



SOPRONI
EGYETEM |

ERDŐMÉRNÖKI
KAR



Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa 2024

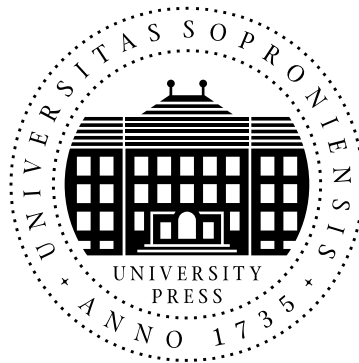
Szerkesztette: Czimmer Kornél, Vágvölgyi Andrea, Kovács Gábor



Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa 2024

Szerkesztette:

Czímber Kornél, Vágvölgyi Andrea, Kovács Gábor



SOPRONI EGYETEM KIADÓ

SOPRON, 2025

Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa
2024

Felelős kiadó: **Prof. Dr. Fábián Attila**

a Soproni Egyetem rektora

A kiadványt szerkesztette:

Dr. Czimmer Kornél, Dr. Vágvölgyi Andrea, Dr. Kovács Gábor

A kiadványban megjelent cikkeket lektorálták:

Dr. Ambrus András, Dr. Bazsó Tamás, Dr. Bidló András, Dr. Brolly Gábor, Dr. Csiszár Ágnes, Csépanyi Péter, Dr. Czimmer Kornél, Elekné Dr. Fodor Veronika, Dr. Folcz Ádám, Dr. Frank Norbert, Dr. Führer Ernő, Dr. Gribovszki Zoltán, Dr. Heil Bálint, Dr. Herceg András, Dr. Horváth Tamás, Dr. Illés Gábor, Dr. Jánoska Ferenc, Dr. Kalmár Sándor Flóris, Dr. Király Géza, Dr. Korda Márton, Dr. Kovács Gábor, Dr. Polgár András, Dr. Pájer-Gálos Borbála, Szalai Áron, Szász Botond, Dr. Tari Tamás, Dr. Tari Tamás, Dr. Tuba Katalin, Dr. Vityi Andrea, Dr. Zagyvai Gergely, Zagyvainé Dr. Kiss Katalin Anita

A kiadvány a 2024-es Erdészeti Tudományos Konferencián elhangzott előadásokhoz közvetlenül kapcsolódó tudományos publikációkat tartalmazza.

Címlapon: Bükk-vidék, Szalajka-völgy, fotót készítette: Dr. Czimmer Kornél

Soproni Egyetem Kiadó

Sopron, 2025.

ISBN 978-963-334-565-8 (pdf)

<https://doi.org/10.35511/978-963-334-565-8>

Creative Commons license: CC BY-NC-SA 4.0 DEED



Az online verzió elérhetősége:

https://emk.uni-sopron.hu/images/dekani_hivatal/Kiadvanyok/ETK_2024.pdf

Ajánlott hivatkozás:

Czimmer K., Vágvölgyi A., Kovács G. (szerk.) (2025): Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa 2024, Soproni Egyetem Kiadó, Sopron.

Tartalom

Ács Norbert, Czímber Kornél: Fafajosztályozás eltérő időpontú és geometriai felbontású műhold- és légifelvételek alapján.....	7
Ágoston Hunor, László Richárd: Varjúfélék által hordozott jelentősebb patogének.....	14
Ágoston Hunor, László Richárd: A dolmányos varjú táplálkozásbiológiája.....	20
Balázs Pál, Horváth Adrienn, Végh Péter, Katona Máté, Bidló András: Tátika Erdőrezervátum felszínborításának változása történeti térképek alapján.....	26
Borovics Attila, Illés Gábor, Fonyó Tamás, Kottek Péter, Király Éva: Alkalmazkodás és a klímaváltozás mérséklése az erdészeti- és faipari szektorban.....	32
Brolly Gábor: Point2Pixel: Egy alkalmazás LiDAR adatok képfarmátumra történő átalakítására.....	40
Csóka Gergely: Zöldfelületek jelentősége az éghajlatvédelmi hatásvizsgálatok és kockázatelemzések során, budapesti kerületek példáján.....	46
Dominkó Emese, Kovács Zoltán, Rétfalvi Tamás: A GreenBee Projekt referencia területeiről származó pollenek vizsgálati eredményei.....	55
Frank Norbert: Erdészeti hatóság szakcionáló döntései.....	63
Gergál-Gombási Mónika, Hernádi Hilda Ágnes, Heil Bálint: A talajtulajdonságok változásának vizsgálata biológiai rekultiváció hatására az iharkúti bányarekultiváció területén.....	68
Gribovszki Katalin, Rábai Dóra, Bazsó Tamás, Szalai Sándor, Brolly Gábor: Sértetlen, de sérülékeny gyertyaszál alakú állócseppkő digitális háromdimenziós alakjának elkészítése barlangi lézerszkenneléssel történő adatgyűjtés felhasználásával a Detrekői-zsombolyban (Szlovákia).....	76
Herceg András, Kalicz Péter, Nejc Bezak, Klaudija Lebar, Katarina Zabret, Zagvyainé Kiss Katalin Anita, Gribovszki Zoltán: Az éghajlatváltozás hatása egy bükkös lombkorona-intercepciójára.....	87
Horváth Attila László, Szakálosné Mátyás Katalin: Szimulátoros gépkezelő képzés kezdeti tapasztalatai Ponsse Fox és Ponsse Ergo harveszter esetében.....	93
Horváth Béla, Major Tamás: Gödörfúró robot alkalmazásának teljesítmény- és költség-elemzése.....	100
Horváth Bálint, Scherer Zoltán, Körösi Ádám, Bolla Bence, Molnár Ta-Más, Szentirmai István: A sápadt szemeslepke (<i>Lopinga achine</i> (Scopoli, 1763)) őrségi populációinak ökológiai jellemzői és élőhelyfejlesztési irányvonalai.....	106
Horváth Ferenc, Bakó Gábor, Bidló András, Bíró Attila, Csicsek Gábor, Kovács Gábor, Mányoki Gergely, Molnár Csaba, Papp Mónika, Szegleti Zsófia, Vig Ákos, Vig Tamás, Bölöni János: A Kékes Erdőrezervátum őserdő-maradványának faállománya.....	113
Indic Boris, Sipos György: Kárpát-medencei fehérkorhasztó gombák faanyag-bontó képességeinek genomikai szintű összehasonlító vizsgálata.....	121
Jagodics Anikó, Führer Ernő: Időjárás hatása a humusz szervesanyagára zalai bükkösökben.....	128
Janzsó Milán Gábor, Vágvölgyi Andrea: Szelektív hulladékgyűjtés népszerűsítése applikáció segítségével.....	135

Peter Kalicz, Abdelbagi Y. F. Adam, Zoltan Gribovszki: Initial Time Series Analysis of Climate Variability in White Nile State, Sudan, From 1981 to 2021	142
Kapocsi Gergely, Horváth Sándor, László Richárd: A vadállomány nagyságának és összetételének hatása a vadászati jog haszonbérleti díjára.....	149
Katona Máté, Végh Péter, Balázs Pál, Bidló András, Horváth Adrienn: A talajok víztartó- és vízszolgáltató képességének vizsgálata Fenyőfő község határ erdeiben	153
Kéri Katalin: Erdők, fafajok és fafelhasználás a firenzei kódexben.....	159
Kertész Péter, Király Géza: Fafajosztályozás idősoros multispektrális felvételek alapján.....	167
Király Éva, Borovics Attila: A fatermékek termék- És Energiahelyettesítési hatásainak számszerűsítése	178
Király Géza, László Richárd, Bende Attila: Mezei nyúl (<i>Lepus europaeus P.</i>) számlálás lehetőségei hőkamerás felvételek felhasználásával.....	185
Király Géza, Vityi Andrea: UAV-s felmérések a REFOREST projekt keretében.....	196
Kocsis István Attila., Zsuposné Oláh Ágnes, László Zoltán, Juhász Evelin Kármén, Mocos Béla, Tállai Magdolna, Sándor Zsolt: A teljes talaj-előkészítés hatása a feltalaj szervesanyag-tartalmára erdőfelújítás esetén a Dél-Nyírségben.....	202
Kollár Tamás: Új erdőnevelési modell táblák az új fatermési táblák alapján	210
Kollár Tamás: Fatermési táblák és függvények paraméter készlete a magyarországi fafajok erdőállományinak becsléséhez	216
Kovács Márk Ferenc: Élőhely-fragmentációs hatások megítélése Magyarországon szakirodalmi adatok alapján	224
Kökény Gergely, Szekrényes Tamás, Kalicz Péter: A fák törzsátmérő változásának mérése újszerű módszerrel, a nedváramlással és a meteorológiai adatokkal összefüggésben.....	235
László Richárd: A közép fokú duális képzés első tapasztalatai az erdészeti ágazatban.....	240
Major Tamás, Hári Zsolt, Horváth Béla: Erdősítésben alkalmazott gödörfúró robot jellemzése és üzemeltetésének eddigi tapasztalatai.....	245
Molnár Tamás, Szabó András, Horváth Bálint, Bolla Bence: Országos szintű aszályfelmérés Sentinel-2 űrfelvételeken	250
Muraközy Lili, Kiss Márton, Kalicz Péter, Gribovszki Zoltán: A soproni botanikus kerti állomás adatainak hidrometeorológiai célú elemzése	256
Nagy Eszter, Zám Izabella: Vadfajok lakott-területi előfordulása Sopronban	264
Ormos Balázs: Erdészeti erdei iskolák erdőmérnöki szemlélettel.....	270
Rácz Viktor, Szajkó Gabriella, Kis András, Paizs László: Áröszöntőzök szerepe a széndioxid-megkötés fokozásában a magyarországi erdőgazdálkodásban	276
Sárközy Áron, Jánoska Ferenc, Sándor Gyula, Bende Attila: Az örvös galamb (<i>Columba palumbus L.</i>) terítékadatainak elemzése Magyarországon.....	284
Somogyi Zoltán: Hogyan dolgozhatjuk ki a legjobb klímaváltozási stratégiát??	291
Szabó Márton, Király Géza: Sentinel 2 alapú szolgáltatásszerű fafajosztályozás összevetése az Országos Erdőállomány Adattár adataival.....	299
Szakálosné Mátyás Katalin, Szélessy Tünde, Zagyvai Gergely: Marteloscope mintaterület kialakítása és felvételezésének előzetes eredményei a Soproni-hegységben.....	306

Szalai Áron, Király Géza, Brolly Gábor: Terepi referencia mérések ellenőrzése légi lézeres felmérések alapján	315
Szász Botond, Czimmer Kornél, Király Géza: Digitális domborzatmodell-elemzés a Dudlesz-erdő területén a SoilSense projekt keretein belül.....	322
Vágvölgyi Andrea, Csiszár Ágnes, Király Géza, Polgár András, Tuba Kata-Lin, Winkler Dániel, Vityi Andrea: Agrárerdészet ökoszisztéma szolgáltatásainak modellezése és gazdasági integrációja	327
Vágvölgyi Andrea, Hofmann Tamás, Polgár András, Rétfalvi Tamás, Tuba Katalin, Visiné Rajczi Eszter, Vityi Andrea: Agroökológiai stratégiák a gyomkorlátozásban.....	332
Végh Péter, Balázs Pál Horváth Adrienn, Bidló András: A szerves szénkészlet megkötésének és tárolásának vizsgálata Külső Somogy és Tolna–Baranyai Dombvidék erdőállományai talajában.....	338

SÉRTETLEN, DE SÉRÜLÉKENY GYERTYASZÁL ALAKÚ ÁLLÓ-CSEPPKŐ DIGITÁLIS HÁROMDIMENZIÓS ALAKJÁNAK ELKÉSZÍTÉSE BARLANGI LÉZERSZKENNELÉSEL TÖRTÉNŐ ADATGYŰJTÉS FELHASZNÁLÁSÁVAL A DETREKŐI-ZSOMBOLYBAN (SZLOVÁKIA)

Preparation of the digital 3D shape of an intact, but vulnerable candlestick-shaped stalagmite using laser scanning data acquisition in a karstic cave, Plavecká abyss (Slovakia)

GRIBOVSZKI KATALIN¹, RÁBAI DÓRA², BAZSÓ TAMÁS², SZALAI SÁNDOR¹, BROLLY GÁBOR²

¹Magyar Kutatási Hálózat, Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet

²Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet

gribovszki.katalin@epss.hun-ren.hu

Kivonat

A Kis-Kárpátokban (Szlovákia) található Detrekői-zsombolyban (Plavecká priepast) lézershkenneléssel gyűjtött adatok felhasználásával készült el a barlang legmagasabb és egyben legsérülékenyebb cseppkövének digitális 3D modellje. A terepi mérés a Leica BLK 360 műszerrel történt. A mérés útján kapott pontfelhő a Leica Cyclone és a Cloud Compare szoftverek segítségével került feldolgozásra és megjelenítésre. Az eredményfájlok jól szemléltetik az elkészült ponthalmazt. A most bemutatott adatgyűjtés és feldolgozás során előállt digitális 3D cseppkőmodell összehasonlítására is sor került egy korábbi, 2015-ben készült modellel. Ezen összehasonlítás nemcsak a cseppkő növekedéséről, hanem a különböző időpontokban készített felmérések között jelentkező ellentmondásokról is információt szolgáltat.

Abstract

A digital 3D model of the tallest and most vulnerable stalagmite in the Plavecká abyss in the Little Carpathians (Slovakia) has been created using laser scanning data. Field measurements were made with a Leica BLK 360. The point cloud was processed using the Leica Cyclon and Cloud Compare software, and the results were also displayed in Cloud Compare. Several different kinds of result files were created to illustrate the produced point cloud. The 3D digital model was compared with a previous model made in 2015. This comparison provides information not only on the growth of the stalagmite, but also on the discrepancies between surveys taken at different times.

Bevezetés

Detrekői-zsombolyban már 2013-tól kezdődően végeztünk különböző méréseket és vizsgálatokat, úgymint cseppkőrezonancia mérés, cseppkő-kormeghatározás, törött cseppkődarabok mechanikai laboratóriumi vizsgálata (GRIBOVSZKI et al. 2017a, 2017b), cseppkőalakvizsgálatok és lézershkennelés. Jelen publikációban beszámolunk a korábban is már részletesen vizsgált nyúlánk és sérülékeny, 4,3 m magas állócseppkőről készült lézershkennelésről és a shkennelést követő digitális 3D-s modell elkészítéséről.

Nevezett vizsgálatok végső célja, hogy pontosíthassuk a barlang közvetlen környezetének hosszútávú földrengés-veszélyeztetettségi értékeit. Ez a cseppkő a felszínhez közeli barlangban található (4. ábra GRIBOVSZKI et al. 2017a publikációban), ezért alkalmas arra, hogy segítségével földrengés veszélyeztettség-megállapítást végezzünk, akár napjainkra vonatkozólag, akár időben visszafele haladva is. (Gondoljunk itt a mélyből érkező földrengés-

hullámok felszíni fölerősödésére.) A sérülékeny cseppkövek vizsgálatával információk nyerhetők a földrengések maximális méretére vonatkozólag (M_{max}). Például, hogy mi az a maximális horizontális gyorsulás vagy sebesség, aminek hatását még törés nélkül elbírja a cseppkő (SZEIDOVITZ et al. 2005, 2008a, 2008b; GRIBOVSZKI et al. 2008, 2013a, 2013b, 2017a, 2017b, 2018, 2020; PASKALEVA et al. 2006, 2008; ZEMBATY et al. 2023).

Az általunk 2023-ban készített szkennelés során a barlang egyik terméről (Cseppkő terem) teljes egészében készült felmérés. A gyűjtött adatok teljes feldolgozása jelenleg még folyamatban van. Egyelőre csak a 4,3 m magas cseppkő 3D digitális modellje készült el.

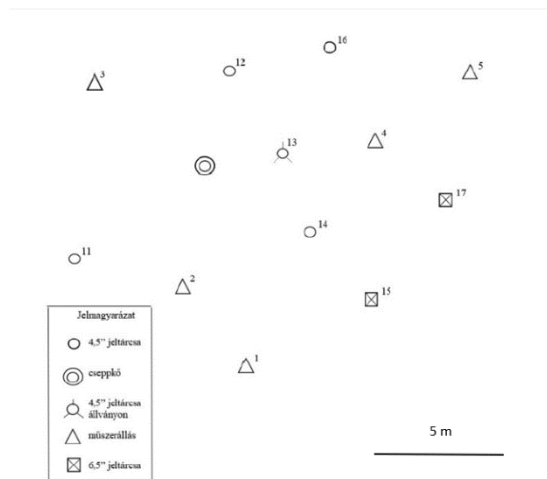
Célok és módszerek

Jelen lézeres cseppkő-vizsgálat és adatfeldolgozás célja az volt, hogy a Kis-Kárpátokban (Szlovákia) található Detrekői-zsombolyban lézershkenneléssel gyűjtött adatok felhasználásával elkészüljön a barlang legmagasabb cseppkövének digitális 3D modellje. A barlangi mérést megnehezítette, hogy a barlang egy 30 m mély szakadékon keresztül közelíthető csak meg, továbbá a barlangba történő bejutás engedélyhez is kötött.

A lézershkennelrel történt barlangi adatgyűjtést követően a digitális cseppkő-modell irodai körülmények között, speciálisan erre a feladatra kifejlesztett szoftverek segítségével jött létre (Leica Cyclone és Cloud Compare). Az elkészült modell bemeneti adatként szolgálhat a jövőben a cseppkőnövekedés megállapításához, a sajátfrekvenciák és felharmonikusaik modellezés útján történő megállapításához (GRIBOVSZKI et al. 2018; ZEMBATY et al. 2023), a cseppkő rugalmassági paramétereinek megállapításához (ZEMBATY et al. 2023) és a cseppkő eltöréséhez szükséges talajgyorsulás vagy sebesség értékének kiszámításához (PASKALEVA et al. 2006, 2008; ZEMBATY et al. 2023).

A mérés során a Leica BLK360 műszert használtuk, amellyel nagy pontosságú lézeres mérés, és optikai képalkotás végezhető. A mérés során kettő műszerlábat, öt 4,5" jeltárcsát és kettő 6,5" jeltárcsát használtunk. A műszer súlya mindössze 1 kg, ami lehetővé tette számunkra, hogy a nehezen megközelíthető barlangfelszínre lejuttathassuk.

A terület bejárását követően, öt álláspontot jelöltünk ki a „Cseppkő terem”-ben (1a. ábra), hogy a lehető legmegfelelőbb képet tudjunk alkotni a barlangról és a legmagasabb cseppkőről. Ezután a kapcsolópontok elhelyezése következett (1a. ábra). A kapcsolópontok elhelyezésénél arra törekedtünk, hogy minimum 3 darab (de ideálisabb az az eset, ha legalább 4 darab) látható legyen minden műszerállásról, illetve figyeltünk arra is, hogy 10 m-nél ne legyen távolabb egyik jeltárcsa sem. A 1a. ábrán a barlang egy része látható a „Cseppkő terem”-ben, az általunk vizsgált cseppkő az ábra bal oldalán található, duplakörrel jelölve. A 1b. ábrán pedig egy intenzitásképet látunk a barlang egy részéről. Az ábrán látható 2 db jeltárcsa is.



1a



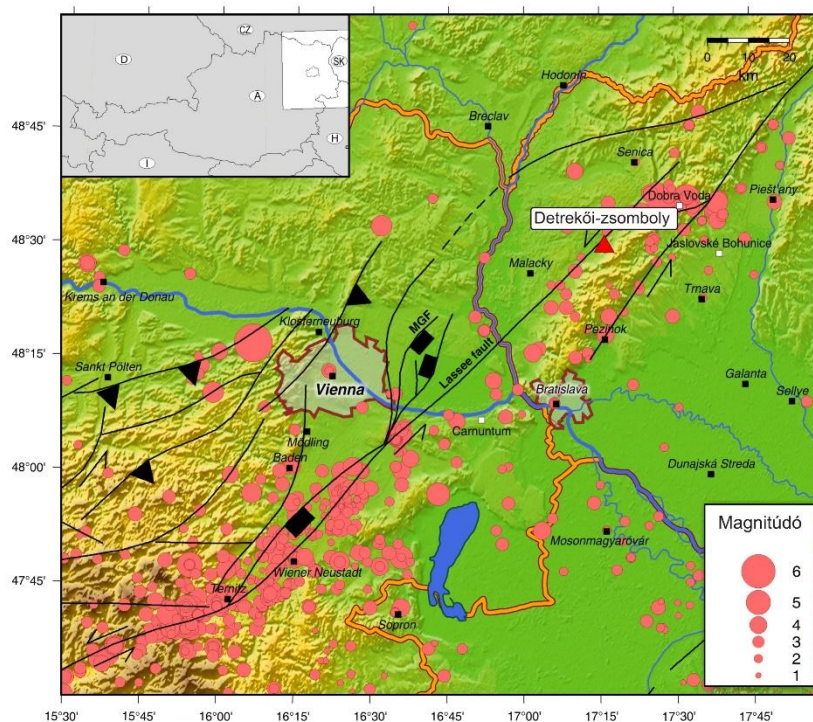
1. ábra: 1a) A barlang területén elhelyezett álláspontok és kapcsolópontok helyzete a „Cseppkő terem”-ben, a vizsgált cseppkő helyével; 1b) Intenzitás kép a barlang egy részéről 2 db jeltárcsával. Forrás: saját készítésű ábrák.

A vizsgált cseppkőről 2015-ben már készült egy digitális 3D modell, melyet a Szlovák Tudományos Akadémia Régészeti Kutatóintézetének a munkatársai Arpáš Anton, Balžan Branislav és Ruttkay Matej készítettek. Ezt a 2015-ben készült 3D digitális modellt feltöltöttük a Mendeley adatbázisba (ZEMBATY et al. 2022). A jelen publikációban bemutatott 3D modell és a szlovák régészeti intézet munkatársai által készített 2015-ös modellt összehasonlítottuk. Az összehasonlítás során a már korábban említett Leica Cyclone és Cloud Compare programokat használtuk fel.

A vizsgált barlang és a cseppkő ismertetése

Ahogy azt már korábban is említettük a vizsgált állócseppkő a Detrekői-zsombolyban található (2. ábra). A Detrekői-zsomboly a Kis-Kárpátokban, Szlovákia nyugati részén helyezkedik el, közel a Bécsi-medencéhez, és szlovák (Pozsony) és osztrák (Bécs) fővárosokhoz. A Kis-Kárpátok középső részének nyugati peremén található karszterület a Detrekői-karszt. A barlang a Detrekői-karsztnak pontosan azon kiemelkedése alatt foglal helyet, melynek csúcsán a XIII. században épített Detrekő vára áll. A barlang bejárata a várhegy nyugati felén

található, Detrekővárálja (Plavecké Pohradie) településhez közel. A várhegy és a közvetlenül mellette található Zsivány-hegy (Pohanská) számos barlangot tartalmaz.



2. ábra: A vizsgált barlang, a Detrekői-zsomboly elhelyezkedése a Kis-Kárpátokban, Szlovákiában (piros háromszög), és az ismert, aktív törésvonalak, továbbá az ábrán láthatóak a történelmi és a műszeres földrengések epicentrumai is. Forrás: Gribovszki et al., 2017a.

A barlang Triász mészkőben fejlődött ki, ami dolomit rétegeket is tartalmaz. A Detrekői-zsomboly keletkezésére nézve hipogén barlang. Ezt az eredetet Bella et al. (2019a, 2019b, 2022) igazolták először a környező barlangok – Pec, Plavecká Jaskyna – részletes kutatásai során.

A hipogén karsztbarlangok kialakulásának hátterében a regionális áramlási pályák mentén érkező meleg, illetve langyos vizek felelősek. A folyamatot ezen vizek oldó hatása és a folyamatra jellemző további hipogén jelenségek határozzák meg. A hipogén savak a felszíntől függetlenül, rendszerint nagyobb mélységben, redukív környezetben keletkeznek. Általában mélységi CO₂ (szén-dioxid) és H₂S (kén-hidrogén) vizes oldataiként jelennek meg. A szénsavas oldódás mellett kénsavas üregképződés is történhet. Általánosan jellemző, hogy a mélyben keletkezett üregek a felszíni topográfiával nem függenek össze. A labirintusszerűnek vagy hálózatosnak nevezett közel egyenrangú járatok általában korábbi törések vagy repedések irányát követik. Nem ritka jelenség a többszintes barlangrendszerek kialakulása sem (VIRÁG 2016).

Kutatásunk tárgya egy bizonyos sértetlen, de sérülékeny gyertyaszál alakú 4,3 m magas állócseppkő (3. ábra). A földrengés-veszélyeztetettség szempontjából alapfeltételezésünk az, hogy ez a speciális alakú cseppkő túlélte „élete” (fejlődése és létezése) során az összes addig keletkezett földrengést, ebből következőleg ez a cseppkő képes arra, hogy segítségével felső becslést adhassunk a környezetében eddig előfordult földrengések által keltett maximális horizontális talajmozgás mértékére vonatkozólag akár több ezer évre visszamenőlegesen is. Nevezett cseppkőnek ilyen jellegű vizsgálatairól Gribovszki et al. (2017a és 2017b) és Zembaty et al. (2023) publikációiban számoltunk be részletesen.

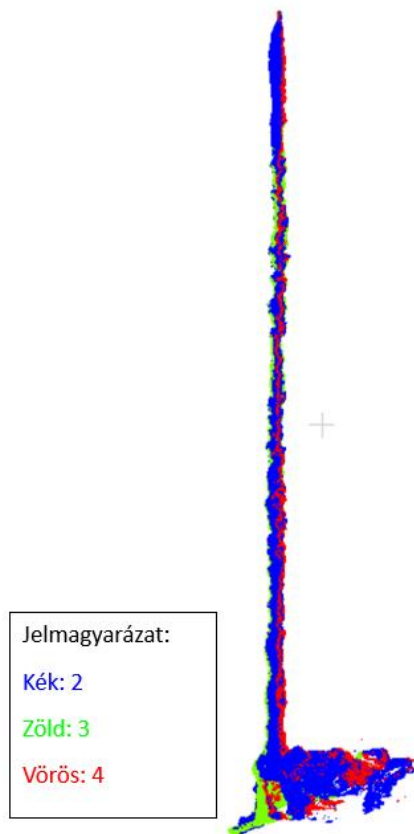
Jelen lézerszkennéssel történt adatgyűjtés és 3D-s digitális modellalkotás célja a korábbi, azaz 2015-ben készült modell pontosságának vizsgálata, továbbá az, hogy a földrengésveszélyeztetettséggel kapcsolatos cseppkő kutatások számára a jövőben bemeneti adatként szolgálhasson különféle modellszámítások céljára.



3. ábra: A vizsgált, 4,3 m magas cseppkő a Detrekői-zsombolyban. Forrás: Gribovszki et al., 2017b.

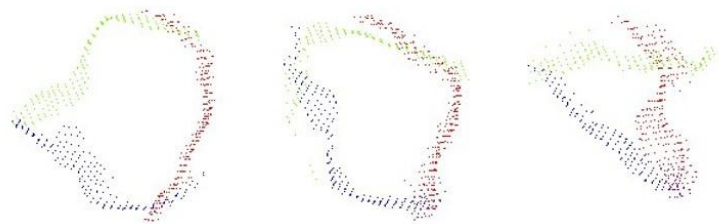
Adatfeldolgozás

A feldolgozást két szoftver segítségével végeztük el, ezek a Leica Cyclone és a Cloud Compare programok voltak. A különböző műszerállásból felmért pontfelhőknek saját koordinátarendszerük van, ezért a pontfelhőket egy közös koordinátarendszerbe kell transzformálni. E közös koordinátarendszernek a 2-es ponthalmaz koordinátarendszerét választottuk. A többi ponthalmaz transzformálási paramétereinek meghatározása a pontfelhők átfedő részein azonosított kapcsolópontok megjelölésével történik. A transzformációhoz egy térbeli eltolásvektort, és a három koordinátatengely körüli elforgatási szöveget határoztuk meg (hasonló-sági transzformáció). Az egyes ponthalmazok a tájékozást követően egyesíthetők (4. ábra) (BROLLY et al. 2019).



4. ábra: Az egyesített ponthalmaz. Forrás: saját készítésű ábra.

A tájékozott ponthalmazok megfelelő illeszkedésének ellenőrzése céljából különböző magasságokban (0,8 m; 1,6 m; 2,1 m) metszeteket készítettünk (5. ábra). Az 5. ábrán jól látható, hogy kettő és négy méteres magasság között az illeszkedés pontossága lecsökken. Az illeszkedési hibák arra utalnak, hogy a cseppkő középső részén a ponthalmazok a hasonlósági transzformáció elvégzése után még jelentős maradék ellentmondást tartalmaznak.

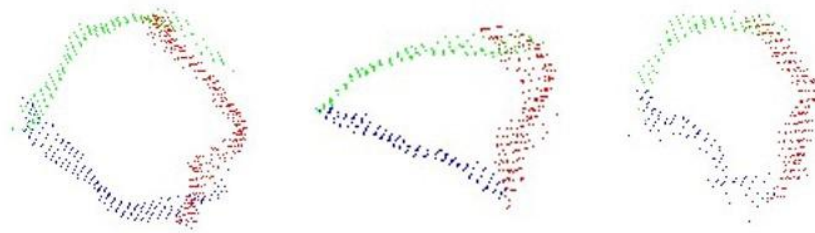


5. ábra: 0,8 m; 1,6 m; 2,1 m magasságban készített metszetek. Forrás: saját készítésű ábra.

Az összeillesztés javítása és a két modell összehasonlítása

Az utóbbiakban részletezett hibák javítására új módszert dolgoztunk ki. A ponthalmazok 2 és 4 méter magasság közötti részét 20 cm-es szeletekre bontottuk. Az 1-es és 3-as ponthalmaz szeleteit hozzátájékoztuk a 2-es ponthalmaz szeleteihez. A transzformáció során csak vízszintes eltolást végeztünk. Az eltolásvektor meghatározásához minden szelet középmagasságában egy 2 cm-es metszetet készítettünk. Az eltolásvektorok maximális hossza 3 cm volt, az eltolásvektorok egy ponthalmaz esetén is eltérő irányba mutattak.

A javítás után készült metszetek az 6. ábrán láthatóak. Az első metszet 0,8 m, a második 1,6 m, a harmadik pedig 2,2 m magasan készült. A metszetek jól szemléltetik az illesztés javulását.



6. ábra: Három különböző magasságban (0,8 m; 1,6 m; 2,2 m) készített metszetek a javítás után. Forrás: saját készítésű ábra.

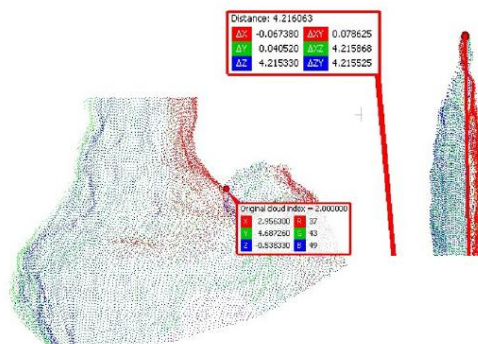
Az adatfeldolgozás következő lépéseként, a javított cseppkömodellünket hasonlítottuk össze a szlovák régészeti intézet munkatársai által 2015-ben készített Triangular Irregular Network (TIN) modellel (ZEMBATY et al. 2022). A két modell különböző koordináta-rendszerben készült, ezért első lépésben a modellünket hasonlósági transzformációval a szlovák TIN modellhez illesztettük. A hozzátájékozást Iterative Closest Point (ICP) eljárással végeztük el. Az ICP eljárás a TIN modell csúcspontjai és a mi pontfelhazunk pontjai között minimalizálja a távolságnégyzetek összegét. A maradék ellentmondás mértékét a két pontfelhaz legközelebbi pontjai közötti előjeles távolságok szórása (RMSE) mutatja meg, ami esetünkben 8 mm lett.

Eredmények

A tájékozott pontfelhaz

Az elkészült eredményeket tekintve elsőként legfontosabb maga a létrejött 3D digitális cseppkömodell. A modell 152227 pontból áll.

A cseppkö magasságát a jól azonosítható csúcspont és egy talajpont között mértük (7. ábra). A cseppkö magassága ezen két pont között 4,216 m.



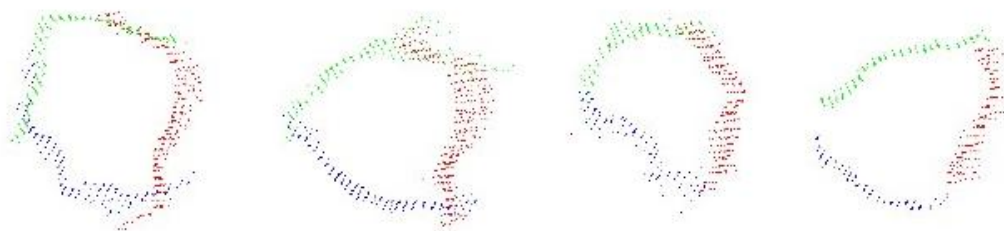
7. ábra: Cseppkömagasság-mérés. Forrás: saját készítésű ábra.

Metszetek

Metszeteken keresztül is ellenőriztük a saját munkánkat, illetve ezeken keresztül könnyen lehet szemléltetni a szkennelések különböző magasságokban való illeszkedését. Vékony, 2 cm-es metszeteket készítettünk, több magasságban. A metszetkészítést 20 cm-es közőkkel végeztük, így összesen 22 db metszet lett a végeredmény.

A 8. ábrán a cseppkö minden méterén egy-egy metszet látható, balról jobbra növekszik a magasság. A metszeteken jól látszik, hogy a különböző színű szkennelési darabok között

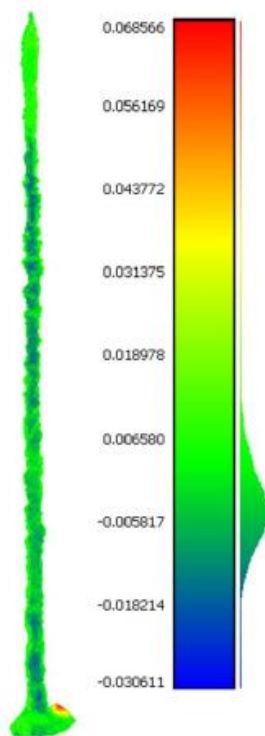
kisebb ellentmondások továbbra is felléphetnek, például kismértékben átfednek egymással, vagy hézag van közöttük.



8. ábra: Méterenként készített metszetek. Forrás: saját készítésű ábra.

A két modell között mért távolság

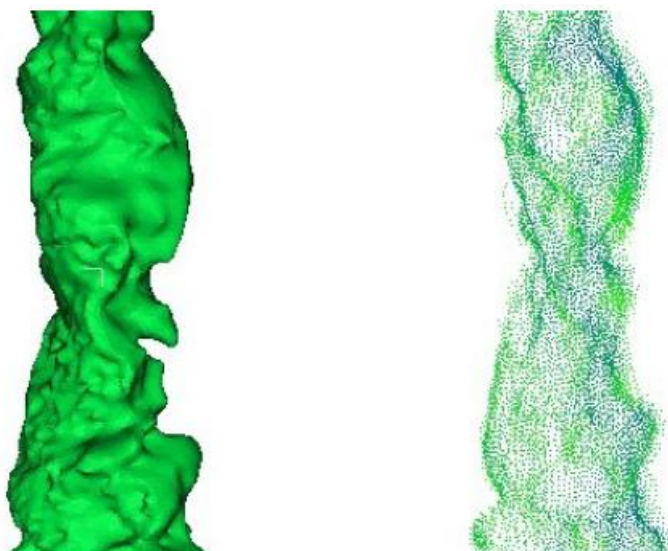
Távolságot is számoltunk a két modell (a most létrehozott és a 2015-ös TIN) között. Az eredmények tekintetében elmondható, hogy -3 mm lett az átlagos ellentmondás a két modell között, azaz a mi modellünk átlagosan 3 mm-rel vékonyabb, mint a szlovák modell. A távolságok mértékének szemléltetéséhez készítettünk egy ábrát (9. ábra), amin a színek ábrázolják a két modell közötti távolságok mértékét. A zöld területeken a legkisebb a távolság, majd a kék területeken, illetve a pirosokon a legnagyobb. Nagyobb eltérés egy helyen figyelhető meg, méghozzá közel a cseppkő tövéhez a talajszinten.



9. ábra: Távolságok mértéke a két modell között. Forrás: saját készítésű ábra.

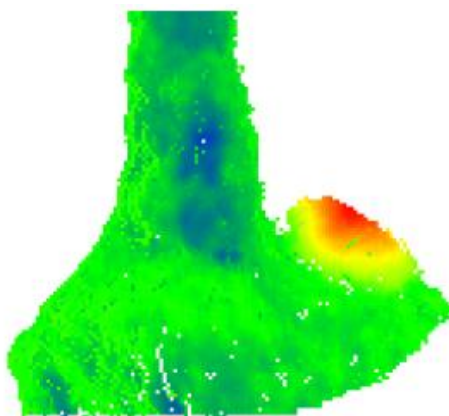
A két modell összehasonlítása

A két modell között a legnagyobb eltérést a 10. ábrán látható területen állapítottuk meg. Ugyanabból a szögből tekintettük meg mindkét modellt. A különbség a 161 cm magasságban lévő „orr” résznél látható, a mi modellünkön a jellegzetes „orr” rész hiányzik. Ezen lényeges eltérésen kívül a modellek többi része egyezést mutat.



10. ábra: Az „orr” részénél lévő eltérés. Forrás: saját készítésű ábra.

A modellek közötti távolság tekintetében az „orr” részen kívül egy helyen van számottevő eltérés (piros terület a 11. ábrán.). Feltehetően ez a piros terület természetes változásnak tudható be. Véleményünk szerint az eltérés egy cseppkőnövekedési helyet jelezhet.



11. ábra: A távolság tekintetében vett legnagyobb eltérés helye. Forrás: saját készítésű ábra.

Összefoglalás

Jelen munka fő célkitűzése az volt, hogy a Kis-Kárpátokban (Szlovákia) található Detrekői-zsombolyban (Plavecká priepast) lézerekkel gyűjtött adatok felhasználásával elkészüljön a barlang legmagasabb cseppkővének digitális 3D modellje. Az elkészült modell pontossága elvárásainknak megfelel, illetve az összehasonlítás a korábbi, 2015-ben készült modellel is sikeresnek mondható. A különböző álláspontokból felmért pontthalmazok tájékozása során kapott ellentmondások szokatlanok, ugyanis a hasonlósági transzformáció után a cseppkő középső részén jóval nagyobb ellentmondást tapasztaltunk, mint az alsó és felső részeken. Ennek pontos okát nem tudjuk.

A feldolgozás eredményeként kapott digitális modell részletes, rögzíti a cseppkő adott időpontbeli állapotát, és összehasonlítási alapul szolgálhat a jövőben történő mérésekhez, vagy különböző modellszámításokhoz.

A földi lézerekkelről elmondható, hogy részletes pontfelhőket tudunk előállítani a minél pontosabb eredmény érdekében. A módszer nehezített, barlangi körülmények között is

megfelelőnek bizonyult az adatgyűjtésre. A földi lézerszkennelés hátránya, hogy szoftver és hardverigénye miatt alkalmazása meglehetősen költséges is lehet.

A korábbi modellel 8 mm RMSE ellentmondással sikerült összeilleszteni a mi pontthalmazunkat. A maradék egy része adódhat természetes okokból, hiszen a cseppkő mérete nem állandó. Az átlagosan -3 mm-es változás a két modell között arra enged következtetni, hogy bár a két modell alakja jórészt egyezik, de a felmérési idő során bekövetkezett radiális irányú változást nem lehetett kimutatni. Ezen változások (a cseppkőnövekedés tulajdonságai miatt) természetesen nagyságrendekkel lassabbak, mint például a függőleges irányú növekedés.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a Szlovák Természettudományi és Barlangászati múzeum (Slovak Museum of Nature Protection and Speleology) két munkatársának, Juraj Littvának és Pavel Staniknak és egy, a helyi barlangászati csoporthoz tartozó barlangásznak, akik segítségünkre voltak a barlangba történő be-, le- és feljutást illetően.

A Szlovák Tudományos Akadémia Régészeti Kutatóintézete munkatársainak, Arpáš Antonnak, Balžan Branislavnak és Ruttkay Matejnak, hogy elkészítették számunkra 2015-ben a 4,3 m magas cseppkő 3D digitális TIN modelljét.

Irodalomjegyzék

- BELLA P. – BOSÁK P. – MIKYSEK P. – LITVA J. – HERCMAN H. – PAWLAK J. (2019A): Multi-phased hypogene speleogenesis in a marginal horst structure of the Malé Karpaty Mountains, Slovakia. *International Journal of Speleology* 48(2): 203–220, <https://doi.org/10.5038/1827-806X.48.2.2265>
- BELLA P. – BOSÁK P. – LITVA J. (2019B): Hypogénny pôvod jaskyne Pec (Plavecký kras, Malé Karpaty): tektonická predispozícia a morfológické znaky. *Slovenský kras* 57 (2): 133–146, https://www.smopaj.sk/sk/documentloader.php?id=2338&filename=kras%2057%20_2%20.pdf
- BELLA P. – HERCMAN H. – KDÝR Š. – MIKYSEK P. – PRUNER P. – LITVA J. – MINÁR J. – GRADZIŃSKI M. – WRÓBLEWSKI W. – VELŠMID M. – BOSÁK P. (2022): Sulfuric acid speleogenesis and surface landform evolution along the Vienna Basin Transfer Fault: Plavecký Karst, Slovakia. *International Journal of Speleology* 51(2): 105–122, <https://doi.org/10.5038/1827-806X.51.2.2420>
- BROLLY G., KIRÁLY G., BAZSÓ T., PRIMUSZ P. (2019): Több műszerállásból készített lézerszkennelések tájékozása erdőállományok felmérése céljából. In: Király G., Facskó F. (szerk) *Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VII. Kari Tudományos Konferencia*. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron. 48-53.
- GRIBOVSZKI K. – PASKALEVA I. – KOSTOV K. – VARGA P. – NIKOLOV G. (2008): Estimating an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact speleothems in caves in southwestern Bulgaria. In A. Zaicenco, I. Craifaleanu, I. Paskaleva (Szerk.) *Harmonization of seismic hazard in Vrancea Zone with special emphasis on seismic risk reduction*. NATO Science for peace and security, series C: environmental security 287–308, Dordrecht: Springer. (Isbn: 978-1-4020-9241-1).
- GRIBOVSZKI K. – KOVÁCS K. – MÓNUS P. – SHEN C.-C. – TÖRÖK Á. – BRIMICH L. – (2013A): Estimation of an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact stalagmites and the mechanical properties of broken stalagmites in Domica cave, Slovakia. *Slovensky kras. Acta Carsologica Slovaca* 51(1): 5–14.
- GRIBOVSZKI K. – BOKELMANN G. – SZEIDOVITZ G. – VARGA P. – PASKALEVA I. – BRIMICH L. – KOVÁCS K. (2013B): Comprehensive investigation of intact, vulnerable stalagmites to estimate an upper limit on prehistoric ground acceleration. In: *Proceedings of the vienna congress on recent advanced in earthquake engineering and structural dynamics & 13. D-A- CH Tagung*, Vienna, Paper 445: p 10.

- GRIBOVSZKI K. – KOVÁCS K. – MÓNUS P. – BOKELMANN G. – KONECNY P. – LEDNICKÁ M. – MOSELEY G. – SPÖTL C. – EDWARDS R. – L. – BEDNÁRIK M. – BRIMICH L. – TÓTH L. (2017A): Estimating the upper limit of prehistoric peak ground acceleration using an in situ, intact and vulnerable stalagmite from Plavecka' priepast cave (Detrek}oizsomboly), Little Carpathians, Slovakia—first results. *Journal of Seismology* 21(5): 1111–1130, <https://doi.org/10.1007/s10950-017-9655-3>
- GRIBOVSZKI K. – KOVÁCS K. – MÓNUS P. – BOKELMANN G. – KONECNY P. – LEDNICKÁ M. – MOSELEY G. – EDWARDS R. – L. – SPÖTL C. – BEDNÁRIK M. – BRIMICH L. – TÓTH L. – HEGYMEGI E. – KEGYES-BRASSAI CS. – SZEIDOVITZ GY. (2017B): Hosszú távú földrengés-veszélyeztetettség becslése a Detrekői-zsomboly (Kis-Kárpátok, Szlovákia) sértetlen állóceppkövének vizsgálatával. *Magyar Geofizika* 58(2): 1-16.
- GRIBOVSZKI K. – ESTERHAZY S. – BOKELMANN G. (2018): Numerical modeling of stalagmite vibrations. *Pure and Applied Geophysics* 175: 4501–4514, <http://link.springer.com/article/10.1007/s00024-018-1952-4>
- GRIBOVSZKI K. – SZALAI S. – MÓNUS P. – KOVÁCS K. – BOKELMANN G. (2020): Constraints on long-term seismic hazard from vulnerable stalagmites for the surroundings of Katerloch cave, Austria. *Geosciences and Engineering* 8(13): 96–107.
- PASKALEVA I. – SZEIDOVITZ G. – KOSTOV K. – KOLEVA G. – NIKOLOV G. – GRIBOVSZKI K. – CZIFRA T. (2006): Calculating the peak ground horizontal acceleration generated by paleoearthquakes from failure tensile stress of speleothems. In G. F. Panza (Szerk.), In: *Proceedings of the international conference on civil engineering design and construction*, Varna, Bulgaria 281–286.
- PASKALEVA I. – GRIBOVSZKI K. – KOSTOV K. – VARGA P. – NIKOLOV G. (2008): Assessment of the peak ground acceleration using in-situ tests of intact speleothems in caves situated in NW and SW Bulgaria. In: *Civil Engineering Design and Construction. Proceedings of the International Conference Varna, Bulgaria. Varna, Bulgária, 2008.09.12-2008.09.14.*, 249-263.
- SZEIDOVITZ GY. – LEÉL-ŐSSY SZ. – SURÁNYI G. – CZIFRA T. – GRIBOVSZKI K. (2005): Paleorengések által gerjesztett maximális horizontális gyorsulásamplitúdók számítása cseppkövek törőszilárdságának ismeretében, *Magyar Geofizika* 46: 91-101.
- SZEIDOVITZ GY. – PASKALEVA I. – GRIBOVSZKI K. – KOSTOV K. – SURÁNYI G. – VARGA Z. (2008A): Estimation of an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact speleothems in caves situated at the western part of Balkan Mountain Range. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* 43: 249–266.
- SZEIDOVITZ GY. – SURÁNYI G. – GRIBOVSZKI K. – BUS Z. – LEÉL-ŐSSY SZ. – VARGA Z. (2008B): Estimation of an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact speleothems in Hungarian caves. *Journal of Seismology* 12: 21–33.
- VIRÁG M. (2016): történeti áttekintés a budai barlangok keletkezéséről – a klasszikus karsztfelődéstől a hipogén barlangképződésig. *Karszt és Barlang* 2012–14: 24–46.
- ZEMBATY Z. – BOŃKOWSKI P. – JAWORSKI M. – GRIBOVSZKI K. (2022): Seismic Vulnerability of a Slender Stalagmite – Dataset. *Mendeley Data*, V1, doi: 10.17632/8bzd3vcsv.1
- ZEMBATY Z. – BOŃKOWSKI P. – JAWORSKI M. – GRIBOVSZKI K. (2023): Seismic Vulnerability of a Slender Stalagmite. *Journal of Earthquake Engineering* 27(4): 878-897, doi: 10.1080/13632469.2022.2033356
- TÓTH L. – MÓNUS P. – ZSÍROS T. – BONDÁR I. – BUS Z. – KOSZTYU Z. – KISZELY M. – WÉBER Z. – CZIFRA T. (1996-2014): *Hungarian Earthquake Bulletin, 1995-2014*, Mta Ggki és Georisk Kft, Budapest.
- ZSÍROS T. (2000): The seismicity and earthquake hazard of the Pannonian basin: Hungarian Earthquake Catalog (456-1995, in Hungarian), MTA GGKI Szeizmológiai Observatórium, 482.
- CLOUDCOMPARE SZOFTVER, Internetes hivatkozás, Megtalálható: <https://en.wikipedia.org/wiki/CloudCompare> Utolsó felkeresés: 2023.11.02.