

Kutatási zárójelentés
A Létrási-Vizes-barlangban (5372-2, Miskolc)
2021 és 2022 évben lebonyolított üledékmintavételek és
a laborvizsgálat eredményeiről

Készítette: Kovács Zsolt

2023. február 15.

Összefoglalás

Általános adatok

Barlang neve: Létrási-Vizes-barlang

Kataszteri száma: 5372-2, Miskolc

A kutatással érintett barlangszakasz(ok): Vértes-ág Y-ág nevű mellékága

A kutatási engedély jogosultja: Kovács Zsolt

Kutatási engedély kibocsátója, száma: BNPI 2210/3/2021

Kutatási engedély lejárata: 2022. december 31.

Módosító engedély(ek) száma (ha van): —

Jelentés időszaka: 2021. január 1. – december 31.

Kutatásvezető: Kovács Zsolt

Kutatásvezető-helyettes: Dr. Horváth Zoltán

A barlang hossza és vertikális kiterjedése a kutatás megkezdésekor (a jelentési időszakra vonatkoztatva): 3757 méter, mélysége/magassága: -59, +15 méter

A jelentés lezárásának időpontja: 2023. február 15.

A jelentést összeállította: Kovács Zsolt okl. geológus-mérnök

Mintavétel dátuma: 2021. július 17., 13.00-18.00

Részvevők: Kovács Zsolt kutatásvezető, geológus, Dr. Horváth Zoltán kutatásvezető helyettes, talajtani szakértő, és 3 fő mintavételezési segítő.

A kutatási célok és eredmények rövid összefoglalása

Alapvető célunk a barlang Y-ága kutatógödrének két rétegéből üledékminta vétel, majd ezek laboratóriumban végzett optikailag stimulált lumineszcencia (OSL) vizsgálata alapján az üledékek korának meghatározása.

A mintavételezést 2021 július 17.-én elvégeztük, a mintákat a barlangból kiszállítottuk. Az üledékgyűjtő gödrot természetes állapotában hagytuk. A mintákat az akkori Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat Földtani és Laboratóriumi Osztályára (2022. január 1. óta Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Földtani Igazgatósága) szállítottuk, és a további vizsgálatot végző kutatók számára átadtuk.

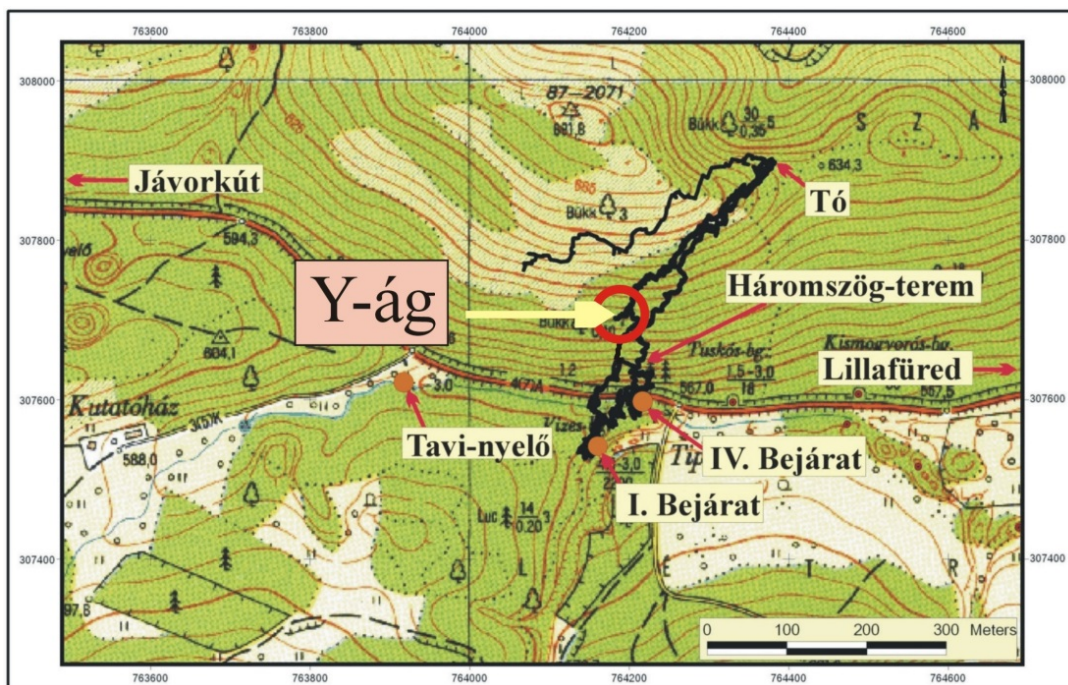
A laboratórium munkatársai meghatározták a minták százalékos kvarc tartalmát, majd a kvarcokat szeparálták, és elvégezték a lumineszcencia mérést. A laboratórium kutatója szóbeli közlése szerint a kvarcok mérése nem adott megbízható eredményt, mivel a szemcsék a mérés szempontjából telítettek, a kvarcok vizsgálata alapján meghatározható kornál idősebb korra utalnak. Ezért 2022 év első felében a minták földpát tartalmát is szeparálták, és ezeken is elvégezték a kormeghatározást lehetővé tevő méréseket. A földpáton végzett mérési adatok alapján hosszabb, néhány százezer éves időtartamon belüli kor is mérhető.

A földpátokon végzett mérések eredményeinek kiértékelése azt a meglepő eredményt adta, hogy az Y-ági rétegsor felsőbb rétegeiből vett minták kora idősebb, mint az alatta 30 cm-rel lejjebb lévő rétegből vett minta kora. A felső minták OSL kora 50,7-52,0 ezer év, míg az alsó mintáé 12,6 ezer évnek adódott.

Az alsó üledékminta fiatalabb kora arra utal, hogy a mintavételi rétegsorban egymásra települő üledékes rétegek anyaga a barlangon belül is áthalmozódott, majd az Y-ágban a rétegsorban lejjebb a relatíve fiatalabb, felül az idősebb (a barlangba hamarabb bekerült) törmelékanyag rakódott le. A ma már inaktív felső szintű (fosszilis) patakmederben 12 ezer éve legalább időszakosan, de még jelentős üledékmozgathoz szükséges energiájú és sebességű vízfolyás folyt.

Bevezetés, kutatási terv

A kutatás célja a Létrási-Vizes-barlang felső szinti, fosszilis üledékes kitöltése korának meghatározása, ennek érdekében 5,5 kg homok üledékminta-vétel a barlang Vértés-ágának oldalágából, az Y-ágból (1. ábra).

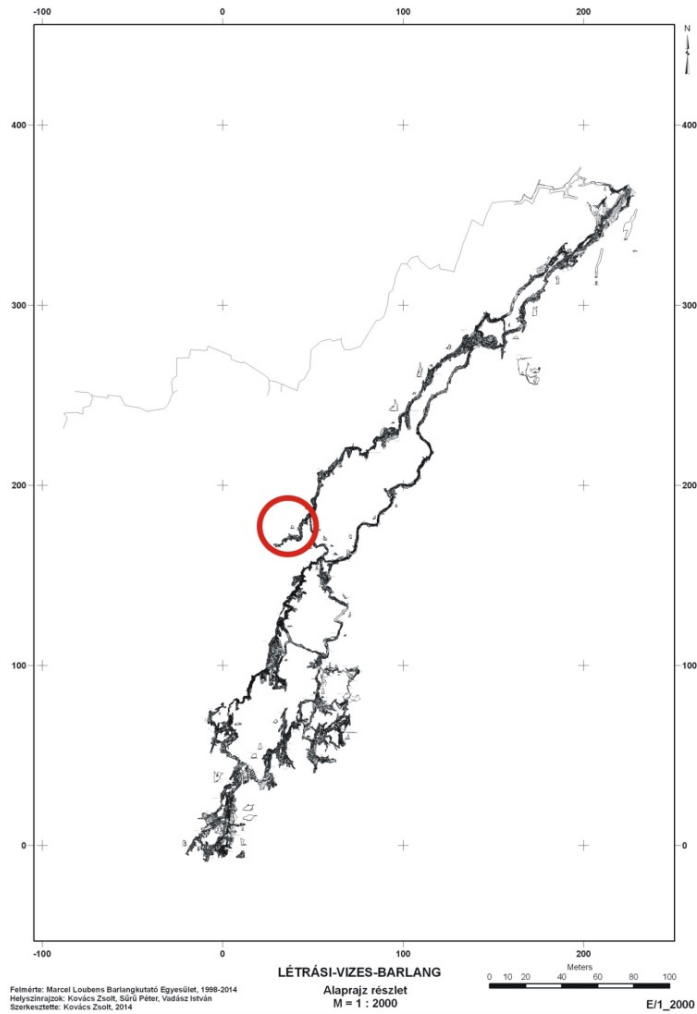


1. ábra. Az Y-ág helyzete a terület topográfiai térképén

A Létrási-Vizes-barlang (2. ábra) részletes, dokumentált feltáró kutatása 1950-ben kezdődött, s napjainkig miskolci barlangkutatók 3800 méternyi járatot ismertek és térképeztek fel itt. A barlangban számos földtani, biológiai, klimatológia, radiológiai tudományos kutatás zajlott, beleértve a járatokat részben kitöltő laza üledékes kőzetek, fosszilis és recens pataküledékek rétegtani, litológiai vizsgálatait is. Az eredmények jól dokumentáltak, publikációkban, értekezésekben elérhetők. A barlang alsó szintjén időszakosan aktív patak folyik, amely jelenleg is hord be és rak le agyagos, törmelékes üledékeket az aktív patakmeder különböző részein. A barlang belső részén, az aktív patakmeder szintje fölött mintegy 11 méterrel, hosszan húzódik egy enyhén lejtő, fosszilis patakmeder, amelyben 0,5-2 méter vastag agyagos-homokos üledékkitöltés rakódott le a negyedidőszak valamely szakasza során. Arra, hogy ez az egykori barlangi patak mikor volt aktív, nincs szakmailag mérésrel alátámasztott információnk.

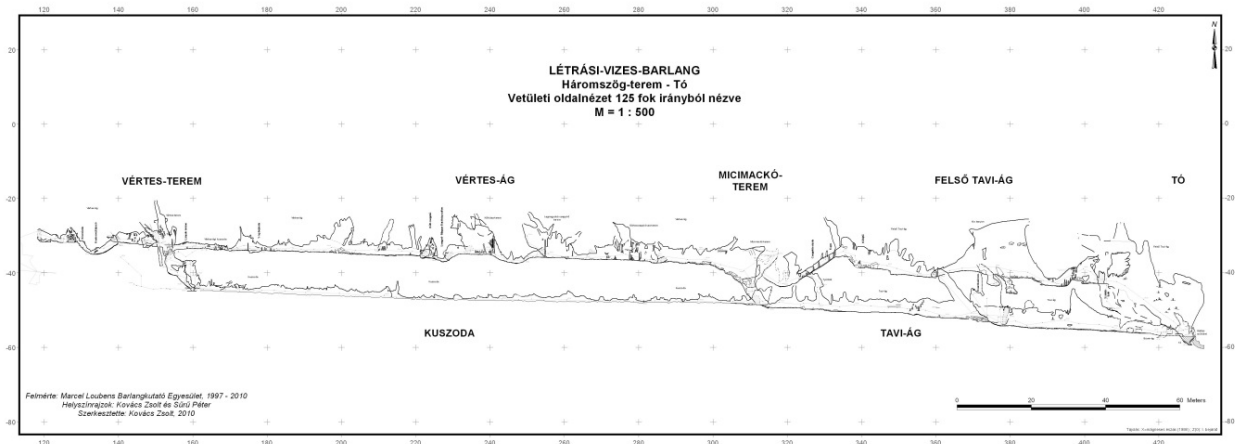
Manapság már számos kormeghatározási módszer ismeretes, melyek közül az egyik legalkalmasabb lehet az optikailag stimulált lumineszcencia (OSL). A módszerrel a barlangban jelenlévő homok és kőzetliszt frakcióba tartozó kvarc és földpát szemcsék lerakódási ideje határozható meg, abban az esetben, ha a vizsgált üledékszemcséket felszíni szállítódási idejük alatt elegendő ideig érte napsugárzás. A vizsgált szemcsék tehát azt a kort fogják jelezni, amikor az adott szemcsepopuláció a barlangba bekerült.

A mintavételi hely, a Létrási-Vizes-barlang Y-ága, a barlangnak egy olyan helye, ahol egykor barlangi patak folyt. Az itt lerakódott üledékes rétegsor alaposan vizsgált, a Karszt és Barlang folyóirat 1991. évi számában megjelent publikációban is bemutatottan kőzetrétegtani, szemcseösszetételi szempontból jól jellemzett (KOVÁCS 1993), a helyszínválasztást tehát ezek a szempontok indokolták.



2. ábra. Az Y-ági mintavételi hely elhelyezkedése a barlang átnézetes térképén

Számos szakcikkből ismert, hogy a Bükk hegység közettömege a környezetéhez képest mintegy 4 millió éve emelkedik, és ez az emelkedés a pleisztocén kor alatt is folyamatos volt. A vizsgálat eredménye támpontot adhat arra, hogy a vizsgált barlangot befoglaló kőzetegység mennyi idő alatt emelkedett olyan mértékben, mint az alsó és a felső patakmeder szintje között távolság, jelen esetben mintegy 11 méter (3. ábra).



3. ábra. A barlang Y-ág környéki részének oldalnézete az aktív és a fosszilis főággal

Amennyiben ez a kormeghatározási kísérlet eredményre vezet, lehetőséget nyújt a bükkfennsíki barlangok és a felszíni karsztos egység fejlődéstörténetének további árnyalt értelmezésére. Fontos szempont, hogy a mintavétel a barlangban nagy mennyiségben felhalmozódott törmelékes üledékből történik, nincs tehát szükség természeti érték szempontjából értékes cseppkőképződmény vagy morfológiai forma eltávolítására.

Az OSL vizsgálathoz a kiválasztott üledékes rétegből egy mintakollekció kialakításához három, egyenként 20x5 cm-es, speciálisan erre a célra szolgáló hengerbe vettünk mintát, ez mintavevő edényenként 1,5 kg mintát jelent. Ezen felül a mintavételi rétegből külön 1 kg-nyi mintát is vettünk. A mintavételezést piros fényű led lámpa világítás mellett kellett elvégezni.

A kvarc lumineszcens mérést a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Geokémiai laboratóriumában végezték el az intézmény munkatársai, állami akkreditált projekt részeként, annak költségvetési keretéből.

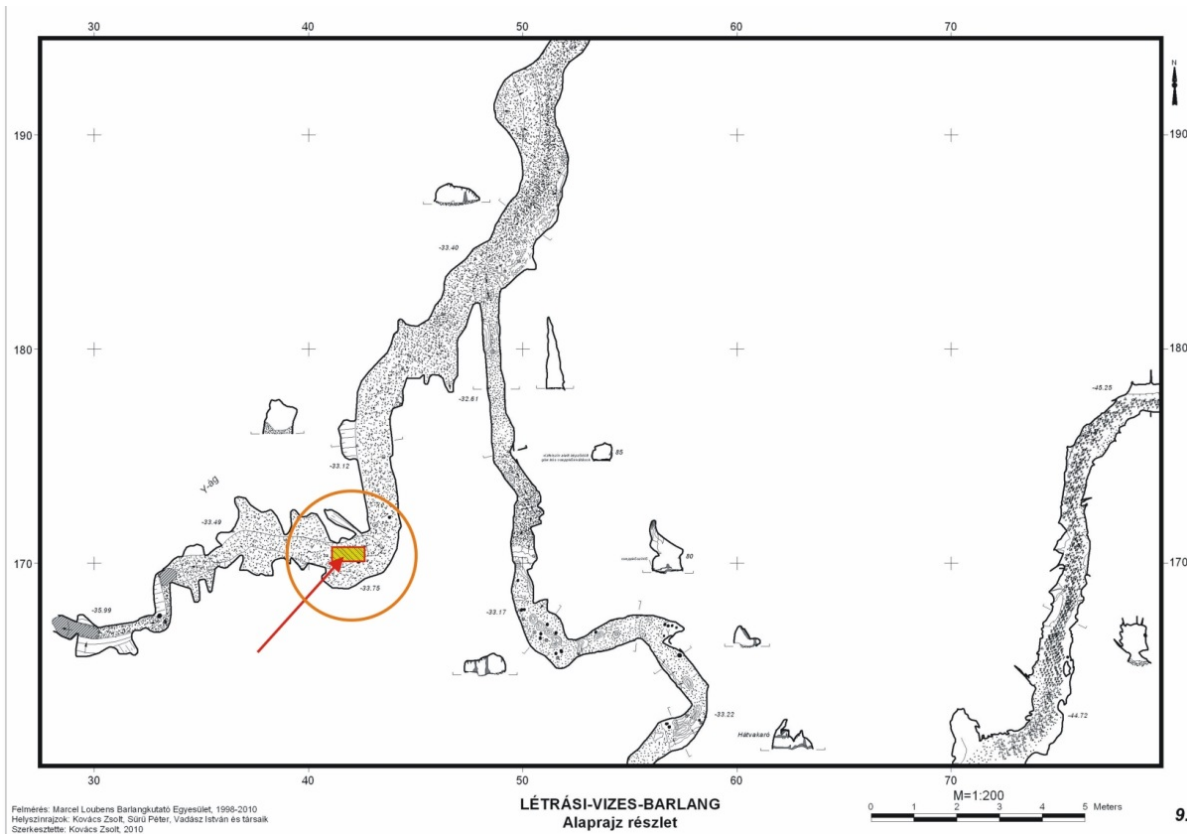
Helyszín

A mintavétel helyszíne a Létrási-Vizes-barlang Vértes-ágának bal oldali oldalága (4. ábra). A Vértes-ágot tekinthetjük a barlang felső, fosszilis járatrendszerének főágának, amely a barlang jelenleg ismert mélypontja, a Tó felé vezet. Genetikai szempontból a barlang fosszilis főága az Y-ág–Vértes-ág–Felső-tavi-ág. Az egykori felszín, és az Y-ág mai végpontja közötti szakasz nincs feltárva, máig ismeretlen, és az egykori felszíni víznyelési pontot sem ismerjük. Az ismeretlen járatrész feltárására az elmúlt évek során több próbálkozás is történt. Az 1980-as években kb. 10 méternyi új szakaszt találtak a kutatók, a jelenlegi végpontot vizes, agyagos eltömődés zárja el.

A végponti eltömődésből, és az ehhez vezető szűk járatrészből a kitermelt patakhordalékot az Y-ág ágban a fal mellé deponálták, így az most is ott van. Az Y-ági kutatógödörből kitermelt anyag részben lett visszatöltve a gödörbe.

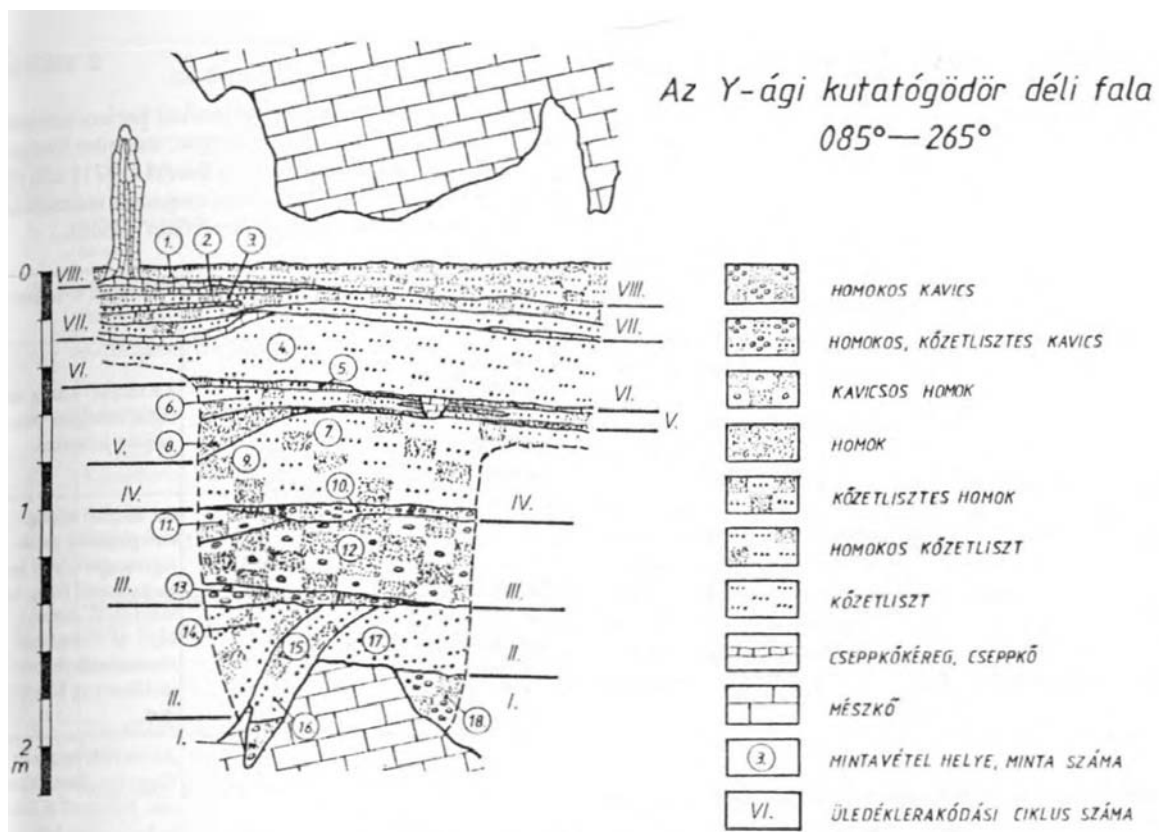
A kutatógödör falának rétegsorát a csatolt 5. ábra mutatja, reprezentálva a járatrész üledékkitöltését. A kitöltés jellemzői a hivatkozott publikációban kerültek bemutatásra, kivéve a 0,2-0,32 mm-es frakcióból származó, nehézasvány szeparálás után a vizsgálómikroszkópon keresztül készített fényképfelvételeket, amelyekből érdekességképpen itt is bemutatunk öt fotót (6.-10. ábra).

Az OSL vizsgálatra szánt mintákat a letisztított üledékfalból vettük.

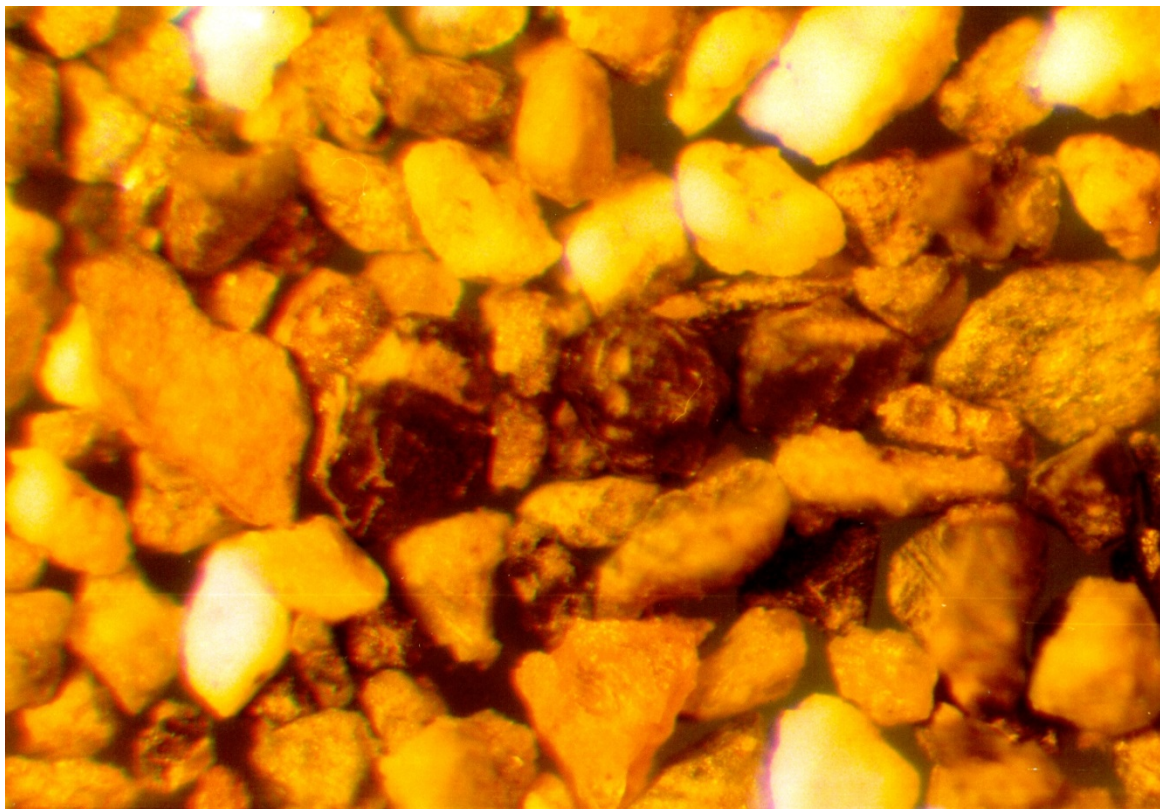


9.

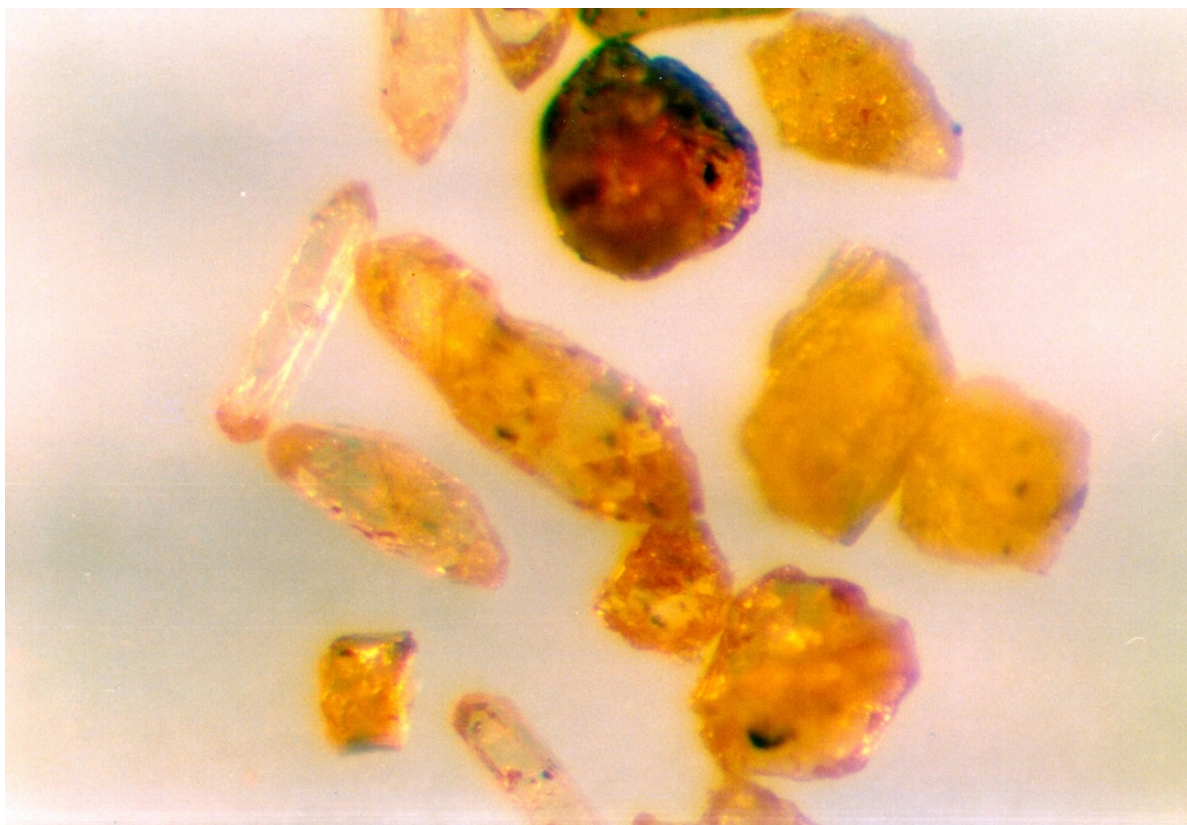
4. ábra. A mintavételi hely az Y-ágban



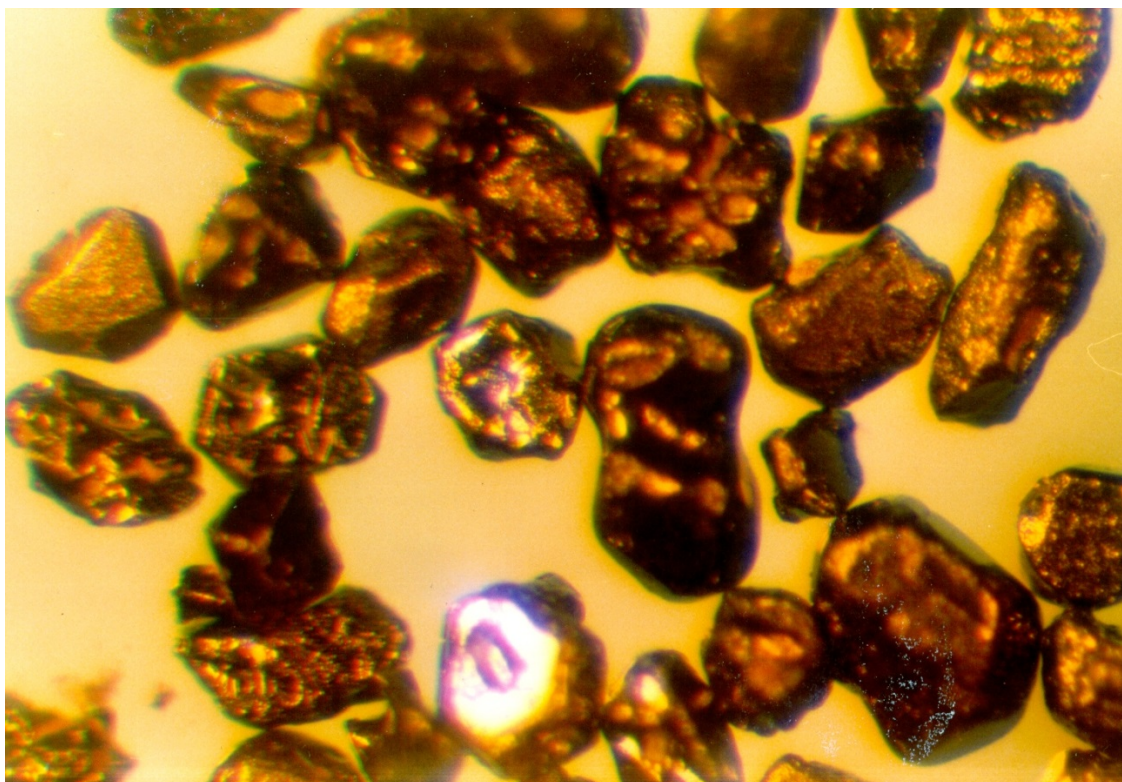
5. ábra. A kutatógödör üledékkitöltése



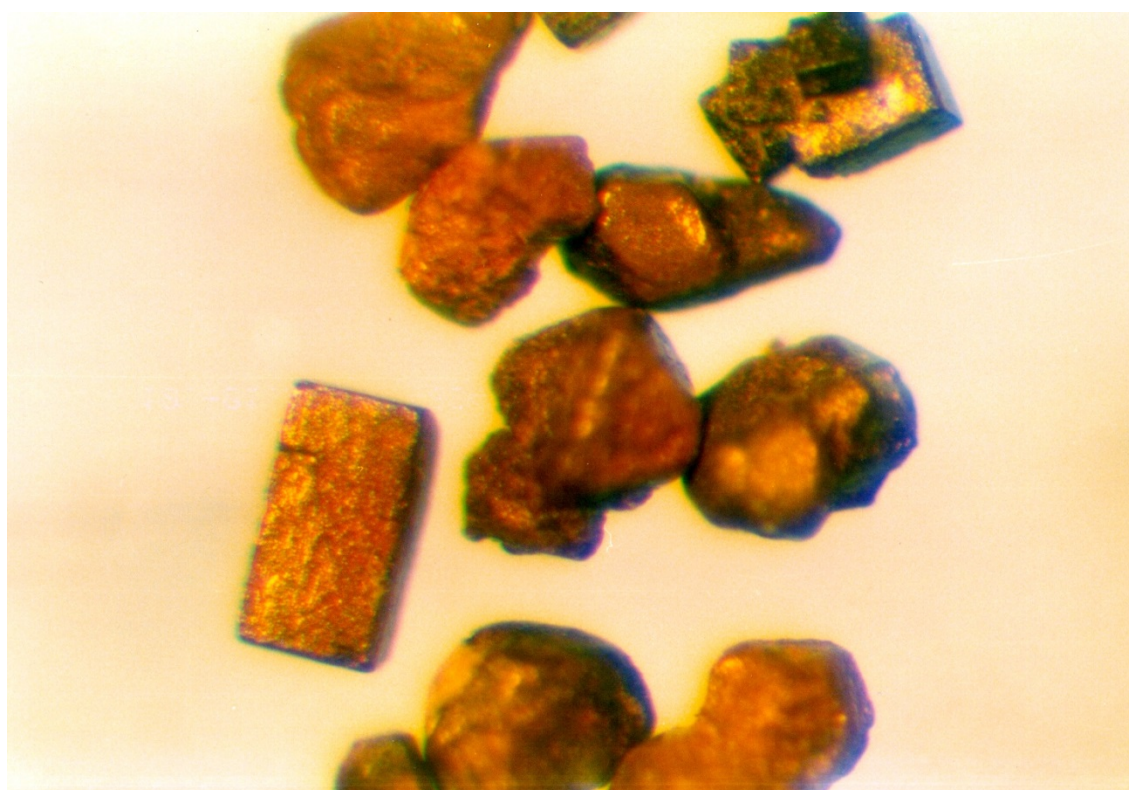
6. ábra. Az Y-ági rétegsor mintájából szeparált nehézásvány frakció vegyes ásvány és kőzettöredék szemcséi



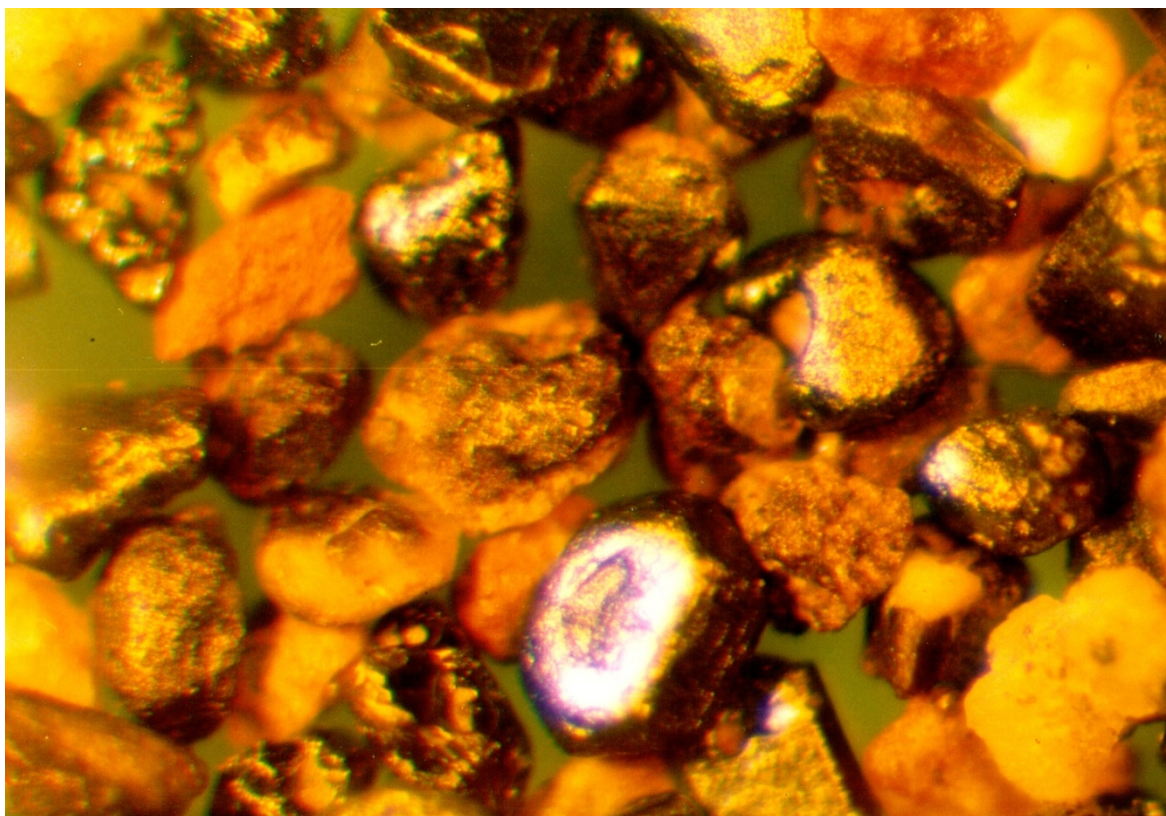
7. ábra. Néhány cirkon kristály a törmelékből



8. ábra. Korrodált vasásványok (hematit?)



9. Limonit pszeudomorfózák pirit, magnetit? után

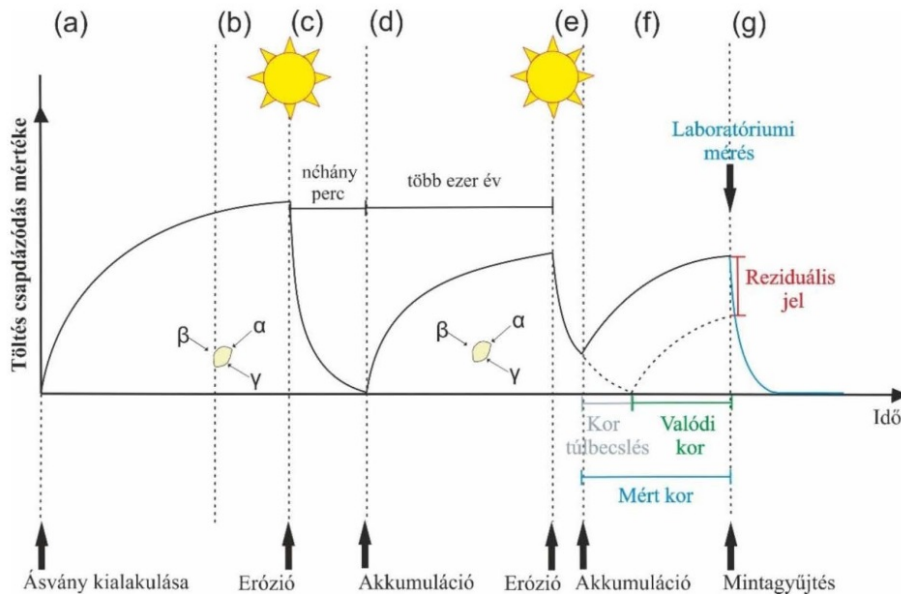


10. ábra. Részben horzsás közettöredékbe ágyazott hematitok

A laboratóriumi vizsgálati módszer

A minták vizsgálata laboratóriumi körülmények között, optikai lumineszcens (OSL) módszerrel történik. Az OSL korok kiszámításához szükséges dózis teljesítmény értékek meghatározásához gamma-spektrometriai mérések szükségesek. A lumineszcens mérésekhez Rise TL/OSL műszert használnak.

A lumineszcens kormeghatározás általában kvarc és földpát ásványokon történik, mivel nagy mennyiségben vannak jelen az üledékekben és szinte bárhol megtalálhatóak a Földön. Ezek a szemcsék félvezető tulajdonságaiknak köszönhetően doziméterként funkcionálnak.



11. ábra. A csapódott töltések mennyiségének alakulása többszöri üledékképződés során. a) töltés felhalmozódás b) telítődés, c) teljes kioltódás az üledékképződés során, c) töltés felhalmozódás mérhető szintig, d) részleges kioltódás az üledékképződés során, e) reziduális szinthez hozzáadódó töltés felhalmozódás, f) OSL mérés.

A kormeghatározás során a lumineszcens óra kezdő időpontját üledékek esetében az utolsó napfényre kerülés ideje adja. A lerakódást követően a kvarc, illetve földpát szemcsék kristályrácsában az őket ért ionizáló sugárzás hatására megindul a töltések csapódása, azaz a lumineszcens jel felépülése (11. ábra a, d). Újabb fény-, vagy hőhatás esetén (üledékszállítás során például napfényre kerülnek a szemcsék) ezek a jelek kioltódnak és újraindulhat a lumineszcens óra (11. ábra c, e). Folyóvízi üledékek esetében ugyanakkor jellemző, hogy a szállítódás közben nem éri őket elegendő ideig napfény, így a szemcsékben ún. reziduális töltések őrződhetnek meg, amely a laboratóriumi mérések során a kortúlbecslését eredményezi (11. ábra d, e). Sok esetben a töltések csapódása néhány tíz-, illetve százezer év után leáll, telítődés következik be.

A laboratóriumban az eltemetődés óta csapódott töltések mesterséges kiszabadítása során keletkező lumineszcens fényjelenség intenzitásának mérése történik; minél több jel detektálható, annál régebb óta nem érte fény, vagy hő a szemcséket, tehát annál idősebb kort kapunk.

A lumineszcens intenzitás mérésével gyakorlatilag az eltemetődés óta elnyelt radioaktív dózis nagysága határozható meg. A paleodózist, azaz a ténylegesen elnyelt dózist direkt módon nem lehet megmérni, így a laboratóriumban az ún. egyenértékű dózist határozzák meg, összefüggést keresve a mesterségesen besugárzott laboratóriumi dózisok és az arra adott

lumineszcens válaszok között. Az elnyelt dózis mennyiségét Grayben (Gy) adják meg, amely 1 Joule/kg energiával egyenértékű. A dózisteljesítményt és így a lumineszcens jelek felhalmozódásának ütemét leginkább a mintát érő α -, β - és γ - sugárzás intenzitása, ezáltal a minta és a befogadó környezet radioaktív elemtartalma határozza meg. A kettő hányadosaként megadható az üledék kora ezer évben (ka) számítva (Tóth 2019).

A megvalósult barlangi mintavételezés körülményei, eredménye

Az üledék mintavételre 2021. július 17-én került sor, 5 fő részvételével. Az Y-ági mintavételi helyet elérve azt tapasztaltuk, hogy a gödör — innen vettünk mintákat szemcseméret eloszlás vizsgálatára 1986-ban — korábbi információink ellenére nincs visszatöltve, csupán az aljára pergett be 20-30 cm laza agyagos-homokos törmelék (12 ábra). A feltárást megszemlélve úgy döntöttünk, hogy a gödör keleti falából vesszük a mintákat.



12. ábra. A kutatógödör letisztított keleti fala a mintavételezés előtt

Mintavételre az 5. ábrán látható rétegsor 9-es, és 12-es számmal jelölt közetlisztes homok rétegéből vettünk mintákat, a mintavevő csövekbe a felsőből kettőt, az alsóból egyet (13., 14. ábra). Mintavétel előtt a mintavételi helyeken a gödör falát letisztítottuk, majd falappal védve a csővégeket, a csöveket a rétegsorba bekalapáltuk. Mintavétel előtt a csövek egyik vége fóliával le lett ragasztva. Mintavétel után a nyitott csővéget is leragasztottuk. A

mintavételezés gyenge, nem a rétegsorra irányuló háttérfényben történt, így kerülve a minták „fényszennyezését”. A csöveket „felső” és „alsó” megjelöléssel láttuk el, hogy később azonosítani lehessen, melyik rétegből származó üledéket tartalmaz.

A mintázási helyek közvetlen közeléből nedvességtartalom meghatározására további három, egyenként kb. 1 dl-nyi mintát vettünk, szabványos kisméretű, jól záródó üvegekbe. Ezen kívül kisméretű nylonzacskókba vettünk darabonként kb. 1/2 kg-nyi üledékmintát az egyes mintázási helyek közvetlen közeléből. Ezek a minták kvarc- és földpáttartalmának előzetes vizsgálatára szolgálnak.

A mintavétel után a mintákat gondosan elcsomagoltuk, vastag, sötét műanyag zsákba tettük, és kiszállításra előkészítettük. A laboratóriumi vizsgálat kezdetéig a minták a fényvédő csomagolásban voltak.

A mintavételi gödröt a 15. ábrán látható állapotban hagytuk. Felvetődött a munkahely visszatemetése, de végül ezt elhagytuk, lehetőséget biztosítva így a további megtekinthetőség, és az esetleges további mintavétel lehetőségét.

További mintavételezés az elmúlt évben nem történt. A mintavételi túra során a barlangban a szokásostól eltérő jelenséget, változást nem tapasztaltunk. A mintavételi helyen semmilyen eszközt, hulladékot nem hagytunk, a rétegsort eredeti állapotában hagytuk.



13. ábra. Az első üledékgyűjtő cső beütése a rétegsorra, falapkával védve a mintavevő csövet



14. ábra. A még nem teljesen beütött mintavevő csövek a rétegsorban



15. ábra. A kutatógödör a mintavételezés után

A laboratóriumi vizsgálat eredményei 2021-ben

A 2021-ben végzett laboratóriumi vizsgálatról azt a szóbeli információt kaptuk, hogy a mintákból a kvarcok szeparálása megtörtént, ami egyúttal azt is jelenti, hogy az üledék a kormeghatározáshoz elegendő mennyiségű kvarcsemcséket tartalmazott.

A kvarcokon a lumineszcens vizsgálatot elvégezték, és a mérések azt mutatták, hogy a kvarcsemcsékben a töltések csapdázódása leállt, azaz telítődés következett be, így az utolsó napfényre kerülés időtartama nem becsülhető pontosan. Sok esetben történik, hogy a töltések csapdázódása néhány tízezer év után leáll, ekkor a telítődés óta eltelt időt nem tudják a kvarcokon mérni.

A fentiek miatt a laboratóriumban úgy döntöttek, hogy a földpát szemcséket is szeparálják a mintákból, és ezeken is elvégzik a lumineszcens mérést. Mivel a földpátok hosszabb idő (akár néhány százezer év) után telítődnek, így hosszabb időtartamra vonatkozóan képesek koradatot kimutatni.

A laboratóriumi vizsgálat eredményei 2022-ben

A minták földpát ásványainak szeparálása és OSL laborvizsgálata 2022-ben történt meg. A minták előkészítésének folyamatát, a lumineszcens méréseket és eredményeit, a dózisiráta és a lumineszcens korok megállapítását a csatolt laboratóriumi vizsgálati jegyzőkönyv (1. melléklet) tartalmazza. A kormeghatározásban Thamóné Bozsó Edit, Fűri Judit, Bátor Miklósné, Vígh Csaba, illetve a gammaspektrometria tekintetében alvállalkozóként Surányi Gergely működött közre.

A földpátokon végzett mérések eredményeinek kiértékelése azt a meglepő eredményt adta, hogy az Y-ági rétegsor felsőbb rétegeiből vett minták kora idősebb, mint az alatta 30 cm-rel lejjebb lévő rétegből vett minta kora. A felső minták OSL kora 50,7-52,0 ezer év, míg az alsó mintáé 12,6 ezer évnek adódott.

Az alsó üledékminta fiatalabb kora arra utal, hogy a mintavételi rétegsorban egymásra települő üledékes rétegek anyaga a barlangon belül is áthalmozódott, majd az Y-ágban a rétegsorban lejjebb a relatíve fiatalabb, felül az idősebb (a barlangba hamarabb bekerült) törmelékanyag rakódott le. A ma már inaktív felső szintű (fosszilis) patakmederben 12 ezer éve legalább időszakosan, de még jelentős üledékmozgathoz szükséges energiájú és sebességű vízfolyás folyt.

Meg kell jegyezni, hogy az Y-ág, bár barlangföldrajzi szempontból a Vértes-ág egy jelentéktelen és szűk oldalágának tűnik, valójában az Y-ág–Vértes-ág–Felső Tavi-ág–Tó szakasz vízföldtani szempontból a Létrási-Vizes-barlang fosszilis főága, melynek aktív vízfolyásos alsó járata a Tavi-nyelő vizét a Tóba vezető Búvár-ág. Az Y-ág végpontja és az egykori felszíni nyelési pont közötti szakasz nincs feltárva, a fosszilis nyelő pontos helyét sem ismerjük, feltehetően a mai aktív Tavi-nyelő közelében lehetett, és nagy valószínűséggel a Jávorkút felé vezető műút kiépítésekor feltöltötték, és lebitumenezték.

Az Y-ág maga egy mély, és laza törmelékes, agyagos üledékes kőzetekkel feltöltött fosszilis barlangi szifon kivezető szakasza, amelyben a bevezető szakaszokra jellemző agyaggal szemben inkább az apró kavicsos homok és a kőzetliszt frakció dominál. Barlangi árvizekkor, amikor a barlangi patak hozama, és evvel párhuzamosan a hordalékszállító kapacitása is megemelkedik, a korábban lerakódott üledéksor egy részét leerodálhatja és tovább szállítja, és egy távolabbi helyen rakja le. Így fordulhat elő, hogy a rétegsorban relatíve lejjebb lévő, fiatalabb korú rétegre egy idősebb, de később áthalmozott réteg települ.

Az Y-ágban két külön rétegből vett mintából a teljes folyamat nem rekonstruálható, a kapott koradatokat is bizonytalansággal terheltként kell értékelni. A bizonytalanság forrása is többrejtű, egyrészt a mérési módszer és a kapott adatok értelmezése miatt, másrészt a felszíni lepusztulási, szállítási és a barlangi szállítási és ülepedési törvényszerűségek miatt.

Feltétlenül szem előtt kell tartani, hogy az üledékből származó kor elvileg azt az időt jelzi, amikor az üledék a barlangba (sötétbe) bekerült. Kérdéses, hogy a szeparált kvarcok és földpátok a mezozoos alaphegység, miocén felszíni üledékroncsok, vagy pleisztocén fedőüledékek lepusztulási anyaga-e, illetve az alap üledékből kijutva érte-e elég napfény ahhoz, hogy a szemcsékben felhalmozódott töltések kiszabaduljanak, „lenullázódjanak”.

A kapott eredmények fontos adalékot jelentenek a barlang fejlődéstörténete, illetve a hegység rész emelkedéstörténete szempontjából, azonban egy teljes kép kialakításához nem elégségesek.

Hivatkozások:

- Kovács Zs. (1992): Törmelékes üledékrétegsor vizsgálat a Létási-Vizes-barlang Y-ágában. – Karszt és Barlang, 1991. évf. I–II. füzet, p. 25-34., Budapest
http://epa.oszk.hu/02900/02993/00047/pdf/EPA02993_karszt_es_barlang_1991_1-2_025-034.pdf

Tóth O. 2019: Folyóvízi folyamatok vizsgálata OSL kormeghatározás segítségével a Duna magyarországi szakasza mentén. – Doktori (Ph.D) értekezés, Szegedi Tudományegyetem, <http://doktori.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/10110/>

2023. február 15.



Kovács Zsolt
okl. geológus-mérnök, kutatásvezető

1. Melléklet: Laboratóriumi vizsgálati jegyzőkönyv

Bevezetés

A Bükki Nemzeti Park területén található Létrási-Vizes-barlang Vértes-ágának oldalágából, az Y-ág üledékeiből három minta került lumineszcens kormeghatározásra. A minták főbb jellemzőit és helyzetét az 1. táblázat és az 1. ábra mutatja.

1. táblázat: A minták kőzetanyaga és mélysége.

minta	labor-szám	mélység (m)	üledékanyag	x EOY	y EOY	z (m)
LVY-F1	184.1.	~87	homokos kőzetliszt	307700	764200	~610
LVY-F2	184.2.	~87	homokos kőzetliszt			
LVY-A1	184.3.	~87,3	kőzetlisztes homok			



1. ábra: A minták elhelyezkedése a barlang falán (Kovács 2022)

1. Minta-előkészítés

A lumineszcens mérésekhez a minták előkészítése elsötétített laborban, gyenge vörös fény mellett történt. A mintákból a vizsgálatra szánt 0,1–0,2 mm-es szemcsefrakciót szitálással különítettük el, a szerves anyagot hidrogén-peroxiddal (20% H₂O₂), a karbonátokat sósavval (10% HCl) távolítottuk el (Aitken, 1985, 1998). Ezután a kvarcdús részleg elkülönítése történt 60 perc időtartamú hidrogén-fluoridos (40% HF) kezelés alkalmazá-

sával, amely a kvarc mellett még előforduló földpátok elbontására és a kvarc szemcsék kb. 10 µm vastag felszíni rétegének lemaratására is szolgált. Majd az esetleg kivált fluoridok eltávolítása céljából sósavas (10% HCl) kezelés következett. Ezután többszöri, vízzel történő átöblítéssel, és a keletkezett finomfrakció eltávolításához 0,1 mm-es szitán való átmosással zárult a kvarc frakció előkészítése. A mintákból csak igen kis mennyiségű kvarcot sikerült szeparálni, és a lumineszcens mérések eredményei szerint a minták kvarc frakciója nem volt megfelelő a pontos kor meghatározására, ezért a K-földpát is elkülönítésre került. Ehhez a már említett hidrogén-peroxiddal és sósavval kezelt szemcsék tisztítását Na-oxaláttal (0,01N C₂Na₂O₄) végeztük. Ezután desztillált vizes lemosás következett, majd nátrium-poliwolframát (Na₆[H₂W₁₂O₄₀]H₂O) vizes oldatából álló 2,58 g/cm³ sűrűségű nehézfolyadék segítségével elkülönítettük a könnyűfrakcióba kerülő K-földpátokat. Végül többszöri, desztillált vizes lemosással zárult a minták előkészítése.

A lumineszcens mérésekhez a kvarc, illetve a földpát szemcséket 10 mm átmérőjű rozsdamentes acél mintatartó korongok (diszkek) közepére rögzítettük szilikonolaj segítségével 5 mm átmérőjű, kör alakú területre, úgy hogy a szemcsék egy szemcsevastagságú réteget alkossanak.

2. Lumineszcens mérések és eredmények

A lumineszcens mérések RISØ TL/OSL DA-20 típusú, β sugárzást kibocsátó ⁹⁰Sr/⁹⁰Y sugárforrással felszerelt lumineszcens mérőberendezésen (Botter-Jensen et al. 2002) történtek.

A kvarc lumineszcenciájának gerjesztéséhez kék fényű (λ=470±20 nm-es), a földpát gerjesztéséhez infravörös (λ=870±40 nm-es) megvilágítást használtunk 28-28 db LED segítségével. A lumineszcens fényt fotoelektron-sokszorozó (PM cső, bialkali EMI 9235QB PMT) detektálta a kvarc mérése során a PM cső elé beiktatott Hoya U-340 filter, a földpát mérésekor Schott BG39 és Coring 7-59 filterek alkalmazásával. A beütések számát sokcsatornás analízátor rögzítette a kvarc lumineszcens mérése során 40, a földpát esetében 200 másodpercen keresztül.

A kvarc frakción végzett lumineszcens mérések a single aliquot regenerative dose (SAR-OSL) protokoll szerint történtek Wintle & Murray (2006) nyomán, melynek lépéseit a 2. táblázat mutatja. (További részletek: Thamóné Bozsó & Nagy 2011.) A kvarc SAR-OSL szignáljainak kiértékelése során az ún. korai háttér kivonási módszert (early-background subtraction method, Cunningham & Wallinga 2010) alkalmaztuk, melynek során az OSL szignál kezdeti 0.8 s részének integráljából a 0.8 és 1.6 s közötti rész integrálja került kivonásra. Ezzel a módszerrel a gyors (gyorsan lecsengő) OSL komponensre alapozható a kiértékelés, a közepes és a lassú OSL komponensek mellőzésével.

A K-földpát szeparátumok lumineszcens mérését a post-IR IRSL (290 °C) protokoll szerint végeztük (post-IR IRSL₂₉₀, Thiel et al. 2012) a 3. táblázatban felsorolt lépésekkel. Az IRSL szignálok kiértékelése az ún. késői háttér kivonási módszerrel történt, úgy, hogy a szignál kezdeti 2 s részének integráljából az utolsó 40 s integrálja került kivonásra.

A mérési eredmények kiértékeléséhez az Analyst v.4.31.9 szoftvert használtunk, és a növekedési görbék előállításánál exponenciális görbeillesztést alkalmaztuk.

2. táblázat: Az alkalmazott SAR-OSL méréssorozat.

lépés	kezelés	mérés
1.	radioaktív besugárzás*: D_i	
2.	előmelegítés 10 s 220 °C (preheat)	
3.	kék fényű stimuláció 40 s 125 °C	L_i
4.	radioaktív besugárzás teszt dózissal: D_T	
5.	melegítés 200 °C (cutheat)	
6.	kék fényű stimuláció 40 s 125 °C	T_i
7.	kék fényű stimuláció (illumination) 40 s 280 °C	
	vissza az 1. lépésre	

*: a méréssorozat legelején a természetes dózis mérése történik, ezért elmarad a radioaktív besugárzás
s: másodperc

3. táblázat: Az alkalmazott post-IR IRSL (290 °C) méréssorozat.

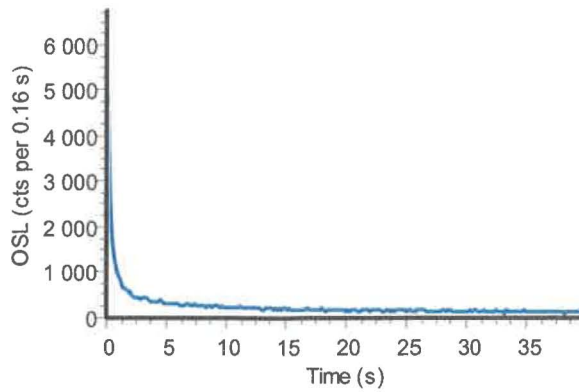
lépés	kezelés	mérés
1.	radioaktív besugárzás*: D_i	
2.	előmelegítés 60 s 320 °C (preheat)	
3.	IR stimuláció 200 s 50 °C	L_{x50} (IRSL)
4.	IR stimuláció 200 s 290 °C	L_{x290} (post-IR IRSL)
5.	radioaktív besugárzás teszt dózissal: D_T	
6.	melegítés 60 s 320 °C	
7.	IR stimuláció 200 s 50 °C	T_{x50} (IRSL)
8.	IR stimuláció 200 s 290 °C	T_{x290} (post-IR IRSL)
9.	IR stimuláció (illumination) 100 s 325 °C	
	vissza az 1. lépésre	

*: a méréssorozat legelején a természetes dózis mérése történik, ezért elmarad a radioaktív besugárzás

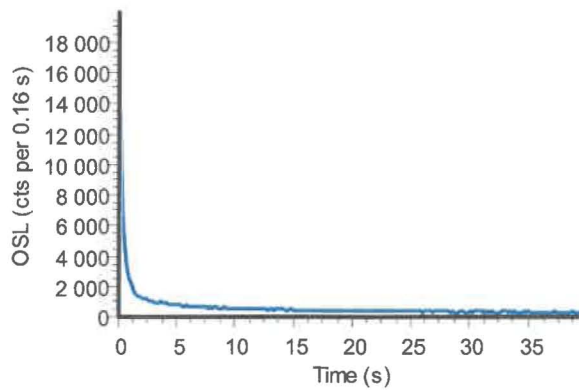
2.1. Kvarcon végzett mérések eredményei

2.1.1. Kvarc OSL szignálok

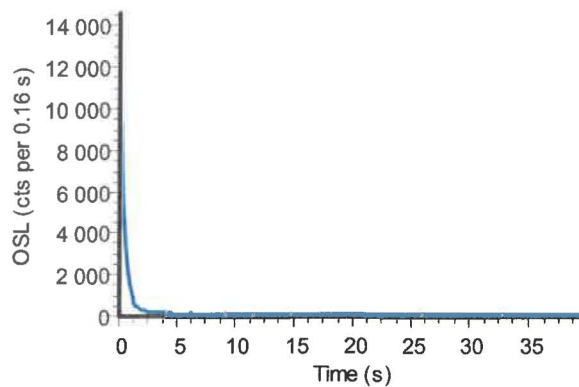
A mintákból szeparált kvarc frakciók kék fényű megvilágítás hatására adott jellemző természetes lumineszcens szignáljai, jelei a 2–5. ábrán láthatók, amelyek gyorsan csökkenő, viszonylag erős, fényes lumineszcenciát jeleznek.



2. ábra: A LVY-F1 (184.1.) minta kvarc frakciójának tipikus természetes OSL szignálja



3. ábra: A LVY-F2 (184.2.) minta kvarc frakciójának tipikus természetes OSL szignálja



4. ábra: A LVY-A1 (184.3.) minta kvarc frakciójának tipikus természetes OSL szignálja

2.1.2. Infravörös teszt

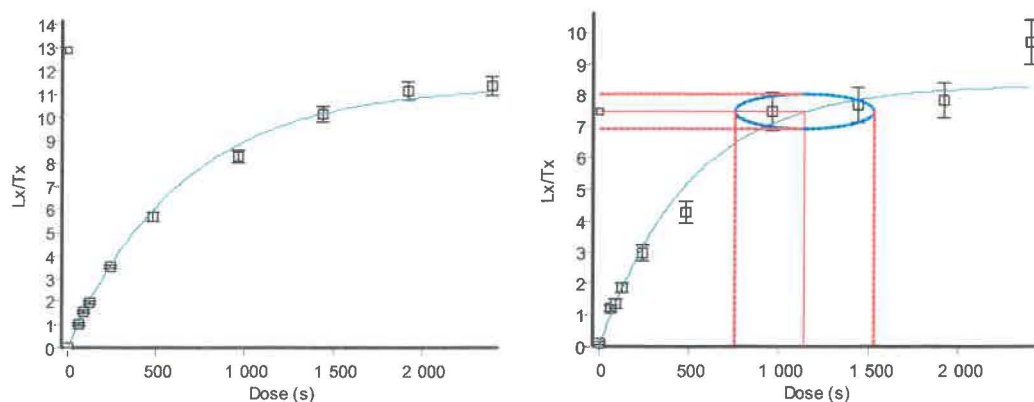
Az infravörös-teszt (IR test) a kvarcfrakció tisztaságának vizsgálatára szolgál. Ehhez az infravörös, majd a kék fényű megvilágítás hatására fellépő lumineszcenciát mérjük. Mivel a kvarc csak kék fényű megvilágítás hatására ad lumineszcenciát, a földpátok vi-

szont infravörös és kék fényű stimuláció esetén is, ezért a kvarc frakció csak akkor megfelelő tisztaságú, ha az infravörös gerjesztés hatására adott lumineszcenciája kicsi, csak néhány százaléka a kék megvilágításra kialakult lumineszcenciájának. (Az IR-tesztel kimutatható szennyezettséget a földpátok mellett gyakran csillámok is okozhatják.) Ezt a tesztet az egyenérték dózisok meghatározásakor a SAR méréssorozat végén minden egyes részmintára (aliquot) alkalmazzuk, és az így felismert szennyezett részminták egyenérték dózisait (D_e) a kormeghatározás során figyelmen kívül hagyjuk. A vizsgált mintákból az OSL-SAR mérésre került kvarc részminták a LVY-F2 (184.2.) jelű minta esetében teljesen tisztának bizonyultak, míg a másik két minta részmintáinak 11%-a többé-kevésbé szennyezett volt.

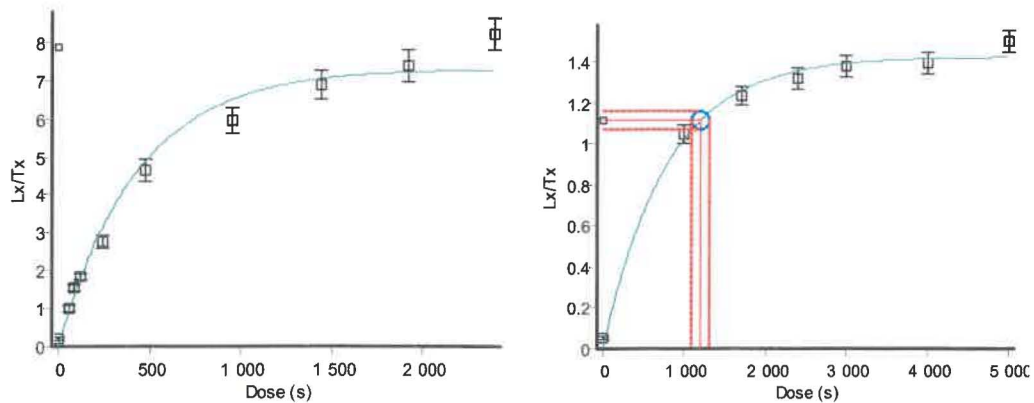
2.1.3. Növekedési görbék

A növekedési görbék (dose response growth curves) a minták optikai lumineszcenciájának változását mutatják a radioaktív sugárzás dózisének növekedése hatására. Ezek a görbék eleinte lineárisan növekszenek, mivel az egyre nagyobb sugárdózisok arányosan egyre nagyobb lumineszcenciát okoznak, majd a növekedés mértéke lelassul, ahogy a csapdák fokozatosan feltöltődnek, telítődnek. A csapdák teljes telítődése miatt egy bizonyos dózis felett a további radioaktív sugárzás már nem okoz egyenérték dózis (D_e) növekedést. Az a minta a legalkalmasabb a kormeghatározásra, amelynek természetes lumineszcenciája a növekedési görbe gyorsan növekvő (lineáris) szakaszára esik. Ezen túl a kor bizonytalansága növekszik, a telített minták pedig nem alkalmasak a kormeghatározásra, illetve csak a minimum koruk állapítható meg.

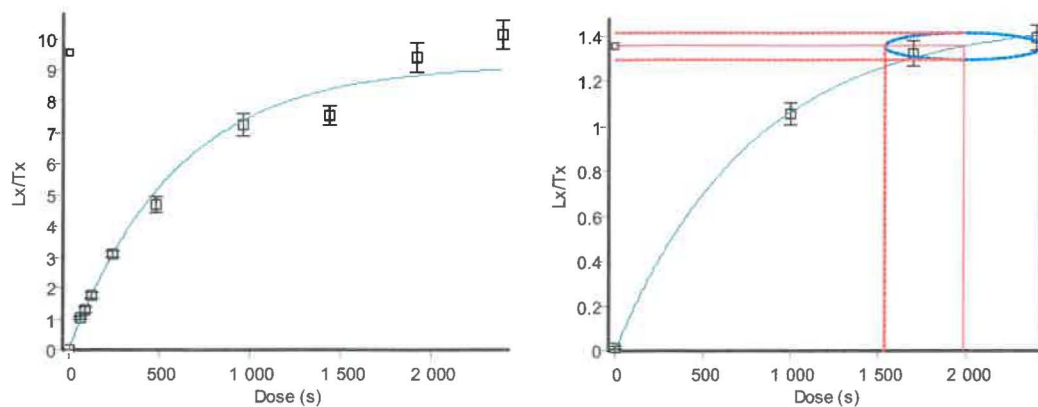
A SAR-OSL mérések szerint a vizsgált minták kvarc frakcióinak sok részmintája telített, vagy a telítetthez közeli állapotban volt (5–7. ábra).



5. ábra: A LVY-F1 (184.1.) minta kvarc frakciójának jellemző OSL növekedési görbéi



6. ábra: A LVY-F2 (184.2.) minta kvarc frakciójának jellemző OSL növekedési görbéi



7. ábra: A LVY-A1 (184.3.) minta kvarc frakciójának jellemző OSL növekedési görbéi

2.1.4. Egyenérték dózisok

Az egyenérték dózis (equivalent dose, D_e) az üledék által a betemetődés időtartama alatt elnyelt radioaktív sugárzás dózisa, amely lumineszcens mérésekkel határozható meg. Az egyenérték dózis SI mértékegysége a grey (1 Gy = 1 J/kg, ami 1 kg anyag által elnyelt 1 J radioaktív energiának felel meg).

A lumineszcens mérések során elvégzett rekuperáció teszt szerint az LVY-F1 (184.1.) és az LVY-A1 (184.3.) minták minden lemert részmintája, az LVY-F2 (184.2.) minta részmintáinak pedig a 93%-a jó rekuperáció arányt adott. A recirkuláció arány teszt szerint a LVY-A1 (184.3.) minta összes vizsgált részmintájának megfelelő volt, a másik két minta részmintáinak viszont csak az 56, illetve 71%-a bizonyult megfelelőnek. (A rekuperáció teszt és a recirkuláció arány teszt részletesebb ismertetése a földpáton végzett méréseknél, a 2.2.4. és 2.2.5. alfejezetekben olvasható.)

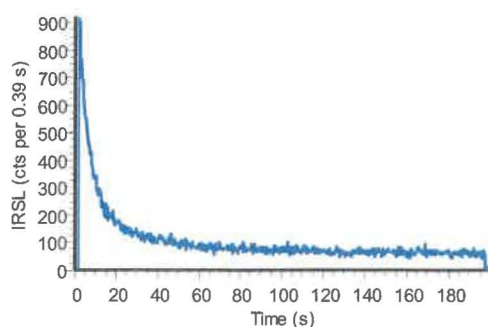
A vizsgált minták kvarc frakciói 9–14 db rész minta lemérése után alig adtak elfogadható eredményt. Ennek az oka elsősorban a részminták telítettsége, vagy a telítettség közeli állapota volt. Az LVY-F1 (184.1.) minta egyetlen részmintájának a mérési eredmé-

nye sem volt elfogadható. A másik két minta 2, illetve 3 elfogadható, 39–106 Gy közötti eredményt ugyan adott, de ezek a kvarcseparátumok gyakorlatilag elfogytak. Ezért a minták kora a kvarc mérések alapján nem volt megállapítható.

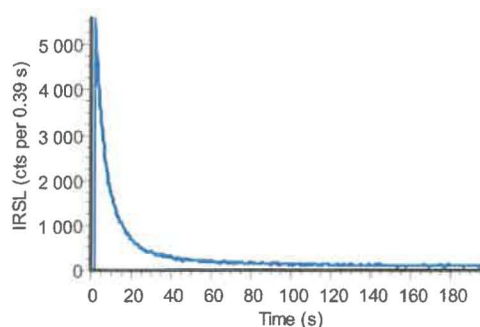
2.2. Földpáton végzett mérések eredményei

2.2.1. Földpát IRSL szignálok

A mintákból szeparált K-földpát frakciók IR gerjesztés hatására fellépő 50°C-on mért IRSL, majd 290°C-on mért jellemző post-IR IRSL természetes lumineszcens szignáljai, jelei a 8–10. ábrákon láthatók. Ezek gyorsan csökkenő, viszonylag erős, fényes lumineszcenciát jeleznek.



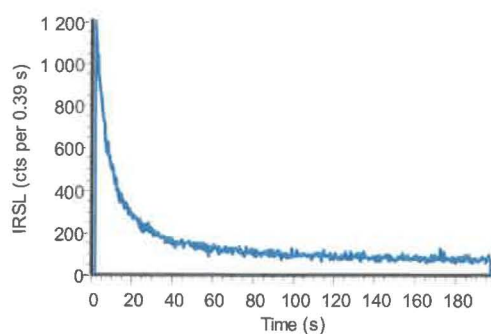
50°C-on mért IR szignál



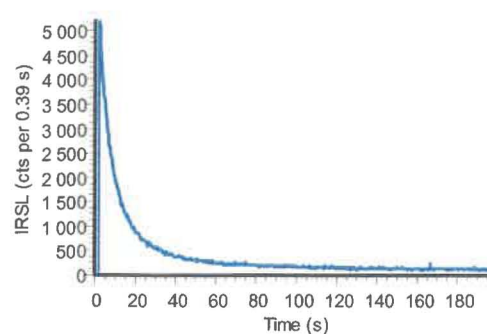
b: 290°C-on mért post-IR IRSL szignál

a:

8. ábra: A LVY-F1 (184.1.) minta földpátfrakciójának jellemző természetes szignáljai

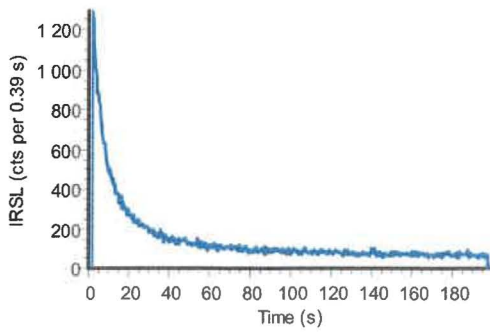


a: 50°C-on mért IR szignál

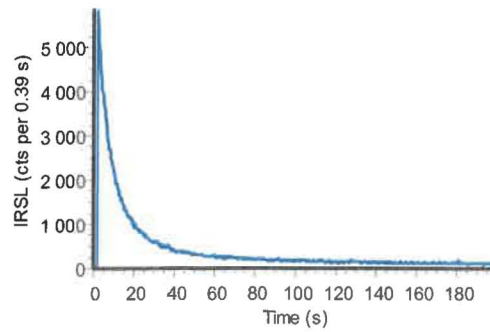


b: 290°C-on mért post-IR IRSL szignál

9. ábra: A LVY-F2 (184.2.) minta földpát frakciójának jellemző természetes szignáljai



a: 50°C-on mért IR szignál

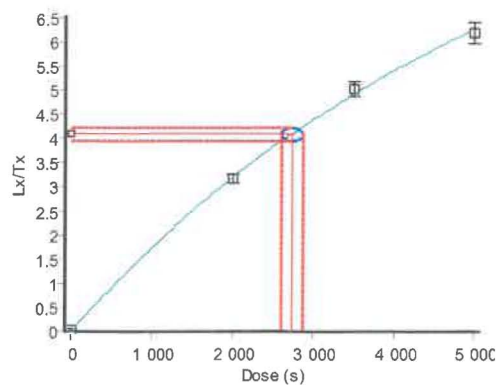


b: 290°C-on mért post-IR IRSL szignál

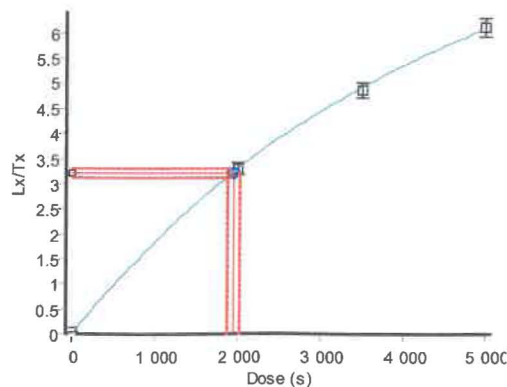
10. ábra: A LVY-A1 (184.3.) minta földpát frakciójának jellemző természetes szignáljai

2.2.2. Növekedési görbék

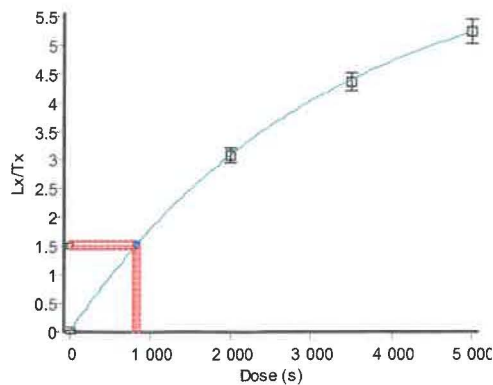
A minták jellemző post-IR IRSL (290 °C) növekedési görbéit a 11–13. ábrák mutatják. Ezek alapján a minták földpát frakciójának természetes dózisa a görbék gyorsan változó meredek szakaszaira esnek, ami jelzi, hogy a földpát frakciók nem telítettek, ezért ebből a szempontból alkalmasak a kormeghatározásra.



11. ábra: A LVY-F1 (184.1.) minta földpát frakciójának jellemző post-IR IRSL₂₉₀ növekedési görbéje



12. ábra: A LVY-F2 (184.2.) minta földpát frakciójának jellemző post-IR IRSL₂₉₀ növekedési görbéje



13. ábra: A LVY-A1 (184.3.) minta földpát frakciójának jellemző post-IR IRS_{L290} növekedési görbéje

2.2.3. Dózis visszamérési teszt

A dózis visszamérési teszt (dose recovery test) alapján megállapítható, hogy az alkalmazott méréssorozat alkalmas-e a minta természetes dózisának pontos meghatározására, és hogy a tesztdózis használatával megfelelően korrigálható-e a növekedési görbe. A korrekció csak akkor megfelelő, ha a mérésekből számított egyenérték, illetve ekvivalens dózis és a besugárzáskor alkalmazott ismert laboratóriumi dózis hányadosa $1,00 \pm 0,10$. De a földpátok mérése esetében kissé nagyobb eltérés is elfogadható a maradék (reziduális) dózis bizonytalansága miatt.

A minták földpát frakciói 4 órás napoztatás után kerültek mérésre, és a dózis visszamérési arányt a maradék dózis kivonás után számítottuk. A legjobb, $0,93 \pm 0,03$ eredményt az LVY-A1 (184.3.) minta adta, míg az LVY-F1 (184.1.) mintánál $1,03 \pm 0,18$, az LVY-F2 (184.2.) mintánál $1,07 \pm 0,33$ volt a dózis visszamérési arány, mintánként 3 db rész minta mérése alapján. Ezek szerint az alkalmazott méréssorozat alkalmas a minták természetes dózisának pontos meghatározására.

2.2.4. Rekuperáció teszt

A rekuperáció teszt (recuperation test) azt vizsgálja, hogy a mérési ciklusok végén alkalmazott stimuláció (illumination, magas hőmérsékleten történő megvilágítás) hatására a lumineszcens jel lenullázódik-e. A rekuperáció értékét a megvilágítás után mért és korrigált lumineszcencia a minta természetes lumineszcenciájának százalékában kifejezve adja meg. Csak azok a mérési eredmények fogadhatók el, amelyekben a rekuperáció nem haladja meg a minta természetes dózisának 5%-át (Murray & Wintle 2000, Wintle & Murray 2006). A vizsgált földpát részminták meglehetősen jó eredményt adtak, mivel 96%-uk esetében a rekuperáció értéke nem érte el a természetes dózis 5%-át.

2.2.5. Recirkuláció arány teszt

A recirkuláció arány teszt (recycling ratio test) segítségével azt vizsgáljuk, hogy a tesztdózis alkalmazásával a lumineszcens növekedési görbe megfelelően korrigálható-e. Ennek vizsgálata a legkisebb regenerációs radioaktív besugárzás megismétlésével történt.

A két besugárzás után mért és korrigált lumineszcencia hányadosa a recirkuláció arány. Ideális esetben ez az arány 1, ezért csak azok az egyenérték dózis értékek fogadhatók el, amelyek mérése során a recirkuláció arány 0.90 és 1.10 közötti (Murray & Wintle 2000). A vizsgált földpát részminták ebben a tekintetben is jó eredményt mutattak, mivel 98%-uknak megfelelő volt recirkuláció aránya.

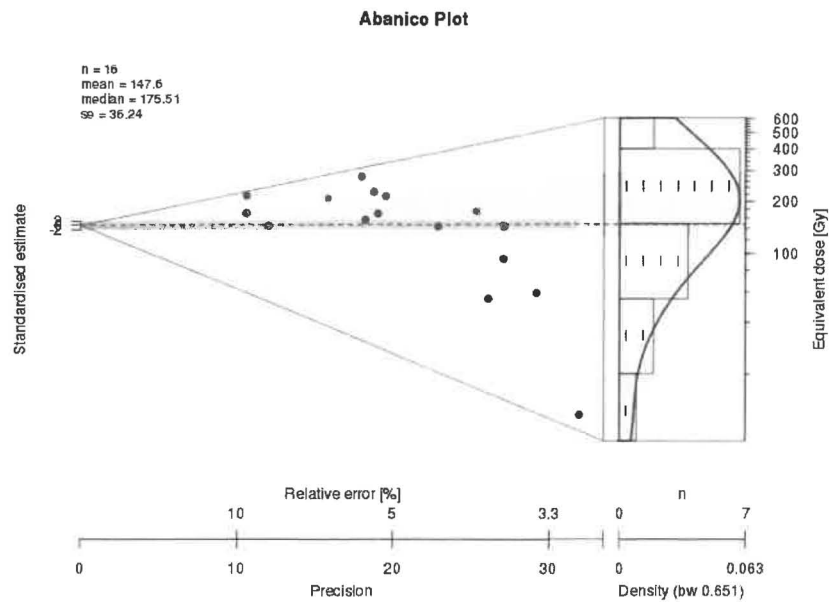
2.2.6. Egyenérték dózisok

A vizsgált minták K-földpát frakciójának post-IR IRSL₂₉₀ mérésével mintánként 11–16 rész minta egyenérték dózisát sikerült meghatározni (4. táblázat). Ezek megfelelő, 0.90 és 1.10 közötti recirkuláció arányt, és 5% alatti rekuperációt mutattak.

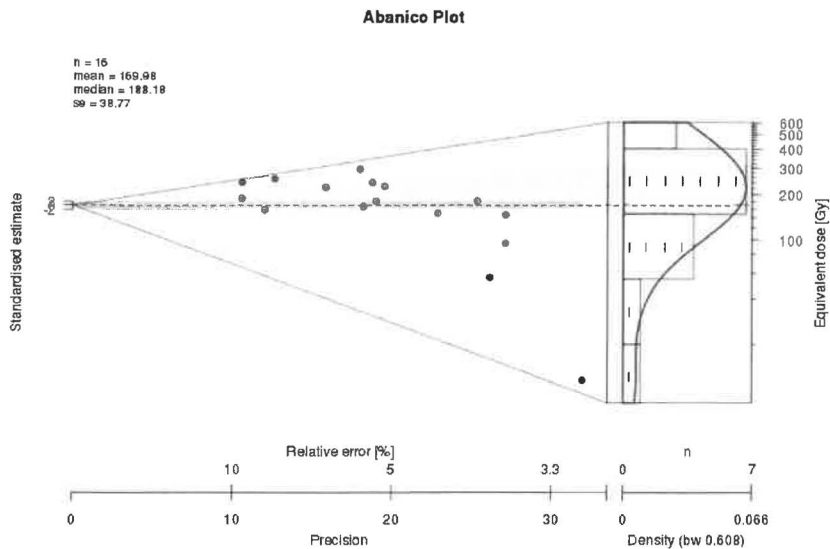
Az egyenérték dózisok mintánkénti eloszlása és jellemző értékeik a 14–16. ábrák abanico plot diagramjain láthatók. A diagramok Dietze et al. (2016) nyomán készültek (<http://rlum.geographie.uni-koeln.de:9418/packages/RLumShiny/inst/shiny/abanico/>). A minták D_e értékeinek eloszlása alapján az LVY-F1 (184.1.) és az LVY-F2 minták korának kiszámítása a D_e átlagértékekkel történt, míg az LVY-A1 (184.3.) minta esetében az eloszlás csúcsához közelebb eső medián D_e értékkel.

4. táblázat: A minták földpát frakciójának egyenérték dózisa növekvő sorrendben.

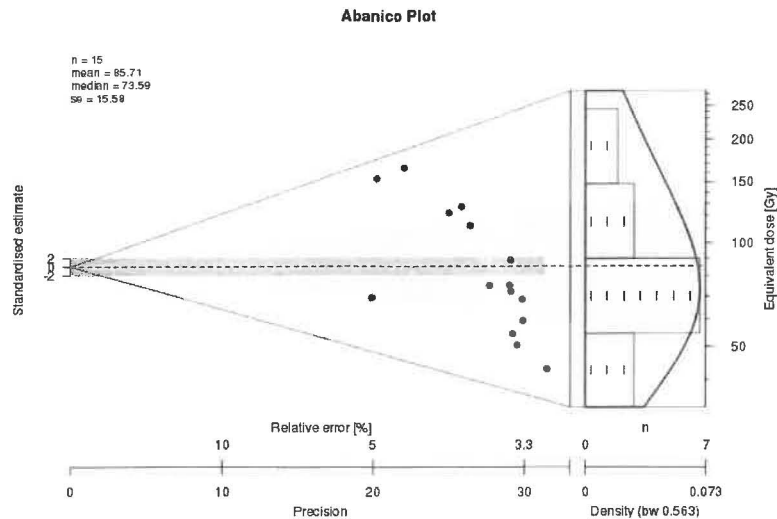
LVY-F1 (184.1.)			LVY-F2 (184.2.)			LVY-A1 (184.3.)		
D_e (Gy)								
130.34	±	11.54	10.21	±	0.32	41.54	±	1.32
184.62	±	14.15	41.28	±	1.58	47.47	±	1.61
200.07	±	19.34	83.43	±	3.08	51.37	±	1.76
200.78	±	9.26	141.89	±	11.83	57.35	±	1.92
217.34	±	8.80	142.83	±	5.27	60.53	±	3.04
225.13	±	9.47	143.30	±	6.26	67.08	±	2.25
235.31	±	19.58	165.79	±	9.12	70.95	±	2.44
273.21	±	16.95	185.80	±	7.33	73.59	±	2.66
274.81	±	13.15	190.59	±	10.04	74.21	±	2.56
290.83	±	15.59	241.85	±	22.87	89.63	±	3.08
320.35	±	20.13	281.60	±	14.43	120.30	±	4.55
			311.80	±	19.74	137.26	±	5.48
			318.50	±	16.98	142.57	±	5.51
			483.08	±	26.90	222.95	±	11.01
			491.81	±	39.01	230.06	±	10.42
			504.25	±	47.65			
átlag és hiba:								
232.07	±	16.42	233.62	±	38.77	99.12	±	15.58



14. ábra: A LVY-F1 (184.1.) minta földpát frakcióján mért egyenérték dózisok eloszlása



15. ábra: A LVY-F2 (184.2.) minta földpát frakcióján mért egyenérték dózisok eloszlása



16. ábra: A LVY-A1 (184.3.) minta földpát frakcióján mért egyenérték dózisok eloszlása

2.2.7. Maradék dózisok

Az üledékképződés során, a felszínen napfény hatására az ásványszemcsék kristályrácsának fényérzékeny csapdái fokozatosan kiürülnek (kifakulás, bleaching), lumineszcens jelük lecsökken, ideális esetben lenullázódik, máskor megmarad egy reziduális szint. A földpátok csapdái napfény hatására sokkal lassabban ürülnek ki, mint a kvarc csapdái, ezért a földpátok kormeghatározása során általában figyelembe kell venni a maradék dózist is. Ennek meghatározásához a K-földpát frakciók egy részét 4 óra időtartamú természetes napfénynek tettünk ki, majd 3–3 részmintán mértük a maradék dózisukat. Az eredmények az 5. táblázatban láthatók. A vizsgált minták maradék dózisa a természetes dózisuk kb. 16–22 %-át teszi ki.

5. táblázat: A minták földpát frakciójának maradék dózisa növekvő sorrendben.

LVY-F1 (184.1.)		LVY-F2 (184.2.)		LVY-A1 (184.3.)	
Maradék dózis (Gy)					
21.42	± 1.13	16.15	± 0.64	20.03	± 0.63
24.86	± 0.97	43.58	± 1.43	24.73	± 0.81
64.05	± 2.04	52.32	± 2.56		

2.2.8. Anomális kifakulás teszt

A földpátok IRSL kormeghatározása során az anomális kifakulást (anomalous fading, Wintle, 1973) is figyelembe kell venni, melynek során a lumineszcens intenzitás spontán csökken, mert normál hőmérsékleten elektronok szöknek ki a termikusan stabilnak tekintett csapdából. Az anomális kifakulás a kor alábecslését okozza, ezért bizonyos érték felett korrigálni kell vele a kort. Az alkalmazott post-IR IRSL (290 °C) módszer ese-

tében azonban általában nagyon kismértékű az anomális kifakulás, nem éri el az 1%/évtized értéket (Thiel et al. 2011, 2012).

A vizsgált mintákon mért anomális kifakulás értékek a hibáikat is figyelembe 1%/évtized alatt maradtak, ezért a korok korrekciója nem volt szükséges.

3. Nedvességtartalom

A víz jelentősen gyengíti a rajta áthaladó radioaktív sugárzást, ezért a lumineszcens kor kiszámítása során figyelembe kell venni az üledéknek a betemetődés időtartama alatti nedvességtartalmát. Ennek becslése az üledék jelenlegi és telített nedvességtartalma, valamint a minta üledékes környezete, fáciése, betemetődés-története, domborzathoz és talajvízszinthez viszonyított helyzete alapján történik. A vizsgált üledékek mért és becsült nedvességtartalmát 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat: A minták nedvességtartalma.

minta	labor-szám	nedvességtartalom (súly%)			
		jelenlegi	telített	közepes	becsült*
LVY-F1	184.1.	36.57	47.13	41.85	37
LVY-F2	184.2.	26.63	31.02	28.82	27
LVY-A1	184.3.	13.60	28.57	21.09	21

*: a betemetődés időtartamára becsült nedvességtartalom

4. Dózisráta

A lumineszcens kor kiszámításához szükséges a dózisráta, illetve dózisteljesítmény (D), azaz a betemetett üledék által időegység alatt elnyelt radioaktív sugárdózis (mGy/év, vagy Gy/ezer év) ismerete. A dózisráta nagyobb része az üledék radioaktív izotópjai által kibocsátott alfa, béta és gammasugárzásból, kisebb hányada, általában néhány %-a pedig a kozmikus sugárzásból ered. A betemetett üledéket érő kozmikus sugárzás nagysága függ az üledék felszín alatti mélységétől, sűrűségétől, nedvességtartalmától, földrajzi helyzetétől (szélesség, hosszúság, tengerszint feletti magasság), és a Föld mágneses terének fluktuációja is befolyásolja (Aitken 1985, 1998, Prescott & Stephan 1982, Prescott & Hutton 1994).

4.1. Az üledékek radioaktív izotóp tartalmának meghatározása

A vizsgált üledékek radioaktív izotóptartalmának meghatározása a lumineszcens kormeghatározásra begyűjtött minták közvetlen környezetéből vett kb. 0,3–0,8 kg reprezentatív mintaanyag nagy felbontású gammaspektrometriai mérésével történt. A méréseket Dr. Surányi Gergely végezte Canberra gyártmányú félvezető-detektoros (HPGe) gammaspektrométer, és a hozzátartozó Canberra gyártmányú elektronikai egységek (nagyfesz. táp, erősítő, ADC, analízator kártya) segítségével. A detektor relatív hatásfoka 14%,

felbontása 1332 keV-en 1,8 keV. A mérőhely 10 cm vastag ólomárnyékolással van ellátva, a tipikus háttér a teljes energiatartományban 0,65 beütés/s. A spektrumok 8196 csatornás felbontással, a ~0–2700 keV energiatartományban kerültek felvételre. A kiértékelés SAMPO 90 programmal történt.

Mivel a vizsgált három minta közül a két felső minta azonos rétegtani szintben, és egymáshoz nagyon közel helyezkedett el, ezért gammaspektrometriai mérésre csak két minta került begyűjtésre. Az egyik a felső minták közvetlen környezetéből, a másik az alsó minta mellől. A gammaspektrometriai mérések előtt a felső mintát próbaképpen két részre osztottuk, és külön-külön kerültek mérésre. Az eredményeik a vártak megfelelően alakultak, csak igen kis eltérést mutattak (7. táblázat, Surányi 2021), és ezek átlagértékeit használtuk fel a kormeghatározás során.

7. táblázat: A gammaspektrometriai mérések eredményei.

a: aktivitás értékek

minta	labor-szám	U (Bq/kg)		Th-232 (Bq/kg)		Ra-226 (Bq/kg)		K-40 (Bq/kg)	
LVY-F1	184.1.	30.6	± 3.5	50.7	± 0.8	25.4	± 0.4	642.8	± 10.0
LVY-F2	184.2.	29.7	± 6.6	51.2	± 0.7	25.4	± 0.3	624.5	± 8.3
LVY-A1	184.3.	31.7	± 4.3	47.7	± 0.7	23.8	± 0.3	644.6	± 10.5

b: koncentráció értékek

minta	labor-szám	U (ppm)		Th (ppm)		Ra (ppm)		K (%)	
LVY-F1	184.1.	2.46	± 0.28	12.50	± 0.21	2.04	± 0.03	2.12	± 0.03
LVY-F2	184.2.	2.39	± 0.53	12.61	± 0.18	2.05	± 0.03	2.06	± 0.03
LVY-A1	184.3.	2.55	± 0.34	11.76	± 0.16	1.92	± 0.03	2.13	± 0.03

4.2. Dózisráta meghatározás

A gammaspektrometriai mérésekkel megállapított radioaktív izotóp koncentrációk alapján kiszámítható az üledék által elnyelt radioaktív sugárzás nagysága, amihez a K-földpát kormeghatározása esetében ennek az ásványnak a belső dóziszrátája is hozzájárul. A K-földpát belső dóziszrátája $12,5 \pm 0,5$ % K, és 400 ± 100 ppm Rb tartalom alapján került kiszámításra. Az üledékek becsült nedvességtartalmával kiszámított dóziszrátákat a 8. táblázat tartalmazza. Kis bizonytalanságot okoz a dóziszráták kiszámításában, hogy a felszín alatt kb. 87 m mélyen található barlangi üledékekről van szó, ahol a mintagödör felett a szabad légtér magassága kb. 1 m, és az üledékvastagság a felső minták felett kb. 40–50 cm. Ez nem egy szokványos helyzet, ezért a számításoknál nem vettük figyelembe, hogy a mélységből kb. 1 m-t nem üledék, hanem levegő tölt ki. (Próbaképpen az 1 m légtérrel kivonva, és így kb. 86 m mélységgel számolva szinte ugyanaz az eredmény adódott, csak a dóziszráták negyedik tizedes jegyében, illetve a korok harmadik tizedes jegyében mutatkozott egy kis különbség.)

8. táblázat: A minták dóziszrátája.

minta	labor-szám	mélység (m)	becsült nedv. (%)	az üledék földpátra vonatkozó dóziszrátája (Gy/ezer év)		
LVY-F1	184.1.	~87	37	3.76	±	0.10
LVY-F2	184.2.	~87	31	3.87	±	0.10
LVY-A1	184.3.	~87,3	21	4.06	±	0.11

5. Lumineszcens korok

Az egyenérték dózis és a dóziszráta hányadosa megadja a lumineszcens kort, azaz a betemetődés óta eltelt időtartamot, vagyis azt, hogy mikor érte utoljára megfelelő napfény az üledéket.

$$\text{Lumineszcens kor} = \text{Egyenérték dózis} / \text{Dóziszráta}$$

A minták egyenérték dózisainak eloszlása alapján (14–16. ábrák) a felső minták (LVY-F1 és LVY-F2) kora a D_e átlagértékkel, az alsó minta (LVY-A1) kora a medián D_e értékkel került kiszámításra, mivel ezek az értékek közelebb helyezkedtek el az eloszlások csúcsterületéhez. A minták főbb adatait és korát a 9. táblázat mutatja.

9. táblázat: A minták post-IR IRSL₂₉₀ kora.

minta	labor-szám	mélység (m)	n (db)	egyenérték dózis (Gy)*		reziduális dózis (Gy)		nedv. (%)	dózisz ráta (Gy/ezer év)		pIR IRSL ₂₉₀ kor (ezer év)		pIR IRSL ₂₉₀ kor** (ezer év)	
LVY-F1	184.1.	~87	11	232.07	± 16.42	36.78	± 1.38	37	3.76	± 0.10	61.8	± 4.8	52.0	± 4.0
LVY-F2	184.2.	~87	16	233.62	± 38.77	37.35	± 1.54	31	3.87	± 0.10	60.4	± 10.2	50.7	± 8.6
LVY-A1	184.3.	~87,3	14	73.59	± 15.58	22.38	± 0.72	21	4.06	± 0.11	18.1	± 3.9	12.6	± 2.7

n: részminták száma; *: LVY-F1 és LVY-F2 átlag D_e , LVY-A1 medián D_e ;

nedv.: becsült nedvességtartalom ± 4% hibával; **: a maradék dózis kivonásával nyert korok

A kapott korokat tekintve a felső minták, azaz az LVY-F1 (184.1.) és az LVY-F2 (184.2.) minták nagyon hasonló korokat adtak, ahogy az várható volt, mivel azonos rétegtani szintből, és egymás szomszédságából kerültek begyűjtésre. Az alsó, LVY-A1 (184.3.) minta jóval fiatalabbnak adódott, mint a felső minták. Ennek például az lehet az oka, hogy a minták üledékanyaga, amelyet a barlangi vízfolyás rakott le, idősebb üledékekből halmozódott át, és a lepusztulás, illetve feltehetően viszonylag rövid szállítás alatt nem érte elegendő napfény a lumineszcens jelük lenullázódásához, azaz csak részleges kifakulás történt. Ezért a vizsgált barlangi üledékek az egyenérték dózisuk egy részét átörökölték az idősebb üledékektől. Erre utal, hogy a minták kvarc frakcióinak sok telített OSL-lel rendelkező részmintája volt, miközben néhány kis egyenérték dózist is lehetett mérni az LVY-

F2 (184.2.) és az LVY-A1 (184.3.) mintán, és hogy a K-földpát frakciók egyenérték dózissai nagyon tág határok között változtak. Részleges kifakulást feltételezve, az alsó minta kora azért lehet fiatalabb a felső minták koránál, mert esetleg több napfény érte, vagy az alsó minta fiatalabb üledékből halmozódott át, míg a felső minták anyaga idősebb üledék áthalmazódásából származik.

A földpáton végzett mérések alapján egy üledék betemetődésének kora általában a post-IR IRSL kor és a reziduális dózis kivonása után számolt post-IR IRSL kor (9. táblázat utolsó két oszlopa) között lehet. A vizsgált barlangi minták lerakódásának kora azonban a feltételezett részleges kifakulás miatt valószínűleg fiatalabb, mint a kapott korok, különösen a két felső minta esetében.