

Földtani Közlöny



156/1

A Magyarhoni Földtani Társulat folyóirata
Bulletin of the Hungarian Geological Society



Budapest, 2026

Felelős kiadó

M. TÓTH Tivadar, az MFT elnöke

Főszerkesztő

SZTANÓ Orsolya

Műszaki szerkesztők

BABINSZKI Edit

KOVÁCS Zoltán

BARTHA István Róbert

Nyelvi lektor

LUKOCZKI Georgina

Szerkesztőbizottság

FODOR László, FÖZY István, LUKÁCS

Réka, PÓSFAL Mihály, SZANYI János,

TÖRÖK Ákos

TámogatókMagyar Tudományos Akadémia,
ANZO Perlit Kft., Biocentrum Kft.,
Colas Északkő Kft., Geo-Log Kft.,
Geoproduct Kft., Geoteam Lambda
Kft., Mecsekérc Zrt., Mineralholding
Kft., OMYA Hungária Kft., O&G
Development Kft., Perlit-92 Kft.,
Terrapecta Kft.**A kéziratokat az alábbi felületen kérjük
benyújtani**

www.foldtanikozlony.hu

* * *

Responsible publisher

Tivadar M. TÓTH,

President of the Hungarian Geological
Society**Editor-in-chief**

Orsolya SZTANÓ

Technical editors

Edit BABINSZKI

Zoltán KOVÁCS

István Róbert BARTHA

Language editor

Georgina LUKOCZKI

Editorial board

László FODOR, István FÖZY, Réka

LUKÁCS, Mihály PÓSFAL, János SZANYI,

Ákos TÖRÖK

SponsorsHungarian Academy of Sciences,
ANZO Perlit Kft., Biocentrum Kft.,
Colas Északkő Kft., Geo-Log Kft.,
Geoproduct Kft., Geoteam Lambda
Kft., Mecsekérc Zrt., Mineralholding
Kft., OMYA Hungária Kft., O&G
Development Kft., Perlit-92 Kft.,
Terrapecta Kft.**Submission of manuscripts through**

www.foldtanikozlony.hu

Földtani Közlöny is abstracted and indexed in

Crossref.org**Scopus****GeoRef** (Washington),**Pascal Folio** (Orleans),**Zentralblatt für Paläontologie**

(Stuttgart),

Referativny Zhurnal (Moscow) and**EPA, MTA REAL** (Budapest)**Tartalom — Contents**

HARTAI Éva, FÖLDESSY János, MÁDAI Ferenc: In memoriam Prof. Dr. NÉMEDI VARGA Zoltán.	3
M. TÓTH Tivadar: Elnöki megnyitó	11
ZAJZON Norbert: Főitkári és közhasznúsági jelentés a 2025. évről	13
GYOLLAI Ildikó, RÁ CZ Richárd, BIRI Sándor, JUHÁ SZ Zoltán, KERESZTURI Ákos, KIRÁLY Csilla, REZES Dániel, SULIK Béla, SZABÓ Máté, SZALAI Zoltán, SZÁVAI Péter: Koszmi- kus mállás szimulációs vizsgálata besugárzott meteoritok alapján. – <i>Simulation of space weathering by the analysis of irradiated meteorites.</i>	25
RUSZKICZAY-RÜDIGER Zsófia: Helyben keletkező kozmogén izotópos geokronológia, a felszínfejlődés számszerűsítésének sokoldalú eszköze, 1. rész: Elméleti alapok. – <i>Geochronology using in situ produced cosmogenic nuclides, a versatile toolkit for the quantification of landscape evolution, Part 1: Theoretical basis.</i>	37
RUSZKICZAY-RÜDIGER Zsófia: Helyben keletkező kozmogén izotópos geokronológia, a felszínfejlődés számszerűsítésének sokoldalú eszköze, 2. rész: A módszer alkalmazási területei. – <i>Geochronology using in situ produced cosmogenic nuclides, a versatile toolkit for the quantification of landscape evolution. Part 2: Applications.</i>	49
KONCZ István: Gondolatok a kőolaj gázzá alakulásáról. – <i>Thoughts on the oil to gas con- version.</i>	71
Társulati ügyek 2025 (összeállította: KRIVÁNNÉ HORVÁTH Ágnes)	77
Hírek, ismertetések (összeállította: PIROS Olga)	95

Első borító: A Kállai Formáció egy kvarccementált lencséjének szelvénye által kipreparált felszíne a Kőmagason (Balaton-felvidék). A kozmogén ¹⁰Be izotópos kitérségi kora alapján 800–900 ezer éve került a felszínre (RUSZKICZAY-RÜDIGER Zsófia felvétele).

Hátsó borító: A Retyezát-hegység Bucura völgye (RUSZKICZAY-RÜDIGER Zsófia felvétele).

Budapest, 2026

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 (szano.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. Vitáirat a vitatott cikk megjelenésétől számított hat hónapon belül küldhető be. A vitatott cikk szerzője lehetőséget kap arra, hogy válasza a vitázó cikkel együtt jelenjen meg. A gyakorlati rovatba a földtani kutatással – bányászattal kapcsolatos kéziratok kerülnek, melyek eredménye nem elsősorban tudományos értékű, hanem a szakközösség tájékoztatását, szolgálja. **A tömör fogalmazás, az állításokat alátámasztó adatszolgáltatás, a szabatos szaknyelv használata és a nem specialista olvasók érdekében a közérthetőség mindegyik műfajban alapkövetelmény.**

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

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

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

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

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

f) *Anyag és módszerek* A vizsgált anyag, esetleg korábról 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 ismétlése nélkül.

j) Köszönetnyilvánítás

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

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

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

FORMAI KÖVETELMÉNYEK

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

A **szöveg** doc, docx vagy rtf formátumban készüljön. Az alcímeknél ne alkalmazzanak automatikus számozást vagy ábécés jelölést, csak a tipográfiával jelezzék a címrendet. A hivatkozásokban, irodalomjegyzékben a SZERZŐK nevét kis kapitálissal, ősmaradványok faj- és 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 kírását. 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 vezetőknél 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 közzetani és geokémiai vizsgálatának eredményei. — PhD értekezés, ELTE Közéttan–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 (170x240 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 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 színprofittal 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 használjanak.

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

A közlésre elfogadott kéziratok szövegét, ábráit, táblázatait egyesével kérjük a szerkesztőségi felület megfelelő menüpontját használva feltölteni. Tördelést követően a szerzők feladata a korrekktúrálás. Különlényomatokat még külön költségért sem tudunk biztosítani.

In memoriam

PROF. DR. NÉMEDI VARGA Zoltán



1930–2025

Prof. dr. NÉMEDI VARGA Zoltán vasokleveles geológus mérnök, a földtudományok doktora, állami-díjas, a Magyarhoni Földtani Társulat tiszteleti tagja, professor emeritus, 2025. október 26-án, 94 éves korában Miskolcon elhunyt.

1930. november 11-én született Gátéron, Csongrád megyében. A csongrádi gimnáziumban megkezdett, majd a háború miatt megszakadt tanulmányait 1947-től folytatta, és 1952-ben érettségizett. Nyaranként cséplőgépellenőrként, kubikusként dolgozott, így találkozott először Komlón a bányászattal. Gimnáziumi élményei hatására jelentkezett a Nehézipari Műszaki Egyetemre. Miskolc és Sopron között ingázva, az 1956-ban sok külföldre távozó hallgatót vesztő évfolyam itthon maradt tagjaként 12 társával együtt 1957-ben Sopronban szerzett geológus-mérnöki oklevelet.

1958-ban kötött házasságot gimnáziumi osztálytársával, SÖRÖS Erzsébettel, aki akkor szerezte meg gyógyszerészi diplomáját. A kapcsolat boldognak és tartósnak bizonyult, feleségével 2025-ig éltek együtt, ő 91 évesen halt meg, alig pár héttel NÉMEDI VARGA Zoltán halála előtt.

1957–1976 között Komlón a Komlói Mélyfúró Vállalatnál kezdte munkáját. Az első években részt vett a Hosz-

szühetény-terület kutatásában, majd a Zobák-akna telepítését megelőző fúrásos kutatás telepítésében, értelmezésében. Ezt követően az 1965-ben megalakuló Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalatnál, ezek különböző megnevezésű földtani-kutatási egységeinél dolgozott a terepi geológustól a főgeológusig és laboratóriumvezetőig terjedő munkakörökben a mecseki szénmedencék földtani kutatásán. 1966 és 1971 között az OFKFV számos egyéb kutatási területein, többek között a tatabányai eocén barnaszénmedencében, Nagygyházán folyó kutatások dokumentációiban is jelentős részt vállalt az irányítása alatt álló csoport. Komoly szerepük volt a Pécs környéki külfejtéses fekete-szén-előfordulások megismerésében, előzetes tervezésében.

Az 1970-es évtized elején újrainduló kutatási programban a kelet-mecseki jura kőszenes összlet terepi, mélyfúrásos kutatásában vett részt, majd e munkálatok tervezője, irányítója lett. Az ő részvételéhez is fűződik a mélyfúrásos kutatások modernizálása, a karottázsmérések rendszeres alkalmazásának bevezetése, illetve a folyamatos magfúrásos technológia alkalmazásának kezdete, majd tökéletesítése a

szénkutatókban. Tudományos tevékenységének fő pályáját a szénmedence rendkívül összetett szerkezetének vizsgálata és értelmezése jelentette.

Az irányításával kidolgozott földtani modell képezte az alapját 1975-ben a Kelet-Mecsek, Máza és Váralja kutatási területének felderítő és előzetes fázisú munkáinak. A program keretében 48 db nagymélységű kutatófúrás mélyült, így jelentős része van abban, hogy ezen a területen 1985-ig mintegy 930 millió tonna feketeköszén földtani vagyont derítettek fel.

Tudományos érdeklődése a szerteágazó ipari feladatok mellett sem csökkent, és minden szakaszban a tudományos igényű értékelő munkában is jelentős előrelépéseket ért el. 1964-ben Miskolcon egyetemi doktori címet szerzett a hosszúhetényi előfordulás ösföldrajzi, üledékföldtani és szerkezetföldtani értelmezésével. 1971-ben nyújtotta be a kutatási eredményeit összefoglaló tanulmányát a TMB-nek, és 1974-ben megszerezte a földtudományok kandidátusa fokozatot. Kandidátusi dolgozatának címe: A Mecsek hegységi feketeköszén-terület földtani és hegység szerkezeti vizsgálata.

1976. szeptember 1. sorsfordító dátum volt NÉMEDI VARGA Zoltán életében. Ekkor kezdett dolgozni a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Földtan–Teleptani Tanszékén – abban az intézményben, amelyhez aztán csaknem fél évszázadon át kötötte pályája második, legalább olyan jelentős szakasza, mint az ipari kutatásokkal fémjelzett első. A Komlón és az OFKFFV-nél eltöltött közel két évtized rendkívüli szakmai tapasztalatát, a valós terepi, mélyfúrásos, kőszénföldtani és teleptani kutatások során szerzett gyakorlati tudást vitte magával Miskolcra, és oktatóként, kutatóként, vezetőként, majd professor emeritusként is ennek a tudásnak a továbbadását tekintette legfontosabb feladatának. Az egyetemi hallgatók és fiatal oktatók érdeklődéssel követték azt a közvetlen és világos gondolkodásmódot, a terepi tapasztalatokból építkező oktatót, aki előadásaiban gyakran a komlói vagy a kelet-mecseki kutatások élményeivel, dilemmáival és mérési eredményeivel szemléltette az elméleti ismereteket. Hallgatói és kollégái későbbi visszaemlékezései szerint tanári habitusának egyik erőssége az volt, hogy soha nem „tankönyvből” akart tanítani: az oktatás számára élő, gyakorlatias, problémákból kiinduló folyamat volt. A szénkutatók során bevezetett karottázs- és magfúrás módszerek fejlődéstörténetét éppúgy beépítette az óráiba, mint a geológiai modellezés korai törekvéseit. Ezzel egy olyan szemléletet adott tovább, amely akkoriban a magyar felsőoktatásban még ritkaságnak számított.

Az egyetemen töltött idő első évtizede alatt hamar világhosszá vált, hogy NÉMEDI VARGA Zoltán nem csupán kiváló oktató és termékeny kutató, hanem szervezőtevékenysége is kiemelkedő. Ennek elismeréseként 1978 és 1981 között a Földtan–Teleptani Tanszék vezetője lett. A tanszékvezetői időszak a kutatási irányok újragondolásáról, a terepgyakorlatok bővítéséről, valamint a laboratóriumi felszerelések korszerűsítéséről szólt. A tanszéki munka részeként 1985-től intézetigazgató-helyettesként, majd tanszék-

vezető-helyettesként segítette az oktatási és kutatási feladatok összehangolását. E szerepekben gyakran vállalta fel a közvetítő szerepet az egyetem vezetése, az ipari partnerek és a tanszékek között. Többször hivatkozott arra, milyen fontosnak tartja, hogy a földtudományi oktatás ne szakadjon el a gyakorlattól: „A geológia a terepen születik, és az egyetemi hallgatónak is át kell esnie ezen a születésen” – emlékeztek vissza gyakran mondott gondolatára.

NÉMEDI VARGA Zoltán kutatói pályája a miskolci évek alatt teljedett ki igazán. Még az ipari időszak eredményeire támaszkodva, de már egyetemi környezetben mélyítette el a mecseki kőszénmedence szerkezetföldtanára, ösföldrajzra és üledékföldtani értékelésére irányuló kutatásait. Tudományos érdeklődése ekkor sem szűkült: nagy szakmai tisztelettel követték munkáit a rétegtan, teleptan, szerkezetföldtan hazai művelői, és több fiatal kutató is csatlakozott kutatásaihoz.

1988-ban megszerezte az MTA által odaítélt földtudományok doktora tudományos fokozatot. Ez az elismerés a szakmai életmű érett szakaszának megkoronázása volt. Az egyetemi tanári címet 1989-ben kapta meg, és ezzel végleg a magyar földtani oktatás egyik meghatározó alakjává vált. Évtizedeken át tanította többek között a Bányaföldtan, Magyarország földtana, Kőszénföldtan és Általános és szerkezeti földtan tárgyakat.

Kurzusait mindig gondosan felépített, nagy ívű szerkezet jellemezte, nem véletlen, hogy az 1980–1990-es évek hallgatói generációi szinte kivétel nélkül emlékeznek az órák sajátos hangulatára. A precízen összeállított tematikát gyakran terepi fényképekkel, kézzel rajzolt szelvényekkel, térképekkel illusztrálta, és mindig energiát fektetett abba, hogy a hallgató ne csak megtanulja, hanem megértse és alkalmazni is tudja a földtani gondolkodásmódot.

Tankönyvei közül kiemelkedik az *Általános és szerkezeti földtan* jegyzet és tankönyv (1985, 1990, 1991), valamint a későbbi, ipari tapasztalatait összegző *Kőszénföldtan* című műve (2010). Ezek évtizedeken át szolgálták a magyar geológus- és bányamérnökképzést.

A Miskolci Egyetem doktori képzésének kialakításában és működtetésében NÉMEDI VARGA professzor kulcsszerepet vállalt. Az Alkalmazott földtani és geofizikai kutatások című kari doktori program vezetőjeként (1993–2000) több tucat fiatal kutatót támogatott témavezetőként, konzulensként vagy bizottsági tagként. Munkáját mindig a nagyvonalúság, alaposág és segítőkészség jellemezte.

A doktori képzésben betöltött szerepe túlmutatott saját témavezetésein: hosszú éveken át volt a Kari Doktori Tanács elnöke, majd tagja az Egyetemi Doktori Tanácsnak és a Műszaki Természettudományi Habilitációs Bizottságnak. Opponensként is számos tudományos minősítési eljárásban működött közre, nem csupán földtudományi, hanem rokon területeken is.

Szakmai tekintélyére jellemző, hogy 1986 és 2002 között tagja volt a MTA Földtani Tudományos Bizottságának. Miskolcon részt vett az MTA MAB életében is, ahol szakbizottságot vezetett.

A Magyarhoni Földtani Társulatnak 1956-os belépésétől kezdve folyamatosan tagja volt, és aktív szerepet vállalt mint választmányi tag vagy társelnök, végül 1999-től tiszteleti tag lett. 1966 és 1976 között az MFT Dél-dunántúli Területi Szakosztály, illetve a Mecseki Csoport vezetőségi tagja volt. 1976-tól a társulaton belül az Észak-magyarországi Területi Szakosztály munkájában vett részt vezetőségi tagként, majd 1986–1989 között elnökként.

A szakmai közéletben betöltött szerepe mögött mindig az a meggyőződés állt, hogy a földtudomány nem lehet belterjes: szüksége van ipari kapcsolatokra, nemzetközi együttműködésre és társadalmi beágyazottságra. Gondolkodásában a földtani tudás társadalmi hasznossága mindig központi helyet foglalt el.

Szakmai és oktatói munkássága során több mint húsz rangos kitüntetésben részesült. Ezek közül kiemelkedik:

Állami Díj (1985) – a mecseki kőszénkutatásban végzett tudományos eredményeiért,

Szent-Györgyi Albert-díj (1999) – kiemelkedő oktatói és kutatói tevékenységéért,

A Miskolci Egyetem Professor Emeritusa cím (2001),

A Miskolci Egyetem díszdoktori kitüntetése (2011).

Ezek a kitüntetések nemcsak életművét, hanem azt az

emberi és szakmai példát is elismerték, amit generációk követték.

Nyugdíjba vonulása után sem hagyta el az egyetemi és szakmai közösséget. Megbecsült vendég volt konferenciákon, a tanszéki eseményeken, és továbbra is szívesen konzultált fiatal kollégákkal. Otthoni könyvtárában élete végéig dolgozott kéziratokon és szakmai feljegyzéseken.

Magánéletében is sokszínű személyiség volt: valódi polihisztor, akit érdekeltek a gyógy- és fűszernövények, aki negyven éven át gondozta Miskolc-tapolcai kertjét, és aki fia mellett jelentős dugóhúzó- és szikvizes szifonygyűjteményt hozott létre – ezek máig láthatók kiállításokon.

NÉMEDI VARGA Zoltán munkássága kitörölhetetlen nyomot hagyott a magyar földtudományban, ahol kutatásai a mecseki szénmedencék jobb megértéséhez járultak hozzá. Szintén kiemelkedő jelentőségű a Miskolci Egyetemen végzett tevékenysége, ahol tanszékvezetőként, témavezetőként és tanárként számos generáció nevelésében játszott kulcsszerepet. Szerénységével, szakmai igényességével és emberségével példát mutatott a szakmai közösségben. Öröksége azokban él tovább, akiket tanított, vezetett és inspirált.

HARTAI Éva, FÖLDESSY János, MÁDAI Ferenc

Prof. dr. NÉMEDI VARGA Zoltán publikációinak jegyzéke

1963

NÉMEDI VARGA Z. 1963: Hegységszerkezeti vizsgálatok a kövestetői fonolitterületen. – *Földtani Közlemények* **93/1**, 37–53.

KOVÁCS E. & NÉMEDI VARGA Z. 1963: Javaslatok a mecsek-hegységi feketekőszén-kutatás módszerének kialakításához. – *Földtani Kutatás* **6/2**, 28–46.

1967

NÉMEDI VARGA Z. 1967: A hosszúhetényi feketekőszénterület földtani és hegységszerkezeti viszonyai. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei* **15**, 11–34.

NÉMEDI VARGA Z. 1967: A Mecsek-hegységi andezitvulkánosság. – *Földtani Közlemények* **97**, 396–413.

NÉMEDI VARGA Z. 1967: A mecseki feketekőszén szénülése és a hegységszerkezeti mozgások kapcsolata. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1965-ről*, 57–67.

1969

NÉMEDI VARGA Z. 1969: A Mecsek hegységi feketekőszénterület földtani és hegységszerkezeti vizsgálata. – *Kézirat*, Kandidátusi értekezés. Komló, 335 p.

NÉMEDI VARGA Z. 1969: Geofizika. Karotázsvizsgálatok értékelése. In: A Mecsek hegység alsóliász kőszénösszlete. Földtan. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **51/2**, 593–621.

1970

NÉMEDI VARGA, Z. 1970: Die Murgelkohlenbildung im Mecsek-Gebirge im Zusammenhang mit den orogenetischen Bewegungen. – *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **14**, 33–44.

1971

NÉMEDI VARGA Z. 1971: A hosszúhetényi feketekőszénterület szerkezeti viszonyai. In: A Mecsek-hegység alsóliász kőszénösszlete. Teleptan. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **51/3**, 131–134.

NÉMEDI VARGA Z. 1971: A komlósi feketekőszénterület fúrásos kutatása. In: A Mecsek-hegység alsóliász kőszénösszlete. Teleptan. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **51/3**, 135–148

NÉMEDI VARGA Z. 1971: A Szászvár–Máza–Váralja–Nagymányok D-i feketekőszénterület. In: A Mecsek hegység alsóliász kőszénösszlete. Teleptan. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **51/3**, 152–162

NÉMEDI VARGA Z. 1971: Pécsi feketekőszénterület (Pécsszabolcs–Dél). In: A Mecsek-hegység alsóliász kőszénösszlete. Teleptan. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* **51/3**, 103–124.

1972

NÉMEDI VARGA Z. & BÓNA J. 1972: Breccsaréteg a mecseki középsőliász foltosmarga összletben. – *Földtani Közlöny* **102/1**, 29–39.

1974

NÉMEDI VARGA Z. 1974: Földtani anyagvizsgálatok szerepe a komlói alsóliász kőszénösszlet megismerésében. – *Pécsi Műszaki Szemle* **19/1–2**, 18–19.

1976

NÉMEDI VARGA Z. & SZILÁGYI T. 1976: Amfibolandezit-xenogglomerátum a komlói területről. – *Földtani Közlöny* **106/4**, 387–406.

1977

NÉMEDI VARGA Z. 1977: A Kapos-vonal. – *Földtani Közlöny* **107/3–4**, 313–328.

1978

NÉMEDI VARGA Z. & KISHÁZI P. 1978: Dr. Dr. H. C. Vendel Miklós akadémikus professzor emlékére. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **24/1–2**, 9–14.

NÉMEDI VARGA Z. & KISHÁZI P. (összeáll.) 1978: Vendel Miklós akadémikus életrajzának fontosabb adatai. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **24/1–2**, 53–58.

KISHÁZI P. & NÉMEDI VARGA Z. (összeáll.) 1978: Vendel Miklós akadémikus tudományos dolgozatainak jegyzéke megjelenési időrendben. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **24/1–2**, 59–66.

NÉMEDI VARGA Z. & KISHÁZI P. (összeáll.) 1978: Vendel Miklós akadémikus kéziratok jelentései, szakvéleményei, egyetemi jegyzetei és egyéb munkái. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **24/1–2**, 67–69.

1979

NÉMEDI VARGA Z. 1979: A geológusmérnökök gyakorlati képzése. – *Felsőoktatási Szemle* **28/11**, 675–679.

NÉMEDI VARGA Z. 1979: A Nehézipari Műszaki Egyetem jelentősebb tudományos eredményei: Földtan-Teleptani Tanszék. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **27**, 37–43.

NÉMEDI VARGA Z. 1979: Kovács Lajos emlékezete. – *Földtani Közlöny* **109/3–4**, 340–348.

HAJDÚNÉ MOLNÁR K., NÉMEDI VARGA Z. & VEREBÉLYI K. 1979: Bemutatjuk Alma Materünk tanszékeit. A Földtan-Teleptani Tanszék. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **112/8**, 505–513.

NÉMEDI VARGA Z. 1979: Földtan-teleptani Tanszék. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, IV. sorozat, Természettudományok* **24/klnsz.**, 37–44.

1981

NÉMEDI VARGA Z. 1981: Az emlékkiállítás megnyitó beszéd. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **29/1–2**, 7–9.

NÉMEDI VARGA Z. (összeáll.) 1981: Dr. Földvári Aladár életrajzának fontosabb adatai. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **29/1–2**, 65–71.

NÉMEDI VARGA Z. 1981: Kovács Lajos élete és munkássága. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **30/1–2**, 7–23.

NÉMEDI VARGA Z. 1981: Kovács Lajos professzor életrajzának fontosabb adatai. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **30/1–2**, 37–47.

NÉMEDI VARGA Z. (összeáll.) 1981: Dr. Kovács Lajos professzor nyomtatásban megjelent munkái. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **30/1–2**, 49–51. p.

NÉMEDI VARGA Z. (összeáll.) 1981: Dr. Kovács Lajos professzor kéziratok jelentései, szakvéleményei, jegyzetei. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **30/1–2**, 53–55.

1982

NÉMEDI VARGA Z. 1982: A mecseki feketekőszén-telepek gázkitörésveszélyességének földtani alapjai. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **115/9**, 605–611.

1983

NÉMEDI VARGA Z. 1983: „Máza-dél” – „Váralja-Dél”-i feketekőszénterület hegység szerkezeti viszonyai. – *Földtani Kutatás* **26/2–3**, 35–45.

NÉMEDI VARGA Z. 1983: A Mecsek hegységi feketekőszénterületek fűrészes kutatása. – In: *A Bányamérnöki Kar tanszékeinek kutatási eredményei*. – NME és az OMBKE Egyetemi Osztály közös kiadványa, Miskolc, 264–270.

- NÉMEDI VARGA, Z. 1983: Parallelisierungsmöglichkeiten innerhalb der Mecseker Steinkohlenformation. – *Publications of the Technical University for Heavy Industry Miskolc, Ser. A. Mining* **38/1–2**, 75–87.
- NÉMEDI VARGA, Z. 1983: Die synorogene Inkohlung der unterliassischen Steinkohlenflöze im Mecsek-Gebirge. – *Publications of the Technical University for Heavy Industry Miskolc, Ser. A. Mining* **38/1–2**, 89–97.
- NÉMEDI VARGA, Z. 1983: Tektonische-strukturelle Verhältnisse des Steinkohlenebietes im Mecsek-Gebirge. – *Publications of the Technical University for Heavy Industry Miskolc, Ser. A. Mining* **38/1–2**, 99–117.
- NÉMEDI VARGA Z. 1983: A Mecsek hegység szerkezetalakulása az alpi hegységképződési ciklusban. – Structural history of the Mecsek Mountains in the Alpine Orogenic Cycle. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1981-ről*, 467–484.

1984

- NÉMEDI VARGA Z. 1984: A Mecsek hegységi feketekőszénterületek fúrásos kutatásának áttekintése. – In: ZSÁMBOKI L. (szerk.): *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből, II.* – Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 51–82.
- NÉMEDI VARGA Z. 1984: Diagenizálódott lejtőtörmelék és fosszilis talaj a komlói amfibolandezit fekvőjéből. – Diagenized scree and fossil soil from the footwall of the hornblende andesite of Komló. – *A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **32/1–4**, 129–140.

1985

- NÉMEDI VARGA Z. 1985: A kéregszerkezeti mozgások szerepe a mecseki feketekőszéntelepek gázkitörés-veszélyességének kialakulásában. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **118/7**, 443–450.
- NÉMEDI VARGA Z. 1985: *Általános és szerkezeti földtan.* – Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 336 p.
- NÉMEDI VARGA, Z. 1985: Ein neues, bedeutendes Steinkohlenebiet im Mecsek-Gebirge. – *Publications of the Technical University for Heavy Industry Miskolc, Ser. A. Mining* **38/3–4**, 231–244.
- NÉMEDI VARGA, Z. 1985: Ugolnue basszejnii i mesztorozsgényija Vengerszkoj Narodnoj Reszpubliki. – In: *Ugolnue basszejnii i mesztorozsgényija sztran – cslenov SZEZV-SZERV.* – Moszkva, 162–193.

1986

- JENEYNÉ JAMBRIK R. & NÉMEDI VARGA Z. 1986: A duznoki barnakőszénterület földtani és hidrogeológiai viszonyai. – In: *A bányamérnöki kar kutatási eredményei 1983–1986.* – Nehézipari Műszaki Egyetem kiadványa, Miskolc, 351–366.
- NÉMEDI VARGA Z. 1986: A magmás kőzetek szerepe a feketekőszén telepek gázkitörés-veszélyességének kialakulásában. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **119/2**, 83–89.
- NÉMEDI VARGA Z. 1986: Lignitkutatás a Cserehátan, a Takta- és a Bodroglóközben. – In: *A bányamérnöki kar kutatási eredményei 1983–1986.* – Nehézipari Műszaki Egyetem kiadványa, Miskolc, 400–412.
- NÉMEDI VARGA Z. 1986: A Tengelic 1. sz. szerkezet- és vízkutató-, valamint a Tengelic 2. sz. alapfúrás összehasonlító földtani és szerkezeti vizsgálata. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1984*, 103–113.

1987

- JENEYNÉ JAMBRIK R. & NÉMEDI VARGA Z. 1987: A dusnokpusztai barnaszénterület földtani és hidrogeológiai viszonyainak áttekintése. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **120/2**, 84–88.
- NÉMEDI VARGA Z. 1987: A mecseki liász feketekőszénterület szerkezetalakulásának földtani-szerkezeti és bányászati vonatkozásai. – *Kézirat, Akadémiai doktori értekezés.* Miskolc, 168 p.
- NÉMEDI VARGA, Z. 1987: Geologische und tektonische Aspekte der gasausbruchgefährlichkeit der unterliassischen Steinkohlenflöze im Mecsek-Gebirge. – *Publications of the Technical University for Heavy Industry Miskolc, Ser. A. Mining* **43/1–4**, 89–96.
- NÉMEDI VARGA, Z. 1987: Paläogeographische Verhältnisse während der Ablagerung der obertriassischen-unterliassischen Schichtenfolge im Mecsek-Gebirge (SO-Transdanubien). – *Publications of the Technical University for Heavy Industry Miskolc, Ser. A. Mining* **43/1–4**, 61–87.
- NÉMEDI VARGA Z. 1987: Regionális eltérések a mecseki feketekőszéntelepek gázkitörés-veszélyességének kialakulásában. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **120/5**, 216–302.

1988

- NÉMEDI VARGA Z. 1988: A gázkitörés-veszélyesség kialakulásának mélységi vonatkozásai a pécsi területen – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **121/5**, 289–293.
- NÉMEDI VARGA Z. 1988: A mecseki hasznosítható ásványi nyersanyagok megismerésének és kutatásának történeti áttekintése. – In: ZSÁMBOKI L. (szerk.): *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből, III.* – Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 173–201.
- NÉMEDI VARGA Z. 1988: A triász-jura időszakhatár kérdése a Mecsek-hegységben. – *A Miskolci Egyetem Közleményei, I. sorozat, Bányászat* **35/1–4**, 233–243.

1989

- NÉMEDI VARGA Z. 1989: A mecseki szinorogén jellegű szénülés és a gázkitörés-veszélyesség kapcsolata. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1987-ről*, 367–376.

1991

NÉMEDI VARGA Z. 1991: *Általános és szerkezeti földtan*. – Tankönyvkiadó, Budapest, 387 p.

1992

NÉMEDI VARGA Z. 1992: A komlói és a Máza-Dél – Váralja-Dél-i feketeköszén-terület összehasonlító földtani vizsgálata. – In: *A Bányamérnöki Kar tanszékeinek kutatási eredményei*. Miskolci Egyetem, Miskolc, 121–126.

1993

NÉMEDI VARGA Z. & SZAKÁLL S. (szerk.) 1993: *XI. Miskolci Nemzetközi Ásványfeszítvél. „Az Észak-magyarországi földtani kutatások újabb eredményei” című tudományos előadóülés előadásai*. – Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 115 p.

1994

NÉMEDI VARGA, Z. 1994: Beurteilung der zu erwartenden Gasausbruchgefährdung im Steinkohlengebiet Hosszúhetény. – *Publications of the Technical University for Heavy Industry Miskolc, Ser. A. Mining* **41/1–4**, 143–154.

1995

NÉMEDI VARGA Z. 1995: A mecseki kőszénkutatás eredményessége. – *A Miskolci Egyetem Közleményei, A sorozat, Bányászat* **50**, 283–292.

NÉMEDI VARGA Z. (szerk.) 1995: A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. – In: *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* – Miskolci Egyetem, Miskolc, 1–472 p.

NÉMEDI VARGA Z. 1995: A hosszúhetényi feketeköszén-terület. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 99–126.

NÉMEDI VARGA Z. 1995: A komlói feketeköszén-terület. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 127–156.

NÉMEDI VARGA Z. 1995: A komlói területek bányaföldtani viszonyai. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 157–170.

NÉMEDI VARGA Z. 1995: A máza-dél-váralja-dél-i feketeköszén-terület. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. In: *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 172–192.

NÉMEDI VARGA Z. 1995: A mecseki feketeköszén-kutatás tektonikai alapjai. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 347–360.

NÉMEDI VARGA Z. 1995: A mecseki feketeköszén-telepek szénülési viszonyai. In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.) A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. – In: *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 283–302.

NÉMEDI VARGA Z. 1995: A mecseki kőszéntelepek gázkitörés-veszélyességének alakulása. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 331–346.

NÉMEDI VARGA Z. 1995: A pécsi feketeköszén-terület földtani és hegység szerkezeti viszonyai. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 39–65.

NÉMEDI VARGA Z. & NAGY E. 1995: A Mecseki Kőszén Formáció nyomtatott irodalma. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 389–434.

NÉMEDI VARGA Z., NAGY E. & KOVÁCS E. 1995: A Mecseki Kőszén Formáció kéziratos irodalma. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 435–456.

NÉMEDI VARGA Z. & OSWALD Gy. 1995: A mecseki feketeköszén minősítési rendszere és minőségi jellemzői. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.) A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 303–316.

OSWALD Gy. & NÉMEDI VARGA Z. 1995: A mecseki kőszénvagyon és annak változásai. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.* Miskolci Egyetem, Miskolc, 361–372.

1998

NÉMEDI VARGA Z. 1998: A Mecsek- és a Villányi-egység jura képződményeinek rétegtana. – In: BÉRCZI I. & JÁMBOR Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. Mol Rt. – MÁFI, Budapest, 319–336.

2000

NÉMEDI VARGA Z. 2000: A mecseki feketeköszén-előfordulás. – In: SZIRTES B. (szerk.): *Búcsúzik a mecseki szénbányászat. A mecseki feketeköszén-bányászat szerepe és jelentősége*. – Pécsi Erőmű Rt., Pécs, 93–110.

2001

NÉMEDI VARGA, Z. 2001: Ungarns Kohlenvorkommen im Überblick. – *Mitteilungen der Universität Miskolc. Reihe A, Bergbau* **58**, 71 p.

2006

LAKATOS, I., FÖLDESSY, J., NÉMEDI VARGA, Z., TÓTH, J., FODOR, B. & CSÉCSEI, T. 2006: Coalbed Methane Extraction – CO₂ sequestration potential of the Mecsek Mountains, Hungary. – *2006 International Coalbed Methane Symposium, Tuscaloosa, Alabama, USA*.

NÉMEDI VARGA Z. 2006: A Mecseki Kőszén Formáció ősföldrajzi viszonyai. – *Miskolci Egyetem Közleményei, A sorozat, Bányászat* **69**, 17–30.

NÉMEDI VARGA, Z., LAKATOS, I., FÖLDESSY, J., TÓTH, J., FODOR, B. & CSÉCSEI, T. 2006: The Coalbed Methane Extraction – CO₂ Sequestration Potential of the Mecsek Mountains, Hungary. – In: BUHROW, C., SCHACHTER, H. N. & SCHMIDT, R. (eds): *Conference "Resources and Environment" 2006: Coal and China, Freiberg, Technische Universität, Bergakademie Freiberg*, 289–302.

FÖLDESSY, J., LAKATOS, I., FODOR, B. & NÉMEDI VARGA, Z. 2008: Coal Mining and Clean Coal Technologies: Evaluation of Alternative Energy Resources of the Mecsek Coalfields, Hungary. – In: LÓPEZ, G. J., LOREDO, P. J., FERNÁNDEZ, R. L. & PERNIA, L. J. (eds): *Investigación y Gestión de los Recursos del Subsuelo : Libro Homenaje al Profesor Fernando Pendas Fernández*. – Madrid, Instituto Tecnológico Geominero de España, 471–479.

2010

NÉMEDI VARGA Z. 2010: *Kőszénföldtan. A magyarországi kőszénelőfordulások áttekintésével és bibliográfiájával*. – Bíbor Kiadó, Miskolc, 246 p.

A Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár NÉMEDI VARGA Zoltán több mint 280 kéziratát őrzi.

Elnöki megnyitó

Elhangzott a Magyarhoni Földtani Társulat (2025. 04. 08.) közgyűlésén

Kedves Tagtársak, tisztelt Közgyűlés!

Mindazok, akik figyelemmel követték a Társulat vezetőségének munkáját, az elmúlt években egy tudatosan felépített folyamat tanúi lehettek. Ezt a tevékenységet a megelőző éveket értékelő elnöki beszédeimben rendre a fundamentumok, a Társulat működési alapjainak megerősítéseként, megújításaként mutattam be. Meggyőződésem, hogy ezek azok az alapok, melyek a jelenkor társadalmi kihívásaira válaszolni képes, modern, szakmai civil szervezet felépítményét képesek megtartani. A folyamat a nevezetes banki csalás okán a biztonságos pénzügyi környezet megteremtésével kezdődött, majd tavaly zárult a honlap (és ezzel összefüggésben a teljes informatikai háttér) átalakításával. Ennek látványos eredményét mindenki tapasztalhatta, ha máshol esetleg nem is, a megújult formájú és gazdagabb tartalmú hírlevelek alapján bizonyosan.

Az elmúlt évek szisztematikus munkája eredményeként arról számolhatok be a közgyűlésnek, hogy mára az alapok modernizálásának folyamatában csupán két lényegi lépés maradt vissza. Ezek az egymásra épülő, de egymással szükségképpen koherens szemléleti és jogi egységet alkotó alapszabály és ügyrend. A Társulat honlapján bárki által megtalálható, jelenleg hatályos alapszabályunk még nincs 10 éves. Indokolt tehát a kérdés: miért kell máris megújítani? Valóban elavult röpke kilenc esztendő alatt?

Ahhoz, hogy erre a kérdésre választ adhassunk, próbáljuk elgondolni, hogy mi fogja jellemezni azt a rohamosan változó társadalmi környezetet, aminek a kérdéseire egy szakmai közösségnek választ kell adnia – feltéve persze, hogy ez a közösség valóban aktív szereplője kíván maradni a társadalmi párbeszédnek. Bár geológusként szívesebben bolyongunk a távoli múltban, tegyük egy kirándulást a közeli jövőbe! Nyilvánvaló, hogy a következő évtizedben tovább fokozódik a már ma is mindent átható digitalizáció; meghatározó lesz a mesterséges intelligencia jelenléte a napi szakmai gyakorlatban, így valószínűleg a Társulat életében is. Olvasmányélmények, kollégákkal folytatott beszélgetések és az AI-jal végzett izgalmas kérdezz-felelek alapján röviden vázolom azt a víziót, ami tetszik vagy nem tetszik, tényleg közel állhat a reálishoz. Azt gondolom, hogy az alapszabályunkon elvégzendő ráncfelvarrás fő feladata az lesz, hogy minden fölösleges megkötéstől mentes utat biztosítson a ma még csak sejtett jövő felé.

Mert bizony, a jelenlegi keretrendszer tele van örökölt, időnként bosszantó, máskor huncut összekacsintásra sarkalló, mesterséges akadályokkal. Belegondolt bárki, hogy az a keszthelyi kolléga, aki történetesen a Keszthelyi-hegység környékét kutatja, szükségképpen a Dél-Dunántúli Területi Szervezethez kell tartozzon, minthogy lakóhelye Zala megyében van? Igen, a hovatartozás alapja jelenleg deklaráltan a megerendszer. Van ennek logikus oka, vagy kizárólag a központilag mindent meghatározás kényszere és albiztonsága a magyarázat? Mennyi esélye van a Társulathoz csatlakoznia annak a lelkes, földrajz-kémia szakos tanárnak, aki – a Földtudományi Forgatagon szerzett tapasztalatai alapján – egyszerűen részt kíván venni az üléseinken pusztán azért, hogy szakmailag hitelesebb órákat tarthasson? A csatlakozáshoz elvben két ajánlóra van szüksége. Miért? Pusztán azért, hogy az elefántcsonttoronyba csak a beavatottak juthassanak be? A példák napestig sorolhatók – és egy irányba mutatnak.

Gyönyörű volt a kezdet, amikor a hazáért, a haza földjéért, a frissen fejlődésnek indult szakmánkért felelősséget vállaló kiválóságok megalapították a Magyarhoni Földtani Társulatot. És büszkén valljuk sajátunknak a következő sok-sok évtized eredményeit, kudarcait, történetét is. De nem kérdés, hogy a kezdeti elitklublogika reliktumait máig cipelő, zárt társulati modell mára fenntarthatatlanná vált. Helyét az összes megőrzendő érték óvó vigyázása mellett egy sokkal nyitottabb, interdiszciplináris és a hálózati logikán alapuló közösségi működési módnak kell átvennie. Ez a nyitottság nem csupán belső igényünk, hanem elemi érdekünk is: elkötelezett európaiként látnunk kell, hogy szakmánk jövője az Európai Kutatási Térség szerves részeként a határokon átnyúló, közös projektekben és a tudás szabad áramlásában rejlik. A hálózatosodás lényege a hierarchikus struktúrák minél teljesebb lebontása, a közösségi tudás mint legfontosabb érték maximalizálása mellett. Egy ilyen rendszerben az információ nem felülről lefelé, hanem horizontálisan, a tagok, illetve tagscsoportok között áramlik. A jelenlegi szakosztályok, területi szervezetek természetesen ennek a hálónak a már létező, logikus kiinduló csomópontjai. De lehetővé kell tennünk, hogy a merev szakosztályi struktúra helyét a hálózati logika mentén, adott problémára dinamikusan önszerveződő munkacsoportok vegyék át. Mélyen hiszek abban, hogy nem kell, sőt, nem szabad a tagok helyett kitalálni, meghatározni, hogy mi a jó nekik. Ugyan, miért

ne lehetne hidrogeológia-, geotermia- vagy akár borgeológia-csoportja a Társulatnak? És ha meg akar alakulni, azt miért kellene felülről szervezni?

A digitalizáció persze tovább fogja erősíteni a digitális terek kiemelt szerepét a tudáscserében. Meg kell tanulnunk nem negatív érzellemmel viszonyulni a virtuális találkozókhoz, konferenciákhoz és egyéb hibrid eseményekhez, sőt ezek minél egyértelműbb keretrendszerét kell az alapszabály szintjén biztosítanunk. A hálózatként szervezendő, nyitott Társulatban természetes helye lesz a társadalom érdeklődő civil szereplőinek, esélyt adva a tudománynak a belé vetett közbizalom helyreállításáért zajló folyamatos küzdelemben. Nem kérdés, hogy ebben a küzdelemben jelenleg veszésre állunk; mindenki gondoljon egy pillanatra kedvenc geo-álhírére a borsösnyei aranytól a Szarvas környéki földrengésekig.

A Társulat vezetőinek szerepe ebben a rendszerben a strukturált folyamatirányítás, a platform és a moderáció biztosítása. Platform, ahol az akadémiai kutatók, az állami szféra, a magánszektor szereplői, valamint a társadalom nem szakmai érdeklődő tagjai problémaorientáltan, dinamikus környezetben oszthatják meg egymással szakmai tapasztalataikat és tudásukat. Ez az a platform, ami a jelenleginél sikeresebben segíti a szakirányú egyetemi hallgatókat és a fiatal pályakezdőket a szakmai hálózatba való beilleszkedésben. A jövő társulata olyan hálózat kell legyen, ahová érdemes tartozni.

Tudom, hogy az előttünk álló feladat nem egy lépéses sakkfeladvány. Kérem a tisztelt tagságot, hogy ma tegyünk meg a következő lépést. A pénzügyi biztonság, majd az informatikai eszközrendszer megújítását követően jussunk el a legfontosabbig, a szakmai közösségi működés szabályrendszerének kritikus újragondolásáig! Modernizáljuk az alapszabályt úgy, hogy néhány év múlva, ezen évek minden tapasztalatával a kezünkben meg tudjuk lépni a következőket is egy új, a hagyományait ismerő, tisztelő, ugyanakkor a változó világ kihívásaira dinamikusán válaszolni képes Magyarhoni Földtani Társulat felé!

Jó szerencsét!

M. TÓTH Tivadar
a MFT elnöke

A Magyarhoni Földtani Társulat 2025. évi tevékenysége Főtitkári jelentés

A társulat tagsága és együttműködő partnerei

2025. év végén a teljes tagság 809 fő volt. 2025-ben összesen belépett 13 fő, töröltünk 18 főt (ebből elhalálozott 12 fő, a többieket saját kérésre töröltük), tehát a tagság létszáma 5 fővel csökkent:

Tiszteleti	23
Örökös	6
Nyugdíjas	218
Diák	116
Gyermekgondozási	13
Aktív	433

A 2025 és során kitüntetett tagtársaink:

Díj	Név
Semsey Andor Ifjúsági Emlékérem	Heszler Bernát
Kriván Pál Alapítványi Emlékérem	Juhász Dorina Rita
Lóczy Lajos Emlékérem	Józsa Sándor
Révész István Díj	M. Tóth Tivadar

70 éves társulati tagságot elismerő díszoklevelet kapott:

Bognár László, Greschik Gyula, Klespitz János, Knauer József, Oswald György

60 éves társulati tagságot elismerő díszoklevelet kapott:

Balázs Endre, Farkas Sándorné Darányi Ida, Földessy János, Galács András, Havas László, Lelkes György, Mindszenty Andrea, Szóts András, Tóth Kálmán

50 éves társulati tagságot elismerő díszoklevelet kapott:

Dunkl István, Iványosi Szabó András, Kaszás Ferenc, Koncz István, Madai László, Sipos Imre, Turbéki J. Péterné, Vincze Péter, Weiszbürg Tamás

2025-ben elhunyt tagtársaink:

Csath Béla
Dávid Árpád
Fügedi Péter Ubul
Madai László
Márton Péterné
Mikes Tamás
Némedi Varga Zoltán
Szabó Elemér
Szóts András
Tóth Tamás
Tóth Zsiga József
Turai Endre

Jogi tagok és együttműködő partnerek

2025-ben jogi tagjaink között nem történt változás:

ANZO PERLIT Kft.
 BIOCENTRUM Kft.
 COLAS Északkő Bányászati Kft.
 GEO-LOG Kft.
 Geoproduct Gyógyító Ásványok Kft.
 Geoteam Lambda Kft.
 Mineralholding Kft.
 Mecsekérc Zrt.
 OMYA Hungária Mészkefeldolgozó Kft.
 PERLIT-92 Bányászati és Feldolgozó Kft.
 TERRAPEUTA Kft.
 UNICAM Magyarország Kft.

Társulatunkkal együttműködő partnerek 2025-ben:

Alkalmazott Földtudományi Klaszter
 Bánya-, Energia- és Ipari Dolgozók Szakszervezete
 Bányászati Együttműködési Fórum
 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar
 Bükk Nemzeti Park Igazgatósága
 Croatian Geological Society
 Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar
 ELGOSCAR-2000 Környezettechnológiai és Vízgazdálkodási Kft.
 Eötvös Loránd Tudományegyetem, TTK, Földrajz–Földtudományi Intézet
 Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság
 Észak-Dunántúli Nemzetközi Bányászati Klaszter
 European Association of Geochemistry
 Geological Society of Romania
 Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetsége
 Kuny Domokos Múzeum
 Magyar Földmérési, Térképészeti és Távérzékelési Társaság
 Magyar Földrajzi Társaság
 Magyar Geofizikusok Egyesülete
 Magyar Hidrológiai Társaság
 Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat
 Magyar Mérnöki Kamara, Geotechnikai Tagozat
 Magyar Meteorológiai Társaság
 Magyar Minerofil Társaság
 Magyar Természettudományi Múzeum
 Mátra Csillaga Kft.
 Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar
 MTA X. Földtudományok Osztálya
 Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület
 Országos Széchényi Könyvtár (EPA)
 Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar
 Serbian Geological Society
 SPE HUN szekció
 Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága
 Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar
 Szilikátipari Tudományos Egyesület

Az Elnökség szakmai és adminisztratív munkája

Az Elnökség 2025-ben elvégzett legfontosabb szakmai feladatának azt tartja, hogy a Társulat működési alapjainak megerősítését és megújítását végezte. Ez egy többéves folyamat része, amivel a Társulat válaszolni tud a jelenkor társadalmi

kihívásaira, és stabil alapot teremt a Társulat középtávon is sikeres működéséhez. Erről részletesebben a 2026-os közgyűlésünk elnöki megnyitóbeszédéből tájékozódhatnak az érdeklődő tagtársaink.

A 176. éves rendes közgyűlésünket 2025. március 26-án tartottuk az SZTFH Stefánia úti épületének dísztermében.

Az elnökségi (2025. február 24., 2025. június 10., 2025. november 19. és 2025. december 16.) és választmányi (2025. február 24., 2025. november 19. és 2025. december 16.) üléseinket online formában tartottuk meg.

2025 során a titkárság az év első felében 51 körlevélben, majd az év második felében 32 darab heti hírlevél formátumban értesítette tagtársainkat eseményeinkről és programjainkról, ami nyomtatott formában 4 darab negyedéves hírlevélként is kiküldésre került az azt igénylő tagtársaink számára.

Pályázatok

Hazai pályázatok

A 2025. évi pályázatainkat mind anyagilag, mind szakmai szempontokból az NKFIH Mecenatúra „Földtudományok a mindennapokban” pályázata határozta meg, mely 17 248 000 Ft-os költségvetésével (melyből 15 928 000 Ft a 2025-ös évre esett) és online tartalmainak a összesen 25 000 főt meghaladó elérésével a Társulat éves tevékenységének legfontosabb eleme volt.

A pályázathoz köthető „Aktuál-földtudomány” podcastsorozat a Társulat tevékenységében új formátumot hozott. Nagyon kevés olyan beszélgetés volt magyar nyelven fellelhető az online térben, amiben szakemberek aktuális tudományos kérdésekről beszélnek közérthetően, érdeklődő laikusok számára. Vannak influenszerbeszélgetések, melyek általában hemzsegnek a tudományos tévedésektől, és vannak szakmai előadások, utóbbiak jellemzően angolul, melyek az átlag érdeklődők számára nem érthetők. A beszélgetések a HUN-REN CSFK-val együttműködésben valósultak meg, ugyanis tagtársunk dr. Hatvani István Gábor, a HUN-REN CSFK FGI tudományos főmunkatársa lett állandó kérdezője és társszerkesztője a műsoroknak. Figyeltünk arra, hogy találjuk meg azokat a témákat, amelyek tényleg foglalkoztatják az embereket. Az első műsort ennek megfelelően a parajdi katasztrófát követően egy héten belül közzé is tettük. A *Jurassic World* film nyári premierjének napján az idén 25 éves hazai dinoszaurusz-kutatásokról beszélgettünk dr. Ősi Attilával, a nyári hőségriadó napján tettük közzé rendkívül alapos beszélgetésünket a klímaváltozásról, az őszi kritikus ásványi nyersanyag stratégiával kapcsolatos hírek megjelenésekor a robotbányászatról forgattunk beszélgetést, majd a fűtési szezon indulásakor a geotermiáról, ami a maga 11 000-et meghaladó megtekintésével a sorozat eddigi legsikeresebb filmje lett, a 2025-ös évad a Földtudományos forgatag online napján bemutatott vulkanológiai beszélgetéssel zárult.

További pályázatainkon közhasznú tevékenységeinkre kaptunk támogatásokat: az NKFIH FÖCIK pályázata 2 100 000 Ft-al, az MTA 1 400 000 Ft-al, az NKA 1 400 000 Ft-al, az Agrárminisztérium célzott támogatás formájában 1 000 000 Ft-al támogatta 2025. évi programjainkat és kiadványainkat.

Nemzetközi pályázatok

CRM GEOTHERMAL (Raw materials from geothermal fluids: occurrence, enrichment, extraction): a projekt az ásványi nyersanyagok kitermelésének és a geotermikus hőnek – a földből származó, a nap 24 órájában rendelkezésre álló megújuló energiaforrásnak – a kombinált kitermelését kutatja a kritikus nyersanyagokra (CRM) fókuszálva. A geotermikus tárolókból történő hő- és ásványi anyagok kombinált kinyerése számos előnnyel jár: a beruházások megtérülését maximalizálja, a környezeti hatásokat minimalizálja, segít további földterületek felhasználásának elkerülésében, nem hagy bányászati nyomot, és közel nulla szén-dioxid-kibocsátással jár.

A Társulat feladata és szerepe a projektben:

1. együttműködő partnerként tájékoztatás a projekt eredményeiről hírlevél, körlevelek formájában és weboldalon;
2. fókuszcsoporthoz és kérdőíves felmérések, programok szervezése;
3. kisfilm fordítása és közzététele;
4. kapcsolatfelvétel középiskolákkal.

A projekt a Társulatnak 9 000 euró bevételt fog eredményezni a projekt teljes időszaka alatt (2022–2026), és várhatóan további 1 670 eurót 2027-ben.

A projekt befejezése: 2026. május 31.

CEEGs (CO₂ based electrothermal energy and geological storage system): a CEEGS egy 3 éves Horizon Europe által finanszírozott projekt, amely ágazatokon átívelő technológiát fejleszt az energetikai átmenethez, kombinálva a transzkritikus CO₂-cikluson alapuló megújuló energiatároló rendszert, a geológiai képződményekben történő CO₂-tárolást és a geotermikus hőtermelést.

A Társulat feladata és szerepe a projektben:

1. együttműködő harmadik partnerként tájékoztatás a projekt eredményeiről hírlevelek, körlevelek formájában és weboldalon;

2. adatgyűjtés, adatszolgáltatás országos szinten.

A projekt a Társulatnak 4 375 euró bevételt fog eredményezni a projekt teljes időszaka alatt (2024–2027).

A projekt befejezése: 2027. november 1.

A társulat gazdálkodása

A bevételek jelentős része pályázati vagy programtámogatás jellegű, ami azt jelenti, hogy a szervezet tevékenysége nagymértékben függ az elnyert pályázatoktól. A *Földtani Közlöny* nyomdai költségeinek optimalizálásával sikerült jelentős költséget csökkenteni. A projektek pénzügyi eredménye összességében kiegyensúlyozott képet mutat. Több program – különösen a támogatott projektek és egyes rendezvények – pozitív pénzügyi eredménnyel zárultak, míg egyes szakmai tevékenységek és működési jellegű feladatok esetében a kiadások meghaladták az adott projekthez közvetlenül kapcsolódó bevételeket. Ez a működési modell összhangban áll a szervezet közhasznú és szakmai céljaival, mivel bizonyos programok elsődleges célja nem a nyereségtermelés, hanem a szakmai tevékenység fenntartása és fejlesztése. Az éves mérleg pozitív kimenetét jelentős magánadomány is befolyásolta.

Év	Bevételek	Kiadások	Eredmény
2024. év	28 063 202	26 466 152	+1 597 050
2025. év	44 962 942	40 734 815	+4 228 127

Összességében megállapítható, hogy a szervezet gazdálkodása a tárgyévben stabil keretek között működött. A bevételek és kiadások szerkezete tükrözi a szervezet szakmai és közhasznú tevékenységének jellegét. A jövőbeni gazdálkodás szempontjából továbbra is kiemelt jelentőségű a pályázati források fenntartása, a szakmai programok finanszírozásának biztosítása, valamint a működési költségek fegyelmezett kezelése.

A társulat 2024-ben megjelent kiadványai

A *Földtani Közlöny* 154. évfolyam 4. száma és a 155. évfolyam 1–3. száma.

28. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés 2025. május 30. – június 1.: Program, előadáskivonatok, kirándulásvezetője. BOSNAKOFF Mariann, PIROS Olga, MOHR Emőke (szerk.) Nova, – Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, ISBN 978-963-8221-95-7 44 p.

A Magyarhoni Földtani Társulat és a Magyar Geofizikusok Egyesületének Vándorgyűlése, Eger 2025. 09. 18–20.: Program és előadáskivonatok. PIROS Olga (szerk.) Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, 56 p. ISBN: 978-963-8221-98-8

A Tiszai-főegység és egyéb magyarországi földtani-geofizikai kutatások legújabb eredményei szakmai előadói nap kiadványa 2025. november 20.: HÁMOS Gábor, SÁMSON Margit (szerk.) Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, 92 p. ISBN 978-963-8221-99-5

A *Földtani Közlöny* előfizetői bázisa az alábbiak szerint alakult:

Tíz intézményi előfizető volt, ebből két előfizető 2 példányt kért. 12 magánszemély fizetett elő, így összesen 24 példány.

Programjaink és programsorozataink

Társulatunk 2025-ben is meghirdette közkedvelt tudomány népszerűsítő programjait az „Év ásványa”, az „Év ősmaradványa” és az „Év ásványkincse” témákban, ahol az „Év ásványa” az opál és az „Év ősmaradványa” a radiolária volt, melyekről több ismeretterjesztő cikk jelent meg és számos program kapcsolódott hozzájuk.

Megtartottuk a Társulat első nyári tábort: Ásványok és dínók címmel a CSILI Művelődési központtal együttműködésben. A táborban 18 gyermek vett részt 7–15 éves korig.

Társulati 2025. évi kiemelt rendezvényei

41. Miskolci Nemzetközi Ásványfesztivál 2025. március 8–9. között került lebonyolításra a Miskolci Egyetemen az Egyetem főszervezésével, ami nagy népszerűségnek örvendett, mintegy 7000 látogatóval.

Az Ifjú Szakemberek Ankétja 2025. március 28–29-én Hévízen a Magyar Geofizikusok Egyesületével közös szervezésben valósult meg.

Madarak és fák napja, év fajai fesztivál – ingyenes családi nap a Jókai kertben 2025. május 10-én volt, amit a DINPI és az MME társszervezésével bonyolítottunk le, mintegy 1500 látogatóval.

A Földtani és Geofizikai Vándorgyűlés „Kritikus ásványi nyersanyagok a versenyképesség szolgálatában” 2025. szeptember 18–20. között került lebonyolításra Egerben a Magyar Geofizikusok Egyesületével közös szervezésben, amihez remek terepi nap is társult a Bükkben.

A Földtudományos Forгатag 2025. november 7–9. között került megrendezésre, ahol a pénteki online nap után a hétvége helyszíne a Magyar Természettudományi Múzeum volt. A rendezvényt mintegy 3000 fő látogatta meg.

Társulati rendezvényei

Az Alföldi Területi Szervezet 2025-ben is megrendezte hagyományos szakmai rendezvényét, a NosztalgEO találkozót, amelyre november 14-én került sor az algyői Faluházban. A rendezvény az Algyői szénhidrogénmező felfedezésének 60. évfordulójához kapcsolódott „Nagyjaink nyomában – Algyő 60” mottóval.

A Dél-Dunántúli Területi Szervezet egyik fő eseménye egy szakmai előadói nap volt „A Tiszai-főegység és egyéb magyarországi földtani-geofizikai kutatások legújabb eredményei” címmel, amelyet november 20-án tartottak Pécsen.

Az Észak-Magyarországi Területi Szervezet 2025-ben a hagyományos Szentiván-éji vacsora keretében szabadtéri, gulyásfőzéssel egybekötött találkozón köszöntötte jubileumi évfordulós tagtársait.

A Közép- és Észak-Dunántúli Területi Szervezet egyik kiemelt eseménye a május 16–17-én Szombathelyen megrendezett előadói nap volt, amelyen a Kőszegi-hegység és a tágabb térség földtani kutatásainak aktuális eredményeit mutatták be. A szervezet munkájában kiemelkedő szerepet játszottak a rendszeresen szervezett geotúrák, amelyek a Balaton-felvidék és a Bakony földtani értékeit mutatták be a nagyközönség számára.

Szeptember 24-én került sor az SZTFH Földtani Szolgálatának „Térképek és történetek” című ismeretterjesztő kiadványának bemutatójára a Budapesti Területi Szervezet és Általános Földtani Szakosztály szervezésében. Az Agyagásványtani Szakosztály egyik kiemelt eseménye a 20. Téli Ásványtudományi Iskola volt, amelyet február 13–14-én társrendezőként bonyolítottak le Veszprémben „Ásványok és fluidumok” témában.

Az Ásványtani, Kőzettani és Geokémiai Szakosztály egyik kiemelt rendezvénye a 15. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés volt, amelyet október 2–4. között Nagybörzsönyben és Selmechányán rendeztek meg, rendhagyó nemzetközi részvétellel.

A Geomatematikai és Számítástechnikai Szakosztály egyik fontos szakmai eseménye 2025-ben május 29-én az MTA Földtudományok Osztálya Geomatematikai Albizottságával közös előadóülés volt.

A Mérnökgeológiai és Környezetföldtani Szakosztály 2025-ben két szakmai előadóülést szervezett, amelyeken hazai és külföldi előadók ismertették kutatási eredményeiket.

A Nyersanyagföldtani Szakosztály 2025-ben is aktív szerepet vállalt az „Év nyersanyaga” programsorozat szervezésében és lebonyolításában. A szakosztály a Földtudományos Forгатag keretében mutatta be a 2026-os Év nyersanyagát, a foszforitot.

Az Oktatási és Közművelődési Szakosztály a 12. Ásványtani, kőzettani és geokémiai felsőoktatási műhelyek éves találkozóját a Szegedi Tudományegyetemen tartotta társrendezőként. Emellett a szakosztály jelentős szerepet vállalt az Év ásványa és az Év ősmaradványa programok szervezésében és népszerűsítésében, számos országos rendezvényhez kapcsolódó programmal, kiállítással, előadással és ismeretterjesztő tartalom készítésével.

Az Őslénytani és Rétegtani Szakosztály május 30. és június 1. között tartotta a 28. Magyar Őslénytani Vándorgyűlést.

A ProGEO Földtudományi Természetvédelmi Szakosztály egyik kiemelt eseménye 2025-ben a Földtudományi Sokféleség Nemzetközi Napja alkalmából szervezett tudományos ülés volt, amelyet több hazai intézménnyel közösen rendeztek meg. Az előadások az Aggteleki Nemzeti Park alapításának 40. évfordulójához, a barlangok világörökségi helyszínné nyilvánításának 30. évfordulójához, valamint a Hátszegi-medence új paleontológiai kutatásaihoz kapcsolódtak.

A Tudománytörténeti Szakosztály egyik fontos eseménye 2025-ben egy emlékülés volt, amit Bárdossy György születésének 100. évfordulója alkalmából tartottak

Rendezvényeink számokban:

Területi szervezet/ Szakosztály	Nagyrendezvény, tanulmányút			Előadóülés, ülés találkozó			Összesen		
	alkalom	előadások száma	részvevők száma	alkalom	előadások száma	részvevők száma	alkalom	előadások száma	részvevők száma
Alföldi Területi Szervezet	1	8	71				1	8	71
Dél-Dunántúli Területi Szervezet				1	14	63	1	14	63
Észak-Magyarországi Területi Szervezet				1		24	1	0	24
Közép- és Észak-Dunántúli Területi Szervezet				4	20	56	4	20	56
Budapesti Területi Szervezet és Általános Földtani Szakosztály	1	1	73	2		5	3	1	78
Agyagásványtani Szakosztály				3	13	72	3	13	72
Ásványtani, Kőzettani és Geokémiai Szakosztály	3	93	194	1	6	40	4	99	234
Geomatematikai és Számítástechnikai Szakosztály				2	5	27	2	5	27
Mérnökgeológiai és Környezetföldtani Szakosztály				3	13	95	3	13	95
Nyersanyagföldtani Szakosztály	1	1		8	15	310	9	16	310
Oktatási és Közművelődési Szakosztály							0	0	0
Óslénytani és Rétegtani Szakosztály				3	34	111	3	34	111
ProGEO Földtudományi Természetvédelmi Szakosztály	1	23	608	2	10	70	3	33	678
Tudománytörténeti Szakosztály				8	8	99	8	8	99
Ifjúsági Bizottság							0	0	0
Geotúrák							58		1630
Összesen							103	264	3548

Alföldi Területi Szervezet

A szervezet 2025-ben is megrendezte hagyományos szakmai rendezvényét, a NosztalGEO találkozót, amelyre november 14-én került sor az algyői Faluházban. A rendezvény az Algyői szénhidrogénmező felfedezésének 60. évfordulójához kapcsolódott „Nagyjaink nyomában – Algyő 60” mottóval. A program során több előadás hangzott el az algyői mező kutatástörténetéről, szedimentológiai értelmezéséről, műveléstörténetéről, valamint a térség neotektonikai és hidrogeológiai kutatásairól. A rendezvényen bemutatták többek között az új országos neotektonikai térkép dél-alföldi vonatkozásait, valamint a Tisza-egység mezozoós karbonátos képződményeit is. A program részeként került sor a Révész-díj ünnepélyes átadására, amelyet 2025-ben M. Tóth Tivadar vehetett át a hazai földtudomány fejlődéséhez és a szakmai közösség erősítéséhez való hozzájárulásáért. A rendezvény szakmai programját hagyományosan közösségi ebéd és kötetlen beszélgetések egészítették ki.

Dél-Dunántúli Területi Szervezet

A Dél-Dunántúli Területi Szervezet 2025-ben egy szakmai előadói napot szervezett „A Tiszai-főegység és egyéb magyarországi földtani-geofizikai kutatások legújabb eredményei” címmel, amelyet november 20-án tartottak a pécsi Hotel Laterum konferenciatermében. A rendezvény az MTA Pécsi Akadémiai Bizottságának Földtani és Bányászati Munkabizottságával, valamint a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.-vel közös szervezésben valósult meg. A konferencián 14 előadás és 3 poszter hangzott el, a rendezvényen 63 fő vett részt. A program a hazai földtani és geofizikai kutatások aktuális eredményeit mutatta be, különös tekintettel a Tiszai-főegység kutatására.

A szervezet tagjai emellett számos hazai és nemzetközi tudományos tevékenységben vettek részt: konferencia-előadásokat tartottak, tudományos publikációkat jelentettek meg, valamint kutatási és oktatási tevékenységet folytattak.

Több tag nemzetközi projekteken és tudományos együttműködésekben is közreműködött, valamint szakértői feladatokat látott el különböző tudományos és szakmai fórumokon.

Észak-Magyarországi Területi Szervezet

Az Észak-magyarországi Területi Szervezet 2025-ben egy közösségi rendezvényt szervezett a Miskolci Egyetem parkjában. A hagyományos Szentiván-éji vacsora keretében szabadtéri, gulyásfőzéssel egybekötött találkozóra került sor, amelynek során a szervezet jubileumi évfordulós tagtársait köszöntötték. A rendezvényen a köszöntött tagok rövid előadásokban ismertették szakmai pályafutásukat és tapasztalataikat. Az esemény, melyen 24 fő vett részt, fontos szerepet játszott a szakmai közösség hagyományainak ápolásában és a generációk közötti kapcsolat erősítésében.

A szervezet vezetése az év során folyamatos kapcsolatot tartott a tagsággal elsősorban elektronikus levelezés útján, és rendszeresen tájékoztatta a tagokat a földtudományi szempontból releváns egyetemi és akadémiai rendezvényekről.

Közép- és Észak-Dunántúli Területi Szervezet

A Közép- és Észak-Dunántúli Területi Szervezet 2025-ben is aktív szakmai és ismeretterjesztő tevékenységet folytatott. A szervezet egyik kiemelt eseménye a május 16–17-én Szombathelyen, az ELTE Savaria Egyetemi Központban megrendezett előadói nap volt, amelyen a Kőszegi-hegység és a tágabb térség földtani kutatásainak aktuális eredményeit mutatták be. A programhoz terepbejárás is kapcsolódott a Vas-hegy és a Kőszegi-hegység területén.

Az év során egy további online előadóülést is tartottak a Kőszegi-hegység szerkezeti és geológiai kérdéseiről, amelyet később terepbejárás követett.

A szervezet munkájában kiemelkedő szerepet játszottak a rendszeresen szervezett geotúrák (58 db), amelyek a Balaton-felvidék és a Bakony földtani értékeit mutatták be a nagyközönség számára (1630 fő). Ezek a programok jelentős érdeklődés mellett zajlottak, és fontos szerepet töltek be a földtudományi ismeretterjesztésben és a geopark tevékenységének támogatásában.

Budapesti Területi Szervezet és Általános Földtani Szakosztály

A Budapesti Területi Szervezet és az Általános Földtani Szakosztály 2025-ben egy szakmai rendezvényt szervezett. Szeptember 24-én került sor az SZTFH Földtani Szolgálatának „Térképek és történetek” című ismeretterjesztő kiadványának bemutatójára. A beszélgetést Maros Gyula moderálta, a könyvet Babinszki Edit mutatta be a kötet elkészítésében közreműködő szakemberek részvételével. A rendezvényen geológusok, geofizikusok, hidrogeológusok és térinformatikai szakemberek ismertették a könyvben bemutatott kutatások és földtani térképezési munkák háttérét. Az eseményen 73 fő vett részt.

A szakosztály emellett megszervezte a Kókay Terepi Napok 2025-re tervezett rendezvényét, amelynek célterülete az Upponyi- és az Aggteleki-hegység lett volna, azonban a minimális létszám hiánya miatt a programot elhalasztották. A következő terepi napok szervezése már folyamatban van, amelyet 2026-ban a Korfu környéki területeken, az Alp–Kárpát–Dinári–Hellén hegységképződés fontos feltárásainál terveznek megrendezni.

Agyagásványtani Szakosztály

Az Agyagásványtani Szakosztály 2025-ben több szakmai rendezvény szervezésében és lebonyolításában vett részt. Az év egyik kiemelt eseménye a 20. Téli Ásványtudományi Iskola volt, amelyet február 13–14-én rendeztek meg Veszprémben „Ásványok és fluidumok” témában.

November 20–21-én Szegeden került sor a 12. Ásványtani, kőzettani és geokémiai felsőoktatási műhelyek éves találkozójára, amelyet több tudományos szervezettel és egyetemi intézménnyel közösen rendeztek meg. A program munkaülést és műhelylátogatást is magában foglalt, és 44 fő részvételével zajlott.

A szakosztály november 27-én a ProGEO Földtudományi Természetvédelmi Szakosztállyal közösen hibrid előadóülést szervezett, amely a Soproni Egyetem Püspökladányi Arborétumának talajszelvényét – a 2025. év „Világ Talaja” helyszínét – mutatta be két előadás keretében.

Az év végén, december 2-án online előadóülést tartottak, ahol többek között az agyagásványok szerepéről a felszín alatti hidrogéntárolásban, valamint kaolinites homokkővek agyagásványtani vizsgálatáról hangzottak el előadások.

Ásványtani, Kőzettani és Geokémiai Szakosztály

Az Ásványtani, Kőzettani és Geokémiai Szakosztály 2025-ben is megszervezte hagyományos nagyrendezvényeit. Február 13–14-én Veszprémben került sor a 20. Téli Ásványtudományi Iskolára, amelynek témája az „Ásványok és flui-

dumok” volt. A rendezvényen 23 előadás hangzott el, és 70 résztvevő vett részt, köztük hazai egyetemek és kutatóintézetek képviselői.

Június 3-án a szakosztály az MTA Geokémiai, Ásvány- és Kőzettani Tudományos Bizottság Kőzettani Albizottságával közösen online előadóülést tartott, amelyen hat előadás hangzott el, és mintegy 40 fő kapcsolódott be.

A szakosztály másik kiemelt rendezvénye a 15. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés volt, amelyet október 2–4. között Nagybörzsönyben és Selmechányán rendeztek meg nemzetközi részvétellel. A konferencián több mint 80 résztvevő vett részt, a programban 39 előadás, 24 poszter és két terepi kirándulás szerepelt. A rendezvény jelentős nemzetközi érdeklődés mellett zajlott, és több fiatal kutató is díjazásban részesült.

Az év végén, november 20–21-én Szegeden került sor a 12. Ásványtani, kőzettani és geokémiai felsőoktatási műhelyek éves találkozójára, amely a hazai felsőoktatási és kutatási műhelyek közötti szakmai együttműködést erősítette.

Geomatematikai és Számítástechnikai Szakosztály

A Geomatematikai és Számítástechnikai Szakosztály 2025-ben két szakmai rendezvényt szervezett. Május 29-én az MTA Földtudományok Osztálya Geomatematikai Albizottságával közösen előadóülést tartottak, amelyen három előadás és egy könyvbemutató hangzott el mintegy 12 fő részvételével. Az előadások a geostatistika és a kőzetzfizikai mérések bizonytalanságának kérdéseivel foglalkoztak, valamint bemutatták Korvin Gábor: *Statistical Rock Physics* című könyvét.

November 28-án a szakosztály megrendezte a „Geomatematika mindenkinek” című online előadássorozat egyik alkalmát, amelyen Valadez Vergara Rafael (MOL Nyrt.) tartott előadást a szerves anyagban gazdag képződmények termikus érettségének matematikai optimalizáláson alapuló becsléséről. Az eseményen mintegy 15 fő vett részt online formában.

Mérnökgeológiai és Környezetföldtani Szakosztály

A Mérnökgeológiai és Környezetföldtani Szakosztály 2025-ben két szakmai előadóülést szervezett, amelyeken hazai és külföldi előadók ismertették kutatási eredményeiket. A rendezvényeken doktorandusz hallgatók és egyetemi oktatók is bemutatták munkájukat. Az előadásokat szakmai vita követte, amely hozzájárult a fiatal kutatók munkájának fejlődéséhez.

Február 26-án Ivan Banović (Spliti Egyetem) tartott előadást a kőzetszemcséken alapuló, alacsony költségű geotechnikai szeizmikus szigetelési módszerekről. Szeptember 30-án három előadás hangzott el a rézszűállékonyság vizsgálatáról és a mélyépítésben alkalmazott új injektálóanyagokról.

A szakosztály az év végén hagyományosan megtartotta ünnepi, nyílt vezetőségi ülését is.

Nyersanyagföldtani Szakosztály

A Nyersanyagföldtani Szakosztály 2025-ben is aktív szerepet vállalt az „Év nyersanyaga” programsorozat szervezésében és lebonyolításában. A jelöltállítási, kampány- és szavazási folyamat koordinációját a szakosztály a Mérnökgeológiai és Környezetföldtani Szakosztállal együttműködésben végezte, valamint az Ásványtani, Kőzettani és Geokémiai, illetve az Oktatási és Közművelődési Szakosztályokkal is együtt dolgozott. A Földtudományos Forgalom keretében a szakosztály mutatta be a 2026-os Év nyersanyagát, a foszforitot.

Az év során a szakosztály több ismeretterjesztő programot szervezett óvodákban és iskolákban, valamint előadásokat tartott a 2025-ös Év nyersanyagáról, a lítiumról. Emellett ismeretterjesztő cikkek is készültek a témában az *Élet és Tudomány* és a *Honismeret* folyóiratok számára.

A szakosztály képviselői részt vettek a Felsőoktatási Műhelytalálkozón is, ahol a hazai nyersanyagkutató szakemberképzés aktuális helyzetéről tartottak előadást. Az év során több elnökségi egyeztetésre is sor került, többek között a *Földtani Közöny* tematikus különszámának előkészítése kapcsán.

Oktatási és Közművelődési Szakosztály

Az Oktatási és Közművelődési Szakosztály 2025-ben elsősorban az oktatási és ismeretterjesztő programok szervezésében vállalt aktív szerepet. A szakosztály javaslata alapján a Lóczy Lajos Emlékplakettet 2025-ben Józsa Sándor, míg a Semsey Andor Ifjúsági Emlékéremet Heszler Bernát nyerte el.

A szakosztály társszervezőként közreműködött a XVII. Országos Középiskolai Földtudományi Diákkonferencia megrendezésében a Miskolci Egyetemen, valamint a 12. Ásványtani, kőzettani és geokémiai felsőoktatási műhelyek éves találkozóján, amelyet a Szegedi Tudományegyetemen tartottak.

Ismeretterjesztő tevékenységének részeként a szakosztály második alkalommal szervezte meg az Ásványok és Dínók című nyári tábor 7–12 éves gyermekek számára a CSILI Művelődési Központtal és az ELTE Természettudományi Múzeummal együttműködésben. Emellett a szakosztály jelentős szerepet vállalt az Év ásványa és az Év ősmaradványa programok

szervezésében és népszerűsítésében számos országos rendezvényhez kapcsolódó programmal, kiállítással, előadással és ismeretterjesztő tartalom készítésével.

A szakosztály tagjai több tudományos és ismeretterjesztő rendezvényen is részt vettek, többek között a Novohrad–Nógrád UNESCO Globális Geopark konferenciáján, ahol új földtudományi kutatási eredményeket mutattak be.

Őslénytani és Rétegtani Szakosztály

Az Őslénytani és Rétegtani Szakosztály 2025-ben több szakmai rendezvényt szervezett. Februárban ismét megrendezték a Paleopercek című előadóülést, amelyen a külföldi konferenciákon és kutatóutakon részt vett paleontológusok számoltak be tapasztalataikról, kötetlen szakmai beszélgetéssel kiegészítve.

Május 30. és június 1. között került sor a 28. Magyar Őslénytani Vándorgyűlésre, amelynek Nova adott otthont. A rendezvény előadói nappal, terepi kirándulással és további szakmai előadásokkal zajlott, részben a Magyar Olaj- és Gázipari Múzeum közreműködésével. A program lebonyolítását sikeres NKA-pályázat támogatta.

December 9-én a szakosztály előadóülést szervezett Géczy Barnabás születésének 100. évfordulója alkalmából, amely a magyarországi jura kutatás elmúlt száz évét tekintette át. Az esemény az MTA „200 előadás” programsorozatának keretében valósult meg.

ProGEO Földtudományi Természetvédelmi Szakosztály

A ProGEO Szakosztály 2025-ben több tudományos és ismeretterjesztő rendezvényt szervezett, jellemzően hibrid formában, hogy a különböző helyszíneken dolgozó tagok számára is biztosítsa a részvételt. A szakosztály tagjai közreműködtek az Ipolytarnóci Ősmaradványhely jelölésének elkészítésében az IUGS „The Third 100” kezdeményezésére, valamint képviselték magukat a romániai Tulcsában megrendezett ProGEO szimpóziumon.

Az év egyik kiemelt eseménye a Földtudományi Sokféleség Nemzetközi Napja alkalmából szervezett tudományos ülésszak volt, amelyet több hazai intézménnyel közösen rendeztek meg. Az előadások az Aggteleki Nemzeti Park alapításának 40. évfordulójához, a barlangok világörökségi helyszínné nyilvánításának 30. évfordulójához, valamint a Hátszegi-medence új paleontológiai kutatásaihoz kapcsolódtak.

A rendezvényhez kapcsolódva októberben ismét nagy érdeklődés mellett zajlott le a Geotóp Napok programsorozat, amelynek keretében az ország számos pontján szerveztek geotúrákat. A szakosztály novemberben közös előadóülést tartott az Agyagásványtani Szakosztállyal, amelyen a 2025-ös év „Világ Talaja” programhoz kapcsolódó előadások hangzottak el.

Tudománytörténeti Szakosztály

A Tudománytörténeti Szakosztály 2025-ben több előadóülést és szakmai találkozót szervezett, amelyek elsősorban a földtudomány történetéhez, neves kutatók munkásságához és tudománytörténeti emlékekhez kapcsolódtak. A programok között szerepelt például az észak-alföldi Csörsz-árok archeo-geomorfológiai értékeléséről szóló előadás, valamint a „mineral theologia” magyarországi történetének bemutatása.

Az év során emlékülést tartottak Bárdossy György születésének 100. évfordulója alkalmából, továbbá több előadás foglalkozott tudományos expedíciók és kutatóutak történetével, illetve neves geológusok munkásságával. Az év végi programok között szerepelt egy régi földtani könyveket bemutató rendezvény is.

Köszönetnyilvánítás

Itt szeretnék köszönetet mondani a területi szervezetek, a szakosztályok és a bizottságok elnökeinek, titkárainak és tagjainak, továbbá önkéntes tevékenységet végző tagtársainknak, valamint a titkárság dolgozóinak a 2025-ben elvégzett munkájukért, amelyek eredményeként társulatunk sikeres és sokszínű évet zárhatott.

Bükkszentkereszt, 2025. március 11.

Dr. Zajzon Norbert s.k.
főtitkár

A Magyarhoni Földtani Társulat mint közhasznú szervezet 2025. évi tevékenységéről szóló KÖZHASZNÚSÁGI MELLÉKLETE

1. Közhasznú szervezet azonosító adatai	
név: Magyarhoni Földtani Társulat	
székhely: 1015 Budapest, Csalogány u. 12. I/1.	
bejegyző határozat száma: 6. Pk.60440/1	
nyilvántartási szám: 01-02-0000411	
képviselő neve: M. Tóth Tivadar	
2. Tárgyévben végzett alapcél szerinti és közhasznú tevékenységek bemutatása	
<p>A Társulat célja a földtan és rokontudományai művelésével foglalkozó szakemberek összefogása, a kutatási eredmények bemutatása, terjesztése, a kutatási tevékenység elősegítése, a tudományos és gyakorlati továbbképzés segítése, a kulturális örökség ápolása.</p> <p>Közhasznú tevékenységei: tudományos tevékenység, nevelés és oktatás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés, természetvédelmi, környezetvédelmi és a kulturális örökség megóvására irányuló tevékenység. A 2025-ös évben megemlékező kirándulást szerveztünk, országsszerte konferenciákat és ismeretterjesztő rendezvényeket tartottunk, valamint társadalmi felelősségvállalási programunk keretein belül földtudományi élménynapokat tartottunk 3H-s térségek gyermekeinek.</p>	
3. a) Közhasznú tevékenységek bemutatása (tevékenységenként), közhasznú tevékenység megnevezése: Ismeretterjesztés:	
<p>Az „Év ásványa”, „Év ősmaradványa” ismeretterjesztő program folytatásaként országos rajzpályázat általános iskolásoknak és számos ismeretterjesztő rendezvény országsszerte. Geotóp napok (természetvédelmi érzékenyítő geotúrák az ország különböző helyszínein). Földtudományos forgatag hibrid megrendezése széles társadalmi csoportok számára. Emlékek óre programhoz kötődően földtani hagyományörző feladatokat láttunk el.</p>	
közhasznú tevékenységhez kapcsolódó közfeladat, jogszabályhely:	1996. évi LIII. törvény a természet védelméről 19. § A földtani természeti értékek általános védelme
a közhasznú tevékenység célcsoportja:	Szakemberek, érdeklődő laikusok, családok, iskolai tancsoportok, középiskolás diákok, általános iskolások és az élethosszig tartó tanulás jegyében idősek
a közhasznú tevékenységből részesülők létszáma:	Kb. 50.000
a közhasznú tevékenység főbb eredményei:	Szemléletformálás. A földtani környezetek sérülékenységének és védelmének, az ásványi nyersanyagok értékének és társadalmi jelentőségének bemutatása, Magyarország földtani értékeinek bemutatása, laikus tömegek megszólítása, hazánk földtudományi értékei iránt a figyelem felkeltése, földtani örökségvédelmi szemléletformálás.
b) közhasznú tevékenység megnevezése: Oktatás, továbbképzés: Ifjúsági Bizottság mentorprogramja és Ifjú Szakemberek Ankétjának társszervezése, földtudományi gyermektábor szervezése. Valamennyi hazai és nemzetközi konferenciánkon diáktámogatásokat nyújtottunk, és számos díjat adtunk át. Ingyenes online podcast- és oktatási segédanyag-sorozatokat indítottunk.	
közhasznú tevékenységhez kapcsolódó közfeladat, jogszabályhely:	2011. évi CCIV. törvény a nemzeti felsőoktatásról 15. § A felsőfokú végzettségi szint és a szakképzettség
a közhasznú tevékenység célcsoportja:	Egyetemi hallgatók, doktoranduszok, fiatal szakemberek, középiskolás diákok, általános iskolások és az élethosszig tartó tanulás jegyében idősek
a közhasznú tevékenységből részesülők létszáma:	Kb. 25.000
a közhasznú tevékenység főbb eredményei:	Egyetemi hallgatók, fiatal szakemberek felkészítése a versenyképes munkavállalásra, szakmai utánpótlás nevelése, az Aktuál-földtudomány podcastsorozattal széles rétegek tájékoztatása
c) közhasznú tevékenység megnevezése: kutatási eredmények bemutatására szervezett rendezvények, konferenciák, területi szervezetek, szakosztályok előadóülései, terepbejárások: 47 rendezvényt tartottunk, ebből 3 többnapos terepbejárást is tartalmazó szakmai konferencia. 1 külföldi terepbejárás és 43 (többségében hibrid) előadóülés, melyeken összesen 264 előadás hangzott el, pl. „Kritikus ásványi nyersanyagok a versenyképesség szolgálatában”, „A Tiszai-főegység és egyéb magyarországi földtani-geofizikai kutatások legújabb eredményei”	
közhasznú tevékenységhez kapcsolódó közfeladat, jogszabályhely:	2004. évi CXXXIV. törvény a kutatás-fejlesztésről és a technológiai innovációról. 4. § alapkutatás, alkalmazott kutatás
a közhasznú tevékenység célcsoportja:	Hazai és külföldi földtudományi szakemberek, egyetemi hallgatók
a közhasznú tevékenységből részesülők létszáma:	Kb. 1918
a közhasznú tevékenység főbb eredményei:	Alap- és alkalmazott kutatások tudományos eredményeinek közzététele előadások formájában, a konferenciák absztraktköteteinek publikálása, illetve a <i>Földtani Közöny</i> tudományos folyóirat megjelenítése és terjesztése

4. Közhasznú tevékenység bevételei (ezer Ft)		
Vagyonelem megnevezése	Előző év	Tárgyév
Közhasznú támogatások	12516	24111
Közhasznú tevékenység bevételei	7845	13656
Tagdíjak, egyéb bevételek	7702	7196
5. Cél szerinti juttatások kimutatása		
Cél szerinti juttatás megnevezése	Előző év	Tárgyév
Egyetemisták, fiatal szakemberek konferencia-részvétele, illetve szakmai útjának támogatása	264	312
Földtani és Geofizikus Vándorgyűlés támogatása	0	230
Alapítványok támogatása	0	0
6. Vezető tisztségviselőknek nyújtott juttatás		
Tisztség	Előző év (1)	Tárgyév (2)
A. Vezető tisztségviselőknek nyújtott juttatás összesen:	0	0
7. Közhasznú jogállás megállapításához szükséges mutatók		
Alapadatok	Előző év (1)	Tárgyév (2)
B. Éves összes bevétel	28063	44963
ebből:		
C. a személyi jövedelemadó meghatározott részének az adózó rendelkezése szerinti felhasználásáról szóló 1996. évi CXXXVI. törvény alapján átutalt összeg	514	643
D. közszolgáltatási bevétel	0	0
E. normatív támogatás	0	0
F. az Európai Unió strukturális alapjaiból, illetve a Kohéziós Alapból nyújtott támogatás	0	0
G. Korrigált bevétel [B-(C+D+E+F)]	28066	44319
H. Összes ráfordítás (kiadás)	26466	40735
I. ebből személyi jellegű ráfordítás	10665	11732
J. Közhasznú tevékenység ráfordításai	23830	37424
K. Adózott eredmény	1597	4228
L. A szervezet munkájában közreműködő, közérdekű önkéntes tevékenységet végző személyek száma (a közérdekű önkéntes tevékenységről szóló 2005. évi LXXXVIII. törvénynek megfelelően)		
Erőforrás-ellátottság mutatói	Mutató teljesítése	
Ectv. 32. § (4) a) $[(B1+B2)/2 > 1.000.000,- Ft]^1$	Igen	Igen
Ectv. 32. § (4) b) $[K1+K2 \geq 0]^2$	Nem	Igen
Ectv. 32. § (4) c) $[(I1+I2-A1-A2)/(H1+H2) \geq 0,25]^3$	Igen	Igen
Társadalmi támogatottság mutatói	Mutató teljesítése	
Ectv. 32. § (5) a) $[(C1+C2)/(G1+G2) \geq 0,02]^4$	Igen	Nem
Ectv. 32. § (5) b) $[(J1+J2)/(H1+H2) \geq 0,5]^5$	Igen	Igen
Ectv. 32. § (5) c) $[(L1+L2)/2 \geq 10 f\ddot{o}]^6$	Nem	Igen

¹a szervezet átlagos éves bevétele meghaladja az 1 millió forintot

²a két év egybeszámított adózott eredménye nem negatív

³a személyi jellegű ráfordítások – a vezető tisztségviselők juttatásainak figyelembe vétele nélkül – eléri az összes ráfordítás negyedét

⁴a személyi jövedelemadó 1%-ának felajánlásából befolyó összeg eléri a korrigált bevétel kettő százalékát

⁵a közhasznú tevékenység érdekében felmerült költségek, ráfordítások eléri az összes ráfordítás felét két év átlagában

⁶a közhasznú tevékenység ellátását tartósan (két év átlagában) legalább tíz közérdekű önkéntes tevékenységet végző személy segíti, a vonatkozó (2005. LXXXVIII. tv.-nek megfelelően).

Budapest, 2026. április 8.

Dr. M. Tóth Tivadar
elnök

Kozmikus mállás szimulációs vizsgálata besugárzott meteoritok alapján

GYOLLAI Ildikó^{1,4}, RÁCZ Richárd², BIRI Sándor², JUHÁSZ Zoltán², KERESZTURI Ákos^{3,4,5}, KIRÁLY Csilla^{4,6},
REZES Dániel^{3,4}, SULIK Béla², SZABÓ Máté^{1,4}, SZALAI Zoltán^{4,5,6}, SZÁVAI Péter^{4,6}

¹Földtani és Geokémiai Intézet, HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Budapest, 1121, Budaörsi út 45., ²HUN-REN Atommagkutató Intézet, Debrecen, Bem tér 18/c, H-4026, ³Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Budapest, 1121, Konkoly Thege Miklós út 15–17., ⁴CSFK, MTA Kiváló Kutatóhely Budapest, 1121, Konkoly Thege Miklós út 15–17. ⁵Eötvös Loránd Tudományegyetem, (ELTE) Budapest, Hungary, ⁶Földrajztudományi Intézet, HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Budapest 1121, Budaörsi út 45.

Simulation of space weathering by the analysis of irradiated meteorites

Abstract

Raman and infrared spectroscopic measurements were performed on a CO3-type carbonaceous chondrite sample designated NWA 10580, at identical measurement points before and after three successive proton irradiation cycles. To simulate cosmic weathering under laboratory conditions, the sample was irradiated with 1 keV protons at flux values of 10^{11} , 10^{14} , and 10^{17} ions/cm₂ for each experimental cycle. Following irradiation, the Raman spectroscopic measurements revealed changes in the full width at half maximum (FWHM) and peak positions of the main spectral bands. In both the Raman and FTIR spectra, several low-intensity bands (663, 697, 913 cm⁻¹) of piroxén (FTIR), and 658 cm⁻¹ piroxén (Raman), while for olivine 978 cm⁻¹ (FTIR) disappeared after irradiation. In the infrared region the pyroxene bands exhibited both positive [at smaller peaks (664 cm⁻¹: +3 cm⁻¹, 913 cm⁻¹: +1 cm⁻¹)] and negative peak shifts, whereas olivine primarily showed negative peak shifts (894 cm⁻¹: -7 cm⁻¹, 978 cm⁻¹: -8 cm⁻¹) and, in several cases, the disappearance of minor peaks. The loss of these low-intensity peaks in both the infrared and Raman spectra indicates amorphization of the respective mineral phases. The most stable spectral bands identified in this way may contribute to the future optimization of detector systems on space probes, as well as to the correlation of meteorite samples with their parent asteroids.

Keywords: meteorite, space weathering, proton irradiation, FTIR spectroscopy, Raman spectroscopy

Összefoglalás

Az NWA 10580 jelű, CO3 típusú szenes kondritmintán, azonos mérési pontokon Raman- és infravörös spektroszkópiai méréseket végeztünk három, egymást követő protonbesugárzási ciklust megelőzően, valamint azokat követően. A kozmikus mállás laboratóriumi körülmények közötti szimulálásához 1 keV energiájú protonokat alkalmaztunk, kísérletenként 10^{11} , 10^{14} és 10^{17} ion/cm₂ fluxus értékekkel. A besugárzásokat követően a Raman-spektroszkópiai mérések során megfigyelhető a fő csúcsok félértékszélességének (FWHM) és csúcspozícióinak változása. A Raman- és FTIR-spektrumokban az olivín és a piroxén esetében több alkalommal is eltűntek a kisebb intenzitású csúcsok (663, 697, 913 cm⁻¹) a piroxénél (FTIR), és 658 cm⁻¹ a piroxénél (Raman), valamint olivinnél 978 cm⁻¹ (FTIR) pozícióban. A piroxén infravörös tartományban megjelenő csúcsainál egyaránt kimutathatók pozitív [kisebb csúcsoknál 664 cm⁻¹ (+3 cm⁻¹), 913 cm⁻¹ (+1 cm⁻¹)] és negatív irányú csúcseltolódások (1046 cm⁻¹ (-7 cm⁻¹), míg az olivinre elsősorban negatív csúcseltolódások (894 cm⁻¹: -7 cm⁻¹, 978 cm⁻¹: -8 cm⁻¹), valamint több esetben a kisebb csúcsok eltűnése jellemző. Utóbbi mind az infravörös, mind a Raman-spektrumokban az adott ásványfázisok amorfizációjára utal. Az ily módon azonosított, leginkább stabil csúcsok kiválasztása hozzájárulhat a jövőbeni űrszondák detektorrendszerének optimalizálásához, valamint a meteoritminták kisbolygókhoz való kapcsolásához.

Tárgyszavak: meteorit, kozmikus mállás, protonbesugárzás, FTIR-spektroszkópia, Raman-spektroszkópia

Bevezetés

A kozmikus mállás folyamata (BRUNETTO et al. 2015) módosítja a kisbolygók felszíni ásványtani szerkezetét azáltal, hogy csökkenti az ásványfázisok spektrális intenzitását (CHAPMAN 2004), ami megnehezíti a meteoritcsoportok és az adott kisbolygók közötti megfeleltetést (DEMEO et al. 2022, KRÁMER RUGGIU et al. 2021). A

légkörrel nem rendelkező égitestek felszínét jelentős mértékben befolyásolja a galaktikus és szoláris eredetű töltött részecskék – elsősorban protonok és alfa-részecskék – besugárzása, ezek kristályrácsba történő beépülése és a kémiai kötések felbomlása; továbbá az ultrabolyga sugárzás, a mikrometeorit-becsapódások, valamint a napi hőmérséklet-ingadozások hatása. A kozmikus mállás eredményeként aprózódás, repedéshálózatok kialakulása, részleges

olvadás és amorfizáció figyelhető meg, amelyek összességében átalakítják a kisbolygók felszínének megjelenését, ásványos és kémiai összetételét. E folyamatok részletes vizsgálata elősegíti a meteoritok eredetéről szolgáló égitestek azonosítását, ugyanakkor ehhez elengedhetetlen a klasszikus földtudományi laboratóriumi módszerek alkalmazása.

Kutatásunk célja a napszél által kiváltott kozmikus mállás hatásainak azonosítása és mélyebb megértése az NWA 10580 jelű CO3 típusú szenes kondrit meteoriton, laboratóriumi protonbesugárzási kísérletek, valamint infravörös és Raman-spektroszkópiái adatok együttes értékelésének segítségével. A tudományos megértés mellett kiemelt jelentőségű annak vizsgálata is, hogy a különböző spektrális felbontással milyen mértékben észlelhetők a karakterisztikus csúcsok – ez alapvető információt nyújt arról, hogy a jövőbeli kisbolygókutató űrszondák fedélzetén működő infravörös detektorok milyen megfigyelési képességekkel kell rendelkezzenek a kozmikus mállás nyomainak és a célpontot alkotó ásványok megbízható azonosításához.

Kozmikus mállás

A napszél energiájának hatása jelentősen befolyásolja a kozmikus mállás következményeit, és nemcsak az ionok energiaszintje, hanem a teljes észlelt dózis is kulcsszerepet játszik az átalakulásban. Az ún. fluxus-értékek reprezentálják a napszél expozíciós időskáláit (pl. DUKES et al. 1999, VERNAZZA et al. 2013, LANTZ et al. 2015, LAZZARIN et al. 2006, BRUNETTO et al. 2014). Mivel a laboratóriumi vizsgálatok időskálája jelentősen rövidebb, mint a valós expozíciós időtartamok, ezért ezeket az eltéréseket magasabb dózissal és intenzívebb besugárzással kompenzálják. A besugárzási intenzitás különböző mértékegységek segítségével jellemezhető: fluens, amely a teljes kísérlet során a vizsgált egységnyi felületre jutó ionok össz mennyiségét mutatja; a besugárzás során átadott energia teljes mennyisége; és a dózis, amely az elnyelt energia egységnyi tömegként. A besugárzási vizsgálatokat megelőző és követő infravörös és Raman-spektrumok lehetővé teszik az ásványok változásainak nyomon követését.

Korábban Raman-spektroszkópiával különböző típusú mintákon végeztek méréseket, például olivinen (LANTZ et al. 2017), polisztirolon és olivinen (KAŇUCHOVÁ et al. 2017). LANTZ et al. (2017) a Lance-meteoriton, amelyen megfigyelték a szilikátok amorfizációját: a 850 és 820 cm^{-1} körüli olivincsúcsok intenzitása a Raman-spektrumokban a besugárzások hatására jelentősen csökkent, és néhány helyen szinte teljesen eltűntek. Ez a dupla főcsúcs az olivin Raman-spektrumának egyik meghatározó jellemzője, amely a SiO_4 tetraéderek szimmetrikus és aszimmetrikus vegyérték rezgésmódjaihoz kapcsolódik (KUEBLER et al. 2006). Emellett LANTZ et al. (2015, 2017) a Tagish Lake-, Murchison- és Lance-meteoritokban is végeztek Raman-spektroszkópiás vizsgálatokat olivinszemcséket célozva. Mindezek a

vibrációs típusok megfigyelhetők Raman-spektroszkópiával az olivin kristályszerkezetében besugárzás előtt, míg erősebb besugárzások után a csúcsetelődés és az intenzitás csökkenése a kristályszerkezet amorfizációjával hozható összefüggésbe.

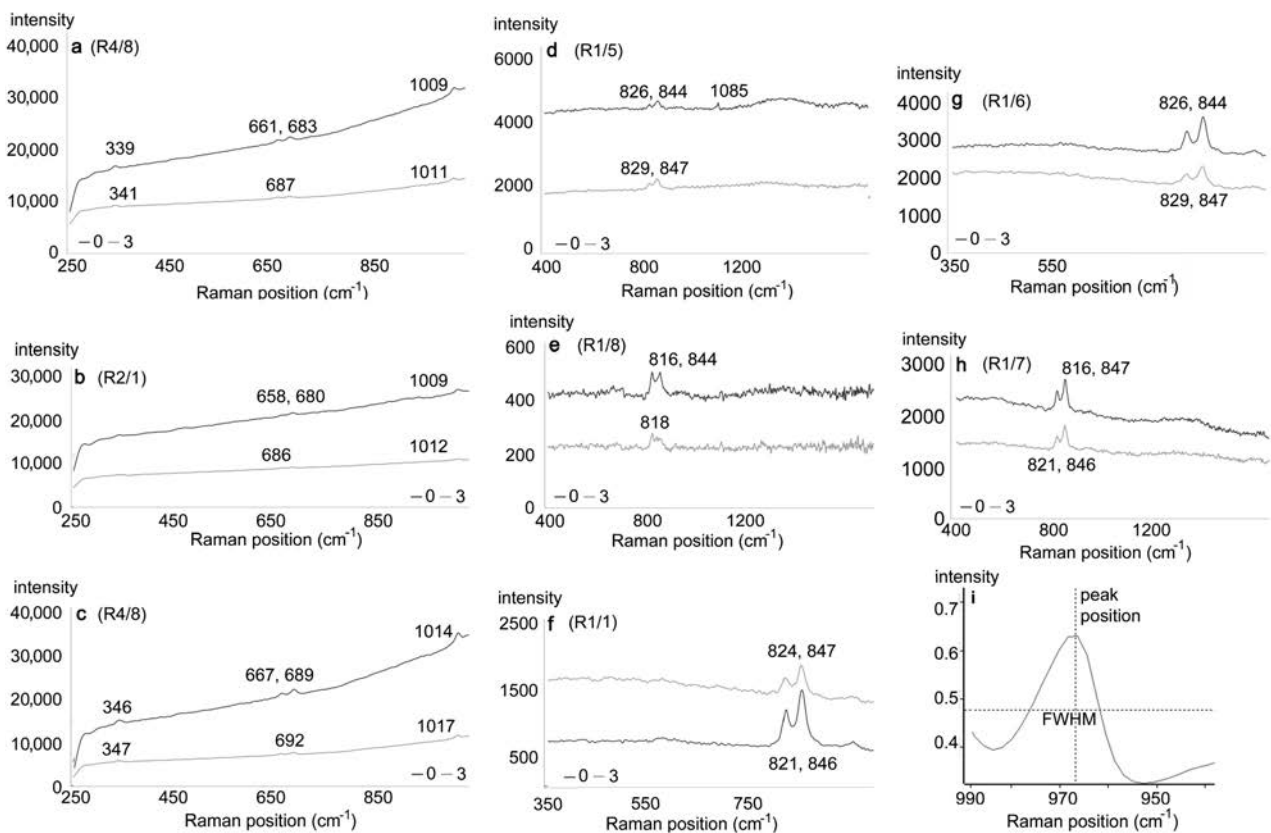
LANTZ et al. (2015) a kutatásában BRUNETTO et al. (2006, 2020) munkájához hasonlóan besugárzás hatására a szerves anyagok átalakulását (D és G csúcsok eltolódása a szerves anyagban) vizsgálta, míg IR-módszerekkel az Mg-szilikátokban történő változásokat elemezte. Éppen emiatt hiánypótló, hogy mi besugárzás hatásait ásványokban Raman-nal is vizsgáltuk, és a változásokból levont következtetéseket az irodalomban is leírt IR-változásokkal is összekapcsoltuk.

Raman-spektroszkópiával korábban inkább a sokkmeta-morf átalakulásokat írták le meteoritásványokban, ami szintén amorfizációval járt. Ez segít a besugárzás során bekövetkezett amorfizáció megértésében is, illetve a jelenség besugárzás utáni Raman-spektroszkópiái mérések interpretálásában. LANTZ et al. (2017) a Mg-tartalmú ásványok IR-elemzése (VIS-NIR, IR reflexiós mérés) mellett Raman-spektroszkópiával is vizsgálta az olivint, ahol annak a fő dubletje (820, 850 cm^{-1}) jelentős intenzitáscsökkenését („csaknem eltűnését”) észlelte besugárzás után. A mi méréseinkben is az 1/e ábrán R1/8 mérési pontban az olivin dublet 818 és 844 cm^{-1} csúcsai közül besugárzás után a 844 cm^{-1} csúcs eltűnt. LANTZ et al. (2015, 2017) a Mg-tartalmú szilikátok Mg-csökkenését észlelték, ami az IR-spektrumokban a cm^{-1} skálán a csúcspozíció csökkenését okozta, valamint a „spectral reddening” vagyis az IR-spektrumok vöröseltolódása is itt figyelhető meg.

Módszerek

A kutatás során az elemzett meteorit ugyanazon területein végeztünk méréseket minden egyes besugárzási ciklus előtt és után, hogy nyomon követhessük az ásványok fokozatos változását. A pontos összehasonlítás érdekében az IR- és Raman-mérések során 3 piroxén és 5 olivin szemcsét az NWA10580 meteoritban, kondrumokon belül és a mátrixban egyaránt. A hazai ásványtani kutatásokban is széleskörűen alkalmazott Raman-spektrumokat (KOVÁCS et al. 2014, 2015; TÓTH et al. 2012) az ásványtani jellemzők változásainak követésére alkalmaztuk, lehetővé téve az ásványok azonosítását és szerkezeti jellemzését, valamint a besugárzást követő amorfizáció megfigyelését. A szintén elterjedten alkalmazott infravörös spektrumok (LANGE et al. 2019, MOLNÁR et al. 2021) hasonló céllal készültek, de ez a módszer érzékenyebb a víztartalomra, a kristályszerkezet torzulására és a kémiai változásokra, illetve különbség van az amorfizáció azonosíthatóságában a két módszer között.

Az infravörös spektroszkópiás és mikroszkópos vizsgálatokhoz Vertex 70 FTIR spektrométert és Hyperion 2000 mikroszkópot alkalmaztunk, 15× nagyítású IR-objektívvel, reflexiós módban. A mérések során minden



I. ábra. Raman-spektrumok a mérési területek elnevezései alapján, piroxén ásványok: a (R4/9), b (R2/1), c (R4/8); olivín ásványok: d (R1/5), e (R1/8), f (R1/1), g (R1/6), h (R1/7). Megfigyelhető, hogy a besugárzást követően általános tendencia a csúcsok intenzitásának csökkenése

Figure 1. Raman spectra of several measured locations, pyroxene minerals: a (R4/9), b (R2/1), c (R4/8); olivine minerals: d (R1/5), e (R1/8), f (R1/1), g (R1/6), h (R1/7). The spectral curves demonstrate the general tendency of band weakening after the irradiations

egy helyszínen 32 szkenneléssel végeztük, 400–4000 cm^{-1} közötti spektrális tartományban, egy mérési pont esetén 30 másodperces integrálási időtartammal és közel 4 cm^{-1} spektrális felbontással. A kapott spektrumok feldolgozására a Bruker Optics Opus 5.5. szoftvert használtuk, amely lehetővé tette az alapvonal-korrekciót, valamint az atmoszférikus háttérhatások kompenzálását. Az IR 15 \times nagyítású objektív látómezeje 200 μm volt. Az egyes besugárzási ciklusokat követő mérések során a látómezőt mindig a korábban ugyanezen területen mért látómezővel megegyező területre állítottuk, amiben a mikroszkóp képernyőjének aktuális képének és annak korábbi elmentett változatának összehasonlítása segített. Ennek megfelelően azonos pontok eltérő mérései a lehetőségek szerint legjobban fedték le egymást, azaz a mérés mindig ugyanazon területről készült a felbontás szintjéig.

A Raman-spektroszkópiás méréseket a Malvern Instruments által gyártott Morphologi G3SE-ID készülékkel végeztük. A berendezés egy Kaiser Optical Systems Inc. Raman Rxn1 spektrométert tartalmazott, 785 nm hullámhosszúságú lézerral, 30 másodperces expozíciós idő mellett, 10 mW teljesítménnyel. A lézergyár által besugárzott terület 3 \times 3 μm -es volt, melyet 50-szeres nagyítás mellett jelöltük ki, a spektrális felbontás 4 cm^{-1} volt. A Raman-spektrumok beolvasásához és értékeléséhez a Bio-Rad KnowItAll ID Expert és Morphologi szoftvereket

alkalmaztuk. Az ásványok összehasonlító spektrumait a RRUFF adatbázisból importáltuk (LAFUENTE et al. 2015). A fenteknek megfelelően a Raman- és infravörös mérések látómezeje nem teljesen egyezett meg.

A mérések során két fő paramétert határoztunk meg: a csúcspozíciót és a félértékszélességet (FWHM – Full Width at Half Maximum). A csúcsejtölődásokat olyan mérési helyszíneken dokumentáltuk, ahol a besugárzás előtt és után is megfigyelhetők voltak az adott sávok, emellett mértük a csúcsok pozícióinak változását. Az FTIR mérési területeket kisbetűkkel és számokkal jelöltük („a, b, c, d” területek), míg a Raman-mérési helyszíneket nagy „R” betűkkel és számokkal (R1, R2, R3, R4 területek) azonosítottuk.

A mintát a HUN-REN Atommagkutató Intézet (ATOMKI) elektronciklotron-rezonanciás (ECR) ionforrása által generált 1 keV-os protonokkal sugároztuk be vákuumkörnyezetben három alkalommal: az első besugárzás során 15 másodpercen keresztül (10^{11} ion/ cm^2), a második besugárzás esetében 1 órán át (10^{14} ion/ cm^2), míg a harmadik besugárzásnál 1 napig (10^{17} ion/ cm^2) végeztük a besugárzást. Ennek következtében minden egyes besugárzási ciklus után a meteorit mintáján az előző besugárzások hatásai összeadódtak. A kutatás során elsősorban a nem besugárzott és a legerősebben besugárzott (harmadik besugárzás) minták közötti változásokat ele-

meztük az NWA 10580 jelű CO3 típusú, viszonylag gyakori és tipikus szenes kondrit meteorit vastag csiszolatán, illetve szeletek csiszolt felületein vizsgálva. További adtak a kérdéses meteorittal kapcsolatos vizsgálatokból egyéb munkáinkban olvashatók (KERESZTURI et al. 2024, 2025) – ebben a cikkben ezek összekapcsolása és közös értelmezése kerül bemutatásra.

A mérések során az ásványok orientációját nem vettük figyelembe, mivel viszonylag nagy területet lefedő részeket elemeztünk, amelyeknél a jellemző apró szemcseméret miatt sok (várhatóan eltérő orientációjú) szemcse együttesen járult hozzá a felvett színekpekhez.

Eredmények, ásványok azonosítása

A Raman-mérések során a kijelölt ásványok azonosítására az infravörös mérések során az ásványokat jellegzetes csúcsok segítségével, a RRUFF-adatbázis és a Crystal Sleuth-szoftver alkalmazásával (LAFUENTE et al. 2015), valamint a vonatkozó szakirodalom alapján. a következő fő csúcsokat használtuk: 1010 cm^{-1} a piroxén, valamint 819 és 840 cm^{-1} az olivin esetében. Az olivin kisebb csúcsai 950 cm^{-1} -nél, míg a piroxén kisebb csúcsai 340, 660 és 680 cm^{-1} körül található. A csúcsetolódásokat és az FWHM-értékeket az ásványok főbb csúcsainál elemeztük: olivin esetében a 819 és 840 cm^{-1} -es dupla fő csúcsoknál, a piroxénél pedig a 1010 cm^{-1} -es Raman-eltolódásnál. A kalcitot a besugárzás előtt 1086 cm^{-1} -nél azonosítottuk a Raman-spektrumokban, azonban a besugárzások után már nem észleltük azt.

Az ásványok amorfizációjának mértékét nemcsak a fő csúcsok, hanem a kisebb csúcsok változásai is jelzik. A kisebb, kevésbé intenzív csúcsok korábban eltűntek, mint a nagyobb intenzitású fő csúcsok. Például egy Raman-spektrum esetében megfigyelhető, hogy az olivin dupla csúcsai egyetlen csúcscsá olvadtak össze a kristályszerkezet amorfizációja következtében (1/e ábra, R1/8). Általánosságban elmondható, hogy a 3. besugárzás után az ásványok (olivin, piroxén) spektrumában kevesebb csúcs figyelhető meg, mint a korábbi besugárzásoknál (2. ábra).

Raman-spektroszkópia

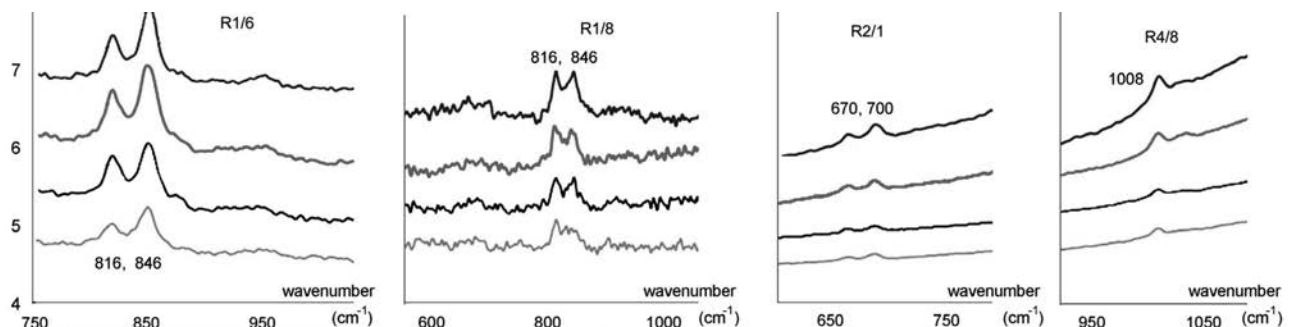
Az alábbiakban (1. ábra) jellegzetes példákat mutatunk be az eredeti (nem besugárzott) és a legerősebben besugárzott állapotok közötti Raman-csúcsváltozásokra (lásd később 4. ábra). A besugárzást követően általános tendencia figyelhető meg a Raman-csúcsok intenzitásának csökkenésében is.

A vizsgálatban megfigyelt csúcsetolódások a besugárzási fluxus növekedésével arányosan erősödtek, amely az olivin amorfizációjára utal. Az első besugárzás után (+9 cm^{-1}) és a második (+3 cm^{-1}) besugárzást követően az esetek 20%-ában, míg a harmadik besugárzás után az esetek 50%-ában (+2,5 cm^{-1}) volt kimutatható az olivin fő dupla csúcsának eltolódása egy-egy mérési területen. Az olivin esetében a harmadik besugárzást követően emelkedő FWHM-értékeket tapasztaltunk.

A piroxén esetében az 1014 cm^{-1} sáv FWHM értéke az első és második besugárzást követően növekedést, míg a harmadik besugárzást követően csökkenést mutatott. A csúcspozíció eltolódása az első besugárzást követően csökkenő trendet mutat (az esetek 60%-ában -2,5 cm^{-1}), míg a második besugárzás után az adatok 20%-ában emelkedés (+3 cm^{-1}), 80%-ában további csökkenés (-2 cm^{-1}) figyelhető meg. A harmadik besugárzást követően viszont valamennyi vizsgált mérési ponton növekvő csúcsetolódás tapasztalható, átlagosan +5 cm^{-1} mértékben.

A Raman-spektroszkópiai vizsgálatok révén a besugárzások előtt és után egyéb ásványfázisok is azonosításra kerültek, többek között agyagásványok, apatit, pirit, markazit, goethit, hematit, kromit, sziderit, kalcit és klorit, melyek a besugárzások hatására esetenként átalakulást vagy amorfizációt mutattak. A gyengébben kristályosodott földpátból, valamint a víztartalmú ásványokból (például agyagásvány, klorit, goethit) származó Raman-csúcsok a harmadik besugárzást követően eltűntek, feltehetően a víztartalom elvesztése következtében.

Az olivin (823 cm^{-1}) és a földpátfázisok egyaránt növekvő csúcspozíció-eltolódást mutatnak az első és második besugárzást követően. A harmadik besugárzás után mind a piroxén, mind az olivin növekvő csúcsetolódást mutatott, majd a földpátsávok végül eltűntek. A piroxén



2. ábra. A mérési területeken (R1/6, R1/8, R2/1, R4/8) rögzített példa Raman-spektrumok az első, második és harmadik besugárzást követően, valamint a kiindulási állapotokban (egymás alatti görbék)

Figure 2. Example Raman spectra of some locations (R1/6, R1/8, R2/1, R4/8) after the first, second and third irradiation actions together with the intact spectra (at the top)

csúcscsúszódása az első és második besugárzást követően csökkenő értékeket mutat, míg a harmadik besugárzást követően növekvő tendencia figyelhető meg.

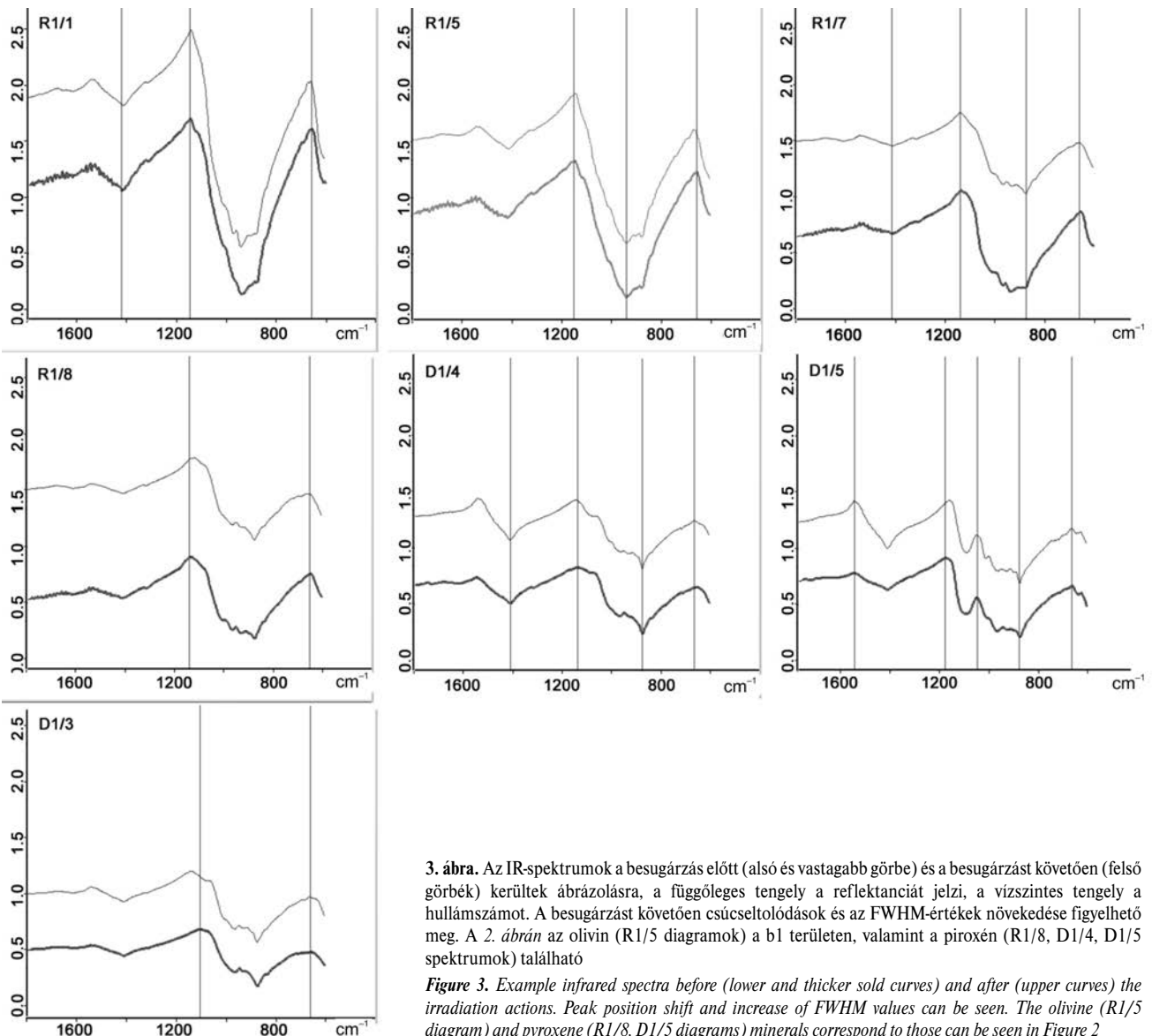
Infravörös spektroszkópia

A piroxén IR-spektruma a c1 és d1 területeken figyelhető meg (a 3. ábrán D1/3–5 diagramok, 1–2. ábrán Raman-spektrumok, 3. ábrán IR-spektrumok, R1/8, D1/3, D1/4, D1/5). A c1 területen a 703 és 667 cm^{-1} mellécsúcsok a besugárzást követően eltűntek, míg az 1046 cm^{-1} főcsúcs $+19 \text{ cm}^{-1}$ -el eltolódott a magasabb hullámszám irányába, 1064 cm^{-1} -ig. A c1 területen (b1/3 helyszín, IR/R1/7; 3. ábra), (Raman-spektrum erről a mérési pontról 1/h ábra) az olivin kisebb csúcsai jellemzően eltűntek, míg az olivin fő csúcsa csökkenő csúcscsúszódást és FWHM-csökkenést mutatott a FTIR-spektrumokban. A piroxén esetében a csúcsok pozíciójában növekvő és csökkenő,

valamint az FWHM-értékek csökkenése volt megfigyelhető. A főcsúcs FWHM-értéke a három mérésből kettő esetében csökkent. A d1 területen a kisebb csúcsok, mint a 940 cm^{-1} (R4/8, R4/9 3. ábra, D1/3-4) és a 693 cm^{-1} (3. ábra, R4/9 IR/D1/5) eltűntek a besugárzást követően. Azok a kisebb csúcsok, amelyek a teljes mérési sorozaton keresztül jelen voltak (913 cm^{-1} és 660 cm^{-1}), magasabb hullámszámok felé tolódtak el ($+3 - +7 \text{ cm}^{-1}$ a 660 cm^{-1} -nél; $+1 \text{ cm}^{-1}$ a 913 cm^{-1} -nél). A piroxén fő csúcsa (1046–1064 cm^{-1}) azonban alacsonyabb hullámszámok felé tolódtott el ($-7 \dots -25 \text{ cm}^{-1}$), miközben az FWHM értékek csökkenése (átlagosan -6 cm^{-1}) volt tapasztalható.

Diszkusszió

A Raman-spektroszkópiában az olivinnek 5 vibrációhoz tartozó csúcsa van (BREITENFELD et al. 2018), ami a mi spektrumainkban is megfigyelhető: dublet 820 és 850 cm^{-1}



3. ábra. Az IR-spektrumok a besugárzás előtt (alsó és vastagabb görbe) és a besugárzást követően (felső görbék) kerültek ábrázolásra, a függőleges tengely a reflektanciát jelzi, a vízszintes tengely a hullámszámot. A besugárzást követően csúcscsúszódások és az FWHM-értékek növekedése figyelhető meg. A 2. ábrán az olivin (R1/5 diagramok) a b1 területen, valamint a piroxén (R1/8, D1/4, D1/5 spektrumok) található

Figure 3. Example infrared spectra before (lower and thicker solid curves) and after (upper curves) the irradiation actions. Peak position shift and increase of FWHM values can be seen. The olivine (R1/5 diagram) and pyroxene (R1/8, D1/5 diagrams) minerals correspond to those can be seen in Figure 2

(SiO₄ tetraéderek nyújtási vibrációja), kis csúcsok 880 920, 960 cm⁻¹ pozíció (Si-O hidak nyújtási vibrációja). A piroxénnek 10 vibrációs módja van (HUANG et al. 2000), melyek közül a fő csúcsa 1005–1020 cm⁻¹ és mellékcúcsai 681 cm⁻¹ (Si-O hajlítási mód), és 420–347 cm⁻¹ (Fe/Mg/Ca-O transzlációs mód) fordulnak elő.

A Raman-csúcsok eltűnését szilikátásványok esetében leggyakrabban sokkmetamorfózis során figyelték meg (VAN DE MOORTELE et al. 2007; DURBEN et al. 1993 – olivin; HUANG et al. 2000 – piroxén; JOHNSON et al. 2003 – földpát). Hasonlót szerves anyagok esetében BRUNETTO et al. (2020) mutatták ki, míg az olivin esetében DEMYK et al. (2001) és LANTZ et al. (2017) publikáltak ilyen megfigyeléseket.

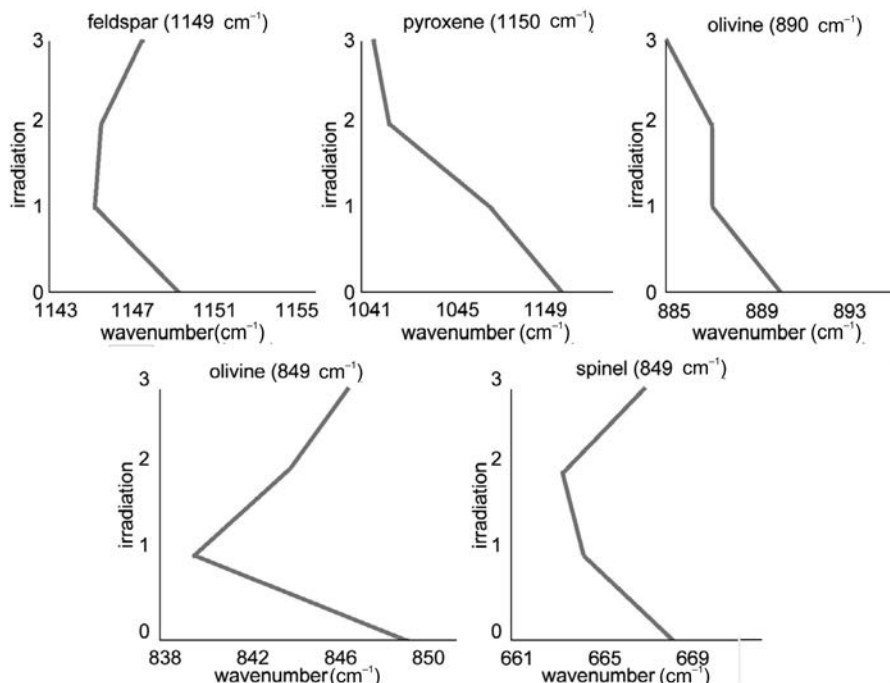
A Raman-spektrumokban a besugárzások után mind a piroxének, mind az olivinek esetében növekvő csúcs-eltolódás és az FWHM növekedése figyelhető meg, mind a fő-, mind a mellékcúcsoknál. Az olivin esetében a fő csúcs (R1/8) eltűnése 840 cm⁻¹-nél tapasztalható, míg több esetben a mellékcúcsok (660–680 cm⁻¹) eltűnése is megfigyelhető a c1 területen. Raman-spektroszkópia alkalmazásakor az olivin és a piroxén fő- és mellékcúcsai egyaránt pozitív Raman-csúcspozíció-eltolódást és az FWHM-értékek növekedését mutatják a besugárzást követően. LANTZ et al. (2017) a Lance-meteoriton végzett vizsgálataik során a szilikátok amorfizációját figyelték meg: az olivincsúcsok intenzitása (850 és 820 cm⁻¹ körül) a Raman-spektrumokban besugárzások után jelentősen csökkent, néhány esetben szinte teljesen eltűnt. A besugárzást követően egyes ásványok eltűnésére is sor került: a kalcit a besugárzás után nem mutatkozott (1. ábra

Raman, d diagram), míg az olivin Raman dupla főcsúcsai (820, 850 cm⁻¹) összeolvadtak, és egyetlen 840 cm⁻¹-es csúcsot képeztek. Ehhez hasonlóan BRUNETTO et al. (2014) nemcsak az olivin fő dubletjének eltűnését figyelték meg az Allende-meteoritban, hanem azt is, hogy a 840 cm⁻¹-es pozíción egyetlen csúcsban egyesült.

Az FTIR-vibrációkhoz tartozó referenciacsúcsokat HAMILTON et al. (2000) írta le: A piroxén fő csúcsa 1046 cm⁻¹-nél van, ami a T-O (tetraéder-oktaéder rétegek közötti) nyújtási vibrációkhoz tartozik az SiO₄ tetraédereknél. A mellékcúcsok 910 és 940 cm⁻¹-nél az Si-O hidak nyújtási vibrációjához tartoznak (4. ábra). A 700 cm⁻¹ alatti csúcsok (690, 660 cm⁻¹) 670 cm⁻¹ a kation-O híd kötésekhez tartoznak. Az olivin fő csúcsa 894 cm⁻¹ és 845 cm⁻¹-nél a Si-O kötések nyújtási és hajlítási vibrációihoz tartozik az SiO₄ tetraéderekben. A 978 cm⁻¹-nél található mellékcúcsok Si-O kötések nyújtási vibrációihoz tartoznak, a 660 cm⁻¹ környékén lévő csúcs a fém-oxigén nyújtási vibrációs módhoz tartozik.

Az infravörös mérések során az olivinben a megfigyelt mellékcúcsok többsége eltűnt, míg a fő csúcs (889 cm⁻¹) eltolódásai jellemzően -3 cm⁻¹ és -41 cm⁻¹ között mozogtak, és az FWHM értéke -6 cm⁻¹ és +4 cm⁻¹ közötti mértékben változott a besugárzások után. A negatív csúcs-eltolódások valószínűleg a kristályszerkezetből eredő Mg-veszteség következményei (LANTZ et al. 2017), míg a besugárzással összefüggő amorfizáció hatására az olivin kisebb, 978 cm⁻¹ sávja eltűnt az IR-spektrumokban (BRUNETTO et al. 2014, 2020).

A piroxénben a fő IR-csúcsok csökkenő értékű pozíciót



4. ábra. A fő FTIR-csúcspozíció-változások átlaga (vízszintes tengely) különböző besugárzások során (függőleges tengely) az egyes megfigyelt földpát, piroxén, olivin, spinel ásványok esetében

Figure 4. FTIR Peak position changes (horizontal axis) by various irradiation actions (vertical axis) for feldspar, pyroxene, olivine and spinel minerals

és változó FWHM-módosulást mutatnak. A piroxén kisebb csúcsai nem tűnnek el, azonban növekvő csúcsetolódást és növekvő FWHM-értékeket figyelhetünk meg az IR-spektrumokban. A c1 területen (2. ábra) a 703 és 667 cm^{-1} sávok eltűntek, míg a d1 területen a 940 cm^{-1} sáv szintén eltűnt a besugárzást követően. A d1 területen az FWHM változása átlagosan +20 és +93 cm^{-1} között mozog a 660 cm^{-1} csúcsnál, valamint +43 cm^{-1} a 693 cm^{-1} csúcsnál. Összegzőként elmondható, hogy a piroxén fő csúcsánál FWHM-csökkenés tapasztalható (–0 és –14 cm^{-1} között), míg a mellékcsúcsok esetében az FWHM növekedése figyelhető meg.

Az olivint és a piroxént átlagosan növekvő csúcsetolódás és FWHM-változás jellemzi a főbb csúcsoknál (lásd később II. táblázat). Az FTIR-spektrumokban viszont mind az olivin, mind a piroxén esetében csökkenő átlagos csúcsetolódás és FWHM-változás figyelhető meg a fő csúcsoknál (lásd később II. táblázat).

A Raman- és az infravörös változások összehasonlítása

Az IR-spektrumokban a fő csúcsok pozíció- és FWHM-változása negatív irányúak, míg a kisebb csúcsok eltűnnek, vagy a csúcsetolódás és az FWHM változása pozitív

tendenciát mutat (I. táblázat). Ennek következményeként a besugárzás utáni amorfizáció jobban megfigyelhető a kisebb csúcsoknál, amelyek esetében a csúcsetolódás és az FWHM-változás nagyobb irányba történik, vagy a csúcsok teljesen eltűnnek, részben hasonlóan a sokkmetamorfizis során tapasztalt változásokhoz (SHARP & DE CARLI 2006, JOHNSON et al. 2003). Az FTIR-spektroszkópia alkalmazása során a besugárzást követően az FWHM változása és a csúcsetolódás közötti összefüggés egyértelműen megfigyelhető az adatainkban (III. táblázat). A besugárzás mértékének növekedésével a csúcsok magasabb hullámszám irányába tolódnak el, miközben az FWHM értékei is növekednek a Raman-spektrumokban. Ez a jelenség a kristályszerkezetben lévő rendezetlen SiO_4 tetraéderek jelenlétével magyarázható (JOHNSON et al. 2003). A kristályosodottsági fok csökkenése, a SiO_4 tetraéderek dimerizációjához (SiO_2 molekulákká való széteséséhez) vezet (JOHNSON et al. 2003). A besugárzást követően a kisebb csúcsok eltűnése, valamint a nagyobb csúcsok eltolódásának és FWHM-változásának növekedése az amorfizációval hozható összefüggésbe, így ezen megfigyelések a sokkmetamorfizmusra vonatkozó hivatkozásokban is alkalmazhatók.

A fő csúcsok negatív (csökkenő) csúcspozíció-változása arra utal, hogy az FTIR-spektrumok érzékenyebbek a magnézium veszteségére (csökkenő csúcspozíció – LANTZ

I. táblázat. Összefoglaló táblázat a kéziratban használt Raman- és infra csúcspozíciókról

Table I. Summary of the Raman and infrared peak positions used in this work

	Raman (csúcspozíció cm^{-1})				IR (csúcspozíció cm^{-1})				
	820	850	948		894	849	978		
Olivin	820	850	948		894	849	978		
Piroxén	339	661	683	1009	1046	940	913	693	660
Spinell					668				
Földpát	505				1149				
Kalcit	1085								

II. táblázat. Infravörös sávok a b1 (olivin) és c1 (piroxén), valamint d1 területeken a besugárzások előtt és után csúcsetolódás és FWHM-értékekkel. Mivel az olivin sávjai eltűntek a 3. besugárzás során, utóbbi esetben a 2. besugárzás utáni értékeket hasonlítottuk össze a Raman-eredményekkel (I. táblázat)

Table II. IR bands and FWHM values of olivine b1 area and of pyroxene at c1, and d1 areas before and after the irradiation with peak shift and change of FWHM values. Because the olivine bands disappeared after the 3rd irradiation, we use values after the 2nd irradiation for comparison of spectral changes by Raman spectroscopy (Table I)

IR area	Raman area	Spec	Before irradiation (cm^{-1})	FWHM (cm^{-1})	After irradiation	FWHM (cm^{-1})	Peak shift (cm^{-1})	Change FWHM (cm^{-1})
(b1/2)	R1/1	1	978, 894	7, 11	970, 845	11, 11	-8, -39	+4, 0
(b1/2)	R1/5	2	978, 894	7, 11	887	6	d, -7	d, -5
(b1/2)	R1/6	3	978, 894	7, 11	891	5	d, -3	d, -6
(b1/2)	R1/7	5	894	11	887	5	-7	-6
(b1/2)	R1/8	6	894	14	853, 970	11, 12	-41, p	-3, p
c1	R2/1	2	1046, 703, 667	26, 7, 16	1065	21	+19, d, d	-5, d, d
d1	R4/8	4	1046, 940, 913, 693, 660	31, 8, 7, 10, 7	1039, 914, 667,	31, 50, 100	-7, d, +1, d, +7	0, d, +43, +93
d1	R4/9	5	1064, 945, 664	40, 10, 80	1039, 667,	26, 100	-25, d, +3	-14, d, +20

III. táblázat. Raman-csúcspozíciók és FWHM-értékek a besugárzások előtt és után, ahol az eltolódásoszlop mutatja a változást. Rövidítések: d = Raman-csúcs eltűnése, csúcspozíciók és FWHM-értékek nem számíthatók ezekre az esetekre

Table III. Summary of Raman band positions with FWHM before and after the irradiation. Acronyms: d = disappearance of Raman bands, hence peak shift and FWHM change cannot be calculated there. The peak shift column shows the change of the positions of the indicated peaks

IR area	Raman area	No. of spec	Raman band positions before irradiation (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)	Raman band positions after the 3 rd irradiation (cm ⁻¹)	FWHM (cm ⁻¹)	Peak shift (cm ⁻¹)	Change FWHM (cm ⁻¹)
(b1/2)	R1/1	1	821, 846, 954	8, 15, 8	824, 847, 960	11, 18, 13	+3, +1, +6	+3, +3, +5
(b1/2)	R1/5	2	826, 844,	12, 22,	829, 847,	14, 24,	+3, +3,	+2, +2,
(b1/2)	R1/6	3	826, 844, 948	6, 10, 17	829, 847, 955	12, 16, 23	+3, +3, +7	+6, +6, +6
(b1/2)	R1/7	5	816, 847	11, 15	820, 850	16, 22	+4, +3	+5, +6
(b1/2)	R1/8	6	816, 844	8, 9	818, d	12, d	+2, d	+4, d
c1	R2/1	2	658, 680, 1009	20, 13, 9	d, 686, 1012	d, 22, 14	d, +6, +3	d, +9, +5
d1	R4/8	4	346, 667, 689, 1014	14, 10, 21, 20	347, d, 692, 1017	25, d, 30, 28	+1 d, +3, +3	+11, +9, +8
d1	R4/9	5	339, 661, 683, 1009	22, 14, 21, 20	341, d, 687, 1011	25, d, 28, 23	+2, d, +4, +2	+3, d, +7, +3

et al. 2017), míg a Raman-spektroszkópia (a fő csúcs pozitív eltolódása) érzékenyebb a szerkezeti változásokra (például az SiO₄ tetraéderek depolimerizációja, ami a Raman-spektrumban növekvő csúcspozíció-változást eredményez; SHARP & DE CARLI 2006). DEMYK et al. (2001) TEM-vizsgálatai alapján besugárzás hatására az olivinben kialakul egy amorf, ill. kristályos+amorf doménekből álló réteg. A Mg/Si-arány 1,69-ről 1,56-ra csökken az itt alkalmazott 3. besugárzásunkhoz hasonló 10¹⁷ ion/cm₂ fluxus esetén. HAMILTON (2010) alapján nálunk a Mg-vesztés 13%-ra becsülhető az IR-csúcsok alapján (Fo93-ről Fo80-ra változott az utolsó besugárzás után). A besugárzást követően az olivin és a piroxén infravörös spektrumokban a kisebb csúcsok eltűnése szintén amorfizációra utal. A Raman-spektroszkópiában piroxén esetében a 667 cm⁻¹-nél kisebb csúcs eltűnését figyeltük meg, míg olivin esetében az R1/8 spektrumban a 844 cm⁻¹-es csúcs tűnt el. A besugárzással összefüggő amorfizációs változásokat DEMYK et al. (2001) írták le olivin esetében. BRUNETTO et al. (2020) megfigyelték, hogy a besugárzással kapcsolatos amorfizáció csökkenő csúcshintenzitást, valamint a szilikátoknál a kisebb csúcsok eltűnését eredményezi. Hasonlóan az ő megfigyeléseikhez, a mi IR-spektrumainkban is mutatkozik a besugárzást követően a csúcsok csökkenő intenzitása és a kisebb csúcsok eltűnése: piroxén: 658-661 cm⁻¹, olivin: 844 cm⁻¹ (1. ábra).

Spektrális változások értelmezése

A Fe-Mg-tartalmú ásványok negatív csúcsetolódása az olivinnél: 978 cm⁻¹ (-8 cm⁻¹), 894 cm⁻¹ (-7 cm⁻¹), piroxénél: 1046 cm⁻¹ (-7 cm⁻¹), ami az IR-spektrumokban általában nemcsak a kristályszerkezet roncsolódását, hanem

a Fe-Mg-tartalom arányának változását is jelzi, ahol a negatív csúcsetolódás a magnézium veszteségére utal, ami a vas arányának növekedését eredményezi a kristályrácsban (LANTZ et al. 2015, 2017). A negatív csúcsetolódás a legtöbb mérési pontban piroxénknél és olivineknél egyaránt azonosítható az FTIR-spektrumokban. BRUNETTO et al. (2014) a besugárzások során megfigyelték, hogy a ~870 cm⁻¹-es csúcs eltolódása jóval nagyobb (-12 cm⁻¹), mint a mátrix olivinek heterogén összetételéből származó csúcsetolódás. A szakirodalomban leírtakhoz hasonlóan, a mi IR-spektrumainkban is negatív csúcsetolódás figyelhető meg az ásványok főbb csúcsainál (I., IV. táblázat). BRUNETTO et al. (2014) H⁺, He⁺, Ar⁺ ionokkal végzett besugárzásaik során magasabb gyorsítófeszültséget (60-400 keV) alkalmaztak, amely nagyobb változást eredményezett a nagyobb méretű ionok kristályrácsba való beépülése miatt. Kísérleteinkben a besugárzási energia minden egyes besugárzás után növekvő fluxussal, 1 keV feszültséggel, protonokkal (H⁺) történt. A harmadik besugárzás során, 10¹⁷ ion/sec/cm² fluxussal, Raman-spektroszkópiában a fő csúcsok pozitív csúcsetolódása és a mellécsúcsok eltűnése volt megfigyelhető, amely inkább az amorfizációval hozható összefüggésbe. A csúcsok eltűnése, valamint a csúcspozíciók változásának növekedése a kristályrács torzulásához köthető (rácsállandók változása – térrövidülés, hosszabbodás, helyettesítés, SiO₄ tetraéderek torzulása a kristályrácsban belül; SHARP & DE CARLI 2006).

A Raman-spektrumok a fő- és mellécsúcspozíciók növekedését mutatják, ami az olivin és a piroxén amorfizációját jelzi. Néhány esetben a besugárzást követően bizonyos kisebb sávok eltűnése is megfigyelhető (olivinnél: 844 cm⁻¹, piroxénél: 658 cm⁻¹), ami az amorfizációval hozható összefüggésbe.

BRUNETTO et al. (2006) szerint a szilikátok (piroxén és

IV. táblázat. A besugárzást követő átlagos Raman- és IR-csúcseltolódás, valamint az FWHM változása az olivinek és a piroxének esetében

Table IV. Average Raman and IR peak position and FWHM changes by irradiations for olivine and pyroxene minerals

Ásvány	Raman-csúcseltolódás	Raman-FWHM-változás	IR-csúcseltolódás	IR-FWHM-változás
Olivin fő csúcsok: 820, 840 cm^{-1} - Raman, 894 cm^{-1} - FTIR	+3 cm^{-1} (820 cm^{-1}), +3,2 cm^{-1} (840 cm^{-1})	+5 cm^{-1} (820 cm^{-1}), +4,2 cm^{-1} (840 cm^{-1})	-24 cm^{-1}	-4.2 cm^{-1}
Piroxén fő csúcsok: 1010 cm^{-1} - Raman, 1046 cm^{-1} - FTIR	+3,6 cm^{-1}	+5,2 cm^{-1}	-6,5 cm^{-1}	-6 cm^{-1}

olivin) progresszív amorfizálódást mutatnak az ionokkal való rugalmas ütközések következtében. Az amorfizáció mértéke függ az ion méretétől, és Ar^+ bombázás esetén erőteljesebb, mint H^+ ionok esetében. Ennek következményeként a csúcspozíciók alacsonyabb hullámszámok felé tolódnak el a cm^{-1} skálán (ami pozitív csúcseltolódás μm -ben), miközben az infravörös csúcsok intenzitása csökken. Az IR- és Raman-méréseinkben hasonlóan amorfizációt tapasztaltunk, ami az FWHM-értékek növekedésében, a mellékcsúcsok eltolódásának fokozódásában vagy eltűnésében, valamint a főcsúcs intenzitásának csökkenésében nyilvánult meg a besugárzást követően, ezek hasonlóan megfigyelhetők BRUNETTO et al. (2020) munkájában is.

A legtöbb piroxén és olivin IR-főcsúcsjainak negatív csúcseltolódása összhangban van más kutatások eredményeivel (LANTZ et al. 2015, 2017), azonban a Raman-spektrumokban általunk megfigyelt pozitív csúcseltolódást más munkák nem írták le besugárzás után. HEYMANN & HÖRZ (1990) ugyanakkor növekvő Raman-csúcseltolódást észleltek a földpát SiO_4 tetraédereinek a kristályrács sokkdeformációja miatt bekövetkező torzulása nyomán. Esetünkben tehát a pozitív csúcseltolódás inkább a besugárzás okozta kristályrácszavarokkal magyarázható, nem a sokkhatás következményeként fellépett rácszavarokkal. A növekvő csúcseltolódás az amorfizációval, míg a csökkenő csúcseltolódás a kristályszerkezetből származó magnéziumvesztéssel hozható összefüggésbe, ami a szakirodalomban is leírt jelenség (LANTZ et al. 2017, BRUNETTO et al. 2020). A pontos összetételváltozás számszerűsítése nem egyszerű, ezzel kapcsolatban olivin és piroxén besugárzás utáni Mg-vesztését azonosította TEM-mérésekkel WEBER et al. (2020). A besugárzás helyén amorf szilikátréteget és nanovasszemcséket is találtak, továbbá üreges szerkezet is mutatkozott. A változás során fellépett mellékcsúcsok eltűnése és az FWHM növekedése a besugárzás kristálytani rendezetlenségéhez köthető, amit kationvesztésből eredő rácsállandó-változás okoz. LANTZ et al. (2017) szerint a besugárzás után 20% Mg-vesztés mutatkozott, a Fo50–55 összetételű olivin a besugárzás után Fo30–35% összetételű lett.

DURBEN et al. (1993) szerint az olivin pozitív csúcseltolódása a dimerizációra utal, ami az SiO_4 tetraéderek polimerizációját jelenti, amely során SiO_2 -molekulák képződnek, és ez metastabil állapotot hoz létre az olivin

kristályrácsában. Ezt a jelenséget a 2. és 3. besugárzást követően figyeltük meg Raman-spektrumainkban. Az SiO_4 tetraéderek polimerizációja a kristályszerkezet rendezetlenségét eredményezi, mivel azok SiO_2 -molekulákká alakulnak. Ezt a folyamatot kezdetben pozitív csúcseltolódás és a FWHM növekedése kíséri. A csúcseltolódás a besugárzások intenzitásának növekedésével párhuzamosan fokozódott, és a fellépett pozitív csúcseltolódás az olivin és a piroxén amorfizációját jelzi.

A kisebb csúcsok eltűnése és az FWHM növekedése a besugárzással összefüggő amorfizáció eredménye lehet (DEMYK et al. 2004), akárcsak a csúcspozíció növekedése (pozitív csúcseltolódás), amelyet sokkmetamorfózis okozta szerkezeti változásként írtak le ásványokban (VAN DE MOORTELE et al. 2007, JOHNSON et al. 2003, SHARP & DE CARLI 2006).

Végkövetkeztetések

Az NWA 10580 CO3 szenes kondrit esetében a 10^{11} , 10^{14} és 10^{17} ion/ cm^2 fluensekkel, 1 keV H^+ ionokkal végzett besugárzás besugárzás előtti és utáni állapotokat elemeztük. A vizsgálat során összesen 8 pont változását követtük IR- és Raman-spektroszkópiával.

A piroxén (660 cm^{-1}) és az olivin (978 cm^{-1}) kisebb intenzitású csúcsainak eltűnése az IR-spektrumokban amorfizációra utal, míg az FWHM-növekedése szintén a kristályszerkezet rendezetlenségét jelzi az infravörös tartományban.

Az olivin (880 cm^{-1}) és a piroxén (1050 cm^{-1}) fő IR csúcsainak alacsonyabb hullámszám irányába történő eltolódása (cm^{-1} -ben) Mg-vesztésre utal, amely összhangban áll más szerzők kozmikus sugárzást modellező kísérleteinek eredményeivel. A Mg-vesztés markánsabban mutatkozik meg az infravörös spektrumokban, mint a Raman-spektrumokban, mivel az olivin főbb csúcsai és a legtöbb piroxén itt negatív csúcseltolódást mutat.

A piroxének és az olivinek Raman-spektrumaiban a csúcspozíció növekedése, valamint az FWHM-értékek emelkedése szintén a besugárzást követő szerkezeti rendezetlenségét jelzi. A kalcit eltűnése a Raman-spektrumban azonosítható a besugárzás után.

Vizsgálataink során elsőként tapasztaltuk a pozitív csúcsetolódás (főleg Raman-spektrumokban), az FWHM-értékek növekedése, valamint az ásványi fázisok kisebb csúcsainak eltűnése formájában jelentkező szerkezeti átalakulásokat (Raman- és infravörös spektroszkópiai mérésekben egyaránt).

Az újonnan bemutatott Raman-adatok kiegészítik és alátámasztják azokat a korábbi vizsgálatokat, amelyekben a nem besugárzott meteorit ásványok sokkdeformációjától végbemenő rácsszerkezeti változásokat írták le. Ez rámutat a besugárzás és a sokkhatás által kiváltott kristályszerkezeti módosulások közötti hasonlóságokra és összefüggésekre.

A szilikátásványok azonosításához a célpontok (pl. kisbolygók) esetében az ásványok fő csúcsait (Si-O-kötések nyúlási vibrációja) tudjuk használni (IR: olivinben 894 cm^{-1} , piroxénben 1046 cm^{-1} ; Raman: olivin $820, 850\text{ cm}^{-1}$ olivinben, 1009 cm^{-1} a piroxénnél), azok tartanak ki legtovább. A besugárzásra leginkább a kation-kötéses szimmetrikus/asszimmetrikus nyúlási vibrációja a legérzékenyebb,

ott láthatunk csúcsetlűnéseket erősebb besugárzás esetén (700 cm^{-1} alatti értékek) értékek. A rosszul kristályosodott, részben amorf fázisok érzékenyebbek a besugárzásra, ott az SiO_4 tetraéderek dimerizációja miatt a kötések felbomlanak, így pl. a földpátúveg már a második besugárzás után eltűnt. Szilikát tetraéder dimerizációjának hatására ilyen csúcsetlűnést tapasztalhatunk az olivin dubletjében: a 848 cm^{-1} csúcs eltűnik a 3. besugárzás során a Raman-spektrumban – mindezeket az infravörös kamerák sávbeosztásánál érdemes használni.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát az NKFIH K_138594 projekt támogatta, valamint az Europlanet 2024 RI és az Európai Unió Horizon 2020 Research Innovation Programme programja támogatta (No. 871149). A kutatás ideje alatt J. Z. Bolyai János Kutatási Ösztöndíjban részesült. Köszönet a bírálóknak építő jellegű kritikái megjegyzéseikért.

Irodalom – References

- BREITENFELD, L. B., DYAR, M. D., CAREY, C. J., TAGUE JR, T. J., WANG, P., MULLEN, T. & PARENTE, M. 2018: Predicting olivine composition using Raman spectroscopy through band shift and multivariate analyses. – *American Mineralogist* **103(11)**, 1827–1836. <https://doi.org/10.2138/am-2018-6291>
- BRUNETTO, R., VERNAZZA, P., MARCHI, S., BIRLAN, M., FULCHIGNONI, M., OROFINO, V. & STRAZZULLA, G. 2006: Modeling asteroid surfaces from observations and irradiation experiments: The case of 832 Karin. – *Icarus* **184(2)**, 327–337. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2006.05.019>
- BRUNETTO, R., LANTZ, C., LEDU, D., BAKLOUTI, D., BARUCCI, M.A., BECK, P., DELAUCHE, L., DIONNET, Z., DUMAS, P., DUPRAT, J. & ENGRAND, C. 2014: Ion irradiation of Allende meteorite probed by visible, IR, and Raman spectroscopies. – *Icarus* **237**, 278–292. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.04.047>
- BRUNETTO, R., LOEFFLER, M. J., NESVORNÝ, D., SASAKI, S. & STRAZZULLA, G. 2015: Asteroid Surface Alteration by Space Weathering Processes. – In: MICHEL, P. et al. (ed.): *Asteroids IV*. University of Arizona Press, 597–616. <https://dx.doi.org/10.1353/book.43354>
- BRUNETTO, R., LANTZ, C., NAKAMURA, T., BAKLOUTI, D., LE PIVERT-JOLIVET, T., KOBAYASHI, S. & BORONDICS, F. 2020: Characterizing irradiated surfaces using IR spectroscopy. – *Icarus* **345**, p.113722. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.113722>
- CHAPMAN, C. R. 2004: Space weathering of asteroid surfaces. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **32**, 539–567. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120453>
- DEMEO, F. E., BURT, B. J., MARSET, M., POLISHOOK, D., BURBINE, T. H., CARRY, B., BINZEL, R. P., VERNAZZA, P., REDDY, V., TANG, M. & THOMAS, C. A. 2022: Connecting asteroids and meteorites with visible and near-infrared spectroscopy. – *Icarus* **380**, 114971. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.114971>
- DEMYK, K., CARREZ, P., LEROUX, H., CORDIER, P., JONES, A. P., BORG, J., QUIRICO, E., RAYNAL, P. I. & D’HENDECOURT, L. 2001: Structural and chemical alteration of crystalline olivine under low energy He⁺ irradiation. – *Astronomy & Astrophysics* **368(3)**, L38–L41. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20010208>
- DEMYK, K., D’HENDECOURT, L., LEROUX, H., JONES, A. P. & BORG, J. 2004: IR spectroscopic study of olivine, enstatite and diopside irradiated with low energy H and He ions. – *Astronomy & Astrophysics* **420(1)**, 233–243. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20040091>
- DUKES, C. A., BARAGIOLA, R. A. & MCFADDEN, L. A. 1999: Surface modification of olivine by H⁺ and He⁺ bombardment. – *Journal of Geophysical Research: Planets* **104(E1)**, 1865–1872. <https://doi.org/10.1029/98JE02820>
- DURBEN, D. J., McMILLAN, P. F. & WOLF, G. H. 1993: Raman study of the high-pressure behavior of forsterite (Mg₂SiO₄) crystal and glass. – *American Mineralogist* **78(11–12)**, 1143–1148.
- HAMILTON, V. E. 2000: Thermal infrared emission spectroscopy of the pyroxene mineral series. – *Journal of Geophysical Research: Planets* **105(E4)**, 9701–9716. <https://doi.org/10.1029/1999JE001112>
- HAMILTON, V. E. 2010: Thermal infrared (vibrational) spectroscopy of Mg–Fe olivines: A review and applications to determining the composition of planetary surfaces. – *Geochemistry* **70(1)**, 7–33. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2009.12.005>
- HEYMANN, D. & HÖRZ, F. 1990: Raman-spectroscopy and X-ray diffractometer studies of experimentally produced diaplectic feldspar glass. – *Physics and Chemistry of Minerals* **17(1)**, 38–44. <https://doi.org/10.1007/BF00209224>
- HUANG, E., CHEN, C. H., HUANG, T., LIN, E. H. & XU, J. A. 2000: Raman spectroscopic characteristics of Mg–Fe–Ca pyroxenes. – *American Mineralogist* **85(3–4)**, 473–479. <https://doi.org/10.2138/am-2000-0408>
- JOHNSON, J. R., HÖRZ, F. & STAUD, M. I. 2003: Thermal infrared spectroscopy & modeling of experimentally shocked plagioclase feldspars. – *American Mineralogist* **88(10)**, 1575–1582. <https://doi.org/10.2138/am-2003-1020>

- KAŇUCHOVÁ, Z., BODUCH, P., DOMARACKA, A., PALUMBO, M. E., ROTHARD, H. & STRAZZULLA, G. 2017: Thermal and energetic processing of astrophysical ice analogues rich in SO₂. – *Astronomy & Astrophysics* **604**, A68. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201730711>
- KERESZTURI, Á., BIRI, S., GYOLLAI, I., JUHÁSZ, Z., KIRÁLY, Cs., RÁCZ, R., REZES, D., SULIK, B., SZABÓ, M., SZALAI, Z., SZÁVAI, P. & SZKLENÁR, T. 2024: Raman spectroscopy analysis of artificial space weathering effects of NWA 10580 CO3 meteorite. – *Meteoritics and Planetary Sciences* **59(10)**, 2851–2864. <https://doi.org/10.1111/maps.14255>
- KERESZTURI, Á., GYOLLAI, I., BIRI, S., JUHÁSZ, Z., KIRÁLY, Cs., PÁL, B. D., RÁCZ, R., REZES, D., SULIK, B., SZABÓ, M., SZALAI, Z. & SZÁVAI, P. 2025: Evaluation of simulated space weathering-based meteorite alteration and potential influence on mechanical deformation of rubble pile asteroids. – *Frontiers in Astronomy and Space Sciences* **12**, 1427387. <https://doi.org/10.3389/fspas.2025.1427387>
- KOVÁCS I., UDVARDI B., FALUS Gy., FÖLDVÁRI M., FANCSIK T., KÓNYA P., BODOR E. R., MIHÁLY J., NÉMETH Cs., CZIRJÁK G., ÓSI A., VARGÁNÉ BARNA Zs., BHATTOA, H. P., SZEKANECZ Z. & TURZA S. 2015: AZ ATR FTIR spektrometria gyakorlati alkalmazása néhány – elsősorban földtani – esettanulmány bemutatásával. – *Földtani Közlemények* **145**, 173–192. <https://ojs.mtak.hu/index.php/foldtanikozlony/article/view/116>
- KOVÁCS, I., UDVARDI, B., PINTÉR, Zs., HIDAS, K., KUTASSY, L., FALUS, Gy., LENDVAY, P., TÖRÖK, I., ZELEI, T., FANCSIK, T., GÁL, T., MIHÁLY, J., NÉMETH, Cs., INGRIN, J., XIA, Q., HERMANN, J., STALDER, R., PERUCCHI, A., KAMARÁS, K. & SZEKRÉNYES, Zs. 2014: A Protocol, a standard and a (PULD) database for quantitative micro-FTIR measurements of water in nominally anhydrous minerals: an update. – *Geophysical Research Abstracts* 16 Paper: 14309.
- KRÄMER RUGGIU, L., BECK, P., GATTACCECA, J. & ESCHRIG, J. 2021: Visible-infrared spectroscopy of ungrouped and rare meteorites brings further constraints on meteorite-asteroid connections. – *Icarus* **362**, 114393. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2021.114393>
- KUEBLER, K. E., JOLLIFF, B.L., WANG, A. & HASKIN, L. A. 2006: Extracting olivine (Fo–Fa) compositions from Raman spectral peak positions. – *Geochimica et Cosmochimica Acta* **70(24)**, 6201–6222. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.07.035>
- LAFUENTE B., DOWNS R. T., YANG H. & STONE, N. 2015: The power of databases: the RRUFF project. – In: ARMBRUSTER, T. & DANISI, R. (eds): *Highlights in Mineralogical Crystallography*, Berlin, De Gruyter, 1–30.
- LANGE, T. P., SZABÓ Cs., LIPTAI N., PATKÓ L., GELENCSEŔ O., ARADI L. E. & KOVÁCS I. J. 2019: A földköpeny reológiai kutatása: mennyiségi fourier transzformációs infravörös spektrometria alkalmazása egy Persány-hegységi xenolit példáján. – *Földtani Közlemények* **149(3–4)**, 233. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2019.149.3.233>
- LANTZ, C., BRUNETTO, R., BARUCCI, M. A., DARTOIS, E., DUPRAT, J., ENGRAND, C., GODARD, M., LEDU, D. & QUIRICO, E. 2015: Ion irradiation of the Murchison meteorite: Visible to mid-infrared spectroscopic results. – *Astronomy & Astrophysics* **577**, A41. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201425398>
- LANTZ, C., BRUNETTO, R., BARUCCI, M. A., FORNASIER, S., BAKLOUTI, D., BOURÇOIS, J. & GODARD, M. 2017: Ion irradiation of carbonaceous chondrites: A new view of space weathering on primitive asteroids. – *Icarus* **285**, 43–57. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2016.12.019>
- LAZZARIN, M., MARCHI, S., MOROZ, L. V., BRUNETTO, R., MAGRIN, S., PAOLICCHI, P. & STRAZZULLA, G. 2006: Space weathering in the main asteroid belt: The big picture. – *The Astrophysical Journal* **647(2)**, L179. <https://doi.org/10.1086/507448>
- MOLNÁR K., ARADI L. E., OBBÁGY G., KÖVÉR Sz., FODOR L., BENKÓ Zs. & SZABÓ Cs. 2021: Szenes anyagok maximális átalakulási hőmérsékletének meghatározása Raman-spektroszkópiai mérésekkel: standardizálás és esettanulmány az Aggtelek–Rudabányai-hegységből. – *Földtani Közlemények* **151/1**, 37–50. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2021.151.1.37>
- SHARP, T. G. & DECARLI, P. S. 2006: Shock effects in meteorites. – *Meteorites and the early solar system II*, **943**, 653–677.
- TÓTH, J., UDVARDI, B., KOVÁCS, I., FALUS, Gy., SZABÓ, Cs., TROSKOT-ČORBIĆ, T. & SLAVKOVIĆ, R. 2012: Analytical development in FTIR analysis of clay minerals. – *MOL Scientific Magazine* **1**, 52–57.
- VAN DE MOORTELE, B., REYNARD, B., McMILLAN, P. F., WILSON, M., BECK, P., GILLET, P. & JAHN, S. 2007: Shock-induced transformation of olivine to a new metastable (Mg, Fe) 2SiO₄ polymorph in Martian meteorites. – *Earth and Planetary Science Letters* **261(3–4)**, 469–475. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.07.030>
- VERNAZZA, P., FULVIO, D., BRUNETTO, R., EMERY, J. P., DUKES, C. A., CIPRIANI, F., WITASSE, O., SCHAIBLÉ, M. J., ZANDA, B., STRAZZULLA, G. & BARAGIOLA, R. A. 2013: Paucity of Tagish Lake-like parent bodies in the Asteroid Belt and among Jupiter Trojans. – *Icarus* **225(1)**, 517–525. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.04.019>

Kézirat beérkezett: 2025. 05. 25.

Helyben keletkező kozmogén izotópos geokronológia, a felszínfejlődés számszerűsítésének sokoldalú eszköze, 1. rész: Elméleti alapok

RUSZKICZAY-RÜDIGER Zsófia

Földtani és Geokémiai Intézet, HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont 1112 Budapest, Budaörsi út 45.
HUN-REN CSFK, MTA Kiváló Kutatóhely, 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 15–17.
ORCID: 0000-0001-9454-732X

Geochronology using in situ produced cosmogenic nuclides, a versatile toolkit for the quantification of landscape evolution, Part 1: Theoretical basis

Abstract

Lithospheric in situ produced cosmogenic nuclides have become a fundamental and widely applied toolkit for the quantitative study of landscape evolution. They can be used to determine the exposure ages of characteristic landforms and, in the case of buried sediments, to establish burial ages. They are also applicable for quantifying denudation rates of bare bedrock or regolith-mantled surfaces as well as entire drainage basins. The method can be applied across diverse lithologies and over timescales of 10^2 to 10^6 years.

This review is divided into two parts. The first part outlines the theoretical background required for the application of the method, beginning with the factors that control the production of in situ cosmogenic nuclides and the mechanisms of their formation, followed by an overview of the stable and radioactive nuclides used in Earth sciences. These introductory concepts are necessary for understanding the applications of in situ produced cosmogenic nuclides, namely, the determination of exposure and burial ages, the quantification of denudation rates, and the limitations of the approach, which will be presented in the second part.

Keywords: in situ produced cosmogenic nuclides, exposure age, burial age, denudation rate, geochronology, landscape evolution

Összefoglalás

A litoszférában helyben keletkező kozmogén izotópok által nyújtott eszköztár napjainkra a felszínfejlődés számszerű vizsgálatának alapvető és széles körben alkalmazott módszerévé vált. Használható egykori felszínnek, jellegzetes felszínformák kitéréségi korának, eltemetett üledékek esetén a betemetődés korának meghatározására. Emellett alkalmazható fedetlen vagy regollittal fedett felszínnek, valamint teljes vízgyűjtők lepusztulási sebességének számszerűsítésére. Alkalmazása változatos litológia mellett és 10^2 – 10^6 éves időtartományban lehetséges.

Jelen áttekintő tanulmány két részből áll. Az első rész a módszer alkalmazásához szükséges elméleti hátteret ismerteti. Elsőként a helyben keletkező kozmogén izotópok keletkezését meghatározó tényezőket és a keletkezésének mechanizmusait, majd a földtudományban alkalmazott stabil és radioaktív izotópokat mutatja be. Ezen bevezető ismeretek szükségesek a tanulmány második részében a helyben keletkező kozmogén izotópok földtudományi célú alkalmazási lehetőségeinek, a kitéréségi kor, betemetődési kor és a lepusztulási ráta meghatározásának és a módszer korlátainak megértéséhez.

Tárgyszavak: helyben keletkező kozmogén izotópok, kitéréségi kor, betemetődési kor, lepusztulási ráta, kormeghatározás, felszínfejlődés

Bevezetés

Rövid kutatástörténet és előszó

Amikor Victor HESS 1912-es léghajós útján felfedezte a kozmikus sugárzást (amiért 1936-ban megkapta a fizikai Nobel-díjat) nem is sejtette, hogy a felfedezése egy

évszázadon belül forradalmasítja a földtudományban a dinamikus felszínfejlődéssel kapcsolatos ismereteinket. A 60-as évek végére felfedezték, hogy a kozmikus sugárzás részecskéi a légkörön áthaladva és a litoszféra felső néhány méteres rétegébe behatolva ritka elemeket hoznak létre (LAL & PETERS 1967). A kozmogén izotópok kőzetekből való mérésére a 80-as évekig kellett várni, amikor a gyorsító

tömegspektrométeres (Accelerator Mass Spectrometry, AMS) mérés technika fejlődése és elterjedése (ELMORE & PHILLIPS 1987, RAISBECK et al. 1987) lehetővé tette a ritka és hosszú felezési idejű elemek kimutatását igen kis koncentrációban (PHILLIPS et al. 1986; NISHIZUMI et al. 1986, 1989). Az 1990-es évek elején, a fizikai alapokat a földtudomány számára alkalmazható egyenletrendszerrel alakítva megnyílt az út a kozmogén izotópok széles körű földtudományi célú alkalmazása felé (LAL 1988, 1991). A következő évtizedben a módszer alkalmazása széles körben elterjedt a plio-pleisztocén földtani, geokronológiai és felszínfejlődési folyamatok megértésében és számszerűsítésében. A leggyakoribb alkalmazási területek a paleofelszín vagy jellegzetes felszínformák kialakulási kora és lepusztulási sebessége (pl. ALBRECHT et al. 1993, CERLING & CRAIG 1994, BIERMAN 1994, SCHÄFER et al. 1999, HEIMSATH et al. 2001, RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2011), folyóteraszok kora és vízfolyások bevágódási sebessége (pl. GRANGER et al. 1997; BROCARD et al. 2003; RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2016a, 2018), vető menti elmozdulás sebessége (pl. RITZ et al. 1995, SIAME et al. 1997, VAN DER WOERD et al. 1998), teljes vízgyűjtők átlagos lepusztulási rátája (pl. GRANGER et al. 1996; SCHALLER et al. 2001, 2002; VON BLANCKENBURG 2005; PORTENGA & BIERMANN 2011; WITTMANN & VON BLANCKENBURG 2016), barlangrendszerek fejlődése (GRANGER et al. 2001, GRANGER 2006, WAGNER et al. 2010) és eljegesedési fázisok kormeghatározása (PHILLIPS et al. 1986; BALCO 2011, 2020; RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2016b, 2020, 2021, 2022).

A helyben keletkező kozmogén izotópok (TCN) földtudományi alkalmazásának első alappillére a kozmogén izotópok keletkezése a felszínközeli kőzetekben. A második alappillért a különféle radioaktív TCN-ek (ezek leggyakrabban használt rövidítése a CRN: cosmogenic radionuclides = kozmogén radioizotópok) eltérő bomlási állandója jelenti. Ezek ismeretében a fedetlen kőzetfelszín korával, a lerakódott üledék keletkezésének és betemetődésének idejével, valamint a kőzetek lepusztulási rátájának megismerésével kapcsolatos geokronológiai geológiai, geomorfológiai kérdések igen széles palettája megválaszolható 10^2 – 10^6 időskálán. Ezért a TCN-ek egy olyan, korábban hiányzó eszközt jelentenek a földtudomány kezében, ami az 1990-es évek második felétől robbanásszerű fejlődésnek indult, és forradalmasította a felszínfejlődés folyamatainak és időbeliségének megismerésére irányuló kutatásokat (pl. GRANGER et al. 2013, BALCO 2020). A módszerrel kapcsolatos alapvető ismeretekről magyar nyelven RUSZKICZAY-RÜDIGER (2004) közölt egy tanulmányt. Az azóta eltelt 20 év során történt módszertani fejlődés következtében felmerült az igény egy újabb, korszerűbb módszertani összefoglaló megjelentetésére, amelyet egy kétrészes közlemény formájában készült, és azokhoz a hazai földtudományi szakemberekhez szól, akik szeretnék megismerni a bemutatott módszer alapelveit, továbbá a pliocén–negyedidőszaki felszínfejlődés számszerűsítése iránt érdeklődő egyetemi hallgatókhoz is, akik számára hasznos tanulási és oktatási segédanyagot jelent-

het. Ezért jelen munkában, amely a kétrészes tanulmány első része, a korábrinál részletgazdagabb és a helyben keletkező kozmogén izotópos geokronológia elméleti alapjainak szélesebb spektrumát felölelő, átfogó ismeretek is találhatóak.

Alapfogalmak

Kozmikus sugárzás: az űrből minden irányból érkező, nagy energiával rendelkező részecskékből álló sugárzás.

Kozmogén izotóp: a kozmikus sugárzás hatására lejátszódó atommag-reakció terméke.

Helyben keletkező kozmogén izotóp: (*Terrestrial in situ produced Cosmogenic Nuclide*, TCN) a litoszféra felszíni rétegeiben, az ásványok kristályrácsában a kozmikus sugárzás hatására keletkező izotóp.

Felezési idő ($t_{1/2}$) [év]: az az időtartam ami alatt egy adott izotóp mennyisége a felére csökken

Bomlási állandó (λ) [1/s vagy 1/év]: annak a valószínűsége, hogy egy adott izotóp 1 időegység alatt elbomlik ($\lambda = \ln 2/t_{1/2}$).

Közepes élettartam ($t = 1/\lambda$ [év]): az adott izotóp atommagjainak átlagos élettartama.

Neutron: szubatomi részecske, töltés nélküli, a protonnal egyező tömegű, az atommagon kívül nem stabil, az atommagok képesek elnyelni.

Spalláció (széthasadás): olyan atommag-reakció, amely során a célatommag mozgási energia (egy nagy energiájú neutron becsapódása) hatására széthasad, és új izotóp(ok) keletkeznek, melyek néhány atomi tömegegységgel könnyebbek, mint az eredeti atommag a kölcsönhatás előtt.

Müon (μ): Az elektronnál 200-szor nehezebb, instabil szubatomi részecske. Töltése lehet negatív és pozitív.

Negatív müon befogása: olyan magreakció, melynek során egy atommag befog egy alacsony energiájú (lassú) negatív müont.

Gyors müon reakciók: elegendően nagy energiával érkező (gyors) müonok által kiváltott neutron-reakciók.

Termális neutron befogás: olyan magreakció, melynek során egy atommag befog egy kis energiájú másodlagos neutront.

Elnyelődési hossz (Λ) [g/cm²]: az a távolság, amelyen a közegen áthaladó sugárzás intenzitása 1/e részére csökken (vagyis a részecskék ~63%-a elnyelődött).

Behatolási mélység (z) [cm]: az a távolság, amelyen a közegen áthaladó sugárzás intenzitása 1/e részére csökken. Az *elnyelődési hossz* és a közeg sűrűségének (ρ [g/cm³]) függvénye ($z = \Lambda/\rho$)

Keletkezési ráta (P) [at/g/év]: Az egyes izotópok keletkezésének rátája egy meghatározott elem ill. ásvány esetén. Eltérő a kozmogén izotópok keletkezési módja szerint (széthasadás, müon-reakciók, termális neutronok), emellett térben és időben is változik.

Kitettségi kor (T_{exp}) [év]: Az az időtartam, amit a kőzetfelszín a kozmikus sugárzásnak kitett helyzetben eltöltött.

Betemetődési kor (T_{bur}) [év]: A korábban kozmikus sugárzásnak kitett (tehát felszínén levő) kőzet teljes betemetődése (vagyis a kozmikus sugárzástól való teljes árnyékolása) óta eltelt időtartam.

Lepusztulási ráta (E) [mm/év] és (ε) [g/cm²/év]: a kőzetfelszín fizikai erózióval és kémiai mállással, oldódással történő alacsonyodása, időegység alatt erodálódó kőzetmennyiség.

A módszer alapjai

A korábban nagyobb felszín alatti mélységben elhelyezkedő kőzetben, amelyet nem ért kozmikus sugárzás – így kozmogén izotópok nem keletkeztek benne – a felszín közelébe, illetve a felszínre kerülve a kozmogén izotópok felhalmozódása megkezdődik. A vizsgált kőzetben mérhető kozmogén izotóp koncentrációja arányos az idővel, amit a kozmikus sugárzásnak kitett helyzetben eltöltött, vagyis a kőzet kitétségi korával. Így a TCN-koncentráció megméréssel a felszínformák kora közvetlenül kiszámítható. Radioaktív izotópok esetén az óra fordítva is működik: ha egy felszínén levő kőzet vagy üledék betemetődik, vagyis a kozmikus sugárzástól árnyékol helyetbe kerül, a kozmogén izotópok bomlása segítségével határozható meg a betemetődés óta eltelt idő, vagyis a kőzet betemetődési kora. A kozmogén izotópok koncentrációjának megismerésével tehát számos izgalmas kérdésre kaphatunk választ: Mikor alakult ki egy folyóterasz, és milyen gyorsan vágódott be a folyó? Mikor történt a földcsuszamlás? Mikor húzódtott vissza a jég? Mikor került az üledék a barlangba? Mikor temetődött be egy régészeti lelet? Milyen a felszín lepusztulásának az üteme?

A vizsgálható stabil és radioaktív izotópok sokféleségének a következménye a kozmogén izotópos módszer sokoldalúsága. Ugyanakkor a TCN-ek keletkezési mechanizmusai minden izotóp esetén eltérőek, keletkezési rátájuk a földrajzi hellyel, a felszín dőlésével és a minta felszín alatti mélységével változik. Ez egyrészt a módszer sokoldalúságának az alapja, ugyanakkor a legtöbb kormeghatározási módszernél lényegesen összetettebb számolási, modellezési feladatot jelent. Ezért a helyben keletkező kozmogén izotópos módszerben rejlt lehetőségek és nehézségek megértéséhez elengedhetetlen a kozmogén izotópok keletkezési mechanizmusainak, valamint a korok és ráták számításához használt egyenletek és paraméterek megismerése.

A másik nagyon fontos érv, ami alapján a TCN-adatok értelmezéséről bővebben is szót ejtünk majd, az, hogy a *helyben keletkező kozmogén izotópos módszer*, mint a földtudományban használt kormeghatározási módszerek nagy része, *nem közvetlenül a kort méri, hanem geokémiai megfigyelések eredményeit értelmezi geológiai paraméterekként, jelen esetben egy felszín, kőzet vagy üledék koraként vagy lepusztulási rátájaként*. Az adat és az értelmezett eredmény között folyamatos fejlesztés alatt álló, számos fizikai és kémiai paramétert és állandót figyelembe vevő egyenletrendszert alkalmazó számítások sora van, melynek eredményeként a TCN kor- és rátaszámítás egyre megbízhatóbb és

pontosabb lesz. A fejlődést fő irányvonala a kozmogén izotópok a Föld felszínén térben és időben, és a felszín alatti mélységgel változó keletkezési mechanizmusainak jobb megértése, a kalibrációs adatbázisok bővülése, helyi keletkezési ráták kiszámításának és korrekciójának egyre pontosabb megadása jelenti. Ezen számítások megértése elengedhetetlen a kapott adatok helyes értelmezéséhez, a módszer lehetőségeinek és korlátainak megértéséhez, illetve szükség esetén a közölt adatokból régebben, esetleg már elévült paraméterekkel kiszámolt korok vagy lepusztulási ráták újraszámolásához (lásd a második részben). Az egyre pontosabb, ám egyre bonyolultabb számításokat mára több online elérhető eszköz is segíti (lásd a második részben), ezek használatának és az ezek segítségével való adatértelmezésnek is előfeltétele, hogy a felhasználók tisztában legyenek a módszer alapjaival. Jelen munka tehát minden TCN-adatot felhasználó, értelmező és akár kutatásai során a jövőben előállítani kívánó felhasználónak kíván hasznos segédletet nyújtani az első lépések megtételéhez.

A módszer alapjait és gyakorlati alkalmazásait több részletes munka ismerteti (LAL 1991, WAGNER 1998, GOSSE & PHILLIPS 2001, IVY-OCHS & SCHALLER 2009, DUNAI 2010). Emellett számos könyvben, folyóiratban jelentek meg kiváló összefoglalások tudományág fejlődéséről és alkalmazási lehetőségeiről (CERLING & CRAIG 1994; GRANGER 2006, 2014; AKČAR et al. 2008; IVY-OCHS & SCHALLER 2009; BALCO 2011, 2020; GRANGER & RIEBE 2014; GRANGER et al. 2013; VON BLANCKENBURG & WILLENBRING 2014; GRANGER & SCHALLER 2014). Magyar nyelven a kozmogén izotópos kormeghatározás alapjairól RUSZKICZAY-RÜDIGER (2004) összefoglaló munkája érhető el. Az alábbiakban, ahol egyéb hivatkozás nem szerepel, a kozmogén izotópos módszer alapjait a fenti munkák felhasználásával foglalom össze.

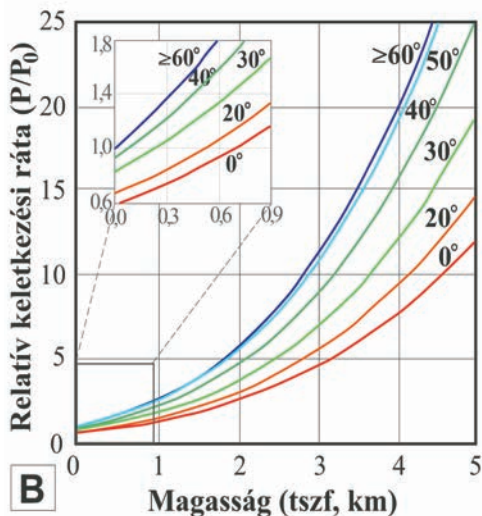
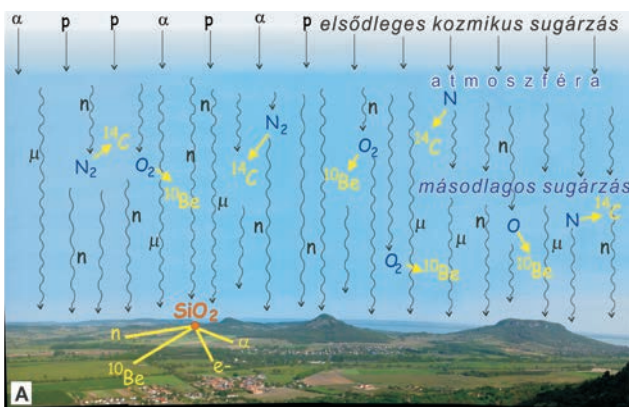
A kozmogén izotópok keletkezése

Az elsődleges galaktikus kozmikus sugárzás nagy energiájú atommagokból, főleg protonokból áll. Ezek energiája (~1–10¹⁰ GeV) elegendő ahhoz, hogy magreakciókat hozzon létre a felső atmoszférában. A légkör alsó szintjeit elérő másodlagos kozmikus sugárzást már főként neutronok és müonok alkotják, melyek a Föld felszínére érve behatolnak a kőzetek felső pár méteres rétegébe.

Kétféle kozmogén izotóp keletkezik a Földön. 1) az atmoszférában keletkező (atmoszferikus vagy meteorikus) kozmogén izotópok közül a legismertebb a ¹⁴C. Emellett számos más izotóp is létrejön (pl. ⁷Be, ¹⁰Be, ³⁶Cl), melyek a légköri aeroszolhoz kötődve a csapadékkal és száraz ülepedéssel kerülnek a Föld felszínére. 2) A helyben keletkező kozmogén izotópok azonban a felszínre elérő másodlagos kozmikus sugárzás hatására a litoszféra felső néhány méteres rétegében keletkeznek egy becsapódó neutron hatására bekövetkező maghasadás (spalláció), termális neutronok befogása, negatív müon befogása és gyors (nagy energiájú) müonreakciók során. Számos kozmogén izotóp keletkezik a felszíni kőzetrétegekben, geokronológiai célra

azonban csak egy részük alkalmas (bővebben: a következő fejezetben). A helyben keletkező kozmogén izotópok keletkezési rátája igen kicsi, többnyire 1-100 atom/g/év tartományban mozog. A meteorikus kozmogén izotópok 10^5 – 10^6 atom/cm²/éves fluxussal érik el a Föld felszínét. Például a ¹⁰Be izotóp esetében míg a litoszférában mindössze ~4–50 ¹⁰Be atom keletkezik a kvarcban grammonként, addig a légkörben keletkező kozmogén ¹⁰Be a felszínre évente millió atom/cm² nagyságrendű fluxussal érkezik (1. ábra, A).

A helyben keletkező kozmogén izotópok keletkezési rátájának és felezési idejének ismerete előfeltétele a módszer alkalmazásának (1. táblázat). A keletkezési ráta azonban térben és időben nem állandó, a felszínre érkező



1. ábra. A) kozmogén izotópok keletkezése az atmoszférában és a litoszférában. p: proton, n: neutron, α: alfa részecske, μ: müon, e⁻: elektron. B) Kozmogén izotópok keletkezési rátájának változása a földrajzi szélesség és a tengerszint feletti magasság függvényében LAL (1991) számítási módja szerint. A keletkezési ráta tengerszintre és magas szélességekre (P_0) normalizált értéke (> 60° és 0 m tszf: $P_0=1$) a tengerszint feletti magassággal és a földrajzi szélességgel nő. Az ábra csak a spalláció útján keletkező kozmogén izotópokra vonatkozik. A kis négyzet az 1000 m tszf. magasság alatti területekre vonatkozó mező kinagyítása a jobb láthatóság érdekében

Figure 1. A: Production of cosmogenic nuclides in the atmosphere and lithosphere. p: proton, n: neutron, α: alpha particle, μ: muon, e⁻: electron. B: Variation of cosmogenic nuclide production rate as a function of geographic latitude and elevation above sea level (LAL, 1991). The production rate normalized to sea level and high latitudes ($P_0 > 60^\circ$ and 0 m a.s.l.: $P_0 = 1$) increases with elevation and latitude. The figure refers only to cosmogenic nuclides produced by spallation. The inset figure enlarges the area corresponding to elevations below 1000 m a.s.l. for better visibility

I. táblázat. A geokronológiai célra használt kozmogén izotópok keletkezési mechanizmusai, felezési ideje és keletkezési rátája

Table I. Production mechanisms, half-lives, and production rates of cosmogenic nuclides used for geochronological purposes

Izotóp	Felezési idő (ezer év)	Legfontosabb célatom	Célásvány	Keletkezési mechanizmus	Keletkezési ráta (SLHL) at/g/év
³ He	stabil	sokféle	olivín, piroxén	spalláció	~120
¹⁰ Be	1387±12	O, Si	kvarc	spalláció, μ reakciók	~4
¹⁴ C	5,7±0,03	O	kvarc	spalláció, μ befogás	~19
²¹ Ne	stabil	Mg, Si	kvarc, olivín, piroxén	spalláció, μ reakciók	~20
²⁶ Al	705±17	Si	kvarc	spalláció, μ reakciók	~28
³⁶ Cl	301±2	Ca, K, ³⁵ Cl	káliföldpát, kalcit	spalláció, μ reakciók neutron befogás	~70–200*

SLHL: magas szélességen, tengerszinten. * a keletkezési ráta függ a kőzet kémiai összetételétől (DUNAI 2010 alapján)

SLHL: sea level, high latitude. *: The production rate depends on the chemical composition of the rock (after DUNAI 2010)

másodlagos kozmikus sugárzás fluxusát befolyásoló tényezők (földrajzi szélesség, magasság, idő) függvényében változik.

Földrajzi szélesség

A galaktikus kozmikus sugárzás részecskéi a naptevékenység, illetve a Föld mágneses mezeje hatására eltérülnek, így a felső légkört elérő sugárzás intenzitása térben és időben változik. A pólusoknál (a 60° szélesség felett), ahol a részecskeáramlás közel párhuzamos a mágneses mező erővonalával gyakorlatilag valamennyi töltéssel rendelkező részecske képes behatolni a Föld légkörébe. Ezzel szemben alacsonyabb szélességeken, ahol a részecskeáramlás iránya nagyobb szöveget zár be a mágneses erővonalakra, az elsődleges kozmikus sugárzásnak csak egy bizonyos töltés/energia arányt meghaladó része képes a mágneses mezőn áthatolni. Ez a töltés/energia arány a sarkoktól az Egyenlítő felé növekszik. Ennek következtében a kozmogén izotópok keletkezéséért felelős másodlagos sugárzás fluxusa a pólusoknál a legnagyobb, és az Egyenlítő felé csökken (1. ábra). A geomágneses szélesség a földrajzi szélességgel helyettesíthető a számítások során, mert az eltérésből adódó különbség elhanyagolható. Összefoglalva, a TCN keletkezési ráta a magas földrajzi szélességekre felé nő.

Tengerszint feletti magasság

A közegen áthatoló kozmikus sugárzás fluxusa a megtett úttal exponenciálisan csökken. A légkörön keresztüljutó másodlagos kozmikus sugárzás részecskéi annak részecs-

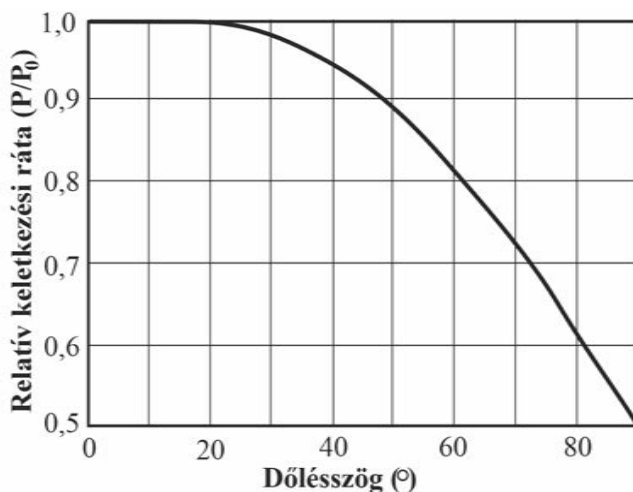
kéivel való kölcsönhatások során részben elnyelődnek (1. ábra, A). Eszerint nagy tengerszint feletti magasságban a kozmikus sugárzás lényegesen erősebb, mint a tengerszinten, vagyis a kozmogén izotópok keletkezési rátája a tengerszint feletti magassággal nő (1. ábra, B). A korrekció alapja a légnyomás, vagyis hogy milyen légtömegen kell a kozmikus sugárzásnak áthatolnia az adott mintavételi hely eléréséhez. A tengerszintfeletti magasságból különféle légköri modellek segítségével a hosszútávú átlagos légnyomás kiszámítható.

Idő

A TCN-keletkezést befolyásoló harmadik lényeges tényező a földi mágneses mező erősségének időbeli változása. Amikor a mágneses mező erősebb, alacsony szélességeken kevesebb kozmikus részecske tud rajta áthatolni, ezért kisebb lesz a TCN keletkezési ráta. Magas szélességeken, ahol a kozmikus részecskék gyakorlatilag akadály nélkül érik el a felszínt, a mágneses tér változásának hatása elhanyagolható.

Kozmogén izotópok keletkezése lejtős vagy részben árnyékolt felszíneken

A felszínre érkező sugárzás hozzávetőlegesen szimmetrikusan oszlik meg a függőleges irányú intenzitásmaximum körül. Egy nagy területű, sík felszínre érkező sugárzás az éggömb teljes félköréből érkezik. Lejtős térszínen, vagy ha a horizont egy részét eltakaró objektum (közeli hegy, szikla) következtében a felszínre irányuló kozmikus sugárzás egy



2. ábra. Kozmogén izotópok keletkezése lejtős térszínen. P_0 a keletkezési ráta sík, vízszintes térszínen (NIEDERMANN 2002)

Figure 2. Production of cosmogenic isotopes on a sloping surface. P_0 is the production rate on a flat, horizontal surface (NIEDERMANN 2002)

része nem érkezik be, lokálisan kisebb keletkezési rátát eredményez (2. ábra). Ezért amennyiben a mintavételi hely lejtős vagy részben árnyékolt, a mért izotópkoncentrációk korrekciója szükséges.

A TCN keletkezési ráta meghatározása

Az eddigiek alapján tehát elmondható, hogy a helyben keletkező kozmogén izotópok a Föld szinte bármely pontján alkalmasak a kőzetfelszínnek korának meghatározására. Ennek előfeltétele a térben és időben változó keletkezési rátájuk minél pontosabb meghatározása. Az egyes kozmogén izotópok keletkezési rátájának megismerése, független módszerekkel történő kalibrálása, valamint a szélességgel, magassággal és idővel történő változásainak kiszámítása minden egyes földfelszíni pontra (tehát tetszőleges mintavételi pontra). Jelenleg is több modell van használatban, és fejlesztésük aktív kutatás tárgyát képezi. Néhány példa a teljesség igénye nélkül: CODILEAN et al. (2006); LI et al. (2013); LIFTON et al. (2014); PHILLIPS et al. (2015); LIFTON (2016); BRAUCHER et al. (2003, 2009, 2011, 2013); BORCHERS et al. (2016); BALCO (2017); DiBIASE (2018); FENTON et al. (2022). Letölthető szoftverek, illetve több online oldal is működik, melyen az adatok feltöltésével a mintavételi helyre vonatkozó keletkezési ráták, illetve akár a kozmogén izotópos korok is kiszámíthatók (lásd a második részben).

A helyben keletkező kozmogén izotópok földtudományi alkalmazásának fizikai alapjai

A földtudományi célra használható helyben keletkező kozmogén izotópok és használatuk előfeltételei

A kozmogén izotópok az ásványok kristályrácsában csapdázódnak, ahonnan csak a kőzet elmállásával vagy esetenként diffúzióval szabadulnak ki. Felhasználhatóságuk erősen összefügg a mérés technika fejlődésével, hiszen keletkezésük évi néhány atom a célásványban grammonként. Ezért jelenlétük kimutatásához egyrészt megfelelő kémiai szeparálásra, másrészt igen érzékeny mérőműszerekre van szükség. Mindennek megfelelően a litoszférában keletkező sokféle TCN földtudományi célra csak akkor használható, ha:

- megkülönböztethető a kristályrácsban természetesen jelen levő más eredetű (primordiális, radiogén, nukleogén) izotóptól,
- kezdeti koncentrációja nulla, vagy független módszerrel meghatározható,
- a litoszférában helyben keletkeznek, illetve a mintavétel során elválaszthatók a más eredetű (pl. légkörben keletkező) izotóptól
- a célatomok megfelelő mennyiségben vannak jelen a kőzetekben,
- mérhető mennyiségben keletkeznek,
- kicsi a diffuzivitása (nem szökik el a kristályrácsból),
- stabil, vagy földtani értelemben elegendően hosszú és pontosan ismert a felezési ideje,
- a keletkezési mechanizmusai a felszínen és a közegen áthatolva nagyobb mélységben egyaránt ismertek, és matematikai egyenletekkel leírhatók,

– a keletkezési rátája ismert, és a Föld bármely pontjára kiszámítható

– a kőzetből való kinyerése laboratóriumi körülmények között kivitelezhető és reprodukálható

Napjainkra a földtudományi szempontból két helyben keletkező kozmogén nemesgáz, a ${}^3\text{He}$ és a ${}^{21}\text{Ne}$, valamint 4 radioaktív izotóp a ${}^{10}\text{Be}$, ${}^{14}\text{C}$, ${}^{26}\text{Al}$ és ${}^{36}\text{Cl}$ használata terjedt el. E munkában ezen izotópokkal foglalkozunk (I. táblázat).

A széles körben alkalmazott, helyben keletkező kozmogén izotópok rövid ismertetése

Helium-3

Stabil izotóp, nemesgáz. Keletkezési rátája a leggyorsabb, ugyanakkor meglehetősen diffúzív. Emiatt kvarcon nem alkalmazható, csak kis ion-porozitású magmás ásványokon (olivin, amfibol, piroxén). Stabilitása miatt hosszú kitétségi történetek datálására alkalmas, de ugyanezért bármilyen korábbi kitétség esetén átöröklött ${}^3\text{He}$ koncentráció is jelen van, ami torzíthatja a látszólagos kort. Mérése nemesgáz-tömegspektrométerrel történik.

Berillium-10

Radioaktív izotóp, felezési ideje $1,387 \pm 0,012$ millió év (CHMELEFF et al. 2010, KORSCHINEK et al. 2010). Kvarcban keletkezik és halmozódik fel, ami egy gyakori és mállásnak ellenálló ásvány, így földtudományi célú alkalmazási lehetősége széles körű. Meglehetősen hosszú felezési ideje miatt hosszú kitétségi és betemetődési korok meghatározására alkalmas (${}^{26}\text{Al}$ vagy ritkábban ${}^{21}\text{Ne}$ izotóp-párok használatával). A stabil ${}^9\text{Be}$ igen ritkán van jelen a kvarcban, emellett a ${}^{10}\text{Be}$ kristályrácsból való kinyerésének módja kidolgozott, és keletkezési mechanizmusai jól ismertek. A fenti gyakorlati szempontok következtében a legszélesebb körben alkalmazott kozmogén izotóp. Mérése gyorsító tömegspektrométerrel történik.

Szén-14

Radioaktív izotóp. Nagyon rövid felezési ideje miatt (5700 ± 30 év; www.nndc.bnl.gov, National Nuclear Data Center; KUTSCHERA 2019) rövid kitétségi történetek és gyors lepusztulási folyamatok számszerűsítésére kiváló, emellett korábbi kitétségből adódó átöröklött izotópkoncentrációk jelenléte nem valószínű. A relatíve alacsony helyben keletkező koncentrációk miatt a recens ${}^{14}\text{C}$ szennyezés veszélye nagy, ami a mintaelőkészítést és mérést megnehezíti és költségessé teszi. Mérése gyorsító tömegspektrométerrel történik.

Neon-21

Stabil izotóp, nemesgáz. Nem annyira diffúzív, mint a ${}^3\text{He}$, és nem szökik el a kvarc kristályrácsából, ezért más

izotópokkal párban is alkalmazható (${}^{10}\text{Be}$, ${}^{26}\text{Al}$, ${}^{14}\text{C}$). Azonban szükséges az ásványok radiogén és nukleogén ${}^{21}\text{Ne}$ tartalmára korrigálni, amely a mérés során fokozatosan emelt hőmérséklet hatására felszabaduló három izotóp (${}^{20}\text{Ne}$, ${}^{21}\text{Ne}$, ${}^{22}\text{Ne}$) mérésével lehetséges. Hasonlóan a ${}^3\text{He}$ -hoz, stabilitása miatt hosszú kitétségi történetek datálására alkalmas, de ugyanezért bármilyen korábbi kitétség esetén átöröklött ${}^{21}\text{Ne}$ -koncentráció is jelen van. Mérése nemesgáz-tömegspektrométerrel történik

Alumínium-26

Radioaktív izotóp, felezési ideje $\sim 705 \pm 17$ ezer év (NORRIS et al. 1983, NISHIZUMI et al. 2004). Ugyanabból a kvarcmintából kinyerhető, mint a kétszer ilyen hosszú felezési idejű ${}^{10}\text{Be}$. A stabil ${}^{27}\text{Al}$ relatíve nagy koncentrációban jelen lehet a kőzetekben, ezért független meghatározása a minta előkészítése során elengedhetetlen. Nagy ${}^{27}\text{Al}$ -koncentráció esetén a kis alacsony izotóparányok mérése nehéz, bizonytalansága nagyobb. A mérést a ${}^{26}\text{Mg}$ izobár is nehezíti. Mérése gyorsító tömegspektrométerrel történik.

Klór-36

Radioaktív izotóp, felezési ideje $\sim 301 \pm 2$ ezer év (BARTHOLOMEW et al. 1955, GOLDSTEIN et al. 1966), emiatt 1 millió évnél hosszabb kitétségi kor meghatározása nem lehetséges. Az egyetlen izotóp, ami földpátokon és karbonát ásványokon alkalmazható. Keletkezésében többféle mechanizmus is szerepet játszik, melyek szétválasztása és számszerűsítése szükséges. Emiatt a teljes kőzet geokémiai vizsgálata elengedhetetlen az egyes keletkezési ráták arányának meghatározásához. Mérése gyorsító tömegspektrométerrel történik.

A helyben keletkező kozmogén izotópok keletkezésének mechanizmusai

A TCN-keletkezés legfontosabb folyamatai spalláció, a negatív müon befogás, a gyors müonreakciók, valamint a termális és epitermális (alacsony energiájú) neutronok befogása. Így a TCN keletkezési ráta (P) az e folyamatok által generált keletkezési ráták összegeként jellemezhető:

$$(1) P = P_{sp} + P_{\mu\text{slow}} + P_{\mu\text{fast}} + P_{\text{thermal}} + P_{\text{epithermal}}$$

ahol P_{sp} a spalláció, $P_{\mu\text{slow}}$ a negatív müon befogás $P_{\mu\text{fast}}$ a gyors müon reakciók, P_{thermal} és $P_{\text{epithermal}}$ pedig a termális és epitermális neutronok általi TCN keletkezési rátát jelenti.

Spalláció

A felszínközeli rétegekben a spalláció folyamata az uralkodó a TCN keletkezésben ($>98\%$). A gyors neutronok elnyelődése következtében a felszín alatt a sugárzás fluxusa

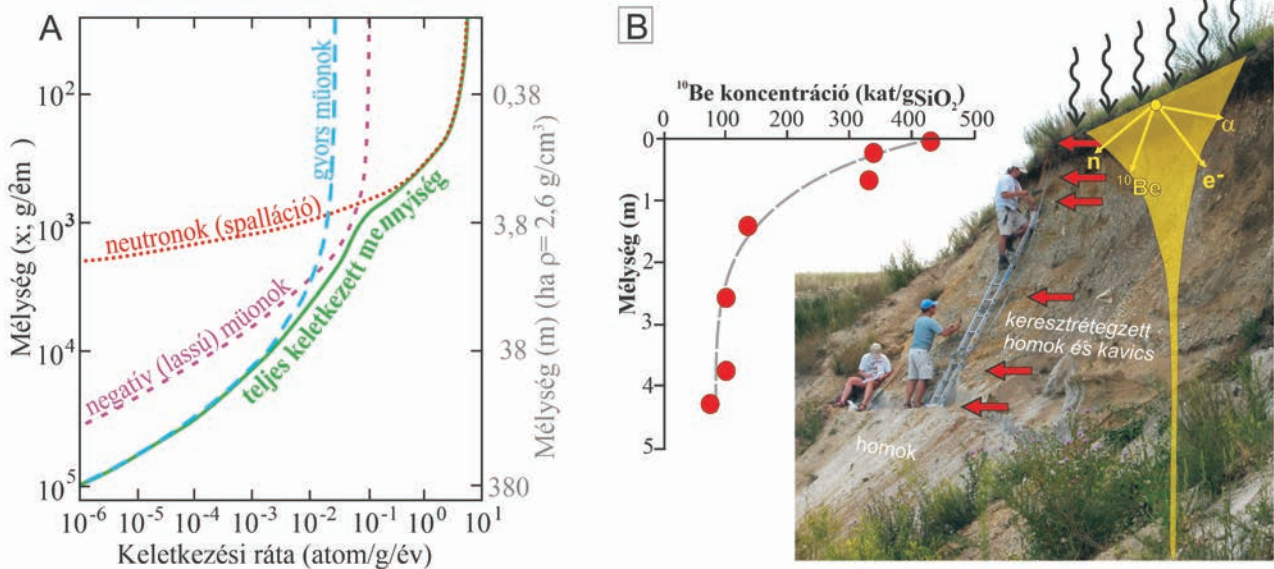
exponenciálisan csökken. A kozmikus sugárzás részecskéinek elnyelődési hossza (Λ) a közeg sűrűségétől függ. Nagy energiájú neutronok esetén értéke jó közelítéssel $\Lambda_{sp} = 160 \text{ g/cm}^2$. Így egy $\rho = 2,6 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű kőzetben a neutronok behatolási mélysége (z_{sp}) 61 cm. Kisebb sűrűségű közeg esetén, ez a távolság lényegesen hosszabb: ha $\rho = 2 \text{ g/cm}^3$, ill. $\rho = 1,6 \text{ g/cm}^3$ (pl. laza üledékek), ez már $z_{sp} = 80 \text{ cm}$ ill. $z_{sp} = 100 \text{ cm}$ behatolási mélységet jelent.

A spalláció általi keletkezés gyorsan csökken a behatolási mélységgel, és egy $\rho = 2,6 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű kőzetben, 3 m mélyen már a neutronok ~99%-a, 6 m mélységben a 99,99 %-a elnyelődött (3. ábra, A és B).

keletkezése kizárólag spalláció útján történik, így ez esetben a müonreakciók elhanyagolhatók (1. táblázat).

Termális és epitermális neutronok befogása

A termális neutron befogási folyamatok nem írhatók le a fenti exponenciális egyenlettel, mert a termális neutronok felszín felé történő diffúziója miatt e folyamatok maximuma ~20 cm-es mélységben található. E keletkezési mechanizmusnak egyedül a ^{36}Cl esetében van szerepe, a többi izotóp esetén elhanyagolható.



3. ábra. A) A ^{10}Be keletkezési rátájának változása a litoszférában a felszín alatti mélységgel (HEISINGER & NOLTE 2000). B) A kozmogén izotópok keletkezése a felszín alatti mélységgel exponenciálisan csökken. A sárga kúp szemlélteti a TCN keletkezési ráta változását. A keletkezési ráta felszín alatti csökkenése az (5) egyenlettel leírható, és felhasználható a kitétségi kor és a lepusztulási ráta meghatározására mélységprofil menti mintavétel esetén. Ennek részletes leírását a tanulmány második része tartalmazza (RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026). Az ábrán levő példán a Duna Bana melletti, fQ6-os terasza látható (RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2016, 2020)

Figure 3. A: Variation of the ^{10}Be production rate in the lithosphere with subsurface depth (HEISINGER & NOLTE 2000). B: The production of cosmogenic nuclides decreases exponentially with subsurface depth. The yellow cone illustrates the exponential decrease depth. The subsurface decrease of production rate can be described by Eq (5) and can be used to determine exposure age and denudation rate when sampling along a depth profile. A detailed description of this method is provided in the second part of this study (RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026). The example shown in the figure is the fQ6 terrace of the Danube near Bana (RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2016, 2020)

Negatív és gyors müonok

A müonok jóval kevésbé reakcióképesek, ezért a neutronoknál sokkal mélyebbre hatolnak a kőzetekben. A TCN-keletkezés szempontjából kétféle müonreakció lényeges. A negatív müonok (vagy lassú müonok) befogása esetében $\Lambda_{\text{slow}} = 1500 \text{ cm}$, míg a nagy energiájú (vagy gyors) müonreakciók esetében $\Lambda_{\text{fast}} = 4230 \text{ cm}$ (GOSSE & PHILLIPS 2001; HEISINGER et al. 2002a,b). Eszerint $2,6 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű közegben a behatolási mélységük 5,7 m és 16 m. (Ha $\rho = 2 \text{ g/cm}^3$, $z_{\text{slow}} = 7,5 \text{ m}$, $z_{\text{fast}} = 21,6 \text{ m}$). A müonok jelentősége a TCN-keletkezésben tehát a felszíni rétegekben csekély, azonban relatív jelentőségük a mélységgel nő, és 2-3 méterrel a felszín alatt uralkodóvá válnak (3. ábra). Keletkezési mechanizmusaik leírása jó közelítéssel exponenciális egyenletekkel leírható (HEISINGER et al. 2002a, b; BRAUCHER et al. 2003, 2011; BALCO 2017). A ^3He

A kozmogén izotópok felhalmozódása a kőzetekben

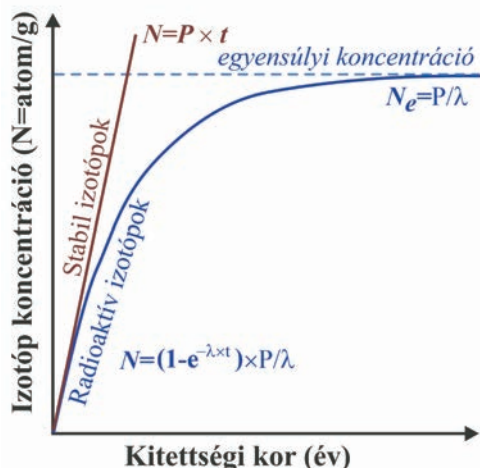
Stabil és radioaktív izotópok

A litoszférában keletkező kozmogén izotópok nukleáris aktivitásuk alapján két csoportra oszthatók. i) A stabil izotópok nem bomlanak el, így koncentrációjuk az idővel folyamatosan nő:

$$(2) N = P \times t$$

ahol N a kozmogén izotópok koncentrációja a kőzet-felszínen [at/g], t a kitétségi kor [év].

ii) A radioaktív izotópok bomlása a kialakulásukkal egy időben megkezdődik, így a koncentráció növekedése exponenciálisan lassuló ütemet mutat az egyensúlyi állapot eléréséig (4. ábra; (3) egyenlet):



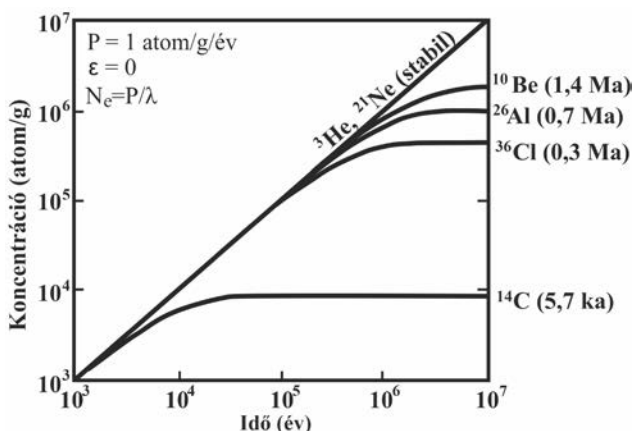
4. ábra. A helyben keletkező kozmogén izotópkoncentráció változása időben

Figure 4. Temporal change in the concentration of in situ produced cosmogenic nuclides

$$(3) N = (\lambda - e^{-\lambda x}) \times P / \lambda$$

ahol λ a bomlási állandó [1/év].

A radioaktív izotópok koncentrációja négy-öt, az adott izotópra jellemző felezési idő után éri el a szekuláris egyensúlyi állapotot (*steady state*) (N_e). Ezért minél rövidebb egy izotóp felezési ideje, koncentrációja annál hamarabb kerül egyensúlyi állapotba. Az egyensúlyi állapot elérését követően a TCN-koncentráció már nem függ az időtől, tehát nem használható kormeghatározásra, hiszen a keletkező és lebomló izotópok mennyisége megegyezik. Ez határozza meg az egyes izotópok kitettségi kormeghatározásra használható időtartományát. Mivel az egyes izotópok egyensúlyi koncentrációja a keletkezési ráta és a bomlási állandó függvényében változik, a kitettségi kormeghatározás lehetséges időtartama is izotóponként eltérő (5. ábra, (4) egyenlet).



5. ábra. A kozmogén izotópok koncentrációjának (N) időbeli változása a felezési idő függvényében, ha nincs lepusztulás és a keletkezési ráta 1 atom/g/év. Az izotóp neve mellett zárójelben feltüntetve a felezési ideje (CERLING & CRAIG 1994)

Figure 5. Temporal change in the concentration (N) of cosmogenic nuclides as a function of their half-life, assuming no erosion and a production rate of 1 atom/g/yr. The nuclide's half-life is shown in parentheses next to its name (CERLING & CRAIG 1994)

Emellett az egyensúlyi koncentrációt meghatározó fontos tényező lesz a helyi lepusztulási ráta is. Mindezek függvényében 10^3 – 10^6 év szükséges az egyensúlyi koncentráció eléréséhez, ami tehát a kitettségi kormeghatározás maximális időtartományát jelenti.

$$(4) N_e = P / \lambda$$

A kozmogén izotópok keletkezése a felszín alatt

A közegen áthatoló kozmikus sugárzás részecskéinek mennyisége exponenciálisan csökken, így a TCN keletkezési ráta mélységgel való változása az (5) egyenlettel írható le.

$$(5) P(x) = P_0 \times e^{-x/\Lambda}$$

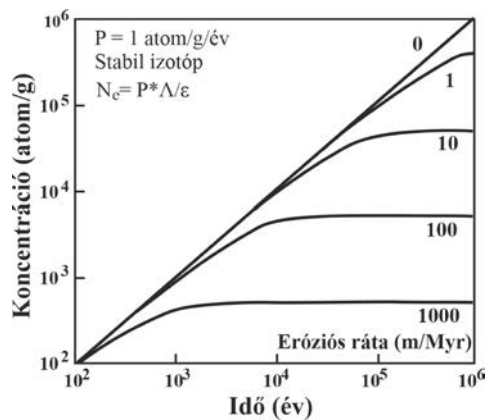
ahol P_0 és $P(x)$ a kozmogén részecskék keletkezési rátája a vizsgált közeg felszínén és a x mélységben [g/cm^2] ($x = z \times \rho$, ahol z a mélység [cm] és ρ a sűrűség [g/cm^3] és Λ az elnyelődési hossz [g/cm^2]).

Tekintettel arra, hogy a kozmogén izotópok különféle keletkezési mechanizmusai más-más elnyelődési hosszal jellemezhetők, az ezek általi keletkezési ráta más ütemben fog a mélységgel változni (3. ábra, A és B). Ennek egyik következménye, hogy a minta saját vastagsága is önárnyékolást idéz elő ($P_0 \neq P(x)$, ha $x > 1$), ezért a keletkezési ráta a minta vastagságának függvényében korrekcióra szorul. Hasonlóképpen, ha a mintavételi helyet időszakosan valami befedi (pl. hó, talaj, lész), a felszín részlegesen árnyékolt helyzetbe kerül. Amennyiben a megmintázott felszín fedett, vagy ismert, hogy korábban időszakosan fedett volt, a keletkezési rátát ennek értelmében szintén korrigálni kell. A keletkezési ráta mélységgel való változásának összefüggése mélységprofil menti mintavétel esetén felhasználható a kitettségi kor és a lepusztulási ráta egyidejű meghatározására. Ennek részletes leírását e tanulmány második része tartalmazza (RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026).

A kozmogén izotópok keletkezése pusztuló felszíneken

Az erózió során a felszínről kozmikus sugárzásnak kitett rétegek pusztulnak le, és korábban árnyékolt helyzetű kőzetek kerülnek a kozmikus sugárzásnak kitett, felszínközeli zónába. Eszerint a felszíni rétegekben a kozmogén izotópok koncentrációja nemcsak a radioaktív bomlás, hanem a lepusztulás következtében is csökken. Emiatt az egyensúlyi izotópkoncentráció összefüggése a lepusztulási rátával hasonló, mint a felezési idővel, vagyis annál hamarabb és alacsonyabb szinten áll be, minél gyorsabb a felszín lepusztulása.

Hosszan tartó, egyenletes lepusztulás esetén tehát a kozmogén izotópok koncentrációja már nem függ az eltelet időtől, ám függ a lepusztulási rátától (6. ábra). Ilyenkor a TCN-koncentráció kitettségi kormeghatározásra már nem alkalmas (5. ábra), de a lepusztulási ráta számszerűsítésére igen (a keletkezési ráta és az izotóp felezési idejének ismeretében) (6. ábra).



6. ábra. A kozmogén stabil izotópok koncentrációjának (N) időbeli változása az eróziós ráta függvényében, egységesen 1 atom/g/év keletkezési ráta esetén (CERLING & CRAIG 1994)

Figure 6. Temporal change in the concentration (N) of stable cosmogenic nuclides as a function of the erosion rate, assuming a uniform production rate of 1 atom/g/yr (CERLING & CRAIG 1994)

Azonban a kozmogén izotópok keletkezése szempontjából a lepusztult anyag tömege számít, vagyis a lepusztulás mélységét és a pusztuló közeg sűrűségét egyaránt figyelembe kell venni és a lepusztulási rátát a kőzet sűrűségének függvényében kell megadni (ϵ) [g/cm²/év]. Ez azonban könnyen átszámítható a lepusztult anyag vastagságát megadó lepusztulási rátává ($E = \epsilon/r \times 10^4$ [m/M év]).

Egyenletes erózió esetén a (4) egyenlet továbbgondolásával a lepusztulási ráta és a mért TCN-koncentráció kapcsolata megadható, a neutronspallációt és müonreakciókat is figyelembe véve (stabil izotópok esetén $\lambda = 0$):

$$(6) N_e = \frac{P_{sp}}{\epsilon + \lambda} + \frac{P_{\mu slow}}{\frac{\epsilon}{\Lambda_{\mu slow}} + \lambda} + \frac{P_{\mu fast}}{\frac{\epsilon}{\Lambda_{\mu fast}} + \lambda}$$

A (6) egyenletből látható, hogy a kőzetben felhalmozódott kozmogén izotóp koncentráció fordítottan arányos a lepusztulási rátával, hiszen minél lassabb az erózió, annál régebb óta tartózkodik a kőzettest a kozmikus sugárzás által érintett zónában. Ezért az egyensúlyi koncentráció annál alacsonyabb és beállításához annál rövidebb idő kell, minél gyorsabb az erózió, és minél rövidebb felezési idejű izotóppal dolgozunk (5., 6. ábrák).

Összegzés

E tanulmány összefoglalta a litoszférában helyben keletkező kozmogén izotópok keletkezésének és a kőzetekben való felhalmozódásának mechanizmusait és az azt befolyásoló tényezőket, valamint ismertette a földtudományi célra széles körben alkalmazott izotópokat. A tanulmány második részében lesz szó a kor- és lepusztulási ráta meghatározásának menetéről, és az alkalmazás gyakorlati kérdéseiről (RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026).

Köszönetnyilvánítás

A hazai kozmogén izotópos labor kiépítését és működését, így az e fejezet megírásához szükséges szakmai tapasztalat megszerzését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal PD 83610 és FK 124807 számú pályázatai támogatták. Emellett hálával tartozom Régis BRAUCHERNAK, Silke MERCHELNEK és Stephanie NEUHUBERNEK a módszer alapjainak és alkalmazásának elsajátításához nyújtott segítségükért, a sok gondolatébresztő beszélgetésért és jótanácsokért mind a laboratóriumi munka, mind az adatok értelmezése területén. Köszönettel tartozom SZTANÓ Orsolyának szerkesztői munkájáért, valamint DUNKL Istvánnak és egy Névtelen Bírálónak a hasznos észrevételeikért.

Irodalom – References

- AKČAR, N., IVY-OCHS, S. & SCHLÜCHTER, C. 2008: Application of in-situ produced terrestrial cosmogenic nuclides to archaeology: A schematic review. – *Quaternary Science Journal* (Eiszeitalter und Gegenwart) **57**, 226–238. <https://doi.org/10.3285/eg.57.1-2.9>
- ALBRECHT, A., HERZOG, G. F., KLEIN, J., DEZFOULY-ARJOMANDY, B. & GOFF, F. 1993: Quaternary erosion and cosmic-ray-exposure history derived from ¹⁰Be and ²⁶Al produced in situ – An example from Pajarito plateau, Valles caldera region. – *Geology* **21**, 551–554. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1993\)021<0551:qeacre>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1993)021<0551:qeacre>2.3.co;2)
- BALCO, G. 2011: Contributions and unrealized potential contributions of cosmogenic-nuclide exposure dating to glacier chronology, 1990–2010. – *Quaternary Science Reviews* **30/1–2**, 3–27. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.11.003>
- BALCO, G. 2017: Production rate calculations for cosmic-ray-muon-produced ¹⁰Be and ²⁶Al benchmarked against geological calibration data. – *Quaternary Geochronology* **39**, 150–173. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2017.02.001>
- BALCO, G. 2020: Glacier Change and Paleoclimate Applications of Cosmogenic-Nuclide Exposure Dating. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **48**. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-081619-052609>
- BARTHOLOMEW, R. M., BOYD, A. W., BROWN, F., HAWKINGS, R. C., LOUNSBURY, M. & MERRITT, W. F. 1955: The half-life of ³⁶Cl. – *Canadian Journal of Physics* **33**, 43–48.

- BIERMAN, P. R. 1994: Using in situ produced cosmogenic isotopes to estimate rates of landscape evolution: A review from the geomorphic perspective. – *Journal of Geophysical Research* **99/B7**, 3885–13896. <https://doi.org/10.1029/94jb00459>
- BLANCKENBURG, F. von 2005: The control mechanisms of erosion and weathering at basin scale from cosmogenic nuclides in river sediment. – *Earth and Planetary Science Letters* **237/3–4**, 462–479. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.06.030>
- BLANCKENBURG, F. von & WILLENBRING, J. K. 2014: Cosmogenic nuclides: Dates and rates of Earth-surface change. – *Elements* **10/5**, 341–346. <https://doi.org/10.2113/gselements.10.5.341>
- BORCHERS, B., MARRERO, S., BALCO, G., CAFFEE, M., GOEHRING, B., LIFTON, N., NISHIZUMI, K., PHILLIPS, F., SCHAEFER, J. & STONE, J. 2016: Geological calibration of spallation production rates in the CRONUS-Earth project. – *Quaternary Geochronology* **31**, 188–198. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2015.01.009>
- BRAUCHER, R., BROWN, E. T., BOURLÈS, D. L. & COLIN, F. 2003: In situ produced ^{10}Be measurements at great depths: implications for production rates by fast muons. – *Earth and Planetary Science Letters* **211**, 251–258. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(03\)00205-x](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(03)00205-x)
- BRAUCHER, R., DEL CASTILLO, P., SIAME, L., HIDY, A. J. & BOURLÈS, D.L. 2009: Determination of both exposure time and denudation rate from an in situ-produced ^{10}Be depth profile: A mathematical proof of uniqueness. Model sensitivity and applications to natural cases. – *Quaternary Geochronology* **4**, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2008.06.001>
- BRAUCHER, R., BOURLÈS, D., MERCHEL, S., VIDAL ROMANI, J., FERNANDEZ-MOSQUERA, D., MARTI, K., LÉANNI, L., CHAUVET, F., ARNOLD, M., AUMAÎTRE, G. & KEDDADOUICHE, K. 2013: Determination of muon attenuation lengths in depth profiles from in situ produced cosmogenic nuclides. – *Nuclear Instruments and Methods, Physical Research Section B*. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2012.05.023>
- BRAUCHER, R., MERCHEL, S., BORGOMANO, J. & BOURLÈS, D. L. 2011: Production of cosmogenic radionuclides at great depth: a multi element approach. – *Earth and Planetary Science Letters* **309**, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.06.036>
- BROCARD, G. Y., VAN DER BEEK, P. A., BOURLÈS, D. L., SIAME, L. L. & MUGNIER, J. L. 2003: Long-term fluvial incision rates and postglacial river relaxation time in the French Western Alps from ^{10}Be dating of alluvial terraces with assessment of inheritance, soil development and wind ablation effects. – *Earth and Planetary Science Letters* **209**, 197–214. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(03\)00031-1](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(03)00031-1)
- CERLING, T. E. & CRAIG, H. 1994: Geomorphology and in situ cosmogenic isotopes. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **22**, 273–317. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.22.1.273>
- CHMELEFF, J., VON BLANCKENBURG, F., KOSSERT, K. & JAKOB, D. 2010: Determination of the ^{10}Be half-life by multicollector ICP-MS and liquid scintillation counting. – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B, Beam Interactions with Materials and Atoms* **268**, 192–199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2009.09.012>
- CODILEAN, A. T. 2006: Calculation of the cosmogenic nuclide production topographic shielding scaling factor for large areas using DEMs. – *Earth Surface Processes and Landforms* **31/6**, 785–794. <https://doi.org/10.1002/esp.1336>
- DI BIASE, R. A. 2018: Increasing vertical attenuation length of cosmogenic nuclide production on steep slopes negates topographic shielding corrections for catchment erosion rates. – *Earth Surface Dynamics* **6/4**, <https://doi.org/10.5194/esurf-6-923-2018>
- DUNAI, T. 2010. *Cosmogenic Nuclides: Principles, Concepts, and Applications in the Earth Surface Sciences*. – Cambridge University Press, Cambridge, 187 p.
- ELMORE, D. & PHILLIPS, F. M. 1987: Accelerator mass spectrometry for measurement of long-lived radioisotopes. – *Science* **236**, 543–550. <https://doi.org/10.1126/science.236.4801.543>
- FENTON, C. R., BINNIE, S. A., DUNAI, T. & NIEDERMANN, S. 2022: The SPICE project: Calibrated cosmogenic ^{26}Al production rates and cross-calibrated $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$, $^{26}\text{Al}/^{14}\text{C}$, and $^{26}\text{Al}/^{21}\text{Ne}$ ratios in quartz from the SP basalt flow, AZ, USA. – *Quaternary Geochronology* **67**, 101218. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2021.101218>
- GOSSE, J. C. & PHILLIPS F. M. 2001: Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application. – *Quaternary Science Reviews* **20**, 1475–1560. [https://doi.org/10.1016/s0277-3791\(00\)00171-2](https://doi.org/10.1016/s0277-3791(00)00171-2)
- GOLDSTEIN, G. 1966: Partial half-life for b-decay of ^{36}Cl . – *Journal of Inorganic Nuclear Chemistry* **28**, 937–939.
- GRANGER, D. E. 2006: A review of burial dating methods using ^{26}Al and ^{10}Be . – *Special Papers Geological Society of America* **415**, 1–16. [https://doi.org/10.1130/2006.2415\(01\)](https://doi.org/10.1130/2006.2415(01))
- GRANGER D. E. 2014: Cosmogenic Nuclide Burial Dating in Archaeology and Paleoanthropology. – In: HOLLAND, H. D. & TUREKIAN, K. K. (eds): *Treatise on Geochemistry, Second Edition* **14**, 81–97. Oxford: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-095975-7.01208-0>
- GRANGER, D. E. & RIEBE, C. S. 2014: Cosmogenic nuclides in weathering and erosion. – In: HOLLAND, H. D. & TUREKIAN, K. K. (eds): *Treatise on Geochemistry, Second Edition* **7**, 401–436. Oxford: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-008043751-4/00238-8>
- GRANGER, D.E., KIRCHNER, J.W. & FINKEL, R.C. 1996: Spatially averaged long term erosion rates measured from in-situ produced cosmogenic nuclides in alluvial sediment. – *Journal of Geology* **104**, 249–257. <https://doi.org/10.1086/629823>
- GRANGER, D.E., KIRCHNER, J.W. & FINKEL R.C. 1997: Quaternary downcutting rate of the New River, Virginia, measured from differential decay of cosmogenic ^{26}Al and ^{10}Be in cave-deposited alluvium. – *Geology* **25/2**, 107–110. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)025<0107:qdrotn>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0107:qdrotn>2.3.co;2)
- GRANGER, D. E., FABEL, D. & PALMER, A.N. 2001: Pliocene-Pleistocene incision of the Green River, Kentucky, determined from radioactive decay of cosmogenic ^{26}Al and ^{10}Be in Mammoth Cave sediments. – *Geological Society of America Bulletin* **113**, 825–836. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2001\)113<0825:pplotg>2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2001)113<0825:pplotg>2.0.co;2)
- GRANGER, D. E., LIFTON, N. A. & WILLENBRING, J. 2013: A cosmic trip: 25 years of cosmogenic nuclides in geology. – *Geological Society of America Bulletin* **125**, 1379. <https://doi.org/10.1130/b30774.1>
- GRANGER, D. E. & SCHALLER, M. 2014: Cosmogenic nuclides and erosion at the watershed scale. – *Elements* **10/5**, 369–373. <https://doi.org/10.2113/gselements.10.5.369>
- HEIMSATH, A. M., CHAPPELL, J., DIETRICH, W. E., NISHIZUMI, K. & FINKEL, R. C. 2001: Late Quaternary erosion in southeastern Australia:

- a field example using cosmogenic nuclides. – *Quaternary International* **83–85**, 169–185. [https://doi.org/10.1016/s1040-6182\(01\)00038-6](https://doi.org/10.1016/s1040-6182(01)00038-6)
- HEISINGER, B. & NOLTE, E. 2000: Cosmogenic in situ production of radionuclides: Exposure ages and erosion rates. – *Nuclear Instruments and Methods, Physical Research Section B* **172**, 790–795. [https://doi.org/10.1016/s0168-583x\(00\)00204-4](https://doi.org/10.1016/s0168-583x(00)00204-4)
- HEISINGER, B., LAL, D., JULL, A. T., KUBIK, P., IVY-OCHS, S., NEUMAIER, S., KNIE, K., LAZAREV, V. & NOLTE, E. 2002a: Production of selected cosmogenic radionuclides by muons: 1. Fast muons. – *Earth and Planetary Science Letters* **200/3–4**, 345–355. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(02\)00641-6](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(02)00641-6)
- HEISINGER, B., LAL, D., JULL, A. T., KUBIK, P., IVY-OCHS, S., KNIE, K. & NOLTE, E. 2002b: Production of selected cosmogenic radionuclides by muons: 2. Capture of negative muons. – *Earth and Planetary Science Letters* **200/3–4**, 357–369. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(02\)00641-6](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(02)00641-6)
- IVY-OCHS, S. & SCHALLER, M. 2009: Examining processes and rates of landscape change with cosmogenic radionuclides. – *Radioactivity in the Environment* **16**, 231–294. [https://doi.org/10.1016/s1569-4860\(09\)01606-4](https://doi.org/10.1016/s1569-4860(09)01606-4)
- KORSCHINEK, G., BERGMAIER, A., FAESTERMANN, T., GERSTMANN, U. C., KNIE, K., RUGEL, G., WALLNER, A., DILLMANN, I., DOLLINGER, G., LIERSE VON GOSTOMSKI, CH., KOSSERT, K., MAITI, M., POUTIVTSEV, M. & REMMERT, A. 2010: A new value for the half-life of ^{10}Be by heavy-ion elastic recoil detection and liquid scintillation counting. – *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section B, Beam Interactions with Materials and Atoms* **268**, 187–191. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2009.09.020>
- KUTSCHERA, W. 2019: The half-life of ^{14}C —why is it so long? – *Radiocarbon* **61/5**, 1135–1142.
- LAL, D. 1988: In situ-produced cosmogenic isotopes in terrestrial rocks. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **16**, 355–388. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.16.1.355>
- LAL, D. 1991: Cosmic ray labeling of erosion surfaces: in situ nuclide production rates and erosion models. – *Earth and Planetary Science Letters* **104**, 424–439. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(91\)90220-c](https://doi.org/10.1016/0012-821x(91)90220-c)
- LAL, D. & PETERS, B. 1967: Cosmic ray produced radioactivity on the earth. – In: SITTE, K. (Ed.): *Hanbuch der Physik*. Springer, Berlin, 551–612. https://doi.org/10.1007/978-3-642-46079-1_7
- LI, Y. K. 2013: Determining topographic shielding from digital elevation models for cosmogenic nuclide analysis: a GIS approach and field validation. – *Journal of Mountain Science* **10/3**, 355–362. <https://doi.org/10.1007/s11629-013-2564-1>
- LIFTON, N. A. 2016: Implications of two Holocene time-dependent geomagnetic models for cosmogenic nuclide production rate scaling. – *Earth and Planetary Science Letters* **433**, 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.11.006>
- LIFTON, N. A., SATO, T. & DUNAI, T. J. 2014: Scaling in situ cosmogenic nuclide production rates using analytical approximations to atmospheric cosmic-ray fluxes. – *Earth and Planetary Science Letters* **386**, 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.10.052>
- NIEDERMANN, S. 2002: Cosmic-Ray-Produced Noble Gases in Terrestrial Rocks: Dating Tools for Surface Processes. – In: PORICELLI, D., BALLANTINE, C. J. & WIELER, R. (eds): *Noble Gases in Geochemistry and Cosmochemistry, Reviews in mineralogy and Geochemistry* **47**, 731–784. <https://doi.org/10.2138/rmg.2002.47.16>
- NISHIZUMI, K. 2004: Preparation of ^{26}Al AMS standards. – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B, Beam Interactions with Materials and Atoms* **223–224**, 388–392. [https://doi.org/10.1016/s0168-583x\(04\)00600-7](https://doi.org/10.1016/s0168-583x(04)00600-7)
- NISHIZUMI, K., LAL, D., KLEIN, J., MIDDLETON, R. & ARNOLD, J. R. 1986: Production of ^{10}Be and ^{26}Al by cosmic rays in terrestrial quartz in situ and implications for erosion rates. – *Nature* **319**, 134–136. <https://doi.org/10.1038/319134a0>
- NISHIZUMI, K., WINTERER, E., KOHL, C., KLEIN, J., MIDDLETON, R., LAL, D. & ARNOLD, J. 1989: Cosmic ray production rates of ^{10}Be and ^{26}Al in quartz from glacially polished rocks. – *Journal of Geophysical Research* **94**, B12, 17907–17915. <https://doi.org/10.1029/jb094ib12p17907>
- NORRIS, T. L., GANCARZ, A. J., ROKOP, D. J. & THOMAS, K. W. 1983: Half life of ^{26}Al . – *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* **88/S01**, B331–B333. <https://doi.org/10.1029/jb088is01p0b331>
- PHILLIPS, F. M., LEAVY, B. D., JANNIK, N. O., ELMORE, D. & KUBIK, P. W. 1986: The accumulation of cosmogenic ^{36}Cl in rocks: A method for surface exposure dating. – *Science* **231**, 41–43. <https://doi.org/10.1126/science.231.4733.41>
- PHILLIPS, F. M., ARGENTO, D. C., BALCO, G., CAFFEE, M. W., CLEM, J., DUNAI, T., FINKEL, R., GOEHRING, B., GOSSE, J. C., HUDSON, A., JULL, T. A., KELLY, M., KURZ, M., LAL, D., LIFTON, N., MARRERO, S. M., NISHIZUMI, K., REEDY, R., SCHAEFER, J., STONE, J. O., SWANSON, T. & ZREDA, M. G. 2015: The cronus-earth project: a synthesis. – *Quaternary Geochronology* **31**, 119–154. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2015.09.006>
- PORTENGA, E. W. & BIERMAN, P. R. 2011: Understanding Earth's eroding surface with ^{10}Be . – *GSA Today* **21/8**, 4–9. <https://doi.org/10.1130/g111a.1>
- RAISBECK, G., YIOU, M. F., BOURLÈS, D., LESTRINGUEZ, J. & DEBOFFLE, D. 1987: Measurements of ^{10}Be and ^{26}Al with a Tandem AMS facility. – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* **B29**, 22–26. [https://doi.org/10.1016/0168-583x\(87\)90196-0](https://doi.org/10.1016/0168-583x(87)90196-0)
- RITZ, J. F., BROWN, E. T., BOURLÈS, D. L., PHILIP, H., SCHLUPP, A., RAISBECK, G. M., YIOU, A. & ENKHTUVSHIN, E. 1995: Slip rates along active faults estimated with cosmic-ray-exposure dates: Application to the Bogd fault, Gobi-Altai, Mongolia. – *Geology* **23/11**, 1019–1022. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023<1019:sraafe>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023<1019:sraafe>2.3.co;2)
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs. 2004: Kitértési kor és eróziós ráta meghatározásának módszere helyben keletkező kozmogén izotópokkal. – *Földtani Közlöny* **134/2**, 257–279.
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs. 2026: Helyben keletkező kozmogén izotópos geokronológia, a felszínfejlődés számszerűsítésének sokoldalú eszköze, 2. rész: A módszer alkalmazási területei. – *Földtani Közlöny* **156/1**,
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., BRAUCHER, R., CSILLAG, G., FODOR, L., DUNAI, T. J., BADA, G., BOURLÈS, D. & MÜLLER, P. 2011: Dating Pleistocene aeolian landforms in Hungary, Central Europe, using in situ produced cosmogenic ^{10}Be . – *Quaternary Geochronology* **6**, 515–529. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2011.06.001>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., BRAUCHER, R., NOVOTHNY, Á., CSILLAG, G., FODOR, L., MOLNÁR, G., MADARÁSZ, B. & ASTER TEAM 2016a:

- Tectonic and climatic forcing on terrace formation: Coupling in situ produced ^{10}Be depth profiles and luminescence approach, Danube River, Hungary, Central Europe. – *Quaternary Science Reviews* **131**, 127–147. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.10.041>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., KERN, Z., URDEA, P., BRAUCHER, R., MADARÁSZ, B., SCHIMMELPFENNIG, I. & ASTER TEAM 2016b: Revised deglaciation history of the Pietrele-Stânișoara glacial complex, Retezat Mts, Southern Carpathians, Romania. – *Quaternary International* **415**, 216–229. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.085>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., CSILLAG, G., FODOR, L., BRAUCHER, R., NOVOTHNY, Á., THAMÓ-BOZSÓ, E., VIRÁG, A., PAZONYI, P., TIMÁR, G. & ASTER TEAM 2018: Integration of new and revised chronological data to constrain the terrace evolution of the Danube River (Gerecse Hills, Pannonian Basin). – *Quaternary Geochronology* **48**, 148–170. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2018.08.003>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., KERN, Z., TEMOVSKI, M., MADARÁSZ, B., MILEVSKI, I., BRAUCHER, R. & ASTER TEAM 2020: Last deglaciation in the central Balkan Peninsula: geochronological evidence from the Jablanica Mt. (North Macedonia). – *Geomorphology* **351**, 106985. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106985>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., KERN, Z., URDEA, P., MADARÁSZ, B., BRAUCHER, R. & ASTER TEAM 2021: Limited glacial erosion during the last glaciation in mid-latitude cirques (Retezat Mts, Southern Carpathians, Romania). – *Geomorphology* 107719. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107719>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., TEMOVSKI, M., KERN, Z., MADARÁSZ, B., MILEVSKI, I., LACHNER, J. & STEIER, P. 2022: Late Pleistocene glacial advances, equilibrium-line altitude changes and paleoclimate in the Jakupica Mts (North Macedonia). – *CATENA* **216**, 106383. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106383>
- SCHALLER, M., BLANCKENBURG, F., HOVIUS, N. & KUBIK, P. W. 2001: Large-scale erosion rates from in-situ produced cosmogenic nuclides in European river sediments. – *Earth and Planetary Science Letters* **188**, 441–458. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(01\)00320-x](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(01)00320-x)
- SCHALLER, M., VON BLANCKENBURG, F., VELDKAMP, A., TEBBENS, L. A., HOVIUS, N. & KUBIK, P. W. 2002: A 30 000 yr record of erosion rates from cosmogenic ^{10}Be in Middle European river terrace. – *Earth and Planetary Science Letters* **204**, 307–320. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(02\)00951-2](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(02)00951-2)
- SCHÄFER, J.M., IVY-OCHS, S., WIELER, R., LEYA, I., BAUR, H., DENTON, G. H. & SCHLÜCHTER, C. 1999: Cosmogenic noble gas studies in the oldest landscape on earth: surface exposure ages of the Dry Valleys, Antarctica. – *Earth and Planetary Science Letters* **167**, 215–226. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(99\)00029-1](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(99)00029-1)
- SIAME, L., BELLIER, O., BRAUCHER, R., SEBRIER, M., CUSHING, M., BOURLÈS, D. L., HAMELIN, B., BAROUX, E., DE VOOGD, B., RAISBECK, G. & YIOU, F. 2004: Local erosion rates versus active tectonics: cosmic ray exposure modelling in Provence (South-East France). – *Earth and Planetary Science Letters* **220/3–4**, 345–364. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(04\)00061-5](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(04)00061-5)
- VAN DER WOERD, J., RYERSON, F. J., TAPPONNIER, P., GAUDEMER, Y., FINKEL, R., MERIAUX, A. S., CAFFEE, M., GUO GUANG, Z. & QUNLU, H. 1998: Holocene left slip rate determined by cosmogenic surface dating on the Xidatan segment of the Kunlun fault (Qinghai, China). – *Geology* **26/8**, 695–698. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1998\)026<0695:hlsrdb>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1998)026<0695:hlsrdb>2.3.co;2)
- WAGNER, G. A. 1998: *Age Determination of Young Rocks and Artefacts*. – Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 4–16, 113–194. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03676-1>
- WAGNER, T., FABEL, D., FIEBIG, M., HÄUSELMANN, P., SAHY, D., XU, S. & STÜWE, K. 2010: Young uplift in the non-glaciated parts of the Eastern Alps. – *Earth and Planetary Science Letters* **295**, 159–169. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.03.034>
- WITTMANN, H. & VON BLANCKENBURG, F. 2016: The geological significance of cosmogenic nuclides in large lowland river basins. – *Earth-Science Reviews* **159**, 118–141 <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.06.001>

Kézirat beérkezett: 2025. 12. 04.

Helyben keletkező kozmogén izotópos geokronológia, a felszínfejlődés számszerűsítésének sokoldalú eszköze, 2. rész: A módszer alkalmazási területei

RUSZKICZAY-RÜDIGER Zsófia

Földtani és Geokémiai Intézet, HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont 1112 Budapest, Budaörsi út 45.
HUN-REN CSFK, MTA Kiváló Kutatóhely, 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 15–17.
ORCID: 0000-0001-9454-732X

Geochronology using in situ produced cosmogenic nuclides, a versatile toolkit for the quantification of landscape evolution. Part 2: Applications

Abstract

In situ produced cosmogenic-nuclide data play a key role in constraining the timing and rates of Pliocene and Quaternary glacial, fluvial, and aeolian landscape evolution. Correct interpretation and effective use of these data in research require a solid basis of the method's theory and applications. The first part of this two-part review introduced the theoretical background. This second part presents the principal applications of the method, outlining the procedures for determining exposure age, burial age, and denudation rate. It discusses single- and multi-nuclide approaches with particular emphasis on the most widely used isotope-pair of ^{10}Be and ^{26}Al . The study also addresses sources of uncertainty and examines the limits of applicability. In addition, it covers practical considerations that can aid in selecting the most appropriate approach for specific research questions in different geological and geomorphological settings.

Keywords: in situ produced cosmogenic nuclides, exposure age, burial age, denudation rate, geochronology, landscape evolution

Összefoglalás

A litoszférában helyben keletkező kozmogén izotópos adatok jelentős szerepet játszanak a pliocén és negyedidőszaki glaciális, folyóvízi vagy akár szél általi felszínalakulás időbeliségének, a folyamatok sebességének megértésében. A különféle kozmogén izotópos adatok helyes értelmezésének és a kutatások során való alkalmazásának alapfeltétele a módszer elméleti és gyakorlati alapjainak a megismerése. A két részes tanulmány első részében került sor a módszer elméleti alapjainak bevezetésére. Ez a rész bemutatja a módszer alapvető felhasználási területeit, a kitétségi kor, a betemetődési kor és a lepusztulási ráta meghatározás menetét, az egy és több izotópos alkalmazásokat és az ezekben rejlő lehetőségeket, különös tekintettel a legszélesebb körben használt ^{10}Be és ^{26}Al izotópokra. A tanulmány kitér a bizonytalansági tényezőkre és tárgyalja az alkalmazhatóság korlátait. Emellett ismerteti a módszer gyakorlati kérdéseit, ami segíthet a kutatás során felmerülő földtani-felszínfejlődési problémákhoz, valamint a mintázható kőzetekhez, geomorfológiai helyzethez leginkább megfelelő módszer kiválasztásában.

Tárgyszavak: helyben keletkező kozmogén izotópok, kitétségi kor, betemetődési kor, lepusztulási ráta, kormeghatározás, felszínfejlődés

Bevezetés

Jelen közlemény egy kétrészes módszertani áttekintő tanulmány második része. Támaszkodik az ugyanebben a kötetben megjelent első részben (RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026) elhangzott, a kozmogén izotópos geokronológia alapjait összegző elméleti alapokra. Erre építve a korábban hivatkozott legfontosabb módszertani szakirodalom alapján itt ismerteti a kozmogén izotóp koncentrációk helyes

értelmezését, a kormeghatározás és lepusztulási ráta meghatározásának menetét és a kozmogén izotópos módszerben rejlő sokoldalú alkalmazási lehetőségeket. Ezek alapvetően három, földtani-felszínfejlődési szempontból jól elkülöníthető, ugyanakkor módszertanilag egymással szorosan összefüggő csoportba sorolhatók: kitétségi és betemetődési kor, valamint lepusztulási ráta meghatározása. A legfontosabb szakirodalmi forrásokat (a teljesség igénye nélkül) itt is fontosnak tartom felsorolni, mert ezek szolgálták a mód-

szertani összefoglalások alapjául. A kitétségi kor és lepusztulási ráta meghatározásáról és a módszer alkalmazási lehetőségeiről általában: LAL (1988, 1991); BIEMANN et al. (1994); CERLING & CRAIG (1994); DUNAI (2010); GOSSE & PHILLIPS (2001); BALCO (2020a); GRANGER et al. (2013); IVY-OCHS & SCHALLER (2009); WAGNER (1998). Néhány fókuszáltabb tanulmány a lepusztulási ráta meghatározásáról: VON BLANCKENBURG & WILLENBRING (2014), GRANGER & SCHALLER (2014), GRANGER & RIEBE (2014); valamint a betemetődési kor meghatározásáról: GRANGER (2014), RIXHON (2023), CALVET et al. (2024).

A tanulmány első részében (RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026, jelen kötet) megismerhettük a litoszférában helyben keletkező kozmogén izotópok (*terrestrial in situ produced cosmogenic nuclides*, TCN) keletkezési mechanizmusait. Ennek alapján a TCN keletkezési ráták függését a földrajzi szélességtől, a tengerszint feletti magasságtól és a domborzati viszonyoktól. A földtudományban leggyakrabban használt stabil és radioaktív kozmogén izotópok (*cosmogenic radionuclides*, CRN) ismertetése betekintést engedett a módszer alkalmazhatóságának időbeli és litológiai lehetőségeire és korlátaira. Ezt követően a TCN-keletkezés legfontosabb mechanizmusait mutatta be a felszínen és a felszín alatti kőzetrétegekben. A megadott alapegyenletek kifejezik, hogy a kőzetekben mért TCN-koncentrációk hogyan állnak összefüggésben a felszín kitétségi korával és a lepusztulás sebességével. Ezekből látható, hogy a kőzetekben felhalmozódó TCN-koncentrációt az izotóp felezési ideje, a kitétségi kor és a lepusztulási ráta határozzák meg. A feltett tudományos kérdés függvényében a módszer geokronológiai alkalmazhatóságát és ennek határát ezek szabják meg. A földtudományi problémák gyakorlati megoldásában történő alkalmazásról fejezetek végén egy-egy esettanulmányt mutatok be.

Kitétségi kor és lepusztulási ráta meghatározása helyben keletkező kozmogén izotópokkal

Egyszerű kitétségi kormeghatározás

A stabil, kozmikus sugárzásnak folyamatosan kitétt felszínek kora meghatározható az ásványok kristályrácsában felhalmozódott kozmogén izotópok mennyiségének mérésével. Ennek alapfeltételei, hogy

i) a felszín kialakulása, vagyis a kőzet teljesen árnyékolts helyzetből kitétt helyzetbe kerülése földtani értelemben pillanatszerű, illetve igen rövid az azóta eltelt időhöz képest,

ii) a felszín kialakulása óta nem történt erózió, vagy annak mértéke független módszerrel meghatározható,

iii) a felszín kialakulása óta nem történt üledékfelhalmozódás, vagy ennek időtartama és vastagsága ismert, illetve független módszerrel meghatározható,

iv) még nem állt be a CRN-koncentráció szekuláris egyensúlya,

Ha a lepusztulás és az időszakos üledékfelhalmozódás

mértéke nem ismert, ezeket nullának tekintve a felszín minimum kora számítható ki:

$$(1) N_{(t)} = \frac{P_{sp}}{\lambda} (1 - e^{-t\lambda}) + \frac{P_{\mu slow}}{\lambda} (1 - e^{-t\lambda}) + \frac{P_{\mu fast}}{\lambda} (1 - e^{-t\lambda})$$

ahol: $N_{(t)}$ a CRN (^{26}Al illetve ^{10}Be) koncentráció [atom/g_{kvarc}]

P_{sp} , $P_{\mu slow}$, $P_{\mu fast}$: a neutronokra, a lassú és a gyors müonokra vonatkoztatott keletkezési ráta a mintavétel helyén

λ : a bomlási állandó ($\lambda = \ln(2)/t_{1/2}$, [1/év])

t : kitétségi kor [év]

Ha a felszín egyenletes sebességgel pusztul, az (1) egyenletet lepusztulási rátával korrigálva megkaphatjuk a felszín valós kitétségi korát:

$$(2) N_{(t,\epsilon)} = \frac{P_{sp}}{\frac{\epsilon}{\lambda_{sp}} + \lambda} \left(1 - e^{-t\left(\frac{\epsilon}{\lambda_{sp}} + \lambda\right)} \right) + \frac{P_{\mu slow}}{\frac{\epsilon}{\lambda_{\mu slow}} + \lambda} \left(1 - e^{-t\left(\frac{\epsilon}{\lambda_{\mu slow}} + \lambda\right)} \right) + \frac{P_{\mu fast}}{\frac{\epsilon}{\lambda_{\mu fast}} + \lambda} \left(1 - e^{-t\left(\frac{\epsilon}{\lambda_{\mu fast}} + \lambda\right)} \right)$$

ahol: $N_{(t,\epsilon)}$ a CRN koncentráció [atom/g_{kvarc}] felszín lepusztulását is figyelembe véve;

ϵ : lepusztulási ráta [g/cm²/év]; ($\epsilon =$ lepusztulási ráta (E; [m/Ma]) \times sűrűség (ρ ; [g/cm³]) $\times 0,0001$),

Λ_n , $\Lambda_{\mu slow}$, $\Lambda_{\mu fast}$ a neutronokra, a lassú és a gyors müonokra vonatkoztatott elnyelődési elnyelődési hossz (árnyékolási mélység). L_n , $L_{\mu slow}$, $L_{\mu fast}$ értékei 160, 1500 és 4320 g/cm², (BRAUCHER et al. 2003).

Amennyiben a minta fedett helyzetben van, a (2) egyenletet továbbgondolva a felszín alatti mélység is figyelembe vehető a legvalószínűbb kitétségi kor kiszámításakor:

$$(3) N_{(t,\epsilon,x)} = \frac{P_{sp} \times e^{-\frac{x}{\Lambda_{sp}}}}{\frac{\epsilon}{\lambda_{sp}} + \lambda} \left(1 - e^{-t\left(\frac{\epsilon}{\lambda_{sp}} + \lambda\right)} \right) + \frac{P_{\mu slow} \times e^{-\frac{x}{\Lambda_{\mu slow}}}}{\frac{\epsilon}{\lambda_{\mu slow}} + \lambda} \left(1 - e^{-t\left(\frac{\epsilon}{\lambda_{\mu slow}} + \lambda\right)} \right) + \frac{P_{\mu fast} \times e^{-\frac{x}{\Lambda_{\mu fast}}}}{\frac{\epsilon}{\lambda_{\mu fast}} + \lambda} \left(1 - e^{-t\left(\frac{\epsilon}{\lambda_{\mu fast}} + \lambda\right)} \right)$$

ahol: $N_{(t,\epsilon,x)}$ a CRN koncentráció [atom/g_{kvarc}] felszín lepusztulását és a minta felszín alatti mélységét is figyelembe véve;

x : elnyelődési mélység ($x =$ [g/cm²] mélység (z ; [cm]) \times sűrűség (ρ ; [g/cm³])

Egyszerű kitétségi korról akkor beszélünk, amikor a mért izotópkoncentrációból a kitétségi kor a (2) vagy (3) egyenlet alapján közvetlenül kiszámítható. Minden más esetben azonban összetett kitétségi korról van dolgunk.

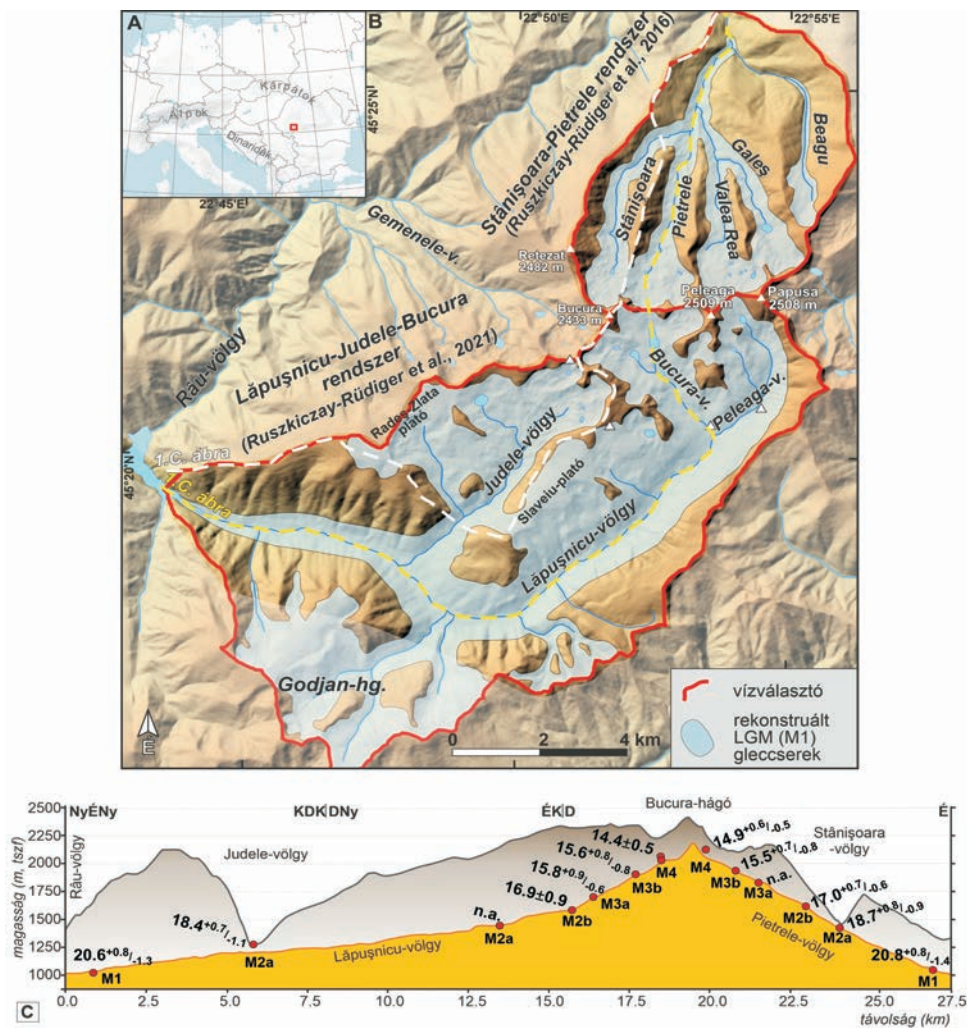
Üledékes kőzetek esetében, melyek lerakódásuk pillanatában tartalmaznak bizonyos mennyiségű, a lepusztulási területről származó CRN-t, ez az ún. átöröklött izotópkoncentráció (N_{inh}) hozzáadódik az adott helyen felhalmozódó CRN mennyiségéhez. Ilyen esetekben ennek mennyiségével és bomlásával is számolnunk kell:

$$(4) N_{(t,\varepsilon,x)} = \frac{P_{sp} \times e^{-\frac{x}{\Lambda_{sp}}}}{\frac{\varepsilon}{\Lambda_{sp}} + \lambda} \left(1 - e^{-t\left(\frac{\varepsilon}{\Lambda_{sp}} + \lambda\right)}\right) + \frac{P_{ustow} \times e^{-\frac{x}{\Lambda_{ustow}}}}{\frac{\varepsilon}{\Lambda_{ustow}} + \lambda} \left(1 - e^{-t\left(\frac{\varepsilon}{\Lambda_{ustow}} + \lambda\right)}\right) + \frac{P_{ufast} \times e^{-\frac{x}{\Lambda_{ufast}}}}{\frac{\varepsilon}{\Lambda_{ufast}} + \lambda} \left(1 - e^{-t\left(\frac{\varepsilon}{\Lambda_{ufast}} + \lambda\right)}\right) + N_{inh}(e^{-t \times \lambda})$$

Egykori eljegesedések felszínformáinak kitettségkor-meghatározása a Kárpátokban – esettanulmány

Az egyszerű kitettségkor meghatározása a glaciális felszínformák és ezeken keresztül az eljegesedési kronológiák

felállításában forradalmi újítást hozott (BALCO 2011, 2020a). A térségünkben a kronológiai adatok korlátozott elérhetősége miatt a Déli-Kárpátok eljegesedésének kora eddig kevésbé volt ismert. RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. (2016, 2021) új és újraszámolt ¹⁰Be kitettségkor-adatokat közölt az egykor eljegesedett Retyezát-hegység (Románia) északi és déli völgyeiből (1. ábra, A és B). Ezek alapján elmondható, hogy a hegység két oldalán a jég visszahúzódási szakaszai a módszer bizonytalanságán belül időben egyszerre következtek be. A terület maximális eljegesedése ~21 ezer éve következett be, ami egybeesik a globális utolsó glaciális maximummal (Last Glacial Maximum, LGM). Ezt a későglaciális során öt jégvisszahúzódási fázis követte (~18,5; ~16,9; ~15,8; ~15,6 és ~14,4 ezer éve), amelyek részben átfedték egymást a gyors gleccserolvadás miatt, de morénáik elhelyezkedése alapján jól elkülöníthetők



1. ábra. A) A Retyezát-hg. helyzete Európában. B) A Retyezát-hegység digitális magasságmodellje a vizsgált völgyekkel és az ezekben rekonstruált gleccserekkel. A szaggatott vonalak a C rész hossz-szelvényeinek helyét mutatják (sárga: völgy, fehér: gerinc). C) Észak-déli kereszt-szelvény a Lăpuşnicu-, Bucura- és Piertele-völgyek mentén. A piros pontok a végmorénák helyzetét jelölik, a számok az ezekhez tartozó eljegesedési fázisok legvalószínűbb ¹⁰Be kitettségkorát jelentik (RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2021 után)

Figure 1. A) Location of the Retezat Mountains within Europe. B) Digital elevation model of the Retezat Mts showing the studied valleys and the reconstructed glaciers. Dashed lines indicate the locations of the longitudinal profiles shown in part C (yellow: valley, white: ridge). C) North-south cross section along the Lăpuşnicu-, Bucura-, and Piertele valleys. Red dots mark the positions of terminal moraines; the numbers indicate the most probable ¹⁰Be exposure ages corresponding to the glaciation phases (after RUSZKICZAY RÜDIGER et al. 2021)

(1. ábra, C). A kutatás során a terület Fiatlabb Dryas vagy holocén eljegesedésére nem találtak bizonyítékot. A kitétségi korok alapján kirajzolódó jégviszahúzódási ciklusok összhangban állnak más európai glaciális kronológiákkal.

A lepusztulási ráta meghatározása

A felszíni kőzetekben felhalmozódott CRN-koncentrációt tehát a kitétség időtartama, a keletkezési ráta és az izotóp felezési ideje mellett a lepusztulási ráta határozza meg. A kormeghatározás addig lehetséges, amíg a keletkező izotópok mennyisége meghaladja a lebomló és a lepusztulás által elszállított izotópok mennyiségét (lásd 1. rész, 4., 5., 6. ábra). Amikor a mérleg ezen két oldala egyensúlyba kerül, vagyis a CRN-koncentráció elérte a szekuláris egyensúlyt, a kozmogén izotóp koncentrációból kitétségi kor már nem számítható ki. A (2) egyenlet alapján a CRN-koncentrációt ilyenkor a felezési idő és a lepusztulási ráta határozza meg, vagyis a CRN-koncentráció megméréssel a felszín hosszú távú lepusztulási rátája számolható ki. Ennek feltételei:

- i) a lepusztulás üteme egyenletesnek tekinthető,
- ii) elegendő idő állt rendelkezésre a CRN-koncentráció szekuláris egyensúlyának beállításához,

iii) vagy a felszín kora független módszerrel meghatározható.

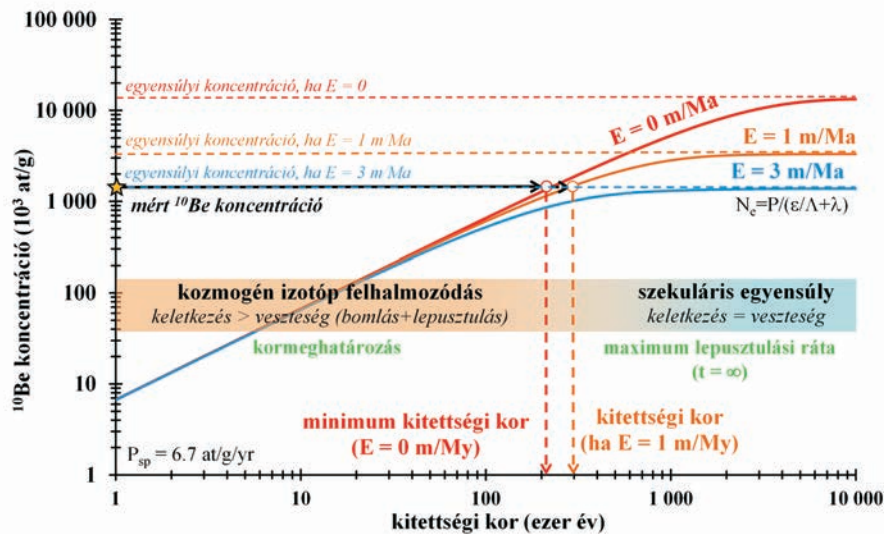
Ha a felszín kora nem ismert, a mért CRN-koncentrációból a maximális lepusztulási ráta adható meg (2. ábra).

Minimum kitétségi kor és maximum lepusztulási ráta

A TCN/CRN-koncentrációk alakulását tehát a kitétségi kor és lepusztulási ráta együttesen határozza meg. Ezért az adatok megfelelő értelmezéséhez, a két alkalmazás lehetőségeinek és korlátainak megértéséhez érdemes őket együtt tárgyalni.

A kitétségi kor meghatározása addig lehetséges, amíg a CRN keletkezése meghaladja a bomlás és a lepusztulás által okozott veszteséget. Ez a 2. ábra példáján a ^{10}Be -koncentráció növekedési szakaszát jelenti. Amikor a növekedés exponenciálisan csökken, majd leáll, vagyis beáll a szekuláris egyensúly (N_e), a CRN-koncentrációk a felszín lepusztulási rátájáról adhatnak információt.

Ha egy felszín kitétségi korának kiszámításakor a lepusztulás vagy esetleges időszakos fedő vastagsága és időtartama nem ismert, annak értékét elhanyagolva ($\varepsilon = 0$, $x=0$) a látszólagos kitétségi kor fiatalabb lesz a felszín valós koránál, tehát a felszín keletkezésének minimum kitétségi korát kaphatjuk meg (2., 3. ábra, A és B).

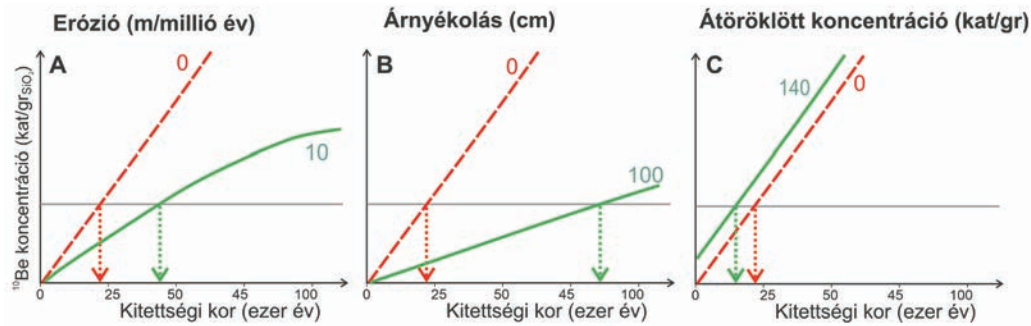


2. ábra. A kozmogén ^{10}Be izotóp felhalmozódása a kitétségi kor (t) és a lepusztulási ráta (E) függvényében és a mért izotópkoncentráció (N) értelmezése

Kormeghatározás addig lehetséges, amíg a ^{10}Be keletkezése meghaladja a bomlás és a lepusztulás általi veszteséget. A mért ^{10}Be koncentráció értelmezése: i) Nincs információ a lepusztulásról, azt feltételezzük, hogy nincs lepusztulás (piros görbe). Ez esetben a mért ^{10}Be -koncentráció a datálni kívánt felszín minimum korát adja meg (a példában ~210 ka). ii) Független adat alapján feltételezzük, hogy a felszín 1 m/millió éves rátával pusztul (narancssárga görbe), ez esetben felszín legvalószínűbb kitétségi korát adhatjuk meg (itt ~300 ka). iii) A felszín hosszú ideje folyamatosan pusztul, és az izotópkoncentráció elérte a szekuláris egyensúlyt (N_e) (kék görbe). Ez esetben az izotóp koncentrációt a lepusztulás üteme határozza meg, nem nő tovább a kitétségi kor függvényében, így a mért izotópkoncentrációból a felszín maximális lepusztulási rátája számítható ki ($E=3$ m/Ma)

Figure 2. Accumulation of cosmogenic ^{10}Be nuclides as a function of exposure age (t) and erosion rate (E), and interpretation of the measured nuclide concentration (N)

Exposure dating is possible as long as the production of ^{10}Be exceeds the losses due to radioactive decay and erosion. Interpretation of the measured ^{10}Be concentration: i) No information on erosion is available, and zero erosion is assumed (red curve). In this case, the measured ^{10}Be concentration provides a minimum exposure age for the surface (in the example, ~210 ka). ii) Independent evidence suggests an erosion rate of 1 m/Ma (orange curve). In this case, a most probable exposure age can be determined for the surface (here ~300 ka). iii) The surface has been eroding continuously over a long time, and the nuclide concentration has reached secular equilibrium (N_e) (blue curve). In this case, the nuclide concentration is controlled by the erosion rate and does not increase further with exposure age, so the measured concentration constrains the maximum erosion rate of the surface ($E=3$ m/Ma)



3. ábra. Felszíni minta TCN-koncentrációjának értelmezési lehetőségei a kitettségi kor meghatározásakor, a ^{10}Be -izotóp példáján. Szürke vonal: a mért ^{10}Be -koncentráció, zöld vonal: a valós felszínfejlődést bemutató diagram, piros szaggatott vonal: a független adatok hiányában adható legegyszerűbb értelmezés. A) A lepusztulás hatására a mért izotópkoncentráció eléréséhez hosszabb időre van szükség (zöld, $E=10$ m/Ma), mint egy feltételezett stabil felszín esetén (piros, $E=0$ m/Ma). B) Árnyékolás esetén (zöld, $x=100$ cm) a ^{10}Be felhalmozódása lassabb, mint fedetlen felszínen (piros, $x=0$ cm), ezért szintén hosszabb kitettség után éri el a mért koncentrációt, mint folyamatosan fedetlen felszín esetén. C) Korábbi kitettségéből átöröklött izotópkoncentráció (N_{inh}) jelenlétében (zöld, $N_{\text{inh}} = 140\,000$ at/g $_{\text{SiO}_2}$) kevesebb időre van szükség a mért érték eléréséhez, mint korábban teljesen árnyékolt kőzet esetén (piros, $N_{\text{inh}} = 0$ at/g $_{\text{SiO}_2}$). A látszólagos kitettségi kor A és B esetben kisebb a valós értéknél (minimum kor), C esetén a megemelt koncentráció a valósnál idősebb látszólagos kitettségi kort eredményez.

Figure 3. Possible interpretations of the TCN concentration measured in a surface sample when determining exposure age, illustrated with the example of the cosmogenic ^{10}Be nuclide. Grey line: measured ^{10}Be concentration; green line: diagram showing the actual surface evolution; red dashed line: the simplest interpretation in the absence of independent information. A) Due to erosion, a longer time is required to reach the measured nuclide concentration (green, $E = 10$ m/Ma) than in the case of an assumed stable surface (red, $E = 0$ m/Ma). B) Under shielding (green, $x = 100$ cm), the accumulation of ^{10}Be is slower than on an exposed surface (red, $x = 0$ cm), therefore the measured concentration is reached only after a longer exposure duration compared to a continuously uncovered surface. C) If an inherited nuclide concentration (N_{inh}) is present from prior exposure (green, $N_{\text{inh}} = 140\,000$ atoms/g $_{\text{SiO}_2}$), less time is needed to reach the measured concentration than in the case of previously fully shielded rock (red, $N_{\text{inh}} = 0$ atoms/g $_{\text{SiO}_2}$). In cases A and B, the apparent exposure age is younger than the true age (minimum age). In case C, the elevated concentration results in an apparent exposure age that is older than the true age.

Pusztuló felszínnek lepusztulási rátájának meghatározásánál hosszan tartó, egyenletes lepusztulást feltételezve a mért TCN-koncentráció a maximális lepusztulási ráta kiszámítására használható (2. ábra). Amennyiben a lepusztulási ráta, illetve a felszín kora független adatok alapján ismert, a (3) egyenlettel a legvalószínűbb kitettségi kor, illetve lepusztulási ráta kiszámítható. Ezeket az eseteket egyszerű kitettségi történeteknek nevezzük.

Egyes esetekben a megmintázott kőzet tartalmazhat korábbi kitettségéből származó, átöröklött izotópkoncentrációt. Ilyenek lehetnek például a folyóvízi teraszok, ahol az üledék a lerakódásának pillanatában a lepusztulási területéről bizonyos mennyiségű kozmogén izotópot hoz magával. Ez az TCN-mennyiség a helyben keletkező (terasz korával arányosan növekvő) TCN-mennyiségen felül található a kőzetben. Ebből adódóan, ha ezt nem vesszük figyelembe, a látszólagos kitettségi kor idősebb lesz a felszín valós koránál (3. ábra, C). Amennyiben az átöröklött TCN-koncentráció számszerűsíthető, a (4) egyenlettel a legvalószínűbb kitettségi kor, illetve lepusztulási ráta kiszámítható.

A kozmogén izotópos lepusztulási ráták átlagolási ideje

A TCN-koncentrációból számított lepusztulási ráta átlagolási ideje (effektív idő: T_{eff} ; LAL 1991) azt mutatja meg, hogy mennyi időre volt szükség a kozmikus sugárzás behatolási mélységét ($\Lambda_n = 160$ g/cm 2 ; ami ~60 cm kőzetvas-

tagsnak felel meg, 2,7 g/cm 3 sűrűség esetén) elérő kőzetvastagság erodálásához. Ennyi idő szükséges ahhoz, hogy a mért izotópkoncentrációk a jelen körülmények között zajló lepusztulás sebességét tükrözzék ([5] egyenlet).

$$(5) \quad T_{\text{eff}} = \frac{N_e}{P_i} \approx \frac{1}{\Lambda_i + \lambda}$$

T_{eff} alapvetően a mintavételi hely lepusztulási rátájától (ε) és a vizsgált CRN bomlási állapotjától (λ) függ. Ebből következik, hogy gyorsan pusztuló térszíneken a kozmogén izotópos lepusztulási ráta rövidebb, míg lassan pusztuló térszíneken hosszabb időtartamra vonatkozik, ezen időszak lepusztulási rátáját átlagolja (GRANGER & RIEBE 2014). T_{eff} leggyakrabban 10–100 ezer éves időskálán mozog (a hosszú felezési idejű ^{10}Be és ^{26}Al esetén), tehát legtöbbször meghaladja a pleisztocén klímaingadozások időtartamát. Ezt az adatok értelmezésénél feltétlenül figyelembe kell venni, és a rövid távú, holocén lepusztulás számszerűsítésére más független módszert alkalmazni. Erre a rövid felezési idejű kozmogén ^{14}C is alkalmas lehet, melynek esetén T_{eff} csak néhány ezer év.

A 2. ábrán bemutatott példában, ha a felszín stabil ($E=0$ m/Ma), $T_{\text{eff}^{10}\text{Be}} \approx 2,00$ Ma. Ez megfelel az adott izotóp közepes élettartamának (itt ^{10}Be , ^{26}Al esetén $T_{\text{eff}^{26}\text{Al}} \approx 1,02$ Ma) Amennyiben azonban a legkisebb erózió is éri a felszínt, T_{eff} jelentősen megrövidül: ha $E = 1$ m/Ma, $T_{\text{eff}^{10}\text{Be}} \approx \dots 890$ ka és ha $E = 3$ m/Ma, $T_{\text{eff}^{10}\text{Be}} \approx 410$ ka. Ez időtartam alatt a CRN-koncentráció a telítettség (N_e) körülbelül 63%-át éri el, ami nagyjából a CRN-növekedés

lineáris szakaszát jelenti (2. ábra). Ezt követően a telítődés üteme exponenciálisan lassul, és körülbelül 3–5 T_{eff} után éri el N_e ~80–90%-át, a kitettségi kormeghatározás felső határát. Vagyis ha nincs lepusztulás, akkor ^{10}Be esetén a kormeghatározás ~6 millió évig visszamenőleg lehetséges, ami már csekély lepusztulás esetén is néhány 100 ezer évre csökken. A fenti példánál maradva, ha a lepusztulási ráta 10 m/Ma, illetve 20 m/Ma, melyek hazánk éghajlati körülményei között reális értékek (RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2011, 2016, 2018), T_{eff} értéke ~148 ka, illetve ~77 ka. A módszer alkalmazásának tartománya ($N_e \approx 90\%$ -a) ez esetben már csak ~440–740 ka, illetve ~230–380 ka.

A TCN-lepusztulási ráták által lefedett több 10 vagy akár 100 ezer éves időtartam lényegesen hosszabb távon enged betekintést a lepusztulási folyamatok sebességébe, mint a jelenlegi talajerózió által lehordott anyag számszerűsítése vagy a recens folyókban üledécsapdázással becsülhető lepusztulási ráták. A legtöbb esetben tehát elmondható, hogy a TCN-lepusztulási ráták legnagyobb előnye, hogy egy felszín lepusztulásának ütemét 10^3 – 10^5 éves időskálán mérik, vagyis nem érzékenyek a rövidebb időtartamú, antropogén változásokra. Ennek következtében jó becslést adhatnak az antropogén hatásokat megelőző idők természetes lepusztulási folyamatainak üteméről (pl. SCHALLER et al. 2024).

Fedetlen felszín lepusztulási rátájának meghatározása karbonátos térszínen – esettanulmány

A domborzat fejlődésének megértéséhez fontos a lejtőfolyamatok hosszú távú alakulásának megismerése. GODARD et al. (2016) a provencai Luberon-mészkőhegység (Franciaország) gerincein 12 helyszínen a lejtők konvexitásának függvényében vizsgálták a hosszú távú lepusztulási rátákat helyben keletkező kozmogén ^{36}Cl izotópmérésekkel. A tető helyzetű, lapos felszín nagyjából 30–40 m/Ma lepusztulási rátáját nem érintik a gravitációs lejtőfolyamatok. A lejtők meredekebbé válásával a gravitációs folyamatok szerepének felelősödése következtében a lepusztulás üteme növekszik. Ez a tendencia azonban ~70 m/Ma lepusztulási rátánál megáll, és a konvexitás növekedése nem eredményez gyorsabb denudációs rátát. Ez arra utal, hogy ezen érték felett a lejtőfejlődést már nem a gravitációs folyamatok intenzitása, hanem a fizikai és kémiai mállás sebessége korlátozza. A tanulmány szerzői szerint ez az éles átmenet a mállás által korlátozott lepusztulásdinamikába megakadályozhatja, hogy a hegyoldalak lepusztulása kövesse a folyók bevágódását, és hozzájárulhat a nagy helyi reliefű, mediterrán karbonátos tájak kialakulásához.

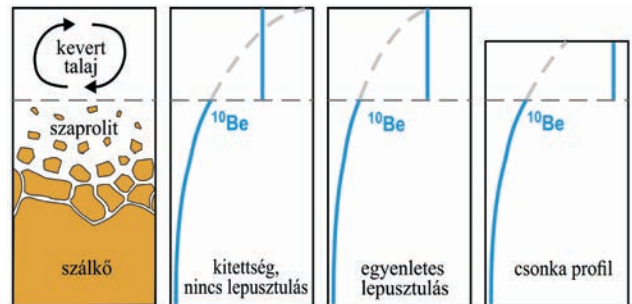
Teljes vízgyűjtő lepusztulási rátája

A vízfolyások hordalékának kvarcsezemcséiben található kozmogén izotópok információt hordoznak a teljes vízgyűjtő lepusztulásáról, legyen szó egy hegyoldalról vagy akár nagy folyamok több 1000 km²-es vízgyűjtőjéről (5. ábra, A). A vízgyűjtőszintű lepusztulási ráták alapvető információt nyújta-

nak a felszínfejlődésről lényegesen hosszabb időtartamra (többnyire 10^3 – 10^5 év), mint a recens hordalékhozamok mérésével vagy üledécsapdázással becsülhető értékek. Ugyanakkor a termokronológia nyújtotta, több millió évet felölelő exhumációs rátáknál rövidebb időtartam összevethető a földtani értelemben rövidebb, ám a felszínfejlődést nagyban befolyásoló folyamatok, mint klímaváltozás, folyóbevágódás, talajképződés, civilizációk megjelenése és hanyatlása időtartamával. Emellett a kozmogén izotópos lepusztulási ráták különböző térbeli felbontású vizsgálatokra is alkalmasak, hiszen a megmintázott vízgyűjtő mérete határozza meg a vizsgálat léptékét.

Egy vízfolyás hordalékában egyaránt megtaláljuk a lassan és a gyorsabban pusztuló területekről származó szemcséket. Minden egyes üledéksejtszemcsé ásványainak kozmogén izotóp koncentrációja arányos az időtartammal, amit a kozmikus sugárzás által besugárzott felszínközeli zónában töltött. Így a vízfolyás hordalékának TCN-koncentrációja a teljes vízgyűjtő átlagos lepusztulási rátájának számszerűsítésére alkalmas. Ehhez két lényeges felismerésre volt szükség:

1) Az egyenletesen pusztuló, vertikálisan jól átkevert talajban a TCN-koncentráció a teljes talajszelvényben állandó, és ez a koncentráció megegyezik az ugyanilyen ütemben pusztuló szálkő felszín TCN-koncentrációjával (amennyiben a kémiai mállás elhanyagolható, és már beállt a szekuláris egyensúly) (4. ábra).



4. ábra. A ^{10}Be -koncentráció alakulása vertikálisan átkevert talajokban

A kék vonal a valós ^{10}Be -koncentráció, a szürke szaggatott vonal összehasonlításképpen a ^{10}Be -koncentrációt mutatja zavartalan szelvény esetén. Látható, hogy zavartalan szelvény esetén a ^{10}Be -koncentráció exponenciálisan csökken a felszín alatti mélységgel, míg átkevert talajokban a mélységgel nem változik. Ha nincs lepusztulás, a mért ^{10}Be -koncentráció megegyezik a talaj mentén keletkező ^{10}Be -koncentráció átlagával, míg pusztuló felszín esetén a zavartalan szelvény felszíni rétegének ^{10}Be -koncentrációjával. Ha a talajszelvényt egy fiatal eróziós esemény csonkolja, a talajban mért ^{10}Be -koncentráció magasabb, mint a zavartalan szelvény esetén lenne (GRANGER & RIEBE 2014 után)

Figure 4. Variation of ^{10}Be concentration in vertically mixed soils

The blue line shows the actual ^{10}Be concentration; the grey dashed line, for comparison, shows the ^{10}Be concentration expected in an undisturbed soil profile. In an undisturbed profile, the ^{10}Be concentration decreases exponentially with depth below the surface, whereas in mixed soils it does not vary with depth. If no erosion occurs, the measured ^{10}Be concentration equals the average production of ^{10}Be within the soil column, whereas in an eroding profile it equals the ^{10}Be concentration of the surface layer of an undisturbed profile. If the soil profile is truncated by a recent erosional event, the measured ^{10}Be concentration in the soil will be higher than what would be expected in an undisturbed profile (after GRANGER & RIEBE 2014)

2) A vízgyűjtő felszínéről a lepusztulási rátával azonos ütemben kerül az üledék a vízfolyásba, így a hordalék TCN-koncentrációja arányos a vízgyűjtő átlagos lepusztulási rátájával.

A módszer azonban csak akkor alkalmazható, ha
i) a lepusztulási ráta legalább T_{eff} időtartamán állandó,

ii) a mintázott üledék jól összekevert és a teljes vízgyűjtőt képviseli,

iii) a célásványok (kvarc) eloszlása egyenletes a vízgyűjtőn (vagy a földtani felépítés alapján területarányosan korrigálható),

iv) a lepusztulás főként fizikai aprózódással és erózióval történik, a kémiai mállás, illetve a mállásnak ellenálló ásványok relatív dúsulása a talajban alárendelt,

v) a hordalék áthaladása a vízgyűjtőn gyors, nincs jelentős időszakos hordaléktározás. Ellenkező esetben a korábbi időszakok üledéke keveredhet a recens hordalékkal, ami eltorzítja a számított lepusztulási ráta értékeit. A hordalék időszakos tározódása és az idősebb üledék visszakerülése a mederhordalékba kisebb folyók esetében jobbra elhanyagolható, azonban nagy vízfolyások (pl. Duna, Pó, Amazonas, Gangesz) esetében jelentős lehet.

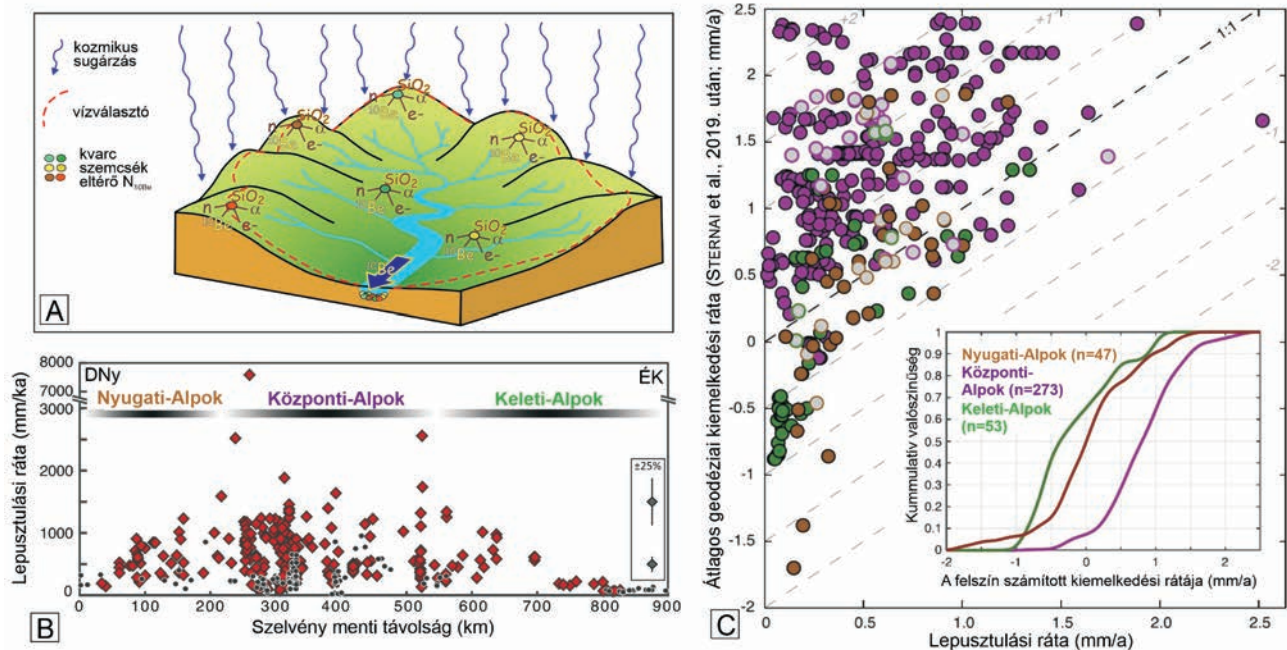
Vízgyűjtők lepusztulási rátájának meghatározása az Alpokban – esettanulmány

Nagyobb területek lepusztulási mintázatának vizsgálatához, valamint az eróziós folyamatokat vezérlő éghajlati paraméterek és szerkezeti mozgások térbeli különbségeinek felismeréséhez egymástól eltérő helyzetű vízgyűjtők hosszú

távú kozmogén izotópos lepusztulási rátájának összehasonlítása remek lehetőséget teremt. DELUNEL et al. (2020) egy a teljes Európai-Alpokra kiterjedő vizsgálat során 375 alpesi vízgyűjtő kozmogén ^{10}Be -lepusztulási rátáit vizsgálta a domborzat, az éghajlat és recens geodéziai kiemelkedési rátákhoz viszonyítva (5. ábra, B). Az adatokat korábban publikált munkákból gyűjtötték össze nagyrészt az OCTOPUS-adatbázis használatával (CODILEAN et al. 2018).

Az eredmények szerint (1) bár a közzétett adatok és a csapadék helyi szinten befolyásolhatják az eróziót, ezek a tényezők nem magyarázzák egységesen az egész Alpok lepusztulási mintázatait; (2) a vízgyűjtőszintű lepusztulási ráta szorosan követi az alapvető topográfiai mutatókat, különösen az átlagos lejtőszöveget. Ugyanakkor a denudáció és a vízgyűjtők átlagos lejtőszögének korrelációja $25\text{--}30^\circ$ -os lejtőszög fölött megszűnik. E küszöb alatti vízgyűjtőkben a folyamatok jól leírhatók diffúzív törmelékiszállítással, míg az ennél meredekebb vízgyűjtőkben az erózió sztochasztikussá válik, ami valószínűleg a glaciálisok során kialakult, sokszor túl meredek völgyoldalakkal jellemezhető domborzat következménye.

A tanulmány, bár nagy szórással, de pozitív kapcsolatot talált a jelenkori kiemelkedési ráták és a vízgyűjtőszintű denudáció között (5. ábra, C). A tanulmány szerzői megállapították, hogy összességében az Alpok mai domborzata és felszín-



5. ábra. A) Szemléltető tömbszelvény: a vízgyűjtők lepusztulási rátájának számszerűsítése a mederhordalékban található kozmogén izotópok segítségével. B) Sváprofil, ami az Európai-Alpok mentén mért vízgyűjtőszintű lepusztulási ráták térbeli eloszlását mutatja (DELUNEL et al. 2020, figure 3, B). A fekete körök az orogén magján kívül elhelyezkedő vízgyűjtőket jelölik ($n = 134$). A betétabra a kozmogén izotópos lepusztulási ráták átlagos, $\pm 25\%$ -os bizonytalanságát szemlélteti 500 és 1500 mm/ka lepusztulási ráták példáján. C) A vízgyűjtők átlagos geodéziai kőzetkiemelkedése és a vízgyűjtőszintű lepusztulási ráták közötti kapcsolat (DELUNEL et al. 2020, fig. 7). A színezett körök az egyes vízgyűjtőket jelölik. A fekete szaggatott vonalak az 1:1 arányú kapcsolatot jelzik. A nyitott szürke körök azok a vízgyűjtők, amelyek átlagos lejtőszöge $>30^\circ$. A betétabra a számított felszínkiemelkedés (azaz a vízgyűjtőszintű lepusztulási ráta és az átlagos geodéziai kőzetkiemelkedési ráta különbsége) kumulatív eloszlását mutatja a három régióban

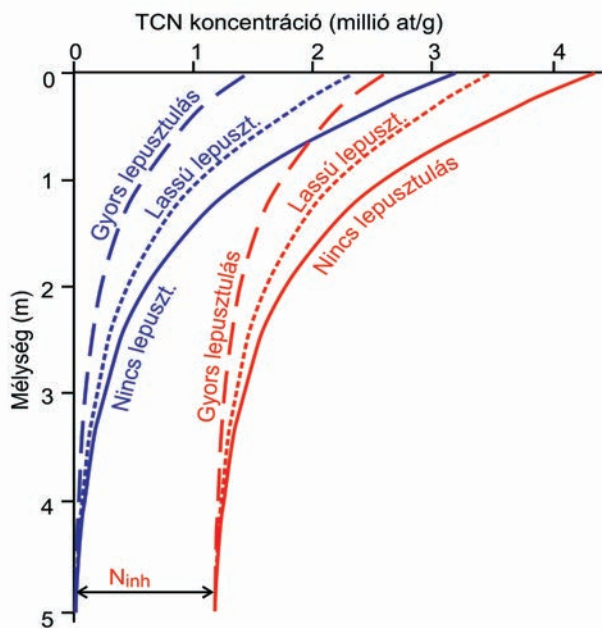
Figure 5. A) Conceptual block diagram illustrating how catchment-wide denudation rates can be quantified using cosmogenic nuclides measured in stream sediment. B) Swath profile showing the spatial distribution of catchment wide denudation rates measured along the European Alps (DELUNEL et al. 2020, fig. 3B). Black circles represent catchments located outside the orogenic core ($n = 134$). The inset illustrates the typical $\pm 25\%$ uncertainty in cosmogenic nuclide-derived erosion rates, shown for the example of 500 and 1500 mm/ka erosion rates. C) Relationship between mean geodetic rock uplift and catchment wide erosion rates (DELUNEL et al. 2020, fig. 7). Colored circles indicate individual catchments. Black dashed lines show the 1:1 relationship. Open grey circles mark catchments with mean slope angles $>30^\circ$. The inset shows the cumulative distribution of calculated surface uplift (i.e., the difference between catchment wide denudation rate and mean geodetic rock uplift rate) across the three regions

formái a múltbeli glaciális folyamatok és a jelenleg is zajló kiemelkedés együttes, hosszú távú geomorfológiai válaszát tükrözik.

A kitétségi kor és eróziós ráta egyidejű meghatározása mélységprofil menti mintavétellel

A korábbi fejezetekben láthattuk, hogy amennyiben egy adott felszínen nem ismert sem a lepusztulási ráta, sem a kitétségi kor, úgy a felszínen vett minták kozmogén izotóp koncentrációjából csak a minimum kitétségi kort vagy a maximum lepusztulási rátát számíthatjuk ki. Ugyanakkor ha a kőzetben esetlegesen jelen levő átöröklött TCN-koncentrációt figyelmen kívül hagyjuk, a számított kitétségi kor idősebb lesz a felszín valós koránál (3. ábra, C). Mindkét esetben megoldást jelenthet a mélységprofil mentén történő mintavétel (SIAME et al. 2004; BRAUCHER et al. 2009; RIXHON et al. 2011; RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2011, 2016, 2018).

A felszín alatt a kozmogén izotópok keletkezési rátája exponenciálisan csökken, és pár méter mélységben a müonreakciók veszik át a főszerepet a TCN-keletkezésben (lásd a tanulmány első részét, RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026, 3. ábra). A kozmogén izotópok koncentrációja a mélységgel ennek megfelelően szintén exponenciálisan csökken (6. ábra). A



6. ábra. A ^{10}Be -koncentráció változása a felszín alatti mélységgel

Gyors lepusztulás esetén a felszíni koncentráció értéke kisebb, a görbe lefutása meredekebb, mint lassú vagy elhanyagolható lepusztulás esetén. Amennyiben nincs átöröklött koncentráció (N_{inh}), a ^{10}Be -koncentráció a felszín alatti mélységgel nullához közelít (kék görbék). Ha a ^{10}Be -koncentráció nullánál nagyobb értékéhez tart a mélyben, az eltolódás értékéből az átöröklött koncentráció a radioaktív bomlás figyelembevételével kiszámítható (piros görbék)

Figure 6. Variation of ^{10}Be concentration with depth below the surface

Under rapid erosion, the surface concentration is lower and the decrease with depth is steeper than in case of slow or negligible erosion. If no inherited concentration (N_{inh}) is present, the ^{10}Be concentration approaches zero with increasing depth (blue curves). If the ^{10}Be concentration approaches a non zero value at depth, the vertical offset allows calculation of the inherited concentration, when accounting for radioactive decay (red curves)

müonok általi TCN-keletkezés lényegesen lassabb, így a mélyebb rétegekből származó minták tovább tartózkodnak a kormeghatározás szempontjából hasznos zónában, vagyis a kormeghatározás időtartománya meghosszabbodik.

A kozmogén izotópok keletkezésében részt vevő részecskék behatolási mélységének ismeretében a TCN-koncentráció mélységgel történő változása kiszámítható (lásd első rész, RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026 és [4] egyenlet). Ebből következik a mélységprofilos kormeghatározás másik hatalmas előnye, hogy lehetőséget teremt a valósnál idősebb látszólagos kort eredményező, átöröklött TCN-koncentráció számszerűsítésére. Amennyiben $N_{inh} = 0$, a felszín alatti mélységgel exponenciálisan csökkenő TCN-koncentráció a nullához közelít (6. ábra, kék vonal). Amikor $N_{inh} > 0$, az exponenciális görbe a mélyben szintén függőlegessé válik, de értéke nem nullához, hanem az N_{inh} értékéhez közelít (6. ábra, piros vonal), lehetővé téve N_{inh} értékének meghatározását, és a mért TCN-koncentráció ezzel való korrekcióját.

A mélységprofilos módszer használatakor a kitétségi kormeghatározás időbeli tartománya szintén a felszín lepusztulási rátájától, valamint a profil mélységétől függ. Ugyanakkor mélységprofilos kormeghatározás esetén a datálható időtartam lényegesen hosszabb lehet, mint kizárólag felszíni minták esetén. A mélységprofilok másik előnye, hogy a kitétségi kor mellett a lepusztulási ráta és az átöröklött TCN-koncentráció meghatározása is lehetséges, így üledékes kőzetek (pl folyóteraszok) kormeghatározására kiválóan alkalmazható.

A módszer előfeltétele, hogy a mintavétel zavartalan, eredeti helyzetben levő üledékből (vagy szálkőből) történjen a minták felszín alatti mélységének és a kőzet sűrűségének megmérése mellett. A mélységprofil optimális mélysége 4–6 méter vagy ennél több és a minimális mintaszám 4–5 minta, de lehet több, akár 8–10 minta. Nagyobb mélység és mintaszám esetén a kor és eróziós ráta meghatározása lényegesen robusztusabb lehet. A felszín korának és lepusztulási rátájának meghatározása akkor lehetséges, ha a lepusztulás sebessége egyenletes, és legalább a mélységi minták esetén még nem állt be a TCN-koncentráció szekuláris egyensúlya. Itt is érvényes az egyszerű kitétségi kormeghatározáskor már ismertetett feltétel, miszerint a felszín kialakulása óta nem történt üledékfelhalmozódás, vagy ennek időtartama és vastagsága ismert, illetve független módszerrel meghatározható.

A kormeghatározás az elméleti és a mért izotópkoncentrációk mélységgel történő változásának X^2 minimalizálással történő inverz modellezésével vagy Monte Carlo-szimulációkkal történik, ahol a változó paraméterek a kitétségi kor, a lepusztulási ráta, az átöröklött TCN-koncentráció és esetként a sűrűség (BRAUCHER et al. 2009, HIDY et al. 2010, Ruszkiczay-Rüdiger et al. 2016).

Kitétségi kor és lepusztulási ráta meghatározása mélységprofil menti mintavétellel a Balaton-felvidéken – esettanulmány

A mélységprofilos módszer első alkalmazása a Pannon-medence térségében a Tapolcai- és Káli-medencék szélciszolta felszíneinek kormeghatározását, és ezen keresztül az aktív deflációs periódusok idejének megállapítását, vala-

mint a terület kiemelkedéséhez köthető deflációs felszín-alacsonyodás számszerűsítését célozta (RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2011). A kutatás során 3 mélységprofilot vettek fel a Kállai Formáció kőzetpadjaiból eltérő tengerszint feletti magasságú helyszíneken. Egy profilot pedig ugyanezen formáció jóval kevésbé ellenálló, laza homokos részébe mélyítettek (7. ábra, A, B, C).

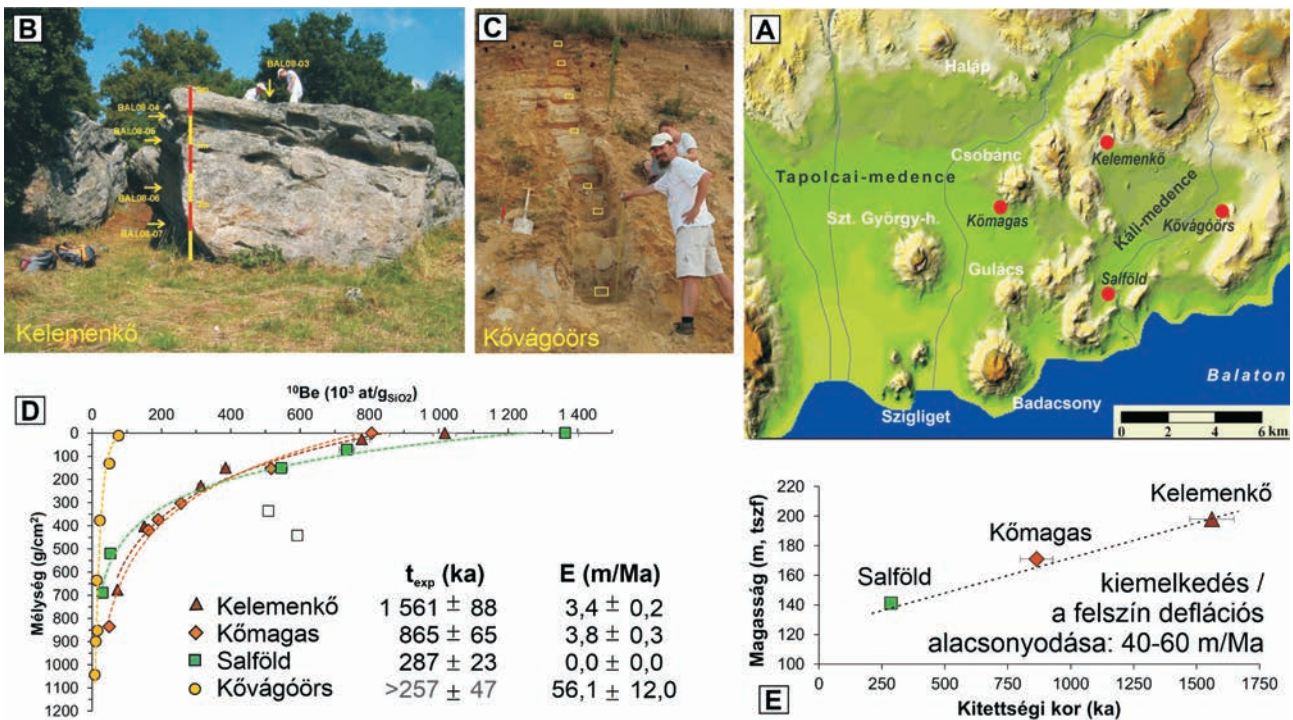
A cementált homokkő- és konglomerátumfelszínre mélyített profilok kitérés korát és lepusztulási rátáját X^2 minimalizáló inverz modellezéssel számították ki, és igen lassú, 0–4 m/Ma lokális lepusztulási rátát és a tengerszint feletti magassággal csökkenő, ~1,56 Ma, ~865 ka és ~287 ka kitérés korokat adtak. Ez a legidősebb datált szélcsiszolta felszín Európában. Ugyanakkor a laza homokkő mélyítési profilja lényegesen gyorsabb, 56 ± 12 m/Ma lepusztulási rátát adott, és e gyors felszín-alacsonyodás következményeként itt csak minimum kor meghatározására volt lehetőség (7. ábra, D). Ez a lepusztulási ráta nagyon jó egyezést mutat a szálkőfelszín kora és tengerszint feletti magassága alapján számolt, 40–60 m/Ma regionális felszín-alacsonyodással (7. ábra, E). Ez megerősítette a feltételezést, hogy az eljegesedések során a Pannon-medence nyugati felében, az emelkedő térszínen a felszín lepusztulása főként a laza üledékek deflációján keresztül ment végbe, és így igazolta,

hogy a kontinentális, periglaciális közép-európai területen a szél általi erózió fontos szerepet játszott a negyedidőszaki felszínalakulásban.

Kitérés kor és lepusztulási ráta egyidejű meghatározása két izotóp alkalmazásával

Mint azt korábban láthattuk, ha nem áll rendelkezésünkre független adat a felszín lepusztulási rátájáról vagy koráról, a felszíni mintákban mért TCN-koncentrációk a minimum kitérés kor vagy maximum lepusztulási ráta kiszámítására adnak lehetőséget (2. ábra). Két eltérő felezési idejű (vagy egy stabil és egy radioaktív) izotóp alkalmazásával azonban a kitérés kor és a lepusztulási ráta egyidejűleg meghatározható. Ilyen esetekben a (3) egyenletet a két izotópra egyidejűleg oldjuk meg oly módon, hogy a modellezett kitérés kor és lepusztulási ráta mindkét izotóp esetén azonos.

A leggyakrabban használt TCN-pár a ^{26}Al és a ^{10}Be . Népszerűségük annak köszönhető, hogy mindkét izotóp kvarcban keletkezik, így célsványuk a mállásnak ellenálló és gyakori. Emellett laboratóriumi körülmények között ugyanazon kőzetmintából kinyerhetők, biztosítva ezáltal,

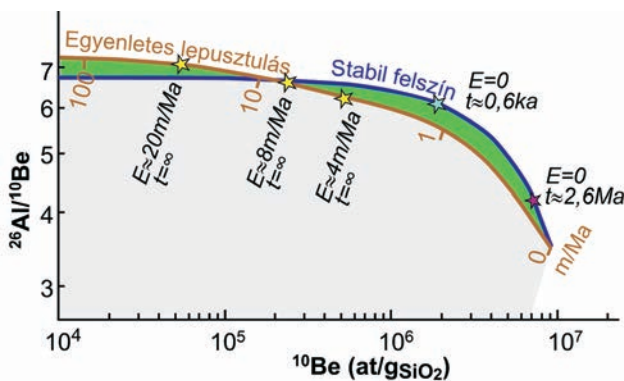


7. ábra. Kitérés kor és lepusztulási ráta meghatározása ^{10}Be -mélységprofilokkal a Balaton-felvidéken (RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2011). A) A vizsgált mélységprofilok helyzete. B) A Kelemenkö mélységprofilja. C) Mélységprofil a kővágóörsi homokbányában. D) A ^{10}Be koncentrációk alakulása a felszín alatti mélységgel. Kővágóörs gyorsan pusztuló felszínének meredek mélységprofilja jól elkülönül az ellenálló idős felszínnek ellaposodó profiljaitól (vö. a 6. ábrával). Ez esetben csak minimum kor volt számolható. E) A felszín alacsonyodása a datált felszín kitérés korát és magasságát függvényében. A ráta jó egyezést mutat a kővágóörsi profil laza homokjának ^{10}Be lepusztulási rátájával

Figure 7. Determination of exposure age and denudation rate using ^{10}Be depth profiles in the Balaton Highland (RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2011). A) Locations of the investigated depth profiles. B) Depth profile at Kelemenkö. C) Depth profile in the Kővágóörs sand quarry. D) Variation of ^{10}Be concentrations with subsurface depth. The steep depth profile of the rapidly eroding surface at Kővágóörs is clearly distinct from the flattened profiles characteristic of the erosion-resistant, old surfaces (cf. Figure 6). In this case, only a minimum exposure age could be calculated. E) Surface lowering as a function of exposure age and elevation of the dated surfaces. The rate shows good agreement with the ^{10}Be derived denudation rate of the loose sand in the Kővágóörs profile

hogya a két izotóp ugyanazt a kitétségi történetet adja vissza. Felszíni, spallációs keletkezési rátájuk aránya (R_0) állandónak tekinthető: $R_0 = P_{26}/P_{10} = 6,7 \pm 0,6$ (FENTON et al. 2022), ahol P_{26} és P_{10} a ^{26}Al és a ^{10}Be spallációs keletkezési rátája a felszínen. A müonok általi keletkezési ráta ettől eltér, de felszíni kőzetekben a müonok részesezése a teljes TCN keletkezésében 2% alatti, ezért az esetek nagy részében a fenti arány megfelelő közelítést jelent. Gyorsan pusztuló térszínnek esetében müonok által érintett mélyebb rétegek gyors felszínre kerülése következtében a felszíni kőzetekben a $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ arány akár 7-nél nagyobb is lehet (8. ábra, barna vonal függőleges tengely felé eső része). Emellett a ^{26}Al és a ^{10}Be felezési ideje földtani értelemben megfelelően hosszú és különböző: $t_{1/2-10} = 1,39$ Ma és $t_{1/2-26} = 0,705$ Ma (lásd RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026, I. táblázat). A ^{26}Al – ^{10}Be izotóppár népszerűsége folytán a módszert a továbbiakban ezen izotóppáron keresztül mutatom be, de az alapelvek bármely más izotóppár esetében is hasonlóak (pl. ^{14}C – ^{10}Be , ^{21}Ne – ^{10}Be).

A modell grafikus megjelenítése a betemetődési kor meghatározáskor (lásd következő fejezet) is használt *kitétség-betemetődés diagram* (az alakja után egyszerű neve a „banándiagram”), ahol az y tengelyen a $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -arány és az x tengelyen a ^{10}Be -koncentráció található (8. ábra). A diagram görbéit a (3) egyenlet alapján a kitétségi kor és a lepusztulási ráta változtatásával modellezett ponthalmazok határozzák meg. E diagramon valamennyi minta TCN-koncentrációi elhelyezhetők, és helyük jellemző az adott



8. ábra. Egyszerűsített kitétség-betemetődés diagram (LAL 1991 után)

A $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -arány a ^{10}Be -koncentráció változásának függvényében. Az egyes adatpontok helyzetét a mintára jellemző lepusztulási ráta, illetve a kitétségi kor határozza meg. A felszínen levő kőzetek kozmogén izotóp koncentrációi folyamatos kitétség és stabil felszín esetén a vastag, kék vonalra ($E = 0$), folyamatosan és egyenletesen pusztuló felszín esetén a barna vonalra esnek (barna számokkal a lepusztulási ráta (m/Ma) van feltüntetve). A felszíni kőzetekben mért valamennyi izotóp-koncentráció e két vonalra, vagy a kettő közötti, zöld színű területbe esik (pl. változó lepusztulási ráta esetén). Példák: világoskék és rózsaszín csillag: stabil felszínéről (százkö) származó minták, betemetődés előtti kitétségi koruk ~600 ka, illetve ~2,6 Ma; sárga csillagok: pusztuló felszínéről származó minták, a lepusztulási rátájuk ~20, ~8 és ~4 m/Ma (balról jobbra)

Figure 8. Simplified exposure-burial diagram (after LAL 1991)

The $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ ratio as a function of the change in ^{10}Be concentration. The position of each data point is determined by the sample's characteristic erosion rate and exposure age. For rocks currently at the surface, cosmogenic nuclide concentrations fall on the thick blue line if the surface is stable ($E = 0$), and on the brown line if the surface experiences steady erosion (brown numbers indicate erosion rate in m/Ma). All nuclide concentrations measured in surface rocks fall either on these two lines or within the green-shaded area between them (e.g., in the case of variable erosion rates). Examples: light-blue and pink stars: samples from stable surfaces (bedrock), with pre-burial exposure ages of ~600 ka and ~2.6 Ma, respectively. Yellow stars: samples from eroding surfaces, with erosion rates of ~20, ~8, and ~4 m/Ma (from left to right)

minta kitétségi és lepusztulási történetére. A folyamatos kitétség és elhanyagolható lepusztulás esetén a mért TCN-koncentráció a stabil felszínre jellemző folyamatos kitétség görbére esik (8. ábra, kék vonal). A görbéről leolvasható, hogy az izotópok felezési idejéhez képest rövid kitétség esetén, amíg a radioaktív bomlás még elhanyagolható, a két izotóp felszíni spallációs keletkezési rátáinak ~6.7 aránya meghatározó. Ahogy a kitétségi kor növekszik, a ^{10}Be -koncentráció nő, ugyanakkor az ^{26}Al ~kétszer gyorsabb bomlása miatt az izotóparány csökkenése figyelhető meg (a diagramon balról jobbra haladva). A görbe a szekuláris egyenegyensúlypontban ér véget, ahol a TCN keletkezés és bomlás mértéke egyezik ($^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be} = 3,45$), és a továbbiakban sem az izotóparány, sem a koncentráció nem változik.

Amennyiben a felszín folyamatosan kitétt helyzetben van, de egyenletesen pusztul, az izotópkoncentrációk az *egyenletes lepusztulás* vonalára esnek (barna vonal). Mivel a müon-reakciók által előidézett keletkezési ráta aránya nagyobb, mint a spalláció általi ~6,7 érték, gyors lepusztulás (alacsony ^{10}Be -koncentráció) esetén a felszíni izotóparány ennél magasabb, ezért a folyamatos lepusztulási görbe a folyamatos kitétségi görbe fölé kerül.

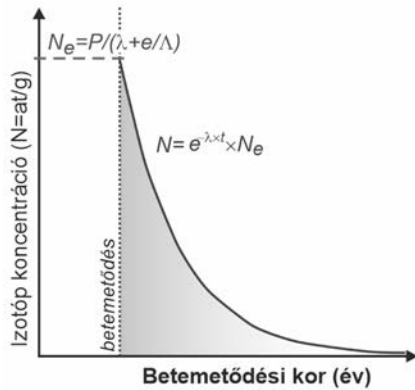
Valamennyi felszínen található minta ^{26}Al - és ^{10}Be -koncentrációja a folyamatos kitétség és lepusztulás görbéire vagy az azok közötti területre esik. Ezért ezt felszíni lepusztulás szigetnek nevezzük (zöld). Ha egy minta a mért ^{26}Al - és ^{10}Be -koncentrációi alapján a diagramon a szürke területre esik, az azt jelenti, hogy a kozmikus sugárzástól árnyékolt, vagyis betemetett helyzetben van, vagy a története során jelentősebb ideig volt fedett helyzetben (lásd bővebben a következő fejezetben). Ha egy minta a diagramon fehérre hagyott területre esik, akkor olyan izotóparányt mértünk, aminek kialakulása a természetben elméletileg nem lehetséges, tehát feltehetőleg analitikai hibáról van szó.

A betemetődési kor meghatározása

Egyszerű betemetődési kor

Amennyiben egy korábban kitétt helyzetben levő kőzet betemetődik, azaz a kozmikus sugárzástól árnyékolt helyzetbe kerül, a kozmogén izotópok keletkezése megáll. Ilyen esetben a stabil izotópok mennyisége nem változik, a radioaktív izotópok koncentrációja azonban a felezési időnek megfelelően exponenciális csökkenésnek indul (9. ábra). Ezért betemetődési kor meghatározásra csak radioaktív kozmogén izotópok (CRN) vagy egy radioaktív és egy stabil izotóp alkalmasak. A betemetődés óta eltelt idő, vagyis a betemetődési kor (t_{bur}) a felezési idő, a mért CRN-koncentráció (N) és a betemetődéskor a kőzetben levő CRN-koncentráció (N_{inh}) ismeretében kiszámítható:

$$(6) \quad N = e^{-\lambda \times t_{bur}} \times N_{inh}$$



9. ábra. A helyben keletkező radioaktív kozmogén izotóp koncentráció változása (radioaktív bomlása) időben a teljes betemetődést követően. Az ábrán $N_{inh} = N_e$

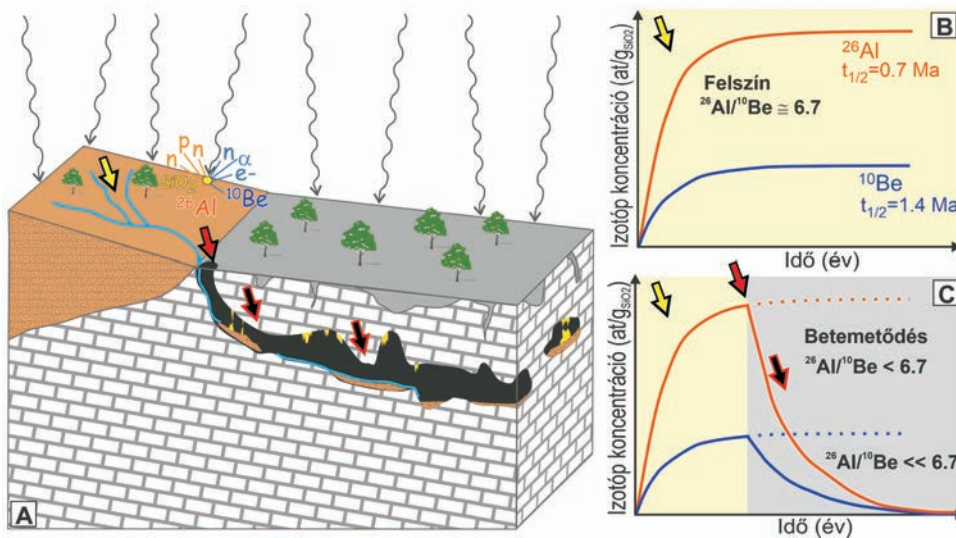
Figure 9. Temporal change of the concentration of in situ produced radioactive cosmogenic nuclides due to radioactive decay following complete burial. In the figure $N_{inh} = N_e$

A felszíni kőzetekben azonban a TCN-koncentráció (N) térben és időben igen változó. Függ a kitétség helyén a TCN-keletkezési rátától és a lepusztulási rátától, illetve a kitétségi időtartamától (lásd az első részben). Ennek meg-

felelően N_{inh} értéke a legtöbb esetben nem ismert. Ezért a betemetődési kor meghatározásához két CRN egyazon mintából való egyidejű meghatározására van szükség. Amennyiben a két radioaktív izotóp felszíni keletkezési aránya (R_0) ismert, és felezési idejük jelentősen eltérő, ezek arányának változása az egyes izotópok N_{inh} -értékének hiányában is alkalmas a betemetődés óta eltelt idő mérésére (10. ábra).

A betemetődési kor meghatározásának előfeltételei:

- i) a kőzet/üledék előzetesen kozmikus sugárzásnak kitétt helyzetben volt,
- ii) a betemetett üledék kozmikus sugárzásnak kitétt és egyenesen pusztuló térszínről származik (10. ábra, B, C),
- iii) két, eltérő felezési idejű, ugyanazon ásványban keletkező (és abból kinyerhető) radioaktív kozmogén izotóp jelenléte,
- iv) a vizsgált izotópok felszíni keletkezési rátája a földfelszínen állandónak tekinthető,
- v) a betemetődés egyszeri és földtani értelemben pillanatszerű esemény (10. ábra, A, C),
- vi) a betemetés mélysége elegendő a kozmikus sugárzástól való teljes árnyékoláshoz, vagy a betemetés mélysége ismert, és a CRN-koncentráció korrigálható a betemetődés után helyben kozmogén izotópok mennyiségével.



10. ábra. A kozmogén izotópos betemetődési kormeghatározás alapelve barlangba történő bemosódás példáján. A) Tömbszelvény, a kozmogén izotópok keletkezése a felszíni kvarctartalmú kőzetekben, ezek lepusztulása és az kozmogén izotópokat tartalmazó hordalék bemosódása és leülepedése a barlangban, árnyékolt helyzetben. B) Kozmogén ^{10}Be - és ^{26}Al -izotópok keletkezése a felszíni kőzetekben, a koncentráció exponenciális növekedése, majd telítődése a keletkezési ráta és a felezési idő és a lepusztulási ráta függvénye. A $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -arány állandó. C) A kozmogén izotóp koncentrációk csökkenése a barlangba bemosódást követően megkezdődik a radioaktív bomlás következtében. Az izotópok eltérő felezési ideje miatt a felszíni $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -arány a betemetődést követően az azóta eltelt idővel arányosan csökken. Ez a betemetődési kormeghatározás alapja. Fontos megjegyezni, hogy a betemetődés utáni áthalmazódás a módszer számára láthatatlan

Figure 10. Principle of cosmogenic nuclide burial dating illustrated by the example allochthonous cave sediment. A) Block diagram showing the production of cosmogenic nuclides in quartz-bearing rocks at the surface, their erosion, transport and deposition of the cosmogenic nuclide-bearing sediment inside a cave, where it becomes shielded. B) Production of cosmogenic ^{10}Be and ^{26}Al in surface rocks; their concentrations increase exponentially and approach saturation as a function of production rate, half-life and denudation rate. The $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ ratio is constant. C) After the sediment is washed into the cave, the concentrations of cosmogenic nuclides begin to decrease due to radioactive decay. Because the nuclides have different half-lives, the surface $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ ratio decreases proportionally with the time elapsed since burial. This is the basis of burial dating. It is important to note that post-burial re-deposition is invisible for the method

A leggyakrabban használt izotóppár a már megismert ^{26}Al – ^{10}Be , így a módszert itt is ezen izotóppár példáján mutatnánk be.

A két izotóp megmért koncentrációjának ismeretében az egyszerű betemetődési kor a (7) egyenletről kiszámítható (N_{26} és N_{10} a ^{26}Al - és ^{10}Be -izotópok mért koncentrációja [atom/g]; R_{meas} pedig a mért izotópkoncentrációk aránya):

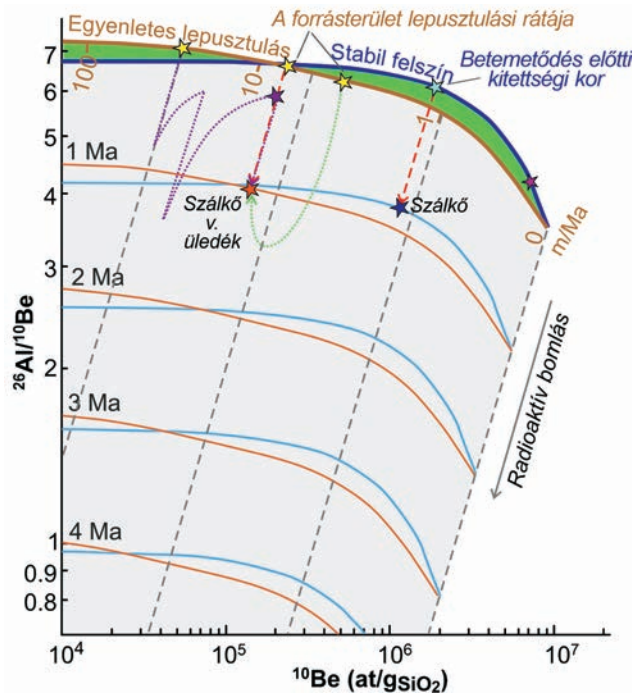
$$(7) \quad \frac{N_{26}}{N_{10}} = R_{meas} = R_0 \times e^{-(\lambda_{26}-\lambda_{10}) \times t_{bur}}$$

A (7) egyenlet akkor igaz, ha a betemetettség mélysége elég nagy ahhoz, hogy a betemetődés után teljes árnyékolást biztosítson a kozmikus sugárzástól. Az ilyen eseteket egyszerű betemetődési kornak hívjuk. (10. ábra, A, C; 11. ábra, piros szaggatott vonalak).

A betemetődési kor meghatározásának alsó határát a $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -arány változásának kimutathatósága, vagyis a mé-

rések pontossága határozza meg. Ez jelenleg ~100 ezer évre tehető, vagyis ennél rövidebb idejű betemetődés alatt bekövetkező izotóparány-változás többnyire analitikai hiba alatt marad, így nem kimutatható. Másképpen fogalmazva, a 100 ezer éves érték megfelel legfiatalabb betemetődési korok bizonytalanságának. Az alkalmazás felső határát a kőzetben található CRN elbomlása, vagyis mennyiségének a kimutathatóság alá való csökkenése jelenti. Ez nagyban függ attól, hogy mennyi volt a CRN-koncentráció a betemetődés pillanatában, vagyis mennyi ideig volt kitétt helyzetben, illetve milyen ütemben pusztult az adott kőzet a betemetődés előtt. Amennyiben a betemetődés előtti kitéttesség hosszú, illetve a lepusztulás lassú, vagyis a betemetődés pillanatában a CRN-koncentrációk magasak, a datálható tartomány 4–5 millió év is lehet. Rövid kitéttesség vagy gyors lepusztulás esetén az üledék eleve kis CRN-koncentrációval temetődik be, ilyenkor a datálható tartomány ennél lényegesen rövidebb.

Ha a betemetés csak részleges, akkor egyrészt a mért CRN-koncentráció egy része helyben, a betemetődést követően keletkezik (N_{pb}). Ez többlet koncentrációkat és megváltozott izotóparányt, és ezért a valósánál fiatalabb látszólagos kort eredményez, tehát korrekcióra szorul. Másrészt a betemetődés után keletkező izotópok koncentrációja egy idő után elérheti vagy meghaladhatja a betemetettség előtről származó CRN mennyiségét, ami megnehezítheti vagy ellehetetlenítheti a kormeghatározást. Az alkalmazhatóság időtartama ez esetben is az átöröklött izotópkoncentrációtól, illetve a betemetés mélységétől függ.



11. ábra. Kitéttesség-betemetődés diagram (GRANGER 2006, után)

A $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -arány a ^{10}Be -koncentráció változásának függvényében. A felszínen, folyamatosan kitétt helyzetben levő kőzetek kozmogén ^{26}Al és ^{10}Be -koncentrációik alapján a diagram felső részén található zöld területre, vagy az azt határoló vonalakra esnek (stabil felszín – kék; egyenesletes lepusztulás – barna). Az egyes adatpontok helyzetét a lepusztulási ráta, illetve a kitéttességi kor határozza meg (8. ábra). A vékony kék és barna vonalak a CRN-koncentrációk alakulását mutatják 1–4 millió évvel a betemetődés után, eredetileg stabil, illetve pusztuló felszínek esetén. Az egyszerű betemetődési kort a mintapontok elmozdulása jelzi piros szaggatott vonalak mentén, a példában 1 millió éves betemetődés esetén (narancssárga és sötétkék csillagok). Összetett kitéttesség-betemetődési történetekre a pontozott lila (ismételt kitéttesség és betemetődés) és zöld (részleges árnyékolás sekély mélységben) vonalak mutatnak példát

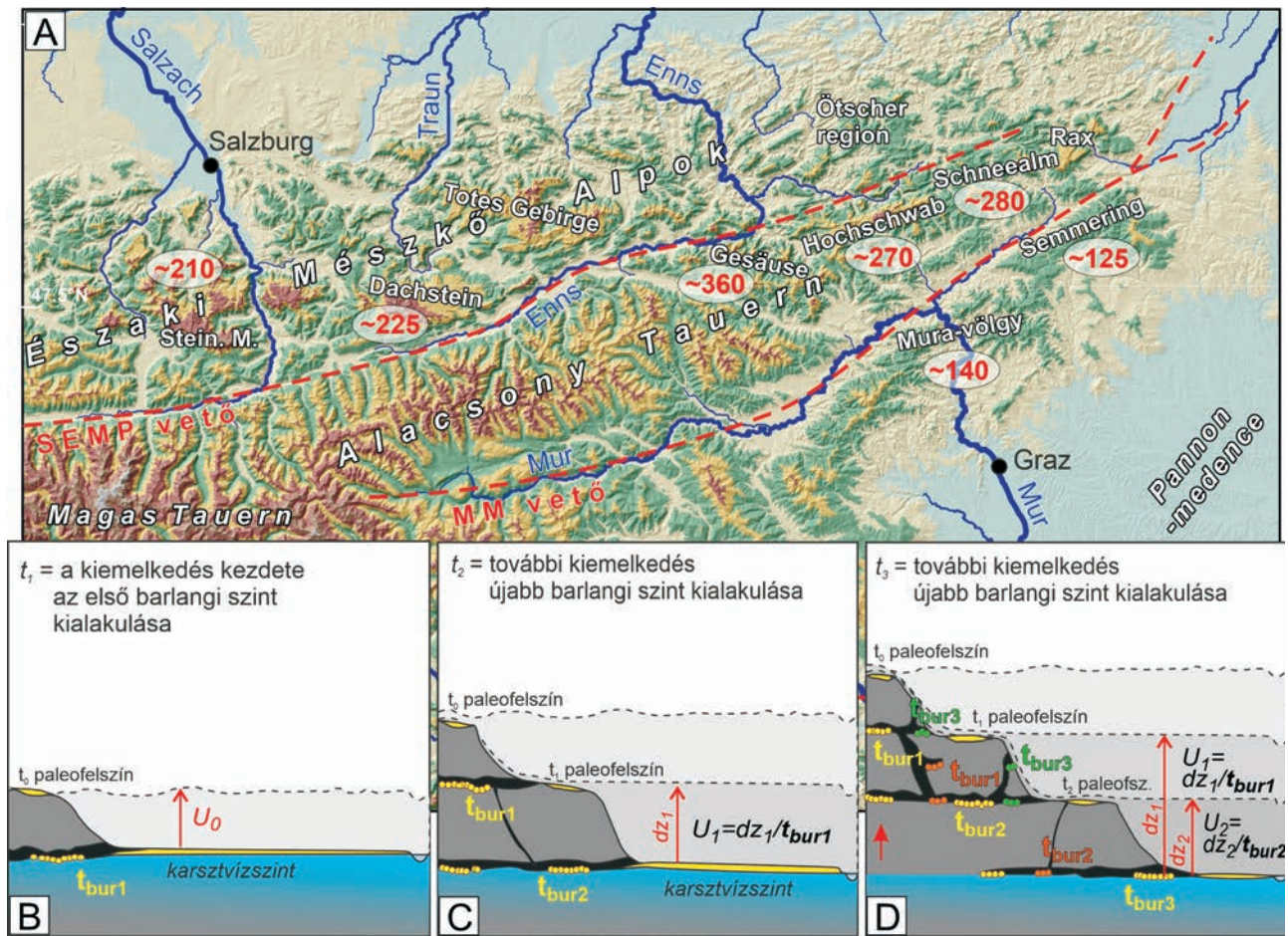
Figure 11. Exposure-burial diagram (after GRANGER 2006)

The $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ ratio as a function of changes in ^{10}Be concentration. Rocks that have remained continuously exposed at the surface plot within the green area in the upper part of the diagram, or along its bounding lines (stable surface – blue; steady erosion – brown). The position of individual data points is determined by the erosion rate and the exposure age (Figure 8). The thin blue and brown lines show the evolution of CRN concentrations 1–4 million years after burial, for originally stable and eroding surfaces, respectively. The simple burial age is indicated by the displacement of sample points along the red dashed lines, shown here for a burial age of 1 million years (orange and dark blue stars). Examples of more complex exposure-burial histories are illustrated by the dotted purple line (repeated exposure and burial) and the dotted green line (partial shielding at shallow depth)

A Keleti-Alpok kiemelkedéstörténetének számszerűsítése többszintes barlangrendszerek allochton üledékeinek betemetődési kormeghatározásán keresztül – esettanulmány

A tanulmány a Keleti-Alpok kiemelkedését a karsztos barlangokba mosódott homokos-kavicsos üledékek $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ betemetődési kormeghatározása segítségével vizsgálta (STÜWE et al. 2026) (12. ábra, A). A barlangi üledékek a képződésük idején a karsztvízszint közeli zónában rakódtak le, amelynek magassága feltételezhetően állandó volt (12. ábra, B, C, D). A hegységek kiemelkedésével e szintek a karsztvízszint fölé emelkedtek, így a járatok képződése és az allochton üledékek lerakódása egy alacsonyabb szinten folytatódott. Ennek következtében a folyóteraszokhoz hasonlóan az egyre magasabb helyzetű járatok egyre idősebbek, melyek kora a bennük lerakódott üledékek betemetődési korával számszerűsíthető volt.

Az új és újraszámolt adatokat tartalmazó, homogénizált $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -adatsor ($n=67$) az elmúlt 3–5 millió év kiemelkedéstörténetére engedett betekintést. Ez alapján az Északi-Mészkő-Alpok 1200–1500 m, míg a Pannon-medence felé eső átmeneti zóna ~500 m kiemelkedést mutatott. A legnagyobb kiemelkedési ráták a Salzachtal–Ennstal–Mariazell–Puchberg- és a Mura–Mürz-vetők között voltak a Gesäuse-, a Hochschwab- és a Schnealm-hegységekben (~357–283 m/Ma). A Salzach-völgy környékén



12. ábra. A) A Keleti-Alpok domborzata a vizsgált hegységekkel. SEMP vető: Salzachtal-Ennstal-Mariazell-Puchberg-vető, MM vető: Mur-Mürz-vető. A bekarikázott piros számok a barlangi üledékek $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ betemetődési kora alapján számított kiemelkedési ráták (Stüwe et al. 2026). B–C–D) Folyamatábra, amely szemlélteti a többszintes barlangrendszerek kialakulását emelkedő térszínen és a kiemelkedés számszerűsítését barlangi üledékek betemetődési kormeghatározásán alapuló módszerét emelkedő térszínen kialakuló többszintes barlangrendszerek esetén

A piros nyíl a köztett kiemelkedést jelzi, amely folyóbevágódást és karsztvízszintesökkenést vált ki, aminek következménye az egymást követő, egyre alacsonyabban fekvő barlangszintek kialakulása. A sárga pontok az adott időpillanatban, a freaticus barlangszint kialakulásakor a karsztvízszintben lerakódott folyóvízi üledékeket jelölik. Ezek betemetődési kormeghatározásával az adott járatszint kora megadható. A D ábrán láthatók példák a betemetődési kormeghatározás során kiugró mintákra: a narancssárga pontok magasabb barlangszintekről áthalmazott üledékek, amelyek betemetődési kora idősebb lesz, mint az a barlangszint, ahonnan mintázzák őket. A zöld pontok olyan üledékek, amelyek az üregek felszakadása következtében, jóval az adott szint kialakulása után kerültek a barlangba, ezért ezek túl fiatal látszólagos betemetődési kort adnak. A kiemelkedési ráta (U) számszerűsítésére csak a sárga pontokkal jelölt, a barlangi szinttel egyidős minták alkalmasak. dz : adott barlangi szint erózióbázis feletti magassága, t_{bur} : betemetődési kor

Figure 12. A) Topography of the Eastern Alps with the investigated mountain ranges. SEMP: Salzachtal-Ennstal-Mariazell-Puchberg fault, MM: Mur-Mürz fault. The red circled numbers show the uplift rates calculated from the $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ burial ages of cave sediments (Stüwe et al. 2026). B–C–D) Cartoon illustrating the formation of multi level cave systems in an uplifting landscape and the method for quantifying uplift using burial dating of cave sediments

The red arrow shows rock uplift, which induces river incision and a lowering of the karst water table, resulting in the formation of a sequence of progressively lower cave levels. The yellow dots represent fluvial sediments deposited in the karst water table at the time when the phreatic cave level formed. Their burial ages provide the age of the respective cave level. Panel D shows examples of outlier samples in the burial age dataset: Orange dots: reworked sediments originating from higher cave levels, yielding older burial ages than the cave level where they were sampled. Green dots: sediments that entered the cave long after the formation of the cave level, due to collapse or re opening of passages; these produce younger apparent burial ages than the true age of the cave level. Only the samples represented by yellow dots, which are contemporaneous with the formation of the cave level, are suitable for quantifying the uplift rate (U). dz : elevation of the cave level above the erosion base; t_{bur} : burial age

(Steinernes Meer, Dachstein) valamivel lassabb volt a kiemelkedés üteme (~212–224 m/Ma). Kelet felé, a Pannon-medence irányában a kiemelkedési ráták csökkenő tendenciát mutatnak (~140–125 m/Ma; Mur-völgy, Semmering) (12. ábra, A). Az eredmények azt mutatják, hogy a Keleti-Alpok mai topográfiájának nagy része az elmúlt ~5 millió évben alakult ki, nem pedig 30 millió éves időskálán, ahogy korábban feltételezték, és arra utal, hogy feltehetőleg szerkezeti mozgások és szublitoszférikus folyamatok vezérelték, míg az éghajlat csak kisebb szerepet játszott.

Összetett kitettség-betemetődés történetek

A betemetődési kormeghatározás leggyakoribb esete a barlangba bemosódó üledékek kormeghatározása. Ez esetben az árnyékolás pillanatszerű, és többnyire megfelelően mély a kozmogén izotópok betemetődés utáni keletkezésének kizárásához. Abban az esetben, ha egy felszíni rétegsor, például egy folyóvízi terasz néhány méteres mélységében végünk mintavételt betemetődési kormeghatározáshoz, a felszín alatt helyben keletkező kozmogén izotópokkal ($N_{pb,10}$ és $N_{pb,26}$) is számolni kell. Mivel N_{pb} folyamatosan hozzá-

adódik a kőzetben a betemetődés pillanatában található CRN-mennyiségéhez, lassabb lesz a CRN-koncentráció csökkenése, mint teljes árnyékolás esetén, ezért megnövekszik a látszólagos betemetődési kor. Amennyiben N_{pb} nem ismert, és teljes árnyékolással számolunk, a számított betemetődési kor minimum korként értelmezendő (11. ábra zöld pontvonal).

Részlegesen árnyékolt minták esetében, ha a betemetés mélysége ismert, a (4) egyenletet mindkét izotópra egyszerre megoldva $N_{pb,26}$ és $N_{pb,10}$ megbecsülhető. Ilyenkor x a betemetett minta felszín alatti mélysége, és t a betemetődés időtartama ($t = t_{bur}$), mindkét izotópra egyenlő. A számítást inverz modellezéssel, többszöri iterációval elvégezve, a helyben keletkező CRN-koncentráció értékével korrigált, legvalószínűbb betemetődési kor kiszámítható. A módszer előnye, hogy inverz modellezéssel, a (3) és (4) egyenletek mindkét izotópra történő egyidejű megoldásával a betemetődési kor mellett a betemetés előtti lepusztulási ráta és a betemetődés utáni felszíni lepusztulási ráta is számszerűsíthető. Ez esetben a (3) egyenlet a betemetődés előtti lepusztulástörténetet, a (4) egyenlet a betemetődés utáni történetet modellezi izotóponként.

A ^{26}Al - ^{10}Be -izotópok koncentrációinak betemetődés utáni alakulása legkönnyebben a már megismert kitétség-betemetődés diagramon szemléltethető (11. ábra). A betemetett helyzetbe került kőzetek ^{26}Al és ^{10}Be CRN-koncentrációi és $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -arányuk az izotópok radioaktív bomlása következtében a betemetettséggel időtartamával arányos mértékben csökken. Ezért a diagramon balra lefelé (szaggatott szürke vonalakkal párhuzamosan) mozdulnak el, és a szürke mezőbe kerülnek.

Egyszerű betemetődési történet esetén a diagramon a piros szaggatott vonalak követik a ^{26}Al - és ^{10}Be -koncentrációk és izotóparány-változást az 11. ábrán bemutatott stabil, illetve pusztuló üledék/felszínről származó minták (sárga és világoskék csillagok) és 1 millió éves betemetődési kora esetén (narancssárga és sötétkék csillagok).

Ugyanezen mért izotópkoncentrációk mögött azonban állhatnak összetett kitétség-betemetődési történetek is. Ilyenkor a minta CRN-koncentrációinak változása által kirajzolt útvonal lényegesen bonyolultabb lehet. Az ábrán két példa szerepel. 1) Lila pontozott vonal: többszöri betemetődés és újbóli kitétség esetén; 2) zöld pontozott vonal: részleges árnyékolás esetén. Az ábrán látható, hogy a mért ^{26}Al - és ^{10}Be -koncentrációk mindhárom esetben megegyeznek (narancssárga csillag), de a diagramról is leolvasható 1 millió éves betemetődési kor és a lepusztulási terület ~ 8 m/Ma lepusztulási rátája csak az egyszerű kitétségi történet esetén helytálló. Többszöri kihantolódás, majd betemetődés esetén (lila pontozott vonal) a jelenlegi lerakódási helyére az üledék már eleve csökkent $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -arányval érkezik (lila csillag). Ezért a látszólagos betemetődési kora lényegesen idősebb lesz az utolsó, datálni kívánt esemény koránál. Éppen ezért, ahol lehetséges, érdemes a betemetett üledék vízgyűjtőjéről felszíni mintát venni, és az abban megmért $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -arányt használni kiindulási izotóparányként (R_0).

Abban az esetben, amikor a minta betemetődése nem

elég mély a kozmikus sugárzástól való teljes árnyékoláshoz, a CRN-keletkezés lassú ütemben a felszín alatt is folytatódik (zöld pontozott vonal). Ilyen esetben a teljes árnyékolást feltételezve számolt, egyszerű betemetődési kor fiatalabb lesz a datálni kívánt esemény (pl. folyóterasz-kialakulás) koránál. Ebben az esetben ha a minta mélysége megmérhető, és a betemetődés ideje alatt állandónak tekinthető, a N_{pb} -vel korrigált betemetődési kor a (4) egyenlet alapján kiszámítható.

Izokron betemetődési kormeghatározás

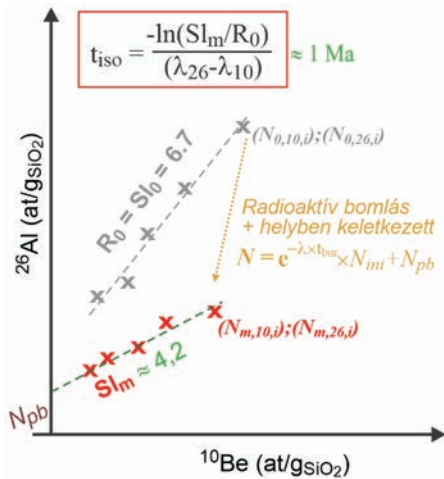
Üledékes kőzetek esetében, amikor a minta felszín alatti mélysége nem meghatározható, vagy a betemetődés óta ismeretlen mértékben változott (pl. időszakos löszborítás, ismeretlen mértékű lepusztulás), a betemetődés után helyben keletkezett CRN-koncentráció (N_{pb}) nem, vagy csak nagy bizonytalansággal becsülhető. Ennek következtében az üledék lerakódásának kormeghatározása szintén csak nagy bizonytalansággal vagy egyáltalán nem lehetséges. Ilyen esetekben az izokron-módszerrel az üledék betemetődési kora sikeresen meghatározható (BALCO & ROVEY 2008, ERLANGER et al. 2012).

Az izokron-módszer alapelve, hogy egy mintacsoporton bizonyos paraméterek állandónak tekinthetők, míg mások változnak. Így több minta esetén azokat egymáshoz hasonlítva a kívánt paraméterek meghatározhatók. Az izokron betemetődési kormeghatározás esetében ez úgy működik, hogy ugyanazon feltárásból több mintát vizsgálunk, melyek betemetődés utáni története megegyezik (T_{bur} és N_{pb} minden mintánál azonos), de a forrásterületük, így a betemetődés előtti történetük különböző (N_{inh} eltérő). Ehhez azonos rétegtani helyzetből és felszín alatti mélységből kell több (általában 4–8), lehetőleg eltérő litológiájú görgeteget mintázni. Fontos kiemelni, hogy bár a betemetődés pillanatában eltérő mennyiségű ^{26}Al - és ^{10}Be -izotópot tartalmaznak, a kezdeti $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -arányuk (R_0) egyezik.

Az így gyűjtött minták mért izotópkoncentrációi egy ^{26}Al - ^{10}Be -diagramon ábrázolva egy egyenesre esnek, melynek lejtése a betemetődés időtartamától, a metszéspontja pedig a betemetődés után keletkezett CRN mennyiségétől függ. A betemetődés pillanatában az illesztett egyenes lejtése a felszíni izotóparánnyal egyező. Betemetett helyzetben az egyenes lejtése a radioaktív bomlás következtében a mintákban az egyre kisebb $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -arányhoz megfelelően csökken (13. ábra). Az izokron betemetődési kor (t_{iso}) a mért CRN-koncentrációkra illesztett egyenes lejtéséből (Sl_m) a (6) egyenlet átrendezésével kiszámítható:

$$(8) \quad t_{iso} = \frac{-\ln\left(\frac{Sl_m}{R_0}\right)}{(\lambda_{26} - \lambda_{10})}$$

Teljes betemetés esetén, amikor nincs helyben keletkező komponense a mért CRN-koncentrációnak, az illesztett egyenes a nullához tart, és az egyes minták CRN-arányai megegyeznek az egyenes lejtésével. Sekély mélységben eltemetett minták esetén a mért CRN-koncentráció tartalmaz a betemetés után helyben keletkező komponenset ([9]



13. ábra. Az izokron betemetődési kormeghatározás alapelve

A betemetéskor jelen levő izotóparány változását a radioaktív bomlás és a betemetés mélységétől függő, helyben keletkező CRN mennyisége határozza meg. Az izokron lejtésének változásából a betemetődési kor kiszámítható a minták felszín alatti mélységének ismerete nélkül. A példában a ~4.2 lejtés ~1 Ma izokron betemetődési kornak felel meg. Sl_0 és Sl_m : minták leülepedéskori és mért izotópkoncentrációira illesztett trendvonalak lejtése. További magyarázat a szövegben

Figure 13. The principle of isochron burial dating

The change in the isotopic ratio present at the time of burial is controlled by radioactive decay and by the amount of in situ produced CRNs, which depends on burial depth. The burial age can be calculated from the change in the slope of the isochron without knowing the subsurface depth of the samples. In the example shown, a slope of ~4.2 corresponds to an isochron burial age of ~1 Ma. Sl_0 and Sl_m : slope of the trendlines fitted to the CRN concentrations at the time of burial and when measured, respectively. Further explanation is provided in the text

egyenlet), az egyes minták izotóparánya nem lesz egyenlő a mintákra illesztett egyenes lejtésével.

$$(9) N = e^{-\lambda \times t_{bur}} \times N_{inh} + N_{pb}$$

De mivel N_{pb} valamennyi minta esetén egyenlő, a pontokra illesztett egyenes lejtését, így az izokron betemetődési kort nem befolyásolja. N_{pb} értékét az egyenes y tengellyel való metszéspontja adja meg (13. ábra).

A Duna teraszának izokron betemetődési kormeghatározása és a kiugró minták azonosítása a Bécsei-medencében – esettanulmány

A tanulmány a Bécsei-medence egy Dunától délre eső, a Bécsei-medence Transzform Vető egyik ága mentén kiemelt blokkján elhelyezkedő, 14 m vastag kavicsos-homok-homos-kavics anyagú teraszának $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ betemetődési korát vizsgálta (Haslau and der Donau, RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2025) (14. ábra, A, C). A sekély mélységben eltemetett minták esetében a betemetődés után keletkező izotópkoncentrációk figyelembevétele elengedhetetlen, ezért a kormeghatározáshoz az izokron módszert alkalmazták. Ugyanakkor a relatíve nagy vastagságú kavicsösszlet lehetővé tette a terasz korának becslése mellett az izokron kormeghatá-

rozás két modelljének összevetését és a kiugró minták azonosításnak módszertani fejlesztését. Ehhez a terasz két szintjéből, 5,5 m és 11,8 m mélységből 6–6, egyenként 8–15 cm átmérőjű kavicsgörcget mintáztak meg, és a két szint egymástól független kormeghatározását tűzték ki célul. Az izokron kormeghatározáshoz elsőként e minták ^{26}Al - és ^{10}Be -koncentrációit egy laboratóriumok közötti összehasonlító elemzés során határozták meg (RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2021) (14. ábra, A, B).

A terasz korát az izokron betemetődési kormeghatározás két modelljét, a fent leírt klasszikus izokron (ISO) módszer és a mélységprofiloknál leírt X^2 minimalizálásos inverz modellezés (INV) eredményeit összevetve, azok együttes alkalmazásával számították ki. A két, egyazon üledékes összletből származó, tehát azonos betemetődési korú, de egymástól független izokron adatsor által nyújtott kontrol lehetővé tette a kiugró minták azonosítási módszertanának fejlesztését. A kiugró minták szűrését és a korbecslést több iterációban végezték mindkét adatsoron, amíg a modell jól illeszkedő, konzisztens eredményeket nem adott.

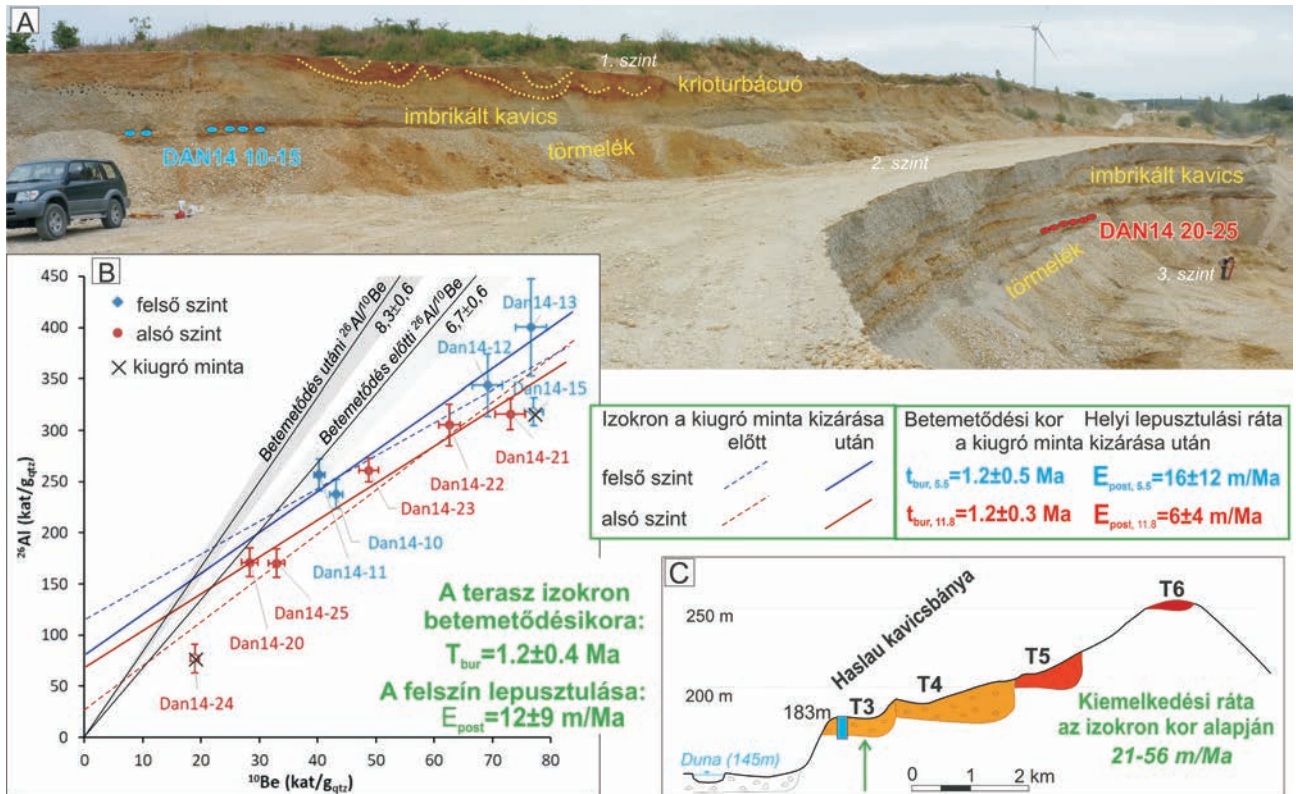
A terasz betemetődési korát mindkét szintben $1,2 \pm 0,4$ millió évre becsülték. Ez az első számszerű teraszkor a Duna déli oldalán, a Bécsei-medencén belüli dombvidékről. A koradatok alapján 21–56 m/Ma közötti kiemelkedési rátát számoltak, amely összhangban van más, a Dunához kapcsolódó kiemelkedési rátákkal, annak ellenére, hogy az egyes területek tektonikus környezete eltér (14. ábra, C). Az inverz modellezéssel lehetséges volt a betemetődés utáni, lokális lepusztulási ráta meghatározása is, ami a felső mintavételi szinten 16 ± 12 m/Ma, míg az alsó szinten 6 ± 4 m/Ma volt. Ezek bizonytalanságon belül megegyeznek, és átlagosan 12 ± 9 m/Ma felszínalacsonyodást jeleznek. A két szintben némileg eltérő helyi lepusztulási ráták egy másik lehetséges értelmezése lehet, ha a felszíni lepusztulás üteme a közelmúltban megnövekedett, ami a felső szintben már érezhető hatását, míg az alsó szint még a korábbi értéket mutatja.

A módszer gyakorlati kérdései, korlátai és lehetőségei

A megfelelő CRN-módszer és izotóp kiválasztása

A datálni kívánt felszín kiválasztásának kritériumait és az alkalmazható CRN-módszert a kutatás célja határozza meg: egy pusztuló felszín vagy vízgyűjtő esetén lepusztulási rátára leszünk kíváncsiak, míg egy diszkrét esemény során kialakult és azóta megőrződött felszínformák (morénák, folyóteraszok, földcsuszamlások) esetén azok kitettségi kora vagy betemetődési kora lesz a kérdés. Eltemetett üledékek esetén pedig értelemszerűen a betemetődés korát szeretnénk meghatározni.

A vizsgálat céljának megfelelő kozmogén izotóp megválasztásának fő szempontja a datálni kívánt felszín/üledék litológiája (izotóp alkalmazhatósága) és a várható kora (kormeghatározási tartomány). Ezek tükrében kell eldönteni, hogy melyik izotóp használható a feltett kérdés megvá-



14. ábra. Izokon betemetődési kormeghatározás a Haslau an der Donau (Ausztria) melletti kavicsbánya két szintjében (RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2021, 2025). A) A kavicsbánya a mintavételekkel. B) A felső (kék) és alsó (piros) szintről származó minták $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ -koncentrációi és a rájuk illesztett izokonok. Szaggatott vonallal valamennyi minta figyelembevételével, folytonos vonallal a kiugró minták kizárása után. A fekete vonalak a betemetődés előtti (felszíni) és a betemetődés utáni (mélységi) keletkezési rátát mutatják (a szürke sávok ezek bizonytalanságát jelölik). Figyeljük meg, hogy ha a kiugró mintákat figyelembe vesszük, a felső szint trendvonalja (kék, szaggatott vonal) meredekebb, mint az alsó szint mintáinak trendvonalja (piros, szaggatott vonal). Eszerint a rétegtanilag fiatalabb mintacsoport látszólag idősebb kort adna (lásd még 13. ábra). Ezzel szemben amikor a kiugró mintákat kizárjuk a két trendvonal (folytonos kék és piros vonal) nagyjából párhuzamosan fut, ami azt jelzi, hogy a két szint kora, a várakozásnak megfelelően, hasonló. A trendvonalak metszéspontja a betemetődés utáni keletkezési ráta vonalával magasabb CRN-koncentrációnál van a felső szint mintacsoportja esetén, ami összhangban áll a sekélyebb mélységekben várható nagyobb betemetődés után, helyben keletkezett izotóphányaddal. Fontos megjegyezni, hogy az e metszéspont alatti minták az egyik vagy mindkét izotópból kevesebbet tartalmaznak, mint a betemetődés után helyben keletkezett CRN-mennyiség, ezért ezeket kiugró mintáknak minősülnek (itt Dan14-24). C) Sematikus keresztmetszelyvény a vizsgált terasz geomorfológiai helyzetéről, és a betemetődési kora alapján számított kiemelkedési ráta

Figure 14. Isochron burial dating in the two levels of the gravel pit near Haslau an der Donau (Austria) (RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2021, 2025). A) The gravel pit with the sampling locations. B) $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ concentrations of the samples from the upper (blue) and lower (red) levels, together with the fitted isochrons. Dashed lines show fits including all samples, whereas solid lines represent fits after excluding the outlier samples. The black lines indicate the pre-burial (surface) and post-burial (at sampling depth) production rates (grey bands show their uncertainties). Note that when the outlier samples are included, the trendline of the upper level (blue dashed line) is steeper than the trendline for the lower level samples (red dashed line). This would imply that the stratigraphically younger sample set yields an apparently older age (see also Figure 13). In contrast, when the outliers are excluded, the two trendlines (solid blue and red lines) run approximately parallel, indicating that the two levels have similar ages, as expected. The intersection of the trendlines with the post-burial production rate line is located at higher CRN concentrations for the upper-level samples, which is consistent with the larger post-burial CRN production at shallower depth. It is important to note that samples plotting below this intersection contain less of one or both nuclides than the amount produced in situ after burial; therefore, these samples are classified as outliers (in this case, sample Dan14-24). C) Schematic profile showing the geomorphological position of the studied terrace and the uplift rate estimated based on its burial age

laszolására (lásd a tanulmány első részében, RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026).

Mintavétel

A mintavétel helyének kiválasztása

A mintavétel helyének kiválasztása is a kutatás kérdésfeltevésétől és az alkalmazni kívánt TCN-módszertől függ. Kitétségi kormeghatározásra stabil, nem vagy lassan pusztuló, fedetlen, vízszintes felszínnek alkalmasak. Lepusztulási ráta meghatározására lehetőleg egyenesen pusztuló vízszintes vagy lejtős térszínekről, vagy vízgyűjtők esetén mederhordalékból érdemes mintát

venni. Betemetődési kor meghatározásához értelemszerűen korábban kitett helyzetű, de jelenleg a kozmikus sugárzástól részben vagy teljesen árnyékolat mintákat kell választanunk.

A mintavételei hely leírása

A mintavételei hely pontos leírása alapvető a mintákból kapott laboreredmények kiértékelésekor. A keletkezési ráták szempontjából elsődleges a földrajzi koordináták és a tengerszint feletti magasság nagy pontosságú megadása. Emellett a felszín geometriája, dőlése és csapása, a horizont árnyékolása, valamint a minta vastagsága és felszín alatti mélysége is elengedhetetlen adatok a kor- és lepusztulási

rátá kiszámításához (lásd a tanulmány első részében, RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026).

A szükséges mintamennyiség becslésénél, ha a kőzet nem monomineralikus, a cél ásványarányát figyelembe kell venni. Erről, amennyiben lehetséges, érdemes a szakirodalomból tájékozódni, és/vagy amennyiben előzetes információ nem áll rendelkezésre, a minta leírása során hasznos megbecsülni és feljegyezni. Kitétségi kor esetén a felszín eredetiségének jelei (rétegzés, mállottság, szállkó esetén eróziós nyomok), illetve az esetleges időszakos fedő nyomainak feljegyzésére érdemes figyelni. Emellett minden egyéb, lokálisan értelmezhető adat később érdekes lehet (pl. repedezettség, a litológia térbeli változásai, inhomogenitása, esetleges áthalmozódásra utaló jelek).

A minta mennyisége

A helyben keletkező kozmogén izotópos vizsgálatokhoz szükséges minta mennyisége minden mintavételkor a megválaszolendő kérdés, a litológia, a választott izotóp és a várt kor függvényében egyedi mérlegelésre szorul.

A vizsgálathoz szükséges kőzetminta mennyisége a kiválasztott izotóp célásványától, illetve annak a kőzetbeli előfordulási gyakoriságától függ. Például, ha a célásvány a kvarc, nem mindegy, hogy egy kvarcit a mintázandó kőzet, egy ~40% kvarctartalmú gránit vagy egy éretlen homokos üledék 20% kvarctartalommal. A kőzetben a kvarcásványok mérete el kell érje a laboratóriumi vizsgálathoz szükséges szemcseméret-tartományt (lásd a következő fejezetet). A méréshez szükséges mintamennyiség is izotóponként igen változó: például ~10–40 g (esetenként több) tiszta kvarc ^{10}Be - és ^{26}Al -vizsgálatokhoz és ~5 g ^{14}C koncentráció meghatározásához. A ^3He -, ^{21}Ne -vizsgálatokhoz 1–2 g ásványszeparátum is elegendő, ám ezek jobbára kisebb mennyiségben vannak jelen a kőzetekben (pl. olivin, piroxén, amfibol). A karbonátokon vagy földpáton végzett ^{36}Cl -méréshez általában 15–40 g minta elegendő. Fontos figyelembe venni, hogy a tiszta ásványszeparátum előállítása során az eredeti minta tömegének akár 50–80%-a is „elfogyhat”, így a terepen vett minta mennyisége átlagosan a 0,5–2 kg, de akár 3–4 kg vagy ennél több is lehet.

Esetenként fontos tényező lehet a felszín várt kora (lepusztulásának üteme) is. Ha igen fiatal kitétségi korra vagy gyors lepusztulási rátára, illetve nagyon idős betemetődési korra számítunk, akkor a mintában várható TCN-koncentráció nagyon kicsi. Ilyen esetekben a szokásosnál több mintára lehet szükség, hogy kimutatási határ feletti TCN-t sikerüljön a szeparálni. Ugyanez érvényes a várhatóan nagyon idős betemetődési korú mintákra is.

Laboratóriumi munka

A helyben keletkező kozmogén izotópok koncentrációja a kőzetekben rendkívül alacsony, ezért igen érzékeny műszerekre van szükség koncentrációjuk megméréséhez. A mérés gyorsító tömegspektrométerrel (AMS), illetve nemesgáz-tömegspektrométerrel történik, ami lehetővé teszi rendkívül alacsony (akár 10^{-15}) izotóparányok megfelelő pontosságú megmérését, utat nyitva a

helyben keletkező kozmogén izotópok koncentrációinak meghatározására.

A mintaelőkészítés folyamata a kőzetanyag és a vizsgálandó izotóp tulajdonságaitól függően igen eltérő lehet. Az alábbiakban a legalapvetőbb és a legáltalánosabban követendő lépések ismertetésére szorítkozom.

Az első lépés minden esetben a kőzetminta aprítása és szitálása a megfelelő szemcseméret-tartomány (általában 250–1000 mm) kinyerésére irányul. Ezt követi a vizsgálathoz szükséges ásványfrakció elválasztása a többi ásványtól. Ennek leggyakoribb első lépései a mágneses és nehézfolyadékos ásványelválasztás.

Ezt követően az ásványok további elválasztásra és tisztításra szorulnak, ami történhet kézi válogatással binokuláris mikroszkóp segítségével, főként a nemesgázokhoz szükséges 1–2 grammos mintamennyiség esetén. Ahol nagyobb mennyiségű mintára van szükség, ott az ásványok további tisztítása a minta savas maratásával történik (pl. ^{10}Be , ^{26}Al , ^{14}C). A méréshez szükséges tiszta szeparátum mennyisége függ a litológiától, a mérni kívánt kozmogén izotóptól és a mérés által megcélzott paleofelszín várható TCN-koncentrációjától.

A nemesgázok esetében (^3He , ^{21}Ne) az ásványszeparátum a nemesgáz-tömegspektrométerhez csatolt feltáró vonalba kerül, ahol az ásványokban felhalmozódott kozmogén izotópot több lépésben kinyerik, elválasztják a többi izotóptól, majd a mérőműszerhez vezetik.

A ^{14}C esetében a mérés AMS-sel történik, ahol szintén a műszerhez csatlakozó feltáró rendszerben történik a mérni kívánt C-izotópok leválasztása.

A ^{10}Be , ^{26}Al és ^{36}Cl esetében a tiszta ásványszeparátumot feloldják, és a vizsgálandó CRN-t kémiai úton választják el az összes többi „szennyező” izotóptól (pl. RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2021b). E folyamat során ismert mennyiségű, más tömegszámú hordozót adnak a mintához, az AMS-mérés során ennek arányában történik a kozmogén izotóp mennyiségének meghatározása. A ^{26}Al esetében a mintában jelen levő természetes Al mennyisége független módszerrel meghatározandó. A ^{36}Cl esetében a keletkezési folyamat összetett, és függ a kőzet ásványos összetételétől, ezért a minták fő- és nyomelem összetételének független módszerrel történő meghatározására is szükség van.

A módszer bizonytalansága

Az előbbieken alapján látható, hogy a kozmogén izotópos kormeghatározás során a megmintázott kőzetben található, helyben keletkező kozmogén izotópokat laboratóriumi mintaelőkészítés során fizikai és kémiai úton szeparáljuk, majd műszeresen mérjük. A mért izotóparányokból a méréshez felhasznált tiszta minta tömegének ismeretében a TCN-koncentráció kiszámítható. Az így kapott izotópkoncentrációk alapján bizonyos fizikai állandókat és paramétereket figyelembe véve matematikai egyenletrendszerek használatával lehet a kitétségi vagy betemetődési kort és/vagy lepusztulási rátát kiszámolni. Ennek következményeként a számolt koradat bizonytalansága is több részből tevődik össze.

A laboratóriumi eljárás nyomán, annak adatait felhasználva kapott TCN-koncentráció bizonytalansága az analitikai bizonytalanság. Ez legtöbb esetben magába foglalja a tömegmérés-, a sztenderdek és hordozó, a tömegspektrométeres mérés és a vak mintával való korrekció bizonytalanságát.

Az így meghatározott TCN-koncentrációból a mintavételkor felállított koncepciónak megfelelően kitétségi- vagy betemetődési kor és/vagy lepusztulási rátát számolunk. Ehhez szükség van az izotópspecifikus és térben változó keletkezési ráta mintavételi helyre kiszámított értékére, amit a magas szélességeken tengerszintre vonatkozó keletkezési ráta (P_{SLHL}) alapján tudunk a mintavétel helyére vonatkozóan kiszámítani (lásd a tanulmány első részében, RUSZKICZAY-RÜDIGER 2026). Emellett az izotópok felezési idejének, keletkezési rátájuk arányának (több izotóp együttes alkalmazása esetén) és a kőzet sűrűségének, a minta mélységének (ahol releváns) bizonytalanságai kell, hogy megjelenjenek a becsült kor vagy lepusztulási ráta bizonytalanságában. Ezek alapján a kozmogén izotópos kitétségi és betemetődési kor, valamint a lepusztulási ráta adatok bizonytalansága a következő elemekből épül fel:

- 1) a mérés analitikai bizonytalansága (N) (ált. 3–10%),
- 2) a felezési idő ($t_{1/2}$) bizonytalansága,
- 3) a P_{SLHL} keletkezési ráta, valamint P értékének a mintavételi helyre való kiszámításához használt modell bizonytalanságai,
- 4) több izotóp alkalmazása esetén azok felszíni keletkezési rátái arányának (R_0) bizonytalansága,
- 5) minta mélységének és a kőzet sűrűségének bizonytalansága (ahol releváns).

A kozmogén izotópos adatok közlésekor az analitikai bizonytalanság legtöbbször mint belső bizonytalanság (*internal uncertainty*), a kor-, illetve rátaszámítás teljes bizonytalansága mint külső (*external uncertainty*) vannak feltüntetve. A külső bizonytalanság magába foglalja a 2), 4) és 5) tényezőket, azonban előfordul, hogy ezek közül csak a 2)-t vagy 2)-t és 3)-at veszik figyelembe. Ugyanakkor a helyi keletkezési ráták kiszámításához használt modell bizonytalansága (3) nem számszerűsített adat, így ez hiányzik a külső bizonytalanságból is. A számításokhoz használt modell megadásával biztosítható az adatok összehasonlíthatósága és a becsült korok újraszámolhatósága. A TCN-adatok teljes bizonytalansága így akár 20–30% is lehet.

Emellett számos nehezen számszerűsíthető bizonytalansági tényező is van a módszerben, melyek többnyire nem jelennek meg a becsült kor és lepusztulási ráta bizonytalanságában. Ilyenek például a domborzat- és önárnyékolás, a kitétségi kor esetén a felszín lepusztulása (többnyire becsült érték), az átöröklött izotópkoncentráció esetleges jelenléte, a tengerszint feletti magasság bizonytalansága, illetve annak változása függőleges kéregmozgások által (ahol releváns), időszakos hó- vagy talajborítás, vagy akár a kezdeti izotóparány elméleti értéktől való esetleges eltérése. Nem elhanyagolható a mért adatokból kiugró értékek felismerésének és a kormeghatározásból való kizárásának jelentősége. A különböző alkalmazási

területeken más-más módszerek lehetnek célravezetőek, amelyekhez az adatpopuláció mintázatát, valamint a földtani és terepi tényezőket is figyelembe kell venni (APLEGATE et al. 2010, 2012; BALCO 2020a; LUO et al. 2020; LOTTER et al. 2023; RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2025).

Hasznos linkek

A helyben keletkező kozmogén izotópos kutatásokat segítő honlapok két nagyobb csoportra oszthatók. Az egyik csoport adatbázis jellegű: kozmogén izotópos adatokat gyűjt össze és tesz elérhetővé valamilyen szisztéma szerint. Ilyenek a következők:

ICE-D (Informal Cosmogenic-Nuclide Exposure-age Database)

Dinamikus kitétségi kor adatbázisa, folyamatosan fejlesztik, lekérdezéskor mindig a legújabb számítási és kalibrációs adatokkal számolja újra a korokat a tárolt mérési adatokból (BALCO 2020b): <https://version2.ice-d.org/>

Négy része van:

1) ICE-D – ANTARCTICA

Minden TCN adat az Antarktiszról: <https://version2.ice-d.org/antarctica/>

2) ICE-D – ALPINE

Hegyvidéki eljegesedésekhez kapcsolódó globális TCN adatbázis: <https://version2.ice-d.org/alpine/>

3) ICE-D – GREENLAND

Grönlandi kitétségi kor adatbázis: <https://version2.ice-d.org/greenland/>

4) ICE-D – PRODUCTION RATE CALIBRATION DATA

A helyi keletkezési ráták kiszámításához szükséges kalibrációs adatbázis: <https://version2.ice-d.org/production%20rate%20calibration%20data/>

OCTOPUS: an open cosmogenic isotope and luminescence database

Online, szabadon elérhető adatbázis, ami lehetővé teszi kozmogén izotópos, lumineszcens és radiokarbon-adatok megjelenítését, lekérdezését és letöltését. A kozmogén izotópos adatbázis globális és a ^{10}Be és ^{26}Al lepusztulási rátákat, beleértve a vízgyűjtőszintű lepusztulási rátákhoz tartozó térinformatikai adatokat, valamint glaciális felszínformák kitétségi korait foglalja magába. A lumineszcens és radiokarbon-adatbázis Ausztrália területére szorítkozik (CODILEAN et al. 2018, 2022): <https://octopusdata.org/>

A kozmogén izotópos adatok feldolgozását és értelmezését segítő online felületek másik csoportja a kozmogén izotópos kormeghatározás relatíve bonyolult és nagy számításigényű feladatait végzi el részben vagy egészben. A teljesség igénye nélkül néhány ezek közül:

CosmoCalc

Letölthető Excel add-in kozmogén izotópos számításokhoz szükséges adatkonverziók és keletkezési ráta számítások elvégzésére (VERMEESCH 2007), <https://www.ucl.ac.uk/~ucfbpve/cosmocalc/>

CAIRN: Catchment-averaged cosmogenic nuclide calculator

Letölthető szoftver vízgyűjtők lepusztulási rátájának kiszámításához (MUDD et al. 2016), https://github.com/LSDtopotools/LSDTopoTools_CRNBasinwide

CRONUS on-line Calculator

Egyszerű kitétségi kor és lepusztulási ráta (^3He , ^{10}Be , ^{14}C , ^{21}Ne , ^{26}Al), keletkezési ráta kalibráció és domborzatárnyékolás értékének kiszámítására alkalmas honlap (BALCO et al. 2008), <http://hess.ess.washington.edu/math/>

CRONUS Earth Web Calculator (CRONUScalc)

Egyszerű és összetett kitétségi korok, lepusztulási ráta (^3He , ^{10}Be , ^{14}C , ^{21}Ne , $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$, ^{36}Cl) és domborzatárnyékolás értékének kiszámítására alkalmas honlap (MARRERO et al. 2016), <https://cronus.cosmogenicnuclides.rocks/2.0/>

iceTea – Tools for Exposure Ages from ice margins

Jégkörnyéki felszínformák kitétségi korának kiszámításához és az adatok elemzéséhez illeszkedő online eszköztár (^{10}Be , ^{26}Al) (JONES et al. 2019), <http://ice-tea.org/en/>

CREp (Cosmic Ray Exposure program)

Online eszköz ^{10}Be és ^3He kitétségi korok kiszámításához (MARTIN et al. 2017), <https://crep.opelo.univ-lorraine.fr/#/>

Hazánkban a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézetében működik kozmogén izotópos mintaelőkészítő laboratórium, http://www.geochem.hu/facilities/lab_hu.html

Köszönetnyilvánítás

A hazai kozmogén izotópos labor kiépítését és működését, így az e fejezet megírásához szükséges szakmai tapasztalat megszerzését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal PD 83610 és FK 124807 számú pályázatai támogatták.

Emellett hálával tartozom Régis BRAUCHER-nak, Silke MERCHEL-nek és Stephanie NEUHUBER-nek a módszer alapjainak és alkalmazásának elsajátításához nyújtott segítségükért, a sok gondolatébresztő beszélgetésért és jótanácsokért mind a laboratóriumi munka, mind az adatok értelmezése területén. Köszönöm a cikk bírálójának, HORVÁTH Erzsébetnek és SEBE Krisztinának, valamint a *Földtani Közlemény* szerkesztőinek, SZTANÓ Orsolyának és FODOR Lászlónak a cikk átolvasását, hasznos megjegyzéseiket és javaslataikat, melyek nagyban elősegítették a végleges közlemény jobb érthetőségét és követhetőségét.

Irodalom – References

- APPLEGATE, P. J., URBAN, N. M., LAABS, B. J., KELLER, K. & ALLEY, R. B. 2010: Modeling the statistical distributions of cosmogenic exposure dates from moraines. – *Geoscientific Model Development* **3/1**, 293–307. <https://doi.org/10.5194/gmd-3-293-2010>
- APPLEGATE, P. J., URBAN, N. M., KELLER, K., LOWELL, T. V., LAABS, B. J., KELLY, M. A. & ALLEY, R. B. 2012: Improved moraine age interpretations through explicit matching of geomorphic process models to cosmogenic nuclide measurements from single landforms. – *Quaternary Research* **77/2**, 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2011.12.002>
- BALCO, G. 2011: Contributions and unrealized potential contributions of cosmogenic-nuclide exposure dating to glacier chronology, 1990–2010. – *Quaternary Science Reviews* **30/1–2**, 3–27. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.11.003>
- BALCO, G. 2020a: Glacier Change and Paleoclimate Applications of Cosmogenic-Nuclide Exposure Dating. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **48**. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-081619-052609>
- BALCO, G. 2020b: Technical note: A prototype transparent-middle-layer data management and analysis infrastructure for cosmogenic-nuclide exposure dating. – *Geochronology* **2**, 169–175. <https://doi.org/10.5194/gchron-2-169-2020>
- BALCO, G. & ROVEY, I. C. W. 2008: An isochron method for cosmogenic-nuclide dating of buried soils and sediments. – *American Journal of Science* **308**, 1083–1114. <https://doi.org/10.2475/10.2008.02>
- BALCO, G., STONE, J. O., LIFTON, N. A. & DUNAI, T. J. 2008: A complete and easily accessible means of calculating surface exposure ages or erosion rates from ^{10}Be and ^{26}Al measurements. – *Quaternary Geochronology* **3**, 174–195. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2007.12.001>
- BIERMAN, P. R. 1994: Using in situ produced cosmogenic isotopes to estimate rates of landscape evolution: A review from the geomorphic perspective. – *Journal of Geophysical Research* **99/B7**, 13885–13896. <https://doi.org/10.1029/94jb00459>
- BLANCKENBURG, F. von & WILLENBRING, J. K. 2014: Cosmogenic nuclides: Dates and rates of Earth-surface change. – *Elements* **10/5**, 341–346. <https://doi.org/10.2113/gselements.10.5.341>
- BRAUCHER, R., DEL CASTILLO, P., SIAME, L., HIDY, A. J. & BOURLÉS, D. L. 2009: Determination of both exposure time and denudation rate from an in situ-produced ^{10}Be depth profile: A mathematical proof of uniqueness. Model sensitivity and applications to natural cases. – *Quaternary Geochronology* **4**, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2008.06.001>
- CALVET, M., GUNNELL, Y., DELMA, M., BRAUCHER, R., JAILLET, S., HÄUSELMANN, P., DELUNEL, R., SORRIAUX, P., VALLA, P. G. & AUDRA, P. 2024: Valley incision chronologies from alluvium-filled cave systems. – *Earth Science Reviews* **258**, 104963. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104963>
- CERLING, T. E. & CRAIG, H. 1994: Geomorphology and in situ cosmogenic isotopes. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **22**, 273–317. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.22.1.273>
- CODILEAN, A. T., MUNACK, H., COHEN, T. J., SAKTURA, W. M., GRAY, A. & MUDD, S. M. 2018: OCTOPUS: An open cosmogenic isotope and luminescence database. – *Earth System Science Data* **10/4**, 2123–2139. <https://doi.org/10.5194/essd-2018-32-rc1>

- CODILEAN, A. T., MUNACK, H., SAKTURA, W. M., COHEN, T. J., JACOBS, Z., ULM, S. & PANTA, A. 2022: OCTOPUS database (v. 2). – *Earth System Science Data* **14/8**, 3695–3713. <https://doi.org/10.5194/essd-14-3695-2022>
- DUNAI, T. 2010: Cosmogenic Nuclides: Principles. – *Concepts, and Applications in the Earth Surface Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 187 p.
- ERLANGER, E. D., GRANGER, D. E. & GIBBON, R. J. 2012: Rock uplift rates in South Africa from isochron burial dating of fluvial and marine terraces. – *Geology* **40/11**, 1019–1022. <https://doi.org/10.1130/g33172.1>
- FENTON, C. R., BINNIE, S. A., DUNAI, T. & NIEDERMANN, S. 2022: The SPICE project: Calibrated cosmogenic ^{26}Al production rates and cross-calibrated $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$, $^{26}\text{Al}/^{14}\text{C}$, and $^{26}\text{Al}/^{21}\text{Ne}$ ratios in quartz from the SP basalt flow, AZ, USA. – *Quaternary Geochronology* **67**, 101218. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2021.101218>
- GODARD, V., OLLIVIER, V., BELLIER, O., MIRAMONT, C., SHABANIAN, E., FLEURY, J., BENEDETTI, L., GUILLOU, V. & ASTER TEAM 2016: Weathering-limited hillslope evolution in carbonate landscapes. – *Earth and Planetary Science Letters* **446**, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.04.017>
- GOSSE, J. C. & PHILLIPS F. M. 2001: Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application. – *Quaternary Science Reviews* **20**, 1475–1560. [https://doi.org/10.1016/s0277-3791\(00\)00171-2](https://doi.org/10.1016/s0277-3791(00)00171-2)
- GRANGER, D. E. 2006: A review of burial dating methods using ^{26}Al and ^{10}Be . – *Special Papers Geological Society of America* **415**, 1–16. [https://doi.org/10.1130/2006.2415\(01\)](https://doi.org/10.1130/2006.2415(01))
- GRANGER D. E. 2014: Cosmogenic Nuclide Burial Dating in Archaeology and Paleoanthropology. – In: HOLLAND, H. D. & TUREKIAN, K. K. (eds): *Treatise on Geochemistry, Second Edition* **14**, 81–97. Oxford, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-095975-7.01208-0>
- GRANGER, D. E. & RIEBE, C. S. 2014: Cosmogenic nuclides in weathering and erosion. – In: HOLLAND, H. D. & TUREKIAN, K. K. (eds): *Treatise on Geochemistry, Second Edition* **7**, 401–436. Oxford, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-008043751-4/00238-8>
- GRANGER, D. E. & SCHALLER, M. 2014: Cosmogenic nuclides and erosion at the watershed scale. – *Elements* **10/5**, 369–373. <https://doi.org/10.2113/gselements.10.5.369>
- HIDY, A. J., GOSSE, J. C., PEDERSON, J. L., MATTERN, J. P. & FINKEL, R. C. 2010: A geologically constrained Monte Carlo approach to modeling exposure ages from profiles of cosmogenic nuclides: an example from Lees Ferry, Arizona. – *Geochemistry Geophysics Geosystems* **11**, Q0AA10. <https://doi.org/10.1029/2010gc003084>
- IVY-OCHS, S. & SCHALLER, M. 2009: Examining processes and rates of landscape change with cosmogenic radionuclides. – *Radioactivity in the Environment* **16**, 231–294. [https://doi.org/10.1016/s1569-4860\(09\)01606-4](https://doi.org/10.1016/s1569-4860(09)01606-4)
- JONES, R. S., SMALL, D., CAHILL, N., BENTLEY, M. J. & WHITEHOUSE, P. L. 2019: iceTEA: Tools for plotting and analysing cosmogenic-nuclide surface-exposure data from former ice margins. – *Quaternary Geochronology* **51**, 72–86. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2019.01.001>
- LAL, D. 1988: In situ-produced cosmogenic isotopes in terrestrial rocks. – *Annual Review of Earth Planetary Sciences* **16**, 355–388. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.16.1.355>
- LAL, D. 1991: Cosmic ray labeling of erosion surfaces: in situ nuclide production rates and erosion models. – *Earth and Planetary Science Letters* **104**, 424–439. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(91\)90220-c](https://doi.org/10.1016/0012-821x(91)90220-c)
- LOTTER, M. G., KUMAN, K. & GRANGER, D. E. 2023: Cosmogenic nuclide burial dating at Penhill Farm: An Earlier Stone Age Acheulean locality in the lower Sundays River Valley, South Africa. – *Quaternary Geochronology* **75**, 101431. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2023.101431>
- LUO, L., GRANGER, D. E., TU, H., LAI, Z., SHEN, G., BAE, C. J., JI, X. & LIU, J. 2020: The first radiometric age by isochron $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ burial dating for the Early Pleistocene Yuanmou hominin site, southern China. – *Quaternary Geochronology* **55**, 101022. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2019.101022>
- MARRERO, S. M., PHILLIPS, F. M., BORCHERS, B., LIFTON, N., AUMER, R. & BALCO, G. 2016: Cosmogenic nuclide systematics and the CRONUScal program. – *Quaternary Geochronology* **31**, 160–187. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2015.09.005>
- MARTIN, L. C. P., BLARD, P.-H., BALCO, G., LAVÉ, J., DELUNEL, R., LIFTON, N. & LAURENT, V. 2017: The CREP program and the ICE-D production rate calibration database: A fully parameterizable and updated online tool to compute cosmic-ray exposure ages. – *Quaternary Geochronology* **38**, 25–49. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2016.11.006>
- MUDD, S. M., HAREL, M.-A., HURST, M. D., GRIEVE, S. W. D. & MARRERO, S. M. 2016: The CAIRN method: automated, reproducible calculation of catchment-averaged denudation rates from cosmogenic nuclide concentrations. – *Earth Surface Dynamics* **4**, 655–674. <https://doi.org/10.5194/esurf-4-655-2016>
- RIXHON, G. 2023: Deeper underground: Cosmogenic burial dating of cave-deposited alluvium to reconstruct long-term fluvial landscape evolution. – *Earth-Science Reviews* **239**, 104357. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104357>
- RIXHON, G., BRAUCHER, R., BOURLÉS, D., SIAME, L., BOVY, B. & DEMOULIN, A. 2011: Quaternary river incision in NE Ardennes (Belgium)-insights from $^{10}\text{Be}/^{26}\text{Al}$ dating of river terraces. – *Quaternary Geochronology* **6**, 273–284. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.08.1289>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER Zs. 2026: Helyben keletkező kozmogén izotópos geokronológia, a felszínfejlődés számszerűsítésének sokoldalú eszköze, 1 rész: Elméleti alapok. – *Földtani Közlemény* **156/1**,
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., BRAUCHER, R., CSILLAG, G., FODOR, L., DUNAI, T. J., BADA, G., BOURLÉS, D. & MÜLLER, P. 2011: Dating Pleistocene aeolian landforms in Hungary, Central Europe, using in situ produced cosmogenic ^{10}Be . – *Quaternary Geochronology* **6**, 515–529. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2011.06.001>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., BRAUCHER, R., NOVOTHNY, Á., CSILLAG, G., FODOR, L., MOLNÁR, G., MADARÁSZ, B. & ASTER TEAM 2016: Tectonic and climatic forcing on terrace formation: Coupling in situ produced ^{10}Be depth profiles and luminescence approach, Danube River, Hungary, Central Europe. – *Quaternary Science Reviews* **131**, 127–147. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.10.041>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., CSILLAG, G., FODOR, L., BRAUCHER, R., NOVOTHNY, Á., THAMÓ-BOZSÓ, E., VIRÁG, A., PAZONYI, P., TIMÁR, G.

- & ASTER TEAM 2018: Integration of new and revised chronological data to constrain the terrace evolution of the Danube River (Gerecse Hills, Pannonian Basin). – *Quaternary Geochronology* **48**, 148–170. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2018.08.003>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., KERN, Z., URDEA, P., MADARÁSZ, B., BRAUCHER, R. & ASTER TEAM 2021: Limited glacial erosion during the last glaciation in mid-latitude cirques (Retezat Mts, Southern Carpathians, Romania). – *Geomorphology* **384**, 107719. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107719>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., NEUHUBER, S., HINTERSBERGER, E. & NØRGAARD, J. 2025: Iterative outlier identification for robust cosmogenic $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ burial dating of fluvial terraces: a case study from the Danube River (Vienna Basin, Austria). – *E&G Quaternary Science Journal* **74/1**, 59–78. <https://doi.org/10.5194/egqsj-74-59-2025>
- SCHALLER, M., PEIFER, D., NEELY, A. B., BERNARD, T., GLOTZBACH, C., BEER, A. R. & EHLERS, T. A. 2025: Spatiotemporal denudation rates of the Swabian Alb escarpment (southwestern Germany) dominated by anthropogenic impact, lithology, and base-level lowering. – *Earth Surface Dynamics* **13/4**, 571–591. <https://doi.org/10.5194/esurf-13-571-2025>
- SIAME, L., BELLIER, O., BRAUCHER, R., SEBRIER, M., CUSHING, M., BOURLES, D. L., HAMELIN, B., BAROUX, E., DE VOOGD, B., RAISBECK, G. & YIOU, F. 2004: Local erosion rates versus active tectonics: cosmic ray exposure modelling in Provence (South-East France). – *Earth and Planetary Science Letters* **220/3–4**, 345–364. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(04\)00061-5](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(04)00061-5)
- STERNAL, P., SUE, C., HUSSON, L., SERPELLONI, E., BECKER, T.W., WILLET, S.D., FACCENNA, C., DIGIULIO, A., SPADA, G., JOLIVET, L., VALLA, P., PETIT, C., NOCQUET, J.M., WALPERSDORF, A. & CASTELLTORT, S. 2019: Present-day uplift of the European Alps: evaluating mechanisms and models of their relative contributions. – *Earth Science Reviews* **190**, 589–604. <https://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.01.005>
- STÜWE, K., ROBL, J., GRADWOHL, G., FABEL, D., STUART, F. M., PLAN, L. & RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs. 2025: Surface uplift of the Eastern Alps. Was it much faster than we thought? – *Earth-Science Reviews* **274**, 105374. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2025.105374>
- VERMEESCH, P. 2007: CosmoCalc: an Excel add-in for cosmogenic nuclide calculations. – *Geochemistry, Geophysics, and Geosystems* **8**. <https://doi.org/10.1029/2006gc001530>
- WAGNER, G. A. 1998: *Age Determination of Young Rocks and Artefacts*. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 4–16, 113–194. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03676-1>
- Kézirat beérkezett: 2025. 12. 04.

Gondolatok a kőolaj gázzá alakulásáról

KONCZ István

koncz.istvan38@gmail.com

Thoughts on the oil to gas conversion

Abstract

According to the results of the pyrolysis experiments carried out on both crude oil and individual compound such as n-hexadecane, oil-hydrocarbons transform into hydrocarbon gases at temperature of higher than 160 °C, and at vitrinite reflectance of higher than 1.5%. Cracking of the oil into gas is retarded by the pressure increase and the effect of water present in natural environments of thermal alterations. Moreover, gases are formed from oil resins and oil asphaltenes, than from the hydrocarbons of the crude oil.

Keywords: oil cracking into gas, pyrolysis experiments

Összefoglalás

Mind a kőolajon, mind egyedi vegyületen, például a normál-hexánon végzett pirolízis-kísérletek eredményei szerint az olaj-szénhidrogének szénhidrogén gázokká alakulnak. Az olaj gázzá krakkolódnása a nyomás növekedése és a termikus változások természetes környezetében jelen lévő víz miatt lassul. A szénhidrogén-gázok inkább az olaj gyantáiból és aszfaltenjeiből képződnek, mint az olaj-szénhidrogénekből.

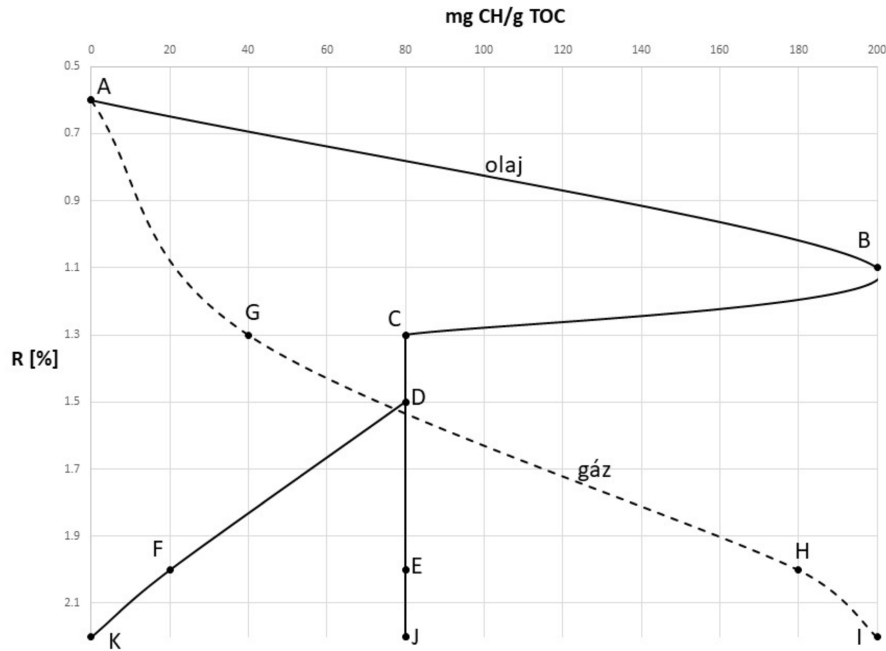
Tárgyszavak: olaj krakkolódnása gázzá, pirolízis-kísérletek

Bevezetés

A szénhidrogén-gáz képződése állandóan végbemenő folyamatnak tekinthető, amely az üledékekben és az üledékes kőzetekben zajlik a vízben oldott szerves anyagok bakteriális átalakulása, valamint a kerogén termikus bomlása folyamán. Alacsony hőmérsékleten és kis mélységben keletkezik a bakteriális eredetű metán. A szerves anyagban dús kőzetek, az anyakőzetek kerogénjének termikus bomlása hozza létre a kőolajat és azokat a szénhidrogén-gázokat, amelyek a metánon kívül a metánnál nagyobb szénatomszámú szénhidrogéneket, C₂₊ komponenseket is tartalmaznak. A metán tehát lehet bakteriális és termogén eredetű, de a C₂₊ gázok és a kőolaj csak termogén eredetű lehet. Kőolaj csak abból a II illetve I típusú kerogénből jön létre, amelynek a Rock-Eval-analízissel megállapított hidrogén-indexe (HI) legalább 200 mg CH/g TOC értékű termikusan éretlen állapotban. Az ilyen típusú kerogénben hosszabb, nagyobb szénatomszámú oldalláncok is vannak, amelyek-

nek a leszakadása olajat eredményez. A 200 mg CH/g TOC alatti hidrogénindexű, III típusú kerogén hőbomlása során a szénhidrogének közül csak szénhidrogén-gáz keletkezik, mert az oldalláncok szénatomszáma kisebb.

Az 1. ábra mutatja be egy 400 mg CH/g TOC hidrogén-indexű, szénhidrogén-potenciálú, II típusú kerogén esetén a termogén gáz- és olajképződés folyamatát a vitrinitreflexió függvényében. Ennek a szénhidrogén-potenciálnak fele (200 mg CH/g TOC) olaj, a másik fele gáz (200 mg CH/g TOC). A gázképződést szaggatott vonallal jelöltem A kerogént ért termikus hatás jellemzésére a vitrinitreflexió (R_v %) szolgál. (A vitrinitreflexió a szerves anyag alakos elemei egyikének, a vitrinitnek a fényvisszaverő képességét jelenti, amely a termikus érettség növekedésével nő.) Az olajképződés kezdete a kénben szegény kerogén esetében a vitrinitreflexió 0,6% értékéhez rendelhető. Meg kell azonban jegyezni, hogy kénben dús, IIS típusú kerogén esetében az olajképződés már a vitrinitreflexió 0,3–0,4% értékénél megkezdődik (BASKIN & PETERS 1992). Az AB szakaszban



1. ábra. Az anyaközetekben lévő olaj-szénhidrogén és szénhidrogén-gáz koncentrációk (mg CH/g TOC) változása a vitrinitreflexió (R%) növekedésével (AB - olajképződés, BC - az olaj primer migrációja, CDEJ - a primer migráció utáni olajmaradék, DFK - az olaj gázzá alakulása, AG - olajjal asszociált gázok, GH - nedves gázok, HI - száraz gázok)

Figure 1. Alteration of oil-hydrocarbon and hydrocarbon gas concentrations (Mg CH/g toc) in source rocks with increasing vitrinite reflectance (R%) (AB - oil formation, BC - primary migration of oil, CDEJ - oil residue after primary migration, DFK - oil cracking into gas, AG - oil-associated gases, GH - wet gases, HI - dry gases)

képződik a kőolaj, amely a vitrinitreflexió 0,6–1,1% intervallumának felel meg. A BC szakaszt az olaj primer migrációja uralja az 1,1–1,3% vitrinitreflexió-tartományban, amelyben az olaj koncentrációja csökken az anyaközetekben. Az AB és BC szakaszoknak megfelelő változások megfigyelhetők voltak a délkelet-alföldi és a Dráva-süllyedékek területén (SZALAY & KONCZ 1980). A vitrinitreflexió 0,6–1,3% tartományát nevezik a kőolajképződés fő fázisának. A primer migrációt követően az olajkoncentráció állandósul a CD szakaszban, mert a primer migráció nem teljesen üríti ki az anyaközetek kőolajtartalmát. A D ponttól kezdődően két szakasz jelzi az alternatívákat. Az egyik lehetőség az olaj megmaradása a DEJ szakaszban, ha az olaj-szénhidrogének nem krakkolódnak. A másik az olaj gázzá krakkolódásának megfelelően egyre csökkenő olajkoncentrációt mutat a DFK szakaszban 1,5% vitrinitreflexiótól kiindulván. A szénhidrogén-gáz az AG szakaszban olajjal asszociált gáznak tekinthető, amelyet jelentős C_{2+} -tartalom jellemez. A vitrinitreflexió 1,3–2,0% intervallumának megfelelő GH szakaszt a nedves gáz képződés fő fázisának tekintik, amelyben a C_{2+} -tartalom az előzőnél már kisebb.

A kőolaj gázzá alakulása

A mélység és a hőmérséklet növekedésével általában csökken a kőolaj sűrűsége és növekszik a gáz-olaj arány

(TISSOT & WELTE 1984). Ez a tapasztalat, továbbá az anyaközetekben keletkezett olaj koncentrációjának a primer migráció következtében előállt csökkenése az 1. ábra BC jelű szakaszában vezethetett ahhoz a feltételezéshez, hogy a képződött olaj gázzá alakul, krakkolódik mind az anyaközetekben, mind a tárolóközetekben (HUNT 1979, TISSOT & WELTE 1984, BARKER 1990, WAPLES 1994). Ennek a folyamatnak a végtermékei a metán és a grafit.

Zárt rendszerben végeztek pirolízis-kísérleteket kőolajokon és normál-alkánokon, mint például a normál hexadekán (FORD 1986, PEPPER & DODD 1995). Az egyik ilyen kísérlet aranyból készült kapszulában végezték 340 °C-ig lepárolt aromásokban gazdag, Venezuelából származó Boscantang-olajjal 335–540 °C hőmérséklet-tartományban, 9 MPa nyomáson (UNGERER et al. 1987). A Boscantang-olajban 54% volt a nem szénhidrogén, gyantákból és aszfalténekből álló rész, a Pematang-olajban ezek 25,5%-ot tettek ki. A hőbomlás menetét a C_{13+} , C_6 – C_{13} komponensek koncentrációjának időbeli követésével vizsgálták. Feltételezték, hogy a reakció kinetikailag elsőrendű a kerogénbomláshoz hasonlóan. Meghatározták a kísérleti eredmények alapján az Arrhenius-törvényben szereplő kinetika állandókat, az aktiválási energiát (E kcal/mol) és az akciókonstanst ($A \text{ sec}^{-1}$). Az Arrhenius-törvény kifejezett hőmérséklet (T) között állapít meg összefüggést:

$$\ln k = \ln A - E/RT$$

ahol az R az egyetemes gázállandó, amelynek értéke 1,987 kcal/mol.

Az olaj-szénhidrogének molekulatömegéhez közelebb álló C_{13+} komponensek bomlására nézve a következő kinetikai állandókat kapták:

Boscan-olaj: $E = 64,8$ kcal/mol $A = 2,81 \times 10^{16}$ sec⁻¹ $\ln A = 69$ mév⁻¹

Pematang-olaj: $E = 69,4$ kcal/mol

$A = 5,09 \times 10^{17}$ sec⁻¹, $\ln A = 70$ mév⁻¹

Az olajgeneráló típusú kerogénre a következő kinetikai konstansok jellemzőek: $E = 50$ kcal/mol, $\ln A = 61$ mév⁻¹. Annak érdekében, hogy szemléletes legyen a különbség a különböző kinetikai állandók között, kiszámoltam a reakciósebességi állandókat. 120 °C hőmérsékleten az olajgeneráló típusú kerogén reakciósebességi állandója 0,0539 mév⁻¹. Számításaim szerint ezt a reakciósebességi állandót a Boscan-olaj 179 °C-on, a Pematang-olaj 205 °C-on éri el. Látható, hogy a nagyobb gyanta-aszfaltén tartalmú, aromásokban dús Boscan-olajhoz alacsonyabb hőmérséklet, a jóval kisebb gyanta-aszfaltén tartalmú, paraffinokban dús Pematang-olajhoz magasabb hőmérséklet tartozik. Az olaj krakkolódása kezdetének hőmérsékletére 160 °C értéket kaptak.

Szintén zárt térben, az MSSV (microscale sealed vessel) technikával végeztek pirolízis-vizsgálatokat egy paraffinokban gazdag és egy aromásokban dús olajjal (SCHENK et al. 1997). A paraffinokban gazdag olaj kinetikai állandói a kísérletek eredményei alapján a következők: $E = 71$ kcal/mol, $A = 4 \times 10^{19}$ min⁻¹, illetve $\ln A = 72$ mév⁻¹. Az aromásokban dús olaj kinetikai állandói: $E = 67$ kcal/mol, $A = 2 \times 10^{18}$ min⁻¹, illetve $\ln A = 69$ mév⁻¹. A paraffinokban gazdag olaj gázzá alakulása kezdeti hőmérséklete 180 °C, az aromásokban dús olajé 170 °C. Az előzőekhez hasonlóan kiszámítottam azt a hőmérsékletértéket, amelyen a vizsgált olajok reakciósebességi állandója azonos értékű az olajgeneráló típusú kerogén 120 °C-hoz tartozó reakciósebességi állandójával. Ezek az általam számított hőmérsékletértékek a paraffinban gazdag olajnál 210 °C, az aromásokban dús olajnál 196 °C értékűnek adódtak. A cikk szerzői megállapították, hogy valószínűtlen az olaj gázzá alakulása 160 °C alatti hőmérsékleten, bármilyen is legyen az olaj típusa, és bármekkora is legyen a geológiai felmelegedés sebessége.

Vitrinitreflexió-értékeket közöltek az olaj gázzá alakulása kezdetére vonatkozóan (LEWAN & PAWLEWICZ 2017). Az olaj gázzá alakulása kezdetéhez 0,01 értékű átalakulási arányt (TR) rendeltek. Víz nélküli rendszerben az olaj gázzá alakulásának kezdetéhez 1,5% vitrinitreflexió tartozik (SCHENK et al. 1997). Víz jelenlétében ez az érték magasabb, 1,7% (TSUZUKI et al. 1999). Ez utóbbi, az előzőnél nagyobb vitrinitreflexió-érték annak tulajdonítható, hogy az olaj víz jelenlétében nagyobb termikus stabilitással rendelkezik (HESP & RIGBY 1973). Az 1. ábrán a primer migrációt követően visszamaradt olajnak megfelelő D ponttól kezdődően tüntettem fel az olaj gázzá alakulásának kezdetét és az ennek megfelelő, 1,5% értékű vitrinitreflexiót.

A legtöbb szénhidrogén-folyadékra alkalmazott termikusérettség-jelző paraméter már nem alkalmazható a termikusan igen érett szénhidrogén-folyadékok, például a gáz-kondenzátumok esetében. Ilyen esetekben használhatók a bakteriális és termális hatásokkal szemben igen ellenálló diamondoid szénhidrogének, amelyeket alkalmaznak találtak arra, hogy az olaj gázzá alakulásának folyamatát jelezzék (DAHL et al. 1999).

Az olaj gázzá alakulását túlnyomást létrehozó, illetve túlnyomást növelő folyamatnak tartják (BARKER 1990, OSBORNE & SWARBRICK 1997, SWARBRICK & OSBORNE 1998). A kételyeik azzal voltak kapcsolatosak, hogy a nyomás hatását az olaj gázzá alakulását illetően kevésbé vizsgálták.

Az olaj gázzá krakkolódását tehát 160 °C feletti hőmérsékleteken, 1,5% feletti vitrinitreflexió-értékeken tartják valószínűnek a kísérletek eredményei alapján. Feltűnő, hogy a nyomást, valamint a víz jelenlétének hatását nem vagy csak igen kevesen vizsgálták.

Észrevételek és ellenérvek a kőolaj gázzá alakulásával kapcsolatban

Akadnak olyan tapasztalatok és kémiai vagy fizikai alapelvek, amelyek kétségessé teszik a kőolaj gázzá alakulását, illetve annak a pirolízis-kísérletek eredményeiből következő mértékét.

200–250 °C hőmérsékletű kőzetekből származó mintákban az olaj-szénhidrogének (C_{15+}) jelentős koncentrációját észlelték (PRICE et al. 1979). A szerzők megállapították, hogy „a fűrészből származó néhány adat ellentmond a jelenleg elfogadott szerves geokémiai hipotéziseknek, amelyek a szénhidrogének keletkezésére és termikus bomlására vonatkoznak”. Egy másik fűrészből származó kőzetekben, amelyek hőmérséklete 300 °C volt, szintén észleltek olaj-szénhidrogéneket (PRICE 1982). A Makó-2 fűrés 4807–4815 m mélységben lévő szakaszából, amelynek hőmérséklete 200 °C volt, 0,8337 t/m³ sűrűségű, 55% atmoszférikus desztillációs maradékú olaj került a rétegvizsgálat során a felszínre. Az említett tények arra engednek következtetni, hogy az olaj gázzá alakulása 200–300 °C hőmérséklet-intervallumban nem teljes mértékig vagy egyáltalán nem ment végbe.

A kémiai egyensúly változásával összefüggő Le Chatelier-elv szerint a nyomás emelkedése gátolja azokat a folyamatokat, amelyek térfogat-növekedéssel járnak (ERDEY-GRÚZ 1963). Az alacsony hőmérsékletű pirolízis-kísérleteknél tapasztalták, hogy a krakkolódás sebessége csökken a nyomás növekedésével (DOMINE & ENGUEHARD 1992). A vitrinitreflexió-értékek különbséget mutattak a hidrosztatikus és a túlnyomásos esetekben: a vitrinitreflexió növekedése a mélységgel kisebb mérvű volt a túlnyomásos szakaszokban (CARR 1999). Ez annak a következménye, hogy a vitrinit termikus bomlása gázzá térfogat-növekedéssel járó folyamat, és ezért a nyomás normálistól eltérő megnöve-

kedése gátolja a vitrinit átalakulását, fényvisszaverő képességének növekedését. A nyomás növekedése azonban nem csak a vitrinit átalakulását késlelteti, hanem a szerves anyag termikus átalakulását is (MCTAVISH 1998, ZOU & PENG 2001). A nyomás hatásának vizsgálata céljából végeztek pirolízis-kísérleteket olajjal és normál hexadékanál (UGUNA et al. 2016). Három kísérletet hajtottak végre víz jelenlétében 175, 500 és 900 bar nyomáson, és meghatározták az olaj gázzá alakulására jellemzőnek tartott gázhozamot. A nyomás növekedésével egyre kisebb gázhozamot kaptak mind az olaj, mind a hexadékanál esetében. Ez az eredmény egyértelműen azt támasztja alá, hogy a nyomás növekedése gátolja az olaj-szénhidrogének gázzá alakulását.

A víz hatását illetően már említésre került, hogy lassítja az olaj gázzá alakulását, víz jelenlétében az olaj-szénhidrogének termikus stabilitása nagyobb (TSUZUKI 1999, HESP & RIGBY 1973). A vizes pirolízis-kísérletekben a gázhozam kisebb volt, mint a víz nélküliekben. Megfigyelhető volt, hogy nehezebb (>C₂₀) normál-alkánokban dúsult fel az olaj, és ezért sűrűbbé, nagyobb viszkozitásúvá, kevésbé mozgásképesé vált a szénhidrogén-folyadék fázis (UGUNA et al. 2016). Ebben az esetben, víz jelenlétében ahelyett, hogy a szénláncok elhasadtak volna kisebb részekre a krakkolódásnak megfelelően, a szénláncok összekapcsolódtak. Ez annak tulajdonítható, hogy érvényesült a Le Chatelier-elv, amely szerint a nyomás növekedése elősegíti a térfogatcsökkenéssel járó átalakulásokat, a térfogat-növekedéssel járókat pedig gátolja.

Említettem, hogy a termikus érettség növekedésével csökken az olaj sűrűsége és nő a gáz-olaj arány. Ebből azonban nem következik az olaj gázzá alakulása, hiszen az *I. ábrán* látható, hogy a BC szakaszban az anyaközetekben az olaj primer migrációja miatt csökken az olaj koncentrációja, de emellett a gázképződés intenzíven növekszik. A tárolóközetek kőzetfizikai paraméterei a mélység és a termikus érettség növekedésével olyan irányban változnak, hogy hézagterfogatok és átteresztőképességük nagymértékben csökken. Ez azzal a következménnyel jár, hogy csak egyfázisú áramlást tesznek lehetővé (SHANLEY et al. 2004). A tárolóközet hézagterében a gáztelítettség olyan nagy, hogy az olaj már nem képes mozogni, és csak a gáz áramlik. Ezért előfordulhat, hogy a fúrásban csak gáz jelenik meg azt a látszatot keltve, hogy olaj már nincs is

jelen. A szénhidrogén-folyadék fázis egyre sűrűbbé, nagyobb viszkozitásúvá válik következtében, hogy a szénhidrogén-gáz fázis a nyomás és a hőmérséklet növekedésével egyre több könnyű olaj-szénhidrogént képes magában tartani (PRICE et al. 1983). Nem elhanyagolható tény az sem, hogy a gáz alakú szénhidrogének viszkozitása nagyságrendekkel kisebb az olajénál: így a gázok könnyebben tudnak mozogni.

A pirolízis-kísérletekben gyakran vizsgáltak olajokat, amelyek több-kevesebb nem szénhidrogén, gyanta és aszfalten komponenset tartalmaztak. Kísérleti bizonyíték van arra, hogy a gyanta-aszfalten alkotórészek hőbomlást szenvednek, miközben könnyű olaj és gáz képződik (ORR 1986). Ez annak következménye, hogy a gyanta-aszfalten komponensek termikus stabilitása kisebb, mint az olaj-szénhidrogéneké. Így nem lehet tudni, hogy mennyi gáz képződött a nem szénhidrogénekből, és mennyi az olaj-szénhidrogénekből.

A termikusan igen érett szénhidrogén-folyadékok esetében a diamondoid szénhidrogéneket az olaj gázzá alakulása folyamatának jelzésére alkalmasnak találták (DAHL et al. 1999). A diamondoid szénhidrogének tetraédres szerkezetűek, amely a gyémánt kristályrácsához hasonlítanak. Innen kapták a nevüket is. Szerintem a diamondoid szénhidrogének csak a termikus érettségre utalnak, de nincs oksági összefüggés a diamondoid szénhidrogének jelenléte és az olaj gázzá alakulása között.

Következtetések

Az olaj gázzá alakulása valószínűleg végbemegy, de nem olyan mértékű, mint ahogy azt a pirolízis-vizsgálatok eredményeiből várni lehetne. Az olaj gázzá alakulásával kapcsolatban figyelembe kell venni a következőket:

- 1) a nyomás növekedése és a természetes közeget képző víz jelenléte gátolja az olaj gázzá alakulását
- 2) nagyobb mélységekben, amelyek megfelelnek az olaj gázzá krakkolódásának, a kőzetfizikai paraméterek olyan kedvezőtlenekké válnak, hogy az olaj nem képes mozogni, csak a gáz
- 3) az olaj gyanta-aszfalten komponenseiből könnyebben képződik gáz, mint a termikusan stabilabb olaj-szénhidrogénekből.

Irodalom – References

- BARKER, C. 1990: Calculated Volume and Pressure Changes During the Thermal Cracking of Oil to Gas in Reservoirs. – *AAPG Bulletin* **74**, 1254–1261. <https://doi.org/10.1306/0C9B247F-1710-11D7-8645000102C1865D>
- BASKIN, D. K. & PETERS, K. E. 1992: Early Generation Characteristics of a Sulfur-Rich Monterey Kerogen. – *AAPG Bulletin* **76**, 1–13. <https://doi.org/10.1306/BDF874A-1718-11D7-8645000102C1865D>
- CARR, A. D. 1999: A vitrinite reflectance kinetic model incorporating overpressure retardation. – *Marine and Petroleum Geology* **16**, 355–377. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(98\)00075-0](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(98)00075-0)
- DAHL, J., MOLDOWAN, M., PETERS, K., CLAYPOOL, G., ROONEY, M., MICHAEL, G., MELLO, M. & KOHNEN, M. 1999: Diamondoid hydrocarbons as indicators of natural cracking. – *Nature* **399**, 54–56. <https://doi.org/10.1038/19953>

- DOMINE, F. & ENGUEHARD, F. 1992: Kinetics of hexan pyrolysis at very high pressures, application to geochemical modeling. – *Organic Geochemistry* **18**, 41–50. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(92\)90142-K](https://doi.org/10.1016/0146-6380(92)90142-K)
- ERDEY-GRÚZ, T. 1963: *A fizikai kémia alapjai*. – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 743 p.
- FORD, T. J. 1986: Liquid phase thermal decomposition of hexadecane: Reaction mechanisms. – *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals* **25**, 240–243. <https://doi.org/10.1021/i100022a010>
- HESP, W. & RIGBY, D. 1973: The geochemical alteration of hydrocarbons in the presence of water. – *Erdöl-Kohle-Erdgas-Petrochemie Brennstoff-Chemie* **26**, 70–76.
- HUNT, J. M. 1979: *Petroleum geochemistry and geology*. – Freeman, San Francisco, 617 p.
- LEWAN, M. D. & PAWLEWICZ, M. J. 2017: Reevaluation of thermal maturity and stages of petroleum formation of the Mississippian Barnett Shale, Fort Worth Basin, Texas. – *AAPG Bulletin* **101/12**, 1945–1970. <https://doi.org/10.1306/01251716053>
- McTAVISH, R. A. 1998: The role of overpressure in the retardation of organic matter maturation. – *Journal of Petroleum Geology* **21**, 153–186. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1998.tb00652.x>
- ORR, W. L. 1986: Kerogen/asphaltene/sulfur relationships in sulfur-rich Monterey oils. – *Organic Geochemistry* **10**, 499–516. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(86\)90049-5](https://doi.org/10.1016/0146-6380(86)90049-5)
- OSBORNE, M. J. & SWARBRICK, R. E. 1997: Mechanism for Generating Overpressure in Sedimentary Basins: A Reevaluation. – *AAPG Bulletin* **81**, 1023–1041. <https://doi.org/10.1306/522B49C9-1727-11D7-8645000102C1865D>
- PEPPER, A. S. & DODD, P. J. 1995: Simple kinetic models of petroleum formation. Part II. Oil-gas cracking. – *Marine and Petroleum Geology* **12/3**, 321–340. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(95\)98382-F](https://doi.org/10.1016/0264-8172(95)98382-F)
- PRICE, L. C. 1982: Organic geochemistry of core samples from an ultra-deep well (300 °C, 7 km). – *Chemical Geology* **37**, 215–228.
- PRICE, L. C., CLAYTON, J. L. & RUMEN, L. L. 1979: Organic geochemistry of a 6.9 kilometer Deep Well, Hinds Country, Mississippi. – *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* **29**, 352–370. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(81\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0146-6380(81)90001-2)
- PRICE, L. C., WENGER, L. M., GING, T. & BLOUNT, C. W. 1983: Solubility of crude oil as a function of pressure and temperature. – *Organic Geochemistry* **4/3–4**, 201–221. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(83\)90042-6](https://doi.org/10.1016/0146-6380(83)90042-6)
- SCHENK, H. J., DI PRIMIO, R. & HORSFIELD, B. 1997: The conversion of oil into gas in petroleum reservoirs. Part 1: Comparative kinetic investigation of gas generation from crude oil of lacustrine, marine and fluviodeltaic origin by programmed-temperature closed-system pyrolysis. – *Organic Geochemistry* **26/7–8**, 467–481. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(97\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00024-7)
- SHANLEY, K. W., CLUFF, R. M. & ROBINSON, J. W. 2004: Factors controlling prolific gas production from low-permeability sandstone reservoirs: Implications for resource assessment, prospect development, and risk analysis. – *AAPG Bulletin* **88**, 1083–1121. <https://doi.org/10.1306/03250403051>
- SWARBRICK, R. E. & OSBORNE, M. J. 1998: Mechanism that generate abnormal pressures: an overview. – In: LAW, B. E., ULMISHEK, G. F. & SLAVIN, V. I. (eds): *Abnormal pressures in hydrocarbon environments*. *AAPG Memoir* **70**, 13–34.
- SZALAY Á. & KONCZ I. 1980: Szénhidrogén-képződési és migrációs folyamatok a délkelet-alföldi és a Dráva süllyedékekben. – *Kőolaj és Földgáz* **13/6**, 177–186. <https://doi.org/10.1306/M70615C2>
- TISSOT, B. P. & WELTE, D. H. 1984: *Petroleum formation and occurrence*. – 2nd ed., New York, Springer-Verlag, 720 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-87813-8>
- TSUZUKI, N., TAKEDA, N., SUZUKI, M. & YOKOI, K. 1999: The kinetic modeling of oil cracking by hydrothermal pyrolysis experiments. – *International Journal of Coal Geology* **39**, 227–250. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(98\)00047-0](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(98)00047-0)
- UGUNA, C. N., CARR, A. D., SNAPE, C. E. & MEREDITH, W. 2016: Retardation of oil cracking to gas and pressure induced combination reactions to account for viscous oil in deep petroleum basins: Evidence from oil and n-hexadecane pyrolysis at water pressures up to 900 bar. – *Organic Geochemistry* **97**, 61–73. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2016.04.007>
- UNGERER, P., BEHAR, F., VILLALBA, M., HEUM, O. R. & AUDIBERT, A. 1987: Kinetic modelling of oil cracking. – *Organic Geochemistry* **13/4–6**, 857–868. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(88\)90238-0](https://doi.org/10.1016/0146-6380(88)90238-0)
- WAPLES, D. W. 1994: Maturity Modeling: Thermal Indicators, Hydrocarbon generation, and Oil Cracking. – In: MAGOON, L. B. & Dow, W. G. (eds): *The petroleum system – from source to trap*, *AAPG Memoir* **60**, 285–306.
- ZOU, Y. R. & PENG, P. 2001: Overpressure retardation of organic matter maturation: a kinetic model and its application. – *Marine and Petroleum Geology* **18**, 707–713. <https://doi.org/10.1306/M60585C17>

Kézirat beérkezett: 2025. 02. 06.

Társulati ügyek

Összeállította: KRIVÁNNÉ HORVÁTH Ágnes

A Magyarhoni Földtani Társulat 2025. évi rendezvényei

Központi rendezvények

Február 24.

A Magyarhoni Földtani Társulat online elnökségi ülése

Résztvevők száma: 8 fő.

Február 24.

A Magyarhoni Földtani Társulat online választmányi ülése

Résztvevők száma: 27 fő.

Március 8–9.

41. Miskolci Nemzetközi Ásványfesztivál

3515 Miskolc-Egyetemváros

Társszervezők: Miskolci Egyetem, Herman Ottó Múzeum

Március 8.

Kiállítás és börze, Földtudományi játszóház

Megnyitó: MUCSI Gábor egyetemi tanár, a Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Karának dékánja

Előadások:

EGRI Csaba: Borneó, a természet édenkertje (3D vetítés a III. előadóteremben)

MOHR Emőke (ELTE TTK Őslénytani Tanszék): A sugárállatkák vagy más néven radioláriák csodálatos és rejtélyes világa (III. előadóterem)

HEGYESI Eszter („az Ásványos”): Hogyan ismerd fel a műtermékeket és a kezelt ásványokat? (III. előadóterem)

A Nyersanyagkutató Földtudományi Intézetben lévő ásványtani, kőzettani és őslénytani kiállítások szakvezetési látogatása

Március 9.

Kiállítás és börze, Földtudományi játszóház

Díjmentes ásvány- és kőzethatározás a Miskolci Egyetem Nyersanyagkutató Földtudományi Intézetének munkatársaival

Díjmentes drágakő-határozás: TAKÁCS József (V-Pearl Oktatási Központ)

Előadások:

TAKÁCS József (V-Pearl Oktatási Központ): Opál, a színkezelő kaval-kádja (III. előadóterem)

EGRI Csaba: Borneó, a természet édenkertje (3D vetítés a III. előadóteremben)

A Nyersanyagkutató Földtudományi Intézetben lévő ásványtani, kőzettani és őslénytani kiállítások szakvezetési látogatása

Kiállítások:

Az Év ásványa: Opál

Válogatás a Miskolci Egyetem Nyersanyagkutató Földtudományi Intézete és a Herman Ottó Múzeum gyűjteményéből – a Magyarhoni Földtani Társulat programsorozatának részeként

Az Év ősmaradványa: Radiolária

Válogatás a Miskolci Egyetem Nyersanyagkutató Földtudományi Intézet gyűjteményéből – a Magyarhoni Földtani Társulat programsorozatának részeként

Műtermékek és kezelt ásványok

Válogatás LELKES András („Lelkes Ásványbörze”) és HEGYESI Eszter („az Ásványos”) anyagából

Résztvevők száma: 7000 fő.

Március 26.

A Magyarhoni Földtani Társulat 176. rendes közgyűlése

SZTFH Budapest, Stefánia út 14. Díszterem

Elnöki megnyitó: M. TÓTH Tivadar

Emlékezés 2024. évben elhunyt tagjainkra: DEÁK Ferenc, JOCHÁNÉ EDELÉNYI Emőke, KECKETI Sándor, PÉRÓ Csaba, SZÓFOGADÓ Pál, ZELENKA Tibor

ZELENKA Tibor tiszteleti tagunkra FÖLDESSY János emlékezett.

Dr. ZELENKA Tibor tiszteleti tagunk 88 éves korában, 2024. november 14-én távozott közülünk ebből a világból. Nyolc nehéz év után ő valójában révbe érkezett. 1959-ben szerzett diplomát, 1967-ben doktorátust. Élete során végig az érc- és ásványbányászatban és bányászattért dolgozott, különféle beosztásokban. Volt az OEÁ főgeológusa, a KFH szaktanácsadója, a Miskolci Egyetem címzetes egyetemi docense, de mindenekelőtt Istenben hívő, és fáradhatatlan szorgalommal dolgozó, becsületes ember.

Sokunk szakmai életének első lépéseit igazgatta. Csapatépítő volt, s a csapatban az ő országnyi tapasztalata, széles ismeretei, és határtalan munkabírása emelte a többiek fölé. Nem érezte velünk komoly szakmai fölényét, példát mutatott, oktatott, tanított nemcsak a tanteremben, hanem minden közös terepi munkánkon olyan tudásra, amit sehol tankönyvben le nem írunk, és sehol katedréről nem mondanak el.

A szakma története úgy fogja számontartani, mint a recski mélyszinti kutatások első vezető geológusát, s egy egész szakember-nemzedék megteremtőjét. A vele együtt Recsken kezdő csapat a keze alatt vált szabad szellemű, tapasztalt, kételkedő, adatokat tisztelő és vizsgáló szakemberekké. Aztán folytattuk szanaszét, a határokon belül: Telkibányán, Füzérradványban, Pálházán és kívül: Mongóliában, Kubában vagy másutt, együtt dolgozva, kutatva. Becsületessége olyan volt, mint az egykori svéd acél, pengeéles, csorbítatlan, évtizedek alatt is kopás nélküli. Ennek minden hátrányát zokszó nélkül viselte, valószínűleg nem is volt képes másként élni. A több mint ötven év alatt nem emlékszem, hogy szakmai véleményét vagy erkölcsi meggyőződését bármilyen politikai fuvallatra megváltoztatta, akár csak meghajlította volna.

Szakmai tudásán túl talán csak az Istenhez fűződő mély, napi kapcsolata említendő. Úgy gondolom, hogy most előre küldtük Tibort, a legjobb szálláscsinálót, és az égeikkel legszorosabb köteleket ápolót, mutassa majd nekünk is az utat tovább, immár a fénykapun túli és földhözragadt dimenziókkal már nem béklyózott világban.

Tibor, Isten nyugosztaljon, ehhez adjanak neked az égiek utolsó Jó szerencsét!

70 éves társulati tagságot elismerő díszoklevelet kapott:

BOGNÁR László, GRESCHIK Gyula, KLESPITZ János, KNAUER József, OSWALD György

60 éves társulati tagságot elismerő díszoklevelet kapott:

BALÁZS Endre, FARKAS Sándorné DARÁNYI Ida, FÖLDESSY János, GALÁCS András, HAVAS László, LELKES György, MINDSZENTY Andrea, SZÓTS András, TÓTH Kálmán

50 éves társulati tagságot elismerő díszoklevelet kapott:

DUNKL István, IVÁNYOSI SZABÓ András, KASZÁS Ferenc, KONCZ István, MADAI László, SÍPOS Imre, TURBÉKI J. Péterné, VINCZE Péter, WEISZBURG Tamás

Lóczy Lajos Emlékérmét kapott: JÓZSA Sándor

1983-as geológus diplomaszerezése óta volt az ELTE TTK Közéttan-Geokémiai Tanszékének munkatársa, idén, 2024-ben ment nyugdíjba. Egyetemi munkája során ásványtan, közéttan, makro- és mikropetrográfia, terepi geológia témában gyakorlatokat vezetett BSc, MSc geológus, geográfus, földtudományi, geofizikus, környezetanos és biológus hallgatóknak, valamint posztgraduálisan természettan tanároknak. Mikroásványtani és szaknyelvi kurzusokat dolgozott ki és vezetett, és számos doktori kurzust tartott az ELTE Földtudományi doktori iskolájában. Szakmai tudása és karizmatikus, segítőkész személyisége miatt számos diák választotta TDK-, BSc- és MSc-dolgozatához témavezetőnek, valamint több hazai és nemzetközi PhD-dolgozat készült vezetése mellett. 1986 és 2004 között az ELTE geológus Tudományos Diákkör oktató-vezetője volt. TDK témavezetői munkásságát 2010-ben az ELTE a Tudományos Diákkörért Éremmel, 2015-ben az OTDT Mestertanár Aranyéremmel ismerte el. 2012–2020 között az ELTE TTK FFI Erasmus geológus szakterületi koordinátoraként segítette a diákok külföldi kapcsolatépítését. A kötelező és választható egyetemi kurzusokon túlmenően rengeteg geológiai terepgyakorlatot szervezett és vezetett egyetemi hallgatóknak, többek között a Polgárdi melletti Szárhegyi-kőbányába és a Dunavarsány melletti kavicsbányába. Bevezetett egy országosan is egyedülálló kurzust, amely főleg a geológiában, de más természettudományos szakterületen is használatos szakszavak, szakkifejezések értelmezésével, azok alapértelmét hordozó szógyökök nyomozásával, valamint ezeknek a szógyököknek a kapcsolatrendszerével foglalkozik. Oktatási tevékenysége során rengeteg hallgatónak adott életre szóló szellemi és lelki útavalót a tudomány iránti lelkesedésével és az emberekhez való elfogadó, türelmes és kedves hozzáállásával. Munkáját szinte teljes mértékben a diákoknak szentelte, jellemző rá, hogy mindig ráér(t), segít(ett) és lelkesít(tett), tanítványai évekkkel később is visszajárnak hozzá. Egyetemi oktatói feladatai mellett az ismeretterjesztést szintén a szívében viselte. A Kutatók éjszakáján a Közetsimogatónak nevezett interaktív, játékos bemutatót tervezett, szervezett és kivitelezett a rendezvény kezdete óta szinte minden évben. Számos alkalommal tartott ismeretterjesztő előadást a Kecskeméti Ásványgyűjtők Baráti Körében, egy-egy alkalommal a TIT-székházban, a Vakok Állami Intézetében mozgássérültek számára, illetve a szombathelyi Savaria Múzeumban. Foglalkozásai során törekedett arra, hogy a közéttani ismereteket más szakterületek ismereteivel (ásványtan, őslénytan, építésföldtan, alkalmazott geológia, tektonika, szedimentológia, régészet, növényismeret, állatismeret, gombaismeret, geológiai nyersanyagok ipari felhasználása stb.) kiegészítse, illetve összekapcsolja. Példamutató oktatói, nevelői és ismeretterjesztő munkássága során JÓZSA Sándor nagyon sokat tett a jövő generációjáért, a természettudományok és a geológia megismertetéséért és megszerettetéséért. Szívből gratulálunk JÓZSA Sándornak a Magyarhoni Földtani Társulat Lóczy Lajos Emlékérmének elnyeréséért.

Semsey Andor Ifjúsági Emlékérmét kapott: HESZLER Bernát

HESZLER Bernát társszerzős tanulmánya (B. HESZLER, J. KATCHINOFF, L. PALCSU, A. HORVÁTH, Zs. VALLNER, E. B. KOVÁCS, N. PLANAVSKY, J. PÁLFY 2024: Marine Strontium Isotope Evolution at the Triassic–Jurassic Transition Links Transient changes in Continental Weathering to Volcanism of the Central Atlantic Magmatic Province) a rangos, Q1 besorolású *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* folyóiratban jelent meg. A cikk a földtörténeti kutatások egyik toplistás témaköréhez, a tömeges

kihalásokat kiváltó környezetváltozások okainak a felderítéséhez járul hozzá. Azon tanulmányok sorába illeszkedik, melyek a csővári triász–jura határszelvény sokoldalú és részletes rétegtani és geokémiai vizsgálatával foglalkoznak immár 25 éve. A tanulmány a korábbi geokémiai vizsgálati eredményeket ötvözi saját Sr-izotópadatok elemzésével, árnyalva és pontosítva az egyes események (CAMP vulkanizmus, mállás, légköri változások, OAE stb.) hatását egymásra, illetve a környezet változásaira. A díjat odaítélő bizottság véleménye szerint a pályamunka rendkívül összeszedett, jól megírt tanulmány informatív ábrákkal. Minősége és a megjelenés helye alapján várhatóan jelentős lesz a nemzetközi visszhangja.

Kriván Pál Alapítványi Emlékérmét kapott: JUHÁSZ Dorina Rita

JUHÁSZ Dorina témaválasztása kiváló, dolgozata hiánypótló jellegű munka, amelyben kiterjedt hazai és nemzetközi szakirodalom feldolgozását is elvégezte. Formailag megfelelően szerkesztett és illusztrált, áttekinthető munka, amely angol nyelven készült (néhol kisebb nyelvi döccenőkkel). Az igényes kivitelű dolgozat elkészítéséhez önálló, nagy mennyiségű, részletes szerkezetföldtani felmérést, terepi geofizikai méréseket, valamint numerikus szimulációkat készített és használt fel. Az alkalmazott módszerek sokszínűsége és komplexitása – a bizottság véleménye szerint – az MSc-diplomadolgozatok között általában véve is figyelemre méltó.

A jelölt értelmezése összességében meggyőző, a következtetések reálisak, még ha az ismert hazai feltártsági korlátok nyilván jelentenek is némi bizonytalansági faktort. A vizsgált területről származó szerteágazó előzetes ismereteket, valamint vizsgálati eredményeit nem csupán szintetizálta és értelmezte, de más, külföldi magmás régiókból származó eredményekkel is összevetette.

Főtitkári – közhasznúsági jelentés: ZAJZON Norbert
A Gazdasági Bizottság jelentése: BODOR Emese
Az Ellenőrző Bizottság jelentése: MÁDAI Ferenc
Résztevők száma: 61 fő.

Március 28–29.**Ifjú szakemberek Ankétja**

Hévíz, Ensana Thermal Hévíz Hotel

Társszervező: Magyar Geofizikusok Egyesülete

Március 28.**1st session**

VÁRI Tamás Zs., SÜMEGI P. (University of Szeged, Department of Geology, Szeged): *Holocene environmental history of the Tövises Bed*

HASSAN, H.¹, ABD EL RAHMAN, M.^{1,2}, SZABÓ, N. P.¹ (¹University of Miskolc, Faculty of Environmental and Earth sciences and Engineering Department of Geophysics, Hungary, ²University of Ain Shams, Faculty of Science, Department of Geophysics): *Determining Zone Parameters in Complex Reservoirs Using Global Inversion Techniques: The Cuckoo Search Algorithm Approach*

SZÜCS, J. G.^{1,2}, VARGA, D.² (¹ELTE Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Dept. of Geophysics and Space Science, ²HUN-REN Wigner Research Centre for Physics Department of High Energy Experimental Particle and Heavy Ion Physics): *Cosmic muons on Mars and the Moon*

- PORDÁN, V.**^{1,3}, MÁDL-SZÖNYI, J.¹, SZIJÁRTÓ, M.^{1,2} (¹ELTE Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Department of Geology, József and Erzsébet TÓTH Endowed Hydrogeology Chair, ²ELTE Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Department of Geophysics and Space Science, Budapest, Hungary, ³Supervisory Authority for Regulatory Affairs (SARA), Hungary): *Shallow hydrogeological evaluation of the area around Kerekegyháza for managed aquifer recharge purposes*
- ABDELKADER, M. M.**^{1,2}, CSÁMER, Á.^{1,3} (¹Department of Mineralogy and Geology, University of Debrecen, ²Geology Department, Faculty of Science, Ain Shams University, Cairo, Egypt, ³Cosmochemistry and Cosmic Methods Research Group, University of Debrecen): *Improving the Accuracy of Landslide Susceptibility Mapping Through the Assessment of Non-Landslide Sampling Methods*

2nd session

- KOSZTA, B.** (ELTE Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Department of Geophysics and Space Science, Budapest, Hungary, HUN-REN Institute of Earth Physics and Space Science, Sopron, Hungary): *Quartz-coesite transition in shear zones: numerical modelling based on thermodynamic data*
- GHATTAS, K.,** BUDAY, T. (University of Debrecen, Faculty of Science and Technology, Institute of Earth Sciences, Department of Mineralogy and Geology): *Effects of thickening and thinning techniques on accuracy of Active Learning Method in geophysical and rock mechanical case studies*
- TATÁR, A.**^{1,2}, KOVÁCS, I.¹, NÉMETH, T., RINYU, L., TÚRI, M., GYÓRI, O., MÁTHÉ, Z., HARANGI, SZ.⁴, HAUZENBERGER, CH.⁵, TEMOVSKI-MOLNÁR, K.¹, SZEPESI, J.¹, BENKÓ, ZS.^{1,2} (¹HUN-REN Atomki, ²University of Debrecen, Department of Mineralogy and Geology, ³University of Szeged, ⁴ELTE Eötvös Loránd University, ⁵Karl-Franzens University, Graz): *Late Miocene solution flow traces and ore indication in an Early Miocene volcanic sequence in the Paks area*
- OBIDIEGWU, M. U.**^{1,2,3}, ZHAO, P.³, SZABÓ, N. P.¹ (¹Institute of Exploration Geosciences, Department of Geophysics, Faculty of Earth, Environmental Sciences and Engineering, University of Miskolc, Hungary, ²Department of Geology, University of Maiduguri, Borno State, Nigeria, ³China University of Petroleum, Beijing and Water Management Ltd.): *Evaluation of shale reservoirs by estimating toc, mineral composition and porosity using well logs*

POSTER SESSION – short oral summaries

- MOLNÁR, B.**^{1,2}, GARAGULY, I.¹ (¹MS Energy Solutions Ltd., Eger, Hungary, ²ELTE Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Department of Geophysics and Space Science, Budapest, Hungary): *Optimizing the performance of deep borehole heat exchangers with intermittent operations*
- SZABÓ, T.** (Supervisory Authority for Regulatory Affairs): *Structural analysis of an industrial water reservoir dam using time-lapse inversion of ERT data in Gyöngyösorszi, Hungary*
- STIEBER, B.,** BAUER, M., CSATÓ, I., LUKÁCS, T. (Supervisory Authority for Regulatory Affairs): *The geothermal potential of the Szentes research area in the light of the results of the geothermal data room, South Great Hungarian Plain Region*
- WINKLER, ZS.,** KISS, B., JUHÁSZ, Gy., RISTOVIC, A. (MOL Nyrt.): *Potential Opportunities in a Depleting Hydrocarbon Field from a Petrophysical Perspective*

- LUKÁCS, T.** (Supervisory Authority for Regulatory Affairs): *Joint processing of ERT and CPT data for grain size distribution*
- LUKÁCS-MEKKER, J.**^{1,2} (¹University of Miskolc, Institute of Water Resources and Environmental Management, ²Supervisory Authority for Regulatory Affairs): *Defining Hydrostratigraphic units with Hydrochemical Analysis*
- MOLNÁR, B.**^{1,2}, GARAGULY, I.¹, GALSA, A.^{1,3} (¹MS Energy Solutions Ltd., Eger, Hungary, ²ELTE Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Department of Geophysics and Space Science, Budapest, Hungary, ³HUN-REN Institute of Earth Physics and Space Science, Sopron, Hungary): *Investigating effects of permeability heterogeneity on the protection area around wells based on the groundwater travel time and temperature anomaly*
- SZEBENYI, R.,** CÉGÉNY, A. (Supervisory Authority for Regulatory Affairs): *Examination of the Gyöngyösorszi Industrial Reservoir Dam through joint-inversion of ERT and seismic refraction data*
- CÉGÉNY, A.,** FRIEDL, Z., BAUER, M. (Supervisory Authority for Regulatory Affairs): *Assembly and development of an offline, subsurface geology national dataroom platform with up-to-date open-source tools and a scalable design*
- VÁRADI, K.**^{1,2}, KERESZTÉNY-BORBÁS, E.^{2,3}, KOVÁCS, B.² (¹Department of Geophysics and Space Science, Institute of Geography and Earth Sciences, ELTE Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary, ²Bayer Construct Plc., Sósút, Hungary, ³Doctoral School of Earth Sciences, University of Pécs, Pécs, Hungary): *Seismic interpretation of the new Sósút 3D*
- GILÁNYI, G.**^{1,2}, MOLNÁR, G. P. (¹Doctoral School of Applied Informatics and Applied Mathematics, Óbuda University, ²Supervisory Authority for Regulatory Affairs, ³Institute of Geoinformatics, Alba Regia Faculty, Óbuda University): *Modeling of the gravity potential based on von Eötvös' torsion balance measurements*

3rd session

- KÜZMÖS, B.**^{1,2}, SZABÓ, G.³, OTT, U.¹, MOLNÁR, K.¹, SZEPESI, J.¹, HAUZENBERGER, CH.⁴, BENKÓ, ZS.^{1,2} (¹HUN-REN Institute for Nuclear Research, Geochronology Lab, Debrecen, ²University of Debrecen, Department of Mineralogy and Geology, Debrecen, ³University of Debrecen, Department of Physical Geography and Geoinformatics, Debrecen, ⁴Karl-Franzens University, Graz): *Analysis and classification of two Saharan meteorites*
- VERGARA, R. V.**^{1,2}, SZABÓ, N. P.² (¹MOL Plc, Budapest, Hungary, ²Faculty of Earth and Environmental Science and Engineering, University of Miskolc): *Advance formation evaluation: Interval inversion of well-logging data in unconventional reservoirs*
- BUJBÁ CZI, F. L.**¹, BALCZÓ, L.¹, HORVÁTH, Á.², SZABÓ, ZS.³, VÁRI, Z.³, SZÜCS, A.³, TIHANYI-SZÉP, E.³, GÁL, N.³, SZŐCS, N.³, FALUS, GY.³, ERŐSS, A.¹ (¹ELTE Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Department of Geology, József and Erzsébet Tóth Hydrogeology Chair, Budapest, Hungary, ²ELTE Eötvös Loránd University, Institute of Physics and Astronomy, Department of Atomic Physics, Budapest, Hungary, ³SARA Supervisory Authority for Regulatory Affairs, Department of Geology, Budapest, Hungary): *Application of radioactive isotopes as natural tracers to study the groundwater flow systems in the thermal karst system of Budapest, Hungary*
- JUHÁSZ, D.,** BUSCH, B., ÓLMEZ, J. A., CHENG, Ch., HILGERS, Ch. (Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Applied

Geosciences – Structural Geology and Tectonics, Germany): *Permeability measurements of possible CO₂ seals – influence of confining pressure and time*

ALI, A. S.^{1,2}, EL-GENDY, N. H.², NOWEIR, M. A.², EL-SADEK, M. S.³, CSÁMER, Á.^{1,4} (¹Department of Mineralogy and Geology, University of Debrecen, Hungary, ²Geology Department, Faculty of Science, Tanta University, Egypt, ³Khaldia Petroleum Company, Cairo, Egypt, ⁴Cosmochemistry and Cosmic Methods Research Group, University of Debrecen, Hungary): *Harnessing Geophysical Approaches for Delineating Many Hydrocarbon Reservoirs at the Main Abu El-Gharadig Oil Field, Northwestern Desert, Egypt*

4TH SESSION

CZIRÁKI K., TIMÁR, G. (ELTE, Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Department of Geophysics and Space Science, Budapest, Hungary) *Utilizing tide gauge data for determining the potential value of sea level*

MOHAMED, A. S. A.^{1,2}, BUDAY, T.¹ (¹Department of Mineralogy and Geology, University of Debrecen, Hungary, ²Department of Geology, Ain Shams University, Egypt): *Preliminary Results on Monitoring the Seawater Intrusion into the Quaternary Aquifer, Ras Sudr, West - Central Sinai, Egypt*

SZILVÁSI, M. (University of Miskolc, Department of Geodesy and Mine Surveying): *New methods for processing geoelectric geophysical survey data of shallow-depth contaminants and man-made facilities*

SHEREIF, A. S.^{1,2}, SHEBL, A.^{1,2}, ABDELLATIF, M.³, CSÁMER, Á.^{1,4} (¹Department of Mineralogy and Geology, Debrecen University, Debrecen, Hungary, ²Geology Department, Faculty of Science, Tanta University, Egypt, ³Department of Geology, South Valley University, Qena, Egypt, ⁴Cosmochemistry and Cosmic Methods Research Group, Debrecen University, Hungary): *Synergistic Integration of Remote Sensing and Geophysical Data for Precise Delineation of Radioactive Mineralization-Bearing Alteration Zones: A Case Study, area from Central part of Eastern Desert, Egypt*

5TH SESSION

PRASETYO, D. G.¹, BÁLDI, K.² (¹Eötvös Loránd University, Faculty of Science, Department of Environmental Science, Budapest, Hungary, ²Erudito Lyceum, Kaunas, Lithuania): *Anoxic-Tolerant Benthic Foraminifera Assemblages in the West African Upwelling System: Insights from Walvis Bay, Namibia*

GERECZI, B. G., B. KISS, G. (ELTE TTK, Department of Mineralogy): *Enrichment conditions of critical raw materials in sphalerite from VMS-type ore deposits – opportunities for more cost-effective and sustainable metal extraction*

TÓTHI, T.¹, MARKÓ, Á.¹, MÁDL-SZÓNYI, J.¹, SZILÁGYI, I.², SZIJÁRTÓ, M.³ (¹Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Department of Geology, József and Erzsébet Tóth Endowed Hydrogeology Chair, Hungary, ²MVM Green Generation Zrt., ³Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Department of Geophysics and Space Science, József and Erzsébet Tóth Endowed Hydrogeology Chair, Hungary): *The challenges of geothermal risk analysis in karstic areas through the Buda Thermal Karst research area*

ERNESTO, E. M., DOBRÓKA, M. (Miskolc University, Department of Geophysics, Faculty of Earth and Environmental Science and Engineering, Miskolc, Hungary): *Understanding stress-dependent acoustic velocity hysteresis in rocks: insights from physical modeling and preisach model*

BALASSA, Cs., NÉMETH, N., KRISTÁLY, F. (University of Miskolc, Institute of Exploration Geosciences, Miskolc, Hungary): *HFSEs in the Bükkalja region, NE Hungary*

6TH SESSION

KYEL, R. K.^{1,2}, FIADONU, E. B.² (¹Institute of Exploration Geoscience, University of Miskolc, Hungary, ²Department of Geological Engineering, University of Mines and Technology, Ghana): *QA/QC challenges in a structurally controlled deposit: a case study on grade control, asanko gold mine*

MIKLÓS, D. G.^{1,2}, JÓZSA, S.², KASZTOVSZKY, Zs.³, HARSÁNYI, I.³, GMÉLING, K.³, SZAKMÁNY, Gy.² (¹Hungarian National Museum, National Institute of Archaeology, ²ELTE-TTK Department of Petrology and Geochemistry, ³HUN-REN Nuclear Analysis and Radiography Department Centre for Energy Research (KFKI), Budapest): *Complex petrographic, heavy mineral and geochemical analysis of sandstone macro-lithic tools from Transdanubian archaeological sites*

NAGY, B. (Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Department of Geophysics and Space Science Budapest): *Two-dimensional numerical analysis of the influence of reservoir heterogeneity on geothermal reinjection*

VÉGH, A., KOVÁCS, G. (Eötvös Loránd University, Savaria University Centre Berzsenyi Dániel, Teacher Training Centre Geography Department, Szombathely): *The Tectonic Geomorphology of Kemeneshát and Its Surroundings*

MOHAMED, A. A. O. K.^{1,2}, EL SAYED, A. M. A.², SZABÓ, N. P.¹ (¹Department of Geophysics, Institute of Exploration Geosciences, University of Miskolc, ²Department of Geophysics, Faculty of Science, Ain Shams University, Cairo, Egypt): *Rock typing based on hydraulic and electric flow units for reservoir characterization*

Díjazottak

Elméleti kategória:

I. KÜZMÖS Balázs, Debreceni Egyetem

II.: BALCZÓ Lili és BUJBÁ CZI Fanni közös előadása, ELTE

III. megszott: KOSZTA Benedek és GERE CZI Géza Botond, ELTE

Gyakorlati kategória:

I. megszott: JUHÁ SZ Dorina, KIT Institute Karlsruhe – TÓTHI Tamara, ELTE

II. nem került kiosztásra

III. PORDÁN Viktória, SZTFH

Poszter:

I. MOLNÁR Bence, ELTE – (aki mindkét poszterével első díjat nyert)

II. SZEBENYI Renáta, SZTFH

III. WINKLER Mária Zsuzsanna, MOL Nyrt.

Különdíjak:

Közönségdíj: BALCZÓ Fanni és BUJBÁ CZI Fanni, ELTE közös előadása

Biocentrum Kft.: VÉGH Anna, ELTE/Savaria Egyetem

Swietelsky Magyarország Kft.: SZABÓ Tivadar, SZTFH

Geo-Log Kft.: Rafael Valadez VERGARA, MOL Nyrt.

SZTFH: VÁRADI Kitti, Bayer Construct Kft./ELTE

Mecsekérc Zrt.: TATÁR Adrienn, Debreceni Egyetem

ELGA Böckh János-díj: MIKLÓS Dóra, Magyar Nemzeti

Múzeum/ELTE

Szilárd József-díj: LUKÁ CS-MEKKER Julianna, SZTFH

MFT-különdíj: MIKLÓS Dóra, Magyar Nemzeti Múzeum

MFT IB-különdíj: LUKÁCS-MEKKER Julianna, SZTFH
 MFT IB (kalapács): GERECZI Botond, ELTE
 MS-Energy Solution Kft.: JUHÁSZ Dorina, KIT Institute
 Karlsruhe
 MinGeo Kft.: NAGY Bence, ELTE
 MOL különdíj: Ahmed Osama Kamal MOHAMED, Miskolci
 Egyetem
 HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet: SZŰCS
 József Gábor, ELTE
 TNavigation Kft.: TÓTHI Tamara, ELTE
 Merin Services Kft.: PORDÁN Viktória, SZTFH
 GEOMEGA Kft.: KÜZMÖS Balázs, Debreceni Egyetem
 Résztevők száma: 53 fő.

Április 8.

Előadókülés

FÖZY I.: A Nopcsa-kutatás legújabb eredményei
 BREZSNYÁNSZKY K.: Nők a tudomány fellegvárában (könyvismer-
 tetés). Az előadás a Magyarhoni Földtani Társulat ENGIE-
 projektjéhez kapcsolódott
 SZÉKELY K.: A jeles barlangkutatók könyvsorozat 5. kötete: *RAISZ
 Keresztély földmérő – a Baradla kutatója* (könyvismertetés)
 Résztevők száma: 36 fő.

Május 10.

Madarak és fák napja, év fajai fesztivál – ingyenes családi nap a Jókai kertben

Társzervezők: DINPI, MME
 Résztevők száma: 1500 fő.

Május 17–19.

Emlékek óre program: Felvidéki kirándulás a 125 éves született Vitális Sándor emlékére Salgótarján–Bajmóc–Selmecbánya

Május 17.

VITÁLIS Sándor és JUGOVICS Lajos nyomában a Novohrad–Nógrád
 UNESCO Globális Geopark területén (Túraezető: PRAKFAI P., a
 Geopark geológusa)
 A Dornyay Béla Múzeum Bányászati Kiállítóhelyén elhelyezett
 Vitális Sándor-emléktábla megkoszorúzása, majd a Bányamú-
 zeum megtekintése
 HEGYI P.: tájékoztató a geoparkról Eresztvényben, a Geopark
 Látogatóközpontjában
 JUGOVICS Lajos nyomában. Kirándulás az Eresztvényi-bányába
 VITÁLIS Sándor és a kisterenyei ún. „fúróvíz” (ivókúra)
 Mátraverebély–Szentkút: Kirándulás a Barátlakásokhoz és forrá-
 sokhoz
 Szállás Salgótarjánban, a Galcsik Fogadóban)

Május 18.

Besztercebánya, Harmaneci-barlang, Bajmóci kastély megtekintése

Május 19.

Körmöcbánya és Selmecbánya bányászati emlékeinek megtekintése
 Résztevők száma: 13 fő.

Június 10.

Elnökségi ülés

Résztevők száma: 9 fő.

Szeptember 4.

IV. Új földtudományi eredmények és hasznosulásuk a Novohrad–Nógrád UNESCO Globális Geopark területén – konferencia

Geocsodák Háza Salgótarján–Salgóháza
 Társzervező: Novohrad–Nógrád Geopark Np. Kft.

Program

Megnyitóbeszéd:

SÁNDOR I., a Novohrad–Nógrád Geopark Kft. ügyvezető igaz-
 gatója, a konferencia házigazdája
 BALCZÓ B., a konferencia védnöke
 BECSÓ Zs., országgyűlési képviselő
 SKUCZI N., a vármegyei közgyűlés elnöke
 KREICSI B., Salgótarján Megyei Jogú Város polgármestere
 Ing. arch. ANDERKOVÁ, E. Z. p. o. Geopark Novohrad – Nógrád Jogi
 Személyek Társulása AGÓCS Attila Fülek város polgármes-
 tere
 Ing. BELANOVÁ, E. Cseres-hegység Tájvédelmi Körzet/Správa
 CHKO Cerová vrchovina igazgatója
 RÓNAI K.-né, Bükk Nemzeti Park Igazgatóság igazgatója

Délelőtti előadások

Levezető elnök: WEISZBURG Tamás (ELTE TTK Környezettudo-
 mányi Centrum)
 WEISZBURG T. (ELTE TTK Környezettudományi Centrum): A
 Novohrad–Nógrád UNESCO Globális Geopark: a régió
 földtudományos kutatásainak katalizátora
 HORVÁTH L., BIRÓ M. (ELTE): Pokolra szánt bagó: Gyulladásos
 metamorf kőzetek Szilvás-kőn és térségében
 GHERDÁN T. (ELTE): Hepe-hupák és hegyi tavak a Cserhátban
 SÁGI T. (ELTE): Utazás a földkéreg alá – Mit üzennek a nógrád-
 gömöri bazaltvulkánok ásványai?
 LÁSZLÓ M. (ELTE): Meddig ér a talajtakaróm: ásványos átala-
 kulások a Szilvás-kői bazalton képződő talajban
 GÁL P. (HUN-REN Magyar Kutatási Hálózat, Csillagászati és
 Földtudományi Kutatóközpont, Pannon Vulkan Lendület
 kutatócsoport): Egy 15 millió éves, gigantikus vulkánkitörés
 termékeinek megőrződése a nógrádi területen
 Elnöki zárszó (WEISZBURG T.)
 Ebédszünet, közben a Geocsodák Házában lévő kiállítások
 megtekintése.

Délutáni előadások

Levezető elnök: HOLLÓ Sándor (Bükk Nemzeti Park Igazgatóság,
 Természetmegőrzési Osztály)
 HOLLÓ S.: Bükk Nemzeti Park Igazgatóság fejlesztései a NN
 Geopark területén
 PÁL M. (ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet):
 Mennyire objektív a geotópok értékminősítése?
 BEKE B. (ELTE): Mit üzennek a deformációs szalagok: a
 deformáció története homokból homokkővé válás során
 GYÖRGY B. (Novohrad–Nógrád UNESCO Globális Geopark,
 szakmenedzser): Új lehetséges bemutatóhelyek a Geopark
 szlovákiai oldalán
 PRAKFAI P. (Novohrad–Nógrád UNESCO Globális Geopark,
 geológus): Új ismeretek a Geopark területéről
 KARÁTSÓN D. (ELTE): Egy hatalmas, 17 millió évvel ezelőtti,
 robbanásos vulkánkitörés anatómiája: miképpen őrződtek
 meg a világraszóló ipolytarnóci életnyomok
 BOTFALVAI G. (ELTE TTK Földrajz és Földtudományi Intézet,
 Óslénytani Tanszék): Mit üzennek a lábnyomok az ipoly-
 tarnóci élővilágról
 Elnöki zárszó (HOLLÓ S.)

A medvesi „kristálytufa” feltárás megtekintése. Gyalogos kirándulás a Geocsodák Házából az Eresztvényi-bányába. Túravezetők: HOLLÓ S. (Bükki Nemzeti Park Igazgatóság), PRAKFAI P. (a Novohrad–Nógrád UNESCO Globális Geopark geológusa). Résztevők száma: 48 fő.

Szeptember 18–20.

Földtani és Geofizikai Vándorgyűlés

„Kritikus ásványi nyersanyagok a versenyképesség szolgálatában”

Eger, Szent István Hotel

Társzervező: Magyar Geofizikusok Egyesülete

Szeptember 18.

Levezető elnök: M. TÓTH Tivadar

Fővédnöki köszöntő: FANCSIK Tamás

Elnöki megnyitók:

M. TÓTH Tivadar, Magyarhoni Földtani Társulat

BREITNER Dániel, Magyar Geofizikusok Egyesülete

Előadások:

FALUS Gy.: Az EU kritikus ásványi nyersanyag rendelete – hazai szakértői válaszok és kihívások

FÖLDESSY J., MÁDAI F.: Magyarország CRM ásványi lelőhelyek adatbáziszata

Sajtónyilvános diskusszió a hazai CRM helyzetről

Ebédszünet

Levezető elnök: ZAJZON Norbert

PRAKFAI P.: A Nézsa–Csővár környéki töbrök (karsztaknak) üledékeinek kritikus ásványi nyersanyag potenciálja az SZTFH Adattárban található dokumentumok tükrében

MOLNÁR F.: A magyarországi neogén korú intermedier-savanyú vulkanizmus hidrotermás rendszereinek átfogó modellje és annak jelentősége fedett nyersanyagtelepek kutatásában

B. KISS G. et al.: Ásványkémiai eredmények neotethysi riftesedéshez kötődő hazai Pb-Zn ércetekből: genetikai alkalmazás, CRM-tartalom

LESKÓ M. et al.: Feláramlás okozta mangánérc felhalmozódás a Dunántúli-középhegységben

BALÁZS L. et al.: Nagy felbontóképességű, bányászati célú, felszín alatti müográfiai mérések és müontomográfia

MÁDAI F., MÓRICZ F.: TIMREX-CRM – egy nyersanyagkutató közös mesterképzés fejlesztése a kritikus és stratégiai nyersanyagok irányába

Levezető elnök: ZELEI Gábor

SZANYI J. et al.: Geotermikus energia komplex hasznosítása és UNFC kód szerinti osztályozása

MAROS Gy. et al.: Az Országos Fúrómag Archívum megújulása, Renewal of the National DrillCore Archive

HEGYMEGI L. et al.: Földmágneses mérőkészülékek – gyártás, tesztelés és fejlesztés

Poszterek

ALBRECHT R. et al.: A MÉV által elvégzett archív elemzési adatok feldolgozása a kritikus elemek tekintetében

CÉGÉNY A. et al.: Offline mélyföldtani adatszoba platform fejlesztése naprakész nyílt forráskódú eszközökkel és skálázható kialakítással

CSÉCSEI H. et al.: Kritikus ásványi nyersanyagok előfordulásai Rudabányán

HARTAI Éva et al.: Kritikus nyersanyagok geotermikus fluidumokból

HÉJA G. H. et al.: Üledékes deformációk a késő triász – kora jura Csővári-medencében – következtetések a platform–medence átmeneti zóna geometriájára vonatkozóan

RÁBÓCZKY B. et al.: A tornaszentandrási vasércbánya müográfiai vizsgálata

STEFÁN B. et al.: Föld alatti müográfia precíziós vizsgálata

SZABÓ T. et al.: A gyöngyösoroszi ipari víztározó völgyzáró gátjának szerkezeti vizsgálata elektromos ellenállás tomográfia adatokon végrehajtott time-lapse inverzió segítségével

SZALAI S. et al.: Egyszerű geotechnikai módszerek alapelvei és használati lehetőségei

SZEBENYI R.: Magnetotellurikus tesztmérések zajjal terhelt környezetben

TÖRÖK I.: A mesterséges intelligencia alkalmazása az SZTFH földtani szakterületein

Szeptember 19.

Levezető elnök: MÁDAI Ferenc

DEÁK Gy.: Parajd ma. Beszámoló a parajdi katasztrófa előjeleiről és a jelenlegi parajdi helyzetről

Diszkusszió a parajdi helyzetről

SZARKA L.: A magyar föld mélyének megismerése: fordulóponatok és tanulságok

GOMBÁR L. et al.: Nagy felbontóképességű szerkezetkutató 3D szeizmikus mérések a Bodai Aleurolit Formáció (BAF) kutatására a Nyugat-Mecsekben

KOROKNAI B. et al.: A Nyugat-Mecsek új 2D SH-hullám reflexiós szeizmikus kutatásának eredményei: bepillantás a sekély-földtani és neotektonikus viszonyokba

NEDUCZA B.: Vetőkutatás nagy felbontóképességű geoelektromos és szeizmikus mérésekkel

Ebédszünet

Levezető elnök: BREITNER Dániel

SOÓS B.: Térképi paleo-rekonstrukciós modell a Pannon-medence kainozoos fejlődéstörténetére – első iteráció

KISS J.: Magnetotellurikus térképezés a Dunántúlon

JENES S. et al.: Szeizmikus mérések a Kemenesháton a kavics-takaró szerkezetének és települési viszonyainak feltárására

WÓRUM G., KÁDI Z.: Szénhidrogén telítettséghez köthető 3D szeizmikus sebességanómália kihívásainak kezelése és szeizmikus adatok mélységkonverziója numerikus tárolómodell építése során

BERECZKI L. et al.: Budapesti 2D szeizmikus mérések eredményei a Budapest Geotermikus Kutatási Program keretében

CÉGÉNY A. et al.: A Budapesti Geotermikus Kutatási Projekt web-alapú adatvizualizációjának előzetes eredményei és jelenlegi fejlesztési állapota

Levezető elnök: BARACZA Krisztián

SZALAI S. et al.: Nemhagyományos elektródaelrendezések és -terítések

KÁRPI M. et al.: Új geoelektromos terepi technika fejlesztése, körgeometriájú multielektrodás mérések a Bükk-hegységben

VELKI M. et al.: Adria független mozgása az Afrikai lemeztől a mezozoikumban: GPlates rekonstrukció paleomágneses adatok alapján

Aktuális földtudományi podcast-beszélgetések vetítése vacsoráig. Az előadóteremben mind a két nap megtekinthető volt az Apokromát Kft. mikroszkópos bemutatója.

Szeptember 20.

Terepbejárás: Képet adott a DNY-i Bükk magmás és üledékes

közeteiről, szerkezeti jellemvonásairól, lehetséges tektonikai értelmezéséről és esetleges érces nyersanyagairól. (Vezetők: FODOR László és B. KISS Gabriella)
Részvevők száma: 68 fő.

Szeptember 26.

A 95 éves KECSKEMÉTI Tibor köszöntése

Helyszín: MTM Semsey-terem
Társzervező: MTM Őslénytani és Földtani Tár
Az ünnepeltet vetített képes előadással VÖRÖS Attila köszöntötte
Részvevők száma: 28 fő.

November 7–9.

Földtudományos forgatag 2025.

Helyszín: Magyar Természettudományi Múzeum

November 7. „Földtudományok a válságkezelés szolgálatában”
online kerekasztal beszélgetések

175 éves a Magyarhoni Földtani Társulat
Bemutatkozik a 2025-ös év ősmaradványa és ásványa és ásványkincse: BODOR E., B. KISS G., KÓTHAY K.
Podcast-bemutató: Vulkánok bűvöletében: HARANGI SZ., LUKÁCS R., HATVANI I.
Parajd ma geológus és geofizikus szemmel: BOZSÓ I., PAPP R., HATVANI I.
Hogyan találjunk dinoszauruszokat? ŐSI A., HATVANI I.
Nyersanyagkutatás és robotika: ZAJZON N., HATVANI I.

November 8.

Köszöntők: ZAJZON Norbert (MFT), GUBÁNYI Aandrás (MNMKK MTM), FANCSIK Tamás SZTFH
Ismeretterjesztő előadások a Földtani örökségvédelem témakörében: Ég és Föld között (HUN-REN CSFK)
KERESZTURI Á.: Életnyomkeresés a Marson
HATVANI I., KERN Z.: Csapadékvizek izotópos összetételének térképezése
CZUPPON Gy. et al.: Az esőcseppből a cseppköveig, avagy hogyan őrzik meg a barlangi képződmények az egykori éghajlati jellemzőket?
RUSZKICZAY-RÜDIGER Zs.: A kavicsoktól a cseppköveig, avagy hogy mesélnek a barlangi kitöltések a barlangok koráról és a felszínnel való kapcsolatáról a Nyugat-Mecsekben

Földtani örökségvédelmünk kincsei a barlangok

BERENTÉS Á.: Fotózás extrém körülmények között – a föld alatt
A mélység vándora, a Baradla-barlang 200 évvel ezelőtti felfedezésének történetéről szóló film vetítése
GRUBER P.: 30 éve a világörökség része a 200 éve felfedezett Baradla-barlang
MÉSZÁROS J.: A Laci-zsomboly kutatásának története és eredményei
BERENTÉS Á. rendhagyó tárlatvezetése: A látható láthatatlan – bányák és barlangok ibolyántúli fényben

Kőbe zárt világok – filmbemutató:

Fémes ásványi nyersanyagok 1–2.
Szénhidrogének
A felszín alatti vizek nyomában a Velencei-tóban
Geopocorn – a perlit

November 9.

Bemutatkozik az idei év ásványa és ősmaradványa
PAPP G.: Az Év ásványa az opál

Az Év ősmaradványa a radiolária

Földtani örökségvédelem és etika a magashegyi hegymászásban
NEDECZKY J., RÉTI Zs.: Himalája és tektonika

Filmvetítés

Aktuál-földtudomány podcast-sorozat vetítése zárásig

Az Utazó Planetárium műsoral

Egy túlélés története – a dinoszauruszok (csodás, mesés, tudományos műsor gyerekeknek és felnőtteknek)
Mars, az emberiség következő kihívása (Hogyan juthatnak el az emberek a Marsra?)
Sztellárok – élővilág-küldetés (kalandos történet, melyben megmentjük a lombulát)
Varázslatos Földgolyó (látványos mese az évszakokról)
Elmének titkai (az emberi agy és a gondolkodás)
Sötét bioszféra – az élet keresése a világegyetemben (többszörös díjnyertes film arról, hogy hogyan érkezett az élet a Földre)
3, 2, 1 – Felszállás! – Irány az űr (mesés kalandfilm a repülésről és rakétákról, amiben megmentünk egy kedves robotot)
Cosmix – Hogyan legyünk űrhajósok?
Mikroverzum – Kalandok a mikroszkopikus világban
A csillagképek titkai: mítosz és valóság
A fény: a világegyetem történetének hírvivője – egy hihetetlen utazás időn és téren át

Szervezők/kiállítók:

Magyarhoni Földtani Társulat
Magyar Természettudományi Múzeum Ásványtár, Őslénytár, Bakony Múzeum
SZTFH Földtani Igazgatóság, Bányászati Igazgatóság
Egyetemek: ELTE Természettudományi Múzeuma, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, ELTE IK Térképtani Tanszék, Miskolci Egyetem, Budapesti Műszaki Egyetem, MCC Scienceclub
Nemzeti parkok: Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság, Bükk Nemzeti Park Igazgatóság, Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság
UNESCO Globális Geoparkok: Bakony–Balaton Geopark, Bükk-felvidéki Geopark
Múzeumok és kiállítóhelyek: Pásztói Múzeum, Tata Kuny Domokos Múzeum, Érdi Magyar Földrajzi Múzeum, Mátra Csillaga, Mesélő Föld
Kutatóintézetek: HUN-REN CSFK Csillagászati Intézet, Földtani és Geokémiai Intézet, HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet, Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium, HungaroMet
Cégek: Anzo Perlit Kft., MOL Nyrt., Utazó Planetárium
Civil szervezetek: Magyar Geofizikusok Egyesülete, Magyar Meteorológiai Társaság, Magyar Földmérési, Térképészeti és Távérzékelési Társaság, Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, Magyar Karszt- és Barlangkutató Egyesület, Magyar Dinoszaurusz Alapítvány
Részvevők száma: kb. 3000 fő.

November 19.

A Magyarhoni Földtani Társulat online Elnökségi ülése
Részvevők száma: 7 fő.

November 19.

A Magyarhoni Földtani Társulat online Választmányi ülése
Részvevők száma: 24 fő.

November 19.**Előadói ülés**

DUNKL I., LAVAJNÉ BÓDI L., BIRÓ L., MINDSZENTY A.: Miből lett a Nagyharsányi Bauxit? – A detritális elegyrészek ekro-
nológiai/geokémiai vizsgálata

DUNKL I., JÓZSA S., KÁZMÉR M., †MIKES T., KRONZ, A., von EYNATTEN, H.: A Duna kavicssteraszában található egzotikus
tömbök lehetséges eredete – geokronológia adatok alapján

Az utóbbi előadással a közelmúltban elhunyt MIKES Tamás előtt
tisztelegtünk.

Résztevők száma: 42 fő.

December 16.**A Magyarhoni Földtani Társulat online elnökségi ülése**

Résztevők száma: 8 fő.

December 16.**A Magyarhoni Földtani Társulat online választmányi ülése**

Résztevők száma: 17 fő.

December 19.**Exelnökök találkozója**

Résztevők száma: 5 fő.

December 19.**70 év fölötti kerek évfordulót ünneplő tagtársaink köszö-
nése**

Résztevők száma: 16 fő.

*Alföldi Területi Szervezet***November 14.****NosztalGEO 2025**

Algyő, Faluház, Búvár utca 5.

Köszöntő

KISS B.: Dank és Cholnoky nyomában: Kutatástörténeti érdek-
ességek, Algyő-mező telepei

KOVÁCS B.: A kutatás módszereinek fejlődése a hidro- és a mér-
nökgeológiában (A számítógépes szimulációktól a terepjáró
abroncsok fejlesztésén át a parajdi sóbánya megmenthető-
ségének vizsgálatáig)

JUHÁSZ Gy.: Az algyői telepes összlet szedimentológiai megítélése
a kezdetektől napjainkig („amit elsőik között Ő észrevett” – mit
is látott Révész Pista?)

Révész Díj átadása

PALÁSTHY Gy.: Emberek és technológiák Algyő-mező 60 éves
művelésében

VOLFORD V.: A már „régóta fiatal” Algyő-mező. Múlt–jelen–jövő.

KOROKNAI B., WÖRUM G., TÓTH T., KOROKNAI ZS., FEKETE-
NÉMETH V., KOVÁCS G.: Neotektonikus kutatások Magyar-
országon – múlt és jelen: az új országos neotektonikai térkép és
dél-alföldi vonatkozásai.

SZANYI J.: Békés–Budapest–Sopron-tengely a hidrogeológiában
Szeged–Miskolc leágazással.

SZINGER B. (Laboratóriumok MOL): Császár Géza nyomában –
Mezozoos karbonátok a Tisza-egységből.

Zárszó

2025-ben a Révész István-díjat dr. M. TÓTH Tivadar kapta

Laudáció – Dr. M. Tóth Tivadar

Dr. M. Tóth Tivadar a Szegedi Tudományegyetem Földrajz- és
Földtudományi Intézet, Geológia Tanszékének egyetemi tanára, a
hazai földtudományi kutatás és felsőoktatás meghatározó, isko-
lateremtő személyisége. Tudományos és oktatói pályája több évti-
zede szorosan kötődik az SZTE geológiai képzéséhez, amelynek
szakmai arculatát kiemelkedő mértékben formálta. Hosszú éveken
át tanszékvezetőként is meghatározó szerepet vállalt a képzés
fejlesztésében és a szegedi földtudományi műhely hazai és nem-
zetközi elismertségének erősítésében.

Az SZTE-n folyó földtudományi alap- és mesterszakos képzés
új rendszerének kidolgozójaként megalapozta a modern geoló-
gusképzés irányait. Oktatói és tantervfejlesztői munkája révén
számos, ma már az iparban és tudományos területeken dolgozó
kiváló szakember került ki az intézmény falai közül, jelentősen
hozzájárulva a hazai alkalmazott földtudományi utánpótlás meg-
teremtéséhez.

Tudományos pályája több mint huszonöt éve összefonódik a
repedezett metamorf aljzati szénhidrogén tárolók kutatásával.
Nevéhez fűződik a fluidum migráció és -tárolás szempontjából
eltérően viselkedő metamorf kőzetblokkok petrológiai alapú mód-
szertanának megteremtése, amely új irányt adott a kristályos aljzati
rezervoárok működésének megértéséhez. Eredményei kiemelten
fontosak a Pannon-medence kristályos aljzatának és fedőkép-
ződményeinek megismerésében, különös hangsúllyal a rezervoár
geológiai alkalmazásokra.

Úttörő munkát végzett a metamorf kőzettestek geofizikai –
különösen karotázs – adatainak értelmezésében, rávilágítva a
metamorf ásvány- és kőzettani sajátosságok, valamint a geofizikai
paraméterek összefüggéseire. Innovatív kutatásai révén új mód-
szertant dolgozott ki a magmintákból és geofizikai adatokból
nyerhető információk integrált értékelésére, amelyet több minta-
területen is sikerrel alkalmazott a repedéshálózatok felskáláz-
hatóságának és térbeli kiterjeszhetőségének vizsgálatában.

A repedésmodellezés területén végzett kutatásai jelentős mér-
tékben hozzájárultak annak megértéséhez, hogy a kőzettani felé-
pítés, a szerkezetfejlődés és a metamorf fejlődéstörténet miként hat
a kőzetblokkok eltérő viselkedésére. Eredményei új szemléletet
honosítottak meg a fluidum migrációs pályák kialakulásának és
működésének vizsgálatában, erősítve a hazai kutatások nemzet-
közi beágyazottságát.

Széles körű publikációs tevékenységet folytat: munkái rangos
hazai és nemzetközi szakfolyóiratokban jelentek meg, és jelentős
idézettséggel bírnak. A Magyar Tudományos Akadémia köztes-
tületi tagjaként a tudományos közösség meghatározó alakja, aki
elkötelezetten járul hozzá szakterületének fejlődéséhez.

Tudományos és oktatói szerepvállalása mellett aktív közös-
ségépítő és szakmai szervezeti munkát is végez. A Magyarhoni
Földtani Társulat elnökeként kiemelkedő szerepet játszik a hazai
földtudományi közösség összefogásában, a szakmai párbeszéd és
az utánpótlás-nevelés támogatásában. Elnöki munkája hozzájárul
a földtudományok társadalmi láthatóságának növeléséhez, vala-
mint a Társulat megújuló, aktív szakmai életének fenntartásához.
Kimagasló szakmai és közösségi munkáját a szakma 2025-ben, a
NosztalGeo rendezvény Révész István-díjával ismerte el.

Oktatóként alap-, mester- és doktori képzésben egyaránt aktív,
meghatározó szerepet vállalva a földtudományi utánpótlás nevelé-
sében. Számos PhD-hallgató témavezetőjeként járult hozzá fiatal
kutatók szakmai kibontakozásához, mindvégig következetesen

képviselve az oktatás és a kutatás egységét. Munkáját a szakmai igényesség, a módszertani alaposág és az interdiszciplináris gondolkodásmód határozza meg.
Résztevők száma: 71 fő.

*Általános Földtani Szakosztály –
Budapesti Területi Szervezet*

Szeptember 24.

Könyvbemutató: Babinszki Edit: Térképek és történetek

Helyszín: Magyar Millennium Háza

Társszervező: SZTFH

Moderátor: MAROS Gy. (SZTFH Földtani Szolgálat), az MFT Általános Földtani Szakosztályának elnöke

Beszélgetőpartnerek:

BABINSZKI E. (SZTFH Földtani Szolgálat), a könyv szerzője,
BERECZKI L. (SZTFH Földtani Szolgálat), geofizikus,
FRIEDL Z. (SZTFH Földtani Szolgálat), térinformatikus,
GÁL N. E. (SZTFH Földtani Szolgálat), hidrogeológus,
KERCSMÁR Zs. (SZTFH Földtani Szolgálat), geológus, a tájegységi földtani térképezés vezetője.

Résztevők száma: 73 fő.

Dél-Dunántúli Területi Szervezet

November 10.

A Tiszai-főegység és egyéb magyarországi földtani-geofizikai kutatások legújabb eredményei

Pécs, Laterum Hotel

Program

Köszöntő: HÁMOS G. az MFT Dél-dunántúli Területi Szervezet Elnöke, az MTA PAB X. sz. Föld- és Környezettudományok Szakbizottság Földtani és Bányászati Munkabizottság Elnöke

I.: A Nyugat-Mecsek földtani-geofizikai kutatásának legújabb eredményei

Levezető elnök: MOLNÁR Péter (RHK)

GOMBÁR L. (Geoseis Bt.), HALÁSZ A., MOLNÁR P. (RHK Kft.): A Ny-Mecsekben végzett nagy felbontású szerkezetkutató 3D szeizmikus mérés terepi felvételezése és adatfeldolgozásának tapasztalatai

KOROKNAI B., KÁDI Z., TÓTH T., DÖVÉNYI G., WÓRUM G. (Geomega Kft.), HALÁSZ A., MOLNÁR P. (RHK Kft.), KONRÁD Gy. A Nyugat-Mecsek új 2D SH-hullám reflexiós szeizmikus kutatásának eredményei: bepillantás a sekélyföldtani és neotektonikus viszonyokba

KONRÁD Gy.: A Hetvehely–Magyarszéki-törés szerepe a Nyugat-Mecsek tektonikai fejlődéstörténetében

HÁMOS G., BALLA L., HOCHREIN B. (Mecsekérc Zrt.), STICKEL J. (Elgoscár Zrt.): Lehetséges árkolási helyszín keresése a Hetvehely–Magyarszék törés neotektonikai mozgástörténetének vizsgálatára

Kérdések, hozzászólások

II.: Fejlődéstörténeti és módszertani kutatások

Levezető elnök: HÁMOS Gábor (Mecsekérc Zrt.)

MAROS Gy., HÉJA G., LANTOS Z., MARKOS G., PALOTAI M., (SZTFH), KONRÁD Gy.: Szállítási irányok elemzése mecseki perm üledékes rétegsorokban

HRABOVSKI E., SCHUBERT F. (SZTE): Paleofluidum-migrációs nyomok a Nyugati-Mecsek területén

BALLA L., MÉSZÁROS D. HÁMOS G., HOCHREIN B. (Mecsekérc Zrt.): *A Fialat üledékek megismerését célzó módszertani vizsgálat Tengelic-Szőlőhegy környezetében* című kutatási projekt földtani eredményei

KORONCZ P., KRUPA Á., PUSKÁS I., ÓBERT V., FÖLDING G. (Mecsekérc Zrt.): Fialat üledékek megismerését célzó módszertani vizsgálat talajmechanikai és hidrogeológiai eredményei a Tengelic-Szőlőhegy környezetében

SEBE K. (HUN-REN–MTM–ELTE PK), BAUER M. (SZTFH), SURÁNYI G. (Wigner FK), NOVOTHNY Á. (ELTE TTK TT), CSILLAG G., RUSZKICZAY-RÜDIGER Zs. (HRN CSFK FGI): Karsztfelődés a Nyugat-Mecsekben: geomorfológia, kronológia, emelkedéstörténet

Kérdések, hozzászólások

III.: Geotermikus és szerkezetkutatási projektekhez kapcsolódó földtani kutatások

Levezető elnök: KRUPA Ágnes (MECSEKÉRC Zrt.)

ZALAI Zs., CSICSÁK P. (Rotaqua Kft.), MÁTHÉ Z. (MECSEKÉRC Zrt.): A kecskeméti KMB-T-1 geotermikus kút földtani tanulságai: egy invertált miocén árok

KOVÁCS G., JENES S. B., KOROKNAI B., KÁDI Z. (Geomega Kft.), ZENTAI Z. (ELTE BDPK Földrajzi Tanszék), CSÖNDÖR F. M., TÓTH T. (Geomega Kft.): Neotektonikus vetőindikációk validálása a Kemenesháton S-hullám-szeizmikus méréssel

BERECZKI L., BAUER M., CSABAFI R., CSERKÉSZ-NAGY Á., HEGEDŰS E., KEMÉNY M., LUKÁCS T., MARKOS G., PÁL L., SZABÓ T., SZEBENYI R., TAKÁCS E., TÖRÖK I., VIRÓK A. (SZTFH): Az Országos Geotermikus kutatási programban készült új szeizmikus mérési eredmény a Bólyi-árokból

MAJOROS Gy., MENYHEI L. Tiszai-egység és déli előterének szerkezeti modellje

Kérdések, hozzászólások, zárszó

IV.: Posztterek bemutatása

KONRÁD Gy.: A DK-Dunántúl prekainozoos földtani térképe és perm–mezozoos litosztratigráfiai táblázata

ALBRECHT R. Gy., BALLA L., KOCSIS G., HOCHREIN B., SÁMSON M., BENŐ D. (Mecsekérc Zrt.), BÖKÖS B., HEGEDŰS B., JÁROSSY J., LÁSZLÓ M., PETRAS M. (ELTE TTK BSc-hallgatók): A MÉV által elvégzett, archív elemzési adatok feldolgozása a kritikus elemek tekintetében

SZABÓ Z., KOVÁCS P., PÁLYI A. (ELGA), BERECZKI L. (SZTFH): Történeti áttekintés az Eötvös-inga szerepéről a földtani kutatásban

Résztevők száma: 67 fő.

Észak-Magyarországi Területi Szervezet

Június 23.

Szentiván-éji vacsora – Jubileumi évfordulás tagtársak köszöntése

Miskolci Egyetem, szabadtéri rendezvény

Köszöntöttek: NÉMEDI VARGA Zoltán (95), SZLABÓCZKY Pál (85), KÁRPÁTI Istvánné (85), SZOKOLAI György (85), BUCSI-SZABÓ László (85), GASZTONYI Éva (80)

A köszöntött tagtársak rövid előadásban ismertették szakmai életútjukat.

Résztevők száma: 18 fő.

Közép- és Észak-Dunántúli Területi Szervezet

Március 22.**Mélyfúrások a Velencei-tó körül (tókerülés kerékpárral)**

Útvonal (főleg kerékpárúton, de néhol földúton és murvás úton): Velence, Gárdony, Agárd, Dinnyés, Pákoz, Sukoró, Nadap, Bence-hegy, Pázmánd, Kápolnásnyék, Velence.

Túrávezető: ÁDÁM László

Résztevők száma: 3 fő.

Május 16–17.**Előadókör és terepbejárás**

Társszervező: ELTE-SEK-BDPK Földrajzi Tanszék, Magyar Földrajzi Társaság, Nyugat-magyarországi Osztály

Május 16.

LENNER T., ELTE-SEK-BDPK igazgató: Köszöntő

TARI G.: A Kőszeg/Rohonc/Vashegy tektonikai ablak modern szerkezeti modellje: miért fontos ez az energia átállás korában

VARGA G.: Permafroszt a Kárpát-medencében

LÓRÁNTH Cs.: A felsőcsatári kőbánya, és annak földtani, ásványtani vonatkozásai

KOLONITS L.: A Szt. Vid körüli bronzkori település régészeti leletei és anyagai

KOVÁCS G.: A Kőszegi-hegység előterének fejlődéstörténete

ZENTAI Z., KOVÁCS G., SZEPESI J., MOLNÁR K., HAUZENBERGER, Ch., HÁMORI Z., CSILLAG G., BENCIK Gy., ZÁGORHIDI CZIGÁNY B., BENKÓ Zs.: A vasszentmihályi vulkán geológiai és geofizikai vizsgálatának eredményei

SPRÁNTZ T.: A Balaton-felvidék mélylitoszférájának fluidumjai és azok jelentősége

Séta az ebédidőben. Téma: Az egyetem kövei: az olimpikonok fala – gneisz, a kerítés permi homokkő *Dimetrodon*-lábnnyommal; az A épület oszlopai, felsőrákosi miocén mészkő korallokkal; a jó tudás fájáról származó gránátalma gránitból és körülötte süttői édesvízi mészkő; a reformáció emléklapja gneisz; a református templom lépcsője granodiorit, esetleg gránit.

PÓSFAI M., NYIRŐ-KÓSA I., MOLNÁR Zs., RÁ CZ K., PEKKER P.: Algavirágzások és a karbonátásványok képződésének összefüggései a Balatonban

RÁ CZ K., NYIRŐ-KÓSA I., KÖVÉR R., PEKKER P., PÓSFAI M.: Foszforgazdag nanorészecskék a Balaton üledékében

ROSTÁSI Á.S., GRESINA F., GELENC SÉR A., CSÁVIC S A., VARGA Gy.: Szaharai porviharok hatása a fotovoltaiikus energiatermelés előrejelzésére

HORVÁTH M.: A gércei bazaltok peridotit zárványainak vizsgálata VÉGH A., KOVÁCS G.: Fiatal törésvonalak és egyéb deformációk a Kemeneshát környékén

VERESS M.: Zöldpalás felszíneken az oldódáshoz kapcsolható lepusztulás a Kőszegi-hegységben, a Kalapos-kő példáján

RUMI R.: Idiomorf kristályok a só oldási maradékában

SZABÓ G., KOVÁCS G.: Vasvár környéki többfázisú laza üledékes deformációk makro- és mikroszkópos leírása.

NÁRAI D.: Pollenvizsgálatok a parajdi sóbányából származó mintákból

Zárszó

Posztárszekció:

UNGER Z. et al.: A só és a metán párhuzamos keletkezése (Elmélet és kísérletek)

Május 17.

Terepbejárás: Vas-hegy és Kőszegi-hegység

Vezetők: TARI G. és LÓRÁNTH Cs.

Útvonal:

Szombathely – Felsőcsatár, zöldpalabánya – Vaskeresztes, Szőlő-hegy, ilmenites serpentin – Cák, kvarcfillitek és a híres konglomerátum – Velem, gneiszvadászat egy erdős hegyoldalon – Szombathely

Résztevők száma: 31 fő.

Október 14.**Online előadónap**

TARI G.: A rohonci metamorf magkomplexum rövid rétegtani és szerkezeti áttekintése

KOVÁCS G.: Geometriák és korok a magkomplexum környékén. A fiatal emelkedés nyomai?

ÁDÁM L.: Geotermikus rendszerek ofiolitban és zöldpalában. Példák az Égei-tenger vidékéről.

Résztevők száma: 25 fő.

Október 18.**Terepbejárás a Kőszegi-hegységben**

Túrávezető: VERESS M., TARI G., ÁDÁM L., KOLONITS L.

Útvonal: Velem, Széles-kő, Kalapos-kő, Írott-kő, Hörmann-forrás, Szent Vid-kápolna, Velem

Résztevők száma: 40 fő.

I. táblázat: Geotúrák A Közép- és Észak-Dunántúli Területi Szervezeten belül Sárdy Julianna szervezésében

Időpont	Hely	Jelenlevők száma
01. 04.	Magyarpolány-szakrális	32
01. 11.	Balatoncsicsó	16
01. 18.	Tekeres-völgy, Csatár-hegy	27
01. 25.	Pécsely	36
02. 01.	Salföld	9
02. 08.	Csobánc	26
02. 15.	Szentbékáll	15
02. 22.	Városlód	17
03. 01.	Lóczy-bg.-Koloska-Recsek-hegy	19
03. 09.	Cuha szurdok	45
03. 15.	Szentgál-Tiszafás	13
04. 12.	Káli-medence, Fekete-hegy	27
04. 20.	Szántód-puszt	3
04. 26.	Kab-hegyi maraton	4
05. 03.	Koloska-völgy (Jókai-emléktúra)	17
05. 10.	Bakonyhána-Jásd	19
05. 16.	Szentgyörgy-hegy	22
05. 24.	Lovasi festékbánya	26
05. 31.	Sümege-Csabrendek	17
06. 02.	Tihany	88
06. 03.	Pálköve	56
06. 04.	Haláp, Szentgyörgy-hegy, Szentbékáll	27

I. táblázat: folytatás

Időpont	Hely	Jelenlevők száma
06. 06.	Koloska-völgy	25
06. 11.	Pálköve-Kővágóórs	34
06. 12.	Pálköve-Salföld	23
06. 13.	Odvaskő-Gyilkos-tó	64
06. 14.	Tihany-Ny, levendulás	24
06. 17.	Zánka-Hegyes-tű	28
06. 28.	Csopak-Paloznak	24
06. 29.	Somló	7
07. 12.	Vinye-Fenyőfő	13
07. 18.	Hegyes-tű-Szentbékállá	56
07. 18.	Hegyes-tű-Szentbékállá	28
07. 19.	Pula-kráter-tó	27
07. 19.	Pula-Táldi-erdő	38
07. 21.	Kapocs-Vigántpetend	20
07. 22.	Monostorapáti	30
07. 23.	Kapocs - Királykő - 7 forrás	26
07. 24.	Taliándörög	11
07. 27.	Öcs	9
08. 23.	Döbrönte-Magyarpolány	15
08. 28.	Hegyes-tű	27
09. 04.	Nemesvámos	30
09. 07.	Balatonfüred-Nemesvámos	7
09. 13.	Szentbékállá-Szigliget	42
09. 20.	Csesznek-Kő-árok-Ördög-árok	21
09. 26.	Salföld	36
09. 27.	Szent-györgy-hegy	73
09. 28.	Aszófő-Balatonfüred (Dülö-túra)	30
10. 03.	Tihany - keleti gerinc és gejzír kúpok	98
10. 04.	Monostorapáti-Bondoró	33
10. 11.	Szentbékállá-Balatonhenye	57
10. 23.	Pécsely-Zádor-vár	23
11. 08.	Bakonybél-Odvaskő	15
11. 16.	Tihany Garda geotúra	25
11. 29.	Ajka-Csinger-völgy	11
12. 13.	Dörgicse	10
12. 27.	Káli-medence	29

Agyagásványtani Szakosztály

December 2.

HORVÁTH L.: Agyagásványok a felszín alatti hidrogéntárolás és a természetes hidrogéngáz előfordulások fényében.
KÓNYA P., CSERESZNYÉS D., KERESKÉNYI E., KOCSISNÉ BODNÁR N.,

KERCSMÁR Zs.: A Sárísáp és Bajna környéki kaolinites homokkövek agyagásványtani vizsgálata.

CSERESZNYÉS D., STADLER T.: Beszámoló a „School of Clay Mineralogy” nemzetközi workshopról.
Résztevők száma: 19 fő.

A szakosztály egyéb rendezvényei társrendezésben az Ásványtani, Kőzettani és Geokémiai Szakosztály, valamint a Progeo Földtudományi Természetvédelmi Szakosztállyal közösen valósultak meg, programjaikat lásd ott.

Ásványtani, Kőzettani és Geokémiai Szakosztály

Február 13–14.

20. Téli Ásványtudományi Iskola: „Ásványok és fluidumok”

Helyszín: Veszprém, Pannon Egyetem, Konferenciaközpont
Társszervezők: MTA Geokémiai, Ásványtani és Kőzettani Tudományos Bizottságának Nanoásványtani Albizottsága, Agyagásványtani Szakosztály, Pannon Egyetem

Program

GLEESON, S.: Pyrite as a chemical archive in Zn mineralized sedimentary basins

KHAN, S., HRABOVSKI, E., M. TÓTH, T., ARATÓ, R., FEICHTER, M., BENKÓ, Zs. SCHUBERT, F.: Source of gold and ore mineralization in the hydrocarbon-bearing Kantavár Formation, Western Mecsek Mts.

PROROKOVÁ, E., MAJZLAN, J., MIKUŠ, T., BIROŇ, A.: Mineralogy and Mn³⁺/Mn⁴⁺ quantification in supergene Mn oxides from the Štiavnica Stratovolcano, Slovakia

LESKÓ M., TOPA B., MÓRICZ F., KRISTÁLY F., BULÁTKÓ-DEBUS D., PAPP R., WEISZBURG T., PÁLFY J., VIGH T., ZAJZON N.: A dunántúli-középhegységbeni mangánércsedések kialakulásának új modellje

TATÁR A., KOVÁCS I., NÉMETH T., RINYU L., TÚRI M., GYÓRI O., MÁTHÉ Z., HARANGI Sz., HAUZENBERGER, Ch., TEMOVSKI-MOLNÁR K., SZEPESI J., BENKÓ Zs.: Késő miocén oldatáramlás nyomai és ércindikáció egy kora miocén vulkáni sorozatban Paks térségében

HARTAI É.: Nyersanyagok geotermikus fluidumokból – előfordulás, dúsulás, kitermelés

FALUS Gy., CSERESZNYÉS D., SZAMOSFALVI Á., GELENCSEŔ O., KIRÁLY Cs., SZABÓ Cs.: Amikor munkára fogjuk a földfelszín alatti pórusteret – fluidum-közet kölcsönhatás az energiatárolás során

HORVÁTH L., GELENCSEŔ O., KÓVÁGÓ Á., KOVÁCS D., SZABÓ Cs., FALUS Gy.: Kvarc lehetséges reakciójának tanulmányozása felszín alatti hidrogéntárolás esetén

SPRÁNITZ T., LANGE T. P., KOPTEV A., SZABÓ Cs., KOVÁCS I. J., CLOETINGH, S., HENCZ M., PORKOLÁB K., GELENCSEŔ O., KÓVÁGÓ Á., CRÉON L., PALCSU L., MOLNÁR K., MOLNÁR Á., ERŐSS A., ROUCHON, V., ARADI L. E., MYOVELA, J. L., BERKESI M.: Litoszféra-léptékű fluidumáramlás a Pannon-medencében: köpenyxenolitok fluidumzárványainak és felszín alatti vizek oldott gáztartalmának stabilizotóp-összetétel-vizsgálata

MYOVELA, J. L., ARADI, L. E., SPRÁNITZ, T., TARACSAK, Z., HEGEDŰS, M., KONEČNÝ, P., KOVÁCS, J., BERKESI, M.: Application of 3D Raman mapping on complex inclusions: a case study of the Styrian Basin mantle xenoliths (W-Carpathian Pannonian Region)

LANGE T. P., PÓSFALVI M., PEKKEP P., PÁLOS Zs., MOLNÁR G., KOVÁCS

I. J., SZABÓ Cs., BERKESI M.: Amfibolképződés és -növekedés nanoléptékű folyamatai a litosferikus földköpenyben

ARADI L. E., HORVÁTH E., MOZGAI V., VÁCZI T., BAJNÓCZI B.: Népvándorlás kori ötvöstartgyak gránátberakásainak Raman-spektroszkópos vizsgálata: gránátok kémiája és provenienciája

TAKÁCS J.: Drágakövek és „fluidumok”

PAPP G.: Marsigli és egy különös fluidum: Levél Malpighinek az úrvölgyi Acqua curiosa ügyében

GLEESON, S.: The Permian Kupferschiefer copper mineralizing systems: new insights from Eastern Germany

B. KISS G., MINA, M. M., PAULSEN, H.-K., MIRANDA, A. C. R., MANSUR, E. T.: Dragset és Hřydal (Norvég Kaledonidák) VMS-ércesedésének vizsgálata: genetika, metamorf felülbélyegzés hatásai, kritikusnyersanyag-potenciál

GERECZI B. G., B. KISS G.: A szfalerit ásványkémiája VMS-ércesedésekben: kritikus fémtartalom, genetikai jelentőség

KÖVÉR R., PÓSFALAI M.: Sejten belüli zárványok mágneses baktériumokban

PEKKER P., KÖVÉR R., PÓSFALAI M.: Mágneses baktériumok nanokristályainak 3D morfológiai rekonstrukciója

HEGEDŰS M., KOVÁCSNÉ KIS V., KOVÁCS Zs., RÓZSA N., BAIS, G.: Szinkrotron röntgendiffrakciós szerkezetvizsgálatok főzőmánccon

PEKKER P.: Kationrendeződés a balatoni dolomitban

MAGHSOUDLOU, M., TSERENDORJ, D., ABBASZADE, G., KÁVÁSI, N., VÖLGYESI, P., TÓTH-BODROGI, E., KOVÁCS, T., SZABÓ, Cs.: Assessing urban soil contamination in Salgótarján, Hungary, using $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratios

DÉVÉNY Z., VANCsik A., SÜLYOK A., FREY K., KARLIK M., SZALAI Z., JAKAB G.: Szervesanyag-ásvány komplexek kialakulása az altalajban

Résztevők száma: 70 fő.

Június 3.

Online előadóiülés

Társ szervező: MTA GÁK Kőzettani Albizottság

Program

BERKESI M.: Bevezetés, köszöntő

MINDSZENTY A.: Kiss János tanár úr, az ELTE Ásványtani Tanszék egykori vezetőjének emlékezete

MYOVELA, J., ARADI L., SPRÁNITZ T., TARACSAK Z., HEGEDŰS M., KONEČNÝ, P., KOVÁCS J., BERKESI M.: Application of 3D Raman mapping on complex inclusions: A case study of the Styrian Basin mantle xenoliths (W-Carpathian Pannonian Region)

FALUS Gy., CSERESZNYÉS D., SZAMOSFALVI Á., SZABÓ-KRAUSZ Zs., SZABÓ Cs., KIRÁLY Cs.: CO₂ geológiai tárolása Magyarországon: tárolási potenciál és a természetes CO₂-előfordulások szerepe

PATKÓ L., KÖVÁGÓ Á., HURAIÓVÁ, M., KÖVÉR Sz., GERGELY Sz., KONEČNÝ, P., HURAI, V.: Víz tartalmú asztenoszféra a Pannon-medence északi része alatt

GELENCSÉR O., CSERESZNYÉS D., SZAMOSFALVI Á., BREITNER D., KÖVÁGÓ Á., SZABÓ Cs., SZABÓ-KRAUSZ Zs., FALUS Gy.: Hidrogéntárolás geológiai potenciálja a Pannon-medencében

MOLNÁR Zs., HEGEDŰS M., NÉMETH P., PÓSFALAI M.: Ca, Sr és Ba kompetitív beépülése amorf kalcium-karbonátba

BERKESI M. és FEHÉR B.: Diszkusszió és zárzó

Résztevők száma: 40 fő.

Október 2–4.

15. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés

Helyszín: Nagybörzsöny – Selmecbánya

Társ szervezők: MTA–HUN-REN CSFK PannonVulkán Lendület kutatócsoport; Szlovák Tudományos Akadémia Földtudományi Intézet; Comenius Egyetem; MTA Geokémiai, Ásvány- és Kőzettani Tudományos Bizottság

Plenáris előadások:

LEXA, J., KODÉRA, P.: Structural, magmatic and metallogenetic evolution of the Štiavnica Stratovolcano

CLOETINGH, S., STERNAL, P., TOPO-EUROPE Team: Coupled surface to deep Earth processes: Perspectives from TOPO-EUROPE with an emphasis on climate- and energy-related societal challenges

DUCEA, M.: Magmatic architecture of continental crust in convergent settings

KARÁTSON, D.: Tracing a 13.06 Ma phreatomagmatic ignimbrite from the Mátra Mts. to the Tokaj Mts.: a snapshot of the paleoenvironment of the Central Paratethys

ŠARINOVÁ, K.: Hrabovec Tuff Member as a stratigraphic marker in the East Slovakian Basin

BRLEK, M.: From ignimbrites to residual deposits: tracing the record and linking the Oligo–Miocene volcanism and intense chemical weathering in the SW Pannonian Basin and the Dinarides (Alpine-Mediterranean region)

KOHÚT, M., OSTENDORF, J.: Petrology of the andesitic rocks from the Slanské vrchy Mountains

RYBÁR, S.: Geological setting, petrography, and geochronology of the Miocene vitro-crystal tuff from Kecserovské Peklaň, East Slovak Basin (Transcarpathian Basin)

PÁRLEA, M.: Unraveling trace elemental compositional variation by LA-ICP-MS mapping

PALCSU, L.: A review of isotope ratio analyses by MC-ICPMS in ATOMKI

VASSE, L.: JEOL EPMA and SXES, tools and techniques

LEXA, J., KODÉRA, P.: Structural, magmatic and metallogenetic evolution of the Štiavnica Stratovolcano

CHIVULESCU, D.: Quantification of Salta rift extension

TATÁR, A.: Traces of a Late Miocene regional fluid flow in an Early Miocene volcanic sequence near Paks (Hungary)

TURI, J.: Trace element analysis of ore minerals from the Börzsöny Mountains

DEMÉNY, A.: On the origin of the mysterious carbonado diamond

KÜZMÖS, B.: A mineralogical, petrographical, geochemical, and noble gas analysis of two Saharan meteorites

VÁCI, Z.: Differentiation and crust formation on the ureilite parent body

BALÁZS, B. B.: New deposit model of the Ostra barite-polymetallic hydrothermal system (Eastern Carpathians, Romania)

GERECZI, B. G.: Accumulation of technology metals in sphalerite: Dependence on formation conditions (temperature, metamorphic overprint)

JAGER, V.: The first ore-prospecting sonic drilling in the Mecsekalkja Shear Zone, South Hungary: preliminary results

CLOETINGH, S.: Coupled surface to deep Earth processes: Perspectives from TOPO-EUROPE with an emphasis on climate- and energy-related societal challenges

BROSKA, I.: Variscan granites in the Western Carpathians: current view on their rapid formation and source

SZEMERÉDI, M.: Petrology, zircon U–Pb dating, and correlations of Variscan S-type granitoids in the Tisza Mega-unit

- STOICA, A.: Assimilation of (meta-)igneous material: insights from LA-ICP-MS trace element mapping of garnetites from South Apuseni andesites
- ENE, V.-V.: Adakite-like and normal calc-alkaline suites from the South Apuseni Mountains: a phenocryst story
- CSERÉP, B.: Traces of magma evolution recorded in amphibole textures and compositions: Insights from the last 160,000 years of Ciomadul Volcano, Romania
- PÁNCZÉL, E.: Petrogenesis and amphibole–melt trace element partitioning of the 156 ka Haramul Mic crystal-rich dacite, Ciomadul, Romania
- DUCEA, M.: Magmatic architecture of continental crust in convergent settings
- ZEMENY, A.: Reoccurring crystal patterns of the Taranaki trans-crustal magmatic system (65–34 ka), New Zealand
- SZŰCS, K. F.: Noble gas isotopic composition in olivine phenocrysts from Miocene to Pliocene basaltic rocks of the Pannonian Basin
- KIS, B. M.: The CO₂-rich gas emissions of the Carpathians: Geochemistry and origin of fluids
- CSIGE, I.: Sampling strategy and quantification of extremely inhomogeneous focused and diffuse CO₂ efflux
- DAOUD, A. M. A.: PCA, clustering, and Geo-AI-based sedimentological and petrographic analysis for depositional environment interpretation of Paleozoic–Mesozoic sedimentary sequences: evidence from Wadi Halfa, Northern Sudan
- ÖBBÁGY, G.: Mineral impurities along the graphite value chain
- ARATÓ, R.: What to do with geochemical data from heterogeneous geological materials – a graphite perspective
- KOROKNAI, B.: 2D S-wave reflection seismic survey in the West-Mecsek Mts.: new insights into shallow geology and neotectonics
- M. TÓTH, T.: Unified model of the metamorphic basement of the Southern Great Plain
- KÖVÉR, SZ.: Reinterpreting the role of evaporite-driven deformation in the inner western Carpathians during the opening and closure of the Neotethys Ocean
- SZILÁGYI, V.: Characterization of medium-temperature fired iron-free clays based on microtexture and mineralogical composition
- NÉMETH, P.: Metastable aragonite formation
- CZUPPON, Gy.: Cave monitoring in Hungary with special focus on Mg and Ca isotopes of drip water and carbonate precipitates
- Posztterek*
- BALASSA, Cs.: Aeschnite and euxenite group minerals from Vesszős Valley, Lillafüred, Bükk Mts., Hungary
- BEKE, B.: Structurally controlled silica precipitation in the Hárshegy Sandstone: evolution of multi-stage fault damage zones during the rifting of the Pannonian Basin
- BORDÁS, K., GAZSI, M.: Petrological and geochemical investigation of a cataclastic occurrence on the western slope of the Odvas-hegy (Budaörs, Hungary)
- CZUPPON, Gy.: Preliminary results of recently growing speleothem from the Szent István Cave, Bükk Mountains, Hungary
- KERESKÉNYI, E., CZUPPON, Gy.: Preliminary results of monitoring investigations of the Szent István Cave, Bükk Mountains, Hungary
- FODOR, L.: Migration of deformation, basin subsidence, magmatism in the extensional Pannonian Basin: good fit between numerical models and observations
- GAZSI, M.: Zircon U-Pb geochronology and volcanology of the pyroclastic rocks of the Gelénes-1 borehole (Hungary)
- GOMBOS, D., ANDRÁSI, K.: Volcanological and petrographic reassessment of borehole Sátoraljaújhely-8, Northeast Hungary
- GYENES, I.: Copper and silver ore potential in the Western Mecsek
- HAJDU, K.: Control of effusive and explosive eruptions of Ciomadul Volcano: constraints by apatite composition
- HRABOVSKZI, E.: Multiple vein formation events in the Western Mecsek area
- KARLIK, M.: Reconstructing the past: preliminary paleoenvironmental data from lakes in the Carpathians
- LANGÉ, T. P.: The role of fluid molecules in mantle mineral phase transformation
- LUKÁCS, R.: Zircon fingerprinting reveals the magnitude, tempo and size of Early to Mid-Miocene explosive volcanism in the Pannonian Basin
- MÜLLER, T.: Carbon isotope chemostratigraphy of the Jenkyns Event in Hungary
- NÉMETH, N.: Mapping of metavolcanics in the southeastern part of the Bükk Mts., Hungary
- ORBÁN, A.: Preliminary results of hydrogen measurements in the South Apuseni Mountains (Romania)
- PÁNCZÉL, E.: Geochemical composition of olivine phenocrysts from the alkaline basalts of the Persani Volcanic Field with a focus on noble gas isotope content – Insights into the characteristics of the magma source region
- PÉTERDI, B., SÁGI, T.: Macrolithic finds made of metabasites from Csanádpalota – Földvár, SE Hungary (preliminary archaeological results)
- SCHUBERT, F.: Do petroleum inclusions genuinely reflect the original fluid composition?
- SHEREIF, A. S.: Geochemical and spectrometric characterization of natural radioelements (²³⁸U, ²³²Th, and ⁴⁰K) in some granitoid rocks from the Central Eastern Desert, Egypt
- SZABÓ, D. Zs.: Insights into the structural evolution and mineral vein development in the Juhodályvölgy Marble (Ófalu, Goldgrund Valley)
- SZALAY, R.: A CO₂ island in a hydrocarbon sea – the case study of the gas emissions of Slănic Moldova, Eastern Carpathians, Romania
- SZILÁGYI, V.: Polished stone tool assemblage of Late Neolithic Öcsöd-Kováshalom site
- Október 3. Terepi nap*
- A konferenciához kapcsolódó terepi szakmai kirándulásokat Jaroslav LEXA és Peter KODĚRA vezette, akik a selmecbányai vulkáni területet és érces bányavidéket mutatták be. A programot Selmecbánya történelmi nevezetességeit bemutató séta, valamint a konferencia 15 éves jubileumát ünneplő galavacsora zárta. Résztevők száma: 80 fő.
- November 20–21.**
- 12. Ásványtani, kőzettani és geokémiai felsőoktatási műhelyeink éves találkozója**
- Helyszín: Szeged
- Társszervező: Az MTA Földtudományok Osztálya, Geokémiai, Ásvány- és Kőzettani Tudományos Bizottságának Felsőoktatási Albizottsága (MTA GÁK FOA), a Szegedi Tudományegyetem (SZTE), Földrajz- és Földtudományi Intézet, Geológia Tanszéke az MFT Agyagásványtani, illetve Oktatási és Közművelődési szakosztályai

PÁL-MOLNÁR E.: Házigazdaműhely bemutatkozása, Geológia Tanszék
 RAUCSIKNÉ VARGA A.: Terra Tempus Paleoklíma és Őskörnyezet Kutatócsoport
 SZEMERÉDI M.: „Vulcano” Kőzettani és Geokémiai Kutatócsoport
 HRABOVSKI E.: Fluidum-Kőzet Kölcsönhatások Kutatócsoport
 SZANYI J.: Hidrogeológia és Geotermia Kutatócsoport
 PÁL-MOLNÁR E.: GeoTerroir Kutatócsoport
 VAJDA T.: A szegedi földtudományi oktatás és kutatás első évtizedei
 Résztvevők száma: 44 fő.

Geomatematikai és Számítástechnikai Szakosztály

Május 29.

Előadói ülés

GEIGER J., FEDOR F.: Lehet-e mindig csökkenteni a bizonytalanságot a mintaszám növelésével? Egy algyői példa
 FEDOR F., GEIGER J.: Bizonytalanság és/vagy hiba – kőzetfizikai mérések a nagy aktivitású radioaktív hulladék elhelyezéshez kapcsolódóan
 KÖHLER A.: Geostatistika az igazságszolgáltatásban
 Könyvbemutató: KORVIN Gábor: *Statistical Rock Physic*
 Résztvevők száma: 12 fő.

November 28.

Geomatematika mindenkinek – online előadás

VALADEZ, V. R. (MOL Nyrt. petrofizikusa volt): Thermal maturity estimation in organic-rich formations using mathematical optimization
 Résztvevők száma: 15 fő.

Mérnökgeológiai és Környezetföldtani Szakosztály

Február 26.

Mérnökgeológiai előadói ülés

BANOVIĆ, I. (Spliti Egyetem): Low cost geotechnical seismic isolation methods based on stone pebbles
 Résztvevők száma: 15 fő.

Szeptember 30.

Mérnökgeológiai előadói ülés

YESSSELBAYEVA, S. (BME): Rézsűállékonyság vizsgálata földrengésteher hatására
 OLÁH P. (BME): Bányarészsűk állékonyságának valószínűségalapú megközelítése
 FILIPOVIC, M. (Spliti Egyetem): Új típusú injektálóanyagok a mélyépítésben.
 Résztvevők száma: 12 fő.

Nyersanyagföldtani Szakosztály

Március 5.

B. KISS G.: Litium, a jövő nyersanyaga (előadás a 2025-ös év nyersanyagáról a Szigetszentmiklósi Batthyány Kázmér Gimnázium Tudományos Napok rendezvénysorozatán)
 Résztvevők száma: 25 fő.

Április 14.

B. KISS G.: A 2025-ös Év Nyersanyaga, Év ásványa és Év ősmaradványa – interaktív foglalkozások a Szigetszentmiklósi Pity-pang Óvoda Cserbóka tagóvodájában
 Résztvevők száma: 3 foglalkozáson összesen ~45 fő.

Április 28.

B. KISS G.: A 2025-ös Év Nyersanyaga, Év ásványa és Év ősmaradványa – interaktív foglalkozások az Árpádházi Szent Piroska Görögkatolikus Óvodában
 Résztvevők száma: 2 foglalkozáson összesen ~25 fő.

Május 28.

B. KISS G.: Litium, a jövő nyersanyaga (előadás a 2025-ös év nyersanyagáról a veszprémi Lovassy László Gimnáziumban)
 Résztvevők száma: 3 tanóra, összesen ~120 fő.

Június 21.

B. KISS G.: Litium, a jövő nyersanyaga (előadás a Múzeumok Éjszakáján az ELTE TTK TM szervezésében)
 Résztvevők száma: ~20 fő.

Október 1.

B. KISS G.: Litium, a jövő nyersanyaga (előadás a 2025-ös év nyersanyagáról a dunaharaszti Baktay Ervin Gimnáziumban)
 Résztvevők száma: ~25 fő.

Október 15.

B. KISS G.: Bemutatkoznak a 2026-os Év Nyersanyaga, Év Ásványa és Év Ősmaradványa jelöltjei (előadás és szavazás a Szigetszentmiklósi József Attila Általános Iskolában)
 Résztvevők száma: 2 tanóra, összesen ~50 fő.

November 7.

B. KISS G.: A 2026-os Év Nyersanyaga, a foszforit – online bemutató előadása Földtudományos Forgatagon
 Résztvevők száma: lásd a Földtudományos Forgatag beszámolójában

November 21.

MOLNÁR F., MÁDAI F.: A hazai nyersanyagkutató szakemberképzés – aktuális körkép (rövid bemutatók a Felsőoktatási Műhelytalálkozón)
 Résztvevők száma: lásd a Felsőoktatási Műhelytalálkozó beszámolójában

Oktatási és Közművelődési Szakosztály

Május 29–30.

XVII. Országos Középiskolai Földtudományi Diákkonferencia

Társzervezők: Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezet-tudományi Kar, RM@Schools UNI-Miskolc
 Helyszín: Miskolci Egyetem

A konferencia eredményei, az absztraktkötet és a szervezők beszámolója elérhető a rendezvény oldaláról: https://mfk.uni-miskolc.hu/files/31825/OKFDK_2025_absztrakt_kotet.pdf
 Résztvevők száma: 36 fő.

Június 23–27.

„Ásványok–Drágakövek–Dínók” nyári tábor 7–12 éves gyerekeknek

Helyszín: Csili Művelődési Központ és ELTE
 Társzervezők: ELTE Természettudományi Múzeum, Csili Művelődési Központ
 Szakmai szervezők: FELKERNÉ KÓTHAY K., BODOR E., PIROS O., SOMOGYI É.
 Résztvevők száma: 18 fő.

Szente I.: Kora jura fosszília-együttes az Északi-Mészkő-Alpok foltosmárga rétegeiből (Holt-hegység, Ausztria)
 CRESTA, S.: Hammatoceratid ammonites before and after Barnabás Géczy – a family story
 PÁLFY J.: A kora jura Jenkyns-esemény biosztratigráfiai kerete Géczy Barnabás munkássága alapján
 KÁZMÉR M.: A lemeztektonika és Géczy Barnabás
 ZÁRSZÓ HAAS J.
 Résztvevők száma: 36 fő.

ProGEO Földtudományi Természetvédelmi Szakosztály

Január 11.

Eocén rétegek ismertetése a Szemlő-hegyi-barlangban I.

Túrávezető: KRAUS S.
 Résztvevők száma: 18 fő

Január 18.

Eocén rétegek ismertetése a Szemlő-hegyi-barlangban II.

Túrávezető: KRAUS S.
 Résztvevők száma: 12 fő.

Február 8.

Földtudományos túrávezetés a Pál-völgyi-barlangban I.

Túrávezető: VINCZE P.
 Résztvevők száma: 21 fő.

Február 15.

Földtudományos túrávezetés a Pál-völgyi-barlangban II.

Túrávezető: VINCZE Péter. A barlangban feltárt képződmények földtani ismertetése.
 Résztvevők száma: 16 fő.

Október 10.

A Földtudományi Sokféleség Nemzetközi Napja – előadássorozat

MTM Semsey-terem
 Társszervezők: Magyar Tudományos Akadémia X. Osztály, az UNESCO Magyar Nemzeti Bizottság, Magyar Természet-tudományi Múzeum, Agrárminisztérium

Program

GRUBER P.: Negyven éve az élettelen természeti értékek védelmében: az Aggteleki Nemzeti Park története és jelentősége
 SZÉKELY K., TARDY J.: Az Aggteleki- és a Szlovák-karszt világörökséggé nyilvánításáról
 SZÉKELY K.: Vass Imre (1795–1863) földmérő, a Baradla főágának feltárója
 FÓZY I.: Báró Nopcsa Ferenc kalandos élete és a Kárpát-medence dinoszauruszai
 MAGYAR J.: A Hátszegi-medence dinoszauruszai az új kutatási eredmények tükrében
 ALBERT G.: Geológiai térképezés generációkon keresztül – régi és új dinoszaurusz-lelőhelyek felfedezése a Hátszegi-medence nyugati részén
 SZAKÁCS S., ANDRĂȘANU, A. et al.: A Gutin-Máramaros projekt – kezdeményezés egy új UNESCO Globális Geopark létesítésére Északnyugat-Romániában
 PÁL M.: A ProGEO idei szimpóziumának legfontosabb eseményei
 Résztvevők száma: 50 fő.

Október 4–5., 11–12.

Geotóp Napok – geotúrák országsszerte 23 helyszínen:

Budapest, Sas-hegy Természetvédelmi Terület
 Cserépfalu, Ördögtorony tanösvény
 Felsőörs
 Felsőpetény (2 alkalom)
 Ipolytarnóc
 Monostorapáti-Bondoró
 Püspökladány, Farkasszigeti Arborétum
 Mátraverebély-Szentkút
 Magyarhertelend
 Csölyospálos
 Kőszeg, Ördög-árok
 Máriahalmi homokbánya
 Mogyoróska–Háromhuta
 Nyergesújfalu, Gerecse
 Sósút, Kálvária-hegy, Tétényi-fennsík
 Szarvaskő és Bélapátfalva (Kéktúra)
 Szentbékállai–Balatonhenye szakasz (Kéktúra)
 Tata, Geológus Kert
 Tápióbicske
 Békéscsaba
 Szendrő
 Résztvevők száma: 608 fő.

November 27.

NOVÁK T.: A Soproni Egyetem Püspökladányi Arborétumának talajszelvénye lett a 2025-ös év „Világ Talaja”
 SIPOS P.: Vas- és karbonátkiválások képződése a püspökladányi arborétum vízhatású talajaiban
 Résztvevők száma: 20 fő.

Tudománytörténeti Szakosztály

Január 20.

SZLABÓCZKY P.: Az észak-alföldi Csörsz-árok archeo-geomorfológiai és vízgazdálkodási értékelése
 VICZIÁN I.: „Mineral theologia” Magyarországon a XVIII. században
 Résztvevők száma: 8 fő.

Február 17.

SÍKHÉGYI F. előterjesztése: Neves elődeink nyughelyeinek adatbázisa
 Résztvevők száma: 6 fő.

Május 19.

Előadói ülések a 100. születésnapján Bárdossy György emlékére
 KOMLÓSSY Gy.: Aki a bauxit nyomába eredt (100. születésnapján Bárdossy György, szemeztetések)
 ZSADÁNYI É.: Emlékezés képekben
 Résztvevők száma: 17 fő.

Június 16.

KONCZ I.: Geológuskalapáccsal Észak-Olaszországban
 Résztvevők száma: 15 fő.

Szeptember 15.

PAPP Péter: Egy 98 éves bányamérnök és tiszteletbeli geológus – Csath Béla emlékezete
 Résztvevők száma: 10 fő.

Október 20.

KORDOS L.: Kínai utazások

Résztevők száma: 18 fő.

November 17.

SÍKHEGYI F., ZSÁMBOK I.: A mongóliai nemzetközi földtani
expedíció 50 éve

Résztevők száma: 28 fő.

December 8.

Régi könyveink vonzásában

Résztevők száma: 7 fő.

Hírek, ismertetések

Összeállította: PIROS Olga

Események, rendezvények

21. Téli Ásványtudományi Iskola

(Veszprém, 2026. január 29–30.)

A 21. Téli Ásványtudományi Iskola mottója az „Okos ásványok – Smart minerals” volt. A címadás mögött ezúttal is az inspiráció és nem a tematikus korlátozás állt: arra hívta fel a figyelmet, hogy az ásványok szerkezetükben, felületükön, zárványaikban és reakcióikban olyan információt hordoznak, amely technológiai alkalmazások, földtani és környezeti folyamatok szempontjából „intelligens” módon hasznosítható. A rendezvényre 93 fő regisztrált 34 különböző intézményből/településről, ami jelzi, hogy az iskola továbbra is a hazai ásványtani–geokémiai közösség egyik legfontosabb éves fóruma.

Az első előadócsoport az ásványtulajdonságok „tervezésének” és ipari alkalmazásának kérdéseit járta körül. Az ásványok átalakításának alkalmazott vonatkozásairól KRISTÁLY Ferenc beszélt („Ásványok okosítása”). A nanotechnológiai és fotokatalitikus lehetőségeket ZÁMBÓ Dániel mutatta be réz(I)-oxid alapú félvezető nanorészecskéken, míg KOVÁCS János a TiO₂ „kvintett” fotokatalitikus tulajdonságait taglalta. A blokk második felében a radioaktív hulladéktárolás került előtérbe: cementes rendszerek korróziós és szerkezeti vizsgálatáról FÁBIÁN Margit, az ettringit szerepéről SZABÓ-KRAUSZ Zsuzsanna számolt be.

A délutáni blokk az ásványok felületének, belső szerkezetének és növekedési sajátosságainak „intelligens” viselkedésére fókuszált. A heterogén jégmagképződésről és légköri szerepéről PÓSFAY Mihály tartott előadást. A meghívott előadók közül SZATHMÁRY Eörs interdiszciplináris előadásában az ásványfelületek lehetséges szerepét elemezte az élet kialakulásában, új perspektívát nyitva a geológia és a biológia határterületén. BARKÓ György mesterséges Mars- és Hold-talajokkal végzett agrotechnikai kísérleteket mutatott be. Az ammoniteszek kalcitos rágószervének különleges kristályszerkezetét DEMÉNY Attila ismertette, míg a kalcit orientált kristálynövekedési jelenségeit NÉMETH Péter tárgyalta. Az esti záróblokkban vegyes témák kerültek elő: vízhatású talajok vas- és karbonát-kiválásairól SIPOS Péter beszélt, az elasztikus termobarometria módszertanát SPRÁNITZ Tamás mutatta be. A nap végén TAKÁCS József a drágakövek gyakorlati „okosságát” ismertette, majd PAPP Gábor az ásványtan oktatástörténetét tekintette át kritikai élel.

A pénteki program első blokkja érteleptani és magmás folyamatokkal foglalkozott. A rudabányai Pb–Zn–barit ércesedés új eredményeit B. Kiss Gabriella ismertette. A vulkáni illók viselkedésére következtető apatitvizsgálatokat HAJDU Krisztina, míg az olivin és olvadékzárványai hasznát a magmaforrás jellemzésében PÁNCZÉL Emese mutatta be. Ezután az archeometria került előtérbe: a földpátok katódlumineszcens provenienciavizsgálatáról BOZSIK Vivien beszélt, míg a gránátok Raman-spektroszkópiás és gépi tanulásos elemzéséről ARADI László tartott előadást. Az iskola különleges színfoltja volt CSUPOR Dezső gyógyszerkutató előadása, mely az ásványok gyógyászati alkalmazásának múltját és jelenét tekintette át. A záróblokkban az agyagásványok és bioásványok kerültek előtérbe: NÉMETH Tibor a (peri)glaciális környezetek agyagásvány-társulásait elemezte, míg KIS Viktória a csont monoklin bioapatit nanokristályainak szerkezetét mutatta be.

Az előadók között sok fiatal kutató szerepelt, ami különösen öröndetes. Az egyes előadásokat élénk szakmai vita követte; a kérdések gyakran módszertani részletekre és értelmezési alternatívákra irányultak. A diskurzus a szünetekben és a csütörtök esti közös vacsorán is folytatódott. Ez utóbbi idén is kiváló alkalmat teremtett a szakmai ügyek megbeszélésére és a régen látott kollégák személyes találkozására. A rendezvény költségeit a Pannon Egyetem Mérnöki Karának dékáni kerete fedezte. A 21. Téli Ásványtudományi Iskola ismét megerősítette, hogy az ásványtan – a klasszikus leíró megközelítéseken túl – ma már erősen interdiszciplináris és adatintenzív tudományterület, amelyben az „okos” jelző nemcsak az ásványokra, hanem a kutatói megközelítésekre is érvényes.

PÓSFAY Mihály

Könyvbemutató: HOFFERNÉ dr. HANICH Erika:

„A selmeci kincs és mai őrzői”

(2026. 02. 11. OMBKE Székház)

HOFFERNÉ dr. HANICH Erika bányász édesapjától „örökölte” az érdeklődést a bányászat iránt. Ez a kötet már a harmadik a bányászattal foglalkozó könyvei sorában, amely a többiektől eltérően kifejezetten a bányász hagyományokkal és a bányászok képzés ikonikus helyeivel foglalkozik.

A könyvbemutatóját CSERNY Tibor szervezte meg, s a témához méltó hozzászólókat választott, akik részben méltatták a kötetet, részben kérdéseket tettek fel a szerzőnek. A bemutatót a házigazda, dr. Szombatfalvy Anna okl. kohómérnök, az OMBKE elnöke köszöntötte. A könyvbemutató moderátora CSERNY Tibor volt.

A kötetet elsőként VARGA Tamás okl. erdőmérnök, a könyv lektora méltatta. BÓHM József okl. bányamérnök, a Miskolci Egyetem c. egyetemi tanára a bányász hagyományok egyetemességéről beszélt, kiemelve, hogy a selmeci hagyományok megtartása nemcsak a magyaroknak, hanem az egyetemes bányász kultúra szempontjából is nagyon fontos. ZELEI Gábor okl. geofizikusmérnök, a Magyar Bányászati Szövetség és a Magyar Őrészeti Szövetség ügyvezető főtitkára örömet fejezte ki, hogy a szájhagyományok és kéziratok útján terjedő selmeci kincsnek és azok őrzőinek bemutatása most már nyomtatásban is megjelent. PRAK-FALVI Péter okl. geológus-mérnök, a Novohrad–Nógrád UNESCO Globális Geopark geológusa gyakorlatias kérdéseivel bombázta a szerzőt. CSABA Dániel a Soproni Egyetem V. éves erdőmérnök hallgatója, a Selmeci Társaság tagja, volt könyvtárosa a fiatalok körében népszerű eseményekről beszélt.

A beszélgetés során kiderült, hogy a szerző nagyon alaposan összeszedte a hagyományokat, és szakirodalomból ismertette a hagyományok szempontjából ikonikus helyeket, de nem volt még lehetősége eljutni egy szakestélyre vagy megnézni a gyönyörűen felújított az UNESCO világörökség részét képező Selmecbányát. A jelenlévők ez alkalomból meghívták, hogy vegyen részt velük a következő szakestélyen, és látogassanak el Selmecbányára.

A jó hangulatú eseményen több mint 20 érdeklődő vett részt.

PIROS Olga

Személyi hírek

Március 15-e alkalmából VELLEDETS Felicitász tagtársunk Magyar Érdemrend Tisztikereszt polgári tagozat kitüntetését vehetett át. KOMLÓSSY György tagtársunkat Prometheus-díjjal tüntették ki. Gratulálunk!

Gyászír

Fájdalommal tudatjuk, hogy

BALÁZS Endre (1941–2026) tagtársunk elhunyt.

Emléke szívünkben és munkáiban tovább él!

Könyvismertetés

MAROS Gyula, HÁLA József: *Art Geo Palota a Stefánián. A Földtani Intézet szecessziós épülete* – SZTFH, Budapest, 2025 (228 oldal)

Amikor a Földtani Intézet épületét emelték, még alig álltak házak az akkor VII. kerületi, tulajdonképpen városszéli Stefánián. Az Art Geo Palota a 19. század legvégén épült. Az alapkövet 1898. február 9-én tették le, majd az építkezést 1899. október 1-jén fejezték be. Idáig azonban több évtizedig tartó küzdelem vezetett.

A magyar föld kutatásának állami tudományos intézménye sokáig az 1849-ben alapított bécsi földtani intézet (Geologische Reichsanstalt) volt, de az állami munkálatokat kiegészítve jelentős szerepet játszott e tekintetben az 1848-ban létrehozott, tudományos társadalmi szervezet, a Magyarhoni Földtani Társulat is. Az 1867. évi kiegyezés kedvező viszonyokat teremtett egy hazai földvizsgáló intézmény létrehozásához. Ennek első lépéseként 1868-ban GOROVE István földművelés-, ipar- és kereskedelemügyi miniszter a minisztériumában megalapította a Magyar Királyi Földtani Osztályt, amelyből a következő évben létrejött a világ legkorábban megalakult, hasonló intézményei közé tartozó, egyben Magyarország első állami tudományos intézménye, a Magyar Királyi (később Állami) Földtani Intézet. Az intézmény HANTKEN Miksa, a világhírű paleontológus irányításával gyorsan fejlődött és növekedett, de önálló helye nem volt, a főváros különféle középületeiben mint „albérlő” működött. Így már 1881-ben felmerült egy megfelelő méretű és e célra emelt épület igénye. Az 1882-ben kinevezett, agilis igazgató, BÖCKH János beadványokkal ostromolta az egymást váltó illetékes minisztereket, de csak ígéreteket kapott. Az események akkor gyorsultak fel, amikor a gazdag, de szerény körülmények között élő földbirtokos, a vagyonának nagy részét a természettudományok támogatására áldozó SEMSEY Andor 1895-ben felajánlott 50 000 aranyforintot (a szükséges pénz kb. egynegyedét) a cél megvalósítására.

1896-ban a főváros a Stefánia úti telket adta, DARÁNYI Ignác földművelésügyi miniszter pedig 1897-ben tárcája költségvetéséből biztosította az építkezés költségeit. A tervpályázatra 14 pályamű érkezett be, a nyertes LECHNER Ödön lett. 71 ajánlkozó közül kiválasztották a kivitelezőt is HAUSZMANN Sándor budapesti

kőfaragómester és vállalkozó személyében. Az épület ünnepélyes átadására 1900-ban került sor.

A Földtani Intézet épülete megnyitásának 100. évfordulója alkalmából 2000-ben a Magyar Állami Földtani Intézet jelentette meg az *Art Geo Palota a Stefánián – 100 éves a Földtani Intézet Lechner Ödön által tervezett épülete* (MÁFI, Budapest) című könyvet, amelyet az intézmény két tudományos munkatársa, HÁLA József tudománytörténész és MAROS Gyula geológus készített. 2025-ben, a 125. évfordulón is ők kaptak megbízást egy bővített kiadás megalkotására. A könyv kiadója az időközben bekövetkezett szervezeti változások következtében a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH) lett, amelyen belül 2022-től a Földtani Szolgálatra tartoznak hazánk geológiai, köztük az egykori Földtani Intézet feladatai.

A könyv NAGY László elnök (SZTFH) köszöntőjével és MAKOVECZ Imrénének az első kiadásból átvett előszavával kezdődik. Ahogy az épület tornyán lévő földgömböt a négy égbolt-titán tartja, úgy tartotta a vállán a megvalósítás gondjait négy földi titán: BÖCKH János igazgató, LECHNER Ödön építész, SEMSEY Andor földbirtokos, mecénás és HAUSZMANN Sándor vállalkozó. Rájuk irányítja a figyelmet az előszó után a szerzők összefoglalása.

Ezt követően 14 fejezet alkotja a könyv törzsanyagát. Minden fejezetet a szerzők vezetnek be, ezt követik a korabeli dokumentumok, újság- és folyóiratcikkek, rajzok, régi és mai fekete-fehér és színes fotók. A fejezetekben a következőkről olvashatunk: 1. az intézet története az új épület előkészülte előtt, 2. a zuglói telek „kalandos” megszerzése, 3. a pályázatok lefolyása és eredménye, 4. az építkezés, 5. kitekintés a környékre, 6. az ünnepélyes megnyitás, 7. az intézetet 1869-ben megalapító Ferenc József király látogatása, 8. az épület bemutatása, 9. az építkezéshez felhasznált kőzetek, 10. a mecénás (SEMSEY Andor), 11. az igazgató (BÖCKH János), 12. az építész (LECHNER Ödön), 13. az építőmester (HAUSZMANN Sándor), 14. a munkatársak (1868–2025).

A kötet végén „Az Art Geo Palota megújulása” címmel GONDA Bence stratégiai elnökhelyettes (SZTFH) utószavát olvashatjuk. Ebből idézzük a jelenleg felújítás előtt álló épület jövőjére vonatkozó sorokat: „Az SZTFH célja, hogy a nemzeti örökséget úgy őrizze és fejlessze tovább, hogy az egyszerre maradjon a tudományos közösség bástyája és a közönség számára is inspiráló kulturális tér. A megújult Art Geo Palota újra a földtani ismeretterjesztés, az innováció és az együttműködés központjává válik – egy olyan helyé, ahol a magyar földtudomány múltja és jövője találkozik.”

Ajánljuk ezt a SEBESTYÉN-VASS Tímea által tervezett, a Gyomai Kner Nyomda Zrt. munkáját dicsérő, impozáns könyvet azoknak, akik a geológiatörténet, építészettörténet és/vagy művészettörténet iránt érdeklődnek, és azoknak is, akik egyszerűen csak gyönyörködni akarnak a budapesti Stefánia út ékességében, az épület egészében és rejtett szépségeiben (kék, Zsolnay-cserepes tető, a homlokzat népművészeti és geológiai motívumai, a népi ihletésű belső festett faldíszei és csiszolt ablaküvegei), az ezeket ábrázoló régi képekben és a kiváló fotósok (BERECZKI László, FRIEDL Zoltán, HACK Róbert, John HERALD, LANTOS Zoltán, MAROS Gyula és PALOTÁS Klára) által készített sok-sok mai, színes fényképben – LECHNER mester egyik legletisztultabb és legszebb művében, a magyar szecesszió büszkeségében.

A kötet kereskedelmi forgalomba nem került.

HÁLA Noémi

Tartalom — Contents

HARTAI Éva, FÖLDESSY János, MÁDAI Ferenc: In memoriam Prof. Dr. NÉMEDI VARGA Zoltán.	3
M. TÓTH Tivadar: Elnöki megnyitó	11
ZAJZON Norbert: Főtitkári és közhasznúsági jelentés a 2025. évről	13
GYOLLAI Ildikó, RÁCZ Richárd, BIRI Sándor, JUHÁSZ Zoltán, KERESZTURI Ákos, KIRALY Csilla, REZES Dániel, SULIK Béla, SZABÓ Máté, SZALAI Zoltán, SZÁVAI Péter: Kozmikus mállás szimulációs vizsgálata besugárzott meteoritok alapján. – <i>Simulation of space weathering by the analysis of irradiated meteorites.</i>	25
RUSZKICZAY-RÚDIGER Zsófia: Helyben keletkező kozmogén izotópos geokronológia, a felszínfejlődés számszerűsítésének sokoldalú eszköze, 1. rész: Elméleti alapok. – <i>Geochronology using in situ produced cosmogenic nuclides, a versatile toolkit for the quantification of landscape evolution, Part 1: Theoretical basis.</i>	37
RUSZKICZAY-RÚDIGER Zsófia: Helyben keletkező kozmogén izotópos geokronológia, a felszínfejlődés számszerűsítésének sokoldalú eszköze, 2. rész: A módszer alkalmazási területei. – <i>Geochronology using in situ produced cosmogenic nuclides, a versatile toolkit for the quantification of landscape evolution. Part 2: Applications.</i>	49
KONCZ István: Gondolatok a kőolaj gázzá alakulásáról. – <i>Thoughts on the oil to gas conversion.</i>	71
Társulati ügyek 2025 (összeállította: KRIVÁNNÉ HORVÁTH Ágnes)	77
Hírek, ismertetések (összeállította: PIROS Olga)	95

