol₁ = alsó oligocén

Formation	Total homogenization temp., Formation pressure	Age	References
quartz–molybdenite–pyrite–fahlore mineralization	220–320 °C, 1.3–2.5 kbar	P	MOLNÁR 1997
base-metal veins with fluorite	70–180 °C, 0.4–0.5 kbar, 190–245 °C, 0.4–0.5 kbar	T	BENKÓ et al. 2008, 2010, 2014; MOLNÁR 1996
diorite intrusion, andesite vulcanism		Ol ₁	DARIDA-TICHY 1987, BENEDEK et al. 2004
HS-type epithermal mineralization in andesite	220–290 °C, 160–200 bar 310–380 °C, 160–200 bar	Ol ₁	MOLNÁR 1996, 1997; MOLNÁR et al. 1995; BAJNÓCZI et al. 2010
hydrothermal breccia, enargite-bearing siliceous alteration	260–460 °C	Ol ₁	MOLNÁR 1996, 1997; MOLNÁR et al. 1995
porphyry copper	220–570 °C, 100–280 bar	Ol ₁	MOLNÁR 1996, BAJNÓCZI et al. 2010, MOLNÁR et al. 2010
quartz-barite veins, illitic alteration	150–200 °C, 30–40 bar ~220 °C, 30–40 bar	Ol ₁	BENKÓ et al. 2012, KOVÁCS et al. 2020

Crystal chemical calculations in the andorite series

Andorite-series minerals are the Sb-rich members of the lillianite homologous series. The minerals of the lillianite homologous series are complex sulphides with Pb-Bi-Sb-Ag-S chemistry. The crystal structure of the lillianite series is built up from alternating layers of PbS parallel to the (311)_{PbS} lattice plane. In the case of the andorite-series minerals, under- and oversubstitution can be observed by the replacement of the Pb atom in these alternating PbS layers.

For our calculations, we used the work of MAKOVICKY & KARUP-MØLLER (1977a, 1977b) and MAKOVICKY (2019) regarding the

Table III. List of analysing crystals and standards used in this study with corresponding measured elements (normal font: University of Miskolc; italic font: Geological Institute of Dionýz Štúr).

III. táblázat. A különböző ásványok mérése során használt analízatorokristályok és sztenderdek (normál betűk: Miskolci Egyetem; dőlt betűk: Geological Institute of Dionýz Štúr)

Element	Anal. crystal	Standard
As L α	TAP/TAP	GaAs/GaAs
Ag L α	PET/LPET	Ag/Ag
S K α	PET/LPET	MnS ₂ /CuFeS ₂
Cu L α /K α	TAP/LLIF	Cu ₃ Se ₂ /CuFeS ₂
Sb L α	PET/LLIF	Sb ₂ S ₃ /Sb
Bi M α /L α	PET/LLIF	Bi/Bi
Fe K α	LIF/LLIF	FeS ₂ /CuFeS ₂
Pb M α	PET/LPET	PbS/PbS
Zn L α /K α	TAP/LLIF	Zn/ZnS
Hg L α	LIF/LLIF	HgS/HgS

classification of the lillianite series. This classification is based on the lillianite homologue, the molar fraction and the substitution percentage of the phases.

The andorite homologue value (N) was calculated with the following equation:

$$N = -1 + 1 / (S_{bi} + P_{bi} / 2 - 1 / 2) \quad (1)$$

where $S_{bi} = Sb / (Ag + Sb + Pb)$, $P_{bi} = Pb / (Ag + Sb + Pb)$; $Sb = Sb + Bi + As$; $Ag = Ag + Cu$ and $Pb = Pb + Zn + Hg + Cd$ (MOËLO et al. 1984, MAKOVICKY 2019).

The substitution percentage (L%) of the Ag-Sb end member of the andorite is equal to

$$L\% = 1 - (2S_{bi} - P_{bi} - 1) / 6 \times (Bi + P_{bi} / 2 - 5 / 6) \times 100 \quad (2)$$

and the substitution parameter is:

$$x = (L\% \times (N - 2)) / 20 \quad (3)$$

The equations were calculated with the chemical formula of andorite VI (PbAgSb₃S₆).

The andorite series comprises well-defined minerals with limited composition ranges and limited content of specific minor elements. The substitution percentages of the andorite-series minerals can be seen in *Table I*, but due to the continuous under- and oversubstitution of the specimens in nature, the substitution percentage can be described as a continuous range between the two neighbouring mineral species (MOËLO et al. 2008, PAŽOUT 2017).

N and L values were calculated for selected members of the andorite series from different localities based on analytical data taken from earlier publications (KOSTOV & MINČEVA-STEFANOVA 1981; MAKOCIVKY & MUMME 1983; MOËLO 1984; MOËLO et al. 2008; MAKOVICKY et al. 2013, 2018) (*Table I*).

Results

The andorite-series minerals occur as 1–50 μ m crystals at Meleg Hill (*Figure 2/A*) in the hydrothermal breccia. Several smaller grains have a flame-like appearance, where the edge of the crystals is fibrous (*Figure 2/B*). Larger (20–50 μ m) grains are chemically inhomogeneous (*Figure 2/C*). The andorite-series minerals are enclosed in the siliceous matrix of the breccia. Several different As-Sb-Pb sulphosalts (enargite, tennantite, tetrahedrite) and sulphides (stibnite, galena, pyrite, sphalerite and chalcopyrite) are associated with the grains of the andorite-series minerals.

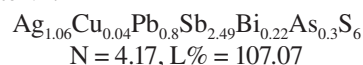
Due to the small grain size (less than 5 μ m in diameter), not all the crystals can be measured accurately. At an accelerating voltage of 20–25 kV, the interaction volume of the penetrating electron beam can be larger than the volume of the mineral. This effect can cause incomprehensible chemical information. The same problem occurs when the width of the mineral to be examined is less than 1 μ m since the diameter of the electron beam is comparable with this size. To validate the results and get the proper chemical composition of the minerals, the same crystals were analysed with two different electron microprobes. Altogether 25 different point measurements were performed on the sample to get the precise chemical composition. Based on these duplicate analyses, two different phases can be distinguished. *Table IV* and *Table V* contain the chemical compositions in wt%. The main chemical features of the phases are similar, but characteristic differences can be observed in the lead, bismuth and arsenic content. This chemical inhomogeneity on the backscattered electron images is easily recognisable.

The andorite homologue number (N) and the substitution percentage (L%) of the phases are also different. For the first mineral the average values are: $N = 4.17$, $L\% = 107.07$ and for the second mineral $N = 3.70$, $L\% = 121.41$ (*Table IV* and *Table V* contain the N and L% for all the measured points).

Discussion

Based on the analytical data, the andorite homologue value (N) and the substitution percentage (L%) calculations, two different types of andorite-series minerals can be distinguished in the sample with the following average compositions and values:

– andorite VI:



– roshchinite:

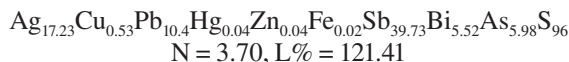


Table VI and *Table VII* contain the chemical formulae calculated from the analytical data; normalized to six sulphur atoms for andorite VI and 96 for roshchinite, compared with the theoretical composition of the given minerals.

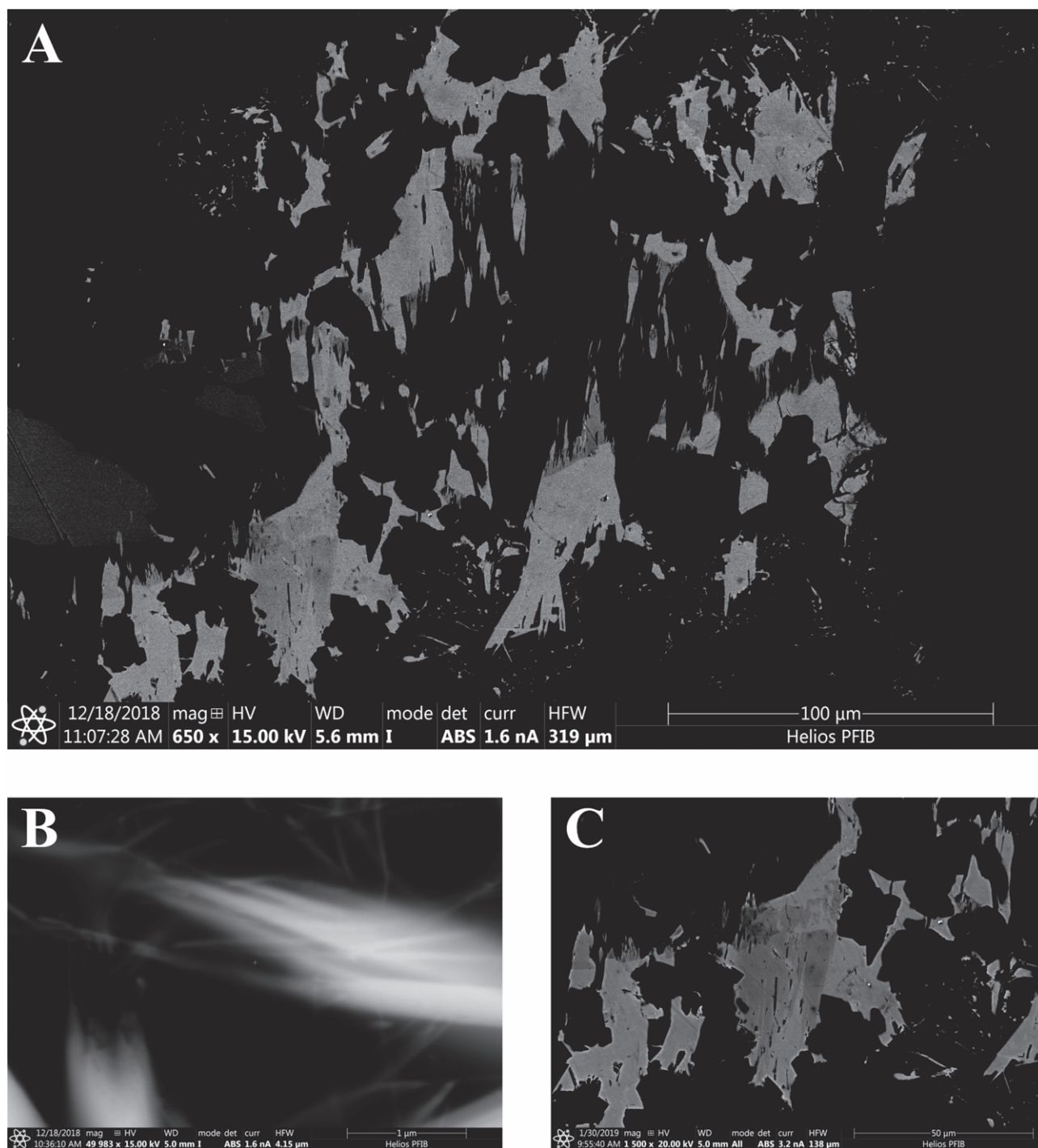


Figure 2. Backscattered electron (BSE) images of the andorite-series minerals from the Meleg Hill; A: overview image of the andorite-series crystals; B: minerals with fibrous habit; C: Different shades of grey corresponds to the different compositions within a grain in a BSE image

2. ábra. A Meleg-hegyen azonosított andoritsor ásványainak visszászórtelektron-képe (BSE); A: összefoglaló kép az andoritsor kristályairól; B: szálás habitusú ásványok; C: a szürke különböző árnyalatai az ásványok kémiai összetételének eltérését mutatják a BSE-felvételeken

The theoretical homologue value for the lillianite-group minerals is $N = 4$, but in the case of the andorite-series, it may deviate from 4 due to the element substitution in the different sites. In the andorite VI grains from Meleg Hill the Me^{2+} cation Pb is undersubstituted and the Me^{3+} cation Sb is replaced with minor Bi and As compared to the theoretical composition ($\text{Ag}^+\text{Pb}^{2+}\text{Sb}^{3+}_3\text{S}_6$). In the roshchinite grains, the

Me^{2+} and Me^{3+} cations are oversubstituted, and the Me^+ is undersubstituted (the theoretical composition for roshchinite is $\text{Ag}^+_{19}\text{Pb}^{2+}_{10}\text{Sb}^{3+}_{51}\text{S}_{96}$). In this case, higher Bi-As replacement can be observed in the Sb position.

Based on the measured wt% of the Me^+ , Me^{2+} and Me^{3+} cations, two different kinds of minerals can be distinguished in the Meleg Hill samples (Figures 3–4). The chemical com-

Table IV. Results of the electron microprobe analysis of andorite VI grains from Meleg Hill in weight percent (wt%) together with the calculated andorite homologue number (N) and substitution value (L%) (bdl = below the detection limit; No.: measurement ID)

IV. táblázat. A meleg-hegyi andorit VI kristályok elektronmikroszkopos mérési eredményei tömegszázalékban (wt%), valamint a számított andorit-homológ értékek (N) és a helyettesítési százalékok (L%) (bdl = kimutatási határérték alatt; No.: a mérés sorszáma)

No.	Ag	Cu	Pb	Fe	Hg	Zn	Sb	Bi	As	S	Total	N	L%
1	12.94	0.40	18.06	0.04	bdl	0.07	35.95	6.79	1.46	22.34	98.06	4.09	109.54
2	13.48	0.37	17.69	0.01	bdl	0.05	35.75	7.22	1.63	22.41	98.61	4.17	109.84
3	13.08	0.19	20.43	bdl	0.18	bdl	37.29	3.69	2.46	21.76	99.08	3.99	107.29
4	13.88	0.32	18.10	bdl	0.14	bdl	36.63	4.88	2.39	22.20	98.54	4.19	109.53
5	13.12	0.19	20.41	bdl	0.18	bdl	37.32	3.69	2.45	22.94	100.30	4.01	107.16
6	14.25	0.32	18.25	bdl	0.14	bdl	36.47	4.92	2.38	23.40	100.13	4.33	107.95
7	14.47	0.33	18.12	bdl	bdl	0.03	36.31	2.89	4.15	23.62	99.92	4.24	109.51
8	13.91	0.18	16.27	0.02	0.14	bdl	33.49	8.77	2.77	24.38	99.93	4.19	108.36
9	13.05	0.09	17.94	0.01	0.08	bdl	35.77	6.47	2.62	23.61	99.64	4.06	107.35
10	13.12	0.54	20.41	bdl	bdl	bdl	33.94	5.10	2.78	23.09	98.98	4.41	102.65
11	12.78	0.53	20.41	bdl	0.26	bdl	34.57	5.14	2.68	23.22	99.59	4.25	103.65
12	12.90	0.30	20.09	bdl	bdl	bdl	35.46	4.96	2.68	23.57	99.96	4.05	106.94
13	12.78	0.29	20.71	0.04	0.11	bdl	35.31	4.29	3.02	22.95	99.50	4.05	105.76
14	13.23	0.39	20.50	0.01	bdl	bdl	36.05	4.17	3.13	23.29	100.77	4.11	106.46
15	13.93	0.17	20.61	0.02	bdl	bdl	34.65	5.71	2.69	22.02	99.80	4.36	103.35
16	13.71	0.28	18.90	bdl	0.17	bdl	35.14	6.13	2.67	22.15	99.15	4.20	107.76
<i>Aver.</i>	<i>13.41</i>	<i>0.31</i>	<i>19.18</i>	<i>0.01</i>	<i>0.09</i>	<i>0.01</i>	<i>35.63</i>	<i>5.30</i>	<i>2.62</i>	<i>22.93</i>	<i>99.50</i>	<i>4.17</i>	<i>107.07</i>

Table V. Results of the electron microprobe analysis of roshchinite grains from Meleg Hill in weight percent (wt%) together with the calculated andorite homologue number (N) and substitution value (L%) (bdl = below the detection limit; No.: measurement ID)

V. táblázat. A meleg-hegyi roscsinít-kristályok elektronmikroszkopos mérési eredményei tömegszázalékban (wt%), valamint a számított andorithomológ értékek (N) és a helyettesítési százalékok (L%) (bdl = kimutatási határérték alatt; No.: a mérés sorszáma)

No.	Ag	Cu	Pb	Fe	Hg	Zn	Sb	Bi	As	S	Total	N	L%
17	13.88	0.31	15.60	0.03	bdl	bdl	35.31	8.66	3.28	22.26	99.31	3.83	120.57
18	13.68	0.25	15.74	bdl	0.11	0.02	35.62	8.26	3.16	22.85	99.69	3.78	120.74
19	13.34	0.49	15.79	bdl	0.22	bdl	35.79	8.73	3.32	22.97	100.65	3.56	121.79
20	13.83	0.41	15.85	bdl	bdl	bdl	35.28	8.55	3.37	22.67	99.96	3.85	119.52
21	13.72	0.29	15.91	0.01	bdl	bdl	35.36	8.76	3.25	22.68	99.98	3.76	120.70
22	13.54	0.07	15.84	bdl	0.01	0.07	35.33	8.70	3.29	22.36	99.21	3.57	122.77
23	13.68	0.33	15.93	bdl	bdl	0.01	35.93	8.30	3.27	22.56	100.01	3.77	121.20
24	13.57	0.00	15.96	0.02	0.14	bdl	35.65	8.30	3.33	22.59	99.56	3.62	123.48
25	13.65	0.09	15.95	0.02	bdl	0.07	35.65	8.05	3.36	22.61	99.45	3.60	121.94
<i>Aver.</i>	<i>13.65</i>	<i>0.25</i>	<i>15.84</i>	<i>0.01</i>	<i>0.05</i>	<i>0.02</i>	<i>35.55</i>	<i>8.48</i>	<i>3.29</i>	<i>22.62</i>	<i>99.76</i>	<i>3.70</i>	<i>121.41</i>

Table VI. Formula coefficients (apfu) of the andorite VI normalized to six sulphur atoms, calculated from the data listed in Table IV (Ado VI: ideal formula of andorite VI; bdl = below the detection limit)*VI. táblázat.* Az andorit VI kristályok 6 kénatomra normált összetétele (apfu) a IV. táblázatban közölt adatok alapján. (Ado VI: az andorit VI ideális formulája; bdl = kimutatási határérték alatt)

No.	Ag	Cu	ΣMe^{1+}	Pb	Fe	Hg	Zn	ΣMe^{2+}	Sb	Bi	As	ΣMe^{3+}	S
<i>Ado VI</i>			<i>1</i>					<i>1</i>				<i>3</i>	<i>6</i>
1	1.05	0.06	1.10	0.76	0.01	bdl	0.01	0.78	2.58	0.28	0.17	3.03	6.09
2	1.09	0.05	1.14	0.74	bdl	bdl	0.01	0.75	2.55	0.30	0.19	3.04	6.07
3	1.06	0.03	1.08	0.86	bdl	0.01	bdl	0.87	2.68	0.15	0.29	3.12	5.93
4	1.11	0.04	1.16	0.76	bdl	0.01	bdl	0.76	2.61	0.20	0.28	3.08	6.00
5	1.03	0.03	1.06	0.84	bdl	0.01	bdl	0.84	2.60	0.15	0.28	3.03	6.07
6	1.11	0.04	1.15	0.74	bdl	0.01	bdl	0.74	2.51	0.20	0.27	2.98	6.13
7	1.11	0.04	1.15	0.74	bdl	bdl	bdl	0.74	2.46	0.11	0.46	3.03	6.08
8	1.06	0.02	1.09	0.74	bdl	0.01	bdl	0.75	2.26	0.35	0.30	2.91	6.26
9	1.03	0.01	1.04	0.79	bdl	bdl	bdl	0.79	2.36	0.26	0.30	2.92	6.25
10	1.04	0.07	1.11	0.84	bdl	bdl	bdl	0.84	2.38	0.21	0.32	2.90	6.15
11	1.01	0.07	1.08	0.84	bdl	0.01	bdl	0.85	2.41	0.21	0.30	2.92	6.15
12	1.01	0.04	1.05	0.82	bdl	bdl	bdl	0.82	2.45	0.20	0.30	2.95	6.19
13	1.01	0.04	1.05	0.85	0.01	bdl	bdl	0.86	2.47	0.17	0.34	2.99	6.10
14	1.03	0.05	1.08	0.83	bdl	bdl	bdl	0.83	2.48	0.17	0.35	3.00	6.09
15	1.12	0.02	1.15	0.86	bdl	bdl	bdl	0.86	2.47	0.24	0.31	3.02	5.97
16	1.10	0.04	1.14	0.79	bdl	0.01	bdl	0.80	2.50	0.25	0.31	3.07	5.99
<i>Aver.</i>	<i>1.06</i>	<i>0.04</i>	<i>1.10</i>	<i>0.80</i>	<i>bdl</i>	<i>bdl</i>	<i>bdl</i>	<i>0.81</i>	<i>2.49</i>	<i>0.22</i>	<i>0.30</i>	<i>3.00</i>	<i>6.10</i>

Table VII. Formula coefficients (apfu) of roshchinite measurements normalized to 96 sulphur atoms, calculated from the data listed in Table V (Rch.: ideal formula of roshchinite; bdl = below the detection limit)*VII. táblázat.* A roscsinít-kristályok 96 kénatomra normált összetétele (apfu) az V. táblázatban közölt adatok alapján. (Rch: a roscsinít ideális képlete; bdl = kimutatási határérték alatt)

No.	Ag	Cu	ΣMe^{1+}	Pb	Fe	Hg	Zn	ΣMe^{2+}	Sb	Bi	As	ΣMe^{3+}	S
<i>Rch.</i>			<i>19</i>					<i>10</i>				<i>51</i>	<i>96</i>
17	17.79	0.67	18.46	10.41	0.07	bdl	0.01	10.49	40.10	5.73	6.05	51.88	96
18	17.08	0.53	17.61	10.23	bdl	0.08	0.04	10.35	39.40	5.32	5.68	50.41	96
19	16.57	1.03	17.60	10.21	bdl	0.15	bdl	10.36	39.38	5.60	5.94	50.92	96
20	17.41	0.88	18.28	10.39	bdl	bdl	bdl	10.39	39.34	5.55	6.11	51.00	96
21	17.26	0.62	17.88	10.42	0.02	bdl	bdl	10.44	39.41	5.69	5.89	50.98	96
22	17.28	0.15	17.43	10.52	bdl	0.01	0.15	10.68	39.94	5.73	6.04	51.71	96
23	17.30	0.71	18.01	10.49	bdl	bdl	0.02	10.51	40.26	5.42	5.95	51.63	96
24	17.14	bdl	17.14	10.49	0.05	0.10	bdl	10.64	39.89	5.41	6.06	51.36	96
25	17.23	0.19	17.42	10.48	0.05	bdl	0.15	10.67	39.85	5.24	6.10	51.20	96
<i>Aver.</i>	<i>17.23</i>	<i>0.53</i>	<i>17.76</i>	<i>10.40</i>	<i>0.02</i>	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>10.50</i>	<i>39.73</i>	<i>5.52</i>	<i>5.98</i>	<i>51.23</i>	<i>96</i>

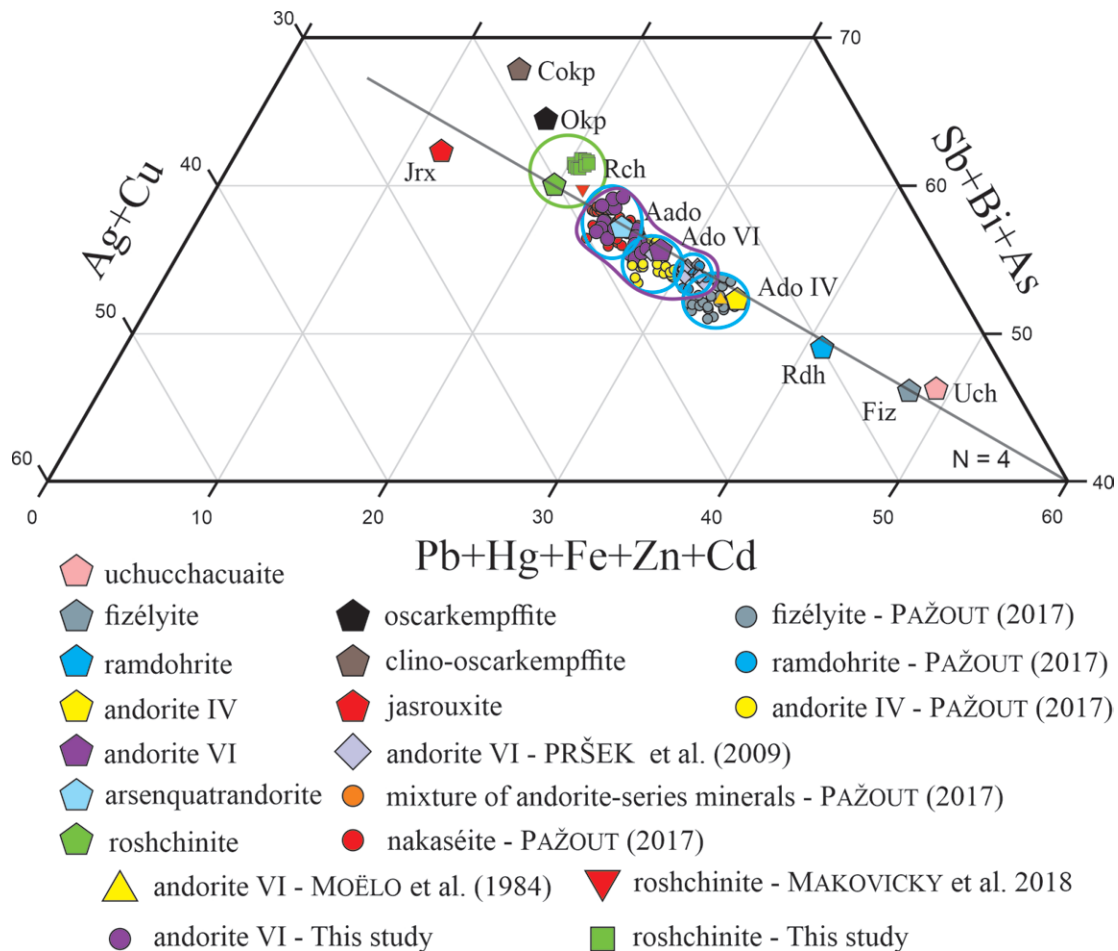


Figure 3. Ternary diagram of the $(Ag_2S + Cu_2S)-(Sb_2S_3 + Bi_2S_3 + As_2S_3)-(PbS + HgS + FeS + ZnS + CdS)$ showing the andorite substitution $(Ag,Cu)^+ + (Sb,Bi,As)^{3+} \leftrightarrow 2(Pb,Hg,Fe,Zn,Cd)^{2+}$ (andorite series) in 58 measurements from this work and from other authors based on PAŽOUT (2017).

Pentagons: members of the andorite-series minerals with ideal chemical composition; Encircled in blue: field of the andorite-series minerals based on the results of PAŽOUT (2017); Encircled in green: field of roshchinite (Rch) based on results of this study and MAKOVICKY et al. (2018); Encircled in purple: field of andorite VI based on the results of this study and PRŠEK et al. (2009); - N: andorite homologue value; Jrx: jasrouxite, Cokp: clino-oscar Kempffite, Okp: oscar Kempffite, Rch: roshchinite, Aado: arsenquatranderite Ado VI: andorite VI, Ado IV: andorite IV, Rdh: ramdohrite, Fiz: fizélyite, Uch: uchucchacuaite; mineral symbols after WARR (2021)

3. ábra. A meleg-hegyi mintákban azonosított andoritsorbeli ásványok $(Ag_2S + Cu_2S)-(Sb_2S_3 + Bi_2S_3 + As_2S_3)-(PbS + HgS + FeS + ZnS + CdS)$ háromszögdiagramja (PAŽOUT 2017 nyomán), amely az andorit helyettesítési értéket $(Ag,Cu)^+ + (Sb,Bi,As)^{3+} \leftrightarrow 2(Pb,Hg,Fe,Zn,Cd)^{2+}$ mutatja be a jelen munka 58 mérése, valamint más szerzők eredményei alapján.

Ötzőgek: az andoritsor ideális kémiai összetételű ásványai; Kék körvonallal: az andoritsor ásványainak mezeje PAŽOUT (2017) eredményei alapján; Zöld körvonallal: a roshcsinit (Rch) ásvány mezeje jelen munka, valamint MAKOVICKY et al. (2018) eredményei alapján. Lila körvonallal: az andorit VI ásvány mezeje jelen vizsgálat és PRŠEK et al. (2009) alapján; - N: andorithomológ érték; Jrx: jasrouxit, Cokp: klinooscar Kempffit, Okp: oscar Kempffit, Rch: roshcsinit, Aado: arzénkvatrandorit, Ado VI: andorit VI, Ado IV: andorit IV, Rdh: ramdohrit, Fiz: fizélyit, Uch: uchucchacuait; ásványnév-rövidítések és szimbólumok WARR (2021) után

position of roshchinite from Meleg Hill is similar to the sample studied by MAKOVICKY et al. (2018) and to the ideal chemical composition of the species. The chemical composition of roshchinite defines a well distinguishable range on both of the diagrams (Figure 3, encircled in green; Figure 4, green band). Figure 4 also shows a well-defined range of andorite VI (purple band) that includes the results of this study, PRŠEK et al. (2009), PAŽOUT (2017) and the ideal andorite VI. In Figure 3 andorite VI group (purple circle) overlap with the ideal arsenquatranderite and with the andorite IV and fizélyite measurements of PAŽOUT (2017). The original results of PAŽOUT (2017) show four separate groups of the

andorite VI, andorite IV, ramdohrite and fizélyite (Figure 3, encircled in blue).

In the case of the samples of PRŠEK et al. (2009) the difference between the ideal positions of the andorite-series minerals and the measured data on the ternary diagram is caused by the Bi-As substitution and the low Me^{2+} content of the samples.

The occurrence of the andorite VI and roshchinite in the north-eastern part of the hydrothermal breccia of Meleg Hill suggests a lower crystallization temperature than that of the enargite-bearing siliceous alterations at the middle and western parts as suggested by the different element enrichments (cf. ROBB 2005, OZDÍN & SEJKORA 2009, PRŠEK et al. 2009).

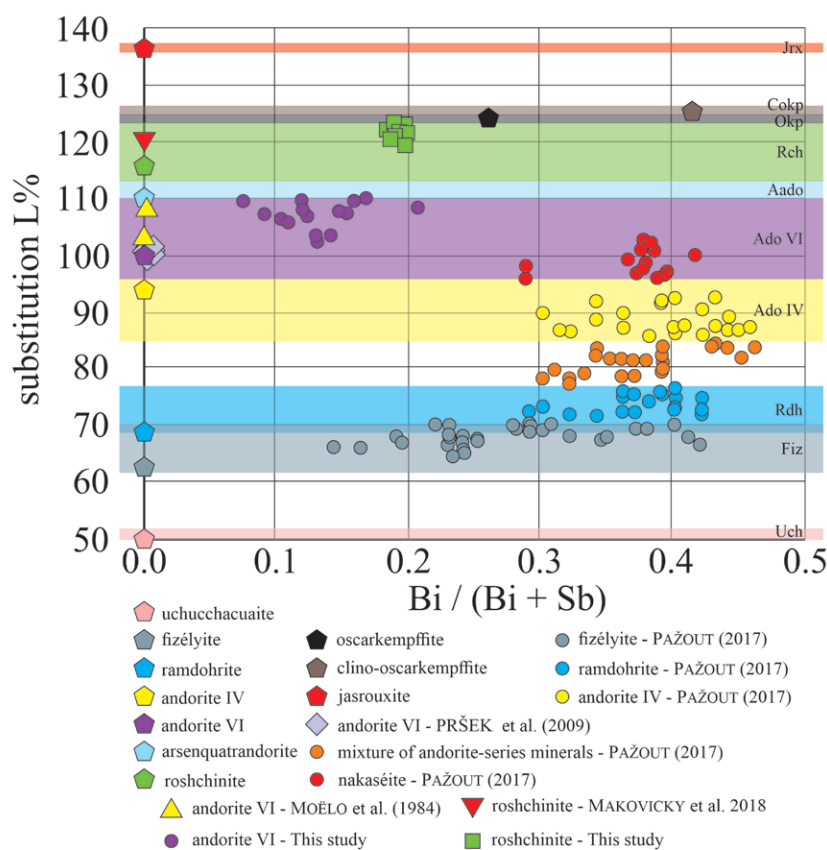


Figure 4. The $\text{Bi} / (\text{Bi} + \text{Sb})$ (at%) vs. andorite substitution $(\text{Ag,Cu})^+ + (\text{Sb,Bi,As})^{3+} \leftrightarrow 2 (\text{Pb,Hg,Fe,Zn,Cd})^{2+}$ plot of andorite-series minerals with 58 measurements from this work and from other authors based on PAŽOUT (2017). The plot shows the ideal (andorite VI), the undersubstituted (uchucchacuaite, fizélyite, ramdohrite and andorite IV) and oversubstituted (arsenquatrandorite, roschinite, oscarkeppfite, clino-oscarkeppfite and jasrouxite) members of the andorite series with pentagons. The colour bands represent the fields of the species

Jrx: jasrouxite, Cokp: clino-oscarkeppfite, Okp: oscarkeppfite, Rch: roschinite, Aado: arsenquatrandorite Ado VI: andorite VI, Ado IV: andorite IV, Rdh: ramdohrite, Fiz: fizélyite, Uch: uchucchacuaite; mineral symbols after WARR (2021)

4. ábra. A $\text{Bi} / (\text{Bi} + \text{Sb})$ (at%) és az andorit helyettesítési százalék $(\text{Ag,Cu})^+ + (\text{Sb,Bi,As})^{3+} \leftrightarrow 2 (\text{Pb,Hg,Fe,Zn,Cd})^{2+}$ diagramja (PAŽOUT, 2017 nyomán) a jelen munka 58 mérése, valamint más szerzők eredményei alapján. Az ábrán ötszögökkel jelölve látható az andoritsor ásványainak ideális (andorite VI), alulhelyettesített (uchucchacuaite, fizélyit, ramdohrit és andorite IV), valamint túlhelyettesített (arsenquatrandorite, roschinit, oscarkeppfít, klineoscarkeppfít and jasrouxit) tagjai

Jrx: jasrouxit, Cokp: klineoscarkeppfít, Okp: oscarkeppfít, Rch: roschinit, Aado: arzenkvatrandorite, Ado VI: andorite VI, Ado IV: andorite IV, Rdh: ramdohrit, Fiz: fizélyit, Uch: uchucchacuaite; ásványnév-rövidítések WARR (2021) után

Conclusions

With SEM imaging and EPMA measurements, two different andorite-series minerals were observed at Meleg Hill, Velence Mts., Hungary: andorite VI and roschinite. Both occur in the silicious matrix and the crystals are intergrown with each other. The andorite-series minerals have a flame-like or fibrous appearance. Individual crystals vary in size. The fibrous form is usually less than 1 μm in width and the length of the flame-like variety is between 1–50 μm .

Individual grains were analysed to determine their exact chemical composition. From the obtained data the andorite homologue value (N) and the substitution percentage (L%) were calculated to determine the position of the minerals within the andorite series. The chemical formula of the minerals are as follows:

Andorite VI (L% = 102.65–109.84) (N = 3.99–4.41) with $\text{Ag}_{1.01-1.12}\text{Cu}_{0-0.07}\text{Pb}_{0.74-0.86}\text{Zn}_{0-0.01}\text{Hg}_{0-0.01}\text{Fe}_{0-0.01}\text{Sb}_{2.26-2.68}\text{Bi}_{0.11-0.35}\text{As}_{0.11-0.46}\text{S}_6$ and roschinite (L% = 119.52–123.48) (N = 3.56–3.85) with $\text{Ag}_{16.68-17.71}\text{Cu}_{0-1.04}\text{Pb}_{10.28-10.55}\text{Zn}_{0-0.15}\text{Hg}_{0-0.15}\text{Fe}_{0-0.07}\text{Sb}_{39.41-40.22}\text{Bi}_{5.26-5.74}\text{As}_{5.734-6.13}\text{S}_{96}$.

The formerly used comparative ternary diagrams of the system $(\text{Ag}_2\text{S} + \text{Cu}_2\text{S})-(\text{Sb}_2\text{S}_3 + \text{Bi}_2\text{S}_3 + \text{As}_2\text{S}_3)-(2\text{PbS} + \text{HgS} + \text{FeS} + \text{ZnS} + \text{CdS})$ and the $\text{Bi} / (\text{Bi} + \text{Sb})$ (at%) vs. andorite substitution $(\text{Ag,Cu})^+ + (\text{Sb,Bi,As})^{3+} \leftrightarrow 2 (\text{Pb,Hg,Fe,Zn,Cd})^{2+}$ plot of andorite-series minerals are not adequate enough to separate the species from each other due to the highly variable element substitution in the case of Me^+ , Me^{2+} and Me^{3+} cations.

Calculation of the andorite substitution percentage (L%) and the homologue order value (N), with their combined representation on the two diagrams is always necessary to distinguish the mineral species.

Andorite VI and roschinite were identified in Hungary for the first time.

Acknowledgements

The authors are grateful for the access to the investigated sample granted by the Department of Mineralogy, Herman Ottó Museum, Miskolc, Hungary.

The research was carried out at the University of Miskolc both as part of the „More efficient exploitation and use of subsurface resources” project implemented in the framework of the Thematic Excellence Program funded by the Ministry of Innovation and Technology of Hungary (Grant Contract reg. nr.: NKFIH-846-8/2019) and the “Developments aimed at increasing social benefits deriving from more efficient exploitation and utilization of domestic subsurface natural resources” project supported by the Ministry of Innovation and Technology of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund in line with the Grant Contract issued by the National Research, Development and Innovation Office (Grant Contract reg. nr.: TKP-17-1/PALY-2020).

Special thanks to our reviewers, Gábor PAPP (Hungarian Natural History Museum, Budapest) and Zsolt BENKÓ (Institute for Nuclear Research, Debrecen) for their valuable contribution to improving the quality of the manuscript.

References – Irodalom

- BAJNÓCZI, B., MOLNÁR, F., MAEDA, K., NAGY, G. & VENNEMANN, T. 2010: Mineralogy and genesis of primary alunites from epithermal systems of Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* **45/1**, 101–118. <https://doi.org/10.1556/ageol.45.2002.1.6>
- BALLA, Z. 1985: The Carpathian loop and the Pannonian basin: a kinematic analysis. – *Geophysical Transactions* **30/4**, 313–353.
- BENEDEK K., PÉCSKAY, Z., SZABÓ, Cs., JÓSFAL, J. & NÉMETH, T. 2004: Palaeogene igneous rocks in the Zala basin (Western Hungary): link to the Palaeogene magmatic activity along the Periadriatic lineament. – *Geologica Carpathica* **55/1**, 43–50. <https://doi.org/10.1556/ageol.45.2002.4.3>
- BENKÓ, Z., MOLNÁR, F. & LESPINASSE, M. 2008: Application of studies on fluid inclusion planes and fracture systems in the reconstruction of the fracturing history of granitoid rocks I: Introduction to methods and implications for fluid-mobilisation events in the Velence Hills. – *Bulletin of the Hungarian Geological Society* **138/3**, 229–246. (In Hungarian)
- BENKÓ, Zs., MOLNÁR, F., LESPINASSE, M., BILLSTRÖM, K., PÉCSKAY, Z. & NÉMETH, T. 2010: Genetic and age relationship of the base metal mineralization along the Periadriatic–Balaton Lineament system on the basis of radiogenic isotope studies. – *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series (IMA2010 Conference, Budapest)* **6**, p. 224.
- BENKÓ, Z., MOLNÁR, F., PÉCSKAY, Z. & NÉMETH, T. 2012: The interplay of the Paleogene magmatic-hydrothermal fluid flow on a Variscan granite intrusion: age and formation of the barite vein at Sukoró, Velence Mts, W-Hungary. – *Bulletin of the Hungarian Geological Society* **142/1**, 45–85. (In Hungarian)
- BENKÓ, Zs., MOLNÁR, F., BILLSTRÖM, K. & PÉCSKAY, Z. 2014: Triassic fluid mobilization and epigenetic lead-zinc sulphide mineralization in the Transdanubian Shear Zone (Pannonian Basin, Hungary). – *Geologica Carpathica* **65/3**, 177–194. <https://doi.org/10.2478/geoca-2014-0012>
- BUDA, GY. 1993: Enclaves and fayalite-bearing pegmatitic “nests” in the upper part of the granite intrusion of the Velence Mts., Hungary. – *Geologica Carpathica* **44**, 143–153.
- BUDA, GY., KOLLER, F. & ULRYCH, J. 2004: Petrochemistry of Variscan granitoids of Central Europe: Correlation of Variscan granitoids of the Tisia and Pelsonia Terranes with granitoids of the Moldanubicum, Western Carpathian and Southern Alps. A review: Part I. – *Acta Geologica Hungarica* **47**, 117–138. <https://doi.org/10.1556/ageol.47.2004.2-3.3>
- CSONTOS, L. & VÖRÖS, A. 2004: Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **210/1**, 1–56. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.033>
- DARIDA-TICHY, M. 1987: Paleogene andesite volcanism and associated rock alteration (Velence Mountains, Hungary). – *Geologica Carpathica* **38/1**, 19–34.
- GYALOG, L. 2005a: *Geological map of Hungary. L-34-25 Székesfehérvár. 1:100,000*. – Geological Institute of Hungary, Budapest
- GYALOG, L. 2005b: *Geological map of Hungary. L-34-26 Százhalombatta (Ráckeve). 1:100,000*. – Geological Institute of Hungary, Budapest
- GYALOG, L. & HORVÁTH, I. 2004: *Geology of the Velence Hills and the Balatonfő*. – Geological Institute of Hungary, Budapest, 316 p.
- HORVÁTH, I., DARIDA-TICHY, M., DUDKÓ, A., GYALOG, L. & ÓDOR, L. 2004: *Geology of the Velence Hills and the Balatonfő. Explanatory Book of the Geological Map of the Velence Hills (1:25 000)*. – Geological Institute of Hungary, Budapest, 253–316.
- JANTSKY, B. A. 1957: Geology of the Velence Mountains. – *Geologica Hungarica. Series Geologica* **10**, 1–170. (In Hungarian)
- KÁZMÉR, M. & KOVÁCS, S. 1985: Permian–Paleogene paleogeography along the eastern part of the Insubric–Periadriatic lineament system: Evidence for continental escape of the Bakony–Drauzug Unit. – *Acta Geologica Hungarica* **28/1–2**, 71–84.
- KOSTOV, I. & MINČEVA-STEFANOVA, J. 1981: *Sulphide Minerals - Crystal chemistry, parageneses and systematics* – The Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria, 211 p.
- KOVÁCS, I., NÉMETH, T., B. KISS, G., K. KIS V., TÓTH, Á. & BENKÓ, Zs. 2019: Rare aluminium phosphates and sulphates (APS) and clay mineral assemblages in silicified hydraulic breccia hosted by a Permian granite (Velence Mts., Hungary) as indicators of a high sulfidation type epithermal system. – *Mineralogy and Petrology* **113**, 217–228. <https://doi.org/10.1007/s00710-018-0644-1>
- KOVÁCS, I., NÉMETH, T., B. KISS, G. & BENKÓ, Zs. 2020: Application of the capillary method in micro X-ray diffractometry (μ -XRD): A useful technique for the characterization of small amounts of clay minerals. – *Central European Geology* **64/1**, 1–7. <https://doi.org/10.1556/24.2020.00005>
- MAKOVICKY, E. 2019: Algorithms for calculations of homologue order N in the homologous series of sulfosalts. – *European Journal of Mineralogy* **31**, 83–97. <https://doi.org/10.1127/ejm/2018/0030-2791>
- MAKOVICKY, E. & KARUP-MØLLER, S. 1977a: Chemistry and crystallography of the lillianite homologous series. Part I. General properties and definitions. – *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* **130/3**, 264–287.
- MAKOVICKY, E. & KARUP-MØLLER, S. 1977b: Chemistry and crystallography of the lillianite homologous series. Part II: Definition of new minerals: eskimoite, vikingite, ourayite, and trasurite. Redefinition of schirmerite and new data on the lillianite-gustavite solid solution series. – *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* **131**, 56–82.
- MAKOVICKY, E. & MUMME, W. G. 1983: The crystal structure of ramdohrite, $\text{Pb}_6\text{Sb}_{11}\text{Ag}_3\text{S}_{24}$, and its implications for the andorite group and zinckenite. – *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* **147/1**, 58–79.
- MAKOVICKY, E., MUMME, W. G. & GABLE, R. W. 2013: The crystal structure of ramdohrite, $\text{Pb}_{5.9}\text{Fe}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{In}_{0.1}\text{Cd}_{0.2}\text{Ag}_{2.8}\text{Sb}_{10.8}\text{S}_{24}$: A new refinement. – *American Mineralogist* **98/4**, 773–779. <https://doi.org/10.2138/am.2013.4146>
- MAKOVICKY, E., STÖGER, B. & TOPA, D. 2018: The incommensurately modulated crystal structure of roshchinita, $\text{Cu}_{0.09}\text{Ag}_{1.04}\text{Pb}_{0.65}\text{Sb}_{2.82}\text{As}_{0.37}\text{S}_{6.08}$. – *Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials* **233/3–4**, 255–267. <https://doi.org/10.1515/zkri-2017-2126>
- MOËLO, Y., MAKOVICKY, E. & KARUP-MØLLER, S. 1984: New data on minerals of the andorite series. – *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte* **1984/4**, 175–182.

- MOËLO, Y., MAKOVICKY, E., MOZGOVA, N. N., JAMBOR, J. L., COOK, N., PRING, A., PAAR, W., NICKEL, E. H., GRAESER, S., KRAUP-MØLLER, S., BALIC-ŽUNIC, T., MUMME, W. G., VURRO, F., TOPA, D., BINDI, L., BENTE, K. & SHIMIZU, M. 2008: Sulfosalt systematics: a review. Report of the sulfosalt sub-committee of the IMA Commission on Ore Mineralogy. – *European Journal of Mineralogy* **20**, 7–46. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2008/0020-1778>
- MOLNÁR, F. 1996: Fluid inclusion characteristics of Variscan and alpine metallogeny of the Velence Mts., W-Hungary. – *Plate Tectonic Aspects of the Alpine Metallogeny in the Carpatho-Balkan Region, Proceedings of the Annual Meeting-Sofia, UNESCO-IGCP Project No 3* **56/2**, 29–44.
- MOLNÁR, F. 1997: Contributions to the genesis of molybdenite in the Velence Mts.: mineralogical and fluid inclusion studies on the mineralization of the Retezi adit. – *Bulletin of the Hungarian Geological Society* **127/1–2**, 1–17. (In Hungarian)
- MOLNÁR, F. 2004: Characteristics of Variscan and Palaeogene fluid mobilization and ore forming processes in the Velence Mts., Hungary: a comparative fluid inclusion study. – *Acta Mineralogica-Petrographica* **45/1**, 55–63.
- MOLNÁR, F., TÖRÖK, K. & JONES, P. 1995: Crystallization conditions of pegmatites from the Velence Mts., Western Hungary, on the basis of thermobarometric studies. – *Acta Geologica Hungarica* **38/1**, 57–80.
- MOLNÁR F., BAJNÓCZI B., PÉCSKAY Z., PROHÁSZKA A. & BENKÓ Zs. 2010: Hydrothermal alteration, fluid inclusions and stable isotopes (O, H) in a porphyry and related epithermal system of the Palaeogene volcanic belt of the Alp-Carpathian Orogen (Velence Mts., W-Hungary). – *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series (IMA2010 Conference, Budapest)* **6**, p. 289.
- OZDÍN, D. & SEJKORA, J. 2009: Andorite IV and andorite VI from the Dúbrava deposit in the Nízke Tatry Mts. (Slovak Republic). – *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze* **17/1**, 65–68. (In Czech)
- PAŽOUT, R. 2017: Lillianite homologues from Kutná Hora ore district, Czech Republic: A case of large-scale Sb for Bi substitution. – *Journal of Geosciences* **62**, 37–57. <https://doi.org/10.3190/jgeosci.235>
- PRŠEK, J., LAUKO, L. & VALÁŠKOVÁ, M. 2009: Andorite VI from stibnite mineralization in the Spiš-Gemer Ore Mts. (Zlatá Idka, Dobšiná-Tiefengründel localities). – *Mineralia Slovaca* **41**, 183–190.
- ROBB, L. 2005: *Introduction to ore forming processes*. – Blackwell Science, Malden, 373 p.
- TOPA, D., MAKOVICKY, E., FAVREAU, G., BOURGOIN, V., BOULLIARD, J., ZAGLER, G. & PUTZ, H. 2013: Jasrouxite, a new Pb–Ag–As–Sb member of the lillianite homologous series from Jas Roux, Hautes-Alpes, France. – *European Journal of Mineralogy* **25**, 1031–1038. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2013/0025-2336>
- TÓTH, Á. 2016: Investigation of hydrothermal breccia from Meleg Hill. – *MSc Thesis*, Eötvös Loránd University, Budapest (In Hungarian)
- UHER, P. & BROSKA, I. 1994: The Velence Mts granitic rocks: geochemistry, mineralogy and comparison to Variscan Western Carpathian granitoids. – *Acta Geologica Hungarica* **37/1–2**, 45–66.
- WARR, N. L. 2021: IMA–CNMNC approved mineral symbols. – *Mineralogical Magazine* **85/3**, 291–320. <https://doi.org/10.1180/mgm.2021.43>

Manuscript received: 15/03/2022

Miről árulkodnak a szállított ásványszemcsék mikromorfológiai bélyegei?

KAPUI Zsuzsanna^{1,2}, MIKLÓS Dóra Georgina², KERESZTURI Ákos¹, SZABÓ Beáta², WASSER Paula², JÓZSA Sándor²

¹Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont – Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet
1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 15–17., Hungary
e-mail: kapui.zsuzsanna@csfk.mta.hu

²Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Kőzettan–Geokémiai Tanszék
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C, Hungary

What do the micromorphological features of transported mineral grains tell us?

Abstract

The micromorphology of sand grains has been studied by researchers for almost a century, and early on recognising the relationship between the surface shapes of the grains and the depositional environment. This method is useful for the reconstruction of the transport mode, the environmental conditions and even their change over time. Ideally, it also might help to infer earlier climatic conditions of the source area. The aim of this work is to summarize the knowledge of the surface micro-features of transported grains, and to suggest technical terms in Hungarian. There is a wide potential in this method (concerning e.g. the development of a statistical approach, explanation or the interpretation of the co-presence of morphological features), and there is an increasing interest in the topic worldwide. One of the biggest environmental challenges of our time is the climate change; related to this, we need to know how similar events happened in the past to better understand the current processes. The study of sedimentary particle surfaces can be a valuable addition to the standard toolbox of palaeoclimate analysis (e.g. dendrochronology, study of the isotope composition of ice cores).

Keywords: sedimentology, micromorphology, delivery environment, palaeoenvironment

Összefoglalás

A homokszemcsék mikromorfológiájának vizsgálatával már közel egy évszázada foglalkoznak a kutatók, már akkor felfigyeltek néhány összefüggésre a szemcsék felszínén megfigyelhető formák, valamint a geológiai környezet között. Az általunk bemutatott módszer jelentősége abban rejlik, hogy ideális esetben a bélyegekből és azok együtteseiből valószínűsíthető lehet a szállítási móddal kapcsolatos különböző környezeti tényezőket és időbeli változásukat, sőt akár következtethetünk a forrásterület korábbi éghajlatára is. Folyamatosan fejlődő módszerről van szó, ezért fontos megjegyeznünk, hogy az általa tehető megállapítások még nem tekinthetők olyan biztosnak, mint a nála elterjedtebb, gyakrabban alkalmazott paleokörnyezet-határozásra használt eljárások. Munkánk célja, hogy bemutassuk ezt a törmelékeny szedimentológiában alkalmazható, eddig főleg hazánkban kevésbé ismert és elterjedt vizsgálati módszert, amelynek pontosan emiatt nincsen hivatalosan bevezetett és elfogadott magyar nevezéktan. Ebből kifolyólag úttörő munkának számít hazánk tudományos életében, célunk az eredeti angol nevezéktanból kiinduló, magyar nyelvű szakkifejezések bevezetése. A módszerben sok új lehetőség rejlik (pl. statisztikai megközelítés fejlesztése, morfológiai jegyek együttes jelenlétének értelmezése), a téma pedig nemzetközi szinten is egyre népszerűbb. Korunk egyik legnagyobb környezeti kihívása a klímaváltozás. Folyamatainak minél pontosabb megismeréséhez és megértéséhez ismernünk kell ezek múltbéli megfelelőit. Erre már számos módszer létezik (pl. dendrokronológia, jégfuratok izotópösszetételének vizsgálata), ugyanakkor az üledékes szemcsék vizsgálata további értékes, új információt nyújthat a témában.

Kulcsszavak: szedimentológia, mikromorfológia, szállító közeg, öskörnyezet

Bevezetés – célkitűzések

A kvarcsemcsék, valamint a felületükön megjelenő mikromorfológiai bélyegek vizsgálatának kezdete a 19. század végére tehető. Ekkor megállapították, hogy a szemcsék felszínén kialakult formákat az üledékszállítás típusa és közege egyaránt befolyásolja. Ezáltal vizsgálatuk lehetőséget nyújthat az egykori környezetükre jellemző tényezőkre és esetleges változásuknak nyomon követésére is (SORBY 1880, KRUMBEIN & PETTJOHN 1938, BOND 1954, MOLNÁR et al. 1988, ALEKSEEVA 2005, WORONKO 2016, KRÍŽEK et al. 2017). A kvarcsemcsék gyakoriságuk, továbbá nagy keménységük (7-es fokozat a Mohs-skálán) és rendkívüli kémiai ellenálló képességük révén fel tudnak dúsulni a képződő üledékekben, valamint üledékes kőzetekben. Emellett azt is érdemes kiemelni, hogy a fizikai, illetve kémiai ellenálló képességük következtében megőrződhetnek a mállást követően a szemcséket ért hatások által kialakított felszíni formák, ami révén alkalmasak lesznek a szemcsék felszínének mikromorfológiai vizsgálatára. A módszer alkalmazhatóságát nagyban segítette az elmúlt évtizedek műszeres fejlődése, ugyanis az új analitikai eljárások nagyobb felbontást és pontosabb mérési lehetőséget teremtettek az anyagvizsgálatok számára (VOS et al. 2014). Az üledékszállítás típusa és közege a szemcsék morfológiáját mechanikai (pl. bevésődés, ütközés) és kémiai (pl. visszaoldódás, kiválás) hatások révén befolyásolja. A bélyegeket, az ezeket létrehozó folyamatok alapján, három csoportba sorolhatjuk: fizikai, kémiai, valamint fiziko-kémiai formák. A különféle hatásokra kialakult bélyegek sok esetben megőrződnek, azonban fennáll az a lehetőség is, amely során egy későbbi folyamat részlegesen, sőt akár teljesen felülbélyegzi. Az előbbi esetben az eltérő körülmények között létrejött formák egy része még felismerhető, más része viszont már nem látszik, ugyanis az új környezetbe, új hatások alá került szemcsékre ható körülmények felülírták azokat, és ennek nyomait figyelhetjük meg a kvarcok esetében dominánsan. A teljes felülbélyegzés esetében pedig a korábbi hatások eredményeit nem is figyelhetjük meg a szemcséken. Tovább nehezíti a bélyegekről levonható környezeti információk megértését az a tény, hogy csupán kevés forma köthető kizárólag egy adott környezethez. Nagy részük többféle körülmény következtében is létrejöhét (KRINSLEY & DONAHUE 1968), ezért az értelmezéskor ezeket a tényezőket is figyelembe kell vennünk. Elemzésük révén következtethetünk a környezeti tényezőkre és az üledékszálítási típusokra, továbbá megállapíthatjuk ezek időbeliségét és sorrendjét is. Vizsgálatukkal akár az egykori éghajlati viszonyokról is következtetéseket vonhatunk le.

Jelen munka célja röviden bemutatni a témakör nemzetközileg elfogadott, széles körben használt nevezéktanát. Emellett bemutatjuk az általunk javasolt magyar nyelvű nomenklatúrát, ugyanis a nemzetközi szakirodalomban sok speciális, angol nyelvű szakkifejezést találunk, amelyeknek még nincs elfogadott hazai megfelelője. Végezetül két esettanulmányon keresztül mutatjuk be a módszer gyakorlati alkalmazhatóságát; ezekben a Dunából gyűjtött folyóvízi üledék és a Duna-teraszokból származó kvarc- és gránátsem-

csék mikromorfológiájára mutatunk példákat, az eredmények alapján rekonstruálva az üledékképződési ökoszisztémát.

Kutatástörténet

A 19. század végén, a kőzetmikroszkópiai vizsgálatok megkezdését követően indult el a kvarcsemcsék alakjai, valamint felületi bélyegeinek, más néven mikromorfológiájának vizsgálata, amely mellett később egyre nagyobb teret kapott a nehézasványok – gránát, ilmenit, rutil, sillimanit, cirkon, monacit – vizsgálata is (SETLOW & KARPOVICH 1972, RAHMANI 1973, MORTON 1979, VELBEL 1984, MALLIK 1986, MAHANEY 2002, MORAL CARDONA et al. 2005, VELBEL et al. 2007, PAN et al. 2016). Hazánkban BORSY (1965), POLGÁRI (1982) és MIKES (2003) foglalkoztak ezzel a témával.

Az 1930-as években a polarizációs mikroszkóp felbontásának (2000 Å / 200 nm) korlátozottsága okozott nehézséget, mivel a kisebb mikromorfológiai bélyegek még láthatatlanok maradtak. A vizsgálatok előkészítésénél problémát jelentett, hogy a minta vastagsága nem haladhatta meg a 100 nanométert. Ennek kiküszöbölésére vékony felületi másolatokat készítettek a szemcsékről, azonban ebben az esetben számos mikroszöveti bélyeg vizsgálhatatlanná vált. A legjelentősebb áttörést az 1970-es évektől a pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) és az energiadiszipatív spektrométerrel (EDS) érték el. A szekunder elektronok felfogásával készített felvételek már a háromdimenziós leképezést is lehetővé tették, amely révén további mikroszöveti elemeket (pl. rátapadt szemcséket, különböző bevonatokat) is azonosíthattak. Ezen felül az EDS használatával a morfológia mellett a szemcsé kémiai összetétele is meghatározhatóvá vált.

KRINSLEY & DOORNKAMP 1973-ban a kvarc mikromorfológiai vizsgálataiból kiinduló módszer alapjait lefektető összefoglaló atlaszt adták ki, ami még ma is alapműnek számít a témában. KRINSLEY & TAKAHASI (1962a,b,c) a különböző bélyegeket összekapcsolták a lehetséges geológiai környezetekkel. MAHANEY 1991-ben kezdett el foglalkozni a témával és 2002-ben adta ki atlaszát, amelyben összefoglalta az ebben a témában addig szerzett ismereteket. SWEET & SOREGHAN (2010) új rendszert vezettek be, amivel az eddig használt hisztogram típusú ábrázolást átláthatóbbá tették. A módszer lényege, hogy azonos csoportba kerülnek a hasonló módon keletkezett bélyegek, valamint a szállítási távolság függvényében kialakult változások is átláthatóbbakká váltak. VOS et al. 2014-ben összefoglalták a pásztázó elektronmikroszkópos kvarcmikromorfológiai vizsgálatok munkafolyamatait, azaz a mintaelőkészítést és a mikroszkóp beállításait, illetve összegezték az ismert bélyegeket, amelyeket képekkel is illusztráltak. A bélyegek nevei és definíciói nem egyeznek meg teljesen a korábbi, MAHANEY-féle munkában olvashatókkal, de a korábbi publikációk (pl. KRINSLEY & DONAHUE 1968, KRINSLEY & DOORNKAMP 1973, LERIBAUT 1977, MAHANEY 2002) összegzése miatt ez a munka is alapműnek tekinthető. Magyarországon először BORSY (1965) végzett kvarcmikromorfológiai vizsgálatokat. Munkáiban futóhomok eredetű és folyóvízi homok-

szemcsék görgetettségét hasonlította össze (BORSY 1974; BORSY et al. 1982, 1983, 1984, 1985). Egy másik fontos hazai mű a témában MOLNÁR et al. (1988) cikke, amelyben két, a hagyományos Miháltz–Ungár–Dávid féle (MIHÁLTZ & UNGÁR 1954, DÁVID 1955) és a pástázó elektronmikroszkópos szemcsealak-vizsgálati módszerek összehasonlítását végezték el pleisztocén korú, nyírségi, folyóvízi homokrétegből származó kvarc- és kalcium-szemcséken. A nehézasványok mikromorfológiájával hazánkban POLGÁRI (1982) foglalkozott, aki a Körös–Maros hordalékából származó gránát- és kalcium-szemcséket vizsgálta, és 14, a kvarc- és kalcium-szemcsékhez hasonló mikromorfológiai csoportot különített el (pl. tompított élek, kagylós törés, kiválások). A legfrissebb hazai kutatási eredmények ebben a témában SZABÓ (2018) és WASSER (2019) diplomamunkái. SZABÓ (2018) a Duna és annak a Rotmoos-gleccserig követhető mellékfolyóinak hordalékából származó kvarc- és kalcium-szemcséket vizsgált. Az egyes szakaszokon megfigyelt morfológiai bélyegekből következtetett az üledékszállítás közegére, amelyet összevetett az érintett folyószakaszok esetében tapasztalható recens környezeti viszonyokkal. WASSER (2019) kvarc- és gránát-morfológiai vizsgálatokat végzett a Gerecse előterében található Duna-teraszok anyagán. Vizsgálatai során hasonló eredményeket kapott a gránát- és a kvarc-morfológia tekintetében. Eredményeivel megerősítette az eljárás alkalmazhatóságát az üledékszálítási viszonyok meghatározására, továbbá hangsúlyozta annak éghajlatjelző szerepét is. Mindezek segítségével kiegészítő adatokat nyújtott a teraszok, valamint az ezeken lerakódott üledékek korának tekintetében.

A módszert a fentebb említett ásványok mellett bazalt-szemcséken is alkalmazzák. CORNWALL et al. 2015-ös cikkében egyfajta ásványból (monomikt) és 2–3 fajta különböző (polimikt – bazalt, olivin, piroxén, labradorit, vulkáni üveg, Mg-gazdag filloszilikát) ásvány mesterséges keverékénél figyelték meg, hogy mennyi idő alatt változik meg a szemcsék alakja. Megállapították, hogy egy éretlen üledék roszszul osztályozott, közepesen koptatott vagy sarkos, hasadási síkokkal rendelkező szemcsékből, míg egy érett üledék jól osztályozott és koptatott, „spherical” polikristályos bazalt-szemcsékből áll. Szemcsemorfológia alapján az erodált szemcséken kémiai mállásra utaló nyomokat nem, azonban karcosításokat, véséseket figyeltek meg, továbbá azt is tapasztalták, hogy sokkal érdekesebbek (éles élek) voltak, illetve törmelékdarabok tapadtak a felületükre, szemben a természetben koptatódott szemcsékkel.

Mintaelőkészítés és vizsgálati módszerek

A következőkben az utóbbi néhány évben hazánkban alkalmazott mikromorfológiai vizsgálatokhoz kapcsolódó mintaelőkészítési módszereket mutatjuk be.

Mivel a szemcsék jellemzői a keletkezési körülményekre is utalnak, ezért kiemelten fontos a jól megtervezett és kivitelezett mintavétel: *fontos, hogy bolygatatlan, eredeti lerakódási mintázatot mutató rétegekből történjen a mintavétel.* Számít a minta rétegtani helyzete: ismerni kell a lerakó-

dási környezetet és annak környezetét/kifejlődését. A mintavétel helyénél sokkal nagyobb (méteres–tíz méteres) skálán ismerni kell a kérdéses rétegek fáciesegyüttesét – utóbbi segíthet a lerakódási körülmények, valamint az üledékes rendszer pontosításában, ami összefügg a szállítási közeggel, így növelve az eredmény megbízhatóságát. Minden mintának reprezentatívnak kell lennie a kérdéses rétegre, környezet meghatározáshoz ideális esetben közel 100, de legalább 20–25 szemcse szükséges, amelyek az adott rétegből akár több helyről is származhatnak. Az eredményes vizsgálathoz szükséges szemcsék mennyisége és mérettartománya az adott kutatási témától függően változhatnak (MAHANEY 2002, VOS et al. 2014).

A minta előkészítése során a begyűjtött homokot először vízzel meg kell tisztítani a különböző szennyeződésektől és szerves anyagoktól. A nemzetközi szakirodalom alapján a nagyobb méretű szemcséket (legalább 100 µm, de inkább 200–400 µm) érdemes vizsgálni, ugyanis ezeken könnyebb megfigyelni a mikromorfológiai bélyegeket (MAHANEY 2002, VOS et al. 2014). Ehhez a megtisztított mintákat száraz, valamint nedves szitálással szemcseméret-frakciókra bontjuk. Amennyiben a vizsgálatokat valamelyik korábban felsorolt nehézasványon szeretnénk elvégezni, akkor nehézfolyadék segítségével szét kell választanunk őket a könnyű ásványoktól (SZAKMÁNY 2001). Bizonyos esetekben a leválasztás előtt érdemes lehet egyéb tisztító eljárásokat is alkalmazni, pl. 5–10%-os ecetsavval való kezelés (majd desztillált vízzel való átmosás) – a karbonát-ásványok eltávolítása érdekében.

Szétválasztás, szárítás és tömegmérés után binokuláris mikroszkóp segítségével, reprezentatívan kell kiválasztani a vizsgálatra szánt szemcséket. Itt kiemelt fontosságú a reprezentatív mintavétel, amihez a kutató jelentős gyakorlata szükséges.

A kiválasztott szemcséket üveglapra kell rögzíteni, amelyhez vékony, kétoldalú ragasztószalagot célszerű használni. Fontos, hogy a preparátumról képet készítsünk, a szemcséket pedig egyedi azonosítóval lássuk el, hogy a későbbi SEM-es vizsgálatok során a szemcséket bármikor azonosíthassuk. Az elektronmikroszkópos vizsgálathoz lehetőség szerint az arannyal való gőzölést válasszuk, mert a grafitbevonathoz képest jobb felbontást és nagyobb kontrasztot érhetünk el. Emellett minimalizálni lehet a felület elektromos feltöltődését is. A tapasztalatok alapján az értékeléshez a visszaszórt (főleg a fázisok azonosításában, pontosításában segíthet) és szekunder képeket együtt érdemes nézni. A bélyegek minőségi kiértékelése során a képek minőségén akár képszerkesztő programok segítségével is érdemes javítani, ugyanis ezáltal egyes kevésbé látható részleteket emelhetünk ki, megkönnyítve ezzel saját munkánkat. A képelemzés során, a szakirodalom alapján elegendő csak minőségi (szöveti elem) leírást végezni, a bélyegek mennyiségi arányainak értékelése ugyanis nem nyújt többletinformációt (VOS et al. 2014, STEVIC 2015, SWEET & BRANNAN 2016). A mikromorfológiai bélyegeket a mintán belüli előfordulási gyakoriságuk alapján négy csoportra osztják: *gyakori* az a bélyeg, amely a szemcsék több mint 75%-án; *álta-*

lános, amely 50–75%-án fordul elő; *ritka*, ha 5–50% közötti a gyakorisága, és végül *nagyon ritka*, amennyiben a szemcsék kevesebb mint 5%-a esetében jelenik csak meg (Vos et al. 2014). Mindez természetesen csupán a szemcsék látható részére igaz, a kétoldali ragasztóval érintkező felületéről nem nyerhető ilyenfajta információ. Ezzel a csoportosítással bár a finom változásokat nem lehet nyomon követni, de az öskörnyezet meghatározásához nélkülözhetetlen eredményeket kaphatunk.

A mikromorfológiai bélyegek mellett a *szemcsék alakja/formája* is fontos információt nyújthat, ugyanis a szállítás során érvényes folyamatok hatással vannak rá (SOCHAN et al. 2015). A Morpholgi G3ID műszer nagyon nagyszámú (akár több százezer) szemcse méretét és alakját képes rövid idő (maximum egy nap) alatt meghatározni (KIRÁLY et al. 2019). Előnye, hogy nem igényel komolyabb mintaelőkészítést, ugyanis a korábban leszárt, megtisztított, esetleg kiválogatott szemcséket maga a műszer szórja rá egyenletesen a belső tárgyasztalára. Ezt követően minden szemcséről kétdimenziós fénymikroszkópi képet készít, és megméri a rájuk jellemző különböző paramétereiket, például cirkularitás (a szemcse vetületének területe és egy ugyanakkora kerületű kör területének aránya, értéke 0–1 közé esik, ahol az „1” a tökéletes kör vetülettel rendelkező szemcse értéke (XIA 2017)). További meghatározható bélyeg még a konvexitás, vagyis az érdesség mértéke (a homorú részeket egyenes vonallal áthidaló, minimális konvex vonal hosszának és a szemcse kerületének hányadosa, értéke 0–1 közé esik), ahol az „1” a teljesen sima felületet jelöli, (XIA 2017) és a megnyúltság. A program segítségével a mért adatokból statisztikai elemzések készíthetők, amelyek segíthetik a szemcsékre, az üledékciklus alatt ható folyamatok eredményeként megjelenő bélyegek alapján az egyes események megfigyeltését.

A mikromorfológiai bélyegek definíciója és keletkezése

Ebben a részben a mikromorfológiai bélyegekről adunk leírást, bemutatjuk ezek megjelenését, lehetséges keletkezési módjait, és egy magyar nevezéktanra is javaslatot teszünk, aminek alapjául SZABÓ (2018) munkája szolgál. A magyar szakkifejezések megalkotását bonyolítja, hogy a témakörben nincs egységes angol nevezéktan. A magyar nomenklatura első változatát MAHANEY (2002) atlasza és VOS et al. (2014) összefoglaló cikke alapján állította össze SZABÓ 2018-ban. Ebben az angol megnevezéseket vette alapul és próbálta összekapcsolni a korábbi magyar elnevezésekkel, illetve saját megnevezéseket, fordításokat is használt bizonyos bélyegek esetében. Ebben a fejezetben ennek pontosított, valamint továbbfejlesztett változatát mutatjuk be.

A szemcse alakja és felszínformája már önmagában is információkat szolgáltat az üledékszállítás közegéről, valamint annak módjáról. Ezt részben akár polarizációs vagy sztereomikroszkóppal is vizsgálhatjuk, ugyanakkor mindezek mellett érdemes, a korábban említett Morpholgi G3ID műszerrel a szemcsék síkra vetített képének, illetve

egy-egy metszeteinek körvonalait is megvizsgálni. Fontos megjegyezni, hogy az eredeti alakot a szemcséket ért utólagos kémiai folyamatok (pl. visszaoldódás, kiválás) befolyásolhatják, alakíthatják. A következőkben a korábbi szakirodalmakból ismert mikromorfológiai bélyegeket mutatjuk be – a magyar megnevezések után szerepelni fognak dőlt betűvel az eredeti angol kifejezések is – kezdve a polarizációs és sztereomikroszkóppal vizsgálható bélyegekkel.

A szemcsék körvonalának lefutása alapján Vos et al. (2014) sarkos, koptatott és jól koptatott szemcséket különböztetnek meg, amelyekhez hozzárendelhető a szállítás módja és a megtett távolság:

1. Sarkos (*angular*): Szilánkos, töredezett, éles sarkokkal jellemezhető szemcsék, amelyek glaciális környezetre vagy rövid ideig tartó, nagy energiájú víz alatti szállításra utalnak (BORSY et al. 1982, 1983, 1984, 1985) (pl. 1. ábra A, 2. ábra A).

2. Koptatott (*subangular*): Az ilyen szemcséket „tompá” sarkok jellemzik. Ezek az előzőnél kissé hosszabb ideig szállítottak, azonban ezek is viszonylag kis távolságot tettek meg, és gyors leülepedés jellemezte őket. Az iménti megállapítások felső szakasz jellegű folyóvízi szállításra vagy intertidális környezetre utalnak (MADHAVARAJU et al. 2009), de kialakulhatnak úgy is, hogy a korábban jól koptatott szemcséket sarkos jegyek bélyegeznek felül (pl. 1. ábra B, 3. ábra B).

3. Jól koptatott (*rounded*): Jól legömbölyödött formát mutatnak, azaz kis- és nagytenyelyük mérete közel áll egymáshoz. Általában eolikus környezetben, szaltációval, hosszabb ideig szállítódva jönnek létre, de hullámveréses övezetben is előfordulhatnak. Ugyanakkor megemlítendő, hogy kifejezetten a felületek mintázatát elemezve, mikroszkópikus méretskálán a jól koptatott szemcsék inkább az eolikus közegekre jellemzőek (1. ábra C).

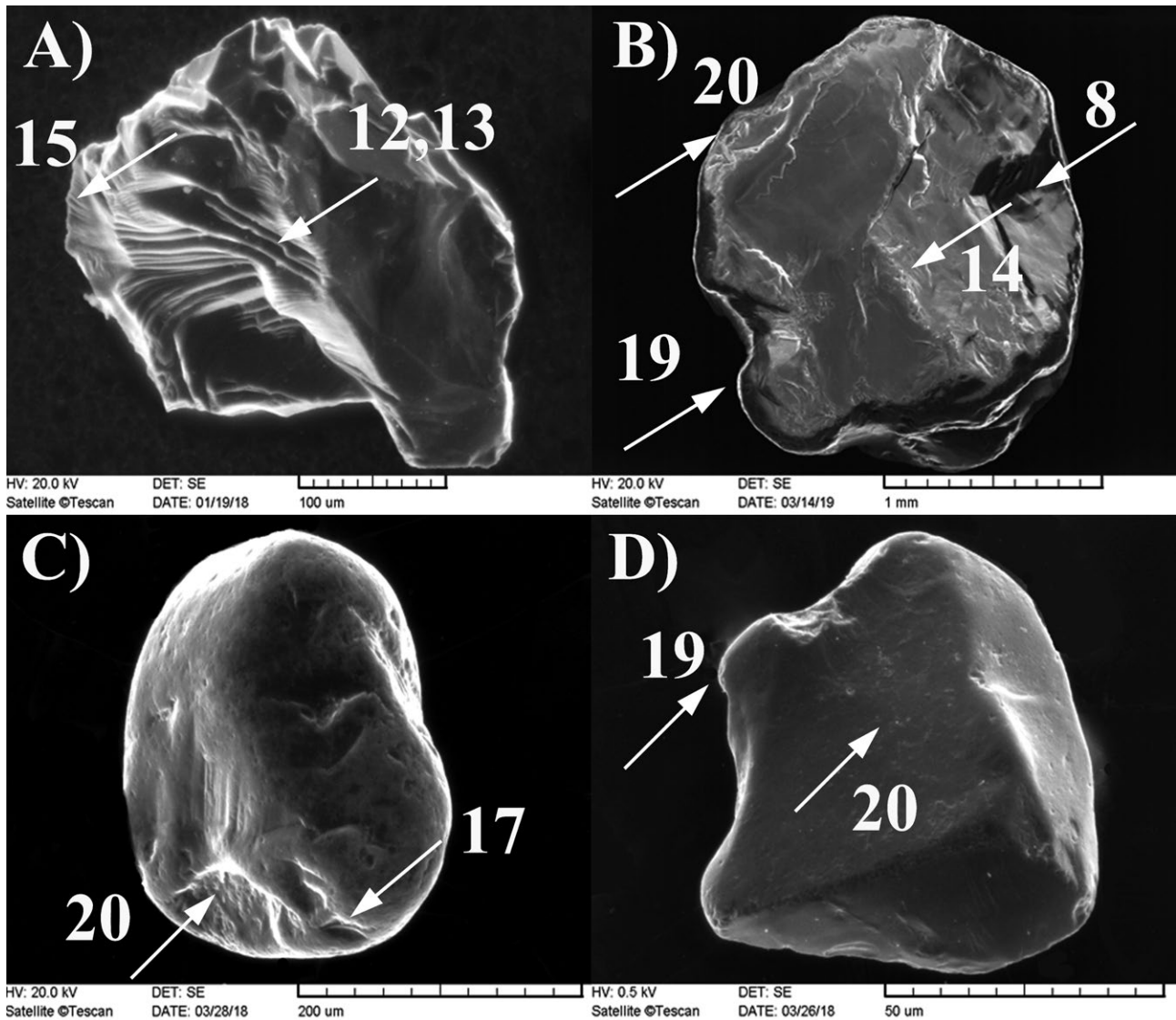
A szemcse domborzata a szemcse felszínének érdességét, topográfiai kiemelkedéseinek jellemzőit írja le, mértéke pedig a szemcse egymáshoz közeli (saját tapasztalat alapján ez kb. 50 μm távolságon belül) kiemelkedései és mélyedései közötti különbséget jelzi, egy szemcse köré írt ellipszis alakjához képest. Az üledékszállítás mellett kémiai folyamatok is befolyásolhatják a szemcse domborzatát azzal, hogy a mállás és a betemetődés során a visszaoldódás és a kicsapódás folyamán a mélyebb részek kitöltődhetnek, ezáltal csökkentve a mikrodomborzati különbségeket, azonban egyes jobban oldódó komponensek kioldódása növelheti is az érdességet.

4. Sima (*low-relief*): Majdnem teljesen sima felszín, topográfiai kiemelkedés nélkül (1. ábra D).

5. Közepesen érdes (*medium-relief*): Ebben az esetben van domborzati különbség a szemcsén, ahol a kiemelkedések és mélyedések közötti különbség *kisebb, mint 1 μm* . Ezt a különbséget a szemcsék ütközése vagy a mállás hozhatja létre (pl. 1. ábra B és C).

6. Nagyon érdes (*high-relief*): Ilyenkor a domborzati különbség jelentős, ahol a kiemelkedések és süllyedések közötti különbség *nagyobb, mint 1–2 μm* . Frissen tört szemcsékre vagy glaciális környezetre jellemző (pl. 1. ábra A, 2. ábra E).

A következő bélyegek azok, melyek többségét érdemes nagy felbontású, részletgazdag képek segítségével vizsgálni, pl. pásztázó elektronmikroszkóppal:



1. ábra. Mikromorfológiai bélyegek: (A) sarkos, nagyon érdes kvarc szemcse egyenes és íves lépcsőkkel (12, 13), illetve egyenes és íves karcokkal (15). Az Inn folyó partjáról, Pfaffenhofen (Ausztria) mellől származó glaciofluviális szemcse. (B) Koptatott, közepesen érdes kvarc szemcse kiemelkedő, búbos sarkak (19) mellett törési tömbök (8), V alakú ütési nyomok (14) és abrziós felszín (20) is megfigyelhető. A Duna 2c teraszát feltáró, Mocska melletti homokbányából származó kvarc szemcse. (C) Jól koptatott, közepesen érdes eolikus szemcse abrziós felszínnel (20) és félhold vájatokkal (17). A Duna recens hordalékából, Baracs mellől származó kvarc szemcse. (D) Jól koptatott, sima szemcse búbos sarkakkal (19) és abrziós felszínnel (20). A Duna 2a teraszanyagából (Ósduna), a dunavarsányi Méhes-bányából származó minta. A számok az adott mikromorfológia sorszáma „A mikromorfológiai bélyegek definíciója és keletkezése” című fejezetben.

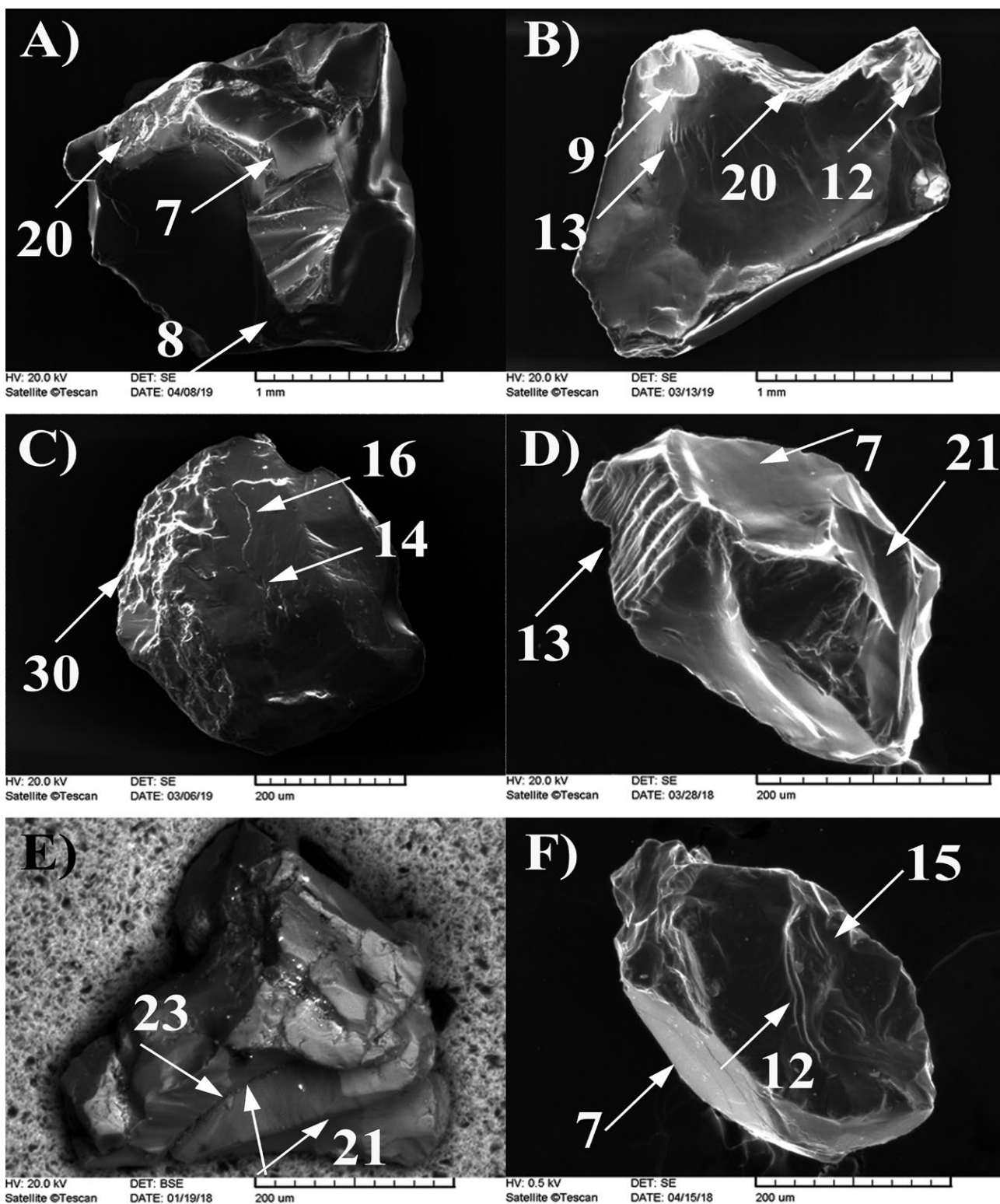
Figure 1. Micromorphological features: (A) angular quartz grain with high relief, straight and arcuate steps (12, 13), straight and curved grooves (15). Glaciofluvial grain from the banks of the Inn River, next to Pfaffenhofen (Austria). (B) Subangular quartz grain with medium relief, bulbous edge (19), fracture block (8), V-shaped percussion marks (14) and abrasion features (20). Quartz grain from a sand quarry near Mocska exhuming the terrace of the Danube 2c. (C) Rounded aeolian grain with medium relief, abrasion features (20) and crescentic gouge (17). Quartz grain from the recent sediment of the Danube, next to Baracs. (D) Rounded grain with low relief, bulbous edge (19) and abrasion features (20). This sample comes from the terrace material of the Danube 2a (Ósduna), from the Méhes mine (Dunavarsány). The numbers are the serial number of the micromorphologies in the chapter “Definition and origin of micromorphological features”.

7. Töréslap (*fracture face*) / sík hasadási felület (*flat cleavage surface*): Nagy, tiszta törési felület a szemcse legalább 25%-án, mely általában sima felületű. A szemcse széleinél közel párhuzamos törések alakulhatnak ki. Általában a kvarc azon síkjaiival párhuzamosak, amelyek irányban kevesebb Si–O kötés jellemző, így ezekben a síkokban hasadások jöhetnek létre. Általában glaciális környezetre jellemző, de néha eolikus környezetet is jelölhet (2. ábra, A, D, F) (Vos et al. 2014).

8. Törési tömbök (*breakage blocks*): olyan mélyedés a

szemcse felszínén, ami az ütközések hatására levált tömbök helyén jöhet létre. Glaciális és fluviális környezetben is kialakulhat (SWEET & BRANNAN 2016).

9. Kagylós törés (*conchoidal fracture*): Ütés vagy nyomás hatására kialakult sima vagy bordázott, ívelt törés. Az ütés hatására létrejövő nyomáshullám továbbhalad a kristályrácsban, és ez hozza létre a törést (MAHANAY 2002, Vos et al. 2014). Sokféle környezetben kialakulhat, ezért az egyik leggyakoribb bélyeg. Glaciális környezetben a szemcse felszín legalább felét boríthatják, szélességük 10 és 100



2. ábra. Mikromorfológiai bélyegek: (A) Sarkos, nagyon érdes kvarcsemcse töréslappal (7), törési tömbökkel (8) és abráziós felszínnel (20) az alsó részén. A Duna 2a teraszából, a Komárom–Szőny közelében található Bélapusztá felhagyott homokbányájából származó kvarcsemcse. (B) Sarkos, közepesen érdes szemcse kagylós töréssel (9), egyenes (13) és ívelt lépcsőkkel (12) és a tetején, egy kisebb részen abráziós felszín is látható (20). A Duna 2b teraszából, a Neszmély és Süttő között lévő felhagyott homok- és kavicsbányából származó minta. (C) Közepesen érdes, koptatott szemcse, amin felhajló lapvégek (16), V alakú ütésnyomok (14), illetve reliktt mállási felszín (30) figyelhető meg. A Duna 2b teraszanyagból, a Neszmély és Süttő között elhelyezkedő felhagyott kavicsbányából származó, fluviális szemcse. (D) A szemcsén egyenes lépcsők (13), mély vajat (21), töréslap (7) figyelhető meg. A Duna recens hordalékából, Baracs mellől származó kvarcsemcse. (E) Nagyon érdes, koptatott szemcse. A szemcse alján mély vajatok (21) figyelhetők meg, melyekben rátapadt szemcsék (23) találhatóak. Az Alpok lábánál, az Inn folyó partjáról, az utolsó gleccser táplálta mellékfolyó után, Nussdorf am Inn (Németország) mellől származó minta. (F) Enyhén koptatott, közepesen érdes szemcse íves karcokkal (15) és lépcsőkkel (12), a szemcse alján töréslappal (7). A szemcse a Rotmoos-gleccserből (Ausztria) kifolyó recens patakmederből származik. A számok az adott mikromorfológia sorszáma „A mikromorfológiai bélyegek definíciója és keletkezése” című fejezetben

μm között változhat. Eolikus és litorális környezetben egysebésebbek, és szélességük általában maximum $10\ \mu\text{m}$ (Vos et al. 2014). Előfordulhat plagioklászton, de akár nehézasványokon is megjelenhet (2. ábra B, 4. ábra A).

10. Párhuzamos gerinc (*parallel ridges*): A vajt/karcolt mélyedések között megközelítőleg $0,5\text{--}10\ \mu\text{m}$ távolságban elhelyezkedő bordák/hátak mutatkoznak. Ezek jellemző hossza és a szemcsenagyság között nincs kapcsolat, azonban hosszuk a nagyobb átmérőjű szemcséken jelentősebb lehet.

11. Hullámos gerinc (*meandering ridges*): A kagylós törések metszsvonalaként jelenik meg és haladhat végig a szemcsfelszínen. Sivatagi (eolikus) környezet mellett litorális dűnékhez is köthető. HIGGS (1979) glaciális környezetből is írt le ilyen formát.

12. Íves lépcsők (*arcuate steps*): Ütés vagy nyomás hatására létrejövő, lépcsőhöz hasonló, mély szakadások a szemcsék felszínén. Hasonlítanak a kagylós törésekhez, de ahhoz képest mélyebbek (több μm). Genetikailag kapcsolatban állnak egymással, ugyanis akkor alakul ki, amikor a kagylós törési sík a kvarc gyengeségi síkját metszi (Vos et al. 2014) (1. ábra A, 2. ábra B és F, valamint 4. ábra B).

13. Egyenes lépcsők (*straight steps*): Az íves lépcsők egyenes változata. Hasonlítanak az egyenes és a kagylós törésekhez, de ezeknél mélyebbek és szélesebbek (1. ábra A, 2. ábra B és D, 4. ábra C).

14. V alakú ütési nyom (*V-shaped percussion marks/cracks*): Nagyjából háromszög alakú mélyedések, átmérőjük maximum $5\ \mu\text{m}$, általában $0,1\ \mu\text{m}$ mélyek. Ütközés hatására jönnek létre véletlenszerűen a szemcsé felszínén. Majdnem kizárólagosan nagy energiájú víz alatti környezethez köthetők, ahol kellően intenzív a szemcsé–szemcsé érintkezés. Ilyenek lehetnek a litorális zóna, fonatos folyóvízi vagy glaciofluviális környezetek (MAHANEY 2002, MAHANEY & KALM 2008). Hasonlíthat a kémiai oldások hatására kialakuló V alakú oldási üregekhez, de azok általában orientáltan helyezkednek el a szemcsé felületeken (1. ábra B, 2. ábra C, 3. ábra D).

15. Párhuzamos karcok (*parallel striations*): Egyenes vagy íves jegyek a kvarcsemmcsék felszínén, melyeket mikroszkopikus méretű éles sarkok vésnek a szemcsé felszínre. A glaciális környezet egyik legjellegzetesebb bélyege. Fajtai: a) íves karcok (*curved grooves*): hosszan elnyúló mélyedések vagy árkok. Hosszúságuk $2\text{--}25\ \mu\text{m}$, szélességük kb. $5\ \mu\text{m}$. Általában a durva homoksemmcséknél ($> 400\ \mu\text{m}$) alakulnak ki, de ritkábban fordulnak elő, mint a V alakú ütési nyomok. Ha ezek az árkok mélyek ($> 5\ \mu\text{m}$) és egymással párhuzamosak, akkor glaciális őrlésből származhatnak, ahol a keményebb szemcsék képesek megkarcolni a puhábbakat. Ha ennél sekélyebbek, akkor megjelenésük litorális környezethez köthető. b) egyenes karcok (*straight grooves*):

hasonlítanak az íves karcokhoz, de egyenesek. Nagyobb energia szükséges a kialakulásukhoz. Kvarcsemmcséről tökéletesen egyenes karcot MAHANEY (2002) írt le a venezuelai Boconó vetőzónából.

16. Felhajló lapvégek (*upturned plates*): Nagy erejű ütközések hatására a szemcsék felszínéről részben felszakadó kis lemezek, melyek hegyesszöget zárnak be a szemcsék felületével. A szabálytalan szélű, vékony lemezek $0,5\text{--}10\ \mu\text{m}$ hosszúak, párhuzamosak és változatos magasságúak lehetnek. Az oldási és kicsapódási jelenségek gyakoriak lehetnek a felhajló lapvégek környékén, főleg a trópusi sivatagokban, ahol a sivatagi harmat képes folyamatosan oldani és újra kicsapni a kovaanyagot. Ezek a folyamatok jelentősen meg tudják változtatni a bélyeg eredeti morfológiáját olyannyira, hogy az akár alig felismerhetővé is válhat. A kiválások miatt a lemezek vastagsága akár $2\text{--}20\ \mu\text{m}$ között is lehet (MARGOLIS & KRINSLEY 1974). Eolikus és glaciális környezethez köthetők (2. ábra C).

17. Félhold vájatok (*crescentic gouges*): Jellemzően félhold alakú és gyakran mély vájatok konvex és konkáv elvándorodásokkal. Az éles szemcsétörések véső hatása hozza létre őket. Az íves és párhuzamos karcoknál mélyebbek és kisebbek. Glaciális környezetre utalnak (1. ábra C).

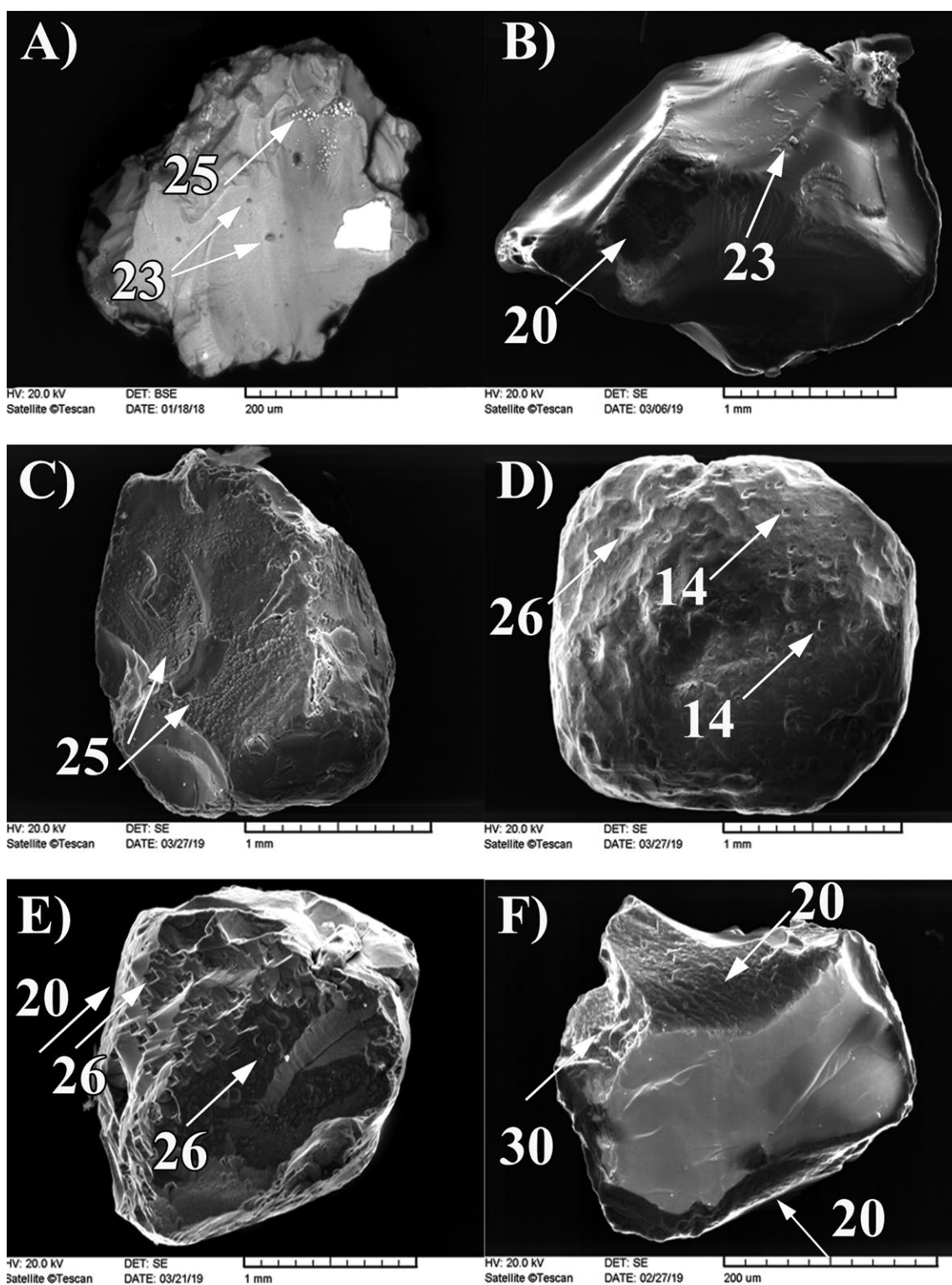
18. Félhold alakú ütési jegyek (*crescentic percussion marks*): Olyan kisebb ($< 50\ \mu\text{m}$) kagylós törésre emlékeztető kúp alakú törések, amelyek a mérsékelt becsapódási energia miatt nem fejlődtek tovább. Közép és durva szemű homoksemmcsék felszínét $10\text{--}40\%$ -ban boríthatják. Eolikus környezetben szaltációval jöhetnek létre. De CAMPBELL (1963) és LE RIBAULT (1977) szerint homokszem és kavics ütközése során víz alatti környezetben is kialakulhatnak.

19. Búbos sarkok (*bulbous edge*): Kiemelkedő és koptatott, parabolagörbe alakú sarkok. A legömbölyödött sarkok eolikus környezetben, a szaltáló szemcsék rotációjával jönnek létre. $150\ \mu\text{m}$ -nél kisebb szemcsék esetében igen ritkák. (1. ábra B és D, 4. ábra D).

20. Abrázios felszín / jegyek (*abrasion features*): Megviselt, kitett felszín, amely kőzetdarabokkal érintkezett és karcolódtott szállítás során (víz, szél, jég, gravitáció) (MAHANEY 2002). Számos egyéb definíció is van, pl. Vos et al. (2014) az „abrasion fatigue” kifejezést használják, ami egy olyan abráziónak kitett felületet jelöl, amelyet repedések és törések szabdalnak, és ezekhez kisebb szemcsék kapcsolódhatnak. Nagy energiájú ütközés hatására jöhetnek létre, így glaciális és eolikus környezethez egyaránt köthető (pl. 1. ábra B, 2. ábra A, 3. ábra F).

21. Mély vájatok (*deep troughs*): $10\ \mu\text{m}$ -nél mélyebb vájatok, amelyek glaciális környezethez köthetők (2. ábra D és E).

← **Figure 2.** Micromorphological features: (A) angular quartz grain with high relief, fracture face (7), breakage blocks (8) and abrasion features (20). Quartz grain from the terrace of the Danube 2a, from the abandoned sand mine of Bélapusztá near Komárom-Szőny. (B) Angular grain with medium relief, conchoidal fracture (9), straight (13) and arcuate steps (12) and abrasion feature (20). Quartz grain from the terrace of the Danube 2b, from the abandoned sand and gravel mine between Neszmély and Süttő. (C) Subangular grain with medium relief, upturned plates (16), V-shaped percussion marks (14) and preweathered surface (30). Fluvial grain from the terrace of the Danube 2b, from the abandoned gravel mine between Neszmély and Süttő. (D) Quartz grain with straight steps (13), deep troughs (21) and fracture face (7). Quartz grain from the recent sediment of Danube, next to Barancs. (E) Subangular grain with high relief, deep troughs (21) with adhering particles (23). The sample from on the banks of the river Inn in Alps, after the last glacier-fed tributary, next to Nussdorf am Inn (Germany). (F) Subangular grain with medium relief, curved grooves (15) steps (12) and fracture face (7). The grain comes from a recent stream from the Rotmoos glacier (Austria). The numbers are the serial number of the micromorphologies in the chapter “Definition and origin of micromorphological features”



3. ábra. Mikromorfológiai bélyegek: (A) Enyhén koptatott, közepesen érdes szemcse különböző kiválásokkal (25) és rátapadt szemcsékkel (23). A szemcse a Rotmoos-gleccser (Ausztria) végéről, a patakmeder-üledékből származik. (B) Koptatott, közepesen érdes kvarcsezemcse rátapadt szemcsékkel (23). A szemcse egy része abráziós felszín (20) mutat. A szemcse a Duna 4. teraszából, a Dióspusztá közelében található Nagy-csapási-dűlő részét képező felhagyott homokbányából származik. (C) Koptatott, közepesen érdes gránátsezemcse felületének nagy részét különböző formájú kiválások borítják (25). A Duna neszmélyi Vár-hegynél kibukkanó 5. teraszából származó gránátsezemcse. (D) Jól koptatott, közepesen érdes gránátsezemcse V alakú ütésnyomokkal (14), V alakú oldási üregekkel (26). A Duna Győr-Tatai teraszvidékéről, a Tata közelében található Grébins-hegyen feltárt 5. teraszról származó minta. (E) Nagyon érdes, koptatott gránátsezemcse oldási üregekkel (26) és abráziós felszínnel (20). A Duna 5. teraszról, a Dunaalmástól D-re található, felhagyott, úgynevezett betlehemi homok- és kavicsbánya homokmintájából származik. (F) Sarkos, közepesen érdes kvarcsezemcse abráziós (20) és reliktt mállási felszínnel (30). A Duna Győr-Tatai teraszvidékéről, a Tata közelében található Grébins-hegyen feltárt 5. teraszról származó minta. A számok az adott mikromorfológia sorszáma „A mikromorfológiai bélyegek definíciója és keletkezése” című fejezetben

22. Pikkelyszerű őrlési bélyegek (*imbricated grinding features*): Hasonlít a félkör vagy kör alakú, fokozatosan ereszkedő „nyergelkel elválasztott” hegyláncokra. Tipikus glaciális jegy, a glaciális őrlés, aprózódás során jön létre.

23. Rátapadt részecskék (*adhering particles*): A szemcse felszínére tapadt kisebb, változatos összetételű és méretű részecskék (HIGGS 1979). Ezek a szemcsék maradványok lehetnek magából a forrásközvetből (így lehet pl. kvarc, földpát, csillám), vagy származhatnak diagenetikus környezetből (pl. karbonátcement), ami így információt szolgáltat az üledék eredetéről. Későbbi glaciális és eolikus környezetben való szállítódás során kb. nm-nagyságú szemcsék tapadhatnak rájuk, mivel az abráziós felszín elősegítheti a rátapadást. Ebben az esetben a rátapadt szemcsék származhatnak a kvarcsemmcsékből vagy bármely más anyagból is, amivel a szemcse ütközött – de az sem zárható ki, hogy egy eredetileg vele szomszédos, másfajta és ezért másként pusztuló ásvány maradéka (2. ábra E, 3. ábra A és B).

24. Pikkelyesedés (*scaling*): A szemcse felszínének erőteljes szétarabolódása, roncsolódása során keletkezik azáltal, hogy szemcsedarabok pattogzanak le a felületről. Különböző talajszelvényekben végbemenő kémiai átalakulások során keletkezik (KRINSLEY & DOORNKAMP 1973, HIGGS 1979).

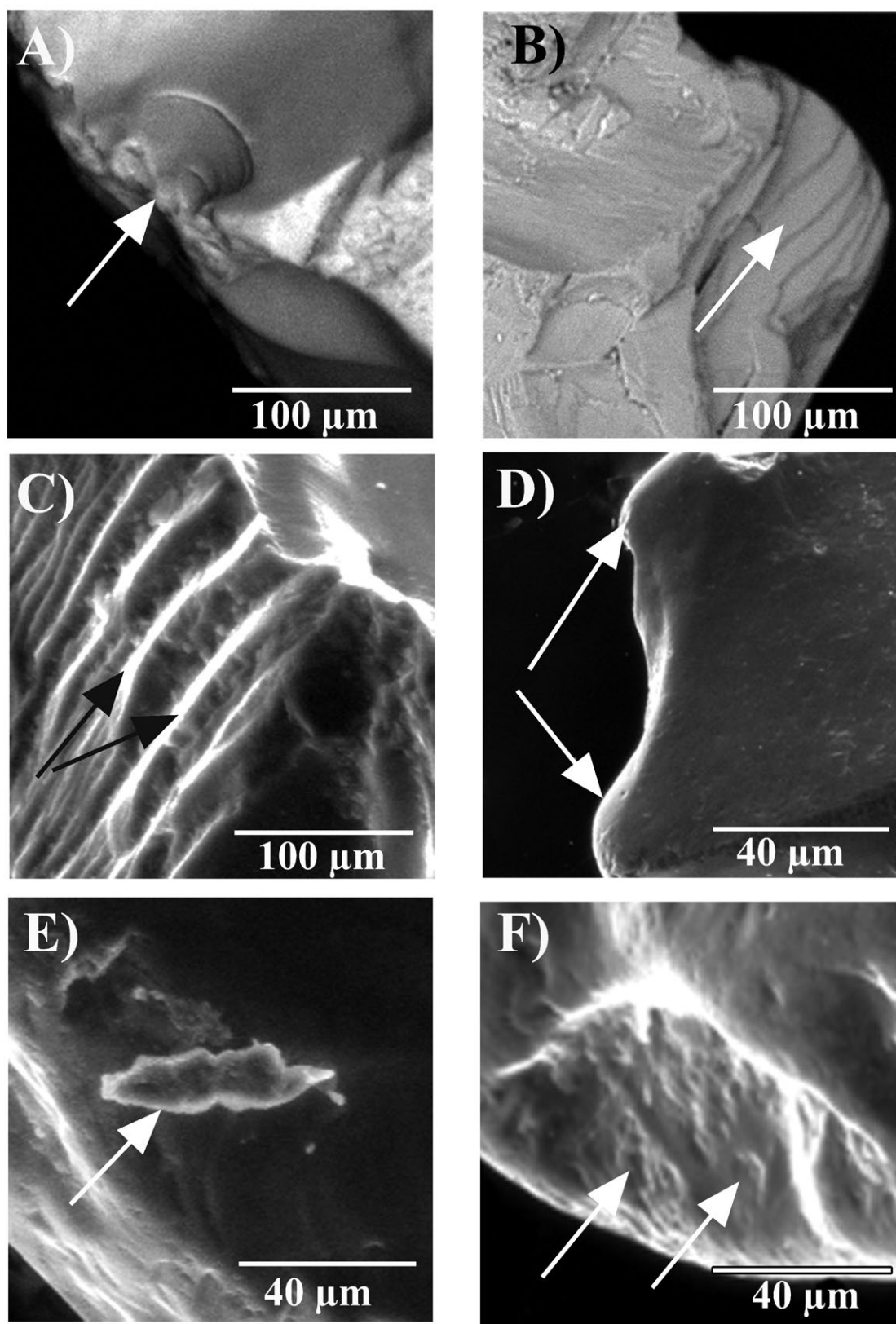
25. Kicsapódási jegyek (*precipitation features*): A szemcse felszínén kialakuló SiO_2 , Fe_2O_3 vagy CaCO_3 anyagi rétegek, bevonatok vagy szegélyek, melyek oldatokból csapódhatnak ki a diagenézis vagy talajképződés során. Ide tartoznak még a mikroszkópi felvételen jól kivehetően kristályos megjelenésű fázisok is. Fajtái: a) *kovagömbök (silica globules)*: Gömb vagy félgömb alakú cseppcsekék, melyek átmérője 0,05–0,25 μm . Akkor alakulnak ki, amikor a viszonylag mozdulatlan szemcse kovában túltelített oldattal kerül kapcsolatba. Általában alacsony energiájú (pl. szárazföldi, talajosodó diagenetikus) környezetekben jöhetnek létre, mint a szárazföldi, talajosodó diagenetikus környezet (HIGGS 1979). b) *kovavirágok (silica flowers)*: Domború, hexagonális szimmetriával rendelkező, sugaras szerkezetű kiemelkedések. A szimmetria a kvarc trigonális szimmetriáját tükrözi vissza (HIGGS 1979). Átmérőjük 1–20 μm között változhat (LE RIBAULT 1977). Kovagömböcskék egyesülésével jönnek létre folyamatos kova kiválás során. c) *kovahártya (silica pellicle)*: Vékony, egyszerű rétegszerű kiválás. Általában eltakarja vagy lefedi a korábbi bélyegeket. Vastagsága 2–10 μm között változhat (HIGGS 1979). Mindenféle környezetben kialakulhat, ahol gyors és jelentős kovakiválásra van lehetőség. Gyakran egyesíti a korábbi kovagömböket vagy -virágokat. Mindhárom bélyeg esetében igaz, hogy bár általában nyugodt környezetben jönnek létre, de találkozhatunk velük az intertidális zónából származó

szemcsék esetében is, ami a folyamatosan váltakozó vízzel borítottágnak és szárazra kerülésnek köszönhető. d) *kristályos továbbnövekedés (crystalline overgrowths)*: Idiomorf vagy hipidiomorf, vastag (~10 μm) ásványkiválás. Mérete és kinézete erősen függ a betemetődés óta eltelt időtől, valamint a túltelített környezetben a növekedésre rendelkezésre álló helytől (PITTMAN 1972). Tipikus diagenetikus bélyeg, amely elfedheti a korábbi bélyegeket (3. ábra A és C, 4. ábra E).

26. Oldódási üregek (*dissolution etching, solution pits, oriented etch pits*): Az ásvány oldódásának következtében hálószerűen elhelyezkedő üregek, amelyek megjelenhetnek akár véletlenszerű, akár a szemcse kristályszerkezetét követő elrendezésben (MAHANEY 2002). Fajtái: a) *irányított oldódási üregek (oriented etch pits)*: Szabályos, háromszög vagy téglalap alakú mélyedések. Méretük 1–30 μm között változik, elrendeződésük jól követi a kristálysíkokat. Méretük és mennyiségük függ a reaktív környezetben eltöltött időtől, de a szemcse felszínének akár 50%-át is kitehetik. Szabályos és irányított elrendeződésük miatt könnyen megkülönböztethetők a V alakú ütésnyomoktól. Diagenetikus folyamatokhoz, valamint egyes talajszelvényekhez kapcsolódnak, de létrehozhatják alkáliákban gazdag fluidumok (pl. tengervíz) is. b) *oldódási üregek (solution pits)*: Változatos megjelenésűek, átmérőjük akár 10 μm is lehet, és a kör és félkör alakúak a leggyakoribbak (HIGGS 1979). Gyakran összetéveszthetők az ásványzárványok után visszamaradt üregekkel. Előfordulásuk és megjelenésük függ a kémiai aktivitástól és az adott környezetben eltöltött időtől. Kialakulásuk szintén diagenetikus folyamatokhoz, illetve egyes talajszelvényekhez köthető. c) *oldódási hasadékok (solution crevasses)*: Olyan repedések a szemcse felszínén, amelyek oldódás hatására jönnek létre. Mélységük általában maximum 10 μm . Többnyire nagyon vékony peremmel rendelkeznek, melyek hasadási síkok maradványai lehetnek (KRINSLEY & DOORNKAMP 1973). Gyakran az oldódási üregekkel egyszerre lépnek fel és kialakulásukat tekintve azonosnak lehetnek (HIGGS 1979) (3. ábra D és E, 4. ábra F).

27. Koccanásnyom (*chattermarks, „figures de frottement”*): Egyenes vagy enyhén ívelt, véletlenszerűen kialakult barázdák a szemcsék felszínén. Elhelyezkedésük nem kötődik a kvarc hasadási felületeihez (KRINSLEY & MARGOLIS 1971, PETERKNECHT & TIETZ 2011), amelyeket LE RIBAULT (1977) halszálkához hasonlónak írt le. A barázdák hossza 1–10 μm között lehet, mélységük a kialakulási környezettől függ: kisebb, mint 1 μm mélységűek víz alatt jönnek létre, míg a kb. 5 μm mélyek a glaciális környezetben jellemzőek. Vegyes eredetűnek gondolják: először ütközés hatására jönnek létre a mélyedések, majd a későbbi kémiai reakciók következtében jön létre a halszálkához hasonló ki-

← **Figure 3.** (A) Subangular grain with medium relief, precipitation features (25) and adhering particles (23). Grain comes from the end of the Rotmoos glacier (Austria), a stream bed sediment. (B) Subangular quartz grain with medium relief, adhering particles (23) and abrasion features (20). The grain comes from the 4th terrace of the Danube, from an abandoned sand mine near Dióspuszta. (C) Subangular garnet grain with medium relief and precipitation features (25). Garnet grain from the 5th terrace of the Danube at the Castle Hill in Neszmély. (D) Rounded garnet grain with medium relief, V-shaped percussion marks (14) and V-shaped dissolution etching (26). Grain comes from the 5th terrace on the Grébins Hill (Győr-Tata terrace region) near Tata. (E) Subangular garnet grain with high relief, dissolution etching (26), V-shaped dissolution etching (26) and abrasion features (20). It comes from the 5th terrace of the Danube, from the sand sample of the abandoned, so-called Bethlehem sand and gravel mine to the south of Dunaalmás. (F) Angular quartz grain with medium relief, abrasion features (20) and preweathered surface (30). Grain from the 5th terrace of Danube on the Grébins Hill (Győr-Tata terrace area) near Tata. The numbers are the serial number of the micromorphologies in the chapter “Definition and origin of micromorphological features”



4. ábra. Néhány korábban felsorolt mikromorfológia kinagyított, részletesebb bemutatása. Nyilak mutatják a pontos helyét az adott bélyegnek: (a) kagylós törés (conchoidal fracture), (b) íves lépcsők (arcuate steps), (c) egyenes lépcsők (straight steps), (d) búbos sarok (bulbous edge), (e) kicsapódási jegyek (precipitation features) és az (f) oldódási üregek (dissolution etching). A kinagyított képek SZABÓ (2018) és WASSER (2019) diplomamunkáiból származnak.

Figure 4. Some more detailed pictures of the previously presented micromorphologies. The white arrow show the identified micromorphologies: (a) conchoidal fracture, (b) arcuate steps, (c) straight steps, (d) bulbous edge, (e) precipitation features, and (f) dissolution etching. These pictures are from the master thesis of SZABÓ (2018) and WASSER (2019).

dódás, bekérgezések és kiválások) következtében. A mikromorfológiai bélyegek egyik csoportosítása az alapján történik, hogy hányféle környezetben jelenhetnek meg. Ez alapján vannak monogenetikus, azaz egy üledékszállítási mechanizmusra jellemző, illetve poligenetikus, azaz többféle környezetben is megjelenő bélyegek, és amint az *I. táblázat* is jelzi, a bélyegek többsége ez utóbbi csoportba tartozik (MAHANEY 2002).

Megkülönböztetünk mechanikai és kémiai hatások alapján létrejött morfológiákat. A mechanikai bélyegeket tovább csoportosíthatjuk képződési mód alapján. *Viszkózus közegben* – pl. jég vagy törmelékfolyás – a fellépő nagy nyírőfeszültség hozza létre a különböző bélyegeket. A szemcsék egymással összepréselődve mozognak és vésik egymást, miközben mély bevésődések jönnek létre. Ha nagy mennyiségben találhatóak ilyen eredetű bélyegek az adott szemcsén, *glaciális környezetre* utalnak. Jellemző mikromorfológiák pl. a nagy nyírőfeszültség hatására keletkeznek: a mély vajatok, íves és egyenes karcok, a félhold alakú vajatok, oldási – kiválási jelenségek, illetve különböző anyagú bekérgezések. Glaciális környezetben előfordul, hogy a kisebb szemcsék jégbe ragadva szállítódnak, így sokkal kevesebb szemcse – szemcse ütközés zajlik le köztük. Jégbe bezáródva a szemcsék inhomogén rugalmas zárványokat képezve a jelenlévő különböző feszültségekre koptatásos és töréses morfológiákkal reagálhatnak. Illetve könnyebben aprózódnak, ha egy korábbi mállási szakaszban már gyengültek. A glaciális szemcsék általában sarkosak és nagyon érdesek (ahol a domborzati különbségek miatt a felszínre merőleges egyenetlenség nagyobb, mint kb. 1–2 μm közel 10 μm távolságon mérve), mélyek az egyenes (pl. Wallner-vonalak) és kagylós törések, ill. irányítottan helyezkedhetnek el a különböző karcok és vajatok (KRINSLEY & TAKAHASHI 1962a; MAHANEY 1991, 2002; MAHANEY et al. 1996; MAHANEY & KALM 2008; SWEET & SOREGHAN 2010; IMMONEN 2013; IMMONEN et al. 2014; SWEET & BRANNAN 2016).

A *gravitációs tömegmozgások* okozta felszínformákat még kevésbé vizsgálták. Ezek esetében az esemény általában gyorsan lezajlik, és a szállítás nem szemcsénként, hanem összefüggő nagyobb tömegekben történik, míg a legtöbb fent bemutatott folyamat sokkal hosszabb időt igényel. A tömegmozgások esetében a mechanikai mállás a fő mállási folyamat, és az így kialakult szemcsékre jellemző a nagy arányban megjelenő töréslap, melyeket gyakran bekérgezések (Si, agyag és Fe) vesznek körül, amelyek azokat a területeket jelölik, ahol megtörtént az anyakőzettől való elválás, azaz lehet még az eredeti cement anyaga (MAHANEY 2002).

Kis viszkozitású közegben, mint a víz vagy a levegő, a szemcsék szaltációval vagy vonszolva szállítódnak, így jelentőssé válik az ütközések felszínalakító hatása. Ezek a mechanikai behatások főleg felszíni sérüléseket és abráziós bélyegeket okoznak a szemcséken (KRINSLEY & DONAHUE 1968, KRINSLEY & MARGOLIS 1969, MAHANEY 2002, MAHANEY & KALM 2008, SWEET & SOREGHAN 2010, SWEET & BRANNAN 2016).

A *fluviális környezetből* származó szemcsék jobban koptatottak, mint a glaciális eredetűek és közepesen érdesek

(ahol a domborzati szintkülönbség kisebb, mint 1 μm). Az ehhez a környezethez kapcsolható legtipikusabb bélyeg a V alakú ütésnyom (hasonló lehet ehhez a gleccsermalom vagy a szubglaciális olvadékvíz okozta bélyeg) (BIEDERMAN 1962).

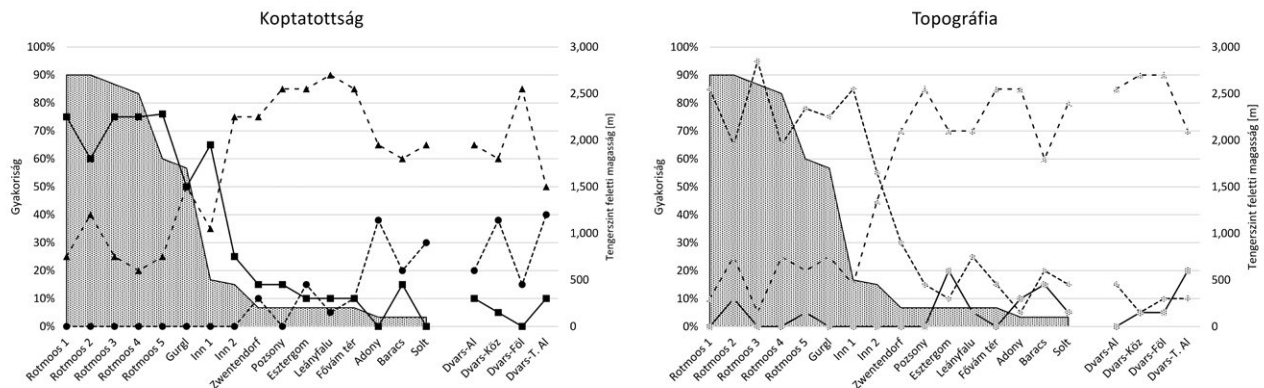
Az *eolikus környezetben* kis mélységű, felszíni bélyegek keletkeznek, itt a szaltáló szemcsék rotációja által kialakult ún. búbos sarkak (kiemelkedő, gömbölyített, parabolagörbe sarok) jellemzők (VOS ET AL 2014). A szemcséken ritkán előfordulhatnak turbulens ütközések révén keletkezett felhajló lapvégek, oldódási üregek vagy különböző nagyságú kráterek. Mivel az eolikus bélyegek többségükben felszíni „finom” sérülések, illetve „elsimító” változások, így könnyen megkülönböztethetőek a glaciális környezetre jellemző, nyírőfeszültségből eredő, repedések csoportjaiként megjelenő úgynevezett Wallner-vonalaktól.

Esettanulmányok

A mikromorfológiai bélyegekről készült nagy felbontású, részletgazdag képek kiváló lehetőséget nyújtanak az üledékszállítási mód és közeg pontosítására, vagy akár alternatív értelmezési lehetőségek felállítására. Azonban ahogy a legtöbb műszeres eljárás esetében a módszer önmagában történő alkalmazása itt is nagy körültekintést igényel. A következőkben a két korábban már említett hazai szakdolgozat alapján (SZABÓ 2018, WASSER 2019) mutatunk be néhány jól és néhány nehezebben értelmezhető mintaanyagot. Mindkét dolgozat célja az őskörnyezet, illetve az őskörnyezeti változások rekonstrukciója, illetve a mikromorfológiai vizsgálatok e célra való használhatóságának értékelése. SZABÓ (2018) a Duna és az egyik gleccseréből induló mellékfolyójának recens folyóvízi üledékéből, valamint egy fosszilis dunai terasz rétegeiből származó kvarcokat, míg WASSER (2019) idősebb dunai teraszok anyagában kvarcokat és gránátokat vizsgált.

A dolgozatokban az azonosított bélyegeket először SWEET & SOREGHAN (2010) módszere alapján három csoportba sorolták: 1. tartósan nagy nyírőfeszültség hatására, 2. ütközéssel keletkezett és 3. poligenetikus bélyegek. Ezen módszer előnye, hogy alkalmas a változások ábrázolására a szállítási távolság függvényében. A csoportokba való besorolás után összeadták a szemcsékhez kapcsolódó mechanikus morfológiai bélyegek számát. A három csoportban összesen megtalálható bélyegek számát tekintették 100%-nak, majd ehhez viszonyítva ábrázolták az arányokat. Tehát a vizsgált mintákon található bélyegek százalékos gyakoriságát ábrázolták az üledékforrástól (jelen esetben gleccser) a távolság függvényében (*5. ábra*). Az üledékszállító közeg értelmezése során érdemes figyelembe venni a szemcsék koptatottságát, topográfiáját, (azaz sarkosak, gyengén koptatottak vagy jól koptatottak), az abráziós felszínüket (ld. „A mikromorfológiai bélyegek definíciója és keletkezése” fejezet), valamint ezek térbeli és időbeli változását is.

Az első esettanulmányban SZABÓ (2018) a Rotmoos völgyétől (Ötztal, Ausztria) Soltig mintázta a Duna üledékét, illetve a dunavarsányi Méhes bánya fosszilis rétegeiből szár-



5. ábra. A bélyegek százalékos gyakorisági arányának ábrázolása. Itt a vizsgált kvarcsemcsék koptatottságának és topográfiájának változását mutatjuk be a távolság függvényében. A Rotmoos-gleccser (Öztal, Ausztria) és a belőle induló Rootmos-patak mintái vannak feltüntetve, és a forrástól való távolság balról jobbra nő (SZABÓ 2018 alapján)

Figure 5. Representation of frequency ratio of micrographs (expressed in %). The change of abrasion and topography of the particles as a function of distance is showed: the distance from the Ratmoos glacier increases from left to right (based on SZABÓ 2018)

II. táblázat. Az elemzett mintákban előforduló morfológiai bélyegek százalékos arányának (adott bélyeg hány szemcsén jelenik meg) ábrázolási módja. Ez alapján készülnek a statisztikák (Szabó 2018 alapján). A felsorolt bélyegek definícióit lásd „A mikromorfológia bélyegek definíciója és keletkezése” című részben

Table II. The representation of percentage ratio of micromorphological features in some of the samples (how many grains a given feature appears on). The example statistics were based on this calculation (SZABÓ 2018). The definition of the different micrographs can be seen in „Definition and Origin of Micromorphological Features” section

Morfológiai jellemző	ROT-7 (%)	ROT-6 (%)	ROT-8 (%)	ROT-4 (%)	ROT-1 (%)	ROT-9 (%)
1. Sarkos	75	60	75	75	76	50
2. Koptatottak	25	40	25	15	24	50
3. Jól koptatott	0	0	0	0	0	0
4. Sima	0	10	0	0	5	0
5. Közepesen érdes	10	25	5	25	19	25
6. Nagyon érdes	85	65	95	65	76	75
7. Töréslap	38	38	65	35	33	30
8. Kagylós törés	55	40	50	55	48	80
9. K.p. egyenes törések	45	70	65	35	67	50
10. Íves lépcsők	35	55	45	50	43	50
11. Egyenes lépcsők	65	35	45	40	29	45
12. V alakú ütésnyom	5	10	10	20	57	40
13. Íves karc	80	40	85	45	29	25
14. Egyenes karc	80	70	60	35	62	30
15. Felhajló lapvégek	65	30	15	30	24	40
16. Félhold vajatok	20	5	5	10	24	15
17. Búbos sarkok	0	0	0	0	0	0
18. Abráziós felszín	5	5	0	5	10	0
19. Mély vajat	40	40	25	5	5	5
20. Rátapadt részecskék	95	65	85	75	95	65
21. Kicsapódás	15	0	30	25	0	5
22. Oldási üregek	0	5	0	0	0	0
23. Mállott felszín	5	5	10	0	0	0
24. Relikt mállási felszín	55	60	35	20	86	25
25. Törési tömbök	70	45	50	40	43	35

mazó kvarc szemcséket is vizsgált. A mintavétel minden esetben a folyóvízi közegből, valamint az eredeti lerakódás állapotát mutató rétegekből zajlott reprezentatív módon (további módszertani részletek a kapcsolódó dolgozatban tekinthetők meg). Munkájából két jellegzetes példát mutatnánk be, melyek a Rotmoos-gleccserből kifolyó Rotmoos-patakából származnak. A Rotmoos 6 nevű minta a gleccser morénájától (forrástól) kb. 400 méterrel a recens patakfolyásból származik, míg a Rotmoos 15 az Alpok lábánál, az utolsó gleccser táplálta mellékfolyó után 60 km-re, a nüsdorfi gátnál lett begyűjtve. Megfigyelte, hogy az egyes morfológiai bélyegek a két említett minta esetében a szemcsék hány százalékán jelentek meg (VOS et al. 2014, STEVIC 2015, SWEET & BRANNAN 2016) (III. táblázat). A Rotmoos 6 mintából származó szemcsék sarkosak vagy enyhén koptatottak, nagyon vagy közepesen érdesek. A tartósan nagy nyírófeszültség hatására keletkezett bélyegek közül a leggyakoribbak az egyenes karcok, íves karcok, majd a mély és félhold vájatok. A megjelenő poligenetikus bélyegek közül a leggyakoribbak a párhuzamos törések, majd az íves lépcsők, törési tömbök, kagylós törések és az egyenes lépcsők, valamint a felhajló lapvégek. A szemcsék több mint 50%-ára jellemző a homorulatokra rátapadt kisebb szemcsék jelenléte. Általánosságban elmondható, hogy a nagy nyírófeszültséghez kapcsolódó jegyek jóval gyakoribbak a

mintában, mint az ütközésekből származó jegyek, melyek gyakorisága 10% körül mozog. Ezzel szemben a Rotmoos 15 szemcséi változatosan kopottak vagy sarkosak, illetve nagyon vagy közepesen érdesek. A mintából származó összes szemcsére jellemzők voltak a rátapadt szemcsék. A leggyakoribb bélyegek a töréslap, a kagylós törés, a V alakú ütésnyom és a relik t mállási felszín. Ezekon kívül jellemző volt még a párhuzamos egyenes törések, a törési tömbök és felhajló lapvégek. Valamint alacsony arányban egyenes lépcsőket, íves és egyenes karcokat is lehetett találni, íves lépcsőt azonban csak két szemcsén látott.

A Rotmoos 6 mintából származó szemcséken a glaciális mellett poligenetikus bélyegeket is megfigyelt, amelyek részben az adott területen korábban jellemző környezeti állapotokra utaltak és maradtak vissza. Ugyanakkor azt is elképzelhetőnek tartotta, hogy fiatal folyóvízes erózió friss nyomai lehetnek. Mivel a poligenetikus bélyegeket egyik szállítási módhoz sem lehet egyértelműen kötni, ezért a statisztikai közelítésben a biztosabb mikromorfológiára kell minden esetben fókuszálni. Fontos megjegyezni, hogy a poligenetikus bélyegek is jelezhetnek glaciális behatást, ha mély vájatokkal, íves és egyenes karcokkal együtt fordulnak elő (MAHANEY 2002, IMMONEN 2013, SWEET & BRANNAN 2016). A nagy nyírófeszültséget jelző és a poligenetikus bélyegek döntő megjelenése a Rotmoos-gleccserből kifolyó

III. táblázat. A Rotmoos-patakából származó két minta kvarc szemcséin előforduló morfológiai bélyegek százalékos aránya

Table III. Occurrence and abundance in percentage of morphological surface micro-features on quartz grains from the Rotmoos creek

		Rotmoos 6 (%)	Rotmoos 15 (%)
Szemcse körvonalának lefutása: koptatottság	Sarkos	60	25
	Koptatott	40	75
	Jól koptatott	0	0
Szemcse domborzata: érdeség	Sima	10	0
	Közepesen érdes	25	45
	Nagyon érdes	65	55
Nagy nyírófeszültség hatására keletkezett bélyegek	egyenes karc	70	15
	íves karc	40	15
	mély vájat	40	5
	félhold vájat	5	10
	felhajló lapvégek	30	30
Átlag		37	15
Ütközéssel keletkezett bélyegek	V alakú ütésnyom	10	45
	koptatottsága	40	75
Átlag		25	60
Poligenetikus bélyegek	párhuzamos törés	70	40
	íves lépcsők	55	10
	törési tömbök	45	30
	kagylós törés	40	50
	egyenes lépcsők	35	15
Átlag		49	29
Kémiai folyamatok hatására keletkezett bélyegek	rátapadt részecskék	65	100
	relik t mállási felszín	60	45

patakban *glaciális környezetre* utaltak, míg a Rotmoos 15-ös minta esetében ugyanakkora arányban nőtt az ütközéses bélyegek aránya (fluviális környezet jellemzője), mint amilyen mértékben csökkent a poligenetikus bélyegeké, azaz a glaciális jelleg helyett a fluviális bélyegek váltak uralkodóvá. Ebből arra következtetett, hogy már nem érkeznek újabb gleccser táplálta mellékfolyók a patakba. Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy Szabó eredményei alapján szakaszokra tudta osztani az üledékszállítás, azaz a glaciális hatás a gleccser végétől Nüsdorffig tartott, megszűnt a gleccser táplálta folyók hatása, és a fluviális környezet vált uralkodóvá. Később a Dunakanyar térségénél rövid ideig az eolikus hatás is megjelent, amit esetleg a lösz anyagú szemcsék folyóvízbe keveredése okozhatott. A mintázott üledék környezeti helyzetéből adódóan rávilágít a jelen cikkben bemutatott módszer alkalmazhatóságára (KRINSLEY & TAKAHASHI 1962a, MAHANEY et al. 2001, MAHANEY 2002, SWEET & SOREGHAN 2010, SWEET & BRANNAN 2016).

WASSER (2019) munkájának fő célja az volt, hogy idősebb folyóvízi üledékek vizsgálatán keresztül értékelje a módszer szélesebb körű alkalmazhatóságát. Az általa vizsgált kvarc- és gránát szemcsék a Duna Gerecse előterében elhelyezkedő kilenc teraszának sziliklasztos anyagából, illetve ezek felső miocén (pannóniai) fekü- és felső pleisztocén – holocén fedőképződményeiből származtak. A kvarc- szemcsék mellett gránátok morfológiáját is vizsgálta, amelynek az volt a célja, hogy egy attól független és egy nemzetközileg új módszer segítségével is elemezze az üledékeket, és a kapott eredményeket összehasonlíthassa. Azért a gránátokra esett a választása, mert a nehézsúlyúak közül hasonló fizikai tulajdonságok jellemzik, mint a kvarcot: nagy a keménysége és az ellenállóképessége. Azaz a kőzetek lepusztulása során feldúsul, a szállítódás során pedig ellenáll az erózióknak. A gránát mikromorfológiai elemzését nehezítette, hogy a gránátokra nem létezik kidolgozott morfológiai osztályozó rendszer, így a már a bemutatott, kvarc- szemcsékre vonatkozó osztályozást alkalmazta a gránát- szemcsék esetében is. Egyes mintákból nem került elő megfelelő mennyiségű gránát. Bár ezeken is észlelhetők voltak a mikromorfológiai bélyegek, de a kevés mennyiség miatt nem tudott az egyes bélyegekről előfordulási gyakoriságot meghatározni. A következőkben csak néhány jellegzetes, példaértékű megfigyelést emelünk ki (részletesebb elemzések Wasser 2019 dolgozatában olvashatóak).

A következőkben a Győr–Tatai-teraszvidéken található 6. terasz (legalsó, pleisztocén korú, Duna-eredetű terasz) anyagának eredményeit mutatjuk be részletesebben (*IV. táblázat*). A kvarc- szemcsék szögletesek, dominánsan közepe-

A következőkben a Győr–Tatai-teraszvidéken található 6. terasz (legalsó, pleisztocén korú, Duna-eredetű terasz) anyagának eredményeit mutatjuk be részletesebben (*IV. táblázat*). A kvarc- szemcsék szögletesek, dominánsan közepe-

IV. táblázat. A Győr-Tatai-teraszvidék 6. terasz (legalsó, pleisztocén korú, Duna-eredetű terasz) anyagának kvarc és gránát szemcséin előforduló bélyegek százalékos aránya

Table IV. Occurrence and abundance of surface micro-features on quartz and garnet grains from the no. 6 terrace level (highest Pleistocene aged Danube terrace) at the Győr-Tata terrace region.

Hatodik terasz anyaga (pleisztocén korú Duna-eredetű terasz)			
		Kvarc (%)	Gránát (%)
Szemcse körvonalának lefutása: koptatottság	Sarkos	98	60
	Koptatott	2	35
	Jól koptatott	0	5
Szemcse domborzata: érdesség	Sima	0	0
	Közepesen érdes	60	35
	Nagyon érdes	40	65
Nagy nyírófeszültség hatására keletkezett bélyegek	egyenes karc	85	15
	íves karc	85	15
	mély vájat	90	90
	félhold vájat	95	90
	félhajló lapvégek	95	90
Ütközéssel keletkezett bélyegek	V alakú üténym	75	95
	koptatottsága	2	75
	búbos sarkak	15	20
Poligenetikus bélyegek	párhuzamos törés	95	60
	íves lépcsők	100	65
	törési tömbök	100	100
	kagylós törés	70	80
	egyenes lépcsők	100	90
	abrázios felszín	90	100
Kémiai folyamatok hatására keletkezett bélyegek	rátapadt részecskék	-	60
	relikt mállási felszín	15	5
	oldási üregek	80	95
	kicsapódási jegyek	95	90

sen érdekesek voltak, de a nagyon érdes felszíni topográfia is jellemző volt rájuk. A tisztán glaciális bélyegek közül a leggyakoribbak a törési tömbök, majd a karcok, barázdák és a rátapadt részecskék. Fluviális bélyegek közül jellemzőek voltak a kicsapódási jegyek, a V alakú ütésnyomok és az oldási üregek. Poligenetikus bélyegek csoportjából minden szemcsén tapasztalt egyenes, ívelt lépcsőket és a töréslapokat, párhuzamos, egyenes töréseket, felhajló lapvégeket és kagylós töréseket. A glaciális és eolikus környezet bélyegei közül a félhold és mély vajatok, valamint az abráziós felszín volt jellemző. Nagyon kis arányban reliktt mállási felszínt és búbos sarkokat is talált a szemcséken. A mintából származó gránátszemcsék több mint a fele sarkos, míg a többi szemcsé koptatott vagy jól koptatott volt, nagyon érdes és közepesen érdes felszíni topográfiával rendelkeztek. Tisztán glaciális jegyek közül minden szemcsén megjelentek a törési tömbök, a rátapadt részecskék, míg a karcok és barázdák kevés szemcsé esetében fordultak elő. A tisztán fluviális jegyek közül a V alakú ütésnyomok, az oldási üregek és a kicsapódási jegyek domináltak. A poligenetikus bélyegek közül leggyakoribbak a felhajló lapvégek, az egyenes lépcsők és a kagylós törések, majd az ívelt lépcsők, közel párhuzamos és egyenes törések jelentek meg. A glaciális és eolikus környezethez is kapcsolható bélyegek közül itt is az abráziós felszín, a mély és félhold vajatok domináltak. Kis mennyiségben búbos sarkokat és a reliktt mállási felszínt is észlelt.

Hasonló eredményeket kapott a kvarc- és a gránátszemcsék mikromorfológiai vizsgálatainak összehasonlítása során. Elemzése során azt tapasztalta, hogy a szemcsék többségén a jellemző fluviális bélyegeket (koptatottság, ütésnyomok stb.) felülírták a glaciális bélyegek (sarkosság, érdesebb felszíni topográfia), és ez a fajta sorrendiség segítette őt a többféle környezetre utaló nyomok értelmezésében. Ezután a jobb megértés végett a kapott eredményeket összehasonlította az eggyel idősebb teraszanyag eredményeivel, amiből látszódott, hogy az itt részletesebben bemutatott 6. terasz szemcséi jóval szögletesebbek voltak. A koptatottság csökkenése, a szögletesség növekedése alapján azt a következtetést vont le, hogy megváltozott a szemcsék szállítási módja, azaz egy fluviális környezet előzhetette meg a glaciális, valamint a mikromorfológiai bélyegek glaciofluviális, kis mértékben glaciális eredetűek. Tehát az üledékanyag egy interglaciális végén vagy a Duna-glaciális elején szállíthatott.

Összességében elmondható, hogy Wasser munkájában a gránátok esetében is sikeresen vizsgálta a szemcsék alakját és topográfiáját. Több terasz esetében is éghajlati változásokkal kapcsolatos eltérő szállítási módokra utaló szemcsemorfológiai jellegeket azonosított. Az általa kapott eredményeket több korábbi, ezekből a teraszokból származó kor meghatározási módszer eredményeivel is összevetette, melyek szintén alátámasztották, hogy a teraszok formai kialakulása a késő pliocén – kora pleisztocén glaciálisok idejére tehető. A munka másik fontos eredménye, hogy a gránátnál mutatkozó szerényebb háttérismeret ellenére a mikromorfológiai vizsgálatok eredményei, sőt ezek gyakorisági arányainak változásai is korreláltak a kvarcsemmcsék esetében ta-

pasztaltakkal. Fontos eredmény, hogy az eltérő korú teraszokon felhalmozódott szemcsék közötti szállítási módban mutatkozó különbséget környezeti indikátorként is alkalmazhatjuk a jövőben. Ez esetben a paleoklíma-rekonstrukciót segítő, kiegészítő módszert is kaphatunk, amely például az eolikus bélyegek látványos erősödésével a szárazodásra, a glaciális eredetűnek feltételezett bélyegeknél pedig hűlésre utalhat.

Összegzés

Az eddigi kutatások alapján az eltérő szállítási környezetek a vizsgált szemcséken eltérő bélyegeket és bélyegyütteseket hozhatnak létre, így a mikromorfológiai jegyek az adott üledék szállítási közegének és esetleg több, eltérő üledékszállítási közeg sorrendjének becslésében is támpontot adhatnak. Megemlítendő, hogy a bélyegeket elsősorban az egykori környezeti folyamatok valószínűsítésére, de egyelőre nem biztos azonosítására használhatjuk. A mérési technika elérhető és könnyen alkalmazható, ugyanakkor a morfológiai jegyek számszerűsítése és a belőlük levonható következtetések, továbbá azok értelmezése nagy odafigyelést igényel, ugyanis a módszer további fejlesztéseket igényel.

Jelenleg a mikromorfológiai bélyegek környezetek szerinti besorolása csak igen nagyfokú körültekintéssel végezhető el, mivel egy-egy kevésbé diagnosztikus bélyegtípus többféle környezetben is előfordulhat. Problémát jelenthet az is, hogy a hordalék a mintavételt megelőzően többféle környezetben is szállítható. A korábbi összefoglaló művek alapján (MAHANEY 2002, VOS et al. 2014) az egyes morfológiai bélyegek együttesét érdemes azonosítani, és így következtetni az üledékszállítási környezetre:

– fluviális környezet: koptatott, sima felszínű szemcsék, V alakú ütésnyomok, kicsapódási jegyek, oldási üregek, mállott felszín,

– glaciális – fluviális környezet: közepesen érdes felszín (ahol a szemcsefelszíni, mikroszkopikus skálájú domborzati különbségek közötti, a szemcsefelszínre közel merőleges eltérés [azaz „kiálló vagy bemélyedő” jelleg] jellegzetesen kisebb, mint 1 μm), reliktt mállási felszín, felhajló lapvégek, egyenes és íves lépcsők, kagylós törés, párhuzamos, egyenes törés,

– glaciális környezet: nagyon érdes felszín (ahol a kiemelkedések és süllyedések közötti különbség, a relief jellegzetesen nagyobb, mint 1–2 μm), sarkos szemcsék, törési tömbök, karcok/barázdák, kagylós törés (méret: 1–100 μm), íves karcok,

– glaciális – eolikus környezet: mély vajatok, abráziós felszín, töréslap, felhajló lapvég, rátapadt részecskék,

– eolikus környezet: búbos sarkok, félhold vajatok, jól koptatott szemcsék, kagylós törés (méret <10 μm).

A bélyegek azonosítása részben szubjektív, de ha megfelelő gyakorlattal bír a megfigyelő, a korábbi definíciók és más szerzők által bemutatott fényképek alapján a bélyegek megbízhatóan azonosíthatók. A módszer bizonytalanságá-

nak csökkentése érdekében minél nagyobb mennyiségű mintát kell elemezni, majd ezt összevetni minél több, referenciának tekinthető, ismert környezetből származó, recens üledékek akár többféle ásványtípuson is elvégzett vizsgálati eredményeivel.

Szintén fontos kérdéskör az azonosított bélyegek statisztikai értelmezése. Amint ezt már a „*Mintaelőkészítés és vizsgálati módszerek*” fejezetben már részletesebben tárgyaltuk – Vos et al. 2014 alapján a bélyegeket az egyes minták szemcséin való előfordulási gyakoriságuk alapján csoportosítják négy osztályba. Ezzel a csoportosítással a folyamatot nézve a finom változások (pl. az üledékszállítás típusa és közege hirtelen, vagy rövidebb időre történő megváltozása) nem követhetők le, de a környezet típusokra karakterisztikusak lehetnek. Ugyanakkor további mérések és azok együttes értelmezése szükséges ahhoz, hogy kiderüljön, milyen fajta csoportosítások az optimálisak, és mért paramétereik közül statisztikailag melyek relevánsak.

Több lehetséges probléma merül fel a módszerrel kapcsolatban, amelyek megoldása elengedhetetlen ahhoz, hogy növekedjen a technika megbízhatósága. Problémát jelenthet a szemcsék előtörténete, azaz hogy az adott szemcse több környezetben is szállíthatott korábban, mivel akár több környezetre utaló morfológia is lehet rajta. Fontos témakör még a szállítási idő kérdése, hogy egy adott környezetben mennyit tartózkodott és szállítódott a szemcse. Ha egy adott környezetben nem szállítódott elég ideig, akkor a korábban keletkezett bélyegek is megmaradhatnak. Illetve nem feltétlenül dominálnak egy szemcsén azok a bélyegek, amelyek jellemzőek arra a környezetre, melyben utoljára szállítódott. Problémát jelenthet, ha a szemcsén csak poligenetikus bélyegeket [pl. kagylós törés (glaciális, eolikus, litorális), abrázios felszín (víz, jég, szél), hasadási felület (glaciális, eolikus)] észlelünk, mivel ez alapján csak több lehetséges üledékszálítási módra lehet következtetéseket levonni. Ez a probléma megkerülhető, ha laboratóriumi kísérletek során az adott üledékszálítási környezet rekonstruálása előtörténettel nem rendelkező homok koptatásával zajlik, amivel az adott környezethez tartozó morfológiákat pontosítani lehet, vagy az egyes bélyegek élettartamát lehet vizsgálni. Jelenlegi tudásunk alapján például az eolikus eredetű mikromorfológia előfordulása esetében az adott szemcse valamennyi ideig szárazra került és eolikus szállítást szenvedett – de további vizsgálatok és esettanulmányok kellene ahhoz, hogy lássuk, ez jellegzetesen milyen fajta, milyen lezajlású környezeti változásokkal esik egybe a gyakorlatban. Például eltérő környezeti változásokat jelent, ha időszakosan átmenetileg szárazra került az ártér, és ott eolikus mozogott a szemcse, vagy több millió éven át szél okozta szállítás zajlott az elsvatagosodó környezetben.

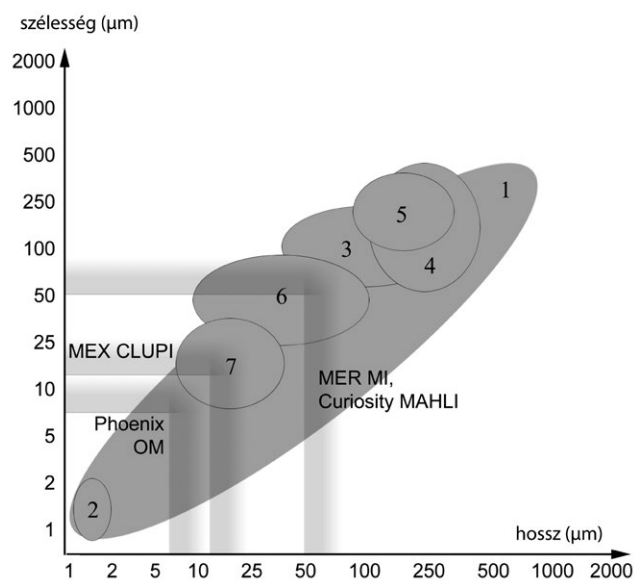
Az egyes bélyegek élettartamára vonatkozó vizsgálat ez ideig nem készült, pedig ez is befolyásolja az értelmezést. Izgalmas kérdés, hogy pl. meddig maradnak meg a glaciális folyamatokat tükröző bélyegek egy folyóvízbe kerülő szemcsén. Érdekes a bélyegek élettartamát is jobban megismerni, például egyéb független módszerekkel (pl. kormeghatá-

rozás) kiegészítve a vizsgálatokat. Így már plusz információt nyújthat a környezetek sorrendiségének felállításában is.

További fejlesztési irány, ha más klímarekonstrukciók közelítésekkel együtt értelmezzük az ezzel a módszerrel kapott eredményeket. Valamint a nem kvarc anyagú szemcsékre (pl. nehézasványok, kőzetüveg, különböző kőzetfajták) is jobban kidolgozni és így továbbfejleszteni a technikát. Ebben az esetben az ismert lerakódási környezetből származó, recens üledékmintákból gyűjtött kvarc szemcsék morfológiája jó összehasonlítási alapot jelenthet más anyagú szemcsék eredményeivel.

A módszer alkalmazásával fontos információkat kaphatunk nemcsak a Földön, de akár más égitesten végbemenő szemcseszálítási folyamatokról is. Így a szemcseszálítási bélyegek megismerésének és alkalmazásának következő terépe első lépésben a Mars lehet, mivel ott eolikus, fluvialis és glaciális jellegű nyomok, és várhatóan így szállított szemcsék is vannak. Az oda küldött felszíni robotok a szemcsék elemzésével elméletileg fontos támpontokat adhatnak a környezet rekonstrukciójához. Mivel a vörös bolygó felszíne főleg bazaltos összetételű, a kvarc szemcsék ritka előfordulása miatt érdemes bazaltszemcséket vagy mafikus ásványszemcséket is elemezni. Az ilyen összetételű szemcsékre korábban kevés vizsgálatot végeztek a fentebb említett módszerrel, így első lépésként meg kell vizsgálni, hogy mennyire egyeztetethetők össze a kvarcon azonosított mikromorfológiai jellemzők a bazaltban előforduló ásványszemcséken megfigyelhető bélyegekkel, mennyire jönnek létre rajtuk azokhoz hasonló formák.

A várható megfigyelések becslése nehéz, de mégis hasz-



6. ábra. Az Azori-szigetektől gyűjtött és elemzett bazaltos szemcséken azonosított morfológiai bélyegek mérete, és négy Mars-szonda optikai műszerének felbontóképessége: Mars Exploration Rover mikroszkóp (MI), Curiosity rover MAHLI kamera, Mars Express rover CLUPI kamera, Phoenix-szonda optikai mikroszkóp (OM) (KAPUJ et al. 2021)

Figure 6. Size of microscopic surface features on basaltic grains collected at Azores Island and spatial resolution of four optical instruments on Mars missions: Mars Exploration Rover microscope (MI), Curiosity rover MAHLI camera, Mars Express rover CLUPI camera, Phoenix-lander optical microscope (OM) (KAPUJ et al. 2021)

nos lehet a módszer alkalmazása, ha pl. csak az alakzatok méretét vesszük figyelembe, amiről a 6. ábra ad némi áttekintést. Ezen az ábrán az Azori-szigetéről gyűjtött, vulkanikus bazaltszemcsék esetében kapott eredmények látszanak. Ez csak egy példa, amely mutatja, hogy a kérdéses mintán mutatkozó jellegzetes alakzatok méretüket tekintve hogyan viszonyulnak három eddigi Mars-szonda fedélzetén alkalmazott optikai műszerek felbontóképességéhez. Az alábbi azonosított alakzatok mutatkoztak a szemcséken: 1. kicsapódási jegyek, 2. oldódási üregek, 3. kráterek, 4. lépcsők, 5. búbos sarkok, 6. kagylós törések, 7. legyező alakú ütésnyomok. Noha csak a felbontást tekintve sok ilyen alakzat már eddig is kimutatható lehetett volna, a valódi megfigyelést azonban a megvilágítási és rálátási geometriai viszonyok is jelentősen befolyásolhatják – de az sejthető, hogy a módszer perspektivikus.

Összességében elmondható, hogy a szemcefelszíni mikromorfológiai bélyegek elemzése támpontot adhat az

adott üledék szállítási módjának és közegének, valamint képződéstörténetének megismeréséhez. A módszer alkalmazása az őskörnyezeti értelmezésben főleg azokban az esetekben juthat jelentős szerephez, amikor üledékes kifejlődés értelmezésre rossz feltárási viszonyok, illetve kis mintamennyiség (pl. kőzetmagok) miatt nehézkes. Ezen túlmenően a módszer egy újfajta, egyéb megfigyelésektől részben független kapcsolódási lehetőséget teremt a végső lerakódási környezetet jelző üledékes kifejlődés, valamint az üledék forrásterületének rekonstrukciója között, mivel segít feldebríteni az üledékszállítás során fellépő folyamatokat is.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát a COOP_NN_116927 program, valamint a GINOP-2.3.2-15-2016-00003 projekt támogatta.

Irodalom – References

- ALEKSEEVA, V. A. 2005: Micromorphology of Quartz Grain Surface as Indicator of Glacial Sedimentation Conditions: Evidence from the Protva River Basin. – *Lithology and Mineral Resources* **40**, 420–428. <https://doi.org/10.1007/s10987-005-0040-x>
- BIEDERMAN, E. W. 1962: Distinction of shoreline environments in New Jersey. – *Journal of Sedimentary Petrology* **32/2**, 181–200. <https://doi.org/10.1306/74d70c72-2b21-11d7-8648000102c1865d>
- BOND, G. 1954: Surface textures of sand grains from the Victoria Falls area. – *Journal of Sedimentary Petrology* **24**, 191–195. <https://doi.org/10.1306/D4269788-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- BORSY Z. 1965: Görgetettségi vizsgálatok a magyarországi futóhomokon. – *Földrajzi Értésítő* **14**, 1–16.
- BORSY Z. 1974: Folyóvízi homok vagy futóhomok? (A homokszemcsék vizsgálatának értékelése, problémái). – *Földrajzi Közlemények* 1–13.
- BORSY Z., FÉLSZERFALVI J. & LÓKI J. 1982: A jánoshalmi MÁFI alapfúrás homoküledékeinek elektromikroszkópos vizsgálata. – *Acta Geographica Debrecina* **20**, 35–50.
- BORSY Z., FÉLSZERFALVI J. & LÓKI J. 1983: A komádi alapfúrás negyedidőszaki homoküledékeinek elektromikroszkópos vizsgálata. – *Alföldi Tanulmányok* **7**, 31–58.
- BORSY, Z., FÉLSZERFALVI, J. & LÓKI, J. 1984: Electron microscopic investigation of the sand material from the loess exposure at Paks. – Pécsi M. (ed.): *Lithology and Stratigraphy of Loess and Paleosols*, Budapest, 71–86.
- BORSY Z., FÉLSZERFALVI J. & LÓKI J. 1985: A Tótkomlós III./P. jelű magfúrás homoküledékeinek elektronmikroszkópos vizsgálata. – *Acta Geographica Debrecina* **22**, 47–63.
- CAMPBELL, D. H. 1963: Percussion marks on quartz grains. – *Journal of Sedimentary Research*, **33/4**, 855–859. <https://doi.org/10.1306/74d70f60-2b21-11d7-8648000102c1865d>
- CORNWALL, C., BANDFIELD, J. L., TITUS, T. N., SCHREIBER, B. C. & MONTGOMERY, D. R. 2015: Physical abrasion of mafic minerals and basalt grains: Application to martian aeolian deposits. – *Icarus*, **256**, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2015.04.020>
- DÁVID P. 1955: A Duna–Tisza közí futóhomok koptatottsága. – *Pályamunka*, Szeged, Földtani Intézet (Kézirat), 1–61.
- HIGGS, R. 1979: Quartz-grain surface features of Mesozoic–Cenozoic sands from the Labrador and western Greenland continental margins. – *Journal of Sedimentary Petrology* **49/2**, 599–610. <https://doi.org/10.1306/212f779d-2b24-11d7-8648000102c1865d>
- IMMONEN, N. 2013: Surface microtextures of ice-rafted quartz grains revealing glacial ice in the Cenozoic Arctic. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **374**, 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.02.003>
- IMMONEN, N., STRAND, K., HUUSKO, A. & LUNKKA, J. 2014: Imprint of late Pleistocene continental processes visible in ice-rafted grains from the central Arctic Ocean. – *Quaternary Science Reviews* **92**, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.01.008>
- KAPUI ZS., KERESZTURI A., JÓZSA S., KIRÁLY CS. & SZALAI Z. 2021: Analysis of surface morphology of basaltic grains as environmental indicators for Mars. – *Planetary and Space Science* **208**, 105338. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2021.105338>
- KIRÁLY CS., SZALAI Z., VARGA GY. & FALUS GY. 2019: Homokkő szemcseméret- és szemcsealak-elemzése vékonycsiszolatokból Morphologi G3ID-vel. – *Földtani Közlemény* **149/1**, 25–34. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2019.149.1.25>
- KRINSLEY, D. & DONAHUE, J. 1968: Environmental interpretation of sand grain surface textures by electron microscopy. – *Geological Society of America* **79/6**, 743–748. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1968\)79\[743:eiosgs\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1968)79[743:eiosgs]2.0.co;2)
- KRINSLEY, D. & DOORNKAMP, J. C. 1973: Atlas of Sand Grain Surface Textures. – *Cambridge University Press*, Cambridge, 1–256.
- KRINSLEY, D. H., FRIEND, P. F. & KLIMENTIDIS, R. 1976: Eolian transport textures on the surfaces of sand grains of Early Triassic age. – *Geological Society of America Bulletin* **87**, 130–132. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1976\)87<130:ettots>2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1976)87<130:ettots>2.0.co;2)

- KRINSLEY, D. & MARGOLIS, S. 1969: A study of quartz sand grain surface textures with the scanning electron microscope. – *Transactions of the New York Academy of Sciences* **31**, 457–477. <https://doi.org/10.1111/j.2164-0947.1969.tb02929.x>
- KRINSLEY, D. H. & MARGOLIS, S. V. 1971: Grain surface texture. – IN: CARVER, R. E. (ed.): *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley–Interscience, New York, 151–180.
- KRINSLEY, D. & TAKAHASHI, T. 1962a: The surface textures of sand grains, an application of electron microscopy. – *Science* **135**, 923–925. <https://doi.org/10.1126/science.135.3507.923>
- KRINSLEY, D. & TAKAHASHI, T. 1962b: The surface textures of sand grains, an application of electron microscopy: Glaciation. – *Science* **138**, 1262–1264. <https://doi.org/10.1126/science.138.3546.1262>
- KRINSLEY, D. & TAKAHASHI, T. 1962c: Applications of electron microscopy to geology. – *New York Academic of Sciences* **25**, 3–22. <https://doi.org/10.1111/j.2164-0947.1962.tb03509.x>
- KŘÍŽEK, M., KRBCOVÁ, K., MIDA, P. & HANÁČEK, M. 2017: Micromorphological changes as an indicator of the transition from glacial to glaciofluvial quartz grains: Evidence from Svalbard. – *Sedimentary Geology* **358**, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.06.010>
- KRUMBEIN, W. C. & PETTJOHN, F. J. 1938: *Manual of Sedimentary Petrography*. – Appleton Century – Crofts, New York, 1–549.
- LE RIBAUT, L. 1977: *L'exoscopie des quartz*. – Editions Masson, Paris, 1–150.
- MADHAVARAJU, J., GARCÍA Y BARRAGAN, J. C., HUSSAIN, S. M. & MOHAN, S. P. 2009: Microtextures on quartz grains in the beach sediments of Puerto Peñasco and Bahia Kino, Gulf of California, Sonora, Mexico. – *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* **26/2**, 367–379.
- MAHANEY, W. C. 1991: Microtextures on Quartz and gold grains transported by glaciers. – *Gisements alluviaux d'or*, La Paz: OSTROM, 06.01–07–05; 315–323.
- MAHANEY, W. C. 2002: Atlas of Sand Grain Surface Textures and Applications. – *Oxford University Press* 26–68, 187–199.
- MAHANEY, W. C., CLARIDGE, G. & CAMPBELL, I. 1996: Microtextures on quartz grains in tills from Antarctica. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **121**, 89–103. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(95\)00069-0](https://doi.org/10.1016/0031-0182(95)00069-0)
- MAHANEY, W. C. & KALM, V. 2008: Comparative scanning electron microscopy study of oriented till blocks, glacial grains and Devonian sands in Estonia and Latvia. – *Boreas* **29/1**, 33–51. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2000.tb01199.x>
- MAHANEY, W. C., STEWART, A. & KALM, V. 2001: Quantification of SEM microtextures useful in sedimentary environmental discrimination. – *Boreas* **30**, 165–171. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2001.tb01220.x>
- MALLIK, T. K. 1986: Micromorphology of some placer minerals from Kerala Beach, India. – *Marine Geology* **71**, 371–381. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(86\)90079-4](https://doi.org/10.1016/0025-3227(86)90079-4)
- MARGOLIS, S. V. & KRINSLEY, D. H. 1974: Processes of formation and environmental occurrence of microfeatures on detrital quartz grains. – *American Journal of Science* **274**, 449–464. <https://doi.org/10.2475/ajs.274.5.449>
- MIHÁLTZ I. & UNGÁR T. 1954: Folyóvízi és szélfújta homok megkülönböztetése. – *Földtani Közlöny* **84/1–2**, 8–17.
- MIKES T. 2003: A külső-dinári eocén flis lehordási területének mikromineralógiai vizsgálata. – *Diplomamunka, ELTE TTK Kézzetani és Geokémiai Tanszék*, Budapest.
- MOLNÁR B., FÉNYES J., KUTI L. & NOVOSZÁTH L. 1988: A hagyományos és pásztázó elektronmikroszkópos szemcsealak-vizsgálati módszerek eredményeinek összehasonlítása. – *Földtani Közlöny* **118/1**, 27–48.
- MORAL CARDONA, J. P., GUITÉRRIZ MAS, J. M., SÁNCHEZ, BELLÓN A., DOMÍNGUEZ-BELLA, S. & MARTÍNEZ LÓPEZ, J. 2005: Surface textures of heavy-mineral grains: a new contribution to provenance studies. – *Sedimentary Geology* **173/3–4**, 223–235. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.12.006>
- MORTON, A. C. 1979: Surface features of heavy mineral grains from Palaeocene sands of the Central North Sea. – *Scottish Journal of Geology* **15/4**, 293–300. <https://doi.org/10.1144/sjg15040293>
- PAN, B., PANG, H., GAO, H., GARZANTI, E., ZOU, Y., LIU, X., LI, F. & JIA, Y. 2016: Heavy-mineral analysis and provenance of Yellow River sediments around the China Loess Plateau. – *Journal of Asian Earth Sciences* **127**, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2016.06.006>
- PETERKNECHT, K. M. & TIETZ, G. F. 2011: Chattermark trails: surface features on detrital quartz grains indicative of a tropical climate. – *Journal of Sedimentary Research* **81**, 153–158. <https://doi.org/10.2110/jsr.2011.9>
- PITTMAN, E. D. 1972: Diagenesis of quartz in sandstones as revealed by scanning electron microscopy. – *Journal of Sedimentary Petrology* **42/3**, 507–519. <https://doi.org/10.1306/74d725a4-2b21-11d7-8648000102c1865d>
- POLGÁRI M. 1982: A Maros- és a Körös-hordalék gránátjainak pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálata a hordalékkúpok kijelölése céljából. – *Földtani Közlöny* **112/2**, 143–160.
- RAHMANI, B. A. 1973: Grain surface etching features of some heavy minerals. – *Journal of Sedimentary Research* **43/3**, 882–888. <https://doi.org/10.1306/74d728a6-2b21-11d7-8648000102c1865d>
- SETLOW, L. W. & KARPOVICH, R. P. 1972: „Glacial” microtextures on quartz and heavy mineral sand grains from the littoral environments. – *Journal of Sedimentary Research* **42/4**, 864–875. <https://doi.org/10.1306/74d7265d-2b21-11d7-8648000102c1865d>
- SOCHAN, A., ZIELINSKI, P. & BIEGANOWSKI, A. 2015: Selection of shape parameters that differentiate sand grains, based on the automatic analysis of two-dimensional images. – *Sedimentary Geology* **327**, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.07.007>
- SORBY, H. C. 1880: On the structure and origin of non-calcareous stratified rocks. – *The Quarterly Journal of the Geological Society of London* **36**, 46–92.
- STEVIC, M. 2015: Identification and environmental interpretation of microtextures on quartz grains from aeolian sediments: Brattforsleden and Vittskövle, Sweden. – *Disszertáció, Lund University – Department of Geology*, Lund, Sweden, p. 12–13.
- SWEET, D. E. & BRANNAN, D. 2016: Proportion of glacially to fluvially induced quartz grain microtextures along the Chitina River, SE Alaska, USA. – *Journal of Sedimentary Research* **86/7**, 749–761. <https://doi.org/10.2110/jsr.2016.49>

- SWEET, D. E. & SOREGHAN, G. S. 2010: Application of quartz sand microtextural analysis to infer cold-climate weathering for the equatorial Fountain Formation (Pennsylvanian – Permian, Colorado, USA). – *Journal of Sedimentary Research* **80/7**, 666–667. <https://doi.org/10.2110/jsr.2010.061>
- SZABÓ B. 2018: Kvarcmikromorfológiai vizsgálatok a Rotmoos-gleccsertől Soltig. – *Diplomamunka, ELTE, TTK, Kőzettan–Geokémiai Tanszék*, Budapest.
- SZAKMÁNY GY. 2001: *Mikromineralógia*. – Oktatási segédanyag, ELTE TTK Kőzettani és Geokémiai Tanszék, Budapest.
- VELBEL, M. A. 1984: Natural weathering mechanisms of almandine garnet. – *Geology* **12/10**, 631–634. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1984\)12<631:nwmoag>2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1984)12<631:nwmoag>2.0.co;2)
- VELBEL, M. A. 2007: Surface textures and dissolution processes of heavy minerals in the sedimentary cycle: examples from pyroxenes and amphiboles. – Pp. 113150 in: Heavy Minerals in Use (M.A. MANGE and D.T. WRIGHT, editors). *Developments in Sedimentology*, 58, Elsevier, New York. [http://doi:10.1016/S0070-4571\(07\)58004-0](http://doi:10.1016/S0070-4571(07)58004-0)
- VELBEL, M. A., MCGUIRE, J. T. & MADDEN A. S. 2007: Scanning Electron Microscopy of Garnet from Southern Michigan Soils: Etching Rates and Inheritance of Pre-Glacial and Pre-Pedogenic Grain-Surface Textures. – *Developments in Sedimentology* **58**, 413–432. [https://doi.org/10.1016/s0070-4571\(07\)58015-5](https://doi.org/10.1016/s0070-4571(07)58015-5)
- VOS, K., VANDENBERGHE, N. & ELSEN, J. 2014: Surface textural analysis of quartz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation. – *Earth Science Reviews* **128**, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.10.013>
- WASSER P. 2019: Kvarc- és gránátmikromorfológiai vizsgálatok a Duna-teraszok sziliciklasztos anyagán. – *Diplomamunka, ELTE, TTK Kőzettan–Geokémiai Tanszék*, Budapest.
- WORONKO, B. 2016: Frost weathering versus glacial grinding in the micromorphology of quartz sand grains: Processes and geological implications. – *Sedimentary Geology* **335**, 103–119. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.01.021>
- XIA, W. 2017: Role of particle shape in the floatability of mineral particle: An overview of recent advances. – *Powder Technology* **317**, 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.04.050>

Kézirat beérkezett: 2021. 06. 21.

Rediscovery of a classic Middle Triassic fossil site of the Balaton Highland (Transdanubian Range, Hungary): cephalopods, brachiopods and vertebrate remains from the Akol Hill at Barnag

VÖRÖS, Attila¹, BUDAI, Tamás², MAKÁDI, László^{3,*}, BERCSÉNYI, Miklós⁴, FÖLDEVÁRI, Gabriella⁵, PINTÉR, Zsolt⁶, SZABÓ, Márton^{7,8}

¹MTA-MTM-ELTE Research Group for Paleontology, Budapest; ²Department of Geology and Meteorology, University of Pécs; ³Supervisory Authority of Regulatory Affairs, Geological Directorate, Budapest; ⁴Nyúl, Veres Péter út 37.; ⁵Kővágóórs, Kossuth u. 44.; ⁶Forrás Waldorf Iskola, Győr; ⁷Hungarian Natural History Museum, Department of Palaeontology and Geology, Budapest; ⁸Eötvös Loránd University, Department of Palaeontology, Budapest; *corresponding author: laszlo.makadi @sztfh.hu

A Balaton-felvidék egyik klasszikus középső triász ősmaradvány-lelőhelyének újrazvizsgálata: a barnagi Akol-domb cephalopoda-, brachiopoda- és gerinces faunája

Összefoglalás

A jelen cikk a Balaton-felvidék talán legrégebb óta ismert, ugyanakkor eddig részletes feldolgozás nélkül maradt középső triász ősmaradvány-lelőhelyének ammonitesz-, brachiopoda- és gerinces faunáját ismerteti, kitérve annak rétegtani és ökoszisztémái jelentőségére is.

A barnagi Akol-domb (1. és 2. ábra) a Balaton-felvidék klasszikus ősmaradvány-lelőhelye, amely Böckh Jánosnak, a Bakony úttörő földtani térképezőjének az 1870-es években végzett felvételezése idején már évek óta ismert volt. A „nagyvászsonyi lelőhely” Mojsisovics klasszikus munkáiban is szerepel, több ammonitesz-fajt innen írt le először. Lóczy monográfiájában szintén tett említést a lelőhelyről, és az addig gyűjtött faunát is közölte. Ezt követően a lelőhelyről újabb őslénytani adatok csak szórványosan kerültek elő, részben a Bakony, részben a Balaton-felvidék földtani térképezéséhez kapcsolódóan. Az elmúlt években zajló gyűjtések során azonban olyan új és gazdag cephalopoda-, brachiopoda- és gerinces fauna került elő a terület anisusi rétegsorából, amelynek vizsgálata alapján több szempontból is árnyaltabb kép rajzolható a terület középső triász ökoszisztémái viszonyairól.

Az Akol-dombon és környékén a felszínre bukkanó legidősebb triász képződmény az alsó anisusi Megyehegyi Dolomit (2. és 3. ábra), amelyben viszonylag gyakoriak a krinoidea váztöredékek (4. ábra, a). Fölötte 1–2 méter vastag, világosszürke mészkő következik, amelyre jellemzőek a bekérgezett szemcsék, de elvétve brachiopoda és apró ammonitesz is előfordul benne (4. ábra, b). Ez a sekélytengeri platform fáciesű Tagyoni Formáció, amely a Balaton-felvidék középső anisusi medence kifejlődését, a Felsőörsi Mészkövet helyettesíti heteropikusan (1. ábra). A formáció azonban lényegesen vékonyabb az Akol-domb környékén (Barnagi-platform), mint a Balaton-felvidék középső részén (Tagyoni-platform), illetve a Veszprémi-fennsíkon (Kádártai-platform), ahol vastagsága eléri a 80–100 métert is.

A Tagyoni Formáció fölött települ a Vászolyi Formáció 2–3 méter vastag, biogén mészkőből álló rétegsora (4. ábra, c–d), ebből került elő a cikk tárgyát képező szokatlanul gazdag ősmaradvány-együttes. Az árkolásban feltárt rétegsor alsó két padját lilás szürke, kemény mészkő alkotja, fölötte vörös, sárgafoltos, gumós mészkő következik alsó szakaszán fekete vasas-mangános bevonatú ősmaradványokkal. A fauna döntő részét ammoniteszek alkotják, amelyek kőzetalkotó mennyiségben jelennek meg. A megtartási állapotra jellemző, hogy a túlnyomó részben héjas példányok egyik oldala részben vagy teljesen visszaoldott, ami lassú, kondenzált üledékképződésre utal. A példányok jelentős része töredékesen ágyazódott be, ami felveti az áthalmazódás lehetőségét. A fauna jellegzetes elemei (pl. *Proavites hueffeli*, *Beyrichites cadoricus*) (1. tábla) a pelsoi Balatonicus Zóna felsőbb részéből ismertek. A legnagyobb példányszámban, és legjobb megtartási állapotban az illyri Trinodosus Zóna legfőbb szubzónáját igazoló *Lardaroceras*-fajok (II. tábla 5–8; III. tábla) kerültek elő. A számos *Kellnerites* példány (IV. tábla) a Reitzi Zóna jelenlétét bizonyítja. A Barnagi-platform megfulladása tehát már a pelsoi korszak során bekövetkezett (Balatonicus Zóna). A Balaton-felvidéki középső anisusi platformokon települő legidősebb medencefáciesű üledékek korábbi biosztratigráfiai vizsgálatai szerint ugyanakkor a Tagyoni- és a Kádártai-platform ebben az időben még aktívan épült, megfulladásuk csak később, az illyri közepén következett be (Trinodosus Zóna, Camunum szubzóna).

A barnagi Akol-dombon az ammoniteszek mellett nautiloideák, brachiopodák (VII. tábla), elvétve csigák és gerinces maradványok fordulnak elő. Utóbbiak között (VIII. tábla) vannak halmaradványok: egy Hybodontoida úszótövis, egy *Polyacrodus* sp., valamint egy közelebről meg nem határozható cápa fog, továbbá *Birgeria* sp. fogmaradványa. Ezek megtartása és kis száma, valamint az e taxonokkal kapcsolatos ismeretek hiányosságai nem teszik lehetővé ökoszisztémái következtetések levonását. Ugyanakkor tengeri hiüllök maradványai is előkerültek, négy Ichthyosauria-csigolya, egy szintén halgyíktól származó fogtöredék és egy bordatöredék. A csigolyák közül egy háti csigolya cf. *Cymbospondylus* sp.-ként

sorolható be – a diapophysis helyzete és alakja alapján, míg a másik három feltételesen sorolható a középső triászban gyakori Cymbospondyliidae családba. A csigolyák legalább két, körülbelül 3,3 m illetve 4,5 m testhosszúságú egyedtől származhatnak, míg a fogtöredék egy akár ennél is nagyobb példánytól. A Cymbospondyliidae-család tagjai világszerte elterjedtek voltak az anisusiban és a ladinban, előfordulásuk a Balaton-felvidéki tengeralatti hátságok környékén egyáltalán nem meglepő, ugyanakkor a család első hazai előfordulását jelentik.

Kulcsszavak: középső triász platform, cephelopodák, brachiopodák, tengeri hüllők, halak

Abstract

Recent collecting of the classic Middle Anisian site of the Akol Hill at Barnag (Nagyvázsony Plateau, Balaton Highland) yielded abundant fossils and significant new palaeontological data. The Middle Anisian platform carbonate succession (Tagyon Formation) is overlain by 2–3 m thick red, nodular, crinoidal limestone (Vászoly Formation) that contains a very rich fossil assemblage with ammonoids, nautiloids and brachiopods. The ammonoid fauna of the lower thin limestone bed above the Tagyon Formation contains elements reworked from the Balatonicus Zone. The overlying beds contain a rich early Illyrian ammonoid fauna which is more diverse than the equivalent faunas of the Tagyon and Kádárta Platforms. The ammonites of the Balatonicus Zone in the basal part of the Vászoly Formation prove that the drowning of the Barnag Platform occurred already during the Pelsonian, earlier than in the case of the Tagyon and the Kádárta Platforms where the oldest deeper marine sediments above the drowning surface are mid-Illyrian (Camunum Subzone of the Trinodosus Zone).

Some vertebrate fossils were also found in the Vászoly Formation. Besides ichthyosaurian remains, such as four vertebrae, a piece of a rib and a tooth crown fragment, as well as fish remains have been found. This locality provided the first known occurrence of the ichthyosaur *Cymbospondylus* in the Middle Triassic of the Balaton Highland. This predatory marine reptile probably dwelled mostly in deep marine environments but also might have been well adapted for hunting in shallow environments of submarine highs.

Keywords: Middle Triassic platform, cephalopods, brachiopods, marine reptiles, fishes

Introduction

The Middle Triassic ammonoid fauna of the Akol Hill, north of Barnag is one of the oldest known fossil sites of the Balaton Highland. The first brief palaeontological review of the ammonite fauna at “Vaszony” was given by HAUER (1866). The stratigraphic succession and the collected fossil-assemblage of the “Nagy-Vázsony” site was published later by BÖCKH (1872, pp. 78–79) during the first detailed geological mapping project of the South Bakony. He already identified that the fossiliferous red yellow-spotted limestone succession, which was exposed in small abandoned quarries at that time, is underlain by dolomite (“megyehegy dolomite”) and is overlain by red cherty nodular limestone (“Tridentinus limestone” = Buchenstein Formation, in modern terms). MOJSISOVICS (1882) described and illustrated several ammonite species from the Nagyvázsony site. LÓCZY (1913, p. 93) mentioned this site as Kiserdőhegy at Magyarbarnag in his monograph and gave a list of the collected brachiopods and ammonoids. BÖCKH and LÓCZY classified this ammonite-bearing “barnag limestone” as “alpine Muschelkalk” of the Balaton Highland (=Felsőors Formation, in modern terms); however, they noted the lithological differences between the two lithofacies.

The next period of investigation of the area was related to uranium exploration in the Balaton Highland in the late 1960s. Trenches were excavated and boreholes were drilled to obtain more information about the Triassic succession. SZABÓ (1971) briefly described what he called “ammonitico rosso”-type Upper Anisian limestone of the Barnag area and correlated it with the strongly condensed “Bulog limestone” of Hydra Island in Greek. Later, these data were taken into

account in the geological mapping project of the Bakony Mountains. The Middle Triassic formations of the Nagyvázsony area were described by SZABÓ based on artificial trenches and the cores of Nagyvázsony Nv–11 and Barnag Bg–1 (SOLTI & SZABÓ 1975).

During the most recent detailed mapping project of the Balaton Highland, the Nagyvázsony area was revisited. The geological profile of the Akol Hill was presented by BUDAI & CSILLAG (1998) while the collected poor ammonoid fauna was inventoried by VÖRÖS (1998). Based on the stratigraphic and sedimentologic studies of the different Middle Anisian lithofacies of the Balaton Highland, the Akol Hill area was interpreted as a part of an isolated platform (earlier it was named as Vöröstó Platform, here it is referred to as the Barnag Platform, *Figure 1, b*) that was formed by extensional tectonics in the Pelsonian and later was drowned during the Late Anisian (VÖRÖS et al. 1997, BUDAI et al. 1999b, BUDAI & VÖRÖS 2006).

During the last two years, a new exploration was performed at the Akol Hill by amateur collectors (co-authors of this paper), and a well-preserved, abundant and highly diverse ammonoid assemblage was collected, containing also previously unknown forms, together with vertebrate fossils. In this paper we present these new palaeontological results together with some considerations on the platform evolution.

Geological setting

The Barnag area is situated on the Nagyvázsony Plateau that belongs to the northern part of the Balaton Highland (*Figure 1, a*). The Balaton Highland forms the south-eastern

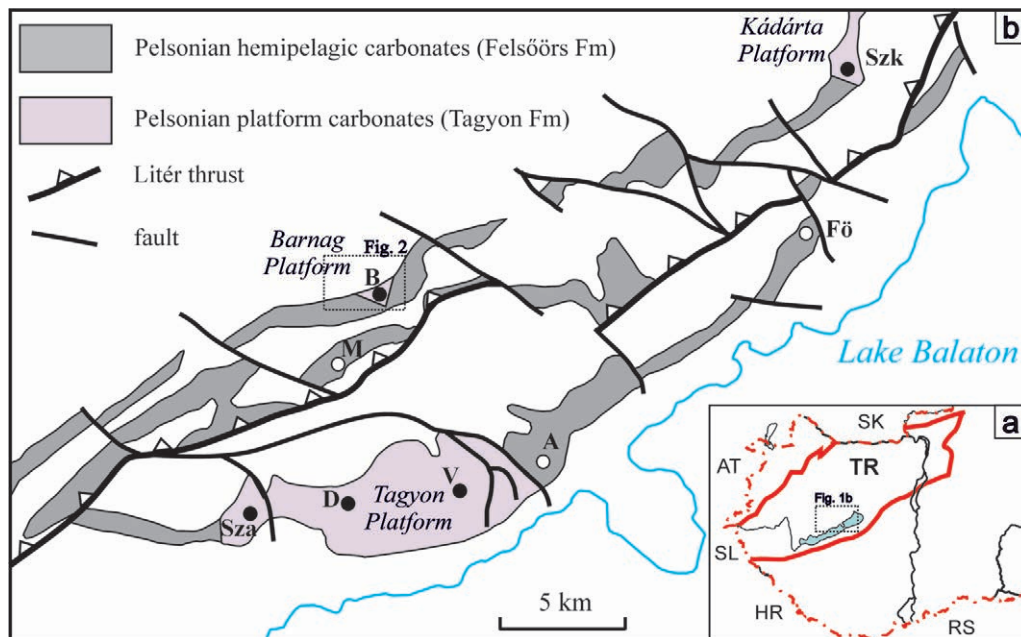


Figure 1. a) Position of the geological map (b) in the Transdanubian Range Unit (TR); b) Areal extent of the Middle Anisian–Ladinian formations of the Balaton Highland, distinguishing the areas where the Middle Anisian is represented by shallow marine platform carbonates (Pelsonian platforms) and/or hemipelagic basinal carbonates (after BUDAI & VÖRÖS 2006). Rectangle shows the position of the geological map of Figure 2. A – Aszófő, Pelsonian stratotype section; B – Barnag, Akol Hill; D – Dörgicse, Drt-1 drill core; Fő – Felsőörs, stratotype section; M – Mencshely, Cser Hill; Sza – Szentantalfa; Szk – Szentkirályszabadja, military airport; V – Vászoly, Óreg Hill

I. ábra. a. Az 1b. ábrán szereplő földtani térkép helyzete a Dunántúli-középhegységi-egység (TR) területén. b. A középső anisusi – ladin képződmények elterjedése a Balaton-felvidéken, eltérő színnel jelezve azokat a területeket, ahol a középső anisusi rétegsort platform-karbonát (pelsoi platformok), illetve medencekifejlődés alkotja (BUDAI & VÖRÖS 2006 nyomán). A pontozott vonalú négyyszög a 2. ábrán szereplő földtani térkép helyzetét mutatja

limb of the SW–NE oriented syncline structure of the Transdanubian Range where the most significant compressional Alpine structure is the Litér thrust (Figure 1, b).

The Nagyvázsöny Plateau is situated north of the Litér thrust (Figure 1, b) where the Triassic rocks crop out in relatively small patches from below Upper Miocene lacustrine sediments and Quaternary deposits (Figure 2). The area is very poorly exposed but some small artificial pits and trenches allow the Triassic succession to be studied. The general dip of the Triassic formations is about 20° to the W–NW.

Two facies types are distinguished in the Middle Anisian succession of the Nagyvázsöny–Barnag area (Figure 1, b). In the major part of the area hemipelagic basinal succession of the Felsőörs Limestone occurs, which was penetrated by several boreholes at Nagyvázsöny (Nv–9) and between Vöröstó and Barnag (Vöt–1, Vöt–2 and Vöt–8;), close to the southern edge of the map (Figure 2). In this area of the Nagyvázsöny Plateau the Felsőörs Formation crops out at the Cser Hill (Cser-tető), between Mencshely and Nagyvázsöny (site M in Figure 1, b), where it has previously been studied in detail (BUDAI et al. 1991, VÖRÖS & BUDAI 1993, VÖRÖS 1998, VÖRÖS et al. 2003, VÖRÖS 2018). The thickness of the formation reaches 20–30 m.

North of Barnag, at the Akol Hill and in its surroundings (site B in Figure 1, b), the Felsőörs Formation is missing (Figure 2). Here, the Middle Anisian succession consists of the shallow marine carbonate sequence of the Tagyon

Formation. Combination of our field observations at the Akol Hill and drill core data made the reconstruction of the stratigraphic column of the area possible (Figure 3). Based on the geological description (SOLTI & SZABÓ 1975), the site of the Nagyvázsöny Nv–11 borehole that penetrated the Lower Anisian–Ladinian succession was near Alsócsepel, whereas the Barnag Bg–1 borehole was drilled at the west side of the Akol Hill (Figure 2).

The lowermost part of the Middle Triassic succession of the Akol Hill is represented by a thin-bedded, slightly bituminous grey dolomite (Megyehegy Dolomite – mT) containing a few crinoid fragments (Figure 4, a). It is overlain by a 1–2 m-thick limestone, which contains microbially coated grains and a shallow marine microfossil assemblage. Minute brachiopods and embryonic ammonites also occur scarcely. A characteristic bioclastic, oncoidal boundstone microfacies type is displayed in Figure 4, b. Based on the sedimentary features and the *Dasycladalea* flora near Tótvázsony (*Physoporella pauciforata*, *Oligoporella*, det. PIROS O. in BUDAI & CSILLAG 1998) this Pelsonian platform carbonate succession can be assigned to the Tagyon Formation (tT in Figure 2).

The Tagyon Formation is overlain by a purple-grey or red, yellow-spotted limestone. It contains a very rich fossil assemblage with ammonoids, nautiloids, gastropods and crinoid fragments, locally in rock-forming quantity. Characteristic microfacies types (bioclastic wackestones and/or

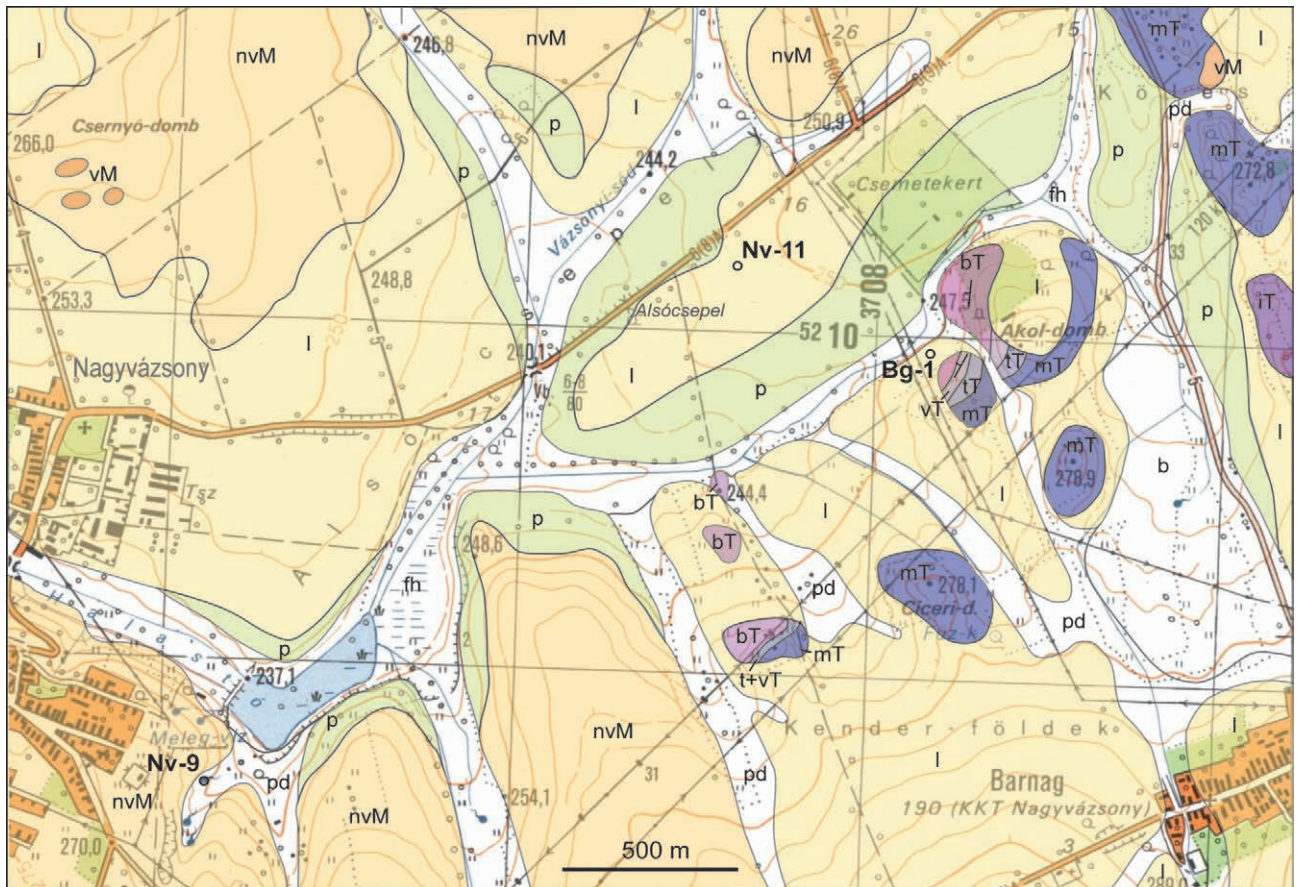


Figure 2. Geological map of the Akol-domb (Akol Hill) area, north of Barnag (based on unpublished manuscript map of I. SZABÓ, G. SOLTI and G. CSILLAG and the geological map of the Balaton Highland, BUDAI et al. 1999a). Locality of the collection site is marked by dip sign in the SW part of the Akol Hill. Quaternary sediments: b - paludal; fh - fluvial; p - proluvial; pd - proluvial-déluvial; l - loess.; Miocene sediments: nvM - freshwater limestone (Nagyvázasony Fm); vM - bauxitic red clay (Vöröstó Fm). Middle Triassic formations: iT - Iszkahegy Limestone Fm (Lower Anisian); mT - Megyehegy Dolomite Fm (Lower Anisian); tT - Tagyon Fm (Middle Anisian); vT - Vászoly Fm (Middle-Upper Anisian); bT - Buchenstein Fm (Ladinian)

2. ábra. A barnagi Akol-domb környezetének földtani térképe (SZABÓ I., SOLTI G. és CSILLAG G. kéziratoss térképe, valamint BUDAI et al. 1999a nyomán). A begyűjtött feltárás helyét dőlés jel mutatja az Akol-domb DNy-i részén. Kvarter képződmények: b - mocsári; fh - fluvialis; p - proluviális; pd - proluviális-déluviális; l - lösz. Miocén képződmények: nvM - édesvízi mészkő (Nagyvázasonyi F.); vM - bauxitos vörös agyag (Vöröstói F.). Középső triász formációk: iT - Iszkahegyi Mészkő F. (alsó anisusi); mT - Megyehegyi Dolomit F. (alsó anisusi); tT - Tagyoni F. (középső anisusi); vT - Vászolyi F. (középső - felső anisusi); bT - Buchenstein Fm (ladini)

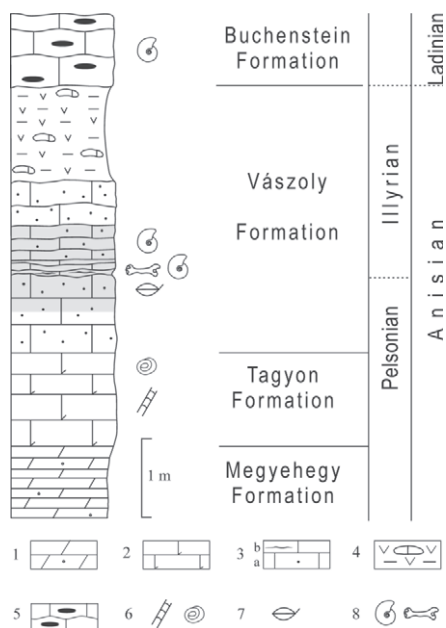


Figure 3. Stratigraphic column of the Middle Triassic succession of the Akol Hill area (based on the geological profile by BUDAI & CSILLAG 1998 and data of Nagyvázasony Nv-11 and Barnag Bg-1 drilled cores). The stratigraphic position of the newly exposed and collected section is marked by grey shading. 1. dolomite, crinoidal dolomite; 2. oncoidal limestone; 3. a. massive crinoidal limestone, b. nodular limestone with dark Fe-Mn coating; 4. tuffitic clay with limestone nodules; 5. bedded nodular limestone with chert; 6. green algae; oncoids; 7. brachiopods; 8. ammonites, vertebrate remains

3. ábra. Az Akol-domb középső triász képződményeinek rétegoszlopa (BUDAI & CSILLAG 1998 földtani szelvénye, valamint a Nagyvázasony Nv-11 és a Barnag Bg-1 fúrás rétegsora alapján). Az újonnan feltárt és gyűjtött szelvény rétegtani helyzetét szürke kiemelés jelzi a rétegoszlopon. 1. dolomit, krinoideás dolomit; 2. onkoidos mészkő; 3. a. tömör krinoideás mészkő, b. gumós mészkő, vasas-mangános fekete bekérgezéssel; 4. tufás agyag mészkő-gumókkal; 5. pados, gumós tüköves mészkő; 6. zöldalga; onkoid; 7. brachiopoda; 8. ammonitesz, gerinces maradvány

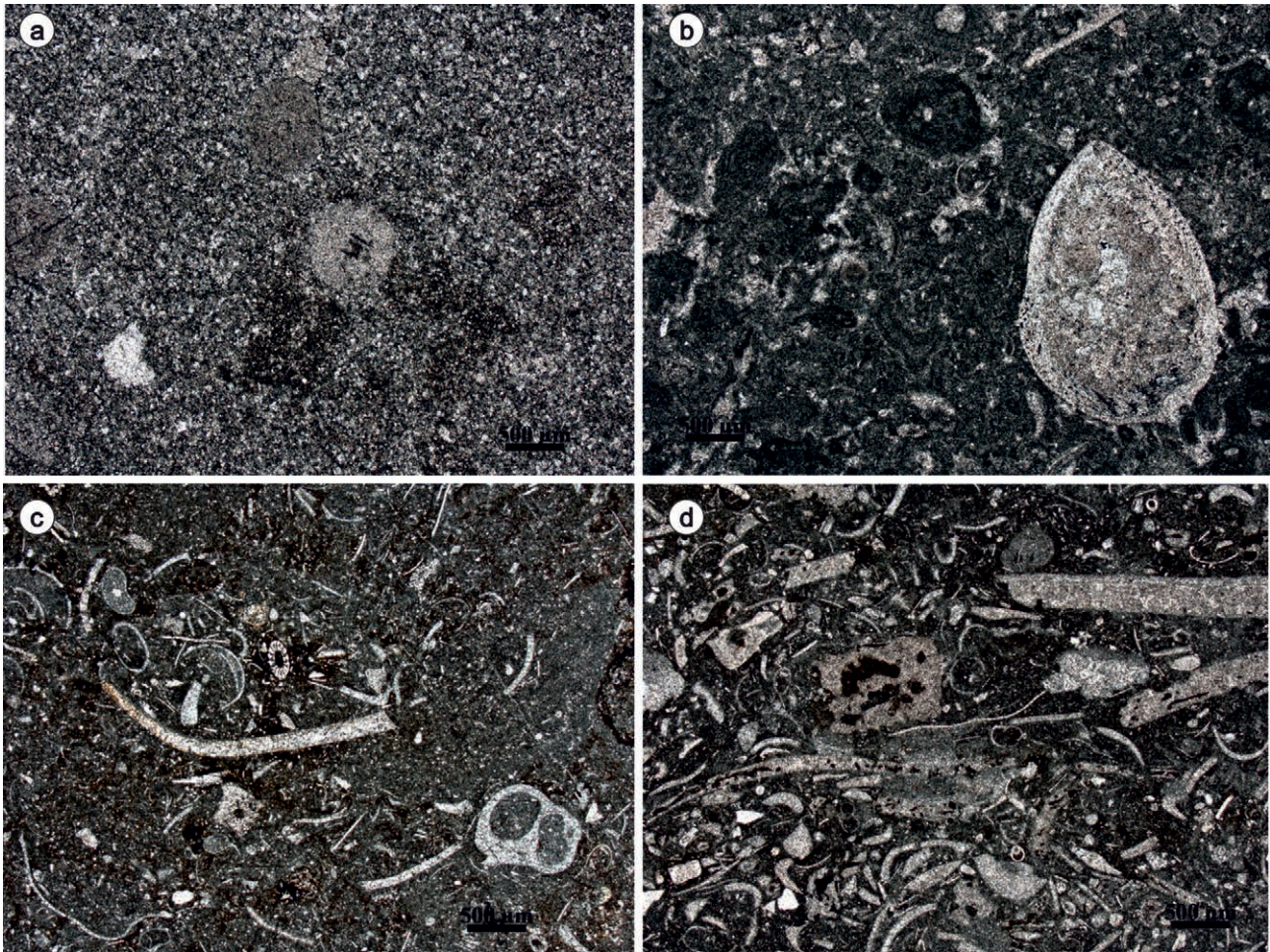


Figure 4. Characteristic microfacies of the Middle Triassic formations of the Akol Hill (photomicrographs and description by J. HAAS). a) finely crystalline dolomite (Megyehegy Fm) with recognisable remnants of crinoids; b) boundstone (Tagyon Fm); bioclasts (a brachiopod and fragments of thin-shelled bivalves), oncoids and microbial nodules occur in micritic matrix (automicrite) and finely crystalline mosaic calcite cement fills in the small pore; c) bioclastic wackestone (Vászoly Fm) with fragments of thin-shelled bivalves, gastropods, ostracods, and a holothurian sclerite; d) wackestone-packstone (Vászoly Fm) with mm-sized fragments of molluscs, thin-shelled bivalves, ostracods and crinoids (traces of bioerosion are visible on some of the thick mollusc shells and a crinoid ossicle)

4. ábra. Az Akol-domb középső triász formációinak jellemző mikrofaciése (fotó és szöveg: HAAS J.). a) finomkristályos dolomit (Megyehegyi F.), crinoidea vázelemekkel; b) boundstone (Tagyoni F.), a mikrites mátrixban bioklasztok (egy brachiopoda-metszet és vékony héjú kagylótöredékek), onkoidok és mikrobiális gumók fordulnak elő; c) bioklasztos wackestone (Vászolyi F.) vékony héjú kagylók töredékeivel, csigákkal, ostracodákkal és holothuroidea szklerittel; d) wackestone-packstone (Vászolyi F.), vékony héjú kagylók, ostracodák és crinoideák mm-es nagyságú töredékeivel (egy molluszka vastag héjú töredékén és egy crinoidea-vázelemen bioeróziós nyomok láthatók)

packstones) are shown in *Figure 4, c–d*. The ammonites are commonly partly dissolved and have a blackish Fe-Mn encrustation. This sequence is assigned to the lower part of the Vászoly Formation (vT in *Figure 2*), which is widespread and well-documented in the Balaton Highland (VÖRÖS et al. 1997, BUDAI et al. 1999b) and on the Veszprém Plateau (BUDAI et al. 2001). Tuffitic layers, that typically occur in the Vászoly Formation elsewhere, are subordinate in the Akol Hill area.

To collect fossils, a shallow trench was excavated at the southwestern corner of a small forest on the Akol Hill (coordinates: N46°59.419'; E17°44.180'), and a shallow pit was also excavated a few metres away in dip direction. The stratigraphic log of the investigated section is presented in *Figure 3*. The lowermost two layers of the succession consists of purple-red, hard limestone. This is overlain by

clayey, yellow spotted limestone in a thickness of about 10 cm, pinching out within the outcrop, characterized by black iron-manganese crusts and coatings on fossils (*Figure 5*). More massive, red, purple-red, yellow spotted limestone was also exposed in the shallow pit (*Figure 6*). Similar limestones, which likely represent a somewhat higher part of the Vászoly Formation, were excavated in another pit to the north from the shallow pit. There is no continuity between the two exposures.

The red siliceous cherty nodular bedded limestone above the Vászoly Formation is assigned to the Ladinian Buchenstein Formation (bT in *Figure 2*). This unit was quarried in small pits on the Akol Hill and was penetrated in a thickness of 10 m by the Nagyvázsöny Nv-11 drill core (SOLTI & SZABÓ 1975). Triassic units younger than Ladinian are not known in the Akol Hill area.



Figure 5. Typical slab from the condensed bed of Akol Hill Section. Yellowish-red, clayey limestone (Vászoly Fm) with ferro-manganese crusts and coatings on fossils (*Beyrichites cadoricus* and a nautilid).

5. ábra. Jellegetes kézipéldány az Akol-domb szelvényének kondenzált rétegéből. Sárgás-vörös, agyagos mészkő (Vászolyi F.) vas-mangán kérgekkel és bekérgezett ősmaradványokkal (*Beyrichites cadoricus* és egy nautilida)



Figure 6. Typical bedding surface of the yellow spotted red limestone (Vászoly Fm) with partly dissolved ammonite shells (size of the slab is 25×15 cm)

6. ábra. A vörös, sárga foltos mészkő (Vászolyi F.) jellegetes rétegfelülete félig visszaoldott ammonitesz vázak tömegével (a kézipéldány mérete 25×15 cm)

Material and methods

Recent collecting efforts by private collectors G. FÖLDVÁRI, M. BERCSÉNYI and Zs. PINTÉR produced abundant fossils and a wealth of new palaeontological data from the Vászoly Formation in the locality of Akol Hill. Ammonoids were found in the greatest number (342 specimens); other cephalopods were represented by 35 specimens, and brachiopods by 25 specimens. A few specimens of gastropods and echinoderms were also encountered. Special attention

was given to the rare vertebrate fossils: three fish teeth and six pieces of reptile remains were found.

The collectors worked in three different excavations separated by about ten metres distance. Some of these pits exposed distinct limestone layers with different fossil contents; these layers were traced along their strike but in dip direction the sequence of beds was not recorded.

Because of the poor exposure and the perturbation caused by the previous quarrying activities, a systematical bed-by-bed collecting was not possible, although certain trends could be recognized in the ammonite succession.

Partly for this reason, a comprehensive taxonomical analysis of the invertebrate fauna was not intended in the present paper. Our aim was only to give overall information on this extraordinarily large and well-preserved fossil material. Therefore, we selected the most representative specimens from the invertebrate assemblages: 38 ammonoid, eight other cephalopod, and four brachiopod specimens were identified at the species level, and were illustrated by photographs. This limited selection from the studied material represents a diverse invertebrate fauna, comprising 17 ammonoid, 8 other cephalopod and 3 brachiopod taxa. Nevertheless, this database is inadequate for detailed studies on taxonomic diversity and intraspecific variability.

In contrast to the invertebrates, the vertebrate fossils of Akol Hill are comprehensively described and discussed in the present paper.

Results

The invertebrate assemblages

This section deals with the taxa of cephalopods and brachiopods and considers their stratigraphic distribution, as well. Occurrences of these taxa are listed in *Tables I* and *II*. A few specimens of gastropods and echinoderms were also encountered; they will not be discussed herein.

Cephalopod taxa

Proavites hueffeli ARTHABER, 1896 (Plate I, Figures 1–3)

This characteristic species with narrow umbilicus and bicarinate and wide, flat or even concave venter has simple goniatitid sutures, an indication of its Palaeozoic ancestry. Occurrences of this species are listed in *Tables I* and *II*.

Balatonites egregius jovis ARTHABER, 1896 (Plate I, Figure 4)

A single specimen in the collection of G. FÖLDVÁRI, shows the characteristic lateral ornamentation of *B. jovis* ARTHABER, 1896. As a result of their thorough morphometric analysis, HOHENEGGER & TATZREITER (1992) synonymized it with another species *B. egregius* ARTHABER, 1896, and this was accepted by VÖRÖS (2003). Occurrences of this species are listed in *Tables I* and *II*.

Table I. Occurrence of ammonoid species of the Akol Hill fauna at other localities of Hungary**I. táblázat.** Az akol-dombi ammoniteszfauna előfordulása magyarországi lelőhelyeken

	Szentbékállá	Köveskál	Monoszló	Szentanatalfa	Mencshely	Tótvázsony	Vászoly	Aszófő	Felsőörs	Szentkirályszabadja	Vörösbereány	Rudabánya, Szár-hegy
<i>Proavites hueffeli</i>		+						+				
<i>Balatonites egregius jovis</i>								+				
<i>Beyrichites cadoricus</i>					+			+				
<i>Paraceratites trinodosus</i>		+	+	+					+		+	
<i>Asseretoceras camunum</i>	+			+	+		+		+	+	+	+
<i>Lardaroceras barrandei</i>				+			+		+		+	
<i>Lardaroceras krystyni</i>	+	+		+		+	+		+	+	+	+
<i>Lardaroceras pseudohungaricum</i>	+	+		+	+		+		+	+	+	+
<i>Kellnerites bosnensis</i>	+				+		+		+	+	+	
<i>Kellnerites cf. bispinosus</i>									+			+
<i>Hyparpadites cf. liepoldti</i>					+				+	+		
<i>Epikellnerites cf. bagolinensis</i>												
<i>Epikellnerites aff. tamasi</i>									+			
<i>Ptychites cf. oppeli</i>	+	+							+		+	+
<i>Discoptychites megalodiscus</i>					+				+		+	+
<i>Flexoptychites studeri</i>							+					+
<i>Flexoptychites cf. angustumbilicatus</i>	+	+		+	+		+		+		+	+

Table II. Stratigraphic distribution of the ammonoid species of the Akol Hill fauna**II. táblázat.** Az akol-dombi ammoniteszfajok rétegtani elterjedése

Stage	Anisian								
	Pelsonian			Illyrian					
	Zones			Trinodosus			Reitzi		
Substages	Balatonicus			Trinodosus			Reitzi		
	Balatonicus	Cadoricus	Zoldianus	Binodosus	Trinodosus	Camunum	Pseudohungaricum	Felsoeorsensis	Liepoldti
species	Subzones								
<i>Proavites hueffeli</i>	+	+	+						
<i>Balatonites egregius jovis</i>	+	+							
<i>Beyrichites cadoricus</i>		+							
<i>Paraceratites trinodosus</i>					+	+			
<i>Asseretoceras camunum</i>						+	+		
<i>Lardaroceras barrandei</i>						+	+	+	
<i>Lardaroceras krystyni</i>						+	+	+	
<i>Lardaroceras pseudohungaricum</i>							+	+	
<i>Kellnerites bosnensis</i>								+	
<i>Kellnerites cf. bispinosus</i>								+	
<i>Hyparpadites cf. liepoldti</i>									+
<i>Epikellnerites cf. bagolinensis</i>									+
<i>Epikellnerites aff. tamasi</i>									+
<i>Ptychites cf. oppeli</i>					+	+	+	+	
<i>Discoptychites megalodiscus</i>				+	+	+	+	+	+
<i>Flexoptychites studeri</i>						+	+	+	+
<i>Flexoptychites cf. angustumbilicatus</i>						+	+	+	+

Beyrichites cadoricus (MOJSISOVICS, 1869)
(Plate I, Figures 5–8)

By their compressed shape, narrow umbilicus, weak falcooid ribbing and rounded venter, the specimens of *Beyrichites* somewhat resemble *Flexoptychites*. However, they have ceratitic sutures in contrast to the ammonitic sutures of the ptychitids. Occurrences of this species are listed in *Tables I* and *II*.

Paraceratites trinodosus (MOJSISOVICS, 1882)
(Plate II, Figures 1–3)

This well-known species is a zonal index and a good guide fossil. Various morphotypes of *P. trinodosus* were collected at the Akol Hill locality. Occurrences of this species are listed in *Tables I* and *II*.

Asseretoceras camunum (ASSERETO, 1963)
(Plate II, Figure 4)

The genus *Asseretoceras* was introduced by BALINI (1992) for a type species *camunum*, what was previously attributed to *Bulogites* by ASSERETO (1963). However, BALINI (1992) recorded this species in Lombardy in a stratigraphic level much higher than the range of *Bulogites*. Occurrences of this species are listed in *Tables I* and *II*.

Lardaroceras barrandei (MOJSISOVICS, 1882)
(Plate II, Figures 6, 7)

This ammonoid species was originally described from Nagyvázsony by MOJSISOVICS (1882). From the point of view of its lateral ornamentation (weak ribbing, and lateral nodes), *L. barrandei* is transitional between *L. krystyni* (without lateral nodes) and *L. pseudohungaricum* (with strong lateral nodes and strong ribbing). Occurrences of this species are listed in *Tables I* and *II*.

Lardaroceras krystyni BALINI, 1992
(Plate II, Figure 5)

This is a less strongly ornamented species of the genus *Lardaroceras*, without lateral nodes. Occurrences of this species are listed in *Tables I* and *II*.

Lardaroceras pseudohungaricum BALINI, 1992
(Plate II, Figure 8; Plate III, Figures 1–6)

The coarsely ornamented, large, well-preserved specimens of this species are particularly attractive for the collectors and this is reflected also by the profuse illustrations given here. The strength and density of the lateral ribbing and nodes are variable; in some cases the lateral ornamentation may resemble the genus *Kellnerites*, but a definite ventral keel is always missing in *L. pseudohungaricum*. It is the index species of the uppermost part of the Illyrian Trinodosus Zone (*Pseudohungaricum* Subzone). Occurrences of this species are listed in *Tables I* and *II*.

Kellnerites bosnensis (HAUER, 1887)
(Plate IV, Figures 2–6; Plate V, Figure 1)

This is the other most attractive ammonite, from the collectors' point of view, at Akol Hill. The definite ventral keel and the ventrolateral row of nodes, or even spines, give the most important differences from the coarsely ornamented specimens of *Lardaroceras pseudohungaricum*. The lateral nodes are near the inner third of the flank, whereas in *K. felsoeoersensis* they are around the middle. Occurrences of this species are listed in *Tables I* and *II*.

Kellnerites cf. *bispinosus* (HAUER, 1896)
(Plate IV, Figure 1)

This smaller species of the genus *Kellnerites* differs from *K. bosnensis* and *K. felsoeoersensis* by its more depressed whorls. Occurrences of this species are listed in *Tables I* and *II*.

Hyparpadites cf. *liepoldti* (MOJSISOVICS, 1882)
(Plate V, Figure 2)

A single specimen vaguely shows the distinctive double rows of nodes on its lateral flank. The conch shape and the partially preserved fastigate venter support its attribution to the species *liepoldti*, which is taken as the index species of the Liepoldti Subzone in the lower part of the Illyrian Reitzi Zone at the Balaton Highland. Occurrences of this species are listed in *Tables I* and *II*.

Epikellnerites cf. *bagolinensis* (BRACK & RIEBER, 1993) (Plate V, Figure 3)

A single fragment of a body chamber, from the collection of G. FÖLDVÁRI, portrays the strongly ornamented lateral flank with two distinct rows of nodes; one closer to the umbilicus and another, closer to the venter. This fits rather well with the species *bagolinensis* described by BRACK & RIEBER (1993) from the Bagolino Section (the type section of the base of the Ladinian Stage) from the level corresponding to the Liepoldti Subzone of the Felsőörs Section (VÖRÖS et al. 2009). This species was not previously recorded from the Balaton Highland.

Epikellnerites aff. *tamasi* VÖRÖS, 2018
(Plate V, Figure 4)

A single fragment in the collection of G. FÖLDVÁRI, akin to *Epikellnerites tamasi* VÖRÖS, 2018, but considerably larger and more inflated than that species. It is even more similar to the specimen described and illustrated from Felsőörs by MOJSISOVICS (1882) as "*Ceratites* nov. forma indet. aff. *hungarico*", and refigured by VÖRÖS (2018, pl. VII, Figure 5) as *E.* aff. *tamasi*.

Protrachyceras sp. (Plate V, Figures 5, 6)

The occurrence of a well-preserved small specimen of this genus (Plate V, Figure 5) in the trench of Akol Hill is unexpected and can be explained by artificial mixing caused by previous quarrying activity in the area. A poorly preserved fragment of *Protrachyceras* sp. (Plate V, Figure 6) was found

in the adjacent forest, where the Ladinian Nemesvámos Limestone (Buchenstein Formation) was exposed in small abandoned quarries. Both specimens resemble other specimens from the upper Ladinian fauna of Nemesvámos (VÖRÖS 1998).

Ptychites cf. oppeli MOJSISOVICS, 1882
(Plate VI, Figure 1)

A similar specimen of this species was illustrated by VÖRÖS (2018, pl. XLI, Figure 6) from the Illyrian Trinodosus Zone from Szentbékállá. Occurrences of this species are listed in *Tables I and II*.

Discoptychites megalodiscus (BEYRICH, 1867)
(Plate VI, Figures 2, 3)

This is the largest ammonoid found at Akol Hill; this size (125 mm in diameter) and the characteristic discoidal shape are unmistakable characteristics for identification. The smaller, incomplete specimen (*Plate VI, Figure 3*) probably represents the inner whorls of an even larger *Discoptychites*. Occurrences of this species are listed in *Tables I and II*.

Flexoptychites studeri (HAUER, 1857)
(Plate VI, Figure 4)

This species was first reported by HAUER (1866, p. 632) from Nagyvázsöny (“Vaszony”). Occurrences of this species are listed in *Tables I and II*.

Flexoptychites cf. angustoumbilicatus (BÖCKH, 1872) (Plate VI, Figure 5)

This species is widespread in the whole Illyrian at the Balaton Highland. The single fragment, illustrated here, shows the diagnostic elements of the lateral flank, where the primary folds are intercalated by weaker falcoid secondary folds. Occurrences of this species are listed in *Tables I and II*.

Parasturia ? sp. (Plate VI, Figure 6)

A single half specimen is deceptively similar to one of the *Beyrichites* species in shape and partly in ornamentation. However, its well-preserved suture lines are clearly ammonitic, with phylloid lobes, in sharp contrast with the ceratitic sutures of *Beyrichites*. The specimen belongs most probably to the genus *Parasturia*, which was recorded previously from the Reitzi Zone at the Balaton Highland (Mencshely).

Mojsisovicsteuthis sp. (Plate VI, Figure 7)

A straight and conical phragmocone is the single specimen found to represent the subclass Coleoidea. Better preserved specimens in the Ladinian “Grenzbitumenzone” (RIEBER 1973) possess very reduced rostra (guard).

Michelinoceras ? sp. (Plate VII, Figure 6)

This orthocone cephalopod represents the order Orthocerida. The very elongate, subconical specimens easily break in parts along the concave septa of the phragmocone which show the trace of the siphuncle at the center. Probably

this taxon was reported by HAUER (1866, p. 620) as “*Orthoceras*” sp.

Germanonautilus salinarius (MOJSISOVICS, 1882)
(Plate VII, Figure 3)

This very widespread and well-known nautiloid species was recorded by VÖRÖS (2001) in the uppermost (lower Illyrian) part of the Aszófő Section.

Trachynautilus cf. nodulosus (ARTHABER, 1896)
(Plate VII, Figure 4)

The characteristic ornamentation of this species consists of weak longitudinal strigation and rursiradiate riblets, with fine nodes at the points of intersection. It was described by VÖRÖS (2001) also from the uppermost (lower Illyrian) part of the Aszófő Section.

Pleuronautilus cf. mosis MOJSISOVICS, 1882
(Plate VI, Figure 8; Plate VII, Figure 5)

The rather evolute conch has a complex ornamentation with numerous prorsiradiate ribs and ventrolateral nodes which are divided from the ribs by a narrow longitudinal furrow. It was recorded by VÖRÖS (2001) in the lower, Pelsonian part of the Aszófő Section.

Anoploceras cf. esinense (MOJSISOVICS, 1882)
(Plate VII, Figure 2)

The most important distinctive character of this species is the rursiradiate ribbing. It has not been reported previously from the Balaton Highland.

Anoploceras cf. pichleri (HAUER, 1866)
(Plate VII, Figure 1)

This typical *Anoploceras* is similar to *A. esinense* but differs by its less numerous and nearly straight ribs.

Brachiopod taxa

Volirhynchia vivida (BITTNER, 1890)
(Plate VII, Figure 10)

This distinctive rhynchonellid species has three deflexions in its high uniplication. It was recorded and described in detail by PÁLFY (1988) from several Pelsonian localities in the Balaton Highland.

Mentzelia mentzeli (DUNKER, 1851)
(Plate VII, Figures 8, 9)

This smooth spiriferinid species has rather depressed ventral beak and nearly straight anterior commissure. It was recorded in great number by PÁLFY (2003) from several Pelsonian localities in the Balaton Highland but it occurs in the Illyrian as well.

Koeveskallina koeveskalyensis (STUR, 1865)
(Plate VII, Figure 7)

It is rather similar to *Mentzelia mentzeli*, except that it has very fine and dense radial costulation. It was also

described in detail by PÁLFY (2003) from several Pelsonian localities in the Balaton Highland but it occurs in the Illyrian as well.

The vertebrate assemblage

Together with the rich invertebrate assemblage some vertebrate remains were also collected in the red limestone succession of the Vászoly Formation, including different types of teeth, vertebrae and a rib fragment. Among these, the marine reptiles are especially valuable additions to similar previous finds. So far, mostly placodonts have been described in detail from the Triassic of the Balaton Highland: *Paraplacodus broilii* from the upper Anisian of Felsőörs (GERE et al. 2020), *Placochelys placodonta* from the Carnian of Veszprém (JAEKEL 1902), and *Placochelyidae* indet. from the Norian–Rhaetian of Rezi (BÖCKH & LÓCZY 1912, GERE et al. 2020). However, more importantly, some associated ichthyosaur vertebrae were found in the upper Anisian of Dörgicse (SZABÓ 1972) and were assigned as *?Mixosaurus* by KRETZOI (SZABÓ I. personal communication), their study is currently in progress. Lastly, an unpublished ichthyosaur vertebra was also found recently in the Triassic near Veszprém (M. SEGESDI personal communication).

Fishes

Altogether three fish teeth have been found at the Akol Hill site, two of them belong to chondrichthyans, and one to osteichthyans.

A fin spine is referred to an indeterminate Hybodontoida (*Plate VIII, Figure 1*). The spine is still embedded in rock. It is apically narrowing and slightly curved posteriorly. The lateral surface bears numerous fine striae, longitudinal with its long axis. One series of denticles occurs in the posterior edge of the fin spine. Following the poorly known level of inter- and intraspecific variability of hybodontoid fin spines, this isolated fin spine is not referred to on a lower taxonomical rank herein. A morphologically similar Hybodontoida fin spine from the early Triassic of the Spitzbergen has been published by BRATWOLD et al. (2018, Figure 16).

One of the chondrichthyan tooth remains (*Plate VIII, Figure 2*) shows great similarity to those of the hybodontiform genus *Polyacrodus* (see CAPPETTA 2012, SZABÓ et al. 2019). This tooth is incomplete, the whole root and a large part of the crown is missing. The preserved portions of the crown are low and richly ornamented. The ornamentation consists of a central ridge, running along the mesiodistal axis of the occlusal midline, with smaller, diverging ridges, running to the crown base. Some faint remains of the base of a labial apron are visible. We tentatively refer this specimen to the genus *Polyacrodus*. Though the validity of *Polyacrodus* is debated (e.g. REES 2008, REES & UNDERWOOD 2008, STUMPF et al. 2022), its remains have been found in Europe, Russia and Greenland, ranging from the Lower

Triassic to the Upper Cretaceous (CAPPETTA 2012). The genus is regarded as a generalist predator, preying on fish and hard-shelled prey items (BLANGER 2005).

The other chondrichthyan tooth remain consists of the crown only (*Plate VIII, Figure 3*). The crown is flattened and blade-like with smooth cutting edges. The crown faces bear apicobasal striae vanishing towards the tip. This tooth morphology is generally similar to that of many Triassic chondrichthyans (e.g. Hybodontidae – see BÖTTCHER 2015; CAPPETTA 2012; SZABÓ et al. 2019). Because of the poor preservation (e.g., missing root, fragmentary crown), a closer identification is not possible.

The osteichthyan tooth (*Plate VIII, Figure 4*) is triangular in labial and lingual views, it consists of the apical part of the tooth only, whereas the tooth base is missing. Both sides of the preserved tooth bear irregularly arranged, apicobasally running striation not reaching the cutting edges. The basal-most portion has a much finer striation, which most likely continued on the tooth base. This specimen is almost identical to those previously published as *Birgeria* sp. teeth (see SZABÓ et al. 2019, Figure 7). The genus *Birgeria* is known from Triassic marine deposits worldwide (ROMANO & BRINKMANN 2009). Members of the genus were large-sized predatory fishes (ROMANO et al. 2017, Ni et al. 2019).

Marine reptiles

Besides fishes, marine reptiles are also present in the fauna. Four vertebral centra, a tooth crown fragment, as well as a piece of a rib have also been found.

The four vertebrae (*Plate VIII, Figures 5–6*) were found in the red nodular limestone, characterized by black Fe-Mn coating (*Figure 5*). All these vertebral remains are centra without the neural arches, exhibiting only the articulation facets on their dorsal side. They are fish-like, being much shorter anteroposteriorly than wide laterally and deeply amphicoelous, as typical for ichthyopterygians (MCGOWAN & MOTANI 2003).

One of them is 33 mm high and 37 mm wide, and it is a dorsal (*Plate VIII, Figure 5*), as indicated by the subcircular outline of the centrum in anterior-posterior views, as well as the absence of ventral structures such as haemapophyses (MCGOWAN & MOTANI 2003). Its most diagnostic feature is the position of the diapophyses on the lateral sides of the centrum. They start to emerge at the lateral edge of the articulation surface of the neural arch and extend anteroventrally right onto the lateral margin of the anterior face of the centrum. This “truncated” condition is considered as a distinctive character of the genus *Cymbospondylus* (e.g. MERRIAM 1908, von HUENE 1916, SANDER 1992), though some authors suggested this being plesiomorphic for all ichthyopterygians (MCGOWAN & MOTANI 2003).

The three other vertebrae appear to be caudals from different regions based on their shape and the presence of haemapophyses (MCGOWAN & MOTANI 2003). One has a height and width both about 40 mm and seems to be an

anterior caudal (*Plate VIII, Figure 6*), as indicated by the slightly hexagonal outline in anterior-posterior views. The second specimen is probably a mid-caudal (*Plate VIII, Figure 7*), being more hexagonal and dorsoventrally elongated (37 mm high and 32 mm wide, 1.16:1) in anterior-posterior views. The third specimen is a distal caudal (*Plate VIII, Figure 8*), 35 mm high and 25 mm wide (with an aspect ratio of 1.4:1) thus the caudal centrum is also hexagonal but more compressed laterally than the previous one, similarly to *Cymbospondylus* and *Shonisaurus* (MASSARE & CALLAWAY 1990, SANDER 1992: Figure 5).

The tooth crown fragment (*Plate VIII, Figure 9*) is 11 mm high, 10 mm wide but only 4 mm thick, it is likely a surface fragment rather than a complete section of the crown. Its surface bears apico-basal ridges that curve 'backwards' (supposedly in lingual-distal direction) and diverge basally, suggesting a congruent curvature of the original tooth. One of the ridges, which is situated in the middle part of the preserved position, appears to be more pronounced, being reminiscent of a slight lingual-mesial carina.

The rib fragment (not figured) is about 65 mm long and is about 15 mm in diameter. Its cross-section is somewhat heart-shaped, being wider on the medial side. A single groove apparently just appears on the distal end of the medial side of the preserved portion, whereas two grooves run entirely along the lateral surface of the fragment. This seems to differ from the ribs described for *Cymbospondylus* having "a prominent posterior groove and a less pronounced anterior one" (SANDER 1992).

Discussion

The stratigraphy of the Akol Hill area (Barnag Platform) shows similarities in several aspects to that of the well-studied Tagyon Platform of the Balaton Highland and the Kádárta Platform of the Veszprém Plateau (*Figure 1, b*) but there are marked differences, as well. The Lower Anisian carbonate ramp facies of the Megyehegy Dolomite is overlain by carbonate platform facies of the Middle Anisian Tagyon Formation; however, the thickness of the latter unit is very much reduced (to only a few metres) in the area of the Barnag Platform, in contrast to the 80–100 m thick cyclic platform carbonate succession of the Tagyon and the Kádárta Platforms (BUDAI et al. 1999b, BUDAI et al. 2001, BUDAI & VÖRÖS 2006). (It should be noted, however, that we know only a very small segment of the Barnag Platform, while the other two platforms are exposed in significant areas and much more studied.) The stratigraphy and lithology of the overlying Upper Anisian Vászoly Formation and the Ladinian Buchenstein Formation are almost the same in all the three platform areas.

The ammonoid fauna of the Akol Hill locality may be subdivided into two assemblages. The yellowish, clayey red limestone bed, that rests directly on a massive limestone bank, and contains black iron-manganese coated fossils (*Figures 3 and 5*) can be considered a lag deposit. This thin bed pinching

out within the outcrop is actually a lens-shaped rock body. It contains characteristic elements of the Balatonicus Zone (*Proavites hueffeli*, *Balatonites egregius jovis*, *Beyrichites cadoricus*), together with Illyrian taxa. Consequently, this fauna is interpreted as a reworked and mixed assemblage partly derived from the Pelsonian deposits. This is a unique phenomenon, which has no similar occurrence known from elsewhere in the Balaton Highland.

The early Illyrian ammonoid fauna of the Akol Hill (Barnag Platform) is probably more diverse than the equivalent faunas of the Tagyon Platform and the Kádárta Platform (VÖRÖS 2018). Sixteen species were recorded at Szentantalfa, 13 at Vászoly (Tagyon Platform), and 16 in the coeval layers of the Szentkirályszabadja Section (Kádárta Platform). On the other hand, 17 ammonoid species are presented and illustrated in the current paper from the Akol Hill locality. However, it should be kept in mind that we provide here a only a selection; in fact, the complete ammonoid fauna was probably much more diverse. For the same reason, a detailed comparison between the taxonomic composition of the above presented fauna, and that of other early Illyrian faunas would be misleading. However, it is important to note that the diagnostic species *Lardaroceras krystyni*, *L. pseudohungaricum* and *Asseretoceras camunum* were recorded in all mentioned localities (VÖRÖS 1998, 2018).

Despite the partly reworked fossils, the preservation state of the ammonoids is excellent on the Akol Hill, much better than in any other coeval localities in the Balaton Highland. It pertains particularly to the large and nearly complete conchs of *Lardaroceras pseudohungaricum*; specimens of this species were collected only as half-whorls or fragments at Szentantalfa, Vászoly and Szentkirályszabadja. This might be the consequence of the thin ferruginous clayey coating on the specimens.

The nautiloid assemblage is also diverse. Nautiloids are almost absent from the coeval faunas of the Tagyon Platform (Szentantalfa, Vászoly). The Szentkirályszabadja Section (Kádárta Platform) yielded a few nautiloids (VÖRÖS 1998, 2018), but the abundance and diversity of that assemblage are far from those of the Akol Hill.

The overall high taxonomic diversity of both cephalopod groups may perhaps be related to the stratigraphic and palaeoenvironmental position of the fossiliferous layers. The site of deposition was on the top of a drowned isolated platform (submerged pelagic plateau), near the steep slope of a bordering synsedimentary fault.

The low number and poor preservation of the fish remains do not allow any specific inferences regarding the paleoenvironment. All recovered fish taxa are common elements of Triassic faunas across Europe, including Hungary, where a Triassic fish fauna is known from Villány (SZABÓ et al. 2019).

As for the marine reptile remains, based on their characters, the dorsal vertebra are referred to as cf. *Cymbospondylus* sp., whereas the caudals are tentatively assigned to Cymbospondylidae. On the other hand, the tooth fragment seems to differ from those of *Cymbospondylus*. While there were some contemporary large marine reptiles present in the

Middle Triassic, such as nothosaurs, these mostly piscivorous reptiles had relatively small heads with more apicobasally elongated, procumbent teeth (RIEPPPEL 2000). This more robust crown morphology of the tooth found at Akol Hill locality with strong ridges and with the possible presence of a weak carina suggest a grasping/smashing function of the tooth and a diet of shelled cephalopods and vertebrates (MASSARE 1987). These prey items would also be more fitting to relatively large ichthyosaurs like *Cymbospondylus*, as opposed to the above mentioned mostly piscivorous groups such as nothosaurs. Most ichthyosaurs have sturdy, lingually curved conical teeth (MCGOWAN & MOTANI 2003). If a similar original morphology of the Barnag tooth fragment is assumed with a subcircular cross-section, the diameter of the crown might have been at least around 15 mm, as indicated by the curvature of its surface outline in basal view, if the fragment was from the widest basal part of the crown. If it was from the apical part, and thus a substantial basal portion is completely missing, the original size of the tooth might have been even larger. Based on comparisons with other species (e.g., KLEIN et al. 2020: figure 2H) it is safe to assume a body length of at least ~4.3 metres for the individual found at Barnag. However, if our extrapolation for the original diameter to 15 mm is accepted as valid, then the crown fragment from Akol Hill refers to a ~6.45-metre-long animal. On the other hand, if a labiolingually strongly flattened tooth is assumed as opposed to a more 'regular' ichthyosaurian tooth, then it is possible that the tooth came from an individual only ~4.3 m long. If so, then it refers to a highly specialized (though smaller) macropredatory ichthyosaur like the large *Thalattoarchon saurophagis*, which, uniquely among ichthyosaurians, was equipped with highly compressed teeth extremely suitable for cutting (FRÖBISCH et al. 2013).

Regardless, dental features in ichthyosaurians can exhibit a variance even in the same individual, thus they must be used cautiously for taxonomic purposes (MCGOWAN & MOTANI 2003). Therefore, the tooth fragment from Akol Hill is referred to as Ichthyosauria indet. The rib fragment, as it differs from the ones described for *Cymbospondylus*, might belong to another marine reptile taxon and is referred to as Sauropsida indet. However, it is uncertain whether it was a placodont, a nothosaur, or another ichthyosaur within this group.

As evidenced by the size differences of the vertebrae, they originate from at least two separate individuals, of which the dorsal vertebra belonged to an individual with a total length of 3.3 m, while the anterior caudal might have originated from one at least 4–4.5 meters long. Cymbospondylids could even reach twice that size; thus, the presence of such large marine reptiles is not surprising in the area of the Akol Hill. The family also had a cosmopolitan distribution in the Anisian and the Ladinian, as the remains of its members have been found in various localities around the globe, e.g., Nevada (USA), Spitzbergen, various European localities (Germany, Switzerland and Italy), Guizhou (South China) and possibly Timor (Indonesia) (e.g., LEIDY 1868, HUENE 1936, SANDER 1989, SANDER 1992, MAISCH & MATZKE 2000, JI et al. 2015, RIEPPPEL 2019). The strati-

graphic position of *Cymbospondylus* remains of the Upper Anisian Prezzo Limestone in the Lombardian Alps (BALINI & RENESTO 2012) and of the Vászoly Formation at the Akol Hill area in the Balaton Highland is similar, i.e. within the Trinodosus Zone, below the Lardaroceras beds.

Large Triassic ichthyosaurs like *Cymbospondylus* are regarded as pelagic forms that only occasionally strayed into coastal waters, as opposed to smaller contemporary genera like *Mixosaurus* (SANDER 1992, SANDER 1997, FRÖBISCH et al. 2006, RIEPPPEL 2019). On the other hand, some authors argued that basal ichthyosaurs, like cymbospondylids, were ambush predators, since they had less dolphin-like bodies with a lesser degree of marine adaptation (BALINI & RENESTO 2012). Thus, they were probably more restricted to shallow marine environments than the more streamlined and better adapted taxa, like *Mixosaurus*, that were most likely pursuit predators in turn (MASSARE & CALLAWAY 1990).

Conclusions

The lifespan of the Barnag Platform seems to be much shorter than that of the other two reconstructed Middle Anisian platforms of the Balaton Highland. The oldest ammonites, reworked from the Balatonicus Zone in the lower part of the Vászoly Formation prove that the drowning of the Barnag Platform took place already during the Pelsonian, earlier than in the case of the Tagyon and the Kádárta Platforms, where the oldest basinal sediments above the drowning unconformity are mid-Illyrian (Camunum Subzone of the Trinodosus Zone).

The ammonoid fauna of the Camunum and Pseudohungaricum subzones at the Akol Hill is probably the most diverse among the coeval assemblages of the Balaton Highland. This may be the consequence of the peculiar environmental conditions that prevailed during the deposition of the basal beds that onlap the rim of a submerged pelagic plateau.

The Akol Hill locality provided the first known occurrence of cymbospondylid ichthyosaurs in Hungary, predators that probably dwelled in mostly open marine environments but also might have been well-adapted for hunting in shallow environments like submarine highs.

Acknowledgements

The authors are indebted to János HAAS for taking the microphotographs and describing the microfacies types of the different rock units of the Akol Hill Section. We are also grateful to Zoltán LANTOS for the photographs of the marine reptile fossils. The reviews by József PÁLFI and by János HAAS greatly increased the value of the manuscript. The research was partly supported by the National Research, Development and Innovation Office (NKFIH FK 134229 grant).

References – Irodalom

- ASSERETO, R. 1963: Il Trias in Lombardia (Studi geologici e paleontologici) IV. Fossili dell'Anisico superiore della Val Camonica (1). – *Rivista Italiana di Paleontologia* **69/1**, 3–123.
- BALINI, M. 1992: New genera of Anisian ammonoids from the Prezzo Limestone (Southern Alps). – *Atti Ticinensi di Scienze della Terra* **35**, 179–198.
- BALINI, M. & RENESTO, S. 2012: Cymbospondylus vertebrae (Ichthyosauria, Shastasauridae) from the Upper Anisian Prezzo Limestone (Middle Triassic, Southern Alps) with an overview of the chronostratigraphic distribution of the group. – *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* **118/1**, 155–172.
- BÖCKH J. 1872: A Bakony déli részének földtani viszonyai. I. – *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve* **2/2**, 31–166.
- BLANGER DE, K. 2005: The effect of the Permian mass extinction on shark faunas. – *Ph.D. Thesis*, University of Bristol, 250 p.
- BÖCKH J. & LÓCZY L. 1912: Nehány rhaetiai korú kövület zalavármegyei Rezi vidékéről és újabb ottani gyűjtések eredménye. – *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei* **1/1**, Függelék: *A Balatonmellék palaeontológiája* **2/VII**, 1–8.
- BÖTTCHER, R. 2015: Fische des Lettenkeupers. – In: HAGDORN, H., SCHOCH, R. & SCHWEIGERT, G. (eds): *Der Lettenkeuper – Ein Fenster in die Zeit vor den Dinosauriern. Palaeodiversity*, Sonderband, 141–202.
- BRACK, P. & RIEBER, H. 1993: Towards a better definition of the Anisian/Ladinian boundary: New biostratigraphic data and correlations of boundary sections from the Southern Alps. – *Eclogae Geologicae Helveticae* **86**, 415–527.
- BRATVOLD J., DELSETT L. & HURUM J. H. 2018: Chondrichthyan from the Grippia bonebed (Early Triassic) of Marmierfjellet, Spitsbergen. – *Norwegian Journal of Geology* **98/2**, 189–217. <https://doi.org/10.17850/njg98-2-03>
- BUDAI T. & CSILLAG G. 1998: A Balaton-felvidék középső részének földtana [Geology of the central part of the Balaton Highland (Transdanubian Range, Hungary)]. – *A Bakony természettudományi kutatásának eredményei* **22**, 118 p.
- BUDAI, T. & VÖRÖS, A. 2006: Middle Triassic platform and basin evolution of the southern Bakony Mountains (Transdanubian Range, Hungary). – *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* **112/3**, 359–371.
- BUDAI T., CSILLAG G., DUDKO A. & KOLOSZÁR L. 1999a: A Balaton-felvidék földtani térképe, 1:50 000. [Geological Map of the Balaton Highland, 1:50 000]. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Kiadványa*
- BUDAI T., CSÁSZÁR G., CSILLAG G., DUDKO A., KOLOSZÁR L. & MAJOROS Gy. 1999b: A Balaton-felvidék földtana. Magyarázó a Balaton-felvidék földtani térképéhez, 1:50 000. [Geology of the Balaton Highland. Explanation to the Geological Map of the Balaton Highland, 1:50 000]. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi Kiadványa* **197**, 257 p.
- BUDAI T., VÖRÖS A., CSILLAG G., DOSZTÁLY L. 1991: Balaton-felvidék, Mencshely, Cser-tető (Felsőörsi Mészkkő Formáció, Buchensteini Formáció). – *Magyarország geológiai alapszervevényei*, Földtani Intézet kiadványa
- BUDAI T., CSILLAG G., VÖRÖS A. & DOSZTÁLY L. 2001: Középső- és késő-triász platform- és medencefáciések a Veszprémi-fennsíkron [Middle to Late Triassic platform and basin facies of the Veszprém Plateau (Transdanubian Range, Hungary)]. – *Földtani Közlemény* **131/1–2**, 37–70.
- CAPPETTA, H. 2012: *Handbook of Paleoichthyology. Chondrichthyes. Mesozoic and Cenozoic Elasmobranchii: Teeth*. – Verlag Dr. Friedrich Pfeil, **3E**, 512 p.
- FRÖBISCH, N. B., SANDER, P. M. & RIEPPEL, O. 2006: A new species of *Cymbospondylus* (Diapsida, Ichthyosauria) from the Middle Triassic of Nevada and a re-evaluation of the skull osteology of the genus. – *Zoological Journal of the Linnean Society* **147/4**, 515–538.
- FRÖBISCH, N. B., FRÖBISCH, J. R., SANDER, P. M., SCHMITZ, L. & RIEPPEL, O. 2013: Macropredatory ichthyosaur from the Middle Triassic and the origin of modern trophic networks. – *Proceedings of the National Academy of Sciences* **110/4**, 1393–1397. <https://doi.org/10.1073/pnas.1216750110>
- GERE, K., SCHREYER, T. M., MAKÁDI, L. & ŐSI, A. 2020: Placodont remains (Sauropsida, Sauropterygia) from the Triassic of Hungary (Transdanubian Range and Villány Mountains). – *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments* **100**, 1047–1063.
- HAUER, F. 1866: Die Cephalopoden der unteren Trias der Alpen. – *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe* **52/1**, 603–640.
- HUENE, F. V. 1916: Beiträge zur Kenntnis der Ichthyosaurier im deutschen Muschelkalk. – *Palaeontographica A*, **62**, 1–68.
- JAEKEL, O. 1902: Ueber *Placochelys* n.g. und ihre Bedeutung für die Stammesgeschichte der Schildkröten. – *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie* **I**, 127–144.
- JI, C., JIANG, D. Y., MOTANI, R., RIEPPEL, O., HAO, W. C. & SUN, Z. Y. 2015: Phylogeny of the Ichthyopterygia incorporating recent discoveries from South China. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **1025956**, 1–18. <https://doi.org/10.1080/02724634.2015.1025956>
- HOHENEGGER, J. & TATZREITER, F. 1992: Morphometric methods in determination of ammonite species, exemplified through Balatonites shells (Middle Triassic). – *Journal of Paleontology* **66/5**, 801–816.
- KLEIN, N., SCHMITZ, L., WINTRICH, T. & SANDER, P. M. 2020: A new cymbospondylid ichthyosaur (Ichthyosauria) from the Middle Triassic (Anisian) of the Augusta Mountains, Nevada, USA. – *Journal of Systematic Palaeontology* **18/14**, 1167–1191., <https://doi.org/10.1080/14772019.2020.1748132>
- LEIDY, J. 1868: Notice of Some Vertebrate Remains from Nevada. – *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* **20**, 177–178.
- LÓCZY L. id. 1913: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése. – *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei* **1/1**, 617 p.
- MAISCH, M. W. & MATZKE, A. T. 2000: The Ichthyosauria. – *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, Serie B* **298**, 1–159.
- MASSARE, J. A. 1987: Tooth Morphology and Prey Preference of Mesozoic Marine Reptiles. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **7/2**, 121–137.
- MASSARE, J. A. & CALLAWAY, J. M. 1990: The affinities and ecology of Triassic ichthyosaurs. – *GSA Bulletin* **102/4**, 409–416.
- MCGOWAN, C. & MOTANI, R. 2003: *Handbook of Paleoherpetology. Part 8. Ichthyopterygia*. – Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 175 p.
- MERRIAM, J. C. 1908: Triassic Ichthyosauria with special reference to the American forms. – *Memoirs of the University of California* **1**, 1–196.

- MOISISOVICS, E. 1882: Die Cephalopoden der mediterranen Triasprovinz. – *Abhandlungen der kaiserlich-königlichen geologischen Reichsanstalt* **10**, 1–322.
- NI, P., TINTORI, A., SUN, Z., LOMBARDO, C. & JIANG, D. 2019: Postcranial skeleton of *Birgeria liui* (Osteichthyes, Actinopterygii) from the Longobardian (Ladinian, Middle Triassic) of Xingyi, Guizhou Province, South China. – *Swiss Journal of Geosciences* **112**, 307–324. <https://doi.org/10.1007/s00015-018-0329-0>.
- PÁLFY, J. 1988: Middle Triassic rhynchonellids from the Balaton Highland (Transdanubian Central Range, Hungary). – *Annales historico-naturales Musei nationalis hungarici* **80**, 25–46.
- PÁLFY, J. 2003: The Pelsonian brachiopod fauna of the Balaton Highland. – In: VÖRÖS, A. (ed.): The Pelsonian Substage on the Balaton Highland (Middle Triassic, Hungary). – *Geologica Hungarica series Palaeontologica* **55**, 139–158.
- REES, J. 2008: Interrelationships of Mesozoic hybodont sharks as indicated by dental morphology – preliminary results. – *Acta Geologica Polonica* **58/2**, 217–221.
- REES, J. & UNDERWOOD, C. J. 2008: Hybodont sharks of the English Bathonian and Callovian (Middle Jurassic). – *Palaeontology* **51/1**, 117–147.
- RIEBER, H. 1973: Cephalopoden aus der Grenzbitumenzone (Mittlere Trias) des Monte San Giorgio (Kanton Tessin, Schweiz). – *Schweizerische Paläontologische Abhandlungen* **93**, 1–96.
- RIEPPPEL, O. 2000: *Encyclopedia of Paleohelptology 12A: Sauropterygia I: Placodontia, Pachypleurosauria, Nothosauroida, Pistosauroida*. – Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München (Germany), 139 p.
- RIEPPPEL, O. 2019: *Mesozoic Sea Dragons: Triassic Marine Life from the Ancient Tropical Lagoon of Monte San Giorgio (Life of the Past)*. – Indiana University Press, Bloomington, Indiana (USA), 256 p.
- ROMANO, C. & BRINKMANN, W. 2009: Reappraisal of the lower actinopterygian *Birgeriastensioei* ALDINGER 1931 (Osteichthyes; Birgeriidae) from the Middle Triassic of Monte San Giorgio (Switzerland) and Besano (Italy). – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* **252**, 17–31. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2009/0252-0017>
- ROMANO, C., JENKS, J. F., JATTIOT, R., SCHREYER, T. M., BYLUND, K. G. & BUCHER, H. 2017: Marine Early Triassic Actinopterygii from Elko County (Nevada, USA): implications for the Smithian equatorial vertebrate eclipse. – *Journal of Paleontology* **91**, 1025–1046. <https://doi.org/10.1017/jpa.2017.36>
- SANDER, P. M. 1989: The large ichthyosaur *Cymbospondylus buchseri*, sp. nov., from the Middle Triassic of Monte San Giorgio (Switzerland), with a survey of the genus in Europe. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **9/2**, 163–173.
- SANDER, P. M. 1992: *Cymbospondylus* (Shastasauridae: Ichthyosauria) from the Middle Triassic of Spitsbergen: filling a paleobiogeographic gap. – *Journal of Paleontology* **66/2**, 332–337.
- SANDER, P. M. 1997: The paleobiogeography of *Shastasaurus*. – In: CALLAWAY, J. M. & NICHOLLS, E. L. (eds): *Ancient Marine Reptiles*. Academic Press, San Diego, California (USA), 17–43.
- SOLTI G. & SZABÓ I. 1975: *A Taliándörög, Vigántpetend és Nagyvázsony 1:10.000-es térképlapok területének földtani leírása*. – Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, 209 p.
- STUMPF, S., MENG, S. & KRIWET, J. 2022. Diversity Patterns of Late Jurassic Chondrichthyans: New Insights from a Historically Collected Hybodontiform Tooth Assemblage from Poland. – *Diversity* **14/2**, 85. <https://doi.org/10.3390/d14020085>
- SZABÓ I. 1971: *A Balatonfelvidék középső triász képződményeinek U-prognózisa*. – Mecsekérc Rt. adattári jelentések **151**, 231 p.
- SZABÓ I. 1972. IV. Rétegtan: Triász. – In: DEÁK M. (ed.): *Magyarazó Magyarország 200 000-es földtani térképsorozatához, L-33-XII. Veszprém*. Magyar Állami Földtani intézet, Budapest, 35–72.
- SZABÓ, M., BOTFALVAI, G. & ÓSI, A. 2019: Taxonomical and palaeoecological investigations of the chondrichthyan and osteichthyan fish remains from the Middle-Late Triassic deposits of the Villány Hills (Southern Hungary). – *Geobios* **57**, 111–126. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2019.10.006>
- VÖRÖS A. 1998: A Balaton-felvidék triász ammonoideái és biosztratigráfiája [Triassic ammonoids and biostratigraphy of the Balaton Highland]. – *Studia Naturalia* **12**, 105 p.
- VÖRÖS, A. 2001: Middle Triassic (Anisian) nautilid cephalopods from Aszófő (Balaton Highland, Hungary). – *Fragmenta Palaeontologica Hungarica* **19**, 1–14.
- VÖRÖS, A. 2003: The Pelsonian ammonoid fauna of the Balaton Highland. – In: VÖRÖS, A. (ed.): The Pelsonian Substage on the Balaton Highland (Middle Triassic, Hungary). – *Geologica Hungarica series Palaeontologica* **55**, 71–121.
- VÖRÖS, A. 2010: Late Anisian Ammonoidea from Szár-hegy (Rudabánya Mts); a Dinaric-type fauna from North Hungary. – *Fragmenta Palaeontologica Hungarica* **28**, 1–20.
- VÖRÖS, A. 2018: The Upper Anisian ammonoids of the Balaton Highland (Middle Triassic, Hungary). – *Geologica Hungarica series Palaeontologica* **60**, 241 p.
- VÖRÖS, A. & BUDAI, T. 1993: Western part of the Balaton Highlands. – In: GAETANI, M. (ed.): *Anisian/Ladinian boundary field workshop, Southern Alps–Balaton Highlands, 27 June–4 July 1993* (a Nemzetközi Rétegtani Bizottság Triász Albizottságának rendezvénye), 91–101.
- VÖRÖS A., BUDAI T., LELKES GY., MONOSTORI M. & PÁLFY J. 1997: A Balaton-felvidéki középső triász medencefejlődés rekonstrukciója üledékföldtani és paleoökológiai vizsgálatok alapján. – *Földtani Közlöny* **127/1–2**, 145–177.
- VÖRÖS, A., BUDAI, T. & SZABÓ, I. 2009: The base of the Curionii Zone (Ladinian, Triassic) in Felsőörs (Hungary): improved correlation with the Global Stratotype Section. – *Central European Geology* **51/4**, 325–339. <https://doi.org/10.1556/ceugeol.51.2008.4.3>
- VÖRÖS, A. (ed.), BUDAI, T., LELKES, GY., KOVÁCS, S., PÁLFY, J., PIROS, O., SZABÓ, I. & SZENTE, I. 2003: The Pelsonian Substage at the Balaton Highland (Middle Triassic, Hungary). – *Geologica Hungarica series Palaeontologica* **55**, 195 p.

Plate I – I. tábla

Middle Triassic ammonoids from Akol Hill (Barnag, Balaton Highland), collected by M. BERCSÉNYI, Zs. PINTÉR and G. FÖLDVÁRI. All figures are in natural size in the print version. The specimens are kept in the private collections of M. BERCSÉNYI (Nyúl), Zs. PINTÉR (Győr) and G. FÖLDVÁRI (Kővágóörs).

Középső triász ammonoideák az Akol-dombról (Barnag, Balaton-felvidék), BERCSÉNYI M., PINTÉR Zs. és FÖLDVÁRI G. gyűjtése. Az ábrák természetes nagyságúak. A példányokat BERCSÉNYI M. (Nyúl), PINTÉR Zs. (Győr) és FÖLDVÁRI G. (Kővágóörs) magángyűjteménye őrzi.

1. *Proavites* cf. *hueffeli* ARTHABER, 1896; Akol Hill, Balatonicus + Trinodosus Zone; a: lateral view, b: ventral view (coll: M. BERCSÉNYI).
2. *Proavites* cf. *hueffeli* ARTHABER, 1896; Akol Hill, Balatonicus + Trinodosus Zone; a: lateral view, b: ventral view (coll: M. BERCSÉNYI).
3. *Proavites* cf. *hueffeli* ARTHABER, 1896; Akol Hill, Balatonicus + Trinodosus Zone; a: lateral view, b: ventral view (coll: G. FÖLDVÁRI).
4. *Balatonites egregius jovis* ARTHABER, 1896; Akol Hill, Balatonicus + Trinodosus Zone; lateral view (coll: G. FÖLDVÁRI).
- 5–8. *Beyrichites cadoricus* (MOJISOVICS, 1869); Akol Hill, Balatonicus + Trinodosus Zone; lateral views, 8b: ventral view (5, 6: coll. Zs. PINTÉR, 7, 8: coll. M. BERCSÉNYI)

Plate II – II. tábla

Middle Triassic ammonoids from Akol Hill (Barnag, Balaton Highland), collected by M. BERCSÉNYI, Zs. PINTÉR and G. FÖLDVÁRI. All figures are in natural size in the print version. The specimens are kept in the private collections of M. BERCSÉNYI (Nyúl), Zs. PINTÉR (Győr) and G. FÖLDVÁRI (Kővágóörs).

Középső triász ammonoideák az Akol-dombról (Barnag, Balaton-felvidék), BERCSÉNYI M., PINTÉR Zs. és FÖLDVÁRI G. gyűjtése. Az ábrák természetes nagyságúak. A példányokat BERCSÉNYI M. (Nyúl), PINTÉR Zs. (Győr) és FÖLDVÁRI G. (Kővágóörs) magángyűjteménye őrzi.

1. *Paraceratites* cf. *trinodosus* (MOJISOVICS, 1882); Akol Hill, Balatonicus + Trinodosus Zone; lateral view (coll: Zs. PINTÉR).
2. *Paraceratites trinodosus* (MOJISOVICS, 1882); Akol Hill, Balatonicus + Trinodosus Zone; lateral view (coll: M. BERCSÉNYI).
3. *Paraceratites trinodosus* (MOJISOVICS, 1882); Akol Hill, Balatonicus + Trinodosus Zone; lateral view (coll: G. FÖLDVÁRI).
4. *Asseretoceras camunum* (ASSERETO, 1963); Akol Hill, Trinodosus Zone; lateral view (coll: G. FÖLDVÁRI).
5. *Lardaroceras krystyni* BALINI, 1992; Trinodosus Zone; lateral view (coll: G. FÖLDVÁRI).
6. *Lardaroceras* cf. *barrandei* (MOJISOVICS, 1882); Akol Hill, Trinodosus Zone; lateral view (coll: M. BERCSÉNYI).
7. *Lardaroceras* cf. *barrandei* (MOJISOVICS, 1882); Akol Hill, Trinodosus Zone; a: lateral view, b: ventral view (coll: M. BERCSÉNYI).
8. *Lardaroceras pseudohungaricum* BALINI, 1992; Trinodosus Zone; lateral view (coll: G. FÖLDVÁRI).

Plate III – III. tábla

Middle Triassic ammonoids from Akol Hill (Barnag, Balaton Highland), collected by Zs. PINTÉR and M. BERCSÉNYI. All figures are in natural size in the print version. The specimens are kept in the private collections of Zs. PINTÉR (Győr) and M. BERCSÉNYI (Nyúl).

Középső triász ammonoideák az Akol-dombról (Barnag, Balaton-felvidék), PINTÉR Zs. és BERCSÉNYI M. gyűjtése. Az ábrák természetes nagyságúak. A példányokat PINTÉR Zs. (Győr) és BERCSÉNYI M. (Nyúl) magángyűjteménye őrzi.

- 1–5. *Lardaroceras pseudohungaricum* BALINI, 1992; Trinodosus Zone; a: lateral view, b: ventral view (coll: Zs. PINTÉR).
6. *Lardaroceras pseudohungaricum* BALINI, 1992; Trinodosus Zone; lateral view (coll: M. BERCSÉNYI).

Plate IV – IV. tábla

Middle Triassic ammonoids from Akol Hill (Barnag, Balaton Highland), collected by G. FÖLDVÁRI and M. BERCSÉNYI. All figures are in natural size in the print version. The specimens are kept in the private collections of G. FÖLDVÁRI (Kővágóörs) and M. BERCSÉNYI (Nyúl).

Középső triász ammonoideák az Akol-dombról (Barnag, Balaton-felvidék), FÖLDVÁRI G. és BERCSÉNYI M. gyűjtése. Az ábrák természetes nagyságúak. A példányokat FÖLDVÁRI G. (Kővágóörs) és BERCSÉNYI M. (Nyúl) magángyűjteménye őrzi.

1. *Kellnerites* cf. *bispinosus* (HAUER, 1896); Reitzi Zone, Felsőeoersensis Subzone; a: lateral view, b: ventral view (coll: G. FÖLDVÁRI).
2. *Kellnerites bosnensis* (HAUER, 1887); Reitzi Zone, Felsőeoersensis Subzone; lateral view (coll: M. BERCSÉNYI).
3. *Kellnerites bosnensis* (HAUER, 1887); Reitzi Zone, Felsőeoersensis Subzone; a: lateral view, b: ventral view (coll: M. BERCSÉNYI).
4. *Kellnerites bosnensis* (HAUER, 1887); Reitzi Zone, Felsőeoersensis Subzone; lateral view (coll: G. FÖLDVÁRI).
5. *Kellnerites bosnensis* (HAUER, 1887); Reitzi Zone, Felsőeoersensis Subzone; a: lateral view, b: ventral view (coll: G. FÖLDVÁRI).
6. *Kellnerites bosnensis* (HAUER, 1887); Reitzi Zone, Felsőeoersensis Subzone; lateral view (coll: G. FÖLDVÁRI).

Plate V – V. tábla

Middle Triassic ammonoids from Akol Hill (Barnag, Balaton Highland), collected by G. FÖLDVÁRI, Zs. PINTÉR, M. BERCSÉNYI and A. VÖRÖS. All figures are in natural size in the print version. The specimens are kept in the private collections of G. FÖLDVÁRI (Kővágóörs), Zs. PINTÉR (Győr), M. BERCSÉNYI (Nyúl) and in the collection of the Department of Palaeontology and Geology, Hungarian Natural History Museum.

Középső triász ammonoideák az Akol-dombról (Barnag, Balaton-felvidék), FÖLDVÁRI G., PINTÉR Zs., BERCSÉNYI M. és VÖRÖS A. gyűjtése. Az ábrák természetes nagyságúak. A példányokat FÖLDVÁRI G. (Kővágóörs), PINTÉR Zs. (Győr) és BERCSÉNYI M. (Nyúl) magángyűjteménye, valamint a Magyar Természettudományi Múzeum Őslénytani és Földtani Tárának gyűjteménye őrzi.

1. *Kellnerites bosnensis* (HAUER, 1887); Reitzi Zone, Felsőeoersensis Subzone; a: lateral view, b: ventral view (coll: G. FÖLDVÁRI).
2. *Hyparpadites* cf. *liepoldti* (MOJSISOVICS, 1882); Reitzi Zone, Liepoldti Subzone; lateral view (coll: M. BERCSÉNYI).
3. *Epikellnerites* cf. *bagolinensis* (BRACK & RIEBER, 1993); Reitzi Zone, Liepoldti Subzone; a: lateral view, b: ventral view (coll: G. FÖLDVÁRI).
4. *Epikellnerites* aff. *tamasi* VÖRÖS, 2018; Reitzi Zone, Liepoldti Subzone; a: lateral view, b: ventral view (coll: G. FÖLDVÁRI).
5. *Protrachyceras* sp.; Ladinian, lateral view (coll: M. BERCSÉNYI).
6. *Protrachyceras* sp.; Ladinian, lateral view (coll: A. VÖRÖS).
7. *Flexoptychites flexuosus* (MOJSISOVICS, 1882); Trinodosus Zone (?); lateral view (coll: Zs. PINTÉR) (not described in the text)

Plate VI – VI. tábla

Middle Triassic cephalopods from Akol Hill (Barnag, Balaton Highland), collected by Zs. PINTÉR and M. BERCSÉNYI. All figures are in natural size in the print version. The specimens are kept in the private collections of Zs. PINTÉR (Győr) and M. BERCSÉNYI (Nyúl).

Középső triász fejlábúak az Akol-dombról (Barnag, Balaton-felvidék), PINTÉR Zs. és BERCSÉNYI M. gyűjtése. Az ábrák természetes nagyságúak. A példányokat PINTÉR Zs. (Győr) és BERCSÉNYI M. (Nyúl) magángyűjteménye őrzi.

1. *Ptychites* cf. *oppeli* MOJSISOVICS, 1882; Trinodosus Zone (?); lateral view (coll: Zs. PINTÉR)
2. *Discoptychites megalodiscus* (BEYRICH, 1867); Trinodosus Zone (?); lateral view (coll: M. BERCSÉNYI)
3. *Discoptychites* cf. *megalodiscus* (BEYRICH, 1867); Trinodosus Zone (?); a: lateral view, b: ventral view (coll: Zs. PINTÉR)
4. *Flexoptychites studeri* (HAUER, 1857); Trinodosus Zone (?); lateral view (coll: Zs. PINTÉR)
5. *Flexoptychites* cf. *angustoumbilicatus* (BÖCKH, 1872); Reitzi Zone (?); lateral view (coll: M. BERCSÉNYI)
6. *Parasturia* ? sp.; Reitzi Zone (?); lateral view (coll: M. BERCSÉNYI)
7. *Mojsisovicsteuthis* sp.; Reitzi Zone (?); (coll: M. BERCSÉNYI)
8. *Pleuronutilus* cf. *mosis* MOJSISOVICS, 1882; Balatonicus + Trinodosus Zone (?), lateral view (coll: Zs. PINTÉR)

Plate VII – VII. tábla

Middle Triassic cephalopods and brachiopods from Akol Hill (Barnag, Balaton Highland), collected by Zs. PINTÉR and M. BERCSÉNYI. All figures are in natural size in the print version unless otherwise stated. The specimens are kept in the private collections of Zs. PINTÉR (Győr) and M. BERCSÉNYI (Nyúl).

Középső triász fejlábúak és pöregkarúak az Akol-dombról (Barnag, Balaton-felvidék), PINTÉR Zs. és BERCSÉNYI M. gyűjtése. Az ábrák természetes nagyságúak, kivéve a jelzett esetekben. A példányokat PINTÉR Zs. (Győr) és BERCSÉNYI M. (Nyúl) magángyűjteménye őrzi.

1. *Anoploceras* cf. *pichleri* (HAUER, 1866); lateral view (coll: M. BERCSÉNYI)
2. *Anoploceras* cf. *esinense* (MOJSISOVICS, 1882), 1882; lateral view (coll: Zs. PINTÉR)
3. *Germanonutilus salinarius* (MOJSISOVICS, 1882); a: lateral view, b: ventral view (coll: M. BERCSÉNYI)
4. *Trachynutilus* cf. *nodulosus* (ARTHABER, 1896); lateral view (coll: Zs. PINTÉR)
5. *Pleuronutilus* cf. *mosis* MOJSISOVICS, 1882; lateral view (coll: Zs. PINTÉR)
6. *Michelinoceras* ? sp.; (coll: Zs. PINTÉR)
7. *Koeveskallina koeveskalyensis* (STUR, 1865); ventral view (coll: M. BERCSÉNYI)
8. *Mentzelia mentzeli* (DUNKER, 1851); a: dorsal view, b: anterior view; magnified 2× (coll: Zs. PINTÉR)
9. *Mentzelia mentzeli* (DUNKER, 1851); a: dorsal view, b: anterior view, c: lateral view; magnified 2× (coll: Zs. PINTÉR)
10. *Volirhynchia vivida* (BITTNER, 1890); a: dorsal view, b: anterior view, c: lateral view; magnified 2× (coll: Zs. PINTÉR)

Plate VIII – VIII. tábla

Fish and marine reptile remains from the Middle Triassic of the Akol Hill (Barnag, Balaton Highland). Scale bars: 1., 5–8.: 10 mm; 2–4.: 0.6 mm; 9.: 5 mm.

Középső triász hal- és tengeri hüllő maradványok az Akol-dombról (Barnag, Balaton felvidék). Méretarányok: 1., 5–8.: 10 mm; 2–4.: 0.6 mm; 9.: 5 mm.

1. Hybodontoida indet. fin spine, embedded in lateral view (coll: I. SZABÓ, SZTFH V 2016.62.1.)
2. ?*Polyacrodus* sp. tooth; a: occlusal view, b: labial view (coll: Zs. PINTÉR)
3. indeterminate chondrichthyan tooth (coll: M. BERCSÉNYI)
4. *Birgeria* sp. tooth; a: labial view, b: profile view (coll: Zs. PINTÉR)
5. cf. *Cymbospondylus* sp. dorsal vertebra; a: anterior view, b: right lateral view (coll: Zs. PINTÉR)
6. Cymbospondylidae indet. proximal caudal vertebra, anterior view (coll: M. BERCSÉNYI)
7. Cymbospondylidae indet. mid-caudal vertebra, anterior view (coll: Zs. PINTÉR)
8. Cymbospondylidae indet. distal caudal vertebra, anterior view (coll: M. BERCSÉNYI)
9. Ichthyosauria indet. tooth crown fragment; ?labial view (coll: M. BERCSÉNYI)

Manuscript received: 13/12/2021

Plate I – I. tábla

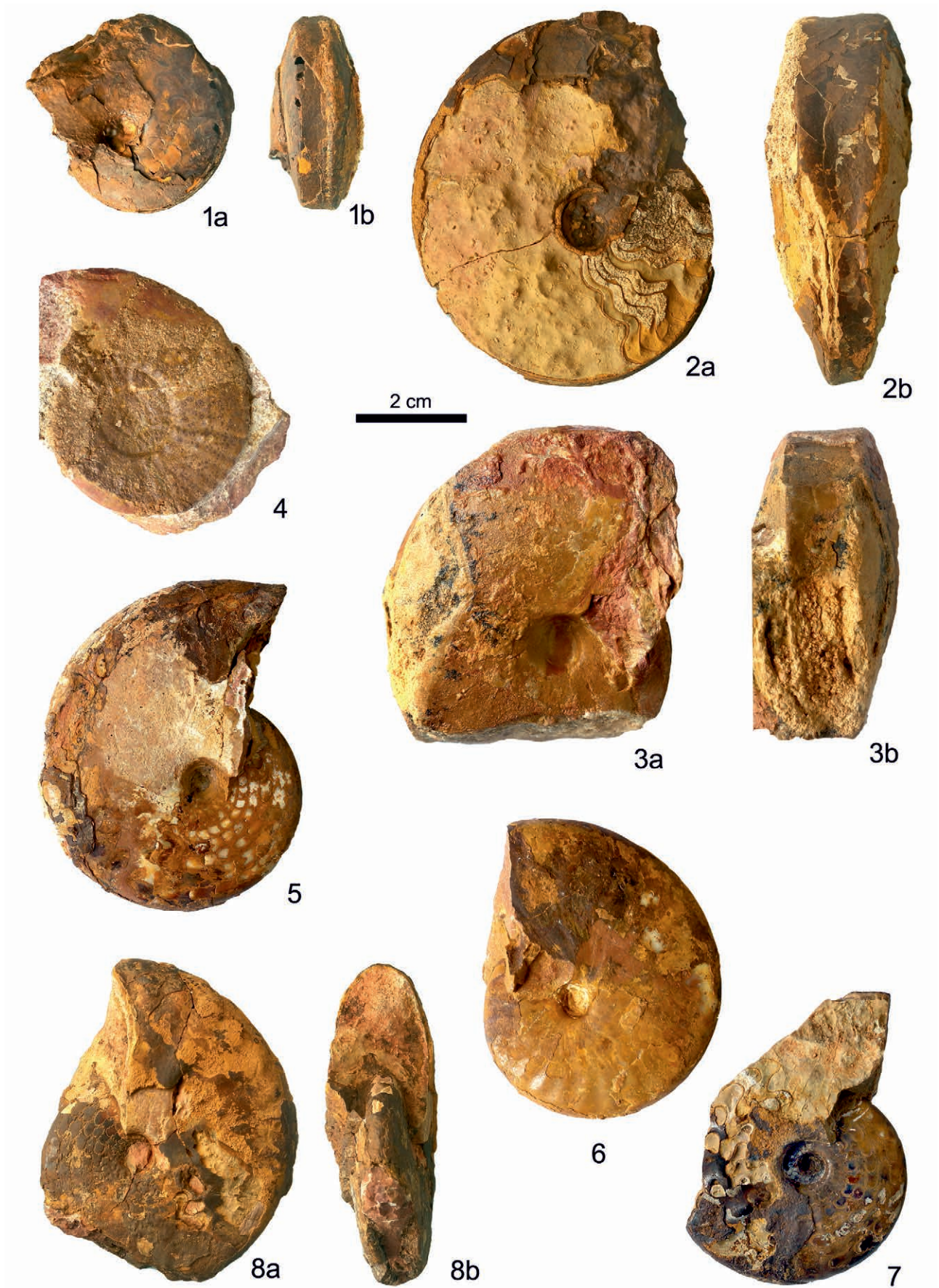


Plate II – II. tábla



1



2



3

2 cm



4



5



6



8



7a



7b

Plate III – III. tábla

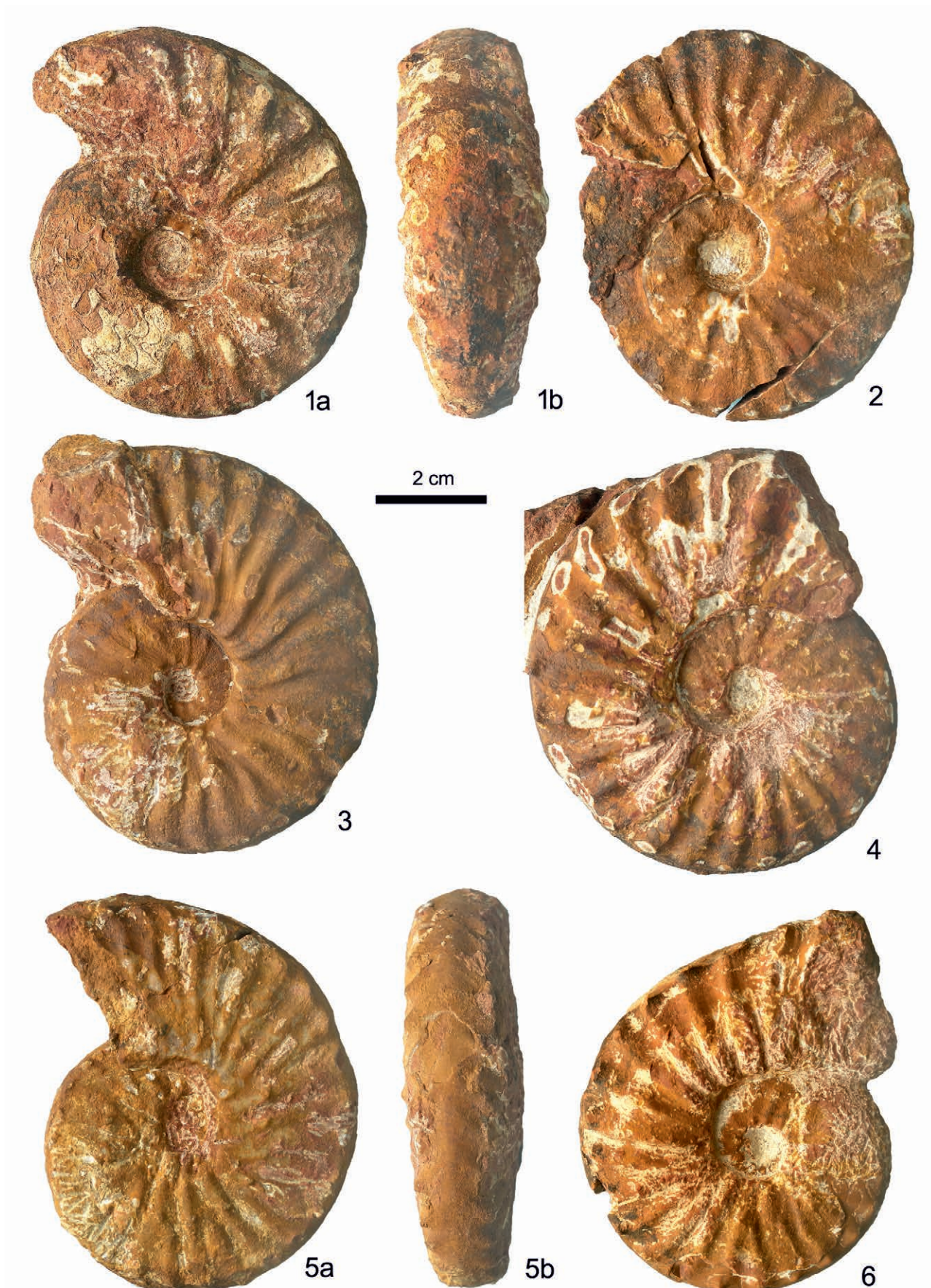


Plate IV – IV. tábla



1a



1b



2



3b



3a



4



5a



5b



6

Plate V – V. tábla

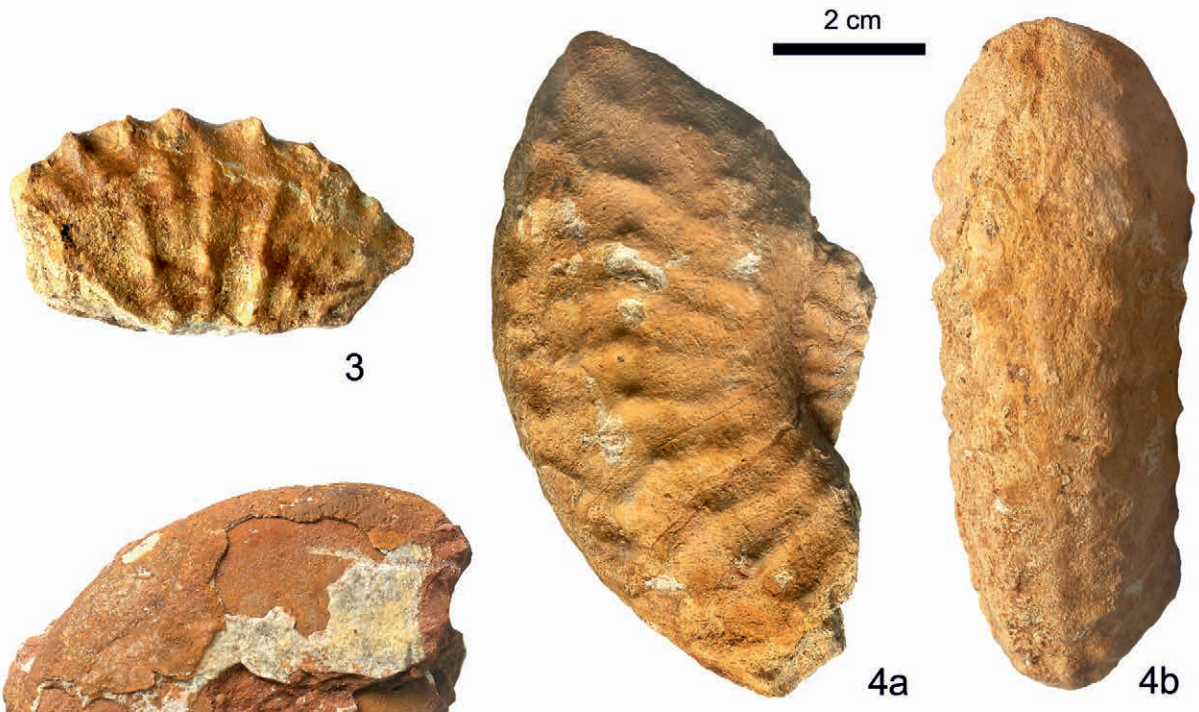
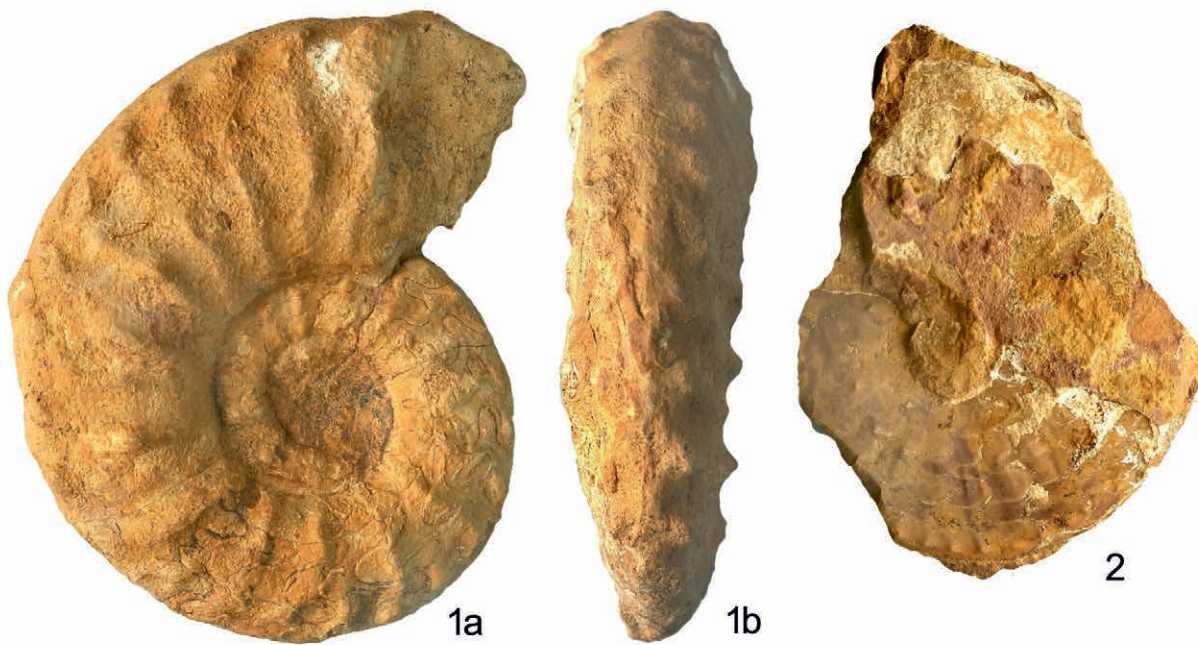


Plate VI – VI. tábla

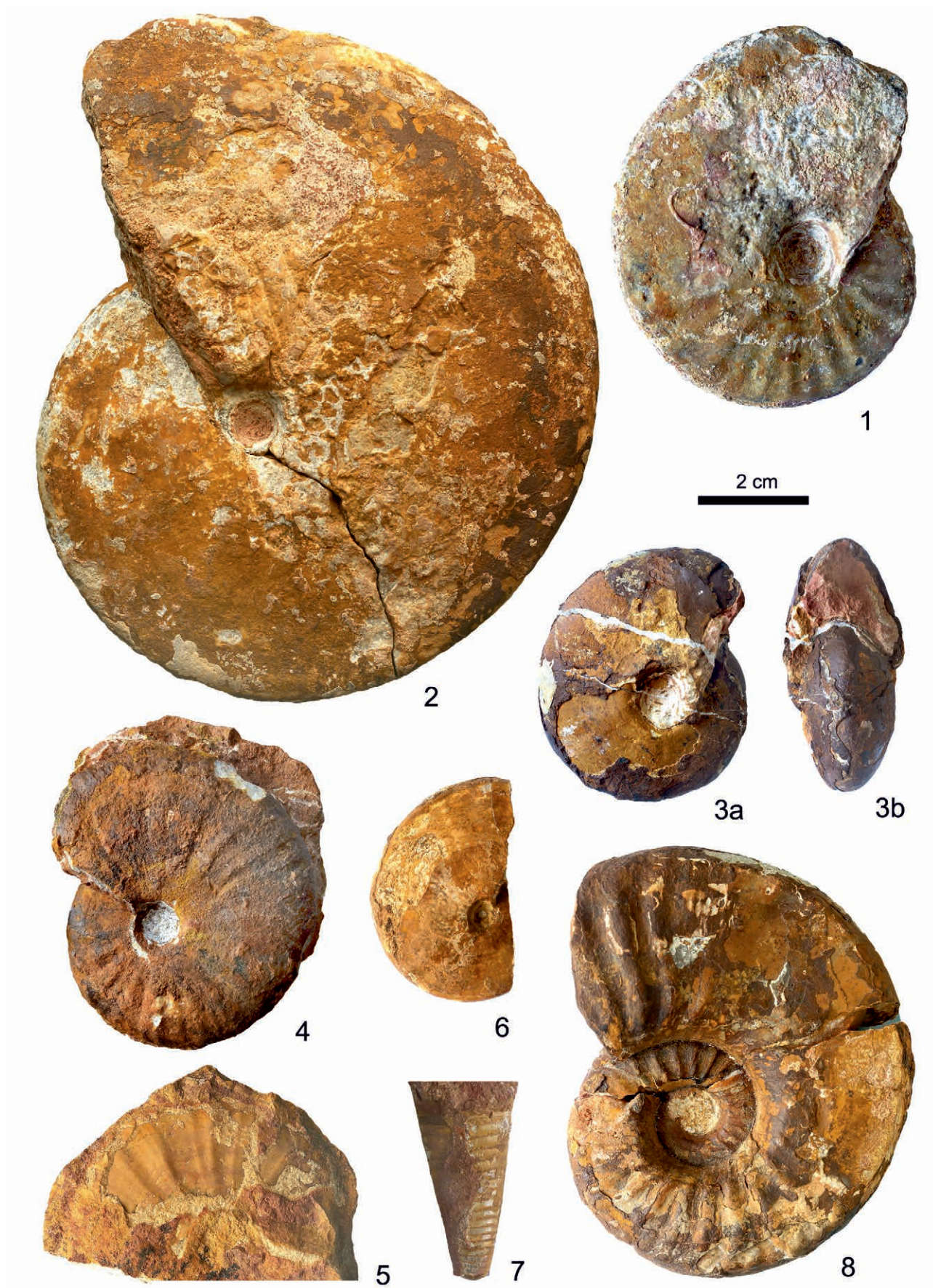


Plate VII – VII. tábla

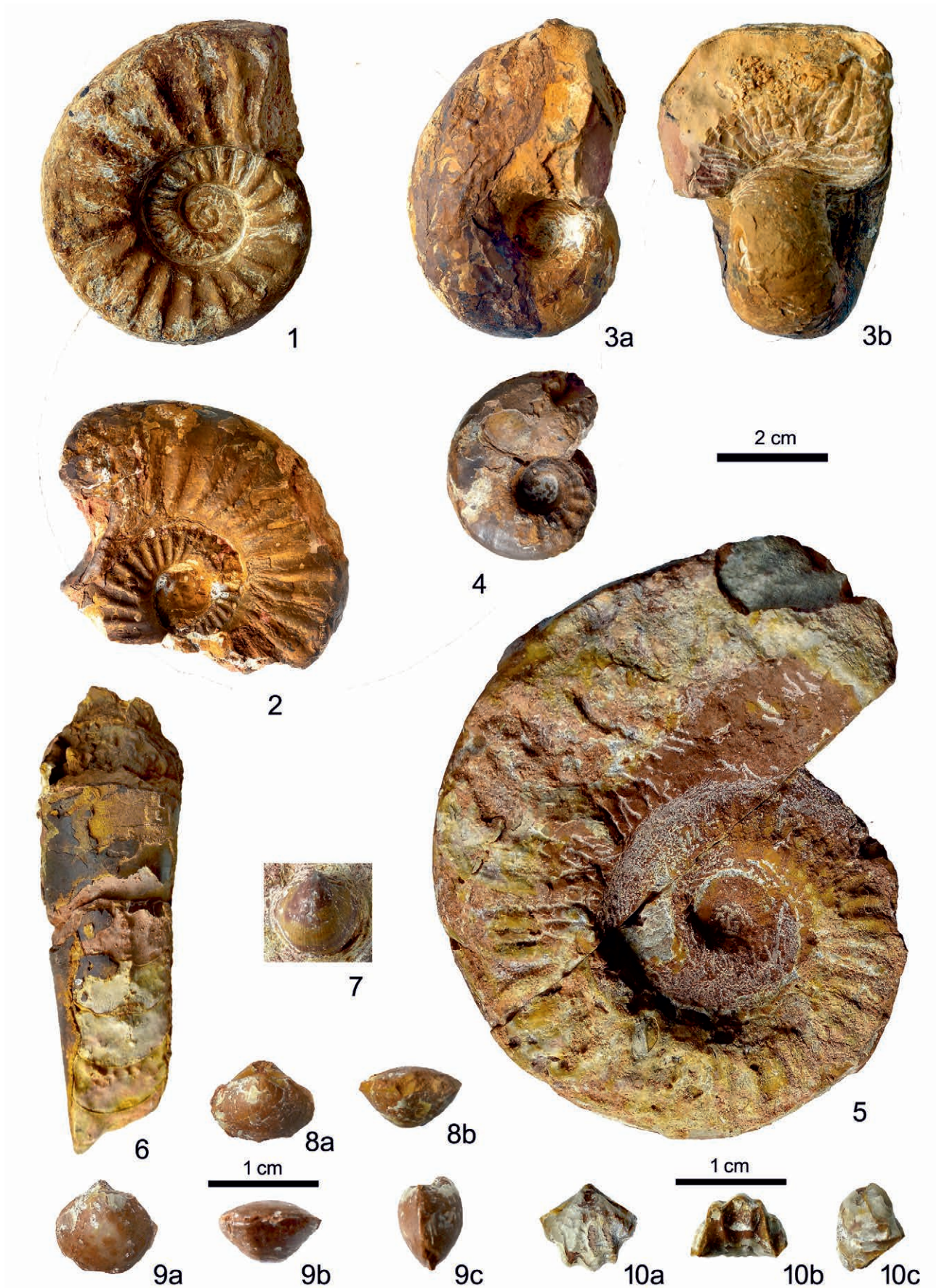
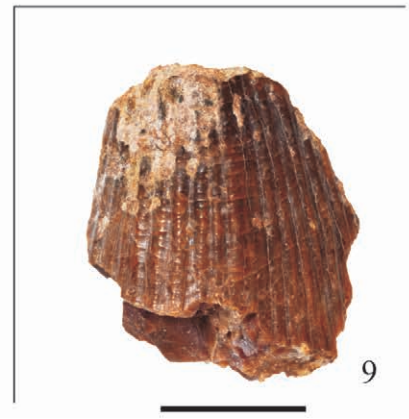
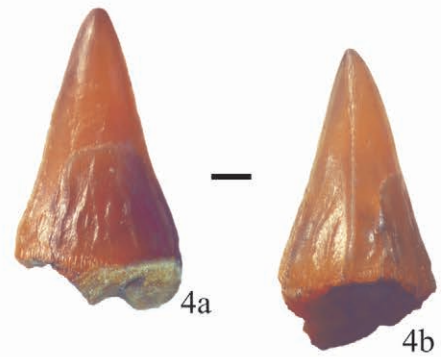


Plate VIII – VIII. tábla



A Magyarországon 1935–1985 közötti időszakban felfedezett kőolaj- és földgáz-előfordulások, valamint ezek sajátosságai

KONCZ István

koncz.istvan38@gmail.com

Oil and gas occurrences discovered in Hungary in period 1935 to 1985, and their features

Abstract

In this study, the author gives a historical overview about hydrocarbon exploration in periods before and after the World War II. Distributions of the geological resources are investigated according to exploration areas, depths and ages of reservoirs. Characteristic features of oils and gases are summarized. Verified and possible source rocks of oil and gas fields are taken into consideration. Migration mechanisms and pathways are discussed. Finally, the author suggests the potential future exploration targets for hydrocarbon exploration.

Keywords: history of hydrocarbon exploration, distributions and features of fields, source rocks, migration mechanisms and pathways, Hungary

Összefoglalás

Ebben a tanulmányban a szerző történelmi áttekintést ad a szénhidrogén-kutatásról a második világháború előtti és utáni időszakokban. Vizsgálja a földtani vagyon eloszlását a számbavételi egységek, a mélység és a tárolókőzet kora szerint. Összefoglalja az olajok és gázok jellemző tulajdonságait. Számba veszi az olaj- és gázmezők bizonyított és lehetséges anyakőzeteit. Tárgyalja a migráció mechanizmusait és útvonalait. Végül potenciális jövőbeni kutatási objektumokat javasol a szénhidrogén-kutatás számára.

Tárgyszavak: a szénhidrogén-kutatás története, a mezők eloszlásai és sajátosságai, anyakőzetek, migrációs mechanizmusok és útvonalak, Magyarország

Bevezetés

Az 1860–1905 közötti időszakban az Osztrák–Magyar Monarchia részét képező Magyarország területén a kőolaj-termelés összesen 55 500 tonna volt. Ennek többségét, 92 százalékát desztilláció útján állították elő a felszíni bányászattal kitermelt bitumenes palából Stájerlakon és olajos homokkőből Tataros-Felsődernán (POSEWITZ 1906). A 8%-ot kitevő, fúrólukon felszínre hozott nyersolaj döntő hányada (83%-a) a Muraközéből és Horvátországból származott. Említsre méltó, hogy az Osztrák–Magyar Monarchiához tartozó Galíciában Drohobycz, Boryslaw környékén egyetlen évben, 1905-ben 801 800 tonna kőolajat termeltek, több mint 14-szeresét annak, amelyet 1860–1905 között Magyaror-

szágon (POSEWITZ 1906). A galíciai olajvidék a 19–20. század fordulóján az Egyesült Államok, Oroszország és Holland-India (Indonézia) mögött a negyedik helyen állt a kitermelt olaj mennyiségét illetően (POLLACK 2009). A Muraközben található a ma is aktív felszíni olajszivárgás Bányaváron (jelenlegi nevén Peklenicán), Horvátország területén. Az innen származó olajat Winterl Jakab, a budai egyetem vegytan tanára vizsgálta lepárlással 1788-ban (FALLER et al. 1997). Ez az első ismert kőolajelemzés a világon (BACSINSZKY et al. 1987). A Bányavár közelében lévő Szelencén, jelenlegi nevén Selnica helységben, az 1850-es évek végén találtak olajat egy barnaszénkutatás során mélyített aknában (POSEWITZ 1906). Szelencén Stavenov és Singer vállalkozók 1905 végéig 31 fúrást mélyítettek,

amelyek közül hatnak a talpmélysége meghaladta az 500 métert. Az olajtermelés Szelencén 1887-ben kezdődött, 50 évvel a Budafa–2 kút olajtermelővé kiképzése előtt, és az 1887–1905 időszakban 3100 tonnát tett ki. 1908 novemberében kezdték mélyíteni az Erdélyi-medencében a Kissármás–2 fúrás kálisó kutatás céljából. A fúrásban gázkitörés keletkezett, majd kigyulladt a gáz, és 27 hónapon át égett. Az ezzel a fúrással megtalált földgázkincs alapozta meg Erdélyben a gázhasznosítási programot, amelynek keretében több város távvezetéken kapta a gázt. A Nyitra–Pozsony megye határán lévő Egbell (Gbely) mellett találtak földgáz-, illetve kőolaj-előfordulást 1914-ben. Itt 72 fúrásból 29 000 tonna kőolajat termeltek az I. világháború alatt.

A Trianon utáni időszakban, 1917-ben Pávai Vajna Ferenc felszíni dőlésmérésekkel kimutatta a „száva redőzés” muraközi folytatását, és 1919-ben Papp Simonnal együtt a budafapusztai szerkezetet is megállapította. Az Anglo–Persian érdekeltségű D’Arcy Exploration Co. koncessziós jo-

got vásárolt kőolaj- és földgáz kutatásra, amelynek keretében a Hungarian Oil Syndicate Ltd. Budafapusztán mélyített fúrást 1923-ban. A fúrás, amelyről utóbb kiderült, hogy a szerkezet déli lejtőjén, a tetőtől 1500 m távolságban volt, a víz-olaj határ alatt harántolta a később ismertté vált Budafa kőolajmező egyik telepét. A fúrás csak olaj- és gáznymokat talált. (Ezt a fúrást újabban Budafa–0 névvel illetik, hogy megkülönböztessék az 1936-ban mélyíteni kezdett Budafa–1 fúrástól.)

Az 1935–1985 közötti időszakban felfedezett jelentős földtani vagyonú előfordulások

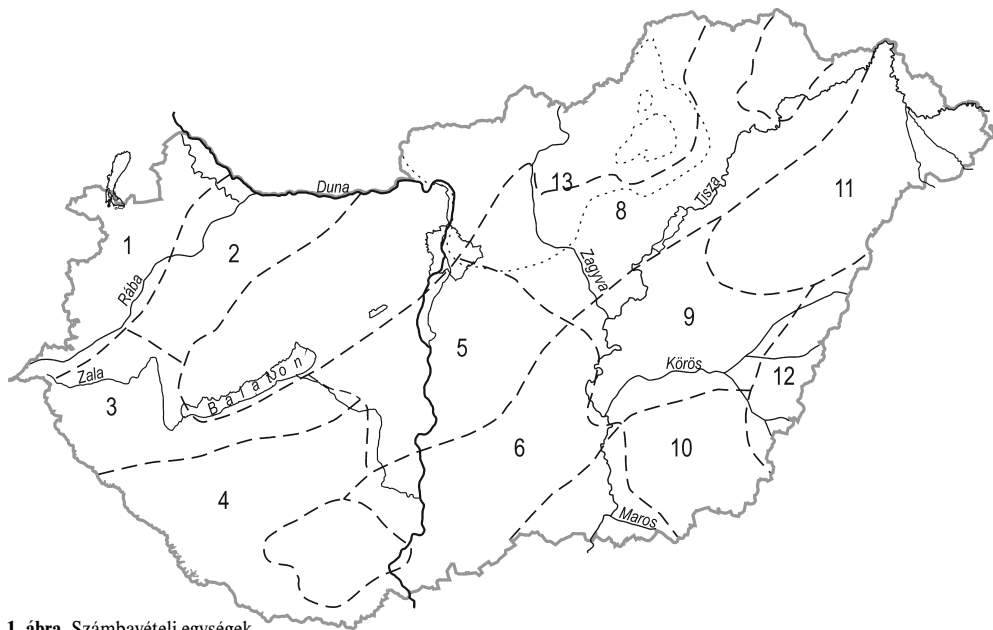
A jelentős, legalább 5 millió egyenérték tonna földtani vagyonú előfordulásokat az I. táblázat tartalmazza a felfedezés évének sorrendjében, megjelölve az I. ábrán látható számbavételi egység számát (sze). A továbbiakban a szö-

I. táblázat. A legjelentősebb földtani vagyonú előfordulások

Table I. Occurrences of most significant geological resources

Év	Előfordulás	Sze	Telep (db)	Mélység (m)	Földtani vagyon (%)	Olaj (%)	Gáz		CO ₂ +N ₂ (%)	Földtani vagyon aljzatban (%)
							%	CH%		
1935	Mihályi	1+2	3	1310–1599	1,3	0	100	2,4	98	2,5
1937	Budafa	3	16	1035–1435	3,3	81,1	18,9	18,3	3	
1940	Lovászi	3	7	1155–1860	4,5	77,2	22,8	22,3	2	
1945	Répcelak	1+2	6	1059–1438	1,0	0	100	8,4	92	7,6
1951	Nagylengyel	3	4	1897–2420	7,4	100	0	0		99,2
1956	Demjén-K	13	1	1030	1,1	94,3	5,7	5,7	0	100,0
1958	Pusztaföldvár	10	5	1605–1738	3,6	28,2	71,8	45,4	37	59,7
1958	Hajdúszoboszló	11	4	450–1266	5,5	0	100	94	6	32,1
1959	Battonya	10	2	645–1010	0,9	35,5	64,5	44,3	31	77,4
1962	Üllés	7	8	1880–2730	2,8	8,5	91,5	82	10	70,1
1964	Ölbő	1+2	1	1815	0,9	0	100	3	97	100,0
1964	Mezőcsokonya	3	3	1716–1743	1,0	0	100	23,7	76	
1964	Szank	6	4	1850–1910	3,4	39,4	60,6	58,2	4	
1964	Nagykörü	9	9	1830	1,6	0	100	25	75	
1965	Algyó	7	15	1723–2500	27,6	40,4	59,6	57,8	3	7,3
1966	Budafa-mély	3	1	3185	1,6	0	100	17	83	100,0
1969	Ferencszállás	7	5	1660–2411	0,9	25,6	74,4	71,5	4	
1970	Battonya-K	10	2	903–1018	1,6	88,4	11,6	5,9	49	100,0
1971	Szeged	7	2	2245–2624	2,0	74,9	25,1	24,1	4	98,9
1974	Kiskunhalas-ÉK	6	6	1850–2050	1,9	81,9	18,1	12	33	97,2
1974	Füzesgyarmat	9	9	1756–1840	1,0	9,8	90,2	22,9	75	
1976	Endrőd III	9	9	1755–2000	1,8	0	100	76,3	24	
1976	Sarkadkeresztúr	12	12	2550–2860	1,6	7,2	92,8	91,7	1	98,4
1980	Szeghalom	9	3	1740–2045	4,0	35,9	64,1	60,3	6	93,4

sze - számbavételi egység - exploration area



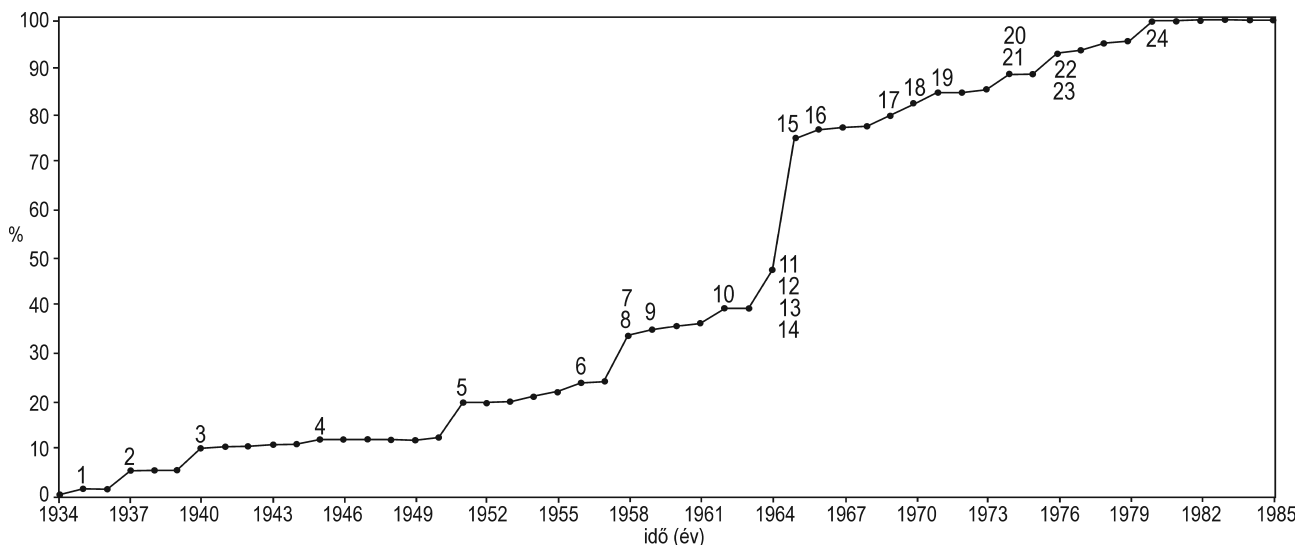
1. ábra. Számbavételi egységek
 Figure 1. Exploration areas

vegen az egyes előfordulások sorszáma a mező melletti zárójelben szerepel, hasonlóképpen a 2. ábrán is. Az előfordulások földtanivagyon-adatai és egyéb sajátosságai VÖLGYI et al. 1985 munkájából származnak. A 2. ábra szemlélteti a felfedezett földtani vagyon kumulatív eloszlását az 1935–1985 időszakban felfedezett összes földtani vagyon százalékában kifejezve.

A Magyar Kincstár és az Európai Gáz és Villamos Társaság (EUROGASCO) 1933-ban kötött egyezménye értelmében a külföldi vállalat jogot nyert arra, hogy a Dunántúl területén kőolaj és földgáz után kutasson. Az első fúrást Mihályi (1.) térségében mélyítették le, amelyik szén-dioxidban dús gázt tárt fel. A Trianon utáni Magyarország első kőolajtermelő területe Bükközéken volt, ahol 1937 áprilisában kezdődött meg a termelés, és 1939-ig tartott, végül a kutak

elvizesedése miatt a mezőt 1943-ban leállították. Az 1937–1939 közötti időszakban összesen 13 000 tonna kőolajat termeltek ki. Papp Simon a budafai szerkezeten – már geofizikai mérésekkel is alátámasztottan – 1936 májusában kijelölte a Budafa-1 (2.) fúrópont helyét. Ez a fúrószerszám megszorulása miatt nem volt vizsgálható, de 1937. február 9-től kezdve gázt tudott szolgáltatni a további fúrások kazánjainak fűtéséhez. Papp Simon 1937 márciusában kijelölte a Budafa-2 fúrási pontot. Ebből a fúrásból 1937. november 21-én megindulhatott a kőolajtermelés. A kutatás következő sikere a Lovászi mező (3.) felfedezése volt. Ez az esemény már az 1938-ban alakult Magyar–Amerikai Olajipari Rt. (MAORT) kereteiben történt. 1949. december 31-én államosították a MAORT-ot, és nemzeti vállalatokat hoztak létre.

Az 1937–1941 között végrehajtott geofizikai (torziós és



2. ábra. Az 1935–1985 közötti időszak felfedezéseinek halmozott földtani vagyona 1935 évtől kezdődően az összes felfedezett földtani vagyon százalékában
 Figure 2. Cumulative geological resources of the period from 1935 to 1985, 1935 onwards in percentage of all the discovered geological resources

graviméteres) mérések nagy kiterjedésű, mélyben lévő szerkezetet mutattak ki, amelynek tetőpontja Salomvár környékén volt. A szerkezet déli része keleti irányban rész-anomáliával rendelkezett Nagylengyel térségében. Papp Simon 1943-ban a tetőrészen tűzte ki a Salomvár–1 fúrását. A triász dolomitra települő miocén átfúrásokor az iszapban gáz- és olajnyomokat észleltek. A fúrás a triászt 2208 m mélységben érte el. 1946-ban a Salomvár–2, 1947-ben a Salomvár–3 fúrás lemélyítésére került sor. Mindhárom fúrás meddő lett, és ezek képezték az egyik vádpontot a MAORT-per során Papp Simon ellen. Már nem Papp Simon jelölte ki Salomváron a további négy, szintén meddőnek bizonyult fúrását. A különbség csak az volt, hogy az első három fúrás vádpontként szerepelt, a következő négyért viszont Kossuthdíj járt. 1950-ben kezdték el mélyíteni a Nagylengyel–1 fúrását, amely olajnyomos miocén glaukonitos zöldhomokkővet harántolt, de az iszapveszteség miatt műszakilag befejezhetetlenné vált. Ebből a tapasztalatból okulva a soron következő, szintén a zöldhomokkőre irányuló fúrásokat nem engedték az „idős mészkő” tetőzónájáig, az iszapelnyelő zónáig mélyíteni. Hangsúlyozni kell, hogy a Nagylengyel térségében megindult kutatás az olajat tartalmazó glaukonitos homokkő feltárására irányult. (A glaukonitos homokkő olaja nem viszkózus, könnyűolaj, az „idős mészkő” olaja ezzel szemben nagy sűrűségű, viszkózus, ún. nehézolaj, amely először a Nagylengyel–3 (5.) fúrásban jelentkezett. Ezt akkor a miocén mészkő olajának, és nem az „idős mészkőnek” tartották.) A Nagylengyel–2 fúrásban, 1951 márciusában a zöldhomokkőből 12–15 m³/nap dugattyúzható könnyűolajat kaptak, aminek akkor az volt az óriási jelentősége, hogy a II. világháború után újra találtak kőolajat Magyarországon. A Nagylengyel–2 fúrásban a zöldhomokkő felett volt béléscsővezve a kút, a tároló így csővezetlen, nyitott szakaszban helyezkedett el. A tárolót is béléscsővezni akarták a biztonságos termelés érdekében úgy, hogy a miocén márgáig fúrnak tovább, és azután rakják be a béléscsővet. Erre 1952-ben került sor. A fúró azonban véletlenül (!) a tervezettnél mélyebbre hatolt, és az „idős mészkőben” állt meg (BUDA E. szóbeli közlés). Az iszapelnyelést követően az „idős” (késő kréta korú) mészkőből felszálló termeléssel napi 95–100 m³ nehézolaj került a felszínre. A Salomvár környékén mélyült fúrásokkal szemben Nagylengyelben a miocén közvetlenül a felső kréta üledékekre települ. További eltérés az, hogy – mint utólag kiderült – Nagylengyelben a mezozoos tető kisebb mélységben van, mint Salomváron. Hangsúlyozni kell, hogy senki sem sejtette, hogy Nagylengyelben egy idős (mezozoos) mészkőből álló rög van, és abban kőolaj található. A Hajdúszoboszló, Üllés, Battonya és Pusztaföldvár mezők felfedezését követően a legnagyobb készletű előfordulást, Algyőt (15.) 1965-ben fedezték fel, amelyet megelőzően az összes felfedezett földtani vagyon még nem érte el az 1935–1985 között megismert összes földtani vagyon felét. Algyón az összes földtani vagyon 28%-át találták meg. Annak ellenére, hogy az Algyő–1 fúrás helyét már 1964 decemberében kítűzték, a fúrások halogató magatartása miatt a fúrás csak 1965. június 20-án indulhatott meg (DANK 1990). Ez a késlekedés

oda vezetett, hogy a Tápé területén termálvíznyerés céljából megkezdett fúrásban kitörés során olaj került a felszínre 1906–1962,5 m mélységből. Az Algyő–1 fúrás ekkor már 1517 m mélységet ért el. Az említett Tápé–1 vízkutató fúrás az algyői szerkezet nyugati peremén hatolt az egyik telep szélébe, az Algyő–1 fúrás viszont a szerkezet tetején települt. Algyő után 1985-ig az összes készlet 25%-át találták meg. Az 1935–1985 időszak utolsó, jelentős földtani vagyonú előfordulását Szeghalmon (24.) fedezték fel 1980-ban.

A felfedezett földtani vagyon nagyság szerinti eloszlására jellemző, hogy a több száz előfordulás közül a jelentős földtani vagyonnal rendelkezők 24 előfordulásban vannak jelen, és az összes felfedezett földtani vagyon 82 százalékát képezik. Az Országos Kőolaj és Gázipari Tröszt az ország területét ún. számbavételi egységekre osztotta, amelyek az egyes medenceterületek migrációs gyűjtőkörzetének felelnek meg. (A továbbiakban a számbavételi egységek (sze) számjele szerepel zárójelben a szövegben és az 1. ábrán is.)

A jelentős földtani vagyonú előfordulások mélységintervalluma 450–3185 m: a legkisebb mélység a Hajdúszoboszló (11. sze), a legnagyobb a Budafa-mély (3. sze) előforduláshoz tartozik.

A jelentős földtani vagyonú előfordulások fázisösszetételét a következők jellemzik: a Zalai-medencében (3. sze) a nagylengyeli előfordulás csak olajból áll. Csak földgázt tartalmaznak a következő előfordulások a megjelölt számbavételi egységek területén:

Kisalföldi-medence(1. + 2. sze): Mihályi, Répcelak, Ölbő
Zalai-medence (3. sze): Budafa-mély, Mezőcsokonya
Nagykunság (9. sze): Nagykörű, Endrőd III
Hajdúság (11. sze): Hajdúszoboszló

A többi előfordulás kőolajat és földgázt egyaránt tartalmaz.

A jelentős földtani vagyonú előfordulások gázösszetételére az alábbiak jellemzők. A szénhidrogénekben dús gázok, amelyekben a szénhidrogén-tartalom legalább 70%, az alábbiak:

Zalai-medence (3. sze): Budafa, Lovászi
Kiskunság (6. sze): Szank
Szegedi-medence (7. sze): Algyő, Szeged, Ferencszállás, Üllés
Nagykunság (9. sze): Endrőd III, Szeghalmon
Hajdúság (11. sze): Hajdúszoboszló
Bihari-medence (12. sze): Sarkadkeresztúr
Paleogén-medence (13. sze): Demjén–K

A gázok nem éghető (inert) tartalma jelentős, 30% feletti a következő jelentős földtani vagyonú előfordulásokban:

Kisalföldi-medence (1. + 2. sze): Mihályi, Répcelak, Ölbő
Zalai-medence (3. sze): Budafa-mély, Mezőcsokonya
Kiskunság (6. sze): Kiskunhalas ÉK
Nagykunság (9. sze): Füzesgyarmat, Nagykörű
Békési-medence (10. sze): Battonya, Battonya-K, Pusztaföldvár

A jelentős földtani vagyónú előfordulások többsége nem egyetlen telepől, hanem több, egymás felett elhelyezkedő telepől áll. Az egytelepes előfordulások a következők: a Kisalföld medencében (1. + 2.) Ölbő paleozoos aljzati képződményben, a Zalai-medencében (3. sze) Budafa-mély triász képződményben, a Paleogén-medencében (13. sze) Demjén-K oligocén tárolókőzetben. A többtelepesek közül csak neogén tárolókőzetek szerepelnek a következő előfordulások esetében:

Zalai-medence (3. sze): Budafa, Lovászi, Mezőcsokonya
Kiskunság (6. sze): Szank
Szegedi-medence (7. sze): Ferencszállás
Nagykunság (9. sze): Nagykőrű, Füzesgyarmat, Endrőd III

A Paleogén-medencében (13. sze) egyedül Demjén-K esetében nem szerepelt neogén tárolókőzet. A többi esetben a neogén mellett a nála idősebb tárolóban is van telep. Ezek az előfordulások az alábbiak:

Kisalföldi-medence (1. + 2. sze): Mihályi, Répcelak, Ölbő
Zalai-medence (3. sze): Nagylengyel, Budafa-mély
Kiskunság (6. sze): Kiskunhalas ÉK
Szegedi-medence (7. sze): Algyő, Szeged, Üllés
Nagykunság (9. sze): Szeghalom
Békési-medence (10. sze): Battonya, Battonya-K, Pusztaföldvár
Hajdúság (11. sze): Hajdúszoboszló
Bihari-medence (12. sze): Sarkadkeresztúr

Közöttük vannak olyanok, amelyeknél a neogénnél idősebb tárolókőzetű telepek a neogénhez viszonyítva kis földtani vagyonnal rendelkeznek, mint például a Kisalföldi-medencében (1. + 2. sze) Mihályi és Répcelak, a Szegedi-medencében (7. sze) Algyő, a Hajdúságban (11. sze) Hajdúszoboszló. Azonban az esetek többségében a neogénnél idősebb tárolókőzetek a neogén képződményekhez képest

jelentős földtani vagyont tartalmaznak a következő esetekben:

Kisalföldi-medence (1.+2. sze): Ölbő
Zalai-medence (3. sze): Nagylengyel, Budafa-mély
Kiskunság (6. sze): Kiskunhalas ÉK
Szegedi-medence (7. sze): Szeged, Üllés
Nagykunság (9. sze): Szeghalom
Békési-medence (10. sze): Battonya, Battonya-K, Pusztaföldvár
Bihari-medence (12. sze): Sarkadkeresztúr

A felfedezett földtani vagyónú számbavételi egységenkénti eloszlása

Az egyes számbavételi egységekhez tartozó adatokat a II. táblázat tartalmazza. A 3 km-nél mélyebb, neogén üledékekkel kitöltött medencék a következők: Kisalföldi-medence (1. + 2. sze), Zalai-medence (3. sze), Dráva-medence (4. sze), Szegedi-medence (7. sze), Békési-medence (10. sze) és a Bihari-medence (12. sze). Meg kell jegyezni, hogy a Szegedi-medence két részből áll: az Algyő felhalmozódási övezettől keletre a Makó-árok, nyugatra a Dorozsmai-süllyedék helyezkedik el. A Kiskunság (6. sze), Nagykunság (9. sze), Hajdúság (11. sze), valamint a Paleogén-medence (13. sze) nem kapcsolódik mély neogén süllyedékhez.

Az összes felfedezett földtani vagyónra vonatkoztatva a legtöbb (36%) a Szegedi-medencében (7. sze) van, ezt követi a Zalai-medence (3. sze) (20%) és a Nagykunság (9. sze) (13%) számbavételi egységek. A többi egységben a megismert földtani vagyónú számaránya 10% alatti.

Az egyes számbavételi egységeken belül a földtani vagyónú fázisösszetétele alapján megállapítható, hogy a Kisalföldön (1. + 2. sze) felfedezett csak gázokból állnak. Emellett gázprovinciának tekinthetők az átlagos, 59% fe-

II. táblázat. A felfedezett földtani vagyónú számbavételi egységek szerinti eloszlása

Table II. Distribution of the discovered resources according to exploration areas

Sze	Elnevezés	Ktéé (%)	Olaj (%)	Gáz (%)	CH gáz (%)	CO ₂ +N ₂ (%)	CH-dús (%)	Inert-dús (%)	Neogén pelit (%)	sCH (%)	PK
1+2	Kisalföldi-medence	3,5	0,0	100,0	4,4	95	0	20,1	21	0,2	0,01
3	Zalai-medence	19,8	75,4	24,6	13,1	47	6,7	16,4	9	13,3	1,48
4	Dráva-medence	2,0	7,6	92,4	45,2	51	1,2	7,9	5	1,4	0,28
5	Közép-Duna	0,0							0		0,00
6	Kiskunság	8,2	41,5	58,5	47,5	19,0	8,7	6,3	5,0	9,7	1,94
7	Szegedi-medence	35,6	42,3	57,7	55,3	4	47,7	0	10	46,1	4,61
8	Észak-Alföld	<0,1	0,0	100,0	4,1	96,0	0,0	0,5	7,0	<0,1	<0,01
9	Nagykunság	12,8	12,8	87,2	48,6	44,0	14,0	30,0	9,0	10,4	1,16
10	Békési-medence	7,4	44,6	55,4	37,9	32	4,9	11,9	17	8,1	0,48
11	Hajdúság	6,5	2,6	97,4	79,4	18,0	13,2	3,8	7,0	7,1	1,01
12	Bihari-medence	3,1	30,5	69,5	60,4	13	3,9	2,8	10	3,7	0,37
13	Paleogén-medence	1,8	93,5	6,5	4,3	33	0,2	0,3	0		0,00

letti gázaránnyal rendelkező számbavételi egységek, amelyek a gázarány növekedésének sorrendjében az alábbiak:

Bihari-medence (12. sze)	70%
Nagykunság (9. sze)	87%
Dráva-medence (4. sze)	92%
Hajdúság (11. sze)	97%

Az átlagos, 41% feletti olajaránnyal rendelkező számbavételi egységek az olajhányad növekedésének sorrendjében a következők:

Kiskunság (6. sze)	42%
Szegedi-medence (7. sze)	42%
Békési-medence (10. sze)	45%
Zalai-medence (3. sze)	75%
Paleogén-medence (13. sze)	94%

A felfedezett gázok földtani vagyonának átlagos inerttartalma 27%. Az átlagosnál kisebb inerttartalmú számbavételi egységek az inerttartalom csökkenésének sorrendjében az alábbiak:

Kiskunság (6. sze)	19%
Hajdúság (11. sze)	18%
Bihari-medence (12. sze)	13%
Szegedi-medence (7. sze)	4%

Az átlagosnál nagyobb inerttartalommal rendelkező számbavételi egységek az inerttartalom növekedésének sorrendjében a következők:

Békési-medence (10. sze)	32%
Paleogén-medence (13. sze)	33%
Nagykunság (9. sze)	44%
Zalai-medence (3. sze)	47%
Dráva-medence (4. sze)	51%
Kisalföld (1. + 2. sze)	95%

A szénhidrogén-prognózis térfogatgenetikai módszerének alkalmazása során meg kellett becsülni a generatív állapotban lévő, 2500 m-nél nagyobb mélységben elhelyezkedő neogén pelitek mint anyaközetek térfogatát. Az egyes számbavételi egységek neogén pelittérfogatóinak az összes neogén pelittérfogathoz viszonyított aránya növekedése szerint a következő sorrendet kapjuk:

Közép-Duna (5. sze)	0%
Paleogén-medence (13. sze)	0%
Dráva-medence (4. sze)	5%
Kiskunság (6. sze)	5%
Észak-Alföld (8. sze)	7%
Hajdúság (11. sze)	7%
Zalai-medence (3. sze)	9%
Nagykunság (9. sze)	9%
Szegedi-medence (7. sze)	10%
Bihari-medence (12. sze)	10%
Békési-medence (10. sze)	17%
Kisalföld (1. + 2. sze)	21%

Látható, hogy a Kisalföldi-medence (1. + 2. sze) tartalmazza az összes generatív neogén pelittérfogató legnagyobb

részét, 21%-át. Ezt követi 17%-kal a Békési-medence (10. sze). A többi tájegység 5–9% értékeket mutat. A Közép-Duna (8. sze) és a Paleogén-medence (13. sze) nem tartalmaz generatív állapotban lévő neogén képződményeket.

Ha feltételezzük, hogy a megismert szénhidrogénkészletek zömét a neogén pelitek generálták, akkor a felfedezett földtani vagyon számbavételi egységenkénti eloszlásának és a pelittérfogatók eloszlásának párhuzamosan kellene futnia. Nyilvánvaló, hogy a Zalai-medencében (3. sze) felfedezett földtani vagyont csökkenteni szükséges a felső triász eredetű nagylenyegeli előfordulás földtani vagyonával (KONCZ 2016). A Paleogén-medence paleogén anyaközetek által generált szénhidrogénjeit nem kell számításba venni. Földtani vagyonként az olajnak és a gáz szénhidrogén-tartalmának tömegösszegét kell tekinteni, mert a gázok inert komponensei nem tekinthetők neogén anyaközetekből keletkezetteknek (KONCZ 1983). Az ily módon számított, az összegzett földtani vagyonra vonatkoztatott földtani vagyon arányok (sCH) a következő sorrendet adták – a pelittérfogató-arányok zárójelben való feltüntetésével:

Kisalföld (1. + 2. sze)	0,2% (21%)
Dráva-medence (4. sze)	1,4% (5%)
Bihari-medence (12. sze)	3,7% (10%)
Hajdúság (11. sze)	7,1% (7%)
Békési-medence (10. sze)	8,1% (17%)
Kiskunság (6. sze)	9,7% (5%)
Nagykunság (9. sze)	10,4% (9%)
Zalai-medence (3. sze)	13,3% (9%)
Szegedi-medence (7. sze)	46,1% (10%)

Látható, hogy a neogén pelittérfogató nagy számaránya (21%) mellett a Kisalföldi-medence (1. + 2. sze) a felfedezett földtani vagyonnak csak 0,2%-ával rendelkezik. A neogén pelittérfogató aránya mindössze 10% a Szegedi-medencében (7. sze), ezzel szemben a megismert földtani vagyonnak a 46,1%-át tartalmazza. A hasonló neogén pelittérfogató-arányú (10%) Bihari-medencében (12. sze) pedig a felfedezett földtani vagyonnak mindössze csak 3,7%-át találtuk meg. Ezeknek az aránytalanságoknak a számszerűsítésére alkalmas a készlet% és a pelittérfogató aránya% (PK), amely azt mutatja meg, hogy 1% pelittérfogatóra hány % földtani vagyon esik. A PK értékek növekedésének sorrendjében az egyes számbavételi egységek a következők:

Közép-Duna (5. sze)	0,00
Észak-Alföld (8. sze)	0,00
Paleogén-medence (13. sze)	0,00
Kisalföld (1. + 2. sze)	0,01
Dráva-medence (4. sze)	0,28
Bihari-medence (12. sze)	0,37
Békési-medence (10. sze)	0,48
Hajdúság (11. sze)	1,01
Nagykunság (9. sze)	1,16
Zalai-medence (3. sze)	1,48
Kiskunság (6. sze)	1,94
Szegedi-medence (7. sze)	4,61

A fentiekben szereplő 12 számbavételi egység PK értékeinek mediánja 0,43. A legkisebb (0,00 és 0,01) értékekkel a

Közép-Duna (5. sze), Észak-Alföld (8. sze), a Paleogén-medence (13. sze) és a Kisalföld (1. + 2. sze) rendelkezik. Mivel a Kisalföld pelittér fogat százaléka messze a legnagyobb (21%), az átlagoshoz képest a földtani vagyon hiánya a Kisalföldön tetemes nagyságú. A Dráva-medence (4. sze) alacsony, 0,28 PK-értéke még alacsonyabb a valóságban, mert a generáló pelittér fogat zöme a horvát oldalra esik. A Kiskunság (6. sze) magas PK-értéke valószínűleg annak következménye, hogy a medenceterület kiemelkedett, a jelent megelőzően mélyebben volt, így a generáló pelittér fogat nagyobb lehetett. A legmagasabb PK-értéket a Szegedi-medence (7. sze) mutatja, ahol feltételezhető, hogy a vetők révén a migráció hatékonysága az átlagot messze meghaladta.

A megismert földtani vagyon mélység-intervallumonkénti eloszlása

500 m nagyságú intervallumokra osztva a III. táblázat foglalja össze az adatokat. A megismert földtani vagyon a mélység növekedésével az 1500–1999 m intervallumig növekszik, ahol maximumot (39,2%) ér el. Ezt követően, a mélység további növekedésével csökkenés mutatkozik. A jelentősebb, legalább 1 millió egyenérték tonna földtani vagyonnal rendelkező előfordulások közül a legkisebb mélységben (340 m) a paleogén korú tárolóban elhelyezkedő olajtelep, a Demjén-Ny (13. sze) van. A jelzett kis mélység feltehetően a nagymérvű inverzió következménye. A szintén jelentősebb készletek közül a legnagyobb mélységben (3185 m) a triázzsal érintkező miocén tárolóban felfedezett, nagy (81%) szén-dioxid-tartalmú gáztelep, a Budafa-mély (3. sze) helyezkedik el.

Az egyes mélységintervallumokban felfedezett földtani vagyon fázisösszetételét is közli a III. táblázat. Feltűnő, hogy a legkisebb mélységben (0–499 m) az olaj dominál (76%). Ez a sekély olaj a paleogén tárolókőzetben elhelyezkedő Demjén-Ny, Demjén-Pünkösdshegy (13. sze) előfordulásokból áll. Az 500–999 m intervallumban a gáz dominál (88%), amely zömében a „felsőpannon” tárolókőzetben lévő, metánban dús, bakteriális eredetű gázból tevődik össze (Battonya, Hajdúszoboszló). 1000–2499 m intervallumban

az olaj 40–49%, a gáz 51–60% értékek között ingadozik. A 2500–2999 m intervallum már gázban domináns (68%). A jelentősebb földtani vagyonú előfordulások olaja ebben a mélységintervallumban már kizárólag a preneogén kristályos aljzatban halmozódott fel (7. és 12. sze). Szintén ebben a földtani vagyon nagyság kategóriában a gáz zöme prekambriumi tárolóban van az Üllés előfordulásban (7. sze).

A megismert földtani vagyon eloszlása a tárolókőzetek kora, illetve ősföldrajzi helyzete szerint

Hat kategóriában mutatja be a IV. táblázat a földtani vagyon eloszlásával összefüggő adatokat a tárolókőzet kora, illetve ősföldrajzi helyzete szerint. A pannóniai képződményeknél szerepel az „alsópannon”, illetve a „felsőpannon” elnevezés. Ezek nem a képződmények korát jelzik, csak ősföldrajzi-öskörnyezeti helyzetükben különböznek egymástól: a „felsőpannon” a Pannon-tóba érkező folyó- és deltarendszer, az „alsópannon” a progradáló self lejtőjét és annak előterében-folytatásában ülepedő mélyvízi üledékeket képviseli. A továbbiakban az „alsópannon”, illetve a „felsőpannon” megjelölést ilyen értelemben használom. A prepannóniai miocén tárolókőzetek többnyire középső miocén, badeni korúak. A kristályos aljzat elnevezés a paleozoos, prekambriumi és proterozoos korú képződményeket foglalja magában.

A legkisebb földtani vagyon (2%) a paleogén korú tárolókőzetben, a 13. számbavételi egységben került felfedezésre. A legnagyobb földtani vagyon (29%) a „felsőpannon” tárolókőzetekhez tartozik. A neogén tárolókőzetekben a földtani vagyon 60%-át fedeztük fel. Az olajhányad 50% feletti értékei (62, ill. 92%) a mezozoos, illetve paleogén korú tárolókőzeteket jellemzik. A gázdinanciával rendelkező tárolókőzetek a gázhányad növekedésének sorrendjében a következők: kristályos aljzat (56%), „alsó-” és „felsőpannon” (66%), miocén (71%).

A továbbiakban azok az előfordulások szerepelnek, amelyek földtani vagyona legalább 1 millió egyenérték tonna. Az V. táblázat foglalja össze a „felsőpannon” tárolókőzetekben felfedezett, jelentősebb (≥ 1 millió egyenérték tonna)

III. táblázat. A felfedezett földtani vagyon mélység szerinti eloszlása

Table III. Distribution of the discovered geological resources according to the depths

Mélység (m)	Ktéé (%)	Olaj (%)	Gáz (%)
0–499	0,5	76	24
500–999	3,4	12	88
1000–1499	22,3	46	54
1500–1999	39,7	40	60
2000–2499	23,1	49	51
2500–2999	9,8	32	68
3000–3500	1,7	2	98

IV. táblázat. A felfedezett földtani vagyon eloszlása a tárolókőzetek kora és ősföldrajzi helyzete szerint

Table IV. Distribution of the discovered geological resources according to the age and paleogeographical situation

Kor/ősföldrajzi környezet	Mélység (m)	Ktéé %	Olaj %	Gáz %
„Felsőpannon”	230–2118	29,2	34	66
„Alsópannon”	294–2860	24,3	34	66
Miocén	630–3160	7,1	29	71
Paleogén	310–1470	2,0	92	8
Mezozos	1160–3185	15,2	62	38
Kristályos aljzat	550–2955	22,2	44	56

V. táblázat. A „felsőpannon” tárolókban felfedezett földtani vagyon**Table V.** The discovered geological resources in the “Upper Pannonian” reservoirs

Sze	Előfordulás	Mélység (m)		Fázis	CO ₂ %	Eredet
		min.	max.			
1+2	Mihályi		1310	gáz	97	
1+2	Répcelak		1202	gáz	72	
4	Inke		755	gáz	64	
7	Algyő	1723	2048	olaj+gáz		
9	Endrőd III		1755	gáz		bakteriális
10	Battonya		645	gáz		bakteriális
10	Pusztaföldvár	1011	1605	gáz		bakteriális
10	Pusztaszőlős	1030		gáz		bakteriális
11	Hajdúszoboszló	892		gáz		bakteriális

földtani vagyonnal rendelkezőket. A megismert jelentősebb földtani vagyonú előfordulások mélységintervalluma 645–2048 m, amelyben főleg gázok jelentkeztek. Algyőn (7. sze) a „felsőpannon” tárolókban az összes itt felfedezett olaj 98,7 százaléka helyezkedik el. A többi, „felsőpannonban” megismert olaj jóval kisebb földtani vagyonú, és a Görgeteg–Babócsa (4. sze), Törtel (6. sze), Dorozsma (7. sze) Kismarja-K és Kismarja-Ny (12. sze) előfordulásokhoz tartozik. A „felsőpannon” képződményekben sok a szenes betelepülés, így anyakőzeteknek tekinthetők. Igen alacsony termikus érettsége miatt azonban belőle termogén eredetű szénhidrogének nem képződhetnek. Ezért az olaj jelenléte a „felsőpannon” tárolókban azt jelzi, hogy az eleve termogén eredetű olaj vertikális migráció révén tölthette fel a tárolókat. A „felsőpannon” lignitekből készült extraktum biomarkerei egészen más képet mutatnak, mint a vele egykorú homokkő-tárolókban lévő olaj (KONCZ & ETLER 1994). A gázok egy része bakteriális eredetű metánt tartalmaz a Nagykunság (9. sze), a Békési-medence (10. sze) és a Hajdúság (11. sze) területén. Az algyői előfordulás gázaiban a szénhidrogének termogén eredetűek, nagyobb mélységből származnak. Nagy inerttartalmú, szén-dioxidban dús gázokat tartalmaz a Kisalföld (1. + 2. sze) és a Dráva-medence (4. sze). A legnagyobb földtani vagyon a „felsőpannon” tárolókban Algyőn fedezték fel.

Az „alsópannon” deltalejtő, illetve deltalejtőtőlábi, többnyire turbidites tárolókban, 1050–2318 m mélységintervallumban felfedezett jelentősebb földtani vagyonú előfordulásokat a VI. táblázat tartalmazza. A kőolajat is magukban foglaló előfordulások a Zalai-medence (3. sze), a Szegedi-medence (7. sze) és a Békési-medence (10. sze) területére korlátozódnak. A gázelőfordulások közül a Tatárülés–Kunmadaras (9. sze) és a Hajdúszoboszló (11. sze) metánja tartalmaz bakteriális eredetűt. Nagy inerttartalmú gázelőfordulásokat ismertünk meg a Kisalföld (1. + 2. sze) (Mihályi, Répcelak), a Zalai-medence (3. sze) (Mezőcsokonya), a Dráva-medence (4. sze) (Görgeteg–Babócsa, Inke) és a Nagykunság (9. sze) (Nagykörü, Kisújszállás-Ny, End-

VI. táblázat. Az „alsópannon” tárolókban felfedezett földtani vagyon**Table VI.** The discovered geological resources in the “Lower Pannonian” reservoirs

Sze	Előfordulás	Mélység (m)		Fázis	CO ₂ %	N ₂ %	Eredet
		min.	max.				
1+2	Mihályi		1535	gáz	95		
1+2	Répcelak		1368	gáz	92		
3	Budafa	1085	1252	olaj+gáz			
3	Lovászi	1100	1440	olaj+gáz			
3	Mezőcsokonya		1743	gáz	91		
4	Inke		1525	gáz	79		
4	Görgeteg–Babócsa		1640	gáz	18	16	
4	Bajcsa		2166	gáz			bakteriális
7	Üllés		1246	olaj			
7	Ferencszállás		2290	olaj+gáz			
7	Algyő	2290	2318	olaj+gáz			
9	Endrőd I		2010	gáz			
9	Endrőd II		2260	gáz	68		
9	Endrőd III		2150	gáz			
9	Fegyvernek-K		1660	gáz	75		
9	Rákóczi falva		1420	gáz	89		
9	Tatárülés–Kunmadaras		1190	gáz			bakteriális
9	Kisújszállás-Ny		1500	gáz	41	40	
9	Nagykörü		1830	gáz	27	48	
10	Pusztaföldvár		1740	olaj			
11	Hajdúszoboszló		1050	gáz			bakteriális

rőd II, Fegyvernek-K, Rákóczi falva) számbavételi egységekben. Kiemelkedően nagy földtani vagyonnal rendelkeznek a Budafa, Lovászi (3. sze) és az Algyő (7. sze) előfordulások „alsópannon” tárolói.

A középső miocén tárolókban felfedezett jelentősebb földtani vagyonú előfordulásokat a VII. táblázat foglalja össze. A kőolajat is tartalmazó előfordulások a Kiskunság (6. sze) és a Nagykunság (9. sze) területére esnek. Nagy inerttartalmú, szén-dioxidban dús gázok jelentkeztek a Mezőcsokonya (3. sze)

VII. táblázat. A középső miocén tárolókban felfedezett földtani vagyon**Table VII.** The discovered geological resources in the Middle Miocene reservoirs

Sze	Előfordulás	Mélység (m)	Fázis	CO ₂ %
3	Mezőcsokonya	1716	gáz	64
6	Szank	1850	olaj+gáz	
6	Zsana-É	1860	gáz	
7	Üllés	2510	gáz	
9	Szeghalom	2045	olaj+gáz	
9	Füzesgyarmat	1756	olaj+gáz	96
11	Püspökladány	1820	gáz	81

VIII. táblázat. A paleogén tárolókban felfedezett földtani vagyon**Table VIII.** The discovered geological resources in the Paleogene reservoirs

Sze	Előfordulás	Mélység (m)	Fázis
13	Demjén–Pütkösdegy	410	olaj
13	Demjén-Ny	340	olaj
13	Demjén-K	1030	olaj
13	Mezőkeresztes	1200	olaj

és a Püspökladány (11. sze) előfordulásokban. Az egyedüli jelentős földtani vagyonú előfordulást Szankon és Zsana-Északon (6. sze) fedezték fel.

A paleogén tárolókőzetekben 340–1200 m mélység-intervallumban megismert jelentősebb földtani vagyont kizárólag a Paleogén-medencében (13. sze) fedezték fel (*VIII. táblázat*). Az ide tartozó előfordulásokban csak kőolaj jelentkezett, gáz nem mutatkozott. A jelentős földtani vagyonú előfordulások köréhez tartozik a Demjén-K.

A „felsőpannon” és „alsópannon”, miocén és paleogén tárolókőzetek általában homokkővekből állnak, amelyre jellemző, hogy tárolóterük és átteresztőképességük a mélység növekedésével csökken. A délkelet-alföldi neogén süllyedékekben 1000 m mélységben a porozitás 34%, az átteresztőképesség 400 millidarcy (mD), de 2500 m mélységben a porozitás már csak 13%, az átteresztőképesség pedig csak 40 mD (KONCZ 2020b, SZALAY 1982). Nem tekinthető véletlennek, hogy az említett homokkővekből felfedezett jelentősebb földtani vagyonnal rendelkezők körében a legnagyobb mélység 2510 m (7. sze) (Üllés, miocén).

A mezozoos tárolókőzetek többnyire karbonátokból (mészkőből, dolomitból) állnak. Tárolóterük a mélységtől függetlenül jelentős lehet a tektonikai okokból bekövetkezett repedezettség, illetve blokkokra töredezettség révén, továbbá karsztos üregek, kavernák kialakulása miatt (DANK 1987). Ez utóbbi létrejött az orogén fázisok során a felszínre emelkedett karbonátos kőzetek karsztosodásához kötött. A mezozoos tárolókőzetekben 1266–3185 m mélység-intervallumban felfedezett jelentősebb földtani vagyonú előfordulásokat a *IX. táblázat* foglalja össze. Olaj, illetve olaj és gáz jelentkezett a Zalai-medencében (3. sze) lévő következő előfordulásokban: Nagylengyel, Barabásszeg, Hahót–Pusztaszentlászló, Ortaháza, Sávoly. Továbbá a Kiskunságban (6. sze) (Kiskunmajsa-D, Kiskunhalas-ÉK), végül a Békésmédenében (10. sze) (Pusztaszőlős). Szén-dioxidban dús gázok mutatkoztak a Sávoly, Budafa-mély (3. sze), Liszó (4. sze), Pusztaszőlős (10. sze) előfordulásokban. A szénhidrogénekben dús gázok előfordulásai: Kiskunmajsa-D, Kiskunhalas-ÉK (6. sze) és Hajdúszoboszló (11. sze). A jelentősebb földtani vagyonú előfordulások körébe tartozik Nagylengyel (3. sze), Hajdúszoboszló (11. sze).

A kristályos aljzatot képező repedezett, mállott paleozoos, prekambriumi, proterozoos korú metamorfitek kedvező tulajdonságokkal rendelkező tárolók lehetnek (DANK 1987). Esetenként a felső, mállott-repedezett zóna beiszapolódása miatt a felhalmozódások nemcsak a diszkordanciafeület közelében várhatók, hanem mélyebben is, az aljzat bel-

IX. táblázat. A mezozoos tárolókban felfedezett földtani vagyon**Table IX.** The discovered geological resources in the Mesozoic reservoirs

Sze	Előfordulás	Mélység (m)		Fázis	CO ₂ %
		min.	max.		
3	Hahót–Pusztaszentlászló		1460	olaj	
3	Sávoly		1582	olaj+gáz	73
3	Nagylengyel	2260	2420	olaj	
3	Barabásszeg		2255	olaj	
3	Ortaháza		1981	olaj+gáz	
3	Budafa-mély		3185	gáz	81
4	Liszó		2427	gáz	70
6	Kiskunmajsa-D	1850	2000	olaj+gáz	
6	Kiskunhalas-ÉK		1850	olaj+gáz	
10	Pusztaszőlős		1716	olaj+gáz	39
11	Hajdúszoboszló		1266	gáz	

sejében (DANK 1987). Az 1935–1960 időszakban megismert, kristályos aljzatban lévő tárolók nagy inerttartalmú gázokat foglaltak magukban. Talán ennek tulajdonítható, hogy a Vízvár–Heresznye–Görgeteg–Babócsa (4. sze) szerkezeti magaslaton az 1954–1960 időszakban mélyült, kristályos aljzatot elért fúrások nem hatoltak be annak belsejébe, hanem az aljzatot elérve, rögtön le is álltak. Az első olyan tároló, amely a kristályos aljzatban jelentős földtani vagyont tartalmazott, az Üllés előfordulás (7. sze) volt 1962-ben. 1965-től kezdődően már rendszeres volt az aljzat megkutatása. Az aljzatba való behatolás gyémántvést igényelt, amelynek jelentős költségvonzata volt. Az 1976-ban Sarkadkeresztúron mélyített fúrások is gyémántvést használtak az aljzatba való behatolásra. Ez azért említésre méltó, mert a kutatás irányítóját feljelentették. A büntetéstől csak az mentette meg, hogy a lelőhely a kristályos aljzattól jelentős mennyiségű gázt és párlatot termelt (DANK V. szóbeli közlés). A kristályos aljzatban 904–2955 m mélységintervallumban felfedezett, jelentősebb földtani vagyonnal rendelkező előfordulásokat a *X. táblázat* foglalja össze. Az előfordulások zöme kőolajat, illetve kőolajat is tartalmaz. Mindössze három előfordulás – Ölbő (1. + 2. sze), Üllés (7. sze), Biharkeresztes (12. sze) – foglal magában csak gázt. Némelyik előfordulásban a gáz nagy szén-dioxid-tartalmú. Ezek az előfordulások a következők: Ölbő (1. + 2. sze), Battonya, Battonya-K, Mezőhegyes–Végegyháza, Pusztaföldvár (10. sze), Biharkeresztes (12. sze). Kiemelkedően nagy földtani vagyonnal rendelkezik a többihez képest a szeghalmi (9. sze) előfordulás.

Az előfordulások kőolajainak sajátosságai

Kőolajnak az a szénhidrogén-folyadék tekinthető, amelynek atmoszférikus desztillációs maradéka legalább 40%. Az ennél kisebb desztillációs maradékú szénhidrogén-folyadék

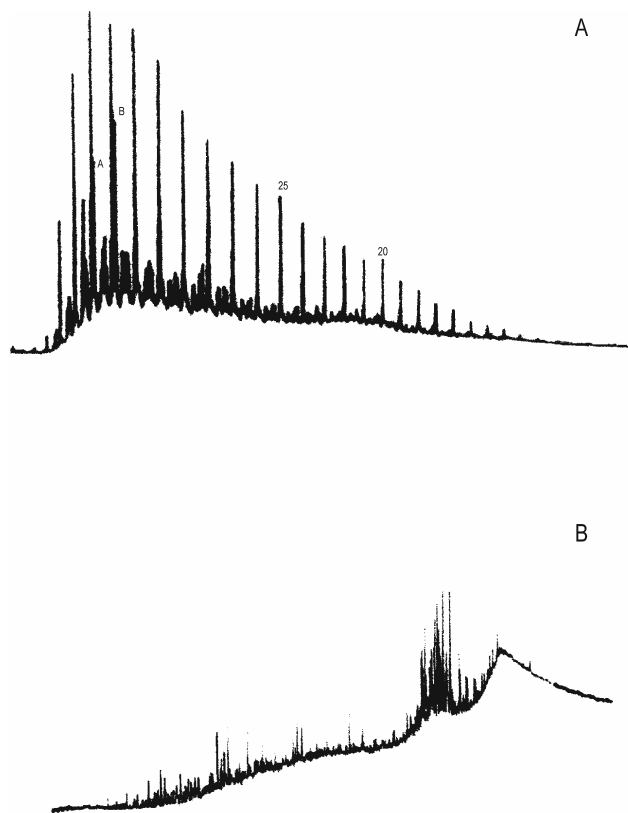
X. táblázat. A kristályos aljzatban felfedezett földtani vagyon

Table X. The discovered geological resources in the crystalline basement

Sze	Előfordulás	Mélység (m)		Fázis	CO ₂ %
		min.	max.		
1+2	Ölbő		1815	gáz	96
6	Kiskunhalas-ÉK	1964	2050	olaj+gáz	
6	Tázlár		1920	olaj+gáz	
7	Kelebia-D		904	olaj+gáz	
7	Ferencszállás-K-Kiszombor		2260	olaj+gáz	
7	Ásotthalom		1060	olaj	
7	Dorozsma		2955	olaj	
7	Üllés		2730	gáz	
7	Algyó		2500	olaj+gáz	
7	Szeged		2624	olaj	
9	Szeghalom		1970	olaj+gáz	
10	Mezőhegyes-Végegyháza		1178	olaj+gáz	53
10	Battonya		1010	olaj+gáz	44
10	Battonya-K		1018	olaj+gáz	46
10	Pusztaföldvár		1738	olaj+gáz	63
12	Komádi		2200	olaj	
12	Biharkeresztes		1450	gáz	49
12	Mezősas		2585	olaj	
12	Sarkadkeresztúr		2780	olaj+gáz	

a gázcsapadék (kondenzátum). Az összes felfedezett szénhidrogén-folyadék csak 21%-a kőolaj, a többi gázcsapadék.

A legalább 0,9 t/m³ sűrűségű kőolajat nehézőolajnak nevezik, amelyre a nagy sűrűségeen kívül jellemző a nagy viszkozitás és a magas dermedéspont. Ezek a sajátosságok a nehézőolaj nagy aszfalten- és gyantatartalmából erednek. Sem az aszfalten, sem a gyanta nem szénhidrogén, mert elemi összetételükben a szénen és a hidrogéneken kívül a kén, oxigén és a nitrogén is szerepel. A nehézőolajok termelése és szállítása különleges módszereket igényel. Mivel a nehézőolaj viszkozitása nagyságrendekkel nagyobb a vízénél, az intenzív termelés elvezesedést vonhat maga után, ahogy ez Nagylengyelben be is következett. A gyűjtőcsőhálózatot télen fűteni kell. A nehézőolajoknak alapvetően két típusa ismert, amelyek az olajokból készített gázkromatogramok alapján megkülönböztethetők egymástól. Az egyik típus nem biodegradált, és alacsony termikus érettségi szinten képződik, ún. korai keletkezésű kőolaj, amely anyagközege szerves anyagának nagy kéntartalma és/vagy anyagközege igen kedvező mennyiségi és minőségi jellemzői miatt jön létre igen enyhe termikus feltételek mellett. Ehhez a típushoz tartozik a nagylengyeli (3. sze) előfordulás, amelynek olajából készült gázkromatogramok a normál alkánok (az egyenes, nem elágazó szénláncú szénhidrogének) teljes,



3. ábra. Olajok gázkromatogramjai

A - nem biodegradált, B - biodegradált

Figure 3. Gaschromatograms of oils

A - non-biodegraded, B - biodegraded

hiánytalan sorozatát mutatják (3. ábra, A). A másik típus biodegradált, a mikroba működése következtében alakult ki, amelyre példa a Kelebia-D (7. sze) előfordulás. Ennek az előfordulásnak az olajából készült gázkromatogram a normál alkánok teljes hiányát mutatja abból eredően, hogy a mikroba az olaj normál alkánjait „fogyasztották” el (3. ábra, B). Jelentősebb földtani vagyonú nehézőolaj jelentkezett a Nagylengyel, Barabácsszeg, Sávolj (3. sze) és a Kelebia-D (7. sze) előfordulásokban.

A kőolaj jellegét az atmoszférikus desztilláció utolsó, 250–275 °C forráspontthatárú frakciójának, az I. kulcsfrakciónak a sűrűsége alapján állapítják meg. A kulcsfrakció sűrűségének növekedése sorrendjében megkülönböztetik a parafin, intermedier és naftén jellegűt. Az említett sűrűség-növekedés oka az, hogy a kulcsfrakció parafin, egyenes és elágazó (nem gyűrűs) szénhidrogénjei kisebb sűrűségűek, mint a gyűrűs (cikloalkán, aromás) szénhidrogének. A felfedezett kőolaj többsége (84%) a parafin jellegűekhez tartozik. Kisebb arányban (19%, illetve 1%) mutatkoztak intermedier, illetve naftén jellegű kőolajat tartalmazó előfordulások. A XI. táblázat foglalja össze a jelentősebb földtani vagyonú parafin, intermedier és naftén jellegű kőolajat tartalmazó előfordulásokat. Említésre méltó, hogy néhány előfordulásnál a tárolókőzet kora szerint külön jelentkezik a parafin és az intermedier jelleg. A Kiskunhalas-ÉK előfordulás mezozoos tárolókőzetében parafin, a metamorf aljzatban pedig intermedier jellegű a kőolaj. Algyón a „felső-

XI. táblázat. A kőolaj-előfordulások jellege

Table XI. The character of oil occurrences

Jelleg	Sze	Előfordulás
parafin	3	Nagylyengyel
"	3	Barabásszeg
"	6	Kiskunhalas-ÉK (Mz)
"	6	Szank
"	7	Algyő (Fp)
"	7	Dorozsma
"	7	Szeged
"	7	Ferencszállás
"	7	Ferencszállás-K-Kiszombor
"	7	Üllés
"	9	Szeghalom
"	10	Battonya
"	10	Battonya-K
"	10	Pusztaföldvár (Pz)
"	10	Pusztaszőlős
"	12	Mezősas
"	13	Demjén-Pütkösdegy
"	13	Demjén-Ny
"	13	Mezőkeresztes
intermedier	3	Hahót-Pusztaszentlászló
"	3	Sávoly
"	6	Kiskunhalas-ÉK (met)
"	7	Algyő (Ap)
"	7	Ásotthalom
"	10	Pusztaföldvár (Ap)
"	13	Demjén-K
naftén	7	Kelebia-D

pannon” tárolók parafin, az „alsópannon” tárolók viszont intermedier jellegű kőolajat tartalmaznak. Pusztaföldváron az aljzati, bázisszint olaja parafin, a felette lévő „alsópannon” Földvár-Alsó-telep olaja intermedier jellegű. A Paleogén-medencében (13. sze) a Demjén-Ny és Demjén-Pütkösdegy előfordulások kisebb mélységben (340–420 m) lévő olajai parafin, a Demjén-K előfordulás nagyobb mélységben (1030 m) lévő olaja a szintén paleogén tárolókőzetben intermedier jellegű. Lehetséges, hogy a vázolt jellegbeli különbségek vagy a migráció során keletkeztek, vagy genetikai eltéréseket jeleznek, ahogy az a Zalai-medencében (3. sze) a felső kréta – triász tárolókőzetű nagylyengyeli előfordulás olaja és a miocén korú tárolókban mutatkozott olaj esetében utólag be is igazolódott (KONCZ 2016, GRÁF 1961).

Az előfordulások gázainak tulajdonságai

A földgázok főkomponensei a szénhidrogének, a széndioxid és a nitrogén. Földgáz-előfordulásainkban a főkomponensek koncentrációintervallumai a következők: szénhidrogének 1–100%, szén-dioxid 0–98%, nitrogén 0–67%.

Földgázok két csoportja kerül ismertetésre: szénhidrogénekben dúsnak nevezett gázok csoportja, amelyben a szénhidrogének koncentrációja legalább 70%, továbbá az inert (CO₂, N₂) komponensekben dúsnak nevezett gázoké, amelyben a szénhidrogének koncentrációja kisebb mint 70%.

A szénhidrogénekben dús gázok az összes felfedezett gáz 72%-át képezik. A II. táblázat adatai szerint nem jelentek meg a Kisalföldi-medencében (1. + 2. sze). Eloszlásukat jellemzi, hogy egyedül a Szegedi-medencében (7. sze) a szénhidrogéndús gázok 48%-át fedették fel. 10% feletti arányban mutatkoztak a Nagykunság (9. sze) és a Hajdúság (11. sze) területén.

A szénhidrogénekben dús gázok jelentősebb, 1 millió egyenérték tonnánál nagyobb földtani vagyont tartalmazó előfordulásait a XII. táblázat foglalja össze. Ezeknek az előfordulásoknak az összegzett földtani vagyona az összes felfedezett szénhidrogéndús gáz 91%-át képezi, ezért alkalmasnak tűnik a szénhidrogéndús gázelőfordulások jellemzésére. A szénhidrogéndús, jelentősebb földtani vagyonú előfordulások nem mutatkoztak a Kisalföldi- (1. + 2. sze) és

XII. táblázat. Szénhidrogénekben dús gázelőfordulások

Table XII. Gas occurrences rich in hydrocarbons

Sze	Előfordulás	Mélység (m)		Kor	Eredet
		min.	max.		
3	Budafa	1035	1435	Ap	
3	Lovászi	1100	1860	Ap	
4	Bajcsa		2166	Ap	bakteriális
6	Kiskunmajsa-D	1850	2000	Mz	
6	Szank	1850	1910	M	
6	Zsana-É	1860	1902	M	
7	Algyő	1723	2500	FpApPz	
7	Ferencszállás	1660	2411	FpAp	
7	Szeged	2245	2624	ApMMzPz	
7	Üllés	1880	2730	ApMPzPr	
9	Endrőd I	1100	2010	FpAp	
9	Endrőd III	1755	2150	FpAp	bakteriális
9	Szeghalom	1740	2045	ApMPzPr	
9	Tatárülés-Kunmadaras		1190	Ap	bakteriális
10	Battonya		645	Fp	bakteriális
10	Pusztaföldvár		1011	Fp	bakteriális
10	Pusztaföldvár		1605	Fp	
10	Pusztaszőlős		1030	Fp	bakteriális
11	Hajdúszoboszló	450	1266	FpApMz	bakteriális
12	Sarkadkeresztúr	2550	2860	ApMPzPr	

a Paleogén- (13. sze) medencékben. Az ide tartozó előfordulások mélységintervalluma 450–2860 m. Legkisebb mélységben a hajdúszoboszlói előfordulás (11. sze) „felsőpannon” tárolója, a legnagyobbban a sarkadkeresztúri előfordulás (12. sze) kristályos aljzati tárolója helyezkedik el. A legnagyobb földtani vagyont az algyői előfordulás (7. sze) rejtette magában. A tárolóközetek között a „felsőpannon”, „alsópannon”, továbbá a mezozoos és a kristályos aljzati tárolók gyakoriak. Miocén tárolóközet csak két esetben, Szankon és Zsana-Északon (6. sze) fordult elő.

A szénhidrogének közül a metán lehet biogén és termogén eredetű. A metánnál nehezebb szénhidrogéngázok, a C²⁺ komponensek csak termogén eredetűek lehetnek. A bakteriális eredetű metánt mikrobák hozzák létre, a termogén eredetű pedig az anyaközetek szerves anyagának termikus átalakulása révén képződik. A két különböző eredetű metán elkülönítésére a metán szénizotóparánya alkalmas. A szénizotóparány a szén két stabil (nem radioaktív) izotópjának, a 13 tömegszámú, izotóposan nehezebb ¹³C-nak és a 12 tömegszámú, izotóposan könnyebb ¹²C-nek az aránya, amelyet egy kalibráló anyag (PDB standard) szénizotóparányától mért eltérés ezrelékében (ppt) adnak meg. A szénizotóparány-mérést tömegspektrométerrel (MS) hajtják végre. A bakteriális eredetű metán a könnyű, ¹²C-izotópban rendkívül dús, szénizotóparánya –60 ppt, illetve ennél nagyobb negatív érték. Hazai viszonyok között a bakteriális metánképződés nem hozott létre jelentősebb, a vízben való oldhatóságot meghaladó mennyiségű metánt. A szabad (vízben nem oldott) gáz kialakulását a medenceinverzió miatt előállt nyomásnövekedés és/vagy a termogén eredetű metánnal való keveredés biztosíthatja. Ez utóbbi esetben a keverék metán szénizotóparánya –50 és –60 ppt közé esik. Az ilyen szénizotóparányú metánt tartalmazó előfordulások a gyakoribbak. A tisztán bakteriális eredetű metánt tartalmazó gázelőfordulások csak abban az esetben alakultak ki, ha a medence inverziója jelentős mértékű volt. A recens kiemelkedés nagyságát szeizmikus szelvények segítségével határozták meg Battonya–Pusztaföldvár (10. sze), Hajdúszoboszló (11. sze) és Endrőd–Szarvas (9. sze) területeken, ahol az előbbieket sorrendjében a kiemelkedés 1100, 250 és 100 m volt (HORVÁTH & GYÖRFI 1995). Battonya–Pusztaföldvár területén a nagymértékű kiemelkedés miatt nem volt szükség a szabad gázfázis létrehozásához a termogén szénhidrogénekre: itt tisztán bakteriális eredetű, izotóposan igen könnyű metán mutatkozott (KONCZ 2019a). Hajdúszoboszlón a legalsó telep, 1236 m mélységben –40 ppt szénizotóparányú metánt tartalmazott, a legfelső telep metánja, 135 m mélységben –70 ppt szénizotóparányú volt (KONCZ 2019b). Az eleve termogén eredetű C²⁺ komponensek koncentrációja a szénhidrogénekben belül a legalsó telepben magas, 14,7% volt, 746 m mélységben már csak 0,4%, és a legfelső telepben már a C²⁺ komponensek nem voltak kimutathatók. A metán szénizotóparányának és a C²⁺ komponensek ezen trendjei azt jelzik, hogy a neogén képződmények aljzatát képező flisből kiindulva a termogén eredetű szénhidrogének aránya csökken a felszín irányában. Tehát a termogén gázkomponensek jelenléte is segíthette a szabad gázfázis létre-

jöttét. Az után és a propán szénizotóparány-különbségéből számított termikus érettség magas, 1,1–1,2% vitrinitreflexiónak megfelelő, a flisképződmények tetőzónájára jellemző volt. Feltételezhető, hogy a Hajdúszoboszló előfordulás gázainak termogén része a flisből származott. Ez megnöveli a flis kutatási perspektíváit, ugyanis a korábbi vélemény erre vonatkozólag negatív volt (DANK V. szóbeli közlés). Endrőd–Szarvas területén 1372–2189 m mélységintervallumban a gázokban a metán –51,0 és –59,7 ppt közötti szénizotóparányokat mutatott, ami arra utalt, hogy a szabad gázfázis kialakulásához termogén komponensekre is szükség volt. A XIII. táblázatban a „bakteriális” megjegyzés a metán eredetére vonatkozóan azokat az előfordulásokat jelenti, amelyeknek a metánjában a szénizotóparány –50 ppt, illetve ezt meghaladó, nagyobb negatív érték volt. E táblázat szerint bakteriális eredetű metánt tartalmazó gázelőfordulásokat fedeztek fel a Dráva-medence (4. sze), Nagykunság (9. sze), Békési-medence (10. sze) és a Hajdúság (11. sze) számbavételi egységekben 645–2166 m mélységintervallumban, a „felső”- és „alsópannon”, továbbá mezozoos tárolókban. A bakteriális eredetű metánt tartalmazó összegzett földtani vagyont nagyságrendjét jellemzi, hogy Algyő után a második legnagyobb készletű olajelőfordulás (Nagylyenyel) készletének 1,2-szerese.

XIII. táblázat. Nem szénhidrogénekben dús gázelőfordulások
Table XIII. Gas occurrences rich in non-hydrocarbons

Sze	Előfordulás	Mélység (m)		Kor	CO ₂ /N ₂
		min.	max.		
1+2	Mihályi	1310	1535	FpAp	96
1+2	Ölbő		1815	MPz	96
1+2	Répcelak	1202	1368	FpAp	12
3	Budafa-mély		3185	MTr	41
3	Mezőcsokonya	1716	1743	ApM	26
4	Görgeteg-Babócsa		1550	Ap	1,1
4	Inke	755	1283	FpAp	17
4	Liszó		2427	Tr	10
6	Tázlár		1920	MPr	2,4
9	Endrőd II		2260	Ap	27
9	Fegyvernek (K)		1660	Ap	3,3
9	Füzesgyarmat		1756	M	48
9	Kisújszállás-Ny		1500	Ap	1,03
9	Nagykörű		1830	Ap	0,56
9	Rákóczi falva		1420	Ap	45
10	Battonya		1010	Pz	15
10	Battonya-K		1018	Pz	15
10	Pusztaföldvár		1738	Pz	13
11	Püspökladány		1820	M	27
12	Biharkeresztes		1450	MPr	7

A nem éghető (inert) komponensekben dúsnak nevezett földgázok 30% feletti inerttartalommal rendelkeznek. A szén-dioxid képződik ugyan a szerves anyag termikus átalakulásának alacsony érettségi szinthez tartozó stádiumában, a diagenézis során, de a szén-dioxid igen nagy vízben való oldhatósága miatt nem jönnek létre gázfelhalmozódások. A kőzetek karbonátjainak magas hőmérsékleten és nagy mélységben végbemenő regionális metamorfózisa folyamán igen nagy mennyiségű szén-dioxid jön létre, amely már gázfelhalmozódásokat tud képezni. Szén-dioxid képződik a mélyszinti magmatikus folyamatokban és a vulkanizmus során is, de az előbbihez képest jóval kisebb mennyiségben és erősen lokalizáltan, nem regionálisan. A földgáz-előfordulások nagyobb koncentrációban jelen lévő szén-dioxidjának szénizotóparánya a karbonátokéhoz közeli, izotóposan nehéz, ami bizonyítja ennek a szén-dioxidnak a szervetlen (karbonátos) eredetét, többek között a Kisalföld területén (KONCZ 1983). A nitrogén eredetére nézve annyit lehet tudni a szakirodalmi forrásokból, hogy képződik a szenes összetételekben magas hőmérsékleten, nagy, 2,5% vitrinitreflexiónak megfelelő termikus érettség esetén (BOIGK et al. 1976). A nitrogén továbbá képződhet szintén magas hőmérsékleten az agyagásványokhoz kötött ammóniumionok átalakulása révén (STERNE et al. 1984). Az előzőek alapján megállapítható, hogy az inert komponensekben dús földgázok szén-dioxidja és nitrogénje magas hőmérsékleten, általában nagy mélységben végbemenő folyamatok eredményeként jött létre főleg az idősebb, mezozoos és paleozoos képződményekben. Ennek ellentmond, hogy a Kisalföldön (1. + 2. sze) Pásztori térségében fiatal vulkanizmus eredményezhetett szén-dioxidot, de a magas hőmérsékletre vonatkozó kitétel ebben az esetben is helytálló. Migrációja során a szén-dioxid és a nitrogén eljuthatott a fiatal korú, kis mélységben elhelyezkedő tárolókőzetekbe a vetőkön keresztül zajló vertikális migráció révén. Tehát az inert komponensekben dús gázfelhalmozódások megjelenése a neogén tárolókőzetekben általában a vertikális irányú nyitottság jeleként értelmezhető.

Az inert komponensekben dús földgáz-előfordulásaink az összes felfedezett gázok jelentékeny részét, 28 százalékát képezik. A II. táblázat adatai szerint ennek a földtani vagyonnak 10%-ot meghaladó része a következő számbavételi egységekben került felfedezésre a százalékos arány csökkenésének sorrendjében: Nagy-kunság (30%), Kisalföldi-medence (20%), Zalai-medence (16%) és Békési-medence (12%). Az említettek összesen 78%-ot tesznek ki. A számbavételi egységenkénti eloszlásra jellemző, hogy két végletet mutat. Az egyik véglet a Szegedi-medence (7. sze), ahol inertdús gázelőfordulások egyáltalán nem jelentkeztek, a másik végletet a Kisalföldi-medence (1. + 2. sze) képezi, ahol csak inertdús gázok fordultak elő. A XIII. táblázat tartalmazza a legalább 1 millió egyenérték tonna földtani vagyonnal rendelkező gázelőfordulásokat, amelyeknek összegzett földtani vagyona az összes felfedezett inertdús gáz 88%-át foglalja magában. Így alkalmas az inert komponensekben dús előfordulások jellemzésére. A „felsőpannon” tárolókőzetektől a kristályos aljzatig minden tárolókőzet elő-

fordul, kivéve a paleogén és a késő kréta korúakat. Mélységintervallumuk 755 (Inke) – 3185 (Budafa-mély) m. A gázok inert komponensei közül a szén-dioxid általában a nitrogénnél nagyobb koncentrációban van jelen. Kivételt három gázelőfordulás képez. A Kisújszállás-Ny (9. sze) és a Görgeteg–Babócsa (4. sze) előfordulások közel egyenlő arányban tartalmaznak szén-dioxidot és nitrogént. A Nagykörű előfordulásban (9. sze) a nitrogén koncentrációja meghaladja a szén-dioxidét.

A földtani vagyon nagyságától függetlenül a következő számbavételi egységek neogén tárolókőzeteiben jelentkeztek inertdús gázok, amelyek a vertikális nyitottságra, vetők jelenlétére engednek következtetni:

Kisalföld (1. + 2. sze): Ikervár, Mihályi, Pásztori, Répcelak Zalai-medence (3. sze): Kilimán, Mezőcsokonya

Dráva-medence (4. sze): Darány, Görgeteg–Babócsa, Heresznye, Inke

Kiskunság (6. sze): Jászkarajenő, Kiskunhalas-ÉK, Nagy-körös, Nagykörös-D, Kecskemét, Törtel

Nagykunság (9. sze): Besenyszög, Dévaványa, Endrőd–Szarvas, Fegyvernek, Füzesgyarmat, Kengyel-É, Kisújszállás, Körösladány, Köröstarcsa, Martfű, Nagykörű, Rákóczi-falva, Szolnok-É, Tiszapüspöki, Tószeg, Zagyvarékas, Túrkeve-Ny

Békési-medence (10. sze): Battonya-K, Pusztaszőlős

Hajdúság (11. sze): Ebes, Püspökladány

Bihari-medence (12. sze): Biharkeresztes, Kismarja

Feltűnően nagy a Nagy-kunságban (9. sze) az inertdús gázok gyakorisága. Az inertdús gázok vonulatot képeznek a Szolnoki flis zóna környékén. Az északon húzódnó vonulat DNy–ÉK irányú, és Törteltől Püspökladányig terjed. A déli vonulat az Endrőd–Szarvas, Köröstarcsa, Körösladány, Füzesgyarmat irányt követi.

Kőolaj-előfordulásaink bizonyított és lehetséges anyakőzetei

Az anyakőzetek olyan képződmények, amelyek a kőolaj forrásaként szereplő szerves anyagból elegendő mennyiséget tartalmaznak ahhoz, hogy belőlük jelentős mennyiségű kőolaj képződhessen. A szerves anyag koncentrációját szervesszén-tartalom (TOC%) formájában mérik, és adják meg. Ha a szervesszén-tartalom legalább 1%, akkor anyakőzetnek minősíthető. Azóta tudjuk megállapítani az anyakőzetek vastagságát, amióta a sűrűn, 5–10 m gyakorisággal vett furadékokból készültek Rock-Eval elemzések, noha ez becsülhető a lyukgeofizikai szelvényekből is.

Az idős, prekambriumi, ópaleozoos és újpaleozoos képződményekben ha voltak is anyakőzetek, a belőlük képződött szénhidrogének és felhalmozódásaik megsemmisülhettek (DANK 1987). A fiatalabb triász és jura képződményekben már lehetnek olyan anyakőzetek, amelyeknek felhalmozódásai a jelenben eredményesen kutathatók. A legalább 1% szerves szenet tartalmazó nyolc képződmény a követke-

z. A legidősebb ilyen korú anyakőzet a késő triász, karni korú Veszprémi Márga Formáció. Anyakőzet a Zalai-medencében (3. sze) a szintén késő triász korú (raeti–nori) Kösseni Formáció. Ugyanezen a medenceterületen anyakőzet a késő kréta korú Jákói Márga Formáció. A Keleti-Mecsekben vizsgálható a kitűnő minőségű, termikusan éretlen szerves anyagot tartalmazó kora jura korú (toarci) Óbányai Aleurolit Formáció. A Paleogén-medencében (13. sze) mélyült fúrásokban főleg a kora oligocén korú Tardi Agyag Formáció mutatott anyakőzetjellegét. A középső miocén, főleg badeni korú anyakőzetek a legtöbb neogén mélymedencében megtalálhatók az „alsópannonhoz” tartozó Endrődi Formációhoz hasonlóan. Anyakőzeteknek tekinthető a „felsőpannonhoz” tartozó Újfalu és Zagyvai Formáció, amelyek lignitbetelepüléseket tartalmaznak.

Amióta általánosan elfogadottá vált, hogy a kőolaj- és földgáztelepek szénhidrogénjei az üledékekbe zárt, valamikor élő szervezetekből kialakult szerves anyagból származnak, elkezdtek vizsgálni a kőzetek szervesszén-tartalmát (HUNT & JAMIESON 1956, RONOV 1958).

Az eredmény meglepő volt. Ott, ahol a szénhidrogének felhalmozódtak, telepeket képeztek, azaz a tárolókőzetekben, alig volt szerves szén, viszont ott, ahol nem volt felhalmozódás, az anyakőzetekben, például a márgákban, a szervesszén-tartalom jelentős volt. Ebből a tapasztalati tényből adódott a következtetés, hogy a szénhidrogének létrejöttének helye és felhalmozódásuké nem azonos. Az anyakőzetben képződött szénhidrogének a keletkezés helyéről el kell távoznia az ún. primer migráció folyamán először az anyakőzettel közvetlenül érintkező, nagyobb porusterű és áteresztőképességű, tároló típusú kőzetbe. Ez utóbbin keresztül, a szekunder migráció során a szerkezeti magaslatok irányában mozogva az ún. csapdákban képez felhalmozódásokat, telepeket. Az ily módon létrejött előfordulásokat nevezik hagyományos előfordulásoknak. Ezzel szemben a nem hagyományos előfordulások maguk az anyakőzetek, amelyek – még ha meg is valósult a primer migráció – jelentős földtani vagyonnal rendelkeznek, szétszórtan, nagy térfogatban, ellentétben a hagyományos előfordulásokkal, amelyek esetében a szénhidrogének a jóval kisebb térfogatú telepekben koncentráltan vannak jelen.

Az anyakőzetekben lévő, extrahálással kinyert szénhidrogéneket olyan (genetikai) paraméterekkel jellemzik, amelyeket nem befolyásol a termikus érettség, és jellemzőek a vizsgált anyakőzetekre. Hazai viszonyok között a szénizotóparány és a biomarkerek közül az oleanán jelenléte vagy hiánya, továbbá a hopán–szterán arány bizonyult használhatónak. Az oleanán, amely a zárwatermő, magasabb rendű szárazföldi növényekben van jelen, korjelző is, mert csak a késő krétától kezdődően lehet jelen az üledékekben. Az alacsony hopán–szterán arány a tengeri eredetű szerves anyagot jellemzi, a magas hopán–szterán arány viszont a szárazföldi eredetű szerves anyag tulajdonsága (PETERS & MOLDOWAN 1993). Az igen magas hopán–szterán arány a baktériumok működése következtében alakul ki.

Ha a kőolaj anyakőzeteiről van szó, akkor – a már említ-

tett kritérium, az 1% feletti szervesszén-tartalom – nem elegendő a minősítéshez. Ugyanis minden anyakőzetből képződik gáz, de kőolaj nem mindegyikből, csak abból, amelynek a Rock–Eval-készülékkel meghatározható hidrogénindexe (HI, mg CH/g TOC) termikusan alacsony érettségű állapotban legalább 200 mg CH/g TOC. Az előzőekben felsorolt nyolc anyakőzet-képződményből a karni korú Veszprémi Márga és a „felsőpannon” Újfalu és Zagyvai Formációk kiesnek, mert olyan szerves anyagot tartalmaznak, amelyből csak gáz képes létrejönni. Ráadásul a „felsőpannonhoz” tartozók termikus értelemben oly mértékben éretlenek, hogy a „felsőpannon” fekéjében, 2000 m mélységben, a Makó–3 fúrásban a 0,5% vitritreflexiót sem érték el (HETÉNYI et al. 1993). Az alsó jura anyakőzet extraktumát az említett genetikai paraméterekre nézve nem vizsgáltuk. Így a következő öt anyakőzet-képződmény maradt: a kora triász korú Kösseni Formáció, a késő kréta korú Jákói Márga, a paleogén anyakőzetek (pl. Tardi Agyag), a középső miocén (badeni) anyakőzet és az „alsópannonhoz” tartozó Endrődi Formáció. Az említett paraméterekkel végrehajtott anyakőzet–anyakőzet korreláció, amelynek során az egyes anyakőzet-extraktumok szénhidrogénjeit hasonlítjuk össze, három csoportot eredményezett: a felső triász Kösseni Formáció, együttesen a felső kréta – paleogén – középső miocén, továbbá az „alsópannonhoz” tartozó Endrődi Formáció voltak egymástól elkülöníthetők. A felső kréta, paleogén és a középső miocén anyakőzetek szénhidrogénjei az alkalmazott paraméterek mellett genetikailag nem voltak elkülöníthetők. A legtöbb esetben ez azonban nem okoz zavart, mert az egyes medenceterületeken például felső kréta és paleogén anyakőzet nem található, csak középső miocén.

Az anyakőzet–olaj korreláció, amelynek során az anyakőzetek extraktumaiban és a kőolaj-előfordulásokban lévő szénhidrogéneket hasonlítják össze egy és ugyanazon medencére vonatkozóan, választ adhat arra a kérdésre, hogy az egyes anyakőzet-képződményekhez genetikai értelemben mely kőolaj-előfordulások tartoznak: azaz egy és ugyanazon anyakőzetben képződött és elmigrált szénhidrogének mely tárolókőzetekben halmozódtak fel. Az anyakőzet–olaj korrelációt általában klaszteranalízissel hajtják végre, amelynek eredménye dendrogram alakjában jeleníthető meg. A dendrogram, elnevezésének megfelelően fa alakzatú, amelynek egyes ágaiban vannak jelen a genetikailag egymáshoz tartozók (KONCZ 2018). Az anyakőzet és a genetikailag hozzá tartozó előfordulás vagy előfordulások alkotják a szénhidrogénrendszert, amelynek angol neve petroleum system (MAGOON & DOW 1994). A szénhidrogénrendszert és benne az anyakőzetet bizonyítottan nevezik abban az esetben, amikor az anyakőzet–olaj korreláció segítségével megállapították az anyakőzet és az előfordulás, illetve előfordulások genetikai azonosságát. Ha anyakőzet–olaj korrelációt nem végeztek, vagy nem tudtak végezni, de az anyakőzet létezésére alapos a gyanú, jó esetben mérési eredmények állnak rendelkezésre, akkor az anyakőzetet a lehetséges kategória illeti meg. Lehetséges az anyakőzet akkor is,

ha az anyakőzet–olaj korrelációt ugyan végrehajtották, de az eredménye nem egyértelmű.

A Zalai-medencében (3. sze) a nagylengyeli kőolaj-előfordulás bizonyított anyakőzete a Kösseni Formáció (KONCZ 2016). Az ide tartozó Szilvagy-Dél könnyűolaj-előfordulás (Szil-31, -33, -41) lehetséges anyakőzete a késő kréta korú Jákói Marga Formáció. Itt a felső kréta anyakőzettel érintkező ugyancsak felső kréta tárolókőzetben halmozódtak fel a szénhidrogének. A Budafa és Lovászi, valamint a Sávoly előfordulások bizonyított anyakőzete középső miocén (badeni) korú (KONCZ 2017). Budafa és Lovászi esetében a tárolókőzetek „alsópannon” turbidittek, Sávoly esetében pedig részben a triász, részben a badeni tárolókőzetek. A Dráva-medencében (4. sze) az előfordulások lehetséges anyakőzetei középső miocén korúak, a Kiskunság területén (6. sze) szintén. A Szegedi-medence (7. sze) előfordulásainak szénhidrogénjei az algyői gerincvonulattól Ny-i és ÉNy-i irányban elhelyezkedő medencerészekben lévő középső miocén anyakőzetekben keletkeztek, bizonyított anyakőzeteik tehát a badeni képződmények (KONCZ 2018). Az algyői gerinctől K-re lévő Makói-árok nem tartalmaz középső miocén képződményeket, az aljzatot közvetlenül az „alsópannon” üledékes kőzetek fedik (SZUROMI-KORECZ et al. 2004). A Nagyunság (9. sze) előfordulásainak lehetséges anyakőzetei középső miocén korúak. A Békési-medence (10. sze) olaj-előfordulásai között jelentkeztek olyanok is, amelyek az Endrődi (itt Tótkomlói) Formációban keletkezett szénhidrogéneket tartalmazzák (KONCZ 2019a). Ezek az előfordulások magukban az „alsópannon” Tótkomlói Formációban vannak, ahol szénhidrogénjeik képződtek. Így nem hagyományos előfordulásoknak tekinthetők. A Hajdúság (11. sze) és a Bihar (12. sze) előfordulásainak lehetséges anyakőzete középső miocén korú. A Paleogén-medence (13. sze) előfordulásainak lehetséges anyakőzete paleogén korú.

Az előzőkből kitűnik, hogy a Zalai-medence (3. sze) és a Paleogén-medence (13. sze) kivételével az összes többi számbavételi egységben a hagyományos kőolaj-előfordulások bizonyított vagy lehetséges anyakőzetei a középső miocén (badeni) képződmények.

Földgáz-előfordulásaink szénhidrogénjeinek lehetséges anyakőzetei

A földgázok atmoszférikus viszonyok között gáz halmazállapotú szénhidrogénjei (C1–C4) nagyon egyszerű szerkezetűek, ezért – még ha volnának is az anyakőzetekben lévő szénhidrogéngázokról adatok – nem hajtható végre az anyakőzet–gáz korreláció, azaz legfeljebb csak a lehetséges anyakőzetek becslésére van lehetőség.

A termogén eredetű szénhidrogéngázok anyakőzeteinek kritériuma a legalább 1% szerves széntartalom, mivel a szerves anyag típusa ez esetben nem játszik szerepet: minden anyakőzetben képződik szénhidrogéngáz.

A bakteriális eredetű metánt tartalmazó előfordulások anyakőzete nem szokványos. A mikrobák főleg a vízben ol-

dott szén-dioxidot és az olyan kis szénatomszámú karbonsavakat, mint a hangyasav, illetve az ecetsav alakítanak át metánná, mert maguk is vízfázisban élnek és szaporodnak. Tehát önmagában véve a kőzet szerves széntartalma nem képezhet kritériumot. A bakteriális eredetű metánt tartalmazó földgáz-előfordulásaink főleg a „felsőpannon” tárolókban mutatkoztak, kisebb részük jelentkezett az „alsópannon” tárolókban. Figyelembe kell azonban venni, hogy a mikrobák 80 °C hőmérsékletig életképesek. Az általuk létrehozott, könnyű szénizotópban dús metán a 80 °C-t meghaladó hőmérsékletet eredményező medencesüllyedés során keletkező, nehéz szénizotópban dúsabb, termogén eredetű metánnal oly mértékben felhígul, hogy a szénizotóparány segítségével már nem lehet jelenlétét kimutatni. A migráció szempontjából a bakteriális eredetű metánt tartalmazó gáz-előfordulások autochton helyzetűek.

A termogén eredetű C1–C4 szénhidrogének termikus érettségét jellemző vitrinitreflexió egyenértéket meg lehet határozni James módszerével (JAMES 1983). Ennek a módszernek a többihez képest az az előnye, hogy a szerves anyag típusától független, mert az egyes szénhidrogén-komponensek szénizotóparányainak különbségét alkalmazza. Mivel az etán és a propán általában még elég nagy koncentrációban van jelen, az etán és a propán szénizotóparányának különbségét célszerű felhasználni. (A metán szénizotóparánya kevésbé alkalmas az esetleg jelen lévő bakteriális eredetű metán miatt.)

A neogén képződményekben elég jól ismert a termikus érettséget számszerűen kifejező vitrinitreflexiónak és a mélységnek a kapcsolata (XIV. táblázat). A feltüntetett mélységértékek a lehetséges maximumot mutatják. Például a 0,8% vitrinitreflexiónak megfelelő érettséget a legalább 3,09 km mélységben lévő neogén anyakőzetek szerves anyaga érte el: tehát, ha a szénizotóparány-különbségből meghatározott vitrinitreflexió egyenérték 0,8%, akkor anyakőzete a gáz primer migrációjának idején legalább 3,09 km mélységben volt. Nyilvánvaló, hogy a gáz képződési mélységének becslésére bemutatott módszer csak akkor alkalmazható, ha a vizsgált medenceterületen csak neogén korú anyakőzetek vannak, továbbá akkor, ha a medence utólag nem emelkedett ki, nem invertálódott. Ezeknek a feltételeknek a Dráva-medence (4. sze), a Szegedi- (7. sze) és a Bihari- (12. sze) me-

XIV. táblázat. A vitrinitreflexió és a mélység kapcsolata a neogén képződményekben

Table XIV. Relationship between vitrinite reflectance and depth in the Neogene sediments

Vitrinitreflexió (%)	Mélység (km)
0,6	2,49
0,8	3,09
1,0	3,55
1,2	3,92
1,3	4,09
2,0	4,98

dence tesz eleget. A Kisalföldi-medencéből (1. + 2. sze) nincs adat. A neogénnél idősebb anyakőzetek hatása nem zárható ki a Zalai-medence (3. sze), Nagykovács (9. sze) és a Paleogén-medence (13. sze) területén. Az inverzió miatt esik ki a Kiskovács (6. sze) és a Békési-medence (10. sze). A megfelelő viszonyokkal rendelkező három számbavételi egységben (4., 7., és 12. sze) a gázelőfordulások szénhidrogénjeinek 0,8% feletti vitritreflexió egyenértékei döntő többséget (84%) mutatnak. Ezekben a számbavételi egységekben a 3,09 km-nél nagyobb mélységben lévő neogén képződmények nagy valószínűséggel középső miocén korúak. (A Makói-árok [7. sze] kivételt képez.) Tehát az említett tájegységek földgáz-előfordulásainak lehetséges anyakőzetei nagy valószínűséggel középső miocén korúak.

Migrációs mechanizmusok és útvonalak

A fluidumok (kőolaj, gáz, víz) kőzet belsejében végbemenő mozgásának, a migrációnak csak a hagyományos előfordulások létrejöttében lehet szerepe. A kőolaj csak a víztől elkülönült fázisban, a szénhidrogén gázok viszont mind a vízben, mind a kőolajban, oldott állapotban képesek mozogni. 100 °C hőmérsékleten és 200 bar nyomáson (hazai viszonyok között 2000 méter mélységben) 1 tonna vízben 2,71 normál-köbméter (Nm³) metán, 1,31 Nm³ etán és 0,41 Nm³ propán tud vízben oldott állapotban maradni. A földgáz nem éghető komponensei közül a nitrogén vízben való oldhatósága az előzőekben említett viszonyok között (1,82 Nm³/t víz) a szénhidrogén-gázokhoz hasonló, de a szén-dioxidé (25,69 Nm³/t víz) óriási (NAMIOT 1963).

Alapvetően két migrációs mechanizmus ismeretes: az egyensúlyi (hidrosztatikus), nem gátolt tömörödésnek és a nem egyensúlyi (túlnyomásos), gátolt tömörödésnek (kompakciónak) megfelelő. Egy medencében a folyamatos üledékképződés során a fedőréteg tömegéből adódó nyomás a kőzeteket összenyomni, azoknak a térfogatát csökkenteni igyekszik. Ez a térfogatcsökkenés a kőzetben lévő víz fokozatos eltávozását eredményezi, azaz a víz eltávozása csak így lehetséges. Az anyakőzet jellegű pelitek tömörödése a felszíntől 2,6 km mélységig tart a délkelet-alföldi neogén süllyedékek területén (KONCZ 2020b, SZALAY 1982). Ebben a stádiumban a pelitekből kiszoruló vízzel képesek távozni a bakteriális gázok, ritka és különleges viszonyok között a kőolaj. A különleges viszonyok itt azt jelentik, hogy olyan kitűnő az anyakőzet, hogy enyhe termikus feltételek között már viszonylag kis mélységben képződik benne annyi kőolaj, hogy képes eltávozni az anyakőzetből. Az ilyen típusú migráció a Sávoly olajmező (3. sze) képződésében játszhatott szerepet. A nem egyensúlyi, gátolt kompakció annak következtében jön létre, hogy a pelit áteresztőképessége igen kicsinnyé válik. Ez azt eredményezi, hogy a növekvő fedőterhelés hatására a fluidum nem tud kiszorulni a pelitből, és túlnyomásossá válik. A túlnyomás a mélység

növekedésével nő, továbbá ezen felül igen megnöveli az akvatermális nyomás. A pelit szilárdsága azonban csak egy meghatározott nyomás eléréséig változatlan. Ezt a nyomást meghaladón a pelit szilárd váza megbomlik, megrepedezik, és fluidumtartalma – függetlenül az anyakőzet minőségétől – eltávozik. A fluidumok távozása után a pelit záródik, és a túlnyomás újra növekedésnek indul a következő felrepedésig. Ez a folyamat tette lehetővé a középső miocén anyakőzetek szénhidrogénjeinek eltávozását (KONCZ 2020b). A leírt migrációs mechanizmusok igen hatékonyak akkor, ha a pelittestek vékonyak és homokkövekkel sűrűn tagoltak. A tagolatlan, vastag anyakőzettestek migrációs hatékonysága igen alacsony (BROOKS et al. 1987). Valószínűleg ez az oka annak, hogy a vastag és tagolatlan Endrődi Formációban képződött szénhidrogének felhalmozódásai nem ismertek. Viszont a vékony pelittestekből álló és homokkövekkel tagolt középső miocén képződményekben keletkezett szénhidrogének felhalmozódásai képezik úgyszólván az összes neogén anyakőzetekből származó, felfedezett földtani vagyont.

A középső miocén anyakőzetekben keletkezett szénhidrogének lehetséges migrációs útvonalai három típusba sorolhatók: a rétegmenti (horizontális), a vetők révén rétegeket átmetsző (vertikális), továbbá a neogén–preneogén diszkordanciafelülethez kötött. Hazánkban a rétegmenti migráció eredményeként létrejött felhalmozódások viszonylag ritkák, sokkal gyakoribbak a vertikális migráció és a diszkordanciafelület mentén végbement migráció révén keletkezettek. A vertikális migráció jelentős szerepű volt az „alsó”- és „felsőpannon” tárolók feltöltésében (KONCZ 2019b). A földtani vagyont 61%-át fedették fel a neogén tárolókőzetekben (IV. táblázat). Ennek csak 12%-a van a középső miocén tárolókban. A középső miocén anyakőzetek szénhidrogénjeinek tehát igen kis hányada halmozódott fel magában a középső miocén tárolókban, a többi jóval jelentősebb hányad az „alsó” és „felsőpannon” tárolókban található. Ez arra utal, hogy a vertikális migrációnak döntő szerepe volt. A diszkordanciafelület főleg az aljzati felhalmozódások kialakulásában játszhatott jelentős szerepet. Az előzőekben már említésre került, hogy a vertikális migrációra utal a kőolaj-előfordulás jelenléte az „alsó” és „felsőpannon” tárolókban, továbbá az inertdús földgáz-előfordulás jelenléte a neogén tárolókőzetekben.

A Kisalföldi-medencében (1. + 2. sze) az inertdús földgáz-előfordulások jelenléte a neogén tárolókban nagymértvű vertikális nyitottságra enged következtetni. A Zalai-medencében (3. sze) a nagylengyeli nehézolaj-előfordulás a Kösseni Formációban keletkezett szénhidrogéneket tartalmazza. A nehézolaj aszfaltenjeinek termikus átalakulása folyamán létrejött térfogatnövekedés okozhatta az anyakőzet megrepedését, megteremtve ezzel a primer migráció lehetőségét (KONCZ 2020c). Az anyakőzetből elmigrált kőolaj a blokkokra tagolódott mezozoos képződmények repedésein, törésein keresztül jutott el egészen a felső kréta korú tárolókőzetekig. A késő kréta korú képződményekben keletkezett és azokban

felhalmozódott Szilvagy-Dél előfordulás vertikális migrációs szempontból autochtonnak minősíthető. A Bak-Nova-árok déli peremén az „alsópannon” turbiditárolókban lévő gázelőfordulások szénhidrogénjeit 1,1–1,3% vitrinitreflexiónak megfelelő termikus érettség jellemzi. Indokoltan feltételezhető, hogy a Kösseni Formációban képződött gázok vertikális migráció révén, vetőkön keresztül jutottak ezekbe tárolókba. A Budafa és Lovászi előfordulások szénhidrogénjei a középső miocén anyaközetekben keletkeztek, és vetők révén kerültek „alsópannon” turbiditárolókba (KONCZ 2017). A Sávoly előfordulás triász tárolóközetében alacsony termikus érettségű kőolaj halmozódott fel, amelynek szénhidrogénjei a középső miocén (badeni) anyaközetekben képződtek. A kőolaj primer migrációjának mechanizmusa egyensúlyi lehetett a nem gátolt tömörödés stádiumában, mert anyaközete olyan jó minőségű, hogy alacsony termikus érettség mellett is migrációra képes mennyiségű kőolajat generált. A szén-dioxidban dús gázt tartalmazó gázsapka szénhidrogénjei magas termikus érettségűek, 1–1,35% vitrinitreflexió-tartománnyal jellemezhetőek, és szintén magas érettségű triász képződményekben létrejött szénhidrogéneknek tekinthetőek. Az „alsópannon” tárolóközetekkel rendelkező Mezőcsokonya–Csombárd gázelőfordulások szénhidrogénjei magas érettségűek, vitrinitreflexió egyenértékeik 0,8–1,1% tartományúak, vertikális migráció révén csapdázódhattak. A Dráva-medence (4. sze) „alsópannon” tárolóiban lévő gázok szénhidrogénjei magas termikus érettségűek, a 3000 méternél nagyobb mélységben lévő középső miocén anyaközetekben keletkeztek, és vertikális migráció révén csapdázódhattak. Kivételt képez a Bajcsa gázelőfordulás, amely bakteriális eredetű metánt tartalmaz. A termogén gázok előfordulásai inert komponensekben dúsak, és az aljzattal való migrációs kapcsolatra utalnak. A 3000 méternél nagyobb mélységben lévő előfordulások (Barcs-Ny–Starigradec, Zaláta–Dravica) migrációs szempontból autochtonnak tekinthetőek a horvát oldalon felfedezett Molve és Kalinovác előfordulásokhoz hasonlóan. Kiskunság (6. sze) területén a miocén (Szank, Zsana É), a mezozoos (Kiskunmajsa-D, Kiskunhalas-ÉK, Szank-ÉNy) és kristályos alaphegység (Kiskunhalas-ÉK, Tázlár) tárolóiban felfedezett kőolaj-előfordulások szénhidrogénjei középső miocén eredetűek, és migrációs szempontból, vertikális értelemben autochtonnak tekinthetőek. A Szegedi-medencében (7. sze) az algyői előfordulás kőolaja a környezetében lévő többi kőolaj-előfordulással együtt a középső miocén anyaközetekhez köthető (KONCZ 2020a). Algyőn a „felső” és „alsópannon” tárolók olaja vertikális migráció révén csapdázódhatott (KONCZ 2018). A földgáz tekintetében nem lehet egyértelműen megállapítani, hogy a gázok szénhidrogénjei csak a középső miocén anyaközetekből vagy a Makói-árok „alsópannon” anyaközetéből, az Endrői Formációból is származnak. Csak az állapítható meg, hogy a gázok szénhidrogénjeinek primer migrációja 3500–4500 m mélységben következhetett be. Ennek a mélységtartománynak megfelelően például a

Csőlyospálos K–4, a Forráskút–3, a Kömpöc-D–1 fúrások gázai és Üllésen a prekambriumi tárolóközetben lévő gáz vertikális értelemben közel autochton. A Szolnoki flis övezetét magában foglaló számbavételi egységekben, a Nagykunságban (9. sze) és a Hajdúságban (11. sze) a „pannon” korú tárolókban igen gyakoriak az inertdús gázelőfordulások, ami a neogén aljzatával való migrációs kapcsolatra, vertikális migrációra utal. A szénhidrogénekben dús gázelőfordulások közül Hajdúszoboszló érdemel említést, ahol a bakteriális eredetű és a flisből származó magas érettségű termogén gáz keveredése figyelhető meg (KONCZ 2019b). A Békési-medencében (10. sze) a neogén–preneogén diszkordancia-felület mentén migrált magas szén-dioxid-tartalmú termogén gáz és a középső miocén eredetű kőolaj képezett jelentős földtani vagyónú előfordulásokat (KONCZ 2019a). Mivel a terület tetőrése nagymérvű, 1000 métert is meghaladó inverziót szenvedett, bakteriális eredetű metánt tartalmazó gázelőfordulások jöttek létre, amelyek földtani vagyónak nagyságrendjére jellemző, hogy a szénhidrogénekben dús gázelőfordulások összes földtani vagyónának 5%-át itt fedezték fel. A Bihari-medence (12. sze) területén főleg a kristályos aljzat tárolói tartalmaztak előfordulásokat. Egyedül a Komádi-Ny tárolóközetében vannak olyan gázok, amelyeknek szénhidrogénjei migrációs szempontból autochtonok. A Paleogén-medence (13. sze) főleg olaj-előfordulásokat tartalmaz, amelyeknek szénhidrogénjei a paleogén anyaközetekben képződtek. Migrációs tekintetben ezek az előfordulások autochton helyzetűek.

Az 1985 után felfedezett előfordulások

A XV. táblázat tartalmazza azokat a jelentősebbnek tartott előfordulásokat, amelyeket az OKGT, később a MOL Nyrt. fedezett fel 1985 után, továbbá azokat, amelyek nem szerepeltek az 1935–1985 közötti időszak összefoglalójában (VÖLGYI et al. 1985). A felsorolt előfordulások földtani vagyona nem ismert a szerző számára. A Zalai-medencében (3. sze) a Gutorföldre, Rádiháza, Tófej előfordulások a Bak-Nova-árok déli peremén magas termikus érettségű szénhidrogén-gázokat tartalmaznak az „alsópannon” turbidit tárolókban. Feltételezhető, hogy ezeknek a gázoknak a szénhidrogénjei a Bak-Nova-árok mélyén elhelyezkedő Kösseni Formációból származnak. A Dráva-medencében (4. sze) a Vízvár-Sekély előfordulás gázai igen érettek, jóval nagyobb mélységben képződhettek. A Kiskunságban (6. sze) a Jánoshalma-Új előfordulás gázában bakteriális eredetű metán van jelen, olaja nagy sűrűségű. Ezek a jellegzetességek arra engednek következtetni, hogy az olaj biodegradált lehet, és a metán ennek a mikrobiális folyamatnak az eredménye. A Békési-medencében (10. sze) a Dombegyháza-DNy és a Mezőhegyes-DK előfordulások metánja bakteriális eredetűt is tartalmaz. A Paleogén-medencében (13. sze) a Mogyoród gázelőfordulás tisztán bakteriális eredetű metánt foglal magában.

XV. táblázat. Az 1985 utáni időszakban felfedezett előfordulások

Table XV. The discovered occurrences in period of after 1985

Sze	Előfordulás	Mélység (m)	Kor
3	Bajánsenye	2405–2665	M
3	Csombárd	1872–1899	Ap
3	Gutorföldre	1462, 1776	Ap
3	Mezőcsokonya-É	2231, 2350	Ap
3	Mezőcsokonya-Ny	1862–2205	Ap
3	Őriszentpéter-D	2345–2786	M
3	Rádiháza	1517	Ap
3	Szócsénypuszta	1981	M
3	Szőkedencs-Ny	2025	M
3	Tófej, Tófej-Ny	1344–1509	Ap
4	Barcs-Ny–Starigrad	3745–3971	Pz Pkbr
4	Órtilos	2332	M
4	Vízvár-É	3031, 3137	M
4	Vízvár-Sekély	1898–2000	Ap
4	Zaláta–Dravica	3125–3192	M
6	Jánoshalma Új	587–675	ApMPrek
7	Mórahalom-D	1685, 1692	Prek
7	Üllés-K	2733–2758	aljzat
10	Dombegyháza-DNy	690–940	Fp
10	Magyarbánhegyes-K	2150–2200	M
10	Mezőhegyes-DK	673–754	Fp
11	Hajdúbagosa-K	1946–2295	Fp Ap
11	Hosszúpályi-D	1671–2116	Fp Ap
11	Monostorpályi-D, -DK	1697–2184	Fp Ap
12	Berettyószentmárton-D	1790–2263	Ap
12	Komádi-Ny	2598–3112	Ap M Pz
13	Dány	1743–1780	Tr
13	Gomba	2449–2555	Eo–Tr
13	Mogyoród	610–833	Fp
13	Monor-É	2159–2295	Eo
13	Nagykátanya-Ny	2607–2800	Eo
13	Ócsa	1703–1738	Eo
13	Tóalmás-D, -É	2264–2654	J
13	Tura	796–993	M
13	Üllő	2688, 2386	Eo

Mit hozhat a jövő?

Magyarország területe a szénhidrogén-kutatás szempontjából jól megkutatottnak tekinthető. Meglepetések azonban előfordulnak, például Baranya megyében, ahol Istvándi–Pettend körzetében jelentős készletű előfordulást fedeztek fel. Az ígéretes lehetőségek körét bővíti, hogy vannak olyan képződmények, amelyek még eléggé ismeretlenek abból a szempontból, hogy vajon tartalmazhatnak-e szénhidrogén-előfordulásokat. Az egyik ilyen képződmény a Szolnoki flis összlet, amelynek perspektivikus voltát jelzi a hajdúszoboszlói gázelőfordulás. Ennek termogén része a flisben lévő anyaközetekben képződhetett. A másik képződmény az alsó jura Óbányai Aleurolit Formáció, amely a Mecsektől északi irányban fiatalabb üledékek alatt van, és abban a pozícióban szénhidrogéneket generálhatott. A hagyományos előfordulások körén belül két terület tűnik ígéretesnek: a Kisalföldi-medence és a Dráva-medence horvát határ menti részén az alaphegység. A Kisalföldön az igen jelentős térfogatú neogén képződményekhez, anyaközetekhez képest ez ideig igen kevés szénhidrogént fedeztek fel. A Dráva-medence említett részén pedig ez ideig az alaphegységbe, annak belsejébe nem hatolt fúrás. Az analógiák azt sejtetik, hogy lehetségesek az aljzatban olyan készletek, amelyeket például a horvát oldalon Molve, Kalinovác, a határ mindkét oldalán Barcs-Ny–Starigradec testesít meg. Továbbá ígéretesnek látszik a kis mélységben fekvő, sekély, bakteriális eredetű metán tartalmazó gázok előfordulásainak kutatása annál is inkább, mert a felszíni szeizmikus szelvényeken látható a kőzetek gáztelítettsége (AVO). A nem hagyományos előfordulások körén belül a gázok lehetnek a jelentősebbek. Azért a gázok, mert az olaj viszkozitásánál nagyságrendekkel alacsonyabb viszkozitásuk miatt könnyebben mobilizálhatók. Egy másik követelmény az, hogy a feltárandó objektum ne legyen túl mélyen. Ugyanis, a nem hagyományos előfordulások esetében a fúrásokat sűrűn kell telepíteni. További kritérium, hogy az objektumnak korábban jóval mélyebben kellett lennie, és ezt követően került a felszínhez közelebb. Az említett kívánalmaknak három objektum látszik megfelelni: a Veszprémi Marga Formáció, a Szolnoki flis Debrecennél és a mecseki kőszénben kötött metán. A késő triász korú Veszprémi Marga Formáció Nagylengyeltől nyugatra erősen kiemelkedett helyzetben található. A Debrecen környéki flis termikus érettsége magas, és viszonylag kis mélységben van. A mecseki kőszénhez kötött metán kitermelhető hányada a becslések szerint 120 millió egyenérték tonna (FODOR 2002).

Irodalom – References

- BACSINSZKY T., BALOGH A., BUDA E. & JESCH A. 1987: *Ötvenéves a magyar kőolaj- és földgáz-bányászat*. – Kőolaj- és Földgázbányászati Vállalat, Nagykanizsa, 381 p.
- BOIGK, H., HAGEMANN, W. W., STAHL, W. & WOLLANKE, G. 1976: Isotopenphysikalische Untersuchungen zur Herkunft und Migration des Stickstoffs nordwestdeutscher Erdgase aus Oberkarbon und Rotliegend. – *Erdöl, Kohle, Erdgas, Petrochemie* **29**, 103–112.
- BROOKS, J., CORNFORD, C. & ARCHER, R. 1987: The role of hydrocarbon source rocks in petroleum exploration. – In: *Marine Petroleum Source Rocks, Geological Society Special Publication* **26**, 17–43.

- DANK V. 1987: A magyarországi kőolaj- és földgáz-kutatások földtudományi alapjai, 1964–1984. – *Összefoglaló doktori tézisek*.
- DANK V. 1990: Az algyői szénhidrogéntelepek felkutatása és geológiai viszonyai. – *Kőolaj és Földgáz* **123**, 3–20.
- FALLER G., KUN B. & ZSÁMBOKI L. (szerk.) 1997: A magyar bányászat évezredes története. I. kötet, – OMBKE, Budapest, 695 p.
- FODOR B. 2002: Bevezető gondolatok Magyarország szénhez kötött metánvagyongáról. – In: *Szénhez kötött metán (CBM) workshop*.
- GRÁF L. 1961: A dunántúli terület olajainak összetétele és keletkezésük. – *Geologija Nefti i Gaza*, Moszkva, No. 1
- HETÉNYI, M., KONCZ, I. & SZALAY, Á. 1993: Organic geochemical evaluation of the Makó–3 borehole. – *Acta Geologica Hungarica* **36/2**, 211–222.
- HORVÁTH, F. & GYÖRFI I. 1995: A recens kiemelkedés meghatározása. – *Kutatási jelentés*.
- HUNT, J. M. & JAMIESON, G. W. 1956: Oil and organic matter in source rocks of petroleum. – *AAPG Bulletin*, **40**, 477–488.
- JAMES, A. T. 1983: Correlation of natural gas by use of carbon isotope distribution between hydrocarbon components. – *AAPG Bulletin* **67**, 1176–1191.
- KONCZ I. 1983: The stable carbon isotope composition of the hydrocarbon and carbon dioxide components of Hungarian natural gases. – *Acta Mineralogica–Petrographica*, Szeged, **36/1**, 33–49.
- KONCZ I. 2016: A nagylengyeli nehézolaj triász eredetének bizonyítékai. – *Bányászati és Kohászati Lapok – Kőolaj és Földgáz* **149/ 5–6**, 2–5.
- KONCZ I. 2017: Budafa- és Lovászi-mezők olajának származása. – *Bányászati és Kohászati Lapok – Kőolaj és Földgáz* **150/5**, 6–9.
- KONCZ I. 2018: Az algyői telepek szénhidrogénjeinek eredete és migrációs modellje. – *Bányászati és Kohászati Lapok – Kőolaj és Földgáz*, **151/5–6**, 17–23.
- KONCZ I. 2019a: A Battonya–Pusztaföldvár gerinc szénhidrogén-rendszerei. – *Bányászati és Kohászati Lapok – Kőolaj és Földgáz*, **152/2–3**, 33–38.
- KONCZ I. 2019b: A vertikális migráció szerepe a hazai szénhidrogén-felhalmozódások feltöltődésében. – *Földtani Közlöny* **149/2**, 163–173
- KONCZ I. 2020a: Az algyői telepeket övező szénhidrogén-felhalmozódások genetikája és migrációs modellje. – *Bányászati és Kohászati Lapok – Kőolaj és Földgáz*, **153/2–3**, 23–26.
- KONCZ I. 2020b: A szénhidrogének primer migrációja. – *Földtani Közlöny* **150/4**, 1–14.
- KONCZ I. 2020c: Anyakőzet-tulajdonságok és termikus átalakulások a Kösseni Formációban. – *Földtani Közlöny* **151/2**, 201–211.
- KONCZ, I. & ETLER, O. 1994: Origin of oil and gas occurrences in the Pliocene sediments of the Pannonian basin, Hungary. – *Organic Geochemistry* **21/10–11**, 1069–1080.
- MAGOON, L. B. & DOW, W. G. 1994: The Petroleum System. In: MAGOON, L. B. & DOW, W. G. (eds): The petroleum system – from source to trap. – *AAPG Memoir* **60**, 3–24.
- NAMIOT, A. J. & BONDAREVA, M. M. 1963: *Solubility of gases in water under high pressures*.
- PETERS, K. E. & MOLDOWAN, J. M. 1993: *The biomarker guide*. – Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- POLLACK M. 2009: *Galícia. Utazás egy eltűnt világban*. – Palatinus Kiadó, 244 p.
- POSEWITZ T. 1906: Petroleum és aszfalt Magyarországon. – *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve* **15/4**, 212–444.
- RONOV, A. B. 1958: Organic carbon in sedimentary rocks (in relation to the presence of petroleum). – *Geochemistry* **5**, 497–509.
- STERNE, E. J., ZANTOP, H. & REYNOLDS, R. C. 1984: Clay mineralogy and carbon-nitrogen geochemistry of the Lik and Competition Creek zinc-lead-silver prospects, DeLong Mountains, Alaska. – *Economic Geology* **79**, 1406–1411.
- SZALAY Á. 1982 : A rekonstrukciós szemléletű földtani kutatás lehetőségei a szénhidrogén-perspektívák előrejelzésében a DK-alföldi neogén süllyedékek területén. – *Kandidátusi értekezés*.
- SZUROMI-KORECZ, A., SÜTŐ-SZENTAI, M. & MAGYAR, I. 2004: Biostratigraphic revision of the Hód–I well: Hungary’s deepest borehole failed to reach the base of the upper Miocene Pannonian Stage. – *Geologica Carpathica* **55**, 475–485.
- VÖLGYI L., SZERECZ F., HAJDÚ D., KURUCZ B., MÉSZÁROS L., NÉMETH G., FÖLDEÁK P.-NÉ, SZENTGYÖRGYI K.-NÉ, HORVÁTH R., KOVÁCS ZS., TORMÁSSY NÉ VARGA É., DALLOS E.-NÉ, NAGY M.-NÉ & SZÜCS L. 1985: Magyarország kőolaj- és földgáz-előfordulásai (1935–1985). – *Kutatási jelentés*, GEOS, Budapest. — Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár.

Kézirat beérkezett: 2021. 10. 25.

A Battonya–Pusztaföldvári-hát térségének nagy entalpiájú geotermikus energia vagyona (II. rész): kútpárral történő hasznosítás UNFC-2009 kód szerinti osztályozása

KUN Éva^{1,3}, ZILAHÍ-SEBESS László¹, SZANYI János²

¹Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága

²Szegedi Tudományegyetem

³e-mail: eva.kun@sztfh.hu

The high enthalpy geothermal energy resource of the Battonya–Pusztaföldvár High (Part II): UNFC-2009 code classification in case of well-doublet utilization

Abstract

In the first part of our study (KUN et al. 2022), we presented the geological and hydrogeological characteristics of the fractured pre-Neogene–pre-Cenozoic basement of the Battonya–Pusztaföldvár High and a hydrodynamic and heat transport model for geothermal energy utilization. In the present study, using the above-mentioned semi-synthetic equiporous model, the amount of heat that can be extracted by a doublet well was calculated for several scenarios, taking into account the technological constraints. The calculations were performed using the classification framework UNFC-2009 code developed by the United Nations Economic Council for Europe (UNECE 2016a). Uncertainty in the data was accounted for by Monte Carlo simulation, and the resulting parameter ranges were used to generate fuzzy numbers as inputs to the models. The recoverable geothermal reservoir data obtained with the FEFLOW® finite element modelling software were then compared with the statically calculated values. The difference between the two calculations is half an order of magnitude in favour of the modelled values, which we believe better reflects the expected values than the static resource calculation. In the present study, the UNFC-2009 code geothermal resource classes of the Battonya–Pusztaföldvár High project was assumed as follows: E3.2, F3.3 and G4. Based on our studies, it was concluded that a reservoir of limited volume, considered as nearly closed, even with optimally located production-recovery well pairs, can be depleted rapidly (up to 20–30 years) if it cannot be connected to a larger system providing continuous heat supply, such as deep fractured systems opening up with neotectonic movements. Our study did not include an accounting of the challenges posed by the composition of the geothermal fluid, nor an analysis of the time-varying processes (geochemical, structural, etc.) of the filtration equipment and well environment, but we are aware that these can all be critical factors in the sustainable operation of a high enthalpy geothermal doublet. We strongly believe that our study makes a useful contribution to the numerical characterization of the real risks of geothermal research and energy utilization, helping the planning of projects from an economic perspective.

Keywords: hydrodynamic and heat transport modelling, geothermal potential, basement highs, UNFC-2009 method, FEFLOW® modelling software, pore space utilization

Összefoglalás

Tanulmányunk első részében (KUN et al. 2022) bemutattuk a Battonya–Pusztaföldvári-hát repedezett preneogén–prekainozoos aljzatának földtani, hidrogeológiai adottságait és a geotermikus energia hasznosítását célzó hidrodinamikai és hőtranszport modelljét. Jelen tanulmányban, az említett felszintetikus, ekviporózus modell segítségével, kiszámítottuk az egy kútpárral (doublet) kitermelhető hő mennyiségét több forgatókönyv szerint, a technológiai korlátokat szem előtt tartva. A számítások során az Egyesült Nemzetek Európai Gazdasági Tanácsa által kidolgozott UNFC-2009 kód nevű osztályozási keretrendszert alkalmaztuk (UNECE 2016a).

Az adatokban rejlő bizonytalanságot Monte Carlo szimulációval vettük figyelembe, majd az így létrejött paramétertartományokból fuzzy számokat képezve alkottuk meg a modellek bemenő adatait. Ezt követően a FEFLOW® véges elemes modellező szoftverrel kapott kitermelhető geotermikus készlet adatokat összevetettük a statikus módon számolt értékekkel. A két számítás között fél nagyságrend eltérést kaptunk a modellezett értékek javára, mely véleményünk szerint jobban tükrözi a várható értékeket, mint a statikus készletszámítás eredménye. A Battonya–Pusztaföldvári-hát jelen tanulmányban feltételezett projektjének UNFC-2009 kód szerinti geotermikus készlet osztálya: E3.2, F3.3 és G4.

A vizsgálat sorozat alapján megállapítottuk, hogy egy lehatárolt térfogatú, közel zártan tekinthető rezervoár optimá-

lisan elhelyezett termelő-visszasajtoló kútpárok esetén is hamar kimerülhet (akár 20–30 év alatt), ha nem tud rácsatlakozni egy nagyobb, folyamatos hőszállítást biztosító rendszerre, mint amilyenek a neotektonikai mozgásokkal felnyíló, mélységi vetőrendszerek.

Vizsgálatunknak nem volt része a geotermikus fluidum összetételéből adódó kihívások számbavétele, valamint a szűrőberendezés és a kútkörnyezet időben változó folyamatainak elemzése (geokémiai, szerkezeti stb.), de tudatában vagyunk, hogy ezek mind kritikus tényezők lehetnek egy nagy entalpiájú geotermikus kútpár fenntartható üzemeltetésekor.

Úgy véljük, tanulmányunk hasznosan járul hozzá a geotermikus kutatás és energiahasznosítás valós kockázatainak számszerű jellemzéséhez, segítve a projektek gazdasági szempontú tervezését is.

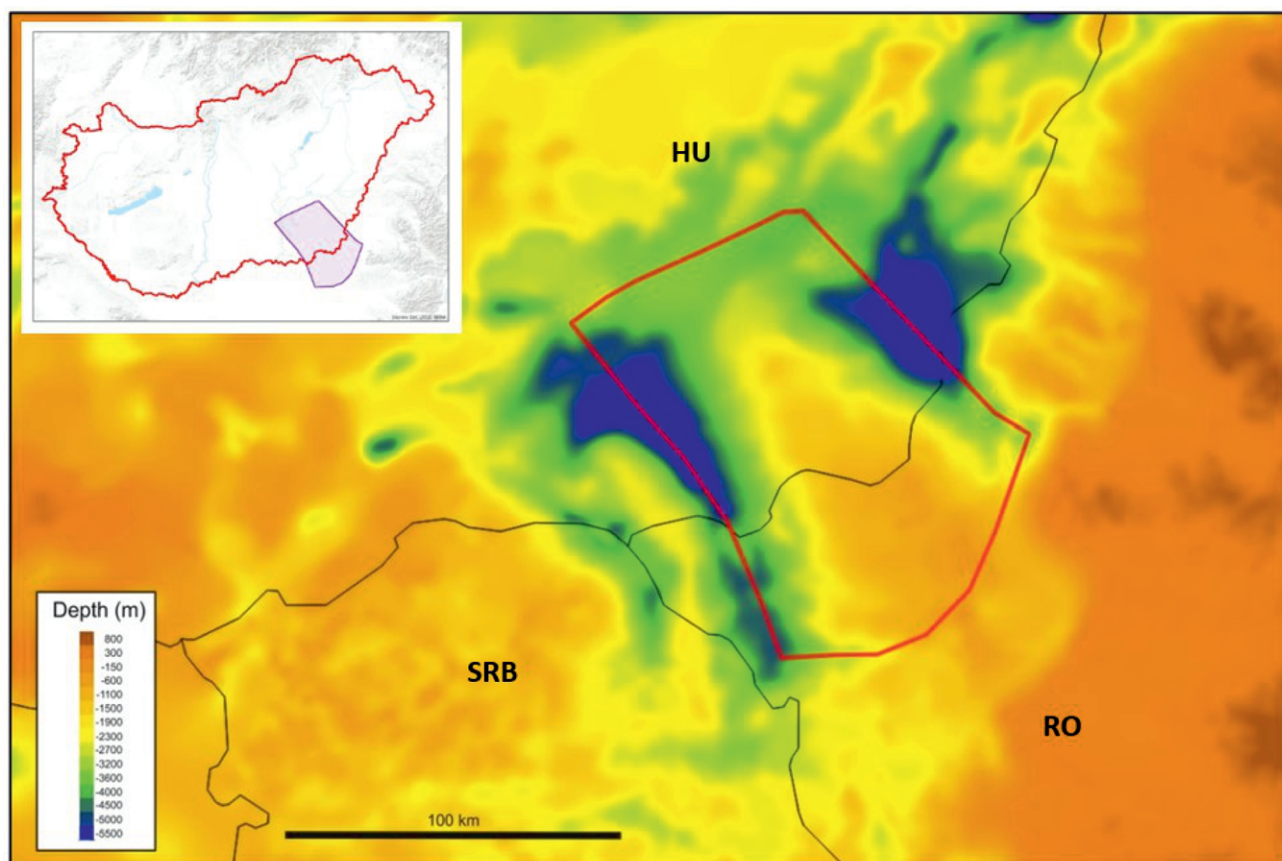
Tárgyszavak: hidrodinamikai és hőtranszport modellezés, geotermikus potenciál, aljzati magaslát, UNFC-2009 módszer, FEFLOW® modellező szoftver, póruster használat

Földtani, hidrogeológiai adottságok

A Battonya–Pusztaföldvári-hát geotermikus energiatermelés szempontjából releváns földtani és hidrogeológiai adottságait tanulmányunk első részében részletesen tárgyaltuk (KUN et al 2022). Jelen tanulmányban ennek rövid kivonatát ismertetjük.

A metamorf képződményekből és gránitból (alárendelten karbonátokból) álló alaphegység ÉK-i és DNy-i szomszédságában Dél-Magyarország két legmélyebb, –6500, illetve –7000 m-es mélységet is meghaladó neogén süllyedéke (HAAS et al. 2010), a Békési-medence és a Makói-árok, helyezkedik el (1. ábra). Az aljzat Fábiánsebestyéntől, –3600 m-es mélységből, DK felé fokozatosan emelkedik,

Battonya térségében –1000 m-es tengerszinthez viszonyított magasságot elérve (T. KOVÁCS 1965). Az alaphegységi kiemelkedés fölött az első pannóniai képződmény a Békési Konglomerátum Formáció. Ezt követően a behordási területektől távoli, behordott üledékekben szegény kondenzált rétegsorok (mészmárga, márga, agyagmárga) települtek. A Pannon-tó fokozatos feltöltődésével a hátton megjelennek a lejtő üledékei is, ezt követően pedig a pannóniai üledékgyűjtő peremei uralkodóan deltaüledékek, majd folyóvízi üledékek rakódtak le. Az Alföldi Formációcsoport (Békési Konglomerátum, Endrődi Márga, Szolnoki Homokkő és Algyői Formáció) összlete a Battonya–Pusztaföldvári-hát területén mintegy 600–800 méter vastag, míg a Makói-árok irányában az 2500–3500 métert, a Békési-medence felé pe-



1. ábra. A Battonya–Pusztaföldvári-hát hidrodinamikai modelljének (piros vonal) határa a prekainozoos aljzatfelszíntérképen ábrázolva

Figure 1. The boundary of the pilot model (red line) presented on the map of pre-Cenozoic basement surface

dig a 3000 méter vastagságot is eléri. Az Újfalui és Zagyvai Formációk, mint a Dunántúli Formációcsoport tagjai együttesen a Battonya–Pusztaföldvári-hát területén mintegy 600–800 m vastagságúak, a medencék irányában azonban együttesen elérhetik a 2000 métert is. A pliocénban és a negyedidőszakban a területen folytatódott a folyóvízi, tavi, mocsári üledékképződés. A mélymedencékben az üledékképződés folyamatos volt, a negyedidőszaki üledékek vastagsága a 600–800 métert is elérheti, míg a kiemelt hátságokon a rétegsor a kitett helyzetének és a lepusztulásnak is köszönhetően sokkal vékonyabb (alig 150 méter).

A vizsgált térségben alapvetően két, függőlegesen egymásra épülő áramlási rendszer definiálható: egy felső, gravitáció által vezérelt áramlási rendszer és egy alsó, az árkokban bizonyítottan túlnyomóságos áramlási rendszer, melyeket a késő miocén mélyvízi, tengeri agyagos képződmények választják el (TÓTH & ALMÁSI 2001). A korábbi szénhidrogénkutatások adatai alapján az alsó mezozoos–paleozoos zóna képződményeiben a tárolóképeséget leginkább a tektonika alakította ki, ahol az aljzat felső mállott zónája is tárolóvá válhatott. A térségre jellemző geotermikus gradiens $6,5\text{ °C}/100\text{ m}$ a felső 2000 m-en.

A geotermikus energia hasznosítás alapfogalmai

A geotermikus rendszerek esetében meghatározó, hogy a hordozó közegként szolgáló fluidum rendelkezésre áll-e vagy sem.

BREDE et al. 2013 ezen az alapon a geotermikus rendszereket két részre osztja, hidrotermális (fluidum rendelkezésre áll), illetve petrotermális rendszerekre (fluidum nem elegendő a hőkivételhez). Az utóbbiakat korábban HDR-rendszereknek nevezték (Hot Dry Rock). Az osztályozást tovább finomítva, azokat a rendszereket, ahol a hőforrás, a rezervoár és a munkaközeg is természetes, hagyományos vagy konvencionális geotermikus rendszernek, míg amelyben a hőforrás természetes, de a rezervoár és/vagy a munkaközeg mesterséges, vagy mesterségesen befolyásolt, *növelt hatékonyságú* (enhanced), nem konvencionális geotermikus rendszereknek nevezzük. Innen ered az EGS elnevezés (Enhanced Geothermal System). Eszerint a termálvízadó kutak mesterséges hozamnövelése kémiai kezeléssel vagy repesztéses technológiával már a nem konvencionális termelési módok közé tartozik (SZANYI 2019).

Mivel célunk a vizsgált projekt UNFC-2009 módszer szerinti osztályozása, ismertetjük ennek főbb fogalmait (UNECE 2016a).

Fenntarthatóság

A geotermikus energia hasznosításakor főleg a termelési szint (hozam, kifolyó hőmérséklet) fenntarthatósága szükséges hosszú ideig, azaz a kitermelési tényező állandósága biztosítandó (RYBACH 2021).

A fenntarthatóság alatt nagyon sokszor csak környezeti

szempontokat értünk, pedig általában véve bármely tevékenység fenntarthatóságának 3 pillére van: környezeti, társadalmi, pénzügyi. Ugyanis ha csak környezeti szempontokat veszünk figyelembe, az adott projekt léte már középtávon is veszélyeztetett, különösen ha pénzügyileg nem fenntartható. Tehát ha egy projekt környezetvédelmi szempontból fenntartható, de pénzügyileg finanszírozhatatlanul drága vagy vállalhatatlan társadalmi hatásokkal jár, akkor összességében nem fenntartható.

Geotermikus energia esetében, ha csak a klímavédelemre koncentrálnunk, és a gazdaságosság háttérbe szorul (pl. túl hosszú távvezetékkel kell építeni), vagy nincs meg a társadalmi elfogadottság (pl. lakossági tiltakozás megakadályozza a fűrés befejezését), akkor a környezeti szempontból kedvező projekt is kudarcra van ítélve.

Geotermikus energiaforrás

Geotermikus energiaforrás a kőzetben, üledékben és/vagy talajban található hőenergia, beleértve a benne levő fluidumokat is, amely kivonásra és energiatermékeké (hő- és villamos energia) történő átalakításra rendelkezésre áll. A geotermikus energiaforrás egyenértékű a kőolaj- és szilárd ásványi nyersanyagok esetében használt „telep” vagy „felhalmozódás” kifejezésekkel. A fő különbség a fosszilis tüzelőanyagokkal vagy a szilárd ásványi nyersanyagokkal szemben, hogy a projekt élettartama alatt a geotermikus energiaforrás meghatározható ütemben pótlódik. A készletek a termelés leállása után (sőt bizonyos mértékben már a termelés alatt is) a szomszédos hő- és folyadékterományokból regenerálódnak (csak idő kérdése, hogy milyen fokozaton és milyen gyorsan).

Geotermikus energiatermék

A geotermikus energiatermék közvetlenül hasznosítható a meglévő energiarendszerben és eladható az energiapiacra. Az energiatermékekre példa a villamos- és hőenergia. A geotermikus energiaforrásból ugyanazon kitermelési eljárás során kinyerhető egyéb termékek (például szilícium-dioxid, lítium, mangán, cink, kén vagy a termelés során felszínre hozott víz és gáz) nem minősülnek megújuló energiatermékeknek, mindazonáltal hozzájárulhatnak a projekt gazdasági életképességéhez, a befektetés gyorsabb megtérüléséhez. Így ha ezeket értékesítik, a bevételi forrásokat be kell vonni a gazdasági értékelésbe.

Geotermikus energiakészlet

Geotermikus energiakészlet a geotermikus energiaforrásból kinyerhető energiatermékek kumulált mennyisége, melyet az értékelés hatálybalépésének időpontjától a projekt élettartama vagy határideje végéig számítanak a referenciaponton. A referenciapont egy meghatározott hely a termelési láncban, ahol a geotermikus energiatermék mennyiségét mérik vagy becsülik. Általában az a pont, ahol az energiát harmadik személyeknek értékesítik, vagy ahol átkezik a gazdálkodó egység hasznosító részlegébe.

A geotermikus energia hasznosítás feltételei

A földi hőáram által felmelegített kőzettérfogot (a helyi kőzet-radioaktivitással együtt) igen jelentős energiát jelent – de a kőzetvázban kicsi az energiasűrűsége („híg energia”). A geotermikus energiaforrásokat kis (<90 °C), közepes (90–150 °C) és nagy entalpiájú (> 150 °C) csoportba sorolják (MUFFLER & CATALDI 1978 in MÁDLNÉ SZŐNYI 2006). Nagy entalpiájú energiatermelésre alkalmas rezervoárnál a gazdaságos üzemeltetéshez mind a hőmérsékletnek, mind a fluidumhozamnak kellően magasnak kell lenni legalább 30 évig, hogy a főbb infrastruktúrális elemek élettartamával közel azonos időtartamig a rendszer üzemeltethető legyen (UNECE 2016b). A termikus feltételt a vulkanikusan aktív területek (pl. lemezszegélyek), valamint az elvékonyodó litoszféra által megnövekedett, anomálishan magasabb hőáramsűrűséggel jellemezhető térségek, míg átlagos geotermikus gradienssel jellemezhető területeken a nagyobb kútmélység biztosítja. Ahhoz, hogy ez a „híg” energia koncentráltan rendelkezésre álljon, az áramló fluidum által szállított hőre is szükség van (konvektív hőtranszport), enélkül ugyanis a kútkörnyezet hőmérséklete rövid időn belül a kritikus hőmérséklet alá csökkenhet. A fluidum (és a hő) utánpótlódása a tároló képződmény porozitásának és permeabilitásának (hővezető tényezőjének) függvénye, ami hidrotermális esetben meghatározza termeléssel megzavart áramlási rendszer fluxusát.

Az EU Víz Keretirányelve, valamint az arra épülő hazai jogszabályok előírják, hogy azokon a víztesteken, ahol a jó állapot fennáll, azt továbbra is biztosítani és fenntartani szükséges, ahol pedig az állapot gyenge, ott intézkedésekkel javítani kell. Ezért a nagy mélységű geotermikus energia hasznosítás vagy koncesszióköteles szénhidrogén-bányászat során előírás, hogy a nyomásszintek és vízkémiai paraméterek kedvezőtlen változása a sekélyebb termálfelvezető és ivóvíz-hasznosításokat ne érintse. Ezeket a szempontokat figyelembe véve, a jelen tanulmányban vizsgált potenciális geotermikus rendszereket teljes körű visszasajtolást feltételezve modelleztük. Megjegyezzük, hogy a termelés hatásának detektálásához jól megválasztott monitoring rendszer szükséges, mely a bányatelek határain túlmutat és a regionális termelés együttes hatását reprezentálja.

Módszertan, alkalmazott módszerek

A UNFC-2009 módszer rövid ismertetése

A UNFC-2009 kód használatának elsődleges célja az adott geotermikus projektekhez kapcsolódó erőforrások osztályozása. Az osztályozási folyamat az egyes projektekben a geotermikus energiatermékeként kinyerhető és átadható energiamennyiségek becslésére vonatkozik. A geotermikus energiával összefüggésben a projekt magában foglalja az összes rendszert és berendezést, amely a geotermikus energiaforrást összeköti a referenciaponttal, ahol a végső geotermikus energiatermékeket értékesítik, felhasználják vagy átadják.

A UNFC-2009 osztályozás alapja egy háromdimenziós

rendszer, melynek tengelyei az adott projekt gazdasági-társadalmi életképességét, illetve a szabályozási környezetet és a környezeti aspektusokat (E tengely), a projekt állapotát és megvalósíthatóságát – a technológia rendelkezésre állását is beleértve – (F tengely), valamint a földtani ismeretesség megbízhatóságát (G tengely) jellemzik. E tényezők alapján a meghatározott (számszerűsített) nyersanyagmennyiség egy háromjegyű kóddal jellemezhető (E, F, G kategóriák), amely egzaktan használható bárhol a világon.

Az egyes kategóriák és alkategóriák meghatározásait NÁDOR (2016) a *Földtani Közlönyben* részletesen bemutatta, az alábbiakban csak a G-tengelyt ismertetjük részletesebben. A UNFC-2009 szándékosan kerüli a „vagyon” és „készlet” fogalmakat, ugyanis azok meghatározása nem egyértelmű. Mivel a vonatkozó G-kategóriába besorolt energiamennyiség az értékelés időpontjától a projekt befejezéséig kitermelhető energiára vonatkozik, így az E, F, G kategóriák meghatározása az értékelés időpontjának függvénye.

A G tengely célja, hogy tükrözze az összes lényeges bizonytalanságot, amely befolyásolja a becsült kitermelhető geotermikus energia mennyiségét. A tengelynek 3+1, azaz 4 kategóriája van. Az ismert (fúrással feltárt) geotermikus energiaforrásokat G1, G2 és G3 kategóriák szerint kell osztályozni, amelyek az adott valószínűségi szint szerint kitermelhető hőmennyiséget mutatják. Míg potenciális geotermikus energiaforrás esetén, amelyben a fenntartható módon kitermelhető hőenergia meglétét még nem igazolták közvetlen bizonyítékokkal (pl. fúrás, kútteszt, kútgéofizika stb.), a G4 kategóriába kell sorolni, ahol a becslés bizonytalanságát a G4.1, G4.2 és G4.3 alkategóriákban kell megjeleníteni.

A UNFC-2009 értékelés a készletbecslés bizonytalansága szerinti kategóriái:

P90=G1 (bizonyított) konzervatív/ magas valószínűségű becslés – P90: 90% a valószínűsége, hogy a kitermelhető vagyon eléri egy megadott értéket, vagy ennél több.

P50=G1+G2 (bizonyított+valószínű) legjobb valószínűségű becslés – P50: 50% a valószínűsége, hogy a kitermelhető vagyon eléri egy megadott értéket, vagy ennél több.

P10=G1+G2+G3 (bizonyított+valószínű+lehetséges) legalacsonyabb valószínűségű becslés – P10: 10% a valószínűsége, hogy a kitermelhető vagyon eléri egy megadott értéket, vagy ennél több.

Nyilvánvaló, hogy a hőmennyiség (készlet) becslésének bizonytalansága a bemeneti és számítási paramétereinek becslési bizonytalanságaiból ered. Legyen szó akár szilárd ásványi nyersanyagokról, akár fluidumokról, a készletbecslés első lépése mindig térfogatszámítás, ahol leggyakrabban a rétegvastagságot kezeljük valószínűségi változóként. Az ásványvagyonbecslés kőzettérfogot számítását követő lépése – mind szilárd ásványi nyersanyagok, mind fluidumok esetén – a térfogaton belüli, a vagyonmennyiséget meghatározó valamilyen „minőségi” paraméter eloszlásának a meghatározása. A geotermikus energia esetében – függően a készletbecslés fajtájától – ilyen paraméter a tároló effektív porozitása, valamint a kitermelhető hozam és a kifolyó hőmérséklet értéke, illetve a szivárgási tényező. Hőmennyiség (kész-

let) számításakor e paraméterek átlagértékeinek becslése a számítás alapja. A geotermális hasznosítás esetében elsődlegesen a hatékony pórustérfogat hőtartalmát, míg hosszabb távon a repedésekkel feltárt kőzetvázban tárolt hőmennyiséget termelik ki. A statikus becslésnél a bizonytalanság forrása az effektív porozitás és a hőmérséklet becslésének bizonytalanságából adódik. Mivel a földtani és fizikai paraméterek helyről helyre változnak, és a fúrásból származó adatok lényegében csak a vizsgált tér milliomod részéről adnak közvetlenül mért információt, ugyanakkor egy nagyobb térfogatra vonatkoznak, ezért minden egyes adat valószínűségi változónak tekinthető, beleértve a térfogatot is.¹

Ennek megfelelően a bemenő adatokhoz hozzá kell rendelni valamilyen bizonytalansági sávot (szórást), amellyel a modellparaméterek reprezentativitását jellemezhetjük.

A modell reprezentativitása az *a priori* információkon és az arra alapozott mintavételi stratégián múlik. A bizonytalanságot többféle módon határozhatjuk meg aszerint, hogy mennyi és milyen információ áll rendelkezésre. Az *a priori* információ lehet csak annyi, tudjuk, milyen földtani közegben vagyunk. Ezt nevezhetjük a becslés nulladik szintjének. Ha már van 1 db fúrás, a megmért értéket valamilyen elméleti szórásértékkel látjuk el.² Ezt a becslés első szintjének nevezzük, mivel van a birtokunkban mérési adat.

Ennél értékesebb, ha több fúrásban korreláció segítségével azonosítunk egy képződményt, mert akkor mért adatok alapján kapunk információt a földtani közeg fizikai paramétereinek szórásáról.

Az erre alapozott statisztikai alapú készletbecslés a második szint, ahol már a modellezés bemenő paramétereinek van mérésre alapozott várható értéke és szórása.

Fontos hangsúlyozni, hogy a becsült átlagérték és szórás is a földtani közeget jellemzi, nem a mérési hibák szórásáról van szó. Ezért ha a modellt valóságos mérésadatokra építjük, akkor az egységes hitelesítési rendszert eleve feltételezzük.³ A modellezett réteg felületeit felszíni észlelések során vagy fúrásokban mért adatok (lyukgeofizika), illetve azok földtani szelvények mentén végzett korrelációja segítségével szerkesztjük meg. Jelentős segítséget ad a fúrások-

¹Szemléletes példa a megismerés földtani lehetőségeiről, ami rávilágít az adatok reprezentativitására és a modellalkotás jelentőségére: Ha egy négyzet alakú területen a fúrások távolsága egymástól 200 m és a fúrások átmérője 200 mm, akkor az egész térfogatnak mindössze az 1 milliomod részét vizsgáltuk csak, ha 100%-os a magminta-vétel. Ugyanez az arány a mélyfúrás-geofizikai mérések esetében sem jobb a fúrások talpáig számított térrészre vonatkozóan, mint egy ötvenezred, ha úgy vesszük, hogy a lyukfúrásból kb. 40 cm mélységig kapunk értékelhető információt. A valóságban ez egy rendkívül optimista becslés, mivel szondák egy része nem körkörösén adja az információt, ezért ez a szám inkább csak egy kétszázévezred vagy még kisebb.

²Ez például a gamma-gamma lyukgeofizikai sűrűségmérés esetében származhat a beütésszám négyzetgyökeiből is, de származtatható az adott formáción belüli paraméterek szórásából is. A Monte Carlo számítás esetében a legegyszerűbb, ha valamilyen kis %-t, például 5%, vagy mérésértékben adjuk meg a szórást, például +/- 0,05 g/cm³.

³A felszínen vagy fúrólyukakban vett mintákon elvégzett mérések, a geofizikai adatgyűjtés, az adatfeldolgozás és az értelmezés, ideértve a különböző térfogatszámítások alapjául szolgáló térképek szerkesztését is, mind hibákkal terhelt, azonban ezek jó hitelesítés mellett ismert bizonytalanságok, szemben a vizsgált közeg nem ismert fluktuációival.

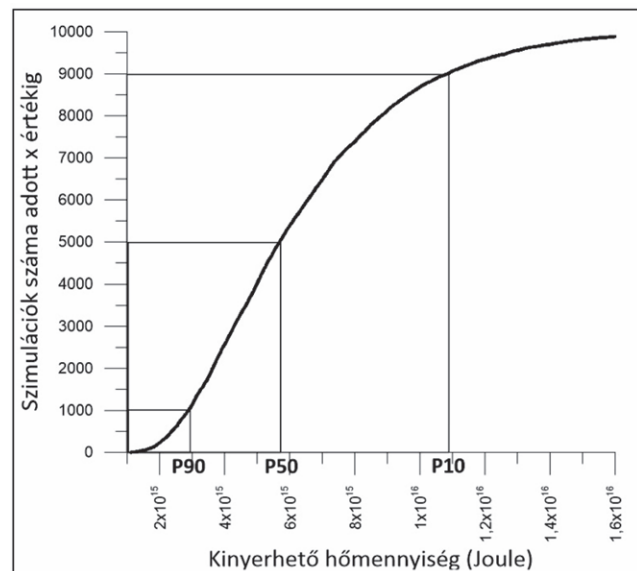
ból szerzett részletes információ térbeli kiterjesztéséhez a felszíni geofizika, ezen belül is főleg a szeizmika.

A hidrogeológiai modellezés alapadatai a bemenő paraméterek valamilyen kombinációjából származnak. A bemenő paraméterek mindegyike egy adott eloszlással, az ebből számolható átlagértékkel és szórással jellemezhető. Egy adott geotermikus rezervoár esetén a bemenő paraméterek többsége, pl. az effektív porozitás és a szivárgási tényező, rétegvastagság bizonytalanságának kezelésére a leggyakrabban alkalmazott módszer a Monte Carlo szimuláció (VON NEUMANN 1951, NÁDOR et al. 2019).

Az ásványvagyon- és készletosztályozás során a különböző kategóriákba soroláshoz szükség van a bizonytalanság mértékének magadására. Egy megadott paraméterek szerinti elvégzett determinisztikus készletbecslésből még nem tudjuk megmondani, hogy milyen valószínűséggel van egy bizonyos értéknél nagyobb vagy kisebb készletünk. A Monte Carlo módszer lényege, hogy mért adatok helyett azok szimulált (véletlenszámként generált) értékeit alkalmazzuk az adott paraméter megadására (egy konkrét értéket szórással látunk el), s az így kapott eredményeket értékeljük ki a mért hatás helyett (ZILÁHI-SEBESS 2016).

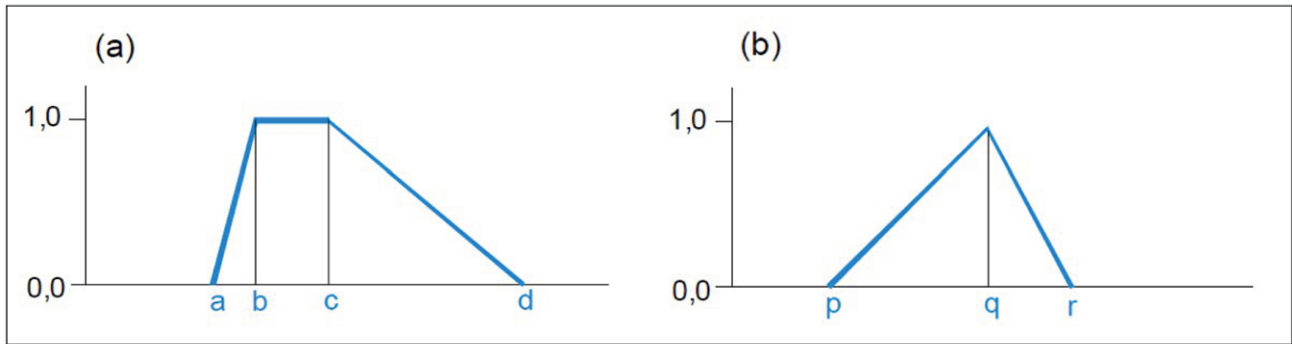
A Monte Carlo eljárás szerinti becslésnél véletlenszám-generátorral végrehajtott számítás sokszor – legalább ezer-szer – elvégezve és utána a megoldásokat nagyság szerinti sorrendbe állítva egy jellemző eloszlást kapunk. A később bemutatott statikus hőmennyiség számítás esetében a bizonytalanság kezelésére mi is a Monte Carlo módszert használtuk (2. ábra).

Azonban modellezésénél az előbb említett 1000 eset, esetenként 5 változó paraméter óriási mennyiségű (10E+8



2. ábra. Egy adott térrész permeabilitásának függvényében Monte Carlo szimulációval, 10000 realizációból számolt különböző valószínűségi szintek szerint (P10, P50 és P90 értékek) kinyerhető hőmennyisége (NÁDOR & ZILÁHI-SEBESS 2016 alapján)

Figure 2. As a function of the permeability of a given space, the amount of recoverable heat calculated by Monte Carlo simulation [10000 realizations, according to different probability levels (P10, P50 and P90 values)]; (NÁDOR & ZILÁHI-SEBESS 2016)



3. ábra. Trapéz alakú fuzzy számok (a); háromszög alakú fuzzy számok (b); (vízszintes tengely a mért paraméter; függőleges tengely a tagságérték)
 Figure 3. Trapezoidal fuzzy numbers (a); triangular fuzzy numbers (b); (horizontal axis is the measured parameter; vertical axis membership value)

db) modell futtatását tenné szükségessé, ami jelen kapacitások mellett nem lehetséges. Ezért a paramétereiből fuzzy számokat alkottunk, és ezekkel futtattuk a modellt. Ugyanis bármely konkrét paraméterhez, pl. szivárgási tényező, definiálható egy tartomány melynek két szélső értéke még 0 tagságértékű (valószínűtlen esemény), míg a legvalószínűbb értéktartomány 1 tagságértékű, ezeket összekötve kapjuk az adott tulajdonságot leíró fuzzy számot (ZADEH 1965). Ezt a fuzzy számot derékszögű koordináta-rendszerben ábrázolva háromszög vagy trapéz alakú fuzzy számot kapunk, ahol a vízszintes tengely a mért paramétert, a függőleges tengely a valószínűséget jelenti. A 3. ábra (a) rész jelölésével az a–d tartományt tartónak, míg a b–c tartományt magnak nevezzük. Ha b és c értékek egybeesnek, háromszög alakú fuzzy számról beszélünk (3. ábra b része). A fuzzy számokkal való műveletekre is igaz a kiterjesztési elv, azaz ugyanazok a műveletek végezhetők velük, mint a valós számokkal (FANG & CHEN 1990, BÁRDOSY et al. 2000). Ha trapéz alakú és háromszög alakú fuzzy számok között végzünk aritmetikai műveletet, akkor az adott operátor a trapéz szám b és c értékéhez is a háromszög szám q értékét rendeli hozzá (3. ábra). Konstans számmal (crisp szám) való művelet esetén a fuzzy szám alkotóihoz ugyanaz a konstans szám rendelődik hozzá. A fuzzy szám visszaalakítható „crisp számmá”, ezt nevezzük defuzzifikálásnak. Ennek legáltalánosabb módja a fuzzy szám súlypontjának x koordinátáját megadni a defuzzifikált értéknek (REZESSY et al. 2005).

Termásvíztermelés különböző forгатókönyvek szerint

A Battonya–Pusztaföldvári szubregionális modellvizsgálatra (KUN et al. 2022) alapul véve mutatjuk be egy potenciális geotermikus hasznosítás (termelő-visszasajtoló kútpáron [doublet]) hidrodinamikai és hőtranszport modellezési vizsgálatát és a UNFC-2009 kód szerint számított kinyerhető energia mennyiségét.

A helyszín kiválasztása

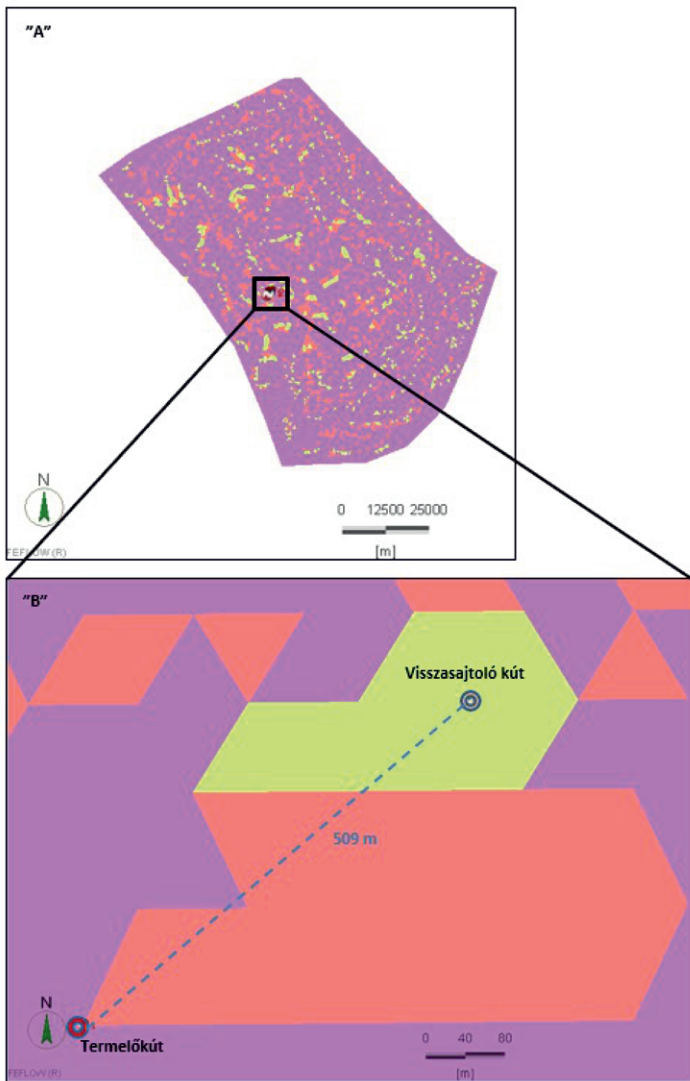
A helyszín kiválasztásának egyik szükséges feltétele volt, hogy a potenciális termelő kút talphőmérséklete meghaladjon a 150 °C-os értéket. A másik fontos feltétel, hogy a

hely alkalmas legyen egy hipotetikus EGS-erőmű létesítésére, vagyis a Battonya–Pusztaföldvári-hát feletti medence-üledékeket kizártuk. Ezek után az volt a kérdés, hogy a kristályos aljzatban vagy annak felső, repedésekkel átjárt, mállott zónájában helyezzük-e el a tervezett kútpárt. Ismereteink szerint az eddigi projekttervek a gránittest belsejét javasolták. Ismerve a mechanikus stimulációkban rejlő bizonytalanságokat (irányíthatóság, megfelelő méretű hőcserélő felület kialakítása), úgy döntöttünk, hogy a kristályos aljzat felső, a természetes folyamatok által „megviselt” zónáját választjuk, amely hidraulikai kapcsolatban lehet a felette települő báziskonglomerátummal. Ilyen térrész, a meglévő fúrások dokumentációi alapján, több is akadt a szubregionális modellterben. A kívánt mélységközött elért fúrások alapján Fábiánsebestyén, Medgyesbodzás, Békés és Pitvaros települések környezete tűnt potenciálisan megfelelőnek. De míg Fábiánsebestyén és Békés az alapmodell kiterjedésének szempontjából peremi helyzetű, Medgyesbodzás térségében pedig mezozoos karbonát alkotja az alaphegységet, így a választásunk Pitvaros térségére esett.

A modellezett szcenáriók meghatározása

A szimulált szcenáriók elsősorban szivárgási tényező variánsokon alapulnak. Az adott réteget, azaz az alaphegység fellazult zónáját egy tetszőleges szivárgási tényező eloszlású paramétermezővel jellemeztük, három fő kategória mentén. Az intakt, repedésmentes kifejlődést *mátrix*ként aposztrofáltuk, a repedezett tartományokat *zseb*nek neveztük és változatos elrendezésben alakítottuk ki különböző kapcsolódásokkal a térben. Az előbb ismertetett két övezet között egy *köztes zónát* is definiáltunk (4. ábra). A mátrix szivárgási tényezője változatlan maradt az összes szcenárióban; míg a zsebek és a köztes zónák minimum, medián és maximum értékeit kombináltuk az összes lehetséges esetben.

Egy rezervoár hőmennyiségének számítását célszerű valószínűség-elméleti alapon megközelíteni, tekintettel a bemeneti paraméterek, mint porozitás, szivárgási tényező, a kőzetmátrix, valamint a hőmérséklet (és hozzá kapcsolódó fajhő és sűrűség) értékek különböző mértékű bizonytalanságára. A Monte Carlo paraméterbecslés értéksokaságára mennyiségi okokból nem lehet modellfuttatásokat végezni, viszont a fuzzy aritmetika segítségével a különböző para-



4. ábra. A célréteg szivárgási tényező kategória tartománya: „A” a teljes modellrétegben, „B” kinagyítva a rezervoár léptékében, Pitvaros település környezete (lila: mátrix, piros: zseb, zöldessárga: köztes zóna)

Figure 4. Target layer hydraulic conductivity category range in the entire model layer and extended in the reservoir region of Pitvaros settlement (purple: matrix, red: pocket, lime green: intermediate zone)

méterekeket háromszög alakú fuzzy számokkal megadva azok kitüntetett értékeire futtatható modell. A szimuláció során a víz fajhőjét konstansnak tekintettük ($4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Ebben az esetben a végeredményül kapott fuzzy háromszög kezdő nulla tagsáértékéhez tartozó száma adja a magasan megbízható, egy tagsáértékhez tartozó száma a legjobb, míg a záró nulla tagsáértékéhez tartozó száma az alacsony megbízhatóságú becslést.

A geometriai kialakítás (rétegszám, vastagság) az egyértelmű összehasonlíthatóság kedvéért változatlan maradt a vizsgálat sorozat folyamán.

A mátrix porozitása 0,02, a zsebé 0,04, ennek megfelelően a köztes zónát 0,03 értékkel definiáltuk.

A kilenc darab szivárgási tényező variáns (*I. táblázat*) három termelési változatban futtattuk le (összesen 27 változat). Minden esetben 1 db termelő és 1 db visszasajtoló kút került kialakításra, melyek hozamai:

$$Q_1 = 2000 \text{ m}^3/\text{nap}; Q_2 = 3000 \text{ m}^3/\text{nap} \text{ és } Q_3 = 5000 \text{ m}^3/\text{nap}$$

A visszasajtolás minden esetben $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra lehűlt fluidummal valósult meg, tehát a termelt víz modellezett hőmérsékletéből $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot levonva, majd ezt a ΔT értéket a tömegárammal és a víz fajhőjével szorozva kaptuk meg a hőhasznosítás volumenét.

A különböző forgatókönyveket bemutató *I. táblázat*ban látható két „kakukktójás” eset is: a 3. esetben a zsebnek kisebb a szivárgási tényezője, mint a köztes zónának, tehát itt egy olyan esetet tanulmányozhatunk, amikor a fűrés nem találja el a legjobb szivárgási tényezőjű összletet (vagy felfoghatjuk úgy is, hogy az esetleges mechanikai stimuláció nem volt sikeres). Míg a 6-os számú esetben a zseb és a köztes zóna értéke megegyező, tehát a jó áteresztőképességű tartomány mérete nagyobb.

A termelt és a visszasajtoló víz mennyisége mind-egyik modellezett esetben azonos volt. A modellt tranziens módban futtattuk úgy, hogy éves szinten

I. táblázat. Modellvariánsok szivárgási tényezői ($K_{xx} = K_{yy} = K_{zz}$)

Table I. Hydraulic conductivity of model scenarios ($K_{xx} = K_{yy} = K_{zz}$)

Sorszám	Alapmodell elnevezése	Szivárgási tényező értékek ($K_x = K_y = K_z$)		
		mátrix	zseb (jobb rezervoár)	köztes zóna (gyengébb rezervoár)
1.	1_am_max_zseb_max_koztes.fem	2,0E-08 m/s	P10 (max) = 3,0E-04 m/s	P10 (max) = 7,92E-06 m/s
2.	2_am_med_zseb_max_koztes.fem	2,0E-08 m/s	P50 (med) = 7,9e-05 m/s	P10 (max) = 7,92E-06 m/s
3.	3_am_min_zseb_max_koztes.fem	2,0E-08 m/s	P90 (min) = 3,0E-06 m/s	P10 (max) = 7,92E-06 m/s
4.	4_am_max_zseb_med_koztes.fem	2,0E-08 m/s	P10 (max) = 3,0E-04 m/s	P50 (med) = 3,0E-06 m/s
5.	5_am_med_zseb_med_koztes.fem	2,0E-08 m/s	P50 (med) = 7,9E-05 m/s	P50 (med) = 3,0E-06 m/s
6.	6_am_min_zseb_med_koztes.fem	2,0E-08 m/s	P90 (min) = 3,0E-06 m/s	P50 (med) = 3,0E-06 m/s
7.	7_am_max_zseb_min_koztes.fem	2,0E-08 m/s	P10 (max) = 3,0E-04 m/s	P90 (min) = 8,0E-07 m/s
8.	8_am_med_zseb_min_koztes.fem	2,0E-08 m/s	P50 (med) = 7,9E-05 m/s	P90 (min) = 8,0E-07 m/s
9.	9_am_min_zseb_min_koztes.fem	2,0E-08 m/s	P90 (min) = 3,0E-06 m/s	P90 (min) = 8,0E-07 m/s

300 nap termelést 65 nap leállás követte végig a teljes 50 éves üzemelési időtartam alatt. Ez a termelési metodika 82%-os éves kihasználtságot jelent, ami megfelel a jelenleg alkalmazott üzemelési technológiának (REN21 2019). Természetesen sokféle termelési menetrend létezik a gyakorlatban, ezekben tervezett és eseti karbantartási időszakok rendszeresen előfordulnak.

A futtatás hosszának meghatározásakor a jelenlegi szabályozást vettük alapul, miszerint a koncesszió időtartamán belül a tervezett ásványi nyersanyag, illetve a geotermikus energia esetében a kutatási időszak 4 évnél hosszabb nem lehet. Ez a geotermikus energia és nem hagyományos eredetű szénhidrogén esetében két alkalommal, az eredeti kutatási időszak felével meghosszabbítható. Az elnyert szénhidrogén koncesszió 20 évre, a geotermikus koncesszió 35 évre szól, ez az időtartam újabb pályázat kiírása nélkül egy alkalommal, a koncessziós szerződés eredeti időtartamának felével meghosszabbítható. Tehát egy pályázati eljárásban a maximális üzemeltetési időtartam hozzávetőleg 50 év geotermikus hasznosítás esetén, de – ahogy később látni fogjuk – a futtatások során pl. a termelőkutak hőmérséklet-idő diagramja már korábbi időpontban és egyértelműen mutatja a továbbtermelés esetén várható hűlési trendet, azaz a gyengülő üzemelési kilátásokat.

A modellezett scenáriók eredményei

Ahogy az előző fejezetben ismertettük: összesen 27 db modellvariáns futtatása történt meg. Ezek eredményeinek kiértékelése egyrészt a visszasajtoló kút nyomásemelkedésének, másrészt a termelőkút depressziójának és hűlésének a mértékén alapult. A kiinduláskor üzemelési kritériumként és termikus végállapotként a maximum 200 méteres (20 bar) vízsztinváltozást (mind a termelő, mind a visszasajtoló kútban), illetve a termelőkútban a még ideálisnak tekinthető 25 °C hőmérséklet-csökkenést határoztuk meg. Ennél nagyobb mértékű nyomásváltozás már gazdaságtalanná tenné a geotermikus projektet, míg a hőmérséklet még elfogadható csökkenése a tömegfluxus függvénye. Azaz a 25 °C hőmérséklet-csökkenést jelzésértékűnek tartjuk, de a projekt még ennél nagyobb hőmérsékletcsökkenés esetén is termelhet profitot.

A II. táblázat alapján látható, hogy a futtatott verziók közül a termelőkút szempontjából 9 db, a visszasajtoló kút szempontjából pedig 13 db verzió nem teljesítette az előzetes hidrodinamikai feltételünket – figyelembe véve az átfedéseket –, ez összesítve 17 verzió.

Elemelve a számításokat, a szivárgási tényezők esetében, ha legalább a zseb vagy a köztes réteg minimum érték-

II. táblázat. A modellvariánsok hidrodinamikai eredményei /A piros háttérszín a termelőkút, a kék háttérszín a visszasajtoló kút 20 bárnál nagyobb nyomásváltozását szemlélteti, ezek a hidraulikus kritériumnak nem megfelelő modellváltozatok/

Table II. The hydrodynamic results of the model variants /the coloured background is illustrating the value of pressure change above 20 bar. red: production well, blue: injection well/

Sorszám	Szivárgási tényező variánsok zseb_köztes zóna	Változatok	Termelőkút maximális depressziója [m]	Visszasajtoló kút maximális vízsztinvnövekedése
1	max_max	sc1_2000	-6,9	37,7
2	max_max	sc1_3000	-10,6	55,2
3	max_max	sc1_5000	-17,4	90,4
4	med_max	sc2_2000	-20,1	38,3
5	med_max	sc2_3000	-30,2	56,2
6	med_max	sc2_5000	-50,3	92,2
7	min_max	sc3_2000	-460,3	51,1
8	min_max	sc3_3000	-690,8	69,4
9	min_max	sc3_5000	-1152,3	106,0
10	max_med	sc4_2000	-10,6	94,5
11	max_med	sc4_3000	-15,2	140,7
12	max_med	sc4_5000	-24,7	233,2
13	med_med	sc5_2000	-23,3	95,4
14	med_med	sc5_3000	-34,7	141,8
15	med_med	sc5_5000	-57,9	234,8
16	min_med	sc6_2000	-463,7	113,6
17	min_med	sc6_3000	-696,2	168,1
18	min_med	sc6_5000	-1161,3	277,1
19	max_min	sc7_2000	-22,7	340,7
20	max_min	sc7_3000	-32,2	509,8
21	max_min	sc7_5000	-53,8	848,5
22	med_min	sc8_2000	-35,9	341,4
23	med_min	sc8_3000	-52,6	510,6
24	med_min	sc8_5000	-87,1	849,6
25	min_min	sc9_2000	-476,0	360,4
26	min_min	sc9_3000	-714,5	538,3
27	min_min	sc9_5000	-1191,3	894,2

kel szerepel, akkor a rendszer üzemeltetése vízszintváltozás szempontjából az optimális értéken kívül esik. A visszasajtolás szempontjából a nagy hozam (legalább 5000 m³) is kockázatos lehet, ha a köztes zóna közepes vagy annál kisebb szivárgási tényezővel jellemezhető.

A vízszintváltozást, jelen esetben a termelőkút 300 nap termelését és az azt követő 65 nap leállását jelentő időbeli ciklus hidraulikai hatását egy modellbeli észlelőpontban (200 m-re a termelőkúttól) a 5. ábra szemlélteti. Ha a burkolóját nézzük, az első kb. 800 napban látunk egy enyhe felfutást a visszasajtolás hatásaként, összességében egy enyhén csökkenő vízszinttartományt kapunk stagnáló trenddel a végén.

A termelőkútban modellezett hőmérsékleti eredmények szerint az előzetes maximum 25 °C-os hőmérsékletcsökkenési kritérium csak a 35 éves időintervallumban teljesült, de ott is csak 2000 m³/nap hozam esetén (III. táblázat). Az 50 éves ciklus esetében a hőmérsékletváltozás átlaga 64 °C, a legkisebb (2000 m³/nap) hozamráták esetén 55 °C az átlag, a minimum érték is 49 °C, ami egy műszaki tervezésnél már nehezen fogadható el. A 35 éves üzemelés esetén lényegesen kedvezőbb a helyzet, bár az átlag meghaladja az 50 °C-t, a minimum hozamvariációk átlaga 22 °C, legkisebb hőmérséklet-különbség 15 °C.

A 6. ábra a termelőkútban számított hőmérsékletváltozás időbeli lefutását ábrázolja, az 1. scenáriónak megfelelő hidrodinamikai feltételek mindhárom hozamváltozata esetén.

A kisebb termelési ráták esetén a „hődepressziós front” helyett egy monoton függvény szerinti átmenet jön csak létre; a zseb egyenletesen hűl az egyensúlyi hőmérsékletig.

Elgondolkodtató jelenség, hogy az 5000 m³/nap terme-

lések esetében 32 év (11 680 nap) után a lehűlt kútkörnyezet újból melegedni kezd. Nézetünk szerint az első időszakokban túlhűlés történik, mert a rezervoárt megtestesítő zseb túl gyorsan lehűl, így az hidegebbé válik, mint a végső statikus hőmérséklet lenne. Az utánpótlás nagy része a visszasajtolásból érkezik, azaz a nagyobb szivárgási tényezőjű és hidegebb környezetből. Az időtengelyen leghidegebb minimumpont után (kb. 32 év) az utánpótlásba bekapcsolódik a termelési depressziós front által még nem érintett melegebb környezet.

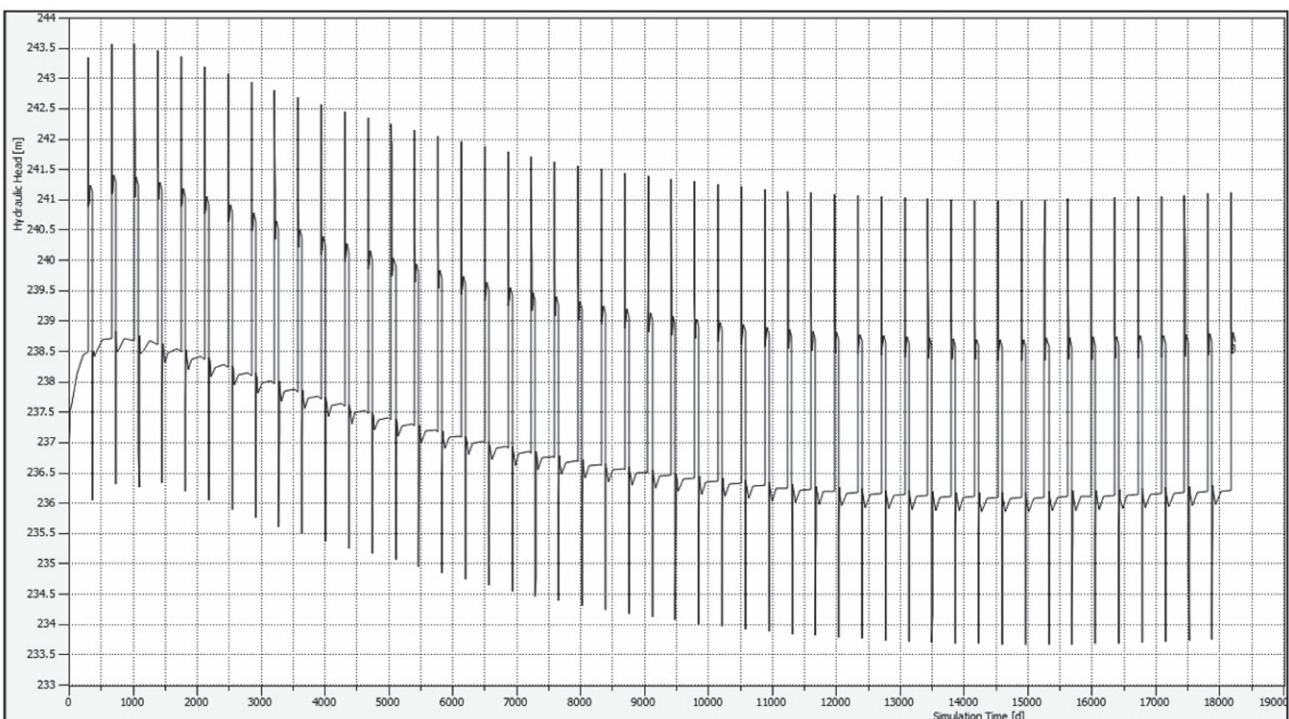
Feltételezhető, hogy ha időben tovább termeltetnénk, akkor egy maximum után újra hűlési trend következne be, majd egy kisebb mértékű újabb melegedést követné megint egy hűlési szakasz. Alakilag megközelítőleg egy lecsengő amplitúdójú $\sin x/x$ (sinus cardinalis) függvény szerinti változás várható, és idővel valószínűleg a periódusok hossza is növekszik.

A tároló időbeli hőmérsékleti regenerálódását szemlélteti a 7. ábra.

Mint az látható, a rezervoár visszamelegedése csak kb. 50%-ban történik meg, erre viszont nem kalibráltuk és nem is kalibrálhatjuk a modellt gyakorlati tapasztalatok híján.

Az utánpótlás általunk feltételezett természete az áramvonalképen is követhető (8. ábra, az időbeliséget a színképezés reprezentálja, 2000 naponként változik a színkategória). Míg a két kút között az áramvonalak futási ideje 2000 napon belül marad, a háttérből lényegesen hosszabb idő alatt jut a termelőkútba.

A kirajzolt áramvonalképet 100 csomópontból indítottuk a termelőkút környezetéből viszonylag nagy rádiusszal



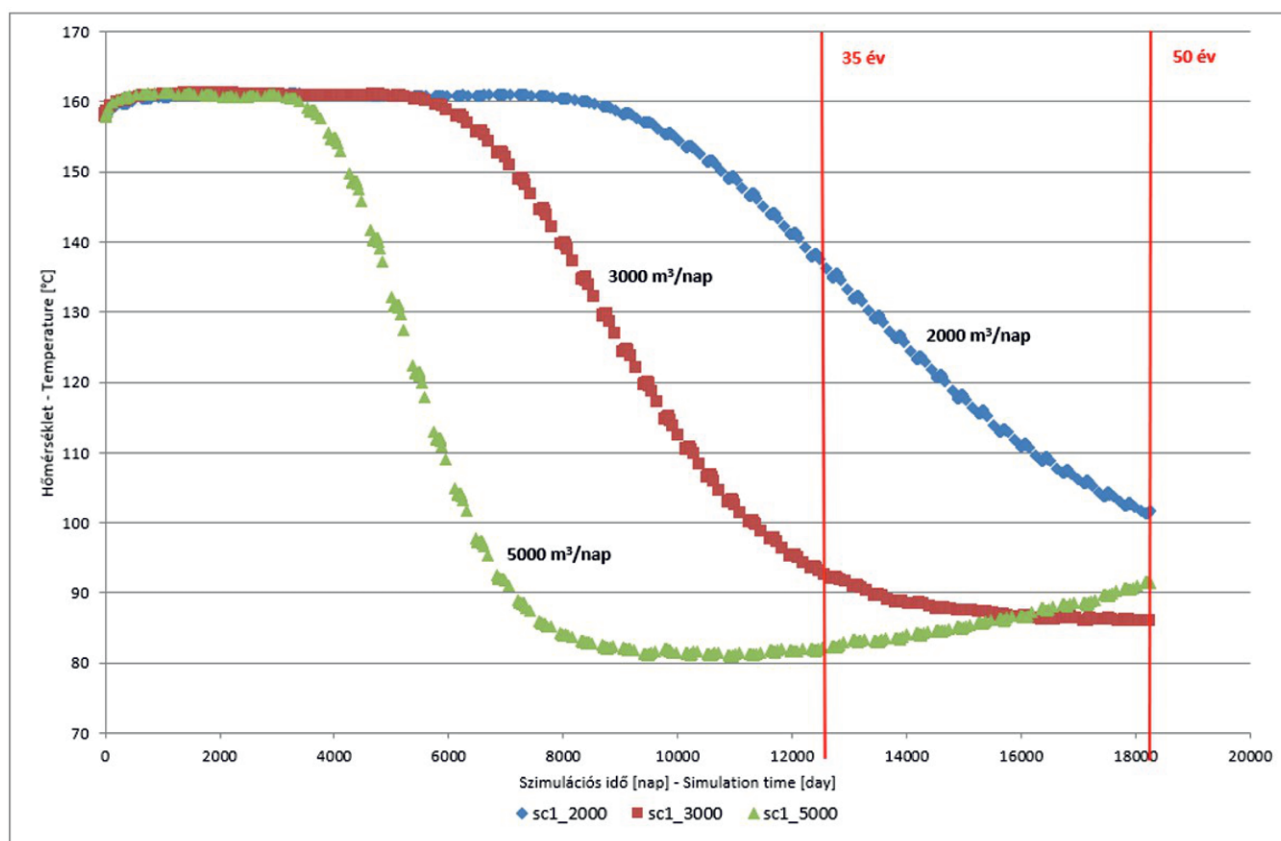
5. ábra. Modellezett hidraulikus emelkedési magasság [mBf] a termelőkúttól 200 m-re található csomópontban (1. forgatókönyv; x-tengely szimulációs idő [nap], y-tengely modellezett vízszint [mBf])

Figure 5. Hydraulic head [masl] at the mesh nodes of 200 meters from the production well (1. scenarion; x-axis simulation time [day], y-axis: modeled water-level [masl])

III. táblázat. A modellverziók hőtranszport eredményei a szcenárióként a termelőkutak szempontjából (Piros színnel a hőmérsékleti kritériumnak nem megfelelő verziók vannak feltüntetve $\Delta T > 25^\circ\text{C}$)

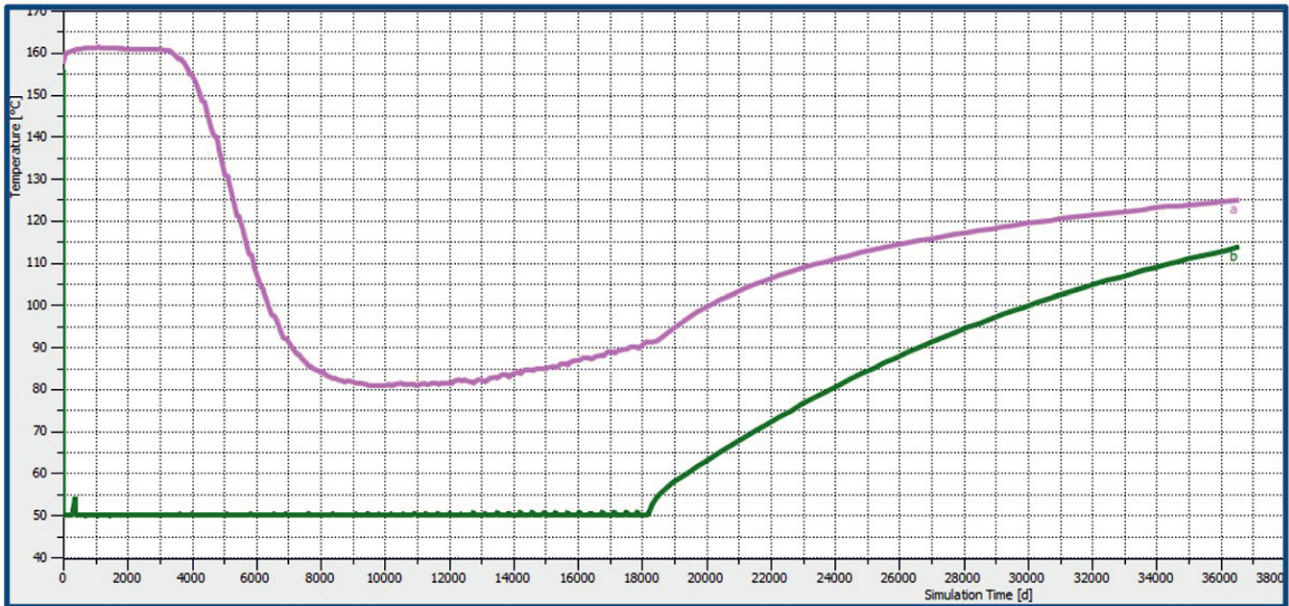
Table III. Heat transport results of the model versions per scenario from the point of view of the production wells (the coloured numbers are illustrating the value of temperature above $\Delta t > 25^\circ\text{C}$)

A termelési variánsok		Termelési variáns [m ³ /nap]	Kezdeti T [°C]	T _{15 év műha} [°C]	ΔT_{0_35} év [°C]	T _{50 év műha} [°C]	ΔT_{0_50} év [°C]
1. szcenárió	1.	2000	158	135	23	102	56
	2.	3000	158	92	66	86	72
	3.	5000	158	82	76	91	67
2. szcenárió	4.	2000	158	136	22	102	56
	5.	3000	158	92	65	86	72
	6.	5000	158	82	75	91	66
3. szcenárió	7.	2000	154	139	15	105	48
	8.	3000	154	95	58	84	70
	9.	5000	154	80	74	88	65
4. szcenárió	10.	2000	158	136	22	102	56
	11.	3000	158	111	47	89	69
	12.	5000	158	82	76	91	67
5. szcenárió	13.	2000	158	136	21	102	55
	14.	3000	158	93	65	86	72
	15.	5000	158	82	75	91	67
6. szcenárió	16.	2000	154	139	15	105	49
	17.	3000	154	95	59	84	70
	18.	5000	154	78	76	88	66
7. szcenárió	19.	2000	158	138	20	105	54
	20.	3000	158	95	63	87	71
	21.	5000	158	82	76	90	68
8. szcenárió	22.	2000	158	138	19	104	53
	23.	3000	158	94	64	87	71
	24.	5000	158	82	76	89	68
9. szcenárió	25.	2000	154	139	15	105	49
	26.	3000	154	95	59	84	70
	27.	5000	154	78	76	85	69

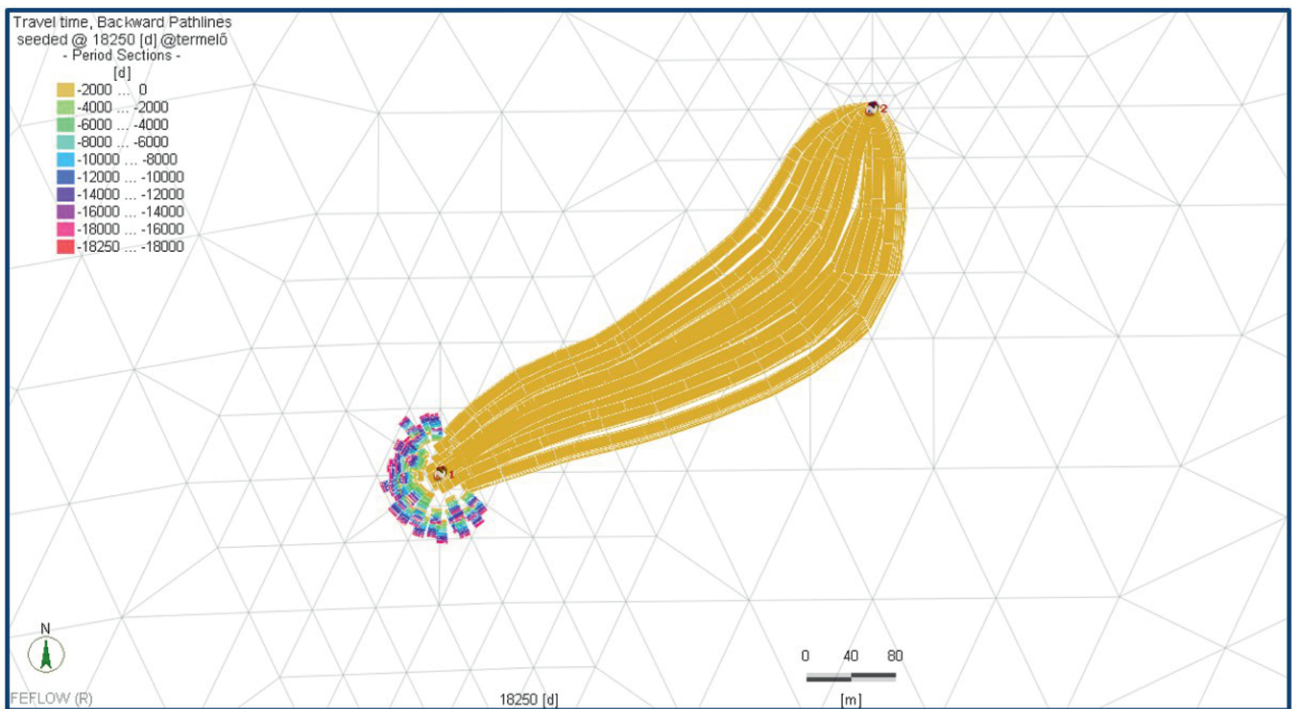


6. ábra. Az 1. szcenárió hőmérséklet-üzemelési idő diagramja mindhárom hozamvariáns feltüntetésével

Figure 6. Temperature simulation time diagram in scenario 1 with all three production variants



7. ábra. Az 1. szcenárió hőmérséklet-üzemelési idő diagramja (50 év szakaszos termelés és az azt követő 50 év felhagyás) a: termelőkút, b: visszasajtoló kút
 Figure 7. Temperature-time diagram in scenario 1 (50 years of intermittent production followed by 50 years of abandonment) a: production well, b: injection well



8. ábra. Az 1. szcenárió 5000 m³/nap hozamrátaival kialakított modellváltozat visszafelé indított áramvonalképe [nap], (1: termelő, 2: visszasajtoló kút)
 Figure 8. Backward pathline of the production rate 5000 m³/day in scenario 1 [d]

(45 m). Az okkersárga szín a 2000 napnál kisebb idejű pályákat mutatja be, és látható, hogy a rosszabb szivárgási tényezőjű háttérterület felől is érkezik utánpótlás jelentős időbeni késleltetéssel.

A vizsgálat sorozat eredeti célja a megvalósítható hőtermelés szimulációja, ezért kihasználva a FEFLOW® szoftver numerikus kiértékelési funkcióját kiszámítottuk a termelő kút által kitermelt hőmennyiséget 35 és 50 évre (IV. táblázat és 9. ábra).

Ahogy korábban jeleztük, szimulációinkat teljes körű visszasajtolással futtattuk, 50 °C-on. A kivett hőmennyiség meghatározása során nem vettük figyelembe a feláramló fluidum kútban történő, hozamfüggő lehülését, ami akár 10–15 °C-ot is elérhet a talpi hőmérsékletéhez képest! Kiszámoltuk azt is, hogy 35 év alatt mekkora részét vettük ki az 50 év alatt kivehető hőmennyiségnek. Ha ez az érték 0,7-nél nagyobb, akkor a rezervoár elkezdett lehűlni, azaz bekövetkezett a termális áttörés. Azt is meghatározhatjuk, hogyan

IV. táblázat. Szenáriónként számított hőmennyiségértékek 35 és 50 évre [Joule]

Table IV. Temperature values per scenario for 35 and 50 years [Joule]

	Szenáriók	Q_Termelő 35 év [J]	Q_Termelő 50 év [J]	Hőmennyiség arány [35 év/50 év]
1.	sc1_2000	5,9796E+15	8,3608E+15	0,72
2.	sc1_3000	7,2291E+15	8,5174E+15	0,85
3.	sc1_5000	1,1260E+16	1,2653E+16	0,89
4.	sc2_2000	5,7275E+15	7,2223E+15	0,79
5.	sc2_3000	7,2317E+15	8,5180E+15	0,85
6.	sc2_5000	8,7428E+15	1,0845E+16	0,81
7.	sc3_2000	5,5749E+15	7,1620E+15	0,78
8.	sc3_3000	7,2222E+15	8,4715E+15	0,85
9.	sc3_5000	8,6479E+15	1,0593E+16	0,82
10.	sc4_2000	5,7502E+15	7,2507E+15	0,79
11.	sc4_3000	7,2638E+15	8,5671E+15	0,85
12.	sc4_5000	8,7773E+15	1,0875E+16	0,81
13.	sc5_2000	5,7383E+15	7,2421E+15	0,79
14.	sc5_3000	7,2544E+15	8,5517E+15	0,85
15.	sc5_5000	8,7683E+15	1,0871E+16	0,81
16.	sc6_2000	5,5774E+15	7,1579E+15	0,78
17.	sc6_3000	7,2170E+15	8,4603E+15	0,85
18.	sc6_5000	8,5987E+15	1,0484E+16	0,82
19.	sc7_2000	5,7697E+15	7,3279E+15	0,79
20.	sc7_3000	7,3541E+15	8,6944E+15	0,85
21.	sc7_5000	8,8999E+15	1,0960E+16	0,81
22.	sc8_2000	5,7591E+15	7,3162E+15	0,79
23.	sc8_3000	7,3396E+15	8,6719E+15	0,85
24.	sc8_5000	8,8966E+15	1,0961E+16	0,81
25.	sc9_2000	5,5805E+15	7,1618E+15	0,78
26.	sc9_3000	7,2079E+15	8,4562E+15	0,85
27.	sc9_5000	8,5905E+15	1,0388E+16	0,83

változik egy ilyen erőmű teljesítménye. 5000 m³/nap (57 l/s) hozammal számolva, a fluidumot 50 °C-ig hasznosítva.

Ezekkel a feltételekkel induláskor 26 MW_{th} hőteljesítménnyel számolhatunk, amit elektromos árammá alakítva – 20 %-os hatásfokot feltételezve – 5,2 MW_e elektromos teljesítményt kapunk. (Megjegyzendő, hogy a hőmérséklet időbeli csökkenése következtében a hatásfok csökken, tehát a 20%-os hatásfok a fluidumból termelhető elektromos áram felső becslését adja). Ez az érték 35 év alatt a rezervoár hőmérsékletének csökkenése miatt, 5000 m³-en rögzített hozamánál (IV. táblázat: sc1_5000 Szenárió), már csak 2,0 MW_e átlagos teljesítménynek, míg 50 évre számolva, a további hűlés következtében alig 1,6 MW_e átlagos teljesítménynek felel meg. Ez azt is jelenti, hogy az utolsó 15 évben az erőmű elektromos teljesítménye 0,6 MW_e körüli értékre csökken, ami a kezdeti érték tizedét is alig éri el.

A kivehető hőmennyiség fuzzy becslése

Jelen számításokban a mátrix és a köztes zóna szivárgási tényezőjét, valamint a kút vízhozamát változtattuk, sem a vizsgált térfogatot, sem annak hatékony porozitását nem módosítottuk. Így 9 különböző szivárgási tényező kombinációt kaptunk, kombinációként 3–3 hozamaddal, azaz 27 modellt futtatunk és határoztuk meg a kivehető hőmeny-

nyiségeket. Ha az adott változatokat fuzzy háromszögben akarjuk megadni, akkor a két szélsőérték (0 tagságértékű pont) a legnagyobb kitermelhető hőmennyiség és a legkisebb kitermelhető hőmennyiséghez tartozó érték. A legnagyobb értéket akkor kapjuk, ha a szivárgási tényező értékek a legnagyobbak és a hozam is a legnagyobb, ez az első forgatókönyv 5000 m³/napos hozamához tartozik (IV. táblázat: 3. sor). A legkisebb értékkel már bajban vagyunk, mert a legrosszabb forgatókönyv mellett legkisebbnek vett 2000 m³/napos hozam esetén a még elfogadhatónak választott 200 m-es depresszió több mint duplája adódik (II. táblázat: 25. sor). Ezért egy új futtatást végeztünk, hogy megtaláljuk azt a maximális hozamot, ami mellett a depresszió nem haladja meg a 200 m-t. A kívánt hozamot próbálgatással (*trial and error*) határoztuk meg, ami 850 m³/napnak adódott. Az ezekkel a paraméterekkel futtatott modellben a 35 év alatt kivehető hőmennyiségre 2,40E+15 J-t, míg 50 év esetén 3,43E+15 J értéket kaptunk.

A legvalószínűbb érték (1 tagságértékű pont) az 5. forgatókönyv 3000 m³/nap-os hozamához tartozik (IV. táblázat: 14. sor). Ez alapján megrajzolhatjuk a 35 év, illetve 50 év alatt kivehető hőmennyiség fuzzy háromszögeit. Ha egy konkrét értéket (crisp value) akarunk a kivehető hőmennyiségre meghatározni (defuzzification), akkor azt a háromszög súlypontjának x koordinátájával adhatjuk meg (10. ábra).

Mindezek alapján a fuzzy háromszög csúcsait tekintjük a kitermelhető hőmennyiség P90, P50, P10 valószínűségű szintű értékének, melyek a 35 évre elvégzett modellből számolva az alábbiak:

P90: 2,40E+15
P50: 7,25E+15
P10: 1,126E+16

A kivehető hőmennyiség statikus becslése

Egyik fő célkitűzésünk volt, hogy bizonyítsuk a dinamikus készletbecslés előnyeit a statikus eljárással szemben, ezért meghatároztuk a kivehető energia mennyiségét a UNFC-2009 módszerhez készült segédanyagban lefektetett statikus készletszámítási módszerrel. Az alábbi módszer a kutatás első szakaszában alkalmazható, általában annak eldöntése érdekében, hogy érdemes-e elkötelezni magunkat a tervezett projekt megvalósítására. A kivehető hőmennyiség (Q) a kitermelési tényezővel (recovery factor=R) vesztük figyelembe az alábbi összefüggés szerint, (utóbbi értéket a UNFC-2009 kód számításához kiadott példa dokumentumok maximális értékével vettük számításba [UNECE 2016b]):

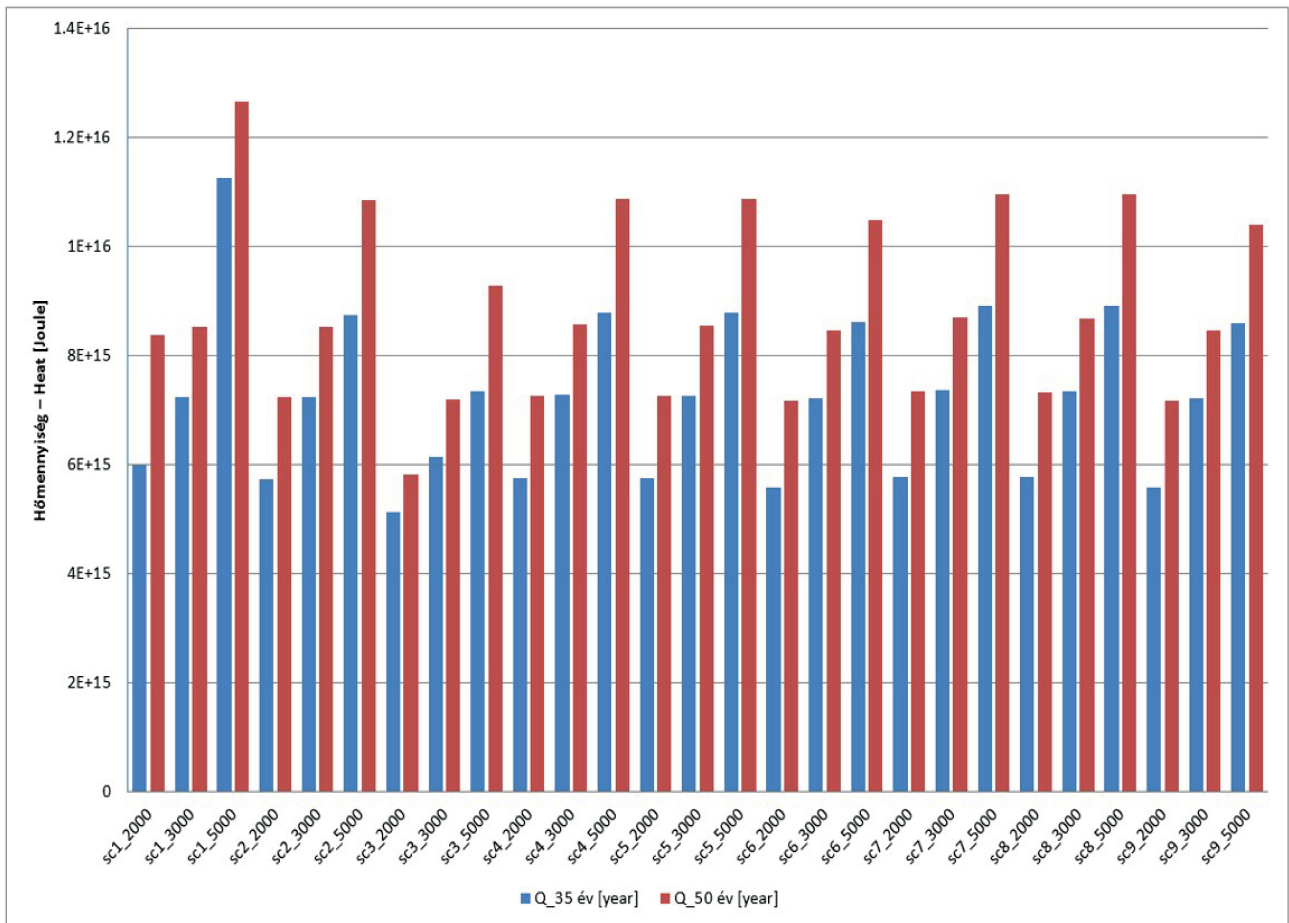
$$Q=R \int [(1-\varphi) \rho_c c_r \Delta T + \varphi \rho_w c_w \Delta T] dV$$

dV: terület x vastagság: (158391,65 m² x 200 m) (rezervoár (zseb + köztes zóna) térfogata)

φ : porozitás: 0,04

ρ : sűrűség, w(víz): 1000 kg/m³; r (kőzet): 2700 kg/m³

c: fajhő, w(víz): 4,2E+3 kJ/m³×K, r (kőzet): 0,8E+3 kJ/m³×K



9. ábra. Az egyes modellverziókban kétkutas rendszerrel kinyerhető hőmennyiség [Joule] 35 év és 50 után
 Figure 9. The quantity of heat amount [Joule] in each model scenario available from the two-well system after 35 years and 50 years

ΔT : ~ 160 °C – 50 °C = 110°C
 R = 0,2 (kitermelési tényező / recovery factor)

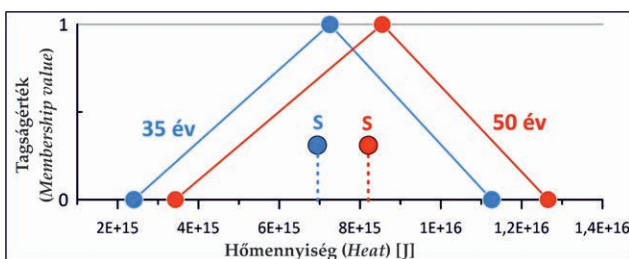
A fenti adatokat alapul véve Monte Carlo-szimulációt futtattunk az alábbi paraméterekkel:

- Terület: eredeti terület (m²): 158 391,65 + –5% (egyenletes eloszlás),
- Vastagság (m): 100–300 (egyenletes eloszlás),
- Hézagterefogat (%): 0,01–0,07 (egyenletes eloszlás),
- Delta T (°C): 100–120 (egyenletes eloszlás),
- Kitermelési tényező (Recovery factor): 0,1–0,3 (egyenletes eloszlás)

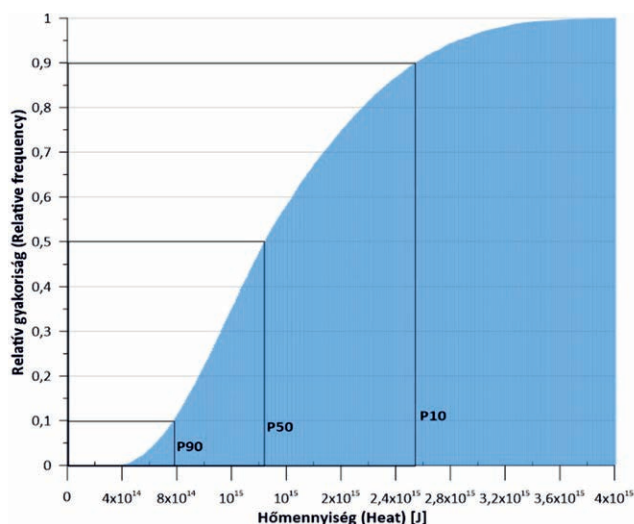
A számolás alapján a teljes kőzettérfogatból kitermelhető hőmennyiség (11. ábra):

- P90: 7,82E+14
- P50: 1,45E+15
- P10: 2,55E+15

Ez a teljes kőzettérfogatból kitermelhető hőmennyiség, és mint korábban láthattuk a modellezés során, ennél hozzávetőleg fél nagyságrenddel nagyobb értékek jöttek ki. Ennek magyarázata, 2000 m³/nap termelésnél kb. 80 km² terület hőáramával egyenlő hőmennyiséget veszünk ki, azaz a zseb területén bejövőknek majdnem az 500-szorosát, ezért a hőáram első közelítésben elhanyagolható, lényegében a tárolt hőt aknázzuk ki. Statikus számítás szerint a 158 391,65 m² × 200 m térfogat teljes hőmennyisége 0,2 kitermelési hatásfok esetén 22 év alatt 50 °C-ra kellene hűlnie, ha nem lenne a térfogaton kívülről utánpótlás. De mivel van kívülről is vízutánpótlódás, ez a vízmennyiség viszont a mélységnek megfelelő hőmérsékletű, ami jelentősen lassítja a a rezervoár lehűlését, valamint lényegesen kisebb mértékben a konduktív hővezetés is szerepet játszik. A vizsgált térfogaton kívüli utánpótlást igazolja, igaz alárendelt mértékben, az 1. szcenárió áramvonalképe is (8. ábra).



10. ábra. A 35 év, illetve 50 év alatt kivehető hőmennyiség fuzzy háromszögei, a defuzzifikált értékek (S) feltüntetésével
 Figure 10. Fuzzy triangles of the amount of heat that can be produced in 35 years and 50 years, respectively with crisp values (S)



11. ábra. A teljes köztérfogatból kitermelhető hőmennyiség Monte Carlo szimulációjának diagramja

Figure 11. Diagram of a Monte Carlo simulation of the heat amount extracted from the total volume

UNFC-2009 kód szerinti készletszámítás

A módszertani fejezetben leírtak alapján a UNFC-2009 kód definíciója szerint egy adott geotermikus projekt háromjegyű kóddal jellemezhető (E, F, G kategóriák).

Olyan projektek esetén, melyek előkészítési fázisban vannak, és az adott rezervoárban még egyetlen projekt sem valósult meg, csak E3 kategóriájú lehet. Mivel a Battonya–Pusztaföldvári-hát térségében a geotermikus energiatermelés gazdasági életképessége még nem állapítható meg, bár a geotermikus energiatermelésre már készült tanulmány, az elégtelen információk miatt az E3.2 kategóriába sorolandó.

A vizsgált térségben a kitermelés megvalósíthatósága a korlátozott műszaki adatok miatt nem értékelhető, mivel az adott célképződményt még nem próbálták feltárni, ezért az F tengelyen a 3. kategóriába tartozik. A kutatási területen regionális geológiai vizsgálatok kedvező geotermikus adottságokat mutatnak, de nincs konkrét helyre vonatkozó vizsgálat, így a végső besorolás az F3.3 kategóriát adja.

A G tengely meghatározása során figyelembe kell venni, hogy csak néhány fúrás érte el a gránitos aljzatot, és azok is csak néhány 10 m-es vastagságban (pl. Tótkomlós-I fúrás), de termelés azokból sem történt. A projekt helyszínén a célképződmény pontos mélysége nem ismert, tehát elsősorban közvetett bizonyítékon alapul a kitermelhető geotermikus energia mennyiségének meghatározása, így a számított készletek csak G4 kategóriájúak lehetnek.

A továbbiakban a G4.1, G4.2, G4.3 szerinti hőmennyiségeket a 6.3 fejezetben megadott fuzzy háromszögszám adatai alapján adjuk meg. Mivel az 50 éves üzemidő alatt a modellszámítások a tárolótér jelentős lehűlését valószínűsítik, így a 35 év üzemidőre számított értékeket tartjuk mérvadónak, melyek a következők:

$$G4.1=2,4E+15 \text{ J}$$

$$G4.2=4,85E+15 \text{ J}$$

$$G4.3=4,01 E+15 \text{ J}$$

Mind ezek alapján a vizsgált projekt UNFC-2009 osztályozás szerinti besorolása: 3.2, 3.3, 4, ami a kutatási (re-ménybeli) projekt kategóriát jelenti.

A modellvizsgálat-sorozat eredményei, konklúziók

A hozamvariációkat hőmérséklet-diagramokon bemutattva látható (9. ábra), – és ez ennek a vizsgálat-sorozatnak a fő tanulsága – hogy a vizsgált aljzati kiemelkedés még kedvező és kvázi optimális feltételek mellett is csak korlátozott időtartományban (ideális konfigurációban kb. 30–35 év) alkalmas geotermikus hasznosításra. Bár a 35 év időtartam az 50 évnek 70%-a, mégis az esetek döntő többségében 80% fölé emelkedik a 35 év alatt kitermelhető hőmennyiségek aránya az 50 év alatt kitermelhető hőmennyiségekhez képest (IV. táblázat). Tehát kijelenthető, hogy az ilyen típusú geotermikus rendszerek optimális üzemelési ideje nem éri el az 50 évet.

Mivel a battonyai gránitból sem magvizsgálat, sem szivattyútest nem állt rendelkezésre, a képződmény repedés-rendszerének értékelésénél legfontosabb hazai analógia-ként a Mórággyi-rög vizsgálatát vettük alapul, ahol a Bábaapáti kutatás keretében a legszélesebb méretskálán történtek vizsgálatok (ZILÁHI-SEBESS et al. 2007). A mórággyi gránit esetében a mechanikai paraméterek a repedéssűrűséggel korrelálnak, azonban ez nem feltétlenül jelent nagyobb permeabilitást is. Bábaapáti kőzetminták és karotázsmérések összevetése alapján megállapítást nyert, hogy a kőzetek mechanikai jellemzői in situ állapotban jóval szilárdabbnak mutatkoznak, mint a magméréseknél. Ennek legfőbb oka, hogy azok a repedések, amelyek magon áteresztőképesség bizonyultak, in situ körülmények közt nagyobb nyomáson összezáródnak. Ebből következik, hogy mindazok a paraméterek, amelyek mechanikai bontottsághoz kapcsolódnak, hasonlóan viselkednek. A nagyobb nyomás jobban összezáródó repedéseket és ezzel nagyobb tortuozitást és emiatt kisebb permeabilitást és emiatt rosszabb konvektív hővezető képességet jelent. Ezt semmiképpen nem ellensúlyozza a konduktív hővezetőképeség rendkívül kismértékű javulása. A mállási zóna alatti, ép gránit bár törésszónákkal tagolt, hidrogeológiai szempontból ezeknek a zónáknak a túlnyomó része mégis impermeábilisnak bizonyult. A törésszónák általában elagyagosodottak, a kevés számú vizet adó repedés a törésszónák szélé felé, a szinte teljesen ép kőzetben található.

Bábaapáti analógia alapján a mállási zónán túli alaphegységi kőzet repedéseinek nagy része zárt, impermeábilis. A Battonya–Pusztaföldvári-hát granitoid kőzetei 1000 m-nél nagyobb mélységben jóval nagyobb nyomásnak vannak kitéve, ezért a mikrorepedéseknek még inkább zártabbnak kell lenniük, mint a Mórággyi Gránit. Az alaphegységi kőzetből való hőtermelés sikeressége attól függ, mekkora felületen történik a hőcsere, és fontos, hogy mekkora az a térfogat, amelyet az összefüggő repedések feltárnak.

A lefuttatott modellverziók alapján megállapíthatjuk, ha a termelt zóna szivárgási tényezője nem éri el legalább az E-

05 (m/s) nagyságrendet, akkor a minimum 2000 m³/napos (23 l/s) termelés mellett is irreálisan magas depresszióértékeket kapunk (*I. és II. táblázat*), azaz a kútpár üzemeltetése nem fenntartható. Jelen tanulmányban egy hozzávetőleg 400×400×200 m-es repedezett térfogattal számoltunk, azaz 0,032 km³-rel, (ami megfelel 1000×1000×32 m kiterjedésű rezervoárnak).

Ezt gazdasági alapon is lehet értelmezni, vegyük a legjobb esetet a legnagyobb kivethető hőmennyiség szempontjából (1. scenárió, 5000 m³/nap hozam; *IV. táblázat* 3. sor). Számoljuk ki a 35 év, ill. 50 év alatt megtermelhető elektromos energia pénzügyi eredményét. Először számoljuk ki az elektromos áram előállításának elvi hatásfokát.

Nicolas Léonard Sadi CARNOT megállapította, hogy a melegebb helyről a hidegebb helyre átfolyó energiának csak egy része alakítható át mechanikai munkává (azaz elektromos árammá) mely folyamatot a következő képlettel lehet leírni:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

ahol:

η a hatásfok, vagyis a körfolyamatban keletkező elméleti mechanikai munka aránya az átfolyó hőenergiához képest, T_1 a melegebb hely abszolút hőmérséklete, T_2 a hidegebb hely abszolút hőmérséklete.

Jelen esetben 158 °C-os, azaz 431 K-es termálvizünk és a ciklus végén 50 °C-os, azaz 323 K hőmérsékletű fluidumunk van. Ezen adatok alapján a hatásfok 0,25-nek adódik. Mivel ez elvi hatásfok, és vannak rendszerveszteségek, továbbá a kezdeti fluidum-hőmérsékletünk az üzemelés alatt csökken, a továbbiakban 0,2 hatásfokkal számolunk. Ezen adatok alapján meghatározható a 35 és 50 év alatt előállítható elektromos áram mennyisége, amiből a jelenlegi 35 Ft/kWh áron számolva, megadható a geotermikus erőmű üzemideje alatt megtermelt elektromos áram értéke, mai áron számolva (*V. táblázat*).

Ha a kapott végösszegeket összevetjük, a mintegy 6 milliárd Ft létesítési költséggel (optimista becslés) és sem üzemeltetési, sem karbantartási költséggel nem kalkulálunk – az üzleti értékelésnél csak a CAPEX értékét vettük figyelembe, az OPEX értékével nem számoltunk – akkor ugyanezt a pénzügyi eredményt kapjuk 6 milliárd Ft 35 évre szóló 3,7%-os kamatra vagy 50 évig szóló 2,9%-os kamatra történő befektetésével. Annak ellenére, hogy mindenhol optimista becslést alkalmaztunk, ez nagyon szerény gazdasági eredmény a geotermikus áramtermelő erőműtől!

A számítási eredményekből következik, hogy egy leha-

tárolt térfogattal leírható mező még egy pár termelő-visszasajtoló kúttal is hamar kimerülhet a termelő és visszasajtoló kút távolságának függvényében, ha nem tud rácsatlakozni egy nagyobb, folyamatos hőszállítást biztosító rendszerre (nagyobb rezervoár, vetőrendszer), mint amilyenek neotektonikai mozgásokkal fel-fel nyíló mélységi vetőrendszerek vagy az ezekkel kapcsolatos vulkanikus övezetek. Nem véletlen, hogy az ismert áramtermelő geotermikus hőhasznosítások vulkanikus területeken, illetve lemezszegélyek mentén találhatók.

Ennek szemléltetésére további futtatást végeztünk. A legkedvezőbb hidrodinamikai eset (sc1 – 5000 m³/nap, 50 év termelés – 50 év regenerálódás) mintáján demonstráljuk a megnövelt (négyeszeres) térrész és a csökkentett izoláció pozitív hatását. Változatlan rétegvastagság mellett a rezervoár felületi oldalait a kétszeresére, a két kút távolságát pedig $\sqrt[3]{4}$ -szeresére növeltük. Összehasonlítva a megnövelt rezervoár termelőkútjának hőmérsékleti diagramját a korábban vizsgált kisebb és izolált típusúval (*12. ábra*), jól szemrevételezhető a lényegesen kedvezőbb hőmérsékleti kondíció (és méginkább ennek időbeli lefutása).

A magyarországi alaphegységi kőzetekből való geotermikus hőtermeléssel kapcsolatos beruházások nagy gazdasági kockázatot hordoznak, ha nincs közvetett ismeretünk egy természetes permeabilitással rendelkező repedésrendszerről, melyre a tervezett rendszer rácsatlakozhat. Esetünkben egy természetes repedésrendszerrel rendelkező, hidrotermális (a hőtermeléshez elegendő fluidummal rendelkező) rendszert modelleztünk, mely eléggé izolált. Ha az ilyen izolált zsebeket mesterségesen össze lehet kötni (pl. mechanikai stimulációval), vagy az aljzat felületéhez közel, a báziskonglomerátummal, esetleg jól vezető karbonátos képződménnyel hidraulikai kapcsolatba hozni, akkor a kivethető hőmennyiségre a számítottnál lényegesen jobb értéket kaphatunk, ahogy az előbbi példa is szemlélteti. Ugyanakkor ha a kezdeti hőmérsékleti érték kellően magas, és az itt bemutatott 0,03 km³-nél legalább egy nagyságrenddel nagyobb térfogatot tudunk hatékonyan stimulálni, akkor petrotermális esetben is (jelentős fluidumpótlással üzemelő rendszer) lehet esély fenntartható geotermikus energiahasznosításra (RYBACH 2021).

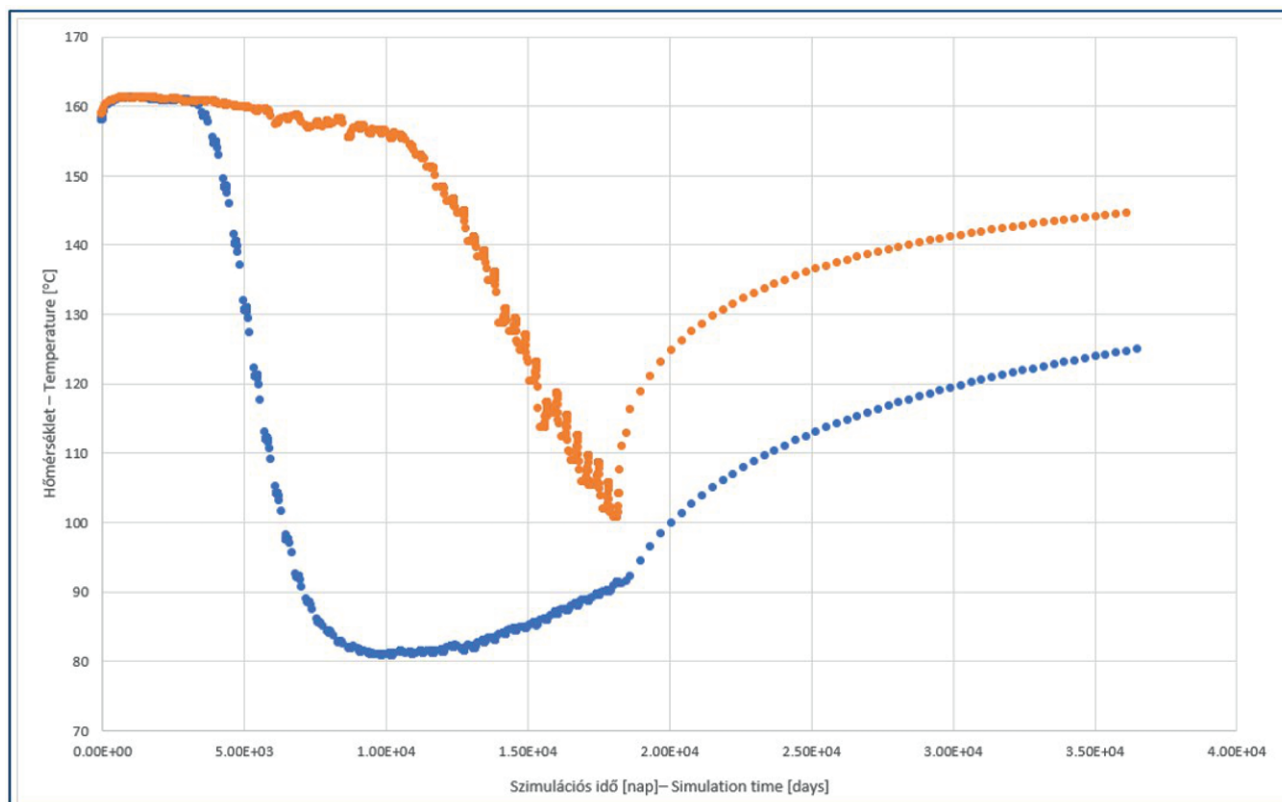
A kérdés megválaszolása komplex, a geológiai adottságokon túl a megtérülést, a társadalmi elfogadottságot (szocioökonómiai tényezők) és a műszaki lehetőségek összességét együtt kell számba venni, azaz a UNFC-2009 osztályozás 3 pillérét!

A UNFC-2009 kód szerint a modellezett projekt nagy kockázatú kísérleti projektnek minősül. Modellünkkel első sorban azt kívántuk bizonyítani, hogy a statikus készletbecs-

V. táblázat. Kivett hőmennyiségből előállítható elektromos áram és annak értéke, ha 1 kWh=35 Ft 35 és 50 évre

Table V. Electricity can be produced from the amount of heat extracted and its value if 1 kWh = 35 HUF for 35 and 50 years

Idő-tartam	Kivett hőmennyiség [GJ]	Előállítható elektromos áram [GJ]	Előállítható elektromos áram [kWh]	Elektromos áram értéke [Ft] (1 kWh=35 Ft)
35 év	1,126E+7	2,252E+6	6,256E+8	21 900 000 000
50 év	1,265E+7	2,53E+6	7,028E+8	24 600 000 000



12. ábra. Az 1. scenárió hőmérséklet - üzemelési idő diagramja (5000 m³/nap 50 év termelés és 50 év leállítás; eredeti [kék] és megnövelt „zseb”[narancssárga] esetében)

Figure 12. Temperature-time diagram in scenario 1 (5000 m³/day for 50 years production and 50 years shutdown; original [blue] and increased “pocket”[orange])

léshez képest a numerikus szimuláción alapuló hőmennyiség-számítás jelentősen segíti, illetve kiegészíti a korai tervezési szakaszt.

Bár a modell eredménye a bemutatott paraméter tartományok esetén nem kecsegtet üzleti haszonnal, továbbra is azt gondoljuk, helye van a Battonya–Pusztaföldvári-háton egy kísérleti geotermikus projektnek, ami verifikálhatja a hidrodinamikai feltételrendszert. Reméljük, tanulmányunk segíti a kristályos aljzat geotermikus hasznosításában rejlő

földtani kockázatok pontosabb meghatározását, az optimális megoldások keresését.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki RYBACH László, HAAS János és LENKEY László lektoroknak, valamint SZTANÓ Orsolya főszerkesztőnek értékes tanácsaikért és segítségükért.

Irodalom – References

- BÁRDOSY Gy., FODOR J., MOLNÁR P. & TUNGLI Gy. 2000: A bizonytalanság értékelése a földtudományokban. – *Földtani Közlöny* **130/2**, 291–323.
- BREEDER, K., DZEBISASHVILI, K., LIU, X. & FALCONE, G. 2013: A systematic review of enhanced (or engineered) geothermal systems: past, present and future. – *Geothermal Energy* **1**, 4. <https://doi.org/10.1186/2195-9706-1-4>
- FANG, J. H. & CHEN, H. C. 1990: Uncertainties are better handled by fuzzy arithmetic. – *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists* **74**, 1228–1233. <https://doi.org/10.1306/0c9b246b-1710-11d7-8645000102c1865d>
- HAAS J., BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L. & KONRÁD Gy. 2010: *Magyarország prekainozoos aljzattérképe, 1:500 000*. – A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
- KUN É., ZILÁHI-SEBESS L. & SZANYI J. 2022: A Battonya–Pusztaföldvári-hát térségének nagy entalpiájú geotermikusenergia-vagyona (I. rész): hidrodinamikai és hőtranszportmodell. – *Földtani Közlöny* **152/1**, 53–76. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2022.152.1.53>
- MÁDLNÉ SZŐNYI J. 2006: *A geotermikus energia – Készletek, kutatás, hasznosítás*. – Grafon Kiadó, Nagykövácsi, pp. 144
- MUFFLER, L. J. P. & CATALDI, R. 1978: Methods for Regional Assessment of Geothermal Resources. – *Geothermics* **7**, 53–89. [https://doi.org/10.1016/0375-6505\(78\)90002-0](https://doi.org/10.1016/0375-6505(78)90002-0)

- NÁDOR A. 2016: A geotermikus energiavagyon nemzetközi osztályozási és jelentési rendszerei, harmonizációs lehetőségek és a hazai adaptáció első lépései. – *Földtani Közlöny* **146/2**, 123–134.
- NÁDOR, A. & ZILÁHI-SEBESS, L. 2016: Entering geothermal energy into the UNFC-2009 classification system: case studies of direct-use projects from Hungary. – *European Geothermal Congress, Strasbourg, France, 19–24 Sept. 2016 (extended abstract)*. 8 p.
- NÁDOR, A., ZILÁHI-SEBESS, L., ROTÁR-SZALKAI, Á., GULYÁS, Á. & MARKOVIĆ, T. 2019: New methods of geothermal potential assessment in the Pannonian basin. – *Geologie en Mijnbouw* **98**, <https://doi.org/10.1017/njg.2019.7>
- REN21 2019: Renewables 2019 Global Status Report. – Paris: REN21 Secretariat, p. 336. I https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf
- REZESSY G., SZANYI J. & HÁMOR T. 2005: Jelentés a geotermikus energiavagyon állami nyilvántartásának előkészítéséről. – *Kézirat*, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, 85 p.
- RYBACH, L. 2021: Geothermal Sustainability or Heat Mining? – *International Journal of Terrestrial Heat Flow and Applied Geothermics* **4/1**, 15–25. <https://doi.org/10.31214/ijthfa.v4i1.61>
- SZANYI J. 2019: Geotermikus energia komplex hasznosítása – *Habilitációs dolgozat*, SZTE, Szeged, 20 p.
- TÓTH, J. & ALMÁSI, I. 2001: Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. – *Geofluids* **1/1**, 11–36.
- T. KOVÁCS G. 1965: A battonyai terület mélyföldtani felépítése. – *Földtani Közlöny* **95/2**, 183–189. http://epa.oszk.hu/01600/01635/00174/pdf/EPA01635_foldtani_kozlony_1965_095_2_183-189.pdf
- UNECE 2016a: <https://unece.org/2016-23>; Discussing the application of Resource Classification to renewable energy sources: <https://unece.org/sustainable-energy/news/discussing-application-resource-classification-renewable-energy-sources>
- UNECE 2016b: Draft document prepared by the Geothermal Working Group: https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC2009_publcom.geoth.2016/Geothermal.Specs_for.public.comment.pdf
- VON NEUMANN, J. 1951: Various Techniques Used in Connection with Random Digits. National Bureau of Standards symposium. – *NBS, Applied Mathematics Series* **12**, 36–38,
- ZADEH, L. 1965: Fuzzy sets. – *Information and Control* **8**, 338–353.
- ZILÁHI-SEBESS L. 2016: Geotermikus potenciálbecslés Monte-Carlo módszerrel. – *A Magyarhoni Földtani Társulat Földtudományi Vándorgyűlése és kiállítása, Természeti erőforrásaink az Észak-magyarországi térségben 2016. augusztus 24–27., absztrakt*, 102–103.
- ZILÁHI-SEBESS L., FANCSIK T., TÖRÖK I. & KOVÁCS A. Cs. 2007: Szivárgási tényező becslés lehetőségei geofizikai mérések alapján. – *Magyar Geofizika* **48/3**, 99–111.
- Kézirat beérkezett: 2021. 04. 23.

Hírek, ismertetések

Összeállította: CSERNY Tibor

Események, rendezvények

Beszámoló a 11. Nemzetközi Jura Kongresszusról

2022. augusztus 22. – szeptember 2.

A négyévente megrendezett eseményt – a Kínában, majd Indiában és Mexikóban megtartott konferenciák után –, 16 év elteltével tartották ismét Európában, Budapesten. A rendezvényre 31 országból 110 jurakutató érkezett. A kongresszus helyszíne – a Duna parton álló Danubius Hotel Helia – ideális körülményeket biztosított a program lebonyolításához. A megnyitó és a plenáris előadások a nagyteremben, a konferencia két szekciója pedig két egymáshoz közeli kényelmes, kisebb teremben zajlott.

A rendezvény szakmai tartalmáért PÁLFY József és FŐZY István elnökök feleltek. Munkájukat egy külföldi kollégákból álló testület (International Scientific Committee) és egy magyar szakemberekből álló bizottság (Local Organizing Committee) segítette. A szervezés technikai részét a Diamond Congress konferenciaszervező iroda felkészült csapata bonyolította.

A vasárnap délutáni regisztrációt és fogadást követően másnap reggel, augusztus 28-án a köszöntőkkel és a plenáris előadásokkal vette kezdetét a program. A megjelenteket TÚRI László, az ELTE tudományos dékánhelyettese, majd M. TÓTH Tivadar, a Magyarhoni Földtani Társulat elnöke, végül Angela COE, a Nemzetközi Jura Szubkomisszió elnöke köszöntötte. Az első plenáris előadást Steve HESSELBO (Exeteri Egyetem, Nagy-Britannia) a JET-projekt eddigi eredményeiről, a kontinentális kutatófúrási program (ICDP) révén a kora jura időskálájának és történéseinek új ismereteiről tartotta. Ezután Matias REOLID (Jaén, Spanyolország) beszélt a toarci eseménnyel összefüggő globális környezeti változásokról. A plenáris előadások második felében a magyar

rendezésű esemény helyi vonatkozásai kerültek a figyelem középpontjába. GALÁCZ András VÖRÖS Attila társszerzőségével a hazai jurakutatás történetét és eredményeit ismertette. Az utolsó, HAAS János és FODOR László által jegyzett plenáris előadás a Pannon-régió mezozoikumának rétegtanát, medencefejlődését és geotektonikai vonatkozásait mutatta be.

A szekciókba szervezett – vitával együtt 20 perces –, szakmai előadások a jura időszak számos aspektusát tárgyalták. A legtöbb előadás – a közel száz előadás mintegy egynegyede – a kora jura toarci eseménnyel volt kapcsolatos. A korábbi hasonló rendezvények előadásaihoz képest erősen csökkent a hagyományos őslénytani és biosztratigráfiai témájú előadások száma, és túlsúlyra jutottak a jura földtörténeti eseményeivel és környezetváltozásaival foglalkozó, geokémiai és modern sztratigráfiai módszereket alkalmazó kutatások. Ezek bemutatásában a hazai új generáció is kivette a részét, magyarországi és külföldi kutatóhelyeken dolgozó egyetemi hallgatók, doktoranduszok és fiatal szakemberek. A jura ammonitesz és biosztratigráfiai szekció „Barnabás GÉCZY Memorial Session” néven futott, ily módon is megidézve a hazai jurakutatás kiemelkedő professzorát, akit egy hónappal a kongresszus kezdete előtt veszítettünk el.

Az előadások és szekciók közötti eligazodást a programot és az előadáskivonatokat ismertető nyomtatott füzet, valamint kiváló telefonos applikáció segítette. Utóbbi a résztvevők közötti kommunikációra is használható volt.

A kongresszus második napjának délutánján az ELTE Ásványtani Tanszékének gyűjteményét és az ELTE Természettudományi Múzeumának anyagát tekintették meg a résztvevők. A múzeumlátogatást követően az érdeklődők egy nyilvános panelbeszélgetésen is részt vehettek, ahol választ kaphattak mindenre, „amit tudni szerettek volna a jura időszakról, de soha nem mertek megkérdezni”.

A rendezvény harmadik napján az ELTE gondozásában álló, tatai Geológus Kert megtekintése, majd ezt követően a vértess-



A 11. Nemzetközi Jura Konferencia résztvevői

szőlősi régészeti bemutatóhely látogatása volt a program. Tatán a Kert igazgatója, SZENTE István köszöntötte a résztvevőket, majd négy csoportra osztva a jelenlévők bejárták a rég felhagyott kőbányában kialakított tanösvényt. Vértesszőlősen a Nemzeti Múzeum régészének, MARKÓ Andrásnak szakavatott vezetésével történt a terepbejárás.

A kongresszus negyedik napjának utolsó programpontja egy frissen megjelent, a bakonyi jura–kréta rétegsorokat és azok faunáját dokumentáló könyv nyilvános bemutatója volt. Ezt követően a résztvevők egy dunai sétahajózással egybekötött konferenciavacsorán vettek részt. A rendezvény záróeseménye szeptember 2-án, péntek délután volt. A konferencia résztvevőinek egy csoportja meglátogatta a Földtani Intézet Stefánia úti palotáját, és megtekintette az ott található gyűjteményt.

A kongresszushoz kapcsolódó terepbejárások egyike az egy héttel korábban Varsóban rendezett kréta konferenciáról érkező, a jura–kréta határ iránt érdeklődő résztvevőkkel a bakonyi határszelvényeket ismertette meg. Emellett a rendezvény előtt egynapos gercesei, és egy konferencia utáni, szintén egynapos, Csővárra vezetett kirándulás színesítette a programot.

A kongresszus fő támogatója az Eötvös Loránd Tudományegyetem volt. A rendezvény alatt és után érkezett visszajelzések tükrében úgy tűnik, hogy a kollégák hasznosnak találták az összejövetelt, és jól érezték magukat a pandémia után ismét személyes formában megtartott kongresszuson, valamint a hozzá kapcsolódó rendezvényeken.

FŐZY István, PÁLFY József

Személyi hírek

Gyászír

Fájdalommal tudatjuk, hogy

Prof. Dr. GÉCZY Barnabás (1925–2022) tagtársunk 2022. július 29-én,

NÉMETH András tagtársunk szeptember 12-én tragikus hirtelenséggel elhunyt.

Emlékük szívünkben és munkáinkban tovább él!

Könyvismertetés

FŐZY, I. (ed.): Fauna, biostratigraphy, facies and paleotectonic evolution of the Late Jurassic–Early Cretaceous formations in the Bakony Mountains (Transdanubian Range, Hungary)

A kötetben hét ország huszonkét szerzője mutatja be a Bakony kövületgazdag felső jura – alsó kréta képződményeit. Az első részben 18 szelvény alapján ismertetik a terület földtanát és rétegtanát, a második részben a főbb kövületcsoportok (radioláriák, calpionellidák, ostracodák, korallak, kagylók, csigák, ammoniteszek, belemniteszek, brachiopodák, krinoideák, halak) leírása található.

A szerzők célja az volt, hogy átfogó képet adjanak az elődeik által az elmúlt 150 évben felhalmozott, hatalmas mennyiségű foszszilis anyagról, amely nagyrészt feldolgozatlanul hevert a múzeumokban és a gyűjteményekben. A makro- és mikrofauna, valamint a nanofossziliák tanulmányozása megbízható alapot jelentett a szelvények nagy felbontású biosztratigráfiai tagolásához. A biosztratigráfiai adatokat magnetosztratigráfiai és geokémiai vizsgálatok valamint feltárás léptékű szerkezetföldtani megfigyelések egészítik ki. Az eredmények lehetővé tették a Dunántúli-középhegység délkeleti része mezozoos fejlődésének jobb megértését, a késő jura – kora kréta paleokörnyezet átfogó rekonstrukciójának megalkotását és a régió medencefejlődésének modellezését.

Mivel a kréta elejéről még hiányzik az „aranszög”, azaz a hivatalos Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP), az eredmények hozzájárulnak a globális geokronológiai táblázat utolsó hiányzó rendszerhatárának definiálásához.

A könyv a Geolitera Kiadó (www.geolitera.hu) munkáját dícséri, szép kiállítású, angol nyelvű, 475 színes oldal terjedelmű, kemény kötésű.

Kapható és megrendelhető a Pedagógus Könyvesboltban: 1088 Budapest, Vas u. 19. www.flaccus.hu

Forrás: <http://geosci.u-szeged.hu/kiadvanyok/kiadvanyok-bovebben/fauna-biostratigraphy>

Tartalom — Contents

BÉRCZI István, MINDSZENTY Andrea: In memoriam Dr. DANK Viktor	195
PAPP, Richard Z., TOPA, Boglárka A., ZAJZON, Norbert: Study on andorite-series minerals from the Meleg Hill, Velence Mts., Hungary. – <i>Az andoritsor ásványainak vizsgálata a velencei-hegységi Meleg-hegy területéről.</i>	201
KAPUI Zsuzsanna, MIKLÓS Dóra Georgina, KERESZTURI Ákos, SZABÓ Beáta, WASSER Paula, JÓZSA Sándor: Miről árulkodnak a szállított ásványszemcsék mikromorfológiai bélyegei? – <i>What do the micromorphological features of transported mineral grains tell us?</i>	213
VÖRÖS, Attila, BUDAI, Tamás, MAKÁDI, László, BERCSÉNYI, Miklós, FÖLDVÁRI, Gabriella, PINTÉR, Zsolt, SZABÓ, Márton: Rediscovery of a classic Middle Triassic fossil site of the Balaton Highland (Transdanubian Range, Hungary): cephalopods, brachiopods and vertebrate remains from the Akol Hill at Barnag. – <i>A Balaton-felvidék egyik klasszikus középső triász ősmaradvány-lelőhelyének újvizsgálata: a barnagi Akol-domb cephalopoda-, brachiopoda- és gerinces faunája.</i>	233
KONCZ István: A Magyarországon 1935–1985 közötti időszakban felfedezett kőolaj- és földgáz-előfordulások, valamint ezek sajátosságai. – <i>Oil and gas occurrences discovered in Hungary in period 1935 to 1985, and their features.</i>	259
KUN Éva, ZILÁHI-SEBESS László, SZANYI János: A Battonya–Pusztaföldvári-hát térségének nagy entalpiájú geotermikus energia vagyona (II. rész): kútpárral történő hasznosítás UNFC-2009 kód szerinti osztályozása. – <i>The high enthalpy geothermal energy resource of the Battonya–Pusztaföldvár High (Part II): UNFC-2009 code classification in case of well-doublet utilization.</i>	279
Hírek, ismertetések (összeállította: CSERNY Tibor)	297

